

Prof. Dr. agr. habil. Immo Lieberoth

# **Bodenkunde**

**Aufbau, Entstehung, Kennzeichnung und Eigenschaften  
der landwirtschaftlich genutzten Böden der DDR**

mit 160 Abbildungen und 110 Tabellen



**VEB DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTSVERLAG BERLIN**

3. neu bearbeitete Auflage

© 1982 VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag

DDR – 104 Berlin, Reinhardtstraße 14

Lizenznummer 101 – 175/99/82

LSV 4115

Lektor: Dipl.-Agr.-Ing. Regina Engelmann

Umschlaggestaltung: Rolf Wünsche, Berlin

Printed in the GDR

Satz: GGV Dresden

Druck und Buchbinderei: Mühlhäuser Druckhaus

Bestellnummer: 558 081 1

DDR 25,20 M



# Vorwort

Auch mit der dritten, völlig überarbeiteten Auflage dieses Buches wird der bisher bewährte Weg verfolgt, einen möglichst großen Leserkreis anzusprechen. Die umfassende, aber trotzdem knappe Darstellung des bodenkundlichen Stoffes, die Verknüpfung moderner Grundlagen mit einer praxisbezogenen Anwendung sollen dem Landwirt und den Interessierten benachbarter Disziplinen die Spezifik dieses Fachgebietes näherbringen. Studenten von Fach- und Hochschulen, die sich mit Standortproblemen etwas eingehender befassen wollen, wird das vorliegende Buch als Einführung empfohlen.

Der Übergang zu industriemäßigen Verfahren in einer spezialisierten Pflanzenproduktion machte es notwendig, viele bodenkundliche Erkenntnisse neu zu interpretieren. Der Titel des Buches wurde bei dieser Überarbeitung auf „Bodenkunde“ begrenzt, wobei der landwirtschaftliche Aspekt der Nutzung wie bisher besondere Berücksichtigung fand. Das Literaturverzeichnis ist gegenüber der 2. Auflage völlig erneuert und auf fast 500 Titel erweitert worden.

Anliegen des Verfassers ist es, den Leser vor allem mit der bodenkundlichen Literatur der DDR und der hier praktizierten Bodenkennzeichnung und -beurteilung vertraut zu machen. Tabellen und Abbildungen wurden gänzlich überarbeitet, ihr Umfang wesentlich vergrößert. Eine wesentliche Erweiterung der Seitenanzahl konnte vor allem dadurch vermieden werden, indem der Text durch Einfügen telegrammstilartiger Absätze, wie sie in Standards gebräuchlich sind, gestrafft wurde. Der bisherige Gesamtaufbau des Buches wurde, bis auf die Aufteilung der ehemaligen Kapitel 2 und 3 in jeweils zwei Hauptabschnitte, beibehalten. Im Detail sind jedoch wesentliche Umstellungen und Ergänzungen vorgenommen worden. Wenn auch zunächst immer vom internationalen Stand ausgegangen wurde, mußte berücksichtigt werden, daß Ausbildung und Verbreitung der Böden an territoriale Gegebenheiten gebunden sind. Die spezifischen Standortverhältnisse der DDR sind daher besonders herausgearbeitet worden.

Folgende Besonderheiten der neuen Auflage sollen herausgestellt werden. Im 1. Hauptabschnitt wird eine erweiterte Einführung gegeben, die auch einen Überblick über den Bodenfonds der DDR einschließt. Der 2. Hauptabschnitt wurde einerseits stärker zusammengefaßt und andererseits durch Ausführungen zur technischen Beurteilung von Kornmischen sowie zum stofflichen Grundgerüst der organischen Böden ergänzt. Hauptabschnitt 3 konnte durch die unmittelbare Verknüpfung der bodenbildenden Prozesse mit den sie auslösenden Faktoren im Text ebenfalls gestrafft, inhaltlich aber weiter vertieft werden. Die in der DDR gürtelartig verbreiteten Sedimente und die holozänen Ablagerungen werden hinsichtlich ihrer Ausbildung und Bedeutung für die Bodenentwicklung ausführlich behandelt. Das gleiche gilt für die Tonminerale. Die Ausführungen zur organischen Substanz und zu den Bodenlebewesen werden in einem Abschnitt zusammengefaßt. Neu sind die Darlegungen zur Wiedernutzbarmachung von Kippen.

Im 4. Hauptabschnitt werden die Grundlagen der profil- und arealbezogenen Boden-/Standortklassifikation unter besonderer Berücksichtigung der Unterscheidung von topischen, chorischen und regionalen Einheiten deutlicher herausgearbeitet. Neu ist der Vergleich der Bodensystematik der DDR mit der Rahmenlegende der Weltbodenkarte (FAO-Klassifikation) und die dadurch mögliche Zuordnung aller Böden zu diesen Einheiten. Auf die praxisbezogene Beschreibung der wichtigsten Böden der DDR wurde wieder besonderer

Wert gelegt. Die für die Großflächenbewirtschaftung immer mehr an Bedeutung gewinnende Struktur der Bodendecke und das neue System der heterogenen Standorteinheiten werden erstmals in zusammenfassender Form dargelegt. Der 5. Hauptabschnitt wurde völlig neu konzipiert. Ausführlich wird auf die Verfahren der Standortkartierung, insbesondere auch auf die Meliorationsstandortuntersuchung und auf die neue Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung (MMK) einschließlich Auswertungsmöglichkeiten eingegangen. Die Erläuterungen zur automatisierten Verarbeitung von Standortdaten und zur komplexen Auswertung über Bodenfruchtbarkeitskennziffern spiegeln den aktuellen Stand dieser jüngsten, stark nutzerbezogenen Zweige der Bodenfruchtbarkeitsforschung der DDR wider.

Im 6. Hauptabschnitt wurden die modernen Ansichten über Nährelementtransformation, Redoxreaktionen, mechanische Eigenschaften und Wasserregime eingearbeitet, was in einigen Teilen notwendigerweise zu einer vertiefteren Darstellung des Stoffgebietes führte. Insbesondere werden die neueren Ergebnisse über die Grundlagen des Ionenaustausches, die Nährstoffauswaschung, die Kaliumtransformation, die Gefügemetamorphose, die Festigkeitseigenschaften, die Wasserbindung und -bewegung sowie die Grenzwerte des Wasser- und Luftregimes eingehend behandelt und für die Böden der DDR interpretiert. Den Herren Dr. *M. Altermann*, Dr. sc. *D. Laves*, Dr. *E. Vetterlein* und Dr. sc. *M. Wünsche* möchte ich für die kritische Durchsicht jeweils bestimmter Hauptabschnitte und für ihre wertvollen Ratschläge herzlich danken. Meiner Frau gebührt für ihre tatkräftige redaktionelle Mitarbeit besonders großer Dank. Herrn Boche bin ich für die Gestaltung der Graphika, dem VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag für die gute Zusammenarbeit und die Berücksichtigung von Sonderwünschen sehr zu Danke verpflichtet.

I. Lieberoth

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einführung in die Bodenkunde</b>	<b>11</b>
1.1.	Gegenstand und Aufgaben der Bodenkunde	11
1.2.	Komplexeigenschaft Bodenfruchtbarkeit	13
1.3.	Der Bodenfonds der DDR und seine rationelle Nutzung	17
<b>2.</b>	<b>Aufbau des Bodens und der Bodendecke</b>	<b>19</b>
2.1.	Zusammensetzung des Bodens	19
2.2.	Die vertikale und horizontale Differenzierung der Bodendecke	20
2.3.	Korngerüst der Mineralböden	22
2.3.1.	Körnung und Bodenskelett	22
2.3.2.	Landwirtschaftliche Bodenbeurteilung nach der Körnungsart	30
2.3.3.	Technische Beurteilung von Korngemischen	33
2.4.	Stoffliches Grundgerüst der organischen Böden	36
2.4.1.	Torf- und Muddearten	36
2.4.2.	Zersetzungsgrad der Torfe	37
<b>3.</b>	<b>Substrat- und Bodenbildung</b>	<b>39</b>
3.1.	Geschichte der Erde und Entwicklung der Böden	39
3.1.1.	Bodenbildung und Bodenentwicklung	39
3.1.2.	Überblick über die geologischen Perioden	40
3.1.3.	Eiszeitepoche	42
3.1.4.	Entstehung des Moränen-Gürtels	45
3.1.5.	Entstehung des Löß-Gürtels	48
3.1.6.	Entstehung des Gebirgsschutt-Gürtels	50
3.1.7.	Nacheiszeitepoche	52
3.2.	Das Ausgangsgestein und seine Veränderung	58
3.2.1.	Minerale und Mineralgemenge	58
3.2.2.	Bodenbildende Fest- und Lockergesteine	61
3.2.3.	Glaziärsedimente des Tieflandes	64
3.2.4.	Windsedimente des Hügel- und Berglandes	67
3.2.5.	Schutthaltige Sedimente des Berg- und lößfreien Hügellandes	72
3.2.6.	Sonstige Sedimente	73
3.2.7.	Verwitterung	74
3.2.8.	Um- und Neubildung von Tonmineralen	77
3.2.9.	Stabilität des Mineralgerüsts im Boden	84
3.3.	Die organische Substanz und ihre Umwandlung im Boden	85
3.3.1.	Definition und Bedeutung	85
3.3.2.	Ausgangsstoffe und Humusbildung	87
3.3.3.	Übersicht über die Bodenlebewesen	90
3.3.4.	Milieu, Masse und Funktion des Edaphons	94
3.3.5.	Umwandlungsprozesse im Boden	101
3.3.6.	Humusgehalt und Humusvorrat	107

3.4.	Die Bedeutung von Klima und Relief für die Bodenbildung . . . . .	115
3.4.1.	Wirkung des Klimas . . . . .	115
3.4.2.	Bodenwasser als Agens für Verlagerungsvorgänge . . . . .	119
3.4.3.	Einfluß der Oberflächengestaltung . . . . .	123
3.5.	Der Einfluß des Menschen auf die Bodenbildung . . . . .	130
3.5.1.	Veränderung der Böden durch Ackerbau und Melioration . . . . .	130
3.5.2.	Wiedernutzbarmachung von Kippen und Halden . . . . .	135
<b>4.</b>	<b>Kennzeichnung und Gliederung der Agrarstandorte . . . . .</b>	<b>140</b>
4.1.	Grundlagen der Boden-, Standort- und Gebietsgliederung . . . . .	140
4.1.1.	Pedon und elementares Bodenareal . . . . .	140
4.1.2.	Profil- und flächenbezogene Ordnung . . . . .	141
4.1.3.	Bodenkundlich relevante Begriffe der Landschaftslehre . . . . .	144
4.2.	Profilbezogene Einteilung der Bodensubstrate . . . . .	145
4.2.1.	Gliederung und Benennung der Substrate . . . . .	145
4.2.2.	Kennzeichnung der Substratschichtung . . . . .	148
4.2.3.	Verbreitete Substrattypen in der DDR . . . . .	150
4.3.	Allgemeine Systematik der Böden . . . . .	151
4.3.1.	Horizonteinteilung . . . . .	151
4.3.2.	Kategorien der Bodensystematik . . . . .	155
4.3.3.	Übersicht über die Systematik der landwirtschaftlich genutzten Böden der DDR . . . . .	157
4.3.4.	Einordnung der Böden der DDR in die internationale Bodenklassifikation . . . . .	162
4.4.	Profilbezogene Klassifikationen für die Praxis . . . . .	163
4.4.1.	Bodenformen als spezielle bodensystematische Einheiten . . . . .	163
4.4.2.	Bodengruppierung für das Düngungssystem . . . . .	166
4.4.3.	Pedohydrologische Einheiten . . . . .	166
4.5.	Charakterisierung verbreiteter Böden ohne hervortretende Nässemerkmale (anhydromorphe Böden) . . . . .	169
4.5.1.	Ranker . . . . .	169
4.5.2.	Rendzinen . . . . .	170
4.5.3.	Vegas . . . . .	172
4.5.4.	Schwarzerden und Braunschwarzerden . . . . .	173
4.5.5.	Braunerden . . . . .	178
4.5.6.	Rosterden und Podsole . . . . .	180
4.5.7.	Fahlerden, Parabraunerden, Griserden . . . . .	182
4.6.	Charakterisierung verbreiteter Böden mit Nässemerkmalen im Unterboden (halbhydromorphe Böden) . . . . .	186
4.6.1.	Schwarzstaugleye und Braunstaugleye . . . . .	187
4.6.2.	Halbamphigleye . . . . .	188
4.6.3.	Braungleye und Rostgleye . . . . .	189
4.6.4.	Vegagleye und Schwarzgleye . . . . .	191
4.7.	Charakterisierung verbreiteter Böden mit Nässemerkmalen im gesamten Profil (vollhydromorphe Böden) . . . . .	192
4.7.1.	Staugleye und Humusstaugleye . . . . .	192
4.7.2.	Amphigleye . . . . .	197
4.7.3.	Grundgleye . . . . .	198
4.7.4.	Humusgleye und Anmoore . . . . .	201
4.7.5.	Niedermoore . . . . .	202
4.8.	Areal- und gebietsbezogene Kennzeichnung der Böden und Standorte . . . . .	206
4.8.1.	Kennwerte heterogener Bodeneinheiten . . . . .	206
4.8.2.	Praxisrelevante Flächentypen . . . . .	212
4.8.3.	Bodengesellschaften als Gerüst von Inventartypen . . . . .	216
4.8.4.	Das System der Standorteinheiten . . . . .	217
4.8.5.	Standörtliche Heterogenität und Großflächennutzung . . . . .	228

4.8.6.	Standortbezogene Gebietsgliederung der DDR . . . . .	231
4.9.	Gliederungsrahmen für die Agrarstandorte der DDR . . . . .	235
<b>5.</b>	<b>Gewinnung und Auswertung von Boden- und Standortdaten . . . . .</b>	<b>238</b>
5.1.	Untersuchung von Geländepunkten und Geländeschnitten . . . . .	238
5.2.	Die Bodenschätzung . . . . .	243
5.2.1.	Verfahren der ehemaligen Bodenschätzung . . . . .	243
5.2.2.	Die Standortkundliche Ergänzung der Bodenschätzung . . . . .	248
5.3.	Moderne großmaßstäbige Bodenkartierungen . . . . .	252
5.3.1.	Grundsätzliches zur Erstellung von Bodenkarten . . . . .	252
5.3.2.	Kartierung von Bodenformen . . . . .	253
5.3.3.	Meliorationsstandortuntersuchung . . . . .	261
5.4.	Die Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung . . . . .	264
5.4.1.	Verfahren . . . . .	265
5.4.2.	Auswertung der Ergebnisse . . . . .	267
5.5.	Weitere für die Landwirtschaft nutzbare Kartierungsverfahren . . . . .	274
5.5.1.	Bodengeologische Kartierungen . . . . .	275
5.5.2.	Agrargeographische Kartierungen . . . . .	275
5.5.3.	Die Forstliche Standortserkundung . . . . .	277
5.5.4.	Bodenkarte der DDR . . . . .	278
5.6.	Automatisierte Verarbeitung von Standortdaten . . . . .	280
5.6.1.	Grundlagen . . . . .	280
5.6.2.	Die Gemeinde-Datei des DABO . . . . .	281
5.6.3.	Die Profil-Dateien des DABO . . . . .	285
5.6.4.	Bodenkundliche Parameter in anderen Datenspeichern . . . . .	287
5.7.	Komplexe Auswertung für die Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit . . . . .	289
<b>6.</b>	<b>Fruchtbarkeitsbestimmende Eigenschaften und Vorgänge im Boden . . . . .</b>	<b>292</b>
6.1.	Ionenaustausch . . . . .	292
6.1.1.	Physikochemische Grundlagen . . . . .	292
6.1.2.	Kationenaustauschkapazität und austauschbare Kationen . . . . .	294
6.1.3.	Ursachen des Kationenaustausches . . . . .	295
6.1.4.	Theorie des Kationenaustausches . . . . .	297
6.1.5.	Bedeutung des Kationenaustausches . . . . .	298
6.1.6.	Anionenadsorption . . . . .	301
6.2.	Azidität und Redoxreaktionen . . . . .	302
6.2.1.	Bodenazidität . . . . .	302
6.2.2.	pH-Wert . . . . .	304
6.2.3.	Ursachen der Bodenversauerung . . . . .	306
6.2.4.	Kalk als Neutralisator der Bodenazidität . . . . .	308
6.2.5.	Einfluß des pH-Wertes auf Boden und Pflanze . . . . .	311
6.2.6.	Redoxreaktionen . . . . .	311
6.3.	Nährelemente im Boden . . . . .	315
6.3.1.	Transformation der Nährelemente . . . . .	315
6.3.2.	Antransport der Nährelemente zur Pflanze . . . . .	322
6.3.3.	Nährelementauswaschung . . . . .	323
6.3.4.	Kalium . . . . .	326
6.3.5.	Phosphor . . . . .	331
6.3.6.	Stickstoff . . . . .	334
6.3.7.	Weitere Makronährelemente . . . . .	336
6.3.8.	Mikronährelemente . . . . .	338
6.4.	Bodengefüge und mechanische Eigenschaften . . . . .	340
6.4.1.	Gefügeformen . . . . .	340
6.4.2.	Das Porensystem . . . . .	344

6.4.3.	Gefügemetamorphose . . . . .	348
6.4.4.	Konsistenz . . . . .	357
6.4.5.	Festigkeitseigenschaften . . . . .	361
6.5.	Bodenwasser- und Bodenluftregime . . . . .	366
6.5.1.	Wasserzufuhr und Wasserverlust . . . . .	366
6.5.2.	Beurteilung der Wasserverhältnisse im Boden . . . . .	368
6.5.3.	Wasserbindung im Boden . . . . .	372
6.5.4.	Bodenwasserpotential . . . . .	377
6.5.5.	Bewegung des Bodenwassers . . . . .	378
6.5.6.	Verfügbarkeit des Bodenwassers . . . . .	387
6.5.7.	Bodenluft und Gasaustausch . . . . .	392
6.5.8.	Bodenfeuchtegang mit Grenzwerten des Wasser- und Luftgehaltes . . . . .	394
6.6.	Energieumsatz im Boden . . . . .	400
6.6.1.	Energieformen . . . . .	400
6.6.2.	Wärmebilanz an der Grenze Atmosphäre/Pedosphäre . . . . .	401
6.6.3.	Wärmeumsatz im Boden . . . . .	402
6.6.4.	Bodenfrost . . . . .	407
	<b>Literaturauswahl . . . . .</b>	<b>410</b>
	<b>Sachwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>427</b>



# 1. Einführung in die Bodenkunde

## 1.1. Gegenstand und Aufgaben der Bodenkunde

Vor der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft der DDR steht die Aufgabe, die Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsgütern aus eigenem Aufkommen kontinuierlich weiter zu verbessern. Dabei sind Kräfte und Mittel vorrangig auf die Intensivierung der Pflanzenproduktion zu konzentrieren. Voraussetzung für hohe und stabile Erträge ist der schrittweise Übergang zu industriemäßigen Verfahren in spezialisierten Betrieben der Pflanzenproduktion. Als wichtigste Basis der pflanzlichen Stoffproduktion muß der Boden angesehen werden. Seine effektive Nutzung bleibt daher nach wie vor eine vordringliche Aufgabe.

Boden steht nur in begrenztem Umfang zur Verfügung. In der Verfassung der DDR wird im § 15 (1) gesagt: „Der Boden der Deutschen Demokratischen Republik gehört zu ihren kostbarsten Naturreichtümern. Er muß geschützt und rationell genutzt werden.“ Dieser Aufgabe nachzukommen, erfordert nicht nur eine sachgemäße Behandlung und Nutzung des Bodens, sondern auch ein hohes Maß an Wissen über ihn sowie an Können und Erfahrungen im Umgang mit ihm. Die Bodenkunde als die Wissenschaft vom Boden kann dazu einen wesentlichen Beitrag liefern.

### Das Wesen des Bodens

*Boden* ist die im Oberflächenbereich der Gesteine durch den Einfluß von Klima, Vegetation, Bodenfauna/Mikroflora, Relief und unter Einwirkung des Menschen während eines bestimmten Zeitraumes entstandene Umwandlungszone mit neuen charakteristischen Eigenschaften gegenüber dem Ausgangsgestein. Auf Grund der ihm eigenen Entwicklung und der typischen vertikalen und horizontalen Differenzierung ist der Boden ein Naturkörper besonderer Art. Er läßt sich unter verschiedenen Gesichtspunkten definieren:

- *stofflich* als Dreikomponentengemisch aus festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen
- *physiko-chemisch* als offenes, dreiphasiges, polydisperses, oberflächenaktives System
- *ökologisch* als belebtes System, d. h. als Lebensraum für Bodentiere und Bodenmikroorganismen sowie als Standort für die Pflanze
- *räumlich* als Ausschnitt aus der Bodendecke

Untersuchungsgegenstand der Bodenkunde ist der Boden allein als integraler Bestandteil der Bodendecke. Unter Bodendecke versteht man die Gesamtheit der Böden, die einen Naturraum bedecken. Sie ist etwa gleichbedeutend mit *Pedosphäre*, dem Durchdringungsbereich von Atmosphäre (Lufthülle), Biosphäre (lebenserfüllte Zone: Vegetation und Fauna), Hydrosphäre (Wasserhülle) und Lithosphäre (Gesteinsmantel). Während in dem ersten Begriff die Betrachtungsweise der inneren Komplexität dominiert, wird im zweiten mehr die räumliche Stellung als Stockwerk der Geosphäre zum Ausdruck gebracht. Die *Pedosphäre* ist ein Teil der Landschaft.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß sich bei der naturwissenschaftlichen Definition des Bodens zwei Betrachtungsweisen überlagern, der vertikale und der horizontale Aspekt. Der vertikale Aspekt betrifft den Horizont- und Schichtaufbau, deren zusammenfassende

Kennzeichnung durch Bodentyp und Substrattyp (Bodenform) vorgenommen wird. Der horizontale Aspekt bezieht sich auf die Ausbildung, d. h. auf die Struktur der Bodendecke deren zusammenfassende Kennzeichnung über verschiedene Standorteinheiten erfolgt. Für die Gesellschaft ist der Boden das Hauptproduktionsmittel der Land- und Forstwirtschaft. Er dient der Erzeugung von Nahrungsgütern und der Gewinnung von Rohstoffen für die Industrie. Außerdem wird er als Baugrund genutzt und ist ein wichtiger Wasserspeicher. Der Boden als Teil unserer natürlichen Umwelt ist zugleich Bezugsbasis unseres Lebensraumes. Weiterhin ist der Boden Auffangraum für viele Abfallstoffe, wobei seiner Sanierungsfunktion durch Abbindung von Schadstoffen besondere Bedeutung zukommt.

Als *Produktionsmittel* weist der Boden bestimmte Besonderheiten auf. Er ist

- ein Naturprodukt und erst durch die systematische Einwirkung des Menschen zum Arbeitsmittel und -gegenstand geworden,
- unbeweglich und räumlich begrenzt,
- durch ein anderes Produktionsmittel in größerem Umfang nicht ersetzbar,
- mit einem unterschiedlichen Gebrauchswert (auch als Fruchtbarkeit bezeichnet) behaftet, der sich nicht wie bei Maschinen einfach abnutzt, sondern bei sorgfältiger Behandlung erhöht (K. Marx: „... Die Erde dagegen, richtig behandelt, verbessert sich fortwährend.“).

Arbeitsmittel ist der Boden, weil seine natürlichen Eigenschaften vom Menschen genutzt werden; Arbeitsgegenstand, weil der Mensch mit seinen Erfahrungen aktiv auf ihn einwirkt und ihm damit das Pflanzenwachstum fördernde Eigenschaften verleiht.

### **Bodenkunde als selbständige Fachdisziplin**

Die Bodenkunde als selbständige Fachdisziplin ist noch verhältnismäßig jung. Längere Zeit galt sie als Hilfswissenschaft der Geologie und Agrikulturchemie. Erst in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurde durch die Arbeiten von *Fallou* (1795–1877) und *Ramann* (1851–1926) in Deutschland, *Dokutschajew* (1846–1903) und *Sibirzev* (1860–1900) in Rußland sowie *Hilgard* (1833–1916) in den USA der Grundstein für eine neue Disziplin gelegt.

Bodenkunde ist die Lehre vom Aufbau, der Entwicklung, der Klassifikation und der Verbreitung der Böden. Sie befaßt sich mit den Eigenschaften der Böden, den in ihnen ablaufenden Prozessen, den Möglichkeiten ihrer Nutzung und Verbesserung für die menschliche Gesellschaft. Der Begriff *Pedologie* (grch., Lehre vom Boden) ist nicht unbedingt gleichbedeutend mit Bodenkunde, er ist enger gefaßt und bezieht sich im wesentlichen auf die allgemeine Bodenkunde als Grundlage der angewandten Bodenkunde.

Man kann die Bodenkunde in Anlehnung an andere naturwissenschaftliche Disziplinen in die Gebiete Bodenchemie, Bodenphysik, Bodenbiologie, Bodenmineralogie, Bodengeographie, Bodengeologie u. a. unterteilen. Erfolgte eine Aufgliederung ausschließlich in dieser Art, würde man der Bodenkunde mehr den Charakter einer Hilfswissenschaft verleihen, was sie heute durchaus nicht mehr ist. Die Bodenkunde hat in den vergangenen Jahrzehnten ein *eigenständiges Profil* bekommen. Wenn sie in verschiedene Disziplinen einbezogen ist, kommt darin neben ihrem eigenen zentralen Konzept zusätzlich der Charakter eines Grenzgebietes zum Ausdruck. Wichtigstes Ziel der Bodenkunde bleibt es, für die Landwirtschaft und Forstwirtschaft, aber auch für die Landschaftsforschung, Umweltforschung, Wasserwirtschaft und andere Zweige der Volkswirtschaft wesentliche Grundlagenerkenntnisse über den Boden zu vermitteln.

Zentrales Anliegen der Bodenkunde ist heute die Untersuchung, Kennzeichnung und Beurteilung der Böden. Es lassen sich verschiedene Disziplinen bzw. Wissensgebiete unterscheiden:

- *Bodenmorphologie*: Wissenschaft vom Aufbau der Böden
- *Bodenanalytik*: Wissenschaft von den Verfahren der chemischen, physikalischen, biologischen und mineralogischen Untersuchung der Böden
- *Bodenkartierung*: Erfassung und kartographische Darstellung der flächenmäßigen Verbreitung der Böden

- **Bodengenetik:** Wissenschaft von der Entstehung, Entwicklung und Geschichte der Böden einschließlich ihrer verwandtschaftlichen Beziehungen
- **Bodenmetabolik:** Wissenschaft von den im Boden ablaufenden Prozessen
- **Bodensystematik:** Wissenschaft von der Gliederung und Ordnung der Böden nach naturwissenschaftlichen (profilbezogene Ordnung = Bodensystematik, flächenbezogene Ordnung = Standortklassifikation) und praxisrelevanten (Eignungsklassifikation) Gesichtspunkten
- **Bodengeographie:** Wissenschaft von der Beschreibung der Struktur der Bodendecke und der Verbreitung der Böden
- **Bodeninformatik:** Wissenschaft von den Methoden der Informationsbereitstellung auf dem Gebiet der Bodenkunde, d. h. der Struktur, Eigenschaften und Technologie bodenbezogener Fakteninformationen unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes der EDV
- **Bodenbonitur:** Bewertung der Böden
- **Bodendiagnostik:** Wissenschaft vom Erkennen der Böden hinsichtlich ihrer ackerbaulichen und technologischen Eignung, ihrer Belastbarkeit, ihrer Verbesserung und Nutzung

Eines der wichtigsten Ziele der Bodenuntersuchung und -kennzeichnung ist die **Bodenbeurteilung**. Unter Bodenbeurteilung versteht man die Ableitung einer Aussage zur Behandlung und Nutzung des Bodens durch Kopplung von Bodenmerkmalen und -eigenschaften mit den gesellschaftlichen Anforderungen an die Bodenfruchtbarkeit (Nutzungsanforderungen), wobei die Bedingungen der industriemäßigen Pflanzenproduktion besonders zu beachten sind. Bei der Bodenbeurteilung (Bonitur, Diagnostik) kommt der angewandte Charakter der Bodenkunde als Grenzgebiet zu anderen Bereichen der Bodenfruchtbarkeitsforschung am stärksten zum Ausdruck. Im übertragenen Sinne kann man sagen, daß in bezug auf die Behandlung der Böden im Rahmen der Bodenkunde die Diagnose gestellt, im Rahmen des Ackerbaus und der Melioration die Therapie durchgeführt wird. Da die einzelnen Zweige der Bodenkunde nicht immer streng voneinander zu trennen sind, wurde im vorliegenden Buch eine kombinierte Form der Darstellung des bodenkundlichen Stoffgebietes gewählt. Auf diese Weise konnten Zusammenhänge verständlicher interpretiert und Schwerpunkte deutlicher herausgearbeitet werden.

## 1.2. Komplexeigenschaft Bodenfruchtbarkeit

### Inhalt des Begriffes Bodenfruchtbarkeit

Die wichtigste komplexe Eigenschaft des Bodens ist seine Fruchtbarkeit. Der Inhalt des Begriffes wurde durch eine Arbeitsgruppe der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR für die Bedingungen der industriemäßigen Pflanzenproduktion neu definiert (Kundler, 1976). Danach ist Bodenfruchtbarkeit „*die Eignung des Bodens für die Pflanzenproduktion*“. Sie beruht auf den drei grundlegenden Funktionen des Bodens (s. S. 14). Die Fruchtbarkeit der Kulturböden ist natur- und kulturbedingt, d. h., sie „basiert auf Naturfaktoren und wird maßgeblich durch den Entwicklungsstand der Produktivkräfte und Produktionsverhältnisse der Gesellschaft bestimmt“. Ökonomisch schließt die Bodenfruchtbarkeit immer Relationen zum gegebenen Entwicklungsstand von Wissenschaft und Technik ein. „Sie kommt in enger Wechselbeziehung mit der Witterung, den Pflanzenarten und -sorten sowie den Produktionsverfahren zur Wirkung und muß deshalb im Zusammenhang mit ihnen beurteilt und gestaltet werden. In der industriemäßig produzierenden sozialistischen Landwirtschaft besitzt der Boden hohe Fruchtbarkeit, wenn er eine effektive Produktion stabil hoher Erträge guter Qualität bei Spezialisierung der Pflanzenproduktion und Einsatz leistungsfähiger Maschinensysteme ermöglicht.“

Bodenfruchtbarkeit schließt die Wirkung klimatischer Faktoren mit ein. Aus diesem Grunde würde die Bezeichnung Standortfruchtbarkeit den Sachverhalt besser treffen. Da der Name Bodenfrucht-

barkeit aber seit Jahrzehnten bereits eingebürgert ist, herrscht Einigkeit darüber, ihn auch in diesem umfassenden Sinne weiter zu verwenden.

Es gibt eine Reihe spezieller Termini, die eine weitere Differenzierung des Begriffs Bodenfruchtbarkeit zum Ausdruck bringen. Auf die Bedeutung von *natur-* (natürlicher) und *kulturbedingter* (kultürlicher) Bodenfruchtbarkeit kann hier nur hingewiesen werden.

Zweckmäßig erscheint weiterhin die Unterscheidung von potentieller und effektiver Bodenfruchtbarkeit. *Potentielle* Bodenfruchtbarkeit ist die unter den gegebenen gesellschaftlichen und ackerbaulichen Bedingungen höchstmögliche Bodenfruchtbarkeit, *effektive* die tatsächlich erreichte. Die effektive Bodenfruchtbarkeit läßt sich am einfachsten als Relativwert ausdrücken, der den Grad der Ausschöpfung der potentiellen Bodenfruchtbarkeit widerspiegelt. Sand-Rosterden zeigen z. B. eine geringe potentielle, oft aber eine hohe effektive Bodenfruchtbarkeit. Löß-Schwarzerden hingegen haben eine hohe potentielle, manchmal aber eine geringe effektive Fruchtbarkeit. Durch einen solchen Vergleich werden bestimmte Aspekte der Bodenbehandlung und -nutzung aufgedeckt.

Die Wirkung der Bodenfruchtbarkeit im einzelnen zu quantifizieren ist nicht leicht. Über die *Bodenfruchtbarkeitskennziffern* (BFK) ist produktionsbezogen ein erfolgversprechender Ansatz vorhanden. Die Gesamtwirkung der Bodenfruchtbarkeit läßt sich nur am *Ertrag* messen. Daher muß die Beurteilung in Verbindung mit der angebauten Pflanzenart erfolgen. Es empfiehlt sich, sowohl die wirtschaftlich verwertbaren Produkte als auch die gesamte erzeugte Pflanzenmasse zur Messung heranzuziehen. Die Angabe von Mittelwert und Streuung des Ertrages ist gleichermaßen wichtig, da sowohl Ertragshöhe als auch Ertragsicherheit bestimmende Kriterien sind.

#### **Fruchtbarkeitsbestimmende Funktionen des Bodens**

Bodenfruchtbarkeit ist entsprechend der o. g. Definition ein komplexer Ausdruck für alle das Pflanzenwachstum unmittelbar und mittelbar, positiv und negativ beeinflussenden chemischen, mineralogischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften des Bodens innerhalb eines bestimmten Klimas. Verständlicher läßt sich die Bodenfruchtbarkeit über ihre Wirkungen beschreiben. In dieser kommen drei grundlegende Funktionen des Bodens zum Ausdruck (Kundler, 1976):

- die Versorgung der Kulturpflanzen mit lebensnotwendigen Stoffen
- die phytosanitäre Regulation und
- die technologische Eignung

Die *Versorgungsfunktion* des Bodens ist bei den heute in der Landwirtschaft der DDR üblichen Intensivierungsmaßnahmen vorwiegend von seinem *Transformationsvermögen* abhängig. Der Boden, als Transformator gesehen, beinhaltet die Fähigkeit, von außen erfolgende Zuführungen (Niederschlag, Luftsauerstoff, Energie) und Aufwendungen (Düngung, Bewässerung, Melioration) einzeln oder in Kombination in Ertrag umzusetzen. Von besonderer Bedeutung sind die unmittelbaren fruchtbarkeitsbestimmenden Vorgänge im Boden wie z. B. Umwandlung, Speicherung und Transport von Nährelementen, Speicherung und Transport von Bodenwasser. Das Transformationsvermögen wird beeinflusst durch bestimmte Aufwendungen, wie Bodenbearbeitung, Düngung, Wasserregulierung, Bodenimpfung usw. Je günstiger die Transformation abläuft, um so höher ist auch der Wirkungsgrad unserer Aufwendungen, d. h. um so fruchtbarer der Boden. In Tabelle 1/1 sind die mit dem Transformationsvermögen des Bodens verbundenen fruchtbarkeitsbestimmenden Vorgänge zusammenfassend dargestellt. Eine besondere Stellung nehmen dabei die *Speichersubstanzen* des Bodens ein. Entscheidend ist ein ausgeglichenes Speichervermögen für alle pflanzennotwendigen Stoffe. Hier findet noch, zumindest sinngemäß, das *Liebigsche Minimumgesetz* seinen Niederschlag (s. Abb. 1/1).

Die *phytosanitäre Regulation* im Boden bezieht sich insbesondere auf seine biologische Aktivität, auf sein Vermögen, schädliche Stoffe abzubauen und eine Anreicherung von Schaderregern zu verhindern. Mit zunehmender Anbaukonzentration im industrie-

mäßig produzierenden Pflanzenproduktionsbetrieb wird die Bedeutung dieser Bodenfunktion immer größer.

Die technologische Eignung des Bodens umfaßt alle Eigenschaften des Bodens, von denen der Einsatz moderner, leistungsfähiger Maschinen beeinflusst wird. Es geht darum,

Tabelle 1/1

Mit dem Transformationsvermögen verbundene fruchtbarkeitsbestimmende Vorgänge im Boden

Substanzen / Transformationsvorgänge	pflanzennotwendige Stoffe					
	anorganisch gebundene Nährelemente	organisch gebundene Nährelemente	Luftstickstoff	Sauerstoff	Wasser	Energie
Ausgangssubstanzen	Bodenminerale Mineraldünger	Pflanzenrückstände Organische Dünger	Atmosphäre	Niederschläge	Grundwasser	kurz- und langwellige Strahlung
Überführungsvorgänge	Verwitterung (Lösung)	Mineralisierung	Gasaustausch	Versickerung	Kapillaraufstieg	Wärmetransport
Kontaktmittel zur Pflanze	Verwitterung	Bodenlösung	Humifizierung	Bodenluft	nutzbares Bodenwasser	Bodenraum
Speicher-, Vermittlungsvorgänge	Eintausch Fixierung	Austausch Lösung	Mineralisierung Festlegung	Luft-N-Bindung	Wasserbewegung	Wärmeleitung
Speichersubstanzen	----- Kolloide ----- schwerlösliche	Salze	Bodenorganismen	Humus	Grobporen Mittelporen	Bodenwasser Bodensubstanz

Speichervermögen

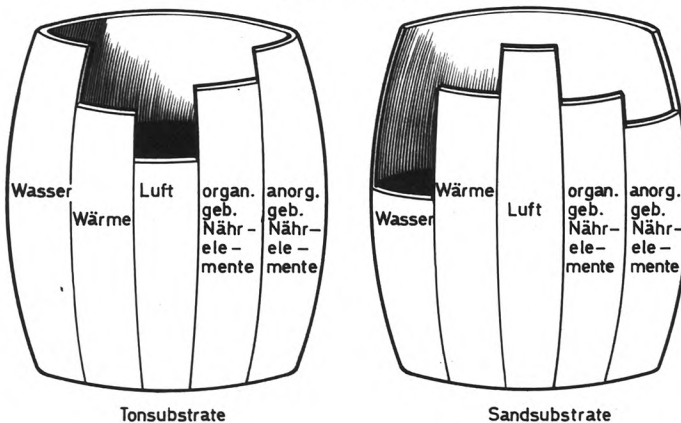


Abb. 1/1 Vereinfachte Darstellung der Wirkung im Minimum befindlicher Wachstumsfaktoren im Boden am Beispiel des Speichervermögens von Ton- und Sandsubstrat

den industriemäßig organisierten Ablauf der Arbeiten in der Pflanzenproduktion zu gewährleisten. Die technologische Eignung wird vorrangig durch die Körnungsart, Gefügestand und Steingehalt des Bodens sowie durch Struktur und Oberflächengestaltung der Bodendecke bestimmt.

Alle Eigenschaften des Bodens, die mittel- oder unmittelbar die Bodenfruchtbarkeit beeinflussen, werden als fruchtbarkeitsbestimmende Bodeneigenschaften bezeichnet. Sie können in fruchtbarkeitsbegünstigende und fruchtbarkeitsbegrenzende unterteilt werden. Von besonderem Interesse sind die *fruchtbarkeitsbegrenzenden* (leistungsbegrenzenden) Eigenschaften, weil sie als Störfaktoren die Erträge landwirtschaftlicher Kulturpflanzen mindern können. Zur Quantifizierung der Bodenfruchtbarkeit im Hinblick auf die Ausarbeitung von Rahmenlösungen für die Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit werden die bereits genannten Bodenfruchtbarkeitskennziffern herangezogen, die als Ist- und Sollgrößen die wichtigsten fruchtbarkeitsbestimmenden Bodeneigenschaften widerspiegeln. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß für die Erzeugung hoher Pflanzenerträge folgende Bedingungen gegeben sein müssen:

- ausreichende Nährelementmengen in pflanzenaufnehmbarer Form
- günstige Feuchtigkeits-, Durchlüftungs- und Temperaturbedingungen
- tiefgründiger, mäßig lockerer Wurzelraum
- Abwesenheit von pflanzenschädigenden Stoffen und Pflanzenschädlingen

Im Hinblick auf die Technik-Einsatzbedingungen bei industriemäßigen Produktionsverfahren sind folgende Voraussetzungen notwendig:

- günstiger Gefügestand mit geringer Neigung zur Verdichtung und Klutenbildung
- geringer Steinbesatz
- geringer Roll- und Zugwiderstand für Fahrzeuge und Geräte
- möglichst ausgeglichene Boden- und Reliefverhältnisse

### **Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit**

Unter Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit versteht man die Wiederherstellung und systematische Verbesserung der bodenfruchtbarkeitsbestimmenden Eigenschaften des Bodens entsprechend den Anforderungen der Pflanzenproduktion (Kundler, 1976). Sie umfaßt die ackerbaulichen Maßnahmen und Meliorationen. Ihrem Wesen nach handelt es sich um eine erweiterte Reproduktion, die die einfache Reproduktion mit einschließt. Die Wiederherstellung der Bodenfruchtbarkeit auf das Ausgangsniveau einschließlich Ersatz der durch die Pflanzenproduktion und durch natürliche Prozesse verlorengegangenen Nährelemente, organischen Substanzen und Bodeneigenschaften bedeutet Erhaltung oder *einfache Reproduktion*. Die darüber hinausgehende Verbesserung ist Inhalt der Erhöhung oder *erweiterten Reproduktion* der Bodenfruchtbarkeit.

Zur Sicherung der Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit werden Rahmenlösungen erarbeitet. Sie sollen in der mit industriemäßigen Methoden produzierenden Landwirtschaft zu einer wesentlichen Steigerung der Erträge und zur Effektivität der Pflanzenproduktion beitragen. Im einzelnen sind sie durch aufeinander abgestimmte ackerbauliche und meliorative Verfahren bestimmt, die auf die erforderliche Intensität der Pflanzenproduktion und auf die natürlichen Standortbedingungen ausgerichtet sind.

Die Rahmenlösungen umfassen somit alle

- fruchtbarkeitserhaltenden,
- fruchtbarkeitsfördernden,
- fruchtbarkeitsergänzenden und
- fruchtbarkeitsersetzenden

Maßnahmen unter den spezifischen Bedingungen der industriemäßigen Pflanzenproduktion. Am effektivsten ist zunächst immer die volle Ausschöpfung der vorhandenen Boden-

fruchtbarkeit. Deshalb sind nach wie vor die Fruchtbarkeitserhaltenden und -fördernden Maßnahmen so wichtig. Ihre Durchführung in bester Qualität ist gleichbedeutend mit hoher Ackerkultur. Maßnahmen zur Ergänzung (z. B. Mineraldüngung mit ungeteilten Gaben) und Ersetzung (z. B. stadiengerechte Nährelementberegnung) der Bodenfruchtbarkeit erfordern einen hohen Aufwand, sind aber entscheidende Maßnahmen zur weiteren Steigerung und Stabilisierung der Erträge.

### 1.3. Der Bodenfonds der DDR und seine rationelle Nutzung

Da das Hauptproduktionsmittel der Landwirtschaft, der Boden, seinem Umfang nach nicht vermehrt werden kann, ist es erforderlich, so rationell wie möglich mit ihm umzugehen. Aus diesem Grunde gewinnt der Schutz des Bodens in der DDR immer mehr an Bedeutung. Auf staatlicher Ebene wurde eine Reihe von Gesetzen und Verordnungen erlassen, die den rechtlichen Schutz gegen eine unzweckmäßige Nutzung und Behandlung des Bodens sichern. Davon sind die folgenden besonders wichtig:

- Bodennutzungsverordnung vom 26. Februar 1981 (GBL. S. 105)
- Verordnung über Bodennutzungsgebühr vom 26. Februar 1981 (GBL. S. 116): Ackerland kostet 60 bis 400 TM/ha, Grünland 35 bis 250 TM/ha

Tabelle 1/2

Aufgliederung der Wirtschaftsfläche der DDR nach Nutzungsarten (Statistisches Jahrbuch der DDR 1975)

Nutzungsart	Flächen [Tha]				Relative Änderung [%]	
	1951	1962	1970	1974	1951 → 70	1970 → 74
Landw. Nutzfläche	65,46	63,91	62,86	62,91	– 4,0	+ 0,1
davon Ackerland	50,37	47,61	46,18	46,63	– 8,3	+ 1,0
Grünland	12,85	14,22	14,69	14,00	+ 14,3	– 4,7
Forsten u. Holzungen	29,38	29,54	29,48	29,51	+ 0,3	+ 0,1
Ödland, Unland	} 3,03	2,33	2,29	2,21		
Abbauland		0,50	0,75	0,76		
Wasser	2,25	2,06	2,11	2,15		

Tabelle 1/3

Umfang des durch den Braunkohlenbergbau bedingten Flächenwechsels in der DDR (nach K. Werner 1973, 1978)

Nutzungsart	bis 1971		1971 bis 1975	
	Entzug	Wiedereingliederung	Entzug	Wiedereingliederung
	[Tha]	[Tha]	[Tha]	[Tha]
Landwirtschaftliche Nutzflächen	49,02	16,47	7,86	4,36
Forstwirtschaftliche Nutzflächen	29,44	20,03	5,31	5,52
Sonstige Nutzflächen	6,18	4,02	1,11	3,47
Nutzflächen insgesamt	84,64	40,52	14,28	13,35

– *Landeskultugesetz* vom 14. Mai 1970 (GBl. I S. 67): § 17 Zielsetzung, § 18 Nutzung des Bodens und Nutzungspflicht, § 19 Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit, § 20 Schutz des Bodens vor Schadwirkung durch Wind und Wasser, § 21 Schutz vor ungerechtfertigtem Entzug

– *Berggesetz* vom 12. Mai 1969 (GBl. I S. 29): § 13 bis 17 Grundsätze für die Wiederurbarmachung

– *Rekultivierungsanordnung* vom 23. Februar 1971 (GBl. II S. 245)

Durch diese Gesetze und Verordnungen wird der Bodenfonds besonders vor Vergeudung bei Bau- und industriellen Vorhaben geschützt.

Die ständige Kontrolle des Bodenfonds der DDR erfolgt im Liegenschaftskataster und im Wirtschaftskataster. Das *Liegenschaftskataster* ist ein Flächennachweis auf der Basis der Gemeinde, das *Wirtschaftskataster* auf der Basis von Betrieben. Die Liegenschaftsdaten sind zusammenfassend für das Gebiet der DDR auch in der Gemeindedatei (GEMDAT) des Datenspeichers Boden (DABO) enthalten.

Die *Wirtschaftsfläche* des Bodenfonds der DDR umfaßte im Jahre 1974 insgesamt 10833 Tha. Innerhalb derselben wiesen die einzelnen Nutzungsarten in den letzten 2,5 Jahrzehnten den in Tabelle 1/2 wiedergegebenen Umfang auf. Die weitere Erhaltung des Bodenfonds wird besonders durch staatliche Maßnahmen gefördert. Im *Landeskultugesetz* von 1970, Abschnitt III, wird nicht nur der Schutz des Bodens vor Schädigungen, sondern auch vor ungerechtfertigtem Entzug festgelegt. Nicht zuletzt deshalb zeigte das Jahr 1970 eine Zäsur im Flächenrückgang an LN und Ackerland. Während bis 1970 eine stete Abnahme zu verzeichnen war, ist seitdem eine deutliche Stabilität eingetreten.

Von besonderem Interesse ist der Umfang der Rekultivierungsfläche, der sich aus dem Flächenwechsel, bedingt durch Entzug und Wiedereingliederung (Wiederurbarmachung) im Rahmen des Braunkohlenbergbaus, ergibt. Für den Zeitraum bis 1971 und von 1971 bis 1975 sind die Ab- und Zugänge in Tabelle 1/3 zusammengestellt. Aus den Angaben geht hervor, daß in den Jahren 1971 bis 1975 der Flächenumfang der Wiedereingliederung fast den des Entzuges erreicht hat. Damit ist das System der Rekultivierung so gut ausgebaut worden, daß, summarisch gesehen, kaum noch Flächenverluste durch den Braunkohlenbergbau auftreten.



## 2. Aufbau des Bodens und der Bodendecke

### 2.1. Zusammensetzung des Bodens

Der Boden ist ein Gemisch aus festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen. Ihre Anteile gehen aus Abbildung 2/1 hervor. Im einzelnen handelt es sich um:

- *Mineralische Bestandteile*: Gesteinsfragmente (Skelett), Körner verschiedener Größe (Sand, Schluff, Ton), amorphkristalline Substanzen (z. B. Silizium-, Aluminium- und Eisenoxide, Salze)
- *Organische Bestandteile*: abgestorbene und in Zersetzung befindliche Pflanzenrückstände, bodeneigene organische Stoffe (Humus), Bodenlebewesen, lebende Pflanzenwurzeln
- *Bodenlösung*: Bodenwasser mit den darin gelösten Nähr- und anderen Elementen
- *Bodenluft*: Sauerstoff, Stickstoff und Kohlendioxid in Gasform

Die erstgenannten Bestandteile zählen zur festen Bodensubstanz, die anderen zum flüssigen bzw. gasförmigen Bodenvolumen. Die mineralischen Bodenbestandteile bilden das Gerüst des Bodens. Physikalisch kann man sie als Körner beschreiben, die unterschiedliche Größen aufweisen. Einer der wichtigsten Kennwerte des Bodens ist daher seine *Korngrößenzusammensetzung* (s. Kap. 2.3.). Die flüssigen und gasförmigen Bestandteile füllen die Hohlräume (Poren) des Bodens aus. Durch Größe und Dimension der Poren werden die Anteile an Wasser und Luft bestimmt.

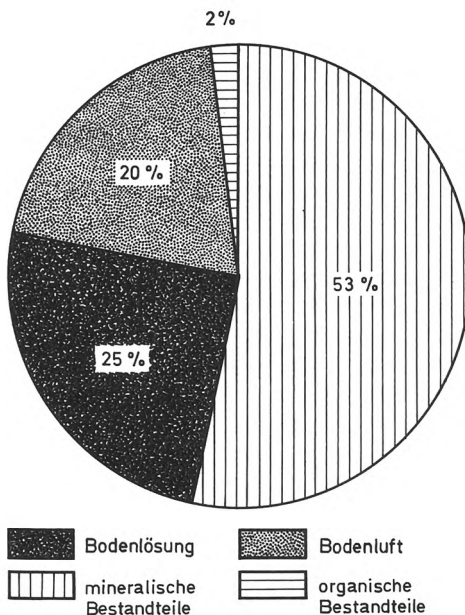


Abb. 2/1  
Kreisdiagramm der Hauptbestandteile des Bodens in M.-%

## 2.2. Die vertikale und horizontale Differenzierung der Bodendecke

Die Beurteilung des Bodens erfolgt im Gelände anhand von Bodeneinschnitten (Bodenaufschlüsse: Gruben, Schürfe, Gräben). Die im senkrechten Bodenanschnitt freigelegte Seitenansicht wird als *Bodenprofil* bezeichnet. An ihm ist die vertikale Differenzierung des Bodens zu erkennen. Horizontale Differenzierungen sind aus Schurfreihen und Längsprofilen zu erschließen.

### Bodenmächtigkeit und Gründigkeit

Die Untergrenze des Bodens liegt dort, wo das von der Bodenbildung nicht erfaßte Ausgangsgestein beginnt. Aus dem Abstand von Bodenoberfläche zu Untergrenze leitet sich die *Bodenmächtigkeit* ab, die als Resultat der Bodenbildung anzusehen ist. Sie kann sehr unterschiedlich sein. In unserer Breite wurden Mächtigkeiten von etwa 3 bis 15 dm erreicht.

Die Böden haben sich über Festgesteinen (Fels) oder aus Lockergesteinen (z. B. Sand, Löß) entwickelt. Bei Festgesteinen wird die Mächtigkeit der verwitterten Lockerschicht als *Gründigkeit* bezeichnet. Die Untergrenze ist dort anzusetzen, wo der Fels oder eine darüber liegende steinreichere Lage Bearbeitung und Durchwurzelung stärker behindern. Bei Lockergesteinen sollte der Begriff *Gründigkeit* nur dann angewendet werden, wenn innerhalb des Bodens ein verdichteter oder wurzelbehindernder Horizont auftritt. In solchen Fällen bezieht sich *Gründigkeit* auf den Lockerbereich oberhalb des wurzelbehindernden Horizontes.

Die Angabe der Gründigkeit erfolgt nach der Stärke der leicht durchwurzelbaren Zone:

< 2 dm	sehr flachgründig	8 bis 12 dm	tiefgründig
2 bis 4 dm	flachgründig	> 12 dm	sehr tiefgründig
4 bis 8 dm	mittelgründig		

Zwischen Gründigkeit und Mächtigkeit der Ackerkrume besteht eine Beziehung in der Form, daß flachgründige Böden oft gleichzeitig auch flache Ackerkrumen besitzen. Die Erschließung des Unterbodens ist bei flachgründigen Böden schwieriger als bei tiefgründigen Böden.

### Gliederung in Schichten und Horizonte

Bei jedem Bodenprofil kann man verschiedene Lagen übereinander erkennen. Diese Lagen können Substratschichten, kurz Schichten genannt, oder Horizonte sein.

Schichten sind Lagen, die durch geologische Vorgänge entstanden sind, das gleiche Material (Substrat) aufweisen und mindestens 2 dm mächtig sind. Sie können durch Lagen andersartigen Materials begrenzt werden. Schichten bestehen z. B. aus Kies, Ton, Löß, Festgestein oder anderem Material. Bleibt das Material bis 15 dm Tiefe gleich, spricht man bei der landwirtschaftlichen Bodenkennzeichnung von einem einschichtigen Substrat. Wechselt es oberhalb 15 dm, so liegt ein zwei- oder mehrschichtiges Substrat vor.

Horizonte sind Lagen, die durch bodenbildende Vorgänge entstanden sind oder durch die Bodenkultur hervorgerufen wurden. Sie zeigen vielfach einen oberflächenparallelen Verlauf. Ein Boden weist wenigstens zwei, i. d. R. jedoch mehrere Horizonte auf. Der bekannteste Horizont ist die Ackerkrume (Ap-Horizont).

Nach der Tiefenlage der Horizonte im Profil wird unterschieden zwischen:

- *Oberboden*: Sammelbegriff für die an der Oberfläche liegenden humosen Horizonte, identisch mit den A-Horizonten
- *Unterboden*: Sammelbegriff für die im mittleren und unteren Teil des Bodens liegenden Horizonte, identisch insbesondere mit den B-Horizonten
- *Untergrund*: unterhalb des Bodens liegendes, weitgehend unverändertes Substrat, identisch mit dem C-Horizont

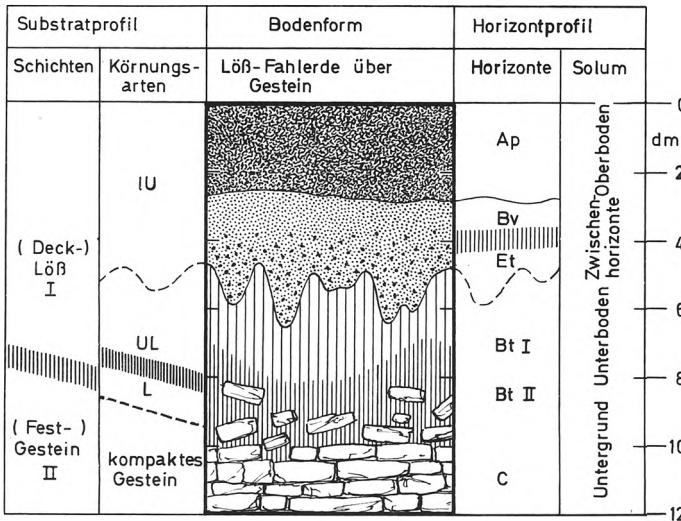


Abb. 2/2  
Schematische Darstellung eines Bodenprofils am Beispiel einer Löß-Fahlerde über Gestein

Ober- und Unterbodenhorizonte bilden den von der Bodenbildung geprägten Teil des Substrats, den man auch *Solum* nennt.

Die Schichtenabfolge eines Profils ergibt das Substratprofil, die Horizontabfolge das Horizontprofil (s. Abb. 2/2). Beim Substrat unterscheidet man:

- *Ausgangssubstrat*: unverändertes Material, aus dem sich der Boden entwickelt hat
- *Bodensubstrat*: Material, in dem sich der Boden entwickelte bzw. entwickelt
- *Untergrundsubstrat*: im Untergrund anstehendes Material, aus dem sich der Boden nicht entwickelt hat

Das Substratprofil bildet die Grundlage für die Kennzeichnung der Böden nach Substrattypen, das Horizontprofil für die Kennzeichnung der Böden nach Bodentypen (vgl. Hauptabschn. 4.). Die Kombination von Substrattyp und Bodentyp ergibt die Bodenform. Bodenformen sind wichtige Einheiten zur umfassenden Kennzeichnung und Beurteilung der Böden nach ihrem vertikalen Aufbau. Überwiegen bei ihnen mineralische Substrate, spricht man von Mineral-, überwiegen organische Substrate, von organischen Böden.

### Struktur der Bodendecke

Die Bodendecke zeigt neben den Unterschieden in der vertikalen Erstreckung besonders in der horizontalen Ausdehnung mosaikartige Differenzierungen. Dieser *räumliche Wechsel* verschiedener Bodenqualitäten (z. B. Bodenformen) wird als Struktur der Bodendecke bezeichnet.

Großschläge der sozialistischen Landwirtschaft setzen sich i. d. R. aus mehreren, räumlich in der verschiedensten Weise miteinander verknüpften Bodenformen zusammen. Von den Eigenschaften dieser Bodenformen und der Art des Bodenmosaiks werden viele ackerbauliche Maßnahmen bestimmt, angefangen von der Bodenbearbeitung über die Bestellung bis zur Düngung. Stärkere Unterschiede sollten durch meliorative Maßnahmen ausgeglichen werden.

Die Struktur der Bodendecke wird nach der *Heterogenität* beurteilt:

- *inhaltliche Heterogenität*: Kontrast zwischen den Böden; Substratkontrast durch unterschiedliche Körnungsarten (z. B. Sand gegenüber Ton), Hydromorphiekontrast durch unterschiedliche Vernässung (z. B. starke Stauvernässung gegenüber keiner Vernässung)
- *räumliche Heterogenität*: Gestaltung des flächenhaften Bodenwechsels, d. h. Form und Größe der vergesellschafteten Bodenareale, Schärfe der Übergänge

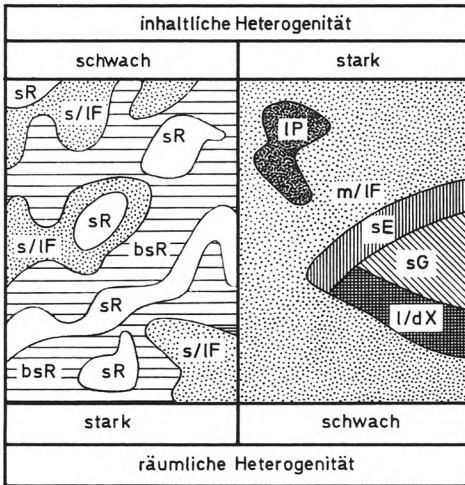


Abb. 2/3  
Grundrißdarstellung der Struktur der Bodendecke bei unterschiedlicher inhaltlicher und räumlicher Heterogenität

- |                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| sR Sand-Rosterde           | IP Lehm-Parabraunerde   |
| bsR Bändersand-Rosterde    | sG Sand-Grundgley       |
| s/IF Sandtieflehm-Fahlerde | sE Sand-Rostgley        |
| m/IF Salmtieflehm-Fahlerde | l/dX Decklehm-Amphigley |

In Abbildung 2/3 ist die Struktur der Bodendecke schematisch dargestellt. Je schärfer der Kontrast ist und je engräumiger sich der Wechsel vollzieht, um so ungünstiger ist ein solcher Standort aus landwirtschaftlicher Sicht.

### 2.3. Korngerüst der Mineralböden

Die wichtigste Einteilung des Materials von Mineralbodenstandorten ist die nach der **Körnungsart** (früher als Bodenart oder Bodentextur bezeichnet). Sie ist im wesentlichen eine Kennzeichnung nach Sand, Lehm, Schlufflehm ( $\triangle$  Löß) und Ton.

Schon A. D. Thaer (1752–1828) setzte für Hafer-, Gersten-, Weizenboden die Bezeichnungen Sand-, Lehm-, Tonboden und schuf damit eine objektivere Einteilung der landwirtschaftlich genutzten Standorte. Seit dieser Zeit ist diese Art der Bodenkennzeichnung nicht mehr aus der Bodenkunde wegzudenken. Auf ihr beruht heute auch die moderne Substratklassifikation. Die bekannte Gliederung der Böden nach der Bearbeitbarkeit, bei der leichte, mittlere und schwere Böden unterschieden werden, entspricht ebenfalls der Differenzierung in Sand-, Lehm- und Tonsubstrate.

#### 2.3.1. Körnung und Bodenskelett

##### Kornfraktionen

Jeder Mineralboden setzt sich aus unzähligen kleinen Teilchen zusammen, die man von der Form her als Körner beschreiben kann. Diese Körner weisen unterschiedliche Größen auf, man klassifiziert sie daher nach dem mittleren Durchmesser in bestimmten Intervallen. Diese Korngrößenintervalle heißen Korngrößenfraktionen oder kurz Kornfraktionen. Eine weitere Zusammenfassung ergibt die Gruppierung des Bodenmaterials in

- **Feinboden:** Material der Kornfraktionen  $\leq 2$  mm,
- **Bodenskelett:** Material der Kornfraktionen  $> 2$  mm.

Tabelle 2/1

## Grob- und Feineinteilung der Kornfraktionen

Grob-einteilung*	Fein-einteilung*	Korndurch-messer [cm]	Grob-einteilung	Fein-einteilung	Korndurch-messer [mm]
	Bodenskelett			Feinboden	
Blöcke	Großblöcke	> 200	Sand	Grobsand	2,0 – 0,63
	Kleinblöcke	200 – 63		Mittelsand	0,63 – 0,2
Steine	Großsteine	63 – 20	Schluff	Feinsand	0,2 – 0,063
	Mittelsteine	20 – 6,3		Grobschluff	0,063 – 0,02
	Kleinsteine	6,3 – 2,0		Mittelschluff	0,02 – 0,0063
Kies	Großkies/-grus	2,0 – 0,63	Ton	Feinschluff	0,0063 – 0,002
Grus	Kleinkies/-grus	0,63 – 0,20		Grohton	0,002 – 0,00063
				Mittelton	0,00063 – 0,0002
				Feinton	< 0,0002

\* im Bereich der Land- und Forstwirtschaft

Die Kornfraktionen sind standardisiert. In Tabelle 2/1 ist die Einteilung in diese Fraktionen wiedergegeben. Danach werden unterschieden: Blöcke, Steine, Kies, Sand, Schluff und Ton.

Eine genaue Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung des Feinbodens kann nur im Labor erfolgen, nachdem das Bodenskelett durch Trockensiebung abgetrennt worden ist. Dazu werden der Feinboden in einer spezifischen Lösung aufgeschlämmt und die Sandfraktionen naß abgesiebt. Die Schluff- und Tonfraktionen mißt man durch Pipettierung, wobei man sich die verschiedenen schnelle Sinkgeschwindigkeit der Bodenkörner in Flüssigkeiten auf Grund ihres unterschiedlichen Durchmessers zunutze macht. Bei einer Temperatur von 18 °C benötigt ein Grobschluffteilchen 28 sec., ein Tonteilchen hingegen mehr als 8 h, um 10 cm tief zu sinken.

### Einteilung des Bodenmaterials nach Körnungsarten

Die Einteilung des Bodenmaterials nach Körnungsarten ist eine Einteilung nach dem Anteil an Kornfraktionen bzw. nach der Korngrößenzusammensetzung. Körnungsarten werden zunächst am Feinboden angesprochen. Die Abgrenzung der Körnungsarten geht aus dem Körnungsartendreieck hervor, das in Abbildung 2/4 dargestellt ist. Dieser Einteilung liegen 3 Gruppen von Kornfraktionen zugrunde:

- Ton  $\leq$  0,002 mm
- Schluff > 0,002 bis 0,063 mm
- Sand > 0,063 bis 2,000 mm

Jedem Punkt im Körnungsartendreieck entspricht eine ablesbare Zusammensetzung des Feinbodens aus diesen drei Fraktionen.

Aus Abbildung 2/4 geht hervor, daß die Körnungsart Ton (T) einem Material mit > 50% der Kornfraktion Ton entspricht. Die Körnungsarten sandiger, lehmiger und schluffiger Ton (sT, lT, uT) umfassen Bodenmaterial mit 30 bis 50% Ton. Unterhalb von 30% Ton ist zwischen sandig-lehmigen und schluffig-lehmigen Körnungsarten zu unterscheiden, die Grenze liegt bei 50% der Kornfraktion Schluff. Schluffreiches Material wird je nach dem Tonanteil in Schlufflehm (UL), lehmigen Schluff (lU) und Schluff (U) gegliedert. In den Bereich des schluffärmeren Materials fallen nach sinkendem Tongehalt die Körnungsarten Lehm (L), sandiger Lehm (sL), stark lehmiger Sand (lS), schluffiger Sand (uS) – beide jetzt zum lehmigen Sand zusammengefaßt –, schwach lehmiger Sand (l'S) und Sand (S). Ihre Differenzierung ist um so feiner, je weniger das Material Ton enthält.

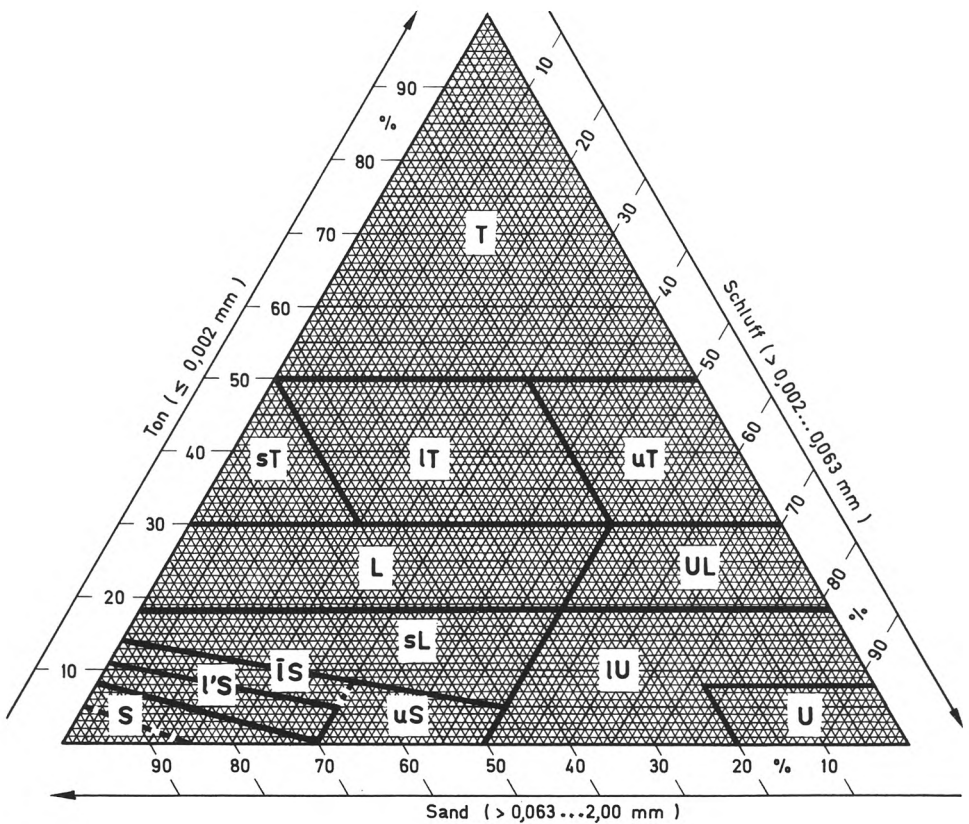


Abb. 2/4  
Dreiecksdiagramm der Körnungsarten (Körnungsartendreieck, 1975)

Körnungsarten nach TGL 24300/05		Bodenarten der Boden- schätzung	Boden- gruppen des DS 79
S	Sand	S (bis SI)	1
l'S	schwach lehmiger Sand	SI (bis IS)	
IS lehmiger Sand	i'S	stark lehmiger Sand	2
	uS	schluffiger Sand	
U	Schluff		
IU	lehmiger Schluff	SL + sL	3
sL	sandiger Lehm		
L	Lehm	L	4
UL	Schlufflehm		

Körnungsarten nach TGL 24300/05		Bodenarten der Boden- schätzung	Boden- gruppen des DS 79
uT	schluffiger Ton		
lT	lehmgiger Ton	(L bis) LT	5
sT	sandiger Ton		
T	Ton	T	

Bestimmte Körnungsarten können bei Bedarf feiner untergliedert werden. So kann die Körnungsart Sand (S) nach dem Tongehalt in kaum lehmigen Sand (früher anlehmiger Sand) und reinen Sand untergliedert werden. Bei den Körnungsarten Sand (S) und schwach lehmiger Sand (l'S) hat es sich für eine genauere Kennzeichnung als zweckmäßig erwiesen, eine weitere Unterteilung nach der vorherrschenden Größe der Sandkörner vorzunehmen. Entsprechend dem Gehalt an den Kornfraktionen Grob-, Mittel- und Feinsand wurde dafür die in Tabelle 2/2 wiedergegebene Untergliederung festgelegt.

Hinsichtlich der Wasserbewegung hat der Anteil der einzelnen Korngrößen eine besondere Bedeutung. Deshalb wird bei Sanden noch eine Einteilung nach der Anzahl der vorherrschenden Kornfraktionen angestrebt (Vetterlein, 1970):

- *Einkornsande*: eine Fraktion > 50 M.-%, die beiden anderen  $\leq$  40 M.-%
- *Zweikornsande*: eine Fraktion > 40 M.-%, die zweite > 30 M.-%, die dritte  $\leq$  30 M.-%
- *Mischkornsande*: alle übrigen Kombinationen.

Dementsprechend können die in Tabelle 2/2 angeführten Körnungsarten Fein- und Mittelsand dem Einkornsand, der Mischsand dem Zweikorn- oder Mischkornsand und der Grobsand allen dreien zugeordnet werden.

Tabelle 2/2

Weitere Differenzierung der Körnungsarten im Bereich des Sandes

Körnungsart		Anteile der Kornfraktionen [M.-%]			Ein-	Zwei-	Misch-
Bezeichnung	Symbol	Feinsand	Mittelsand	Grobsand	kornsand		
Feinsand	fS	> 50	variabel	variabel	×	—	—
schwach lehmiger Feinsand	l'fS						
Mittelsand	mS	variabel	> 50	variabel	×	—	—
schwach lehmiger Mittelsand	l'mS						
Grobsand	gS	variabel	variabel	> 25	×	×	×
schwach lehmiger Grobsand	l'gS						
Mischsand	dS	> 25—50	> 25—50	> 15—25	—	×	×
schwach lehmiger Mischsand	l'dS						

## Merkmale zur manuellen und visuellen Ansprache der Körnungsarten im Gelände

Körnungsart	Körnigkeit		Zerfallsneigung		Plastizität		
	fühlt sich zwi. den Fingern	knirscht beim Reiben	Stückprobe zerfällt	Handpreßling zerfällt	läßt sich ... kneten	Durchmesser einer Rolle	haftet
U	bei S. schwach glitzernd	stark mehlig	an O. u. Zä. meist nicht	leicht	nicht	(nicht ausrollbar)	weder an den Fingern noch an der Zunge
S	sehr gut sichtbar	stark körnig (keinen braunen Fleck hinterlassend)	am O. deutlich	sofort und vollständig			
I'S			sehr leicht	leicht			
IS	noch gut sichtbar	körnig (mit braunem Fleck)	leicht	schwer	kaum	> 10 mm; nicht biegsam	an den Fingern schwach
IU	bei S. schwach glitzernd	mehlig, zum Teil körnig	zwi. den Zä. nur vereinzelt			> 5 mm; nicht biegsam	
sL	weniger gut sichtbar	schwach körnig und staubig	am O. weniger deutlich, zwischen den Zä. deutlich	schwer	kaum	~ 5 mm; kaum biegsam	an den Fingern mäßig
L	nach Z. nur wenige sichtbar			kaum	nicht	~ 3 mm; schwach biegsam	
UL	bei S. vereinzelt glitzernd	mehlig	zwischen den Zä. nur vereinzelt			< 3 mm; gut biegsam, R. schwer	an Fingern und Zunge gut
uT		schwach mehlig, staubig	an O. u. Zä. meist nicht		sehr gut	herstellbar	



Tabelle 2/3 Fortsetzung

Merkmale zur manuellen und visuellen Ansprache der Körnungsarten im Gelände

Körnungsart	Körnigkeit		Zerfallsneigung		Plastizität
	Sandkörner	fühlt sich zw. den Fingern	knirscht beim Reiben	Stückprobe zerfällt	
sT	nach Z. einige sichtbar	staubig	zwischen den Zä. deutlich		
IT	bei S. vereinzelt glitzernd		zwi. den Zä. nur vereinzelt		
T					~ 1 mm; R. an Fingern und Zunge herstellbar sehr gut

S. = Sonnenlicht Z. = Zerreiben O. = Ohr Zä. = Zähnen R. = Ringe

## Geländeansprache der Körnungsarten

Es ist nicht immer möglich, die Bestimmung der Körnungsarten im Labor durchführen zu lassen. Von erfahrenen Kartierern können die Körnungsarten innerhalb gewisser Grenzen auch unmittelbar im Gelände geschätzt werden. In Tabelle 2/3 ist eine Kurzcharakteristik für die Ansprache der Körnungsarten zusammengestellt. Sie stützt sich insbesondere auf die Finger- und Ausrollprobe.

Mittels der Fingerprobe prüft man die Bindigkeit durch mehrmaliges Hin- und Herreiben des mäßig feuchten Bodenmaterials zwischen Zeigefinger und Daumen. Zu trockenes Material ist anzufeuchten, zu nasses durch starkes Reiben zwischen den Fingern „abzutrocknen“. Mit Hilfe der Ausrollprobe erfaßt man die Plastizität des Bodens. Das Ausrollen muß schnell erfolgen. Zuvor ist das Material gut durchzukneten. Führt man die Finger- und Ausrollprobe an zu trockenem Material durch, so wird der Boden meist als zu leicht, d. h. als zu sandig bzw. zu schluffig beurteilt. Das Knirschen in Ohrnähe oder zwischen den Zähnen hingegen muß an einer trockenen Probe geprüft werden.

Daneben ist es auch möglich, Korngrößenmessungen im Gelände vorzunehmen. Eine Feldmethode zur halbquantitativen Bestimmung des Schluff- und Tongehaltes wird mittels Fallrohr, Dispergierungsmittel und Testsand durchgeführt (Just, 1973). Sie ist einfach und erfordert nur einen geringen Zeitaufwand.

## Skelettarten und Skelettgehalt

Neben dem Feinboden wird zur Kennzeichnung der Körnungsart auch das Bodenskelett herangezogen, wobei zwischen Kies/Grus, Steinen und Blöcken zu unterscheiden ist.

Tabelle 2/4

Gliederung des Skelettanteils im Boden und seine Kennzeichnung

Anteil [Vol.-%]	Kennzeichnung der einzelnen Skelett- arten* nach Mengen- stufen		Zusammenfassende Materialkennzeichnung von Horizonten und Schichten nach der vorherrschenden Skelettart			
	Benennung	Stufe	Kies**		Steine**	
	Benennung	Stufe	Benennung	Symbol	Benennung	Symbol
≤ 0,1 > 0,1– 0,5	frei arm	0 1	} Sand	S	Sand	S
> 0,5– 2,0	schwach	2		schwach kiesiger Sand	k'S	schwach steiniger Sand
> 2,0– 5,0	mäßig	3	mäßig kiesiger Sand	kS	mäßig steiniger Sand	stS
> 5,0–10,0	stark	4	stark kiesiger Sand	k̄S	stark steiniger Sand	st̄S
> 10,0–25,0	sehr stark	5	sehr stark kiesiger Sand	k̄̄S	sehr stark steiniger Sand	st̄̄S
> 25,0–50,0	extrem stark	6	sandiger Kies	sK	sandiges Skelett	sSt
> 50,0		7	Kies	K	Skelett (Schutt, Schotter)	St

\* Kies, Grus, Steine, Schutt

\*\* Gilt sinngemäß auch für Grus/Schutt

Tabelle 2/5

Volumenbezogener Anteil an Steinen als Grundlage für die Abschätzung des Steingehaltes

Volumen- anteil [%]	Mengen- stufe	Anzahl* der Steine bei einem Durchmesser von				Steingehalt (Masse) bis 3,5 dm u. Fl. [t/ha]		
		2—6,3 cm (Kleinsteine)	6,3—20 cm (Mittelsteine)	20 <sub>a</sub> —63 cm (Großsteine)				
		an der Ober- fläche [Stück/m <sup>2</sup> ]	an der Ober- fläche [Stück/m <sup>2</sup> ]	an der Ober- fläche [Stück/m <sup>2</sup> ]	an der Ober- fläche [Stück/m <sup>2</sup> ]	bis 3,5 dm u. Fl. [Stück/ 0,35 m <sup>3</sup> ]	bis 3,5 dm u. Fl. [Stück/ 0,35 m <sup>3</sup> ]	
< 0,1	0	< 1	< 0,1	< 1	0	< 1	0	< 5
0,1—0,5	1	1—5	8—40	~ 1	~ 0	~ 1	~ 0	5—25
> 0,5—2,0	2	6—15	41—150	~ 1	2—5	2—5	< 0,1	25—100
> 2,0—5,0	3	16—40	151—380	2—4	5—12	5—12	< 1	100—250
> 5,0—10,0	4	41—80	381—760	4—8	13—25	13—25	~ 1	250—500
> 10,0	5	> 80	> 760	> 8	> 25	> 25	> 1	> 500

\*) Mengienstufe entspricht der Anzahl jeweils nur einer Größenklasse

Gerundetes Skelett von > 2 bis 20 mm Durchmesser wird als *Kies*, kantiges als *Grus* bezeichnet. *Steine* haben einen Durchmesser von 20 bis 630 mm, *Blöcke* von > 630 mm (vgl. Tab. 2/1).

Die Schätzung des Kies-, Grus- und Steingehaltes wird nach *Mengenstufen* auf der Basis des Volumenanteils vorgenommen (s. Tab. 2/4). Es sind insgesamt 8 Mengenstufen zu unterscheiden, die für die Skelettarten Kies, Grus und Steine (außer Großsteinen) getrennt anzugeben sind. Bei zusammenfassender Materialansprache ist nur die vorherrschende Skelettart zu benennen, der angegebene Mengenanteil bezieht sich trotzdem auf alle beteiligten Skelettarten.

Um eine Vorstellung zu vermitteln, welche Skelettmenge tatsächlich diesen Stufen entspricht, sind in Tabelle 2/5 dazu einige Angaben gemacht. Die zugrunde gelegten Durchmesser repräsentieren wichtige Skelettgrößen. Die Anzahl wird in Stück je m<sup>2</sup> (sichtbarer Steinbesatz) und je 0,35 m<sup>3</sup> (Steinbesatz bis 3,5 dm u. Fl.: 1,00 m<sup>2</sup> × 0,35 m Tiefe) angegeben. Die Masseangabe erfolgt in t/ha. Nach TGL 28759/02 wird eine *Entsteinung* für würdig gehalten, wenn der Steinbesatz bis zu 0,35 m Tiefe auf über 100 t/ha ansteigt. Das ist nach Tabelle 2/4 ab Mengenstufe 3 der Fall.

### 2.3.2. Landwirtschaftliche Bodenbeurteilung nach der Körnungsart

Die Körnungsart bildet die wichtigste Grundlage für die Kennzeichnung und Beurteilung der mineralischen Bodensubstrate. Durch die Körnungsart werden wesentliche Eigenschaften der Böden bestimmt, die sich in einer unterschiedlichen Bodenfruchtbarkeit widerspiegeln.

#### Einschichtige Substrate

Einheitliche bzw. einschichtige mineralische Bodensubstrate werden je nach der dominierenden Körnungsart in Skelett-, Sand-, Lehm-, Schluff- und Tonsubstrate untergliedert:

##### a) Skelettsubstrate

> 50% Steine und Kies (s. Abb. 2/5) oder Grus; geringe spezifische Oberfläche und viele

Abb. 2/5

Extrem steiniger Acker (Steinstufe 5) im Bereich einer gestauchten Moräne; Krassow, Kreis Wismar



große Hohlräume, daher Wasserspeicherung gering, Versickerung und Durchlüftung sehr gut; geringe Nährelementfreisetzung und -speicherung; Fruchtbarkeit hängt im hohen Maße vom Feinbodenanteil und Humusgehalt ab; landwirtschaftlich seltener genutzt

#### b) Sandsubstrate

Sand (S), schwach lehmiger Sand (l'S) und lehmiger Sand (l̄S, uS); infolge des niedrigen Ton- und Schluffgehaltes Wasser- und Nährelementspeicherung gering, schon durch schwache Erhöhung des Tonanteils wesentliche Verbesserung dieser Eigenschaften; wegen rascher Zersetzung der organischen Substanz hitzige Böden; der Bearbeitbarkeit nach leichte Böden; Fruchtbarkeit stark von der Wasserzufuhr (Niederschläge, Beregnung) bestimmt, selbst durch anhaltende Regenperioden keine Vernässung

#### c) Lehmsubstrate

I. e. S. sandiger Lehm (sL) und Lehm (L), i. w. S. einschließlich Schluffe; durch höheren Ton-, z. T. auch Schluffgehalt bindiger, dadurch einerseits höheres Nährelement- und Wasserspeichungsvermögen, andererseits stärkere Neigung zur Verdichtung; Durchlüftung und Wasserversickerung im allgemeinen gut; neigen bei unsachgemäßer Behandlung rasch zur Gefügeverschlechterung; der Bearbeitbarkeit nach mittlere Böden, Pflügen bei Nässe führt zum Verschmieren und zur Schollenbildung, Pflügen bei Trockenheit zur Klutenbildung (noch nicht so stark ausgeprägt wie bei den Tonen); von Natur aus nährelementreich, lohnen aber trotzdem hohe Mineraldüngergaben; gehören in die Gruppe der fruchtbarsten Substrate, Anbau sämtlicher Feldfrüchte möglich

#### d) Schluffsubstrate

Schluff (U), lehmiger Schluff (IU) und Schlufflehm (UL), insbesondere Lößböden; ähnliche Eigenschaften wie die Lehme, insbesondere hinsichtlich Nährelementverhältnisse, Wasserregime und Bearbeitbarkeit; infolge hohen Gehalts an kaliumführenden Mineralen große Kaliumreserve; für lehmige Schluffe höherer Anteil an feinen Poren kennzeichnend, dadurch langsamere Wasserversickerung nach reichlichen Niederschlägen mit zeitweiliger Luftarmut; Schlufflehm etwas labiler und leichter als Lehme bearbeitbar; fruchtbarste Standorte der DDR

#### e) Tonsubstrate

Schluffiger Ton (uT), lehmiger Ton (lT), sandiger Ton (sT) und Ton (T); infolge hohen Tongehalts Wasserspeicherung groß, Wasserdurchlässigkeit und Durchlüftung hingegen gering; bei starker Durchfeuchtung im Frühjahr nur langsame Erwärmung, daher zu den kalten Böden rechnend, Bestellung oft erst spät möglich; einerseits in feuchten Lagen Dränung erforderlich, andererseits im Sommer starke Austrocknung mit Trockenrißbildung möglich; infolge geringer Durchlüftung biologisch meist träge; der Bearbeitbarkeit nach schwere Böden („Stundenböden“), daher Bearbeitungszeitpunkt sorgfältig wählen, anderenfalls häufig Verschmieren oder starke Schollenbildung (Bearbeitungsfehler beim Pflügen im Herbst noch am ehesten überwindbar, da Boden über Winter „durchfrieren“ kann); stark zur Verdichtung, Verschlammung und Verkrustung neigend; wegen ungünstiger physikalischer Eigenschaften weniger fruchtbar als Lehme

#### **Mehrschichtige Substrate**

Mehrschichtige Bodensubstrate lassen sich schwerer beurteilen als einschichtige. Fehlschlüsse sind fast immer zu erwarten, wenn Böden mit uneinheitlichem Körnungsartenprofil nur nach der Körnungsart der Ackerkrume beurteilt werden. Ebenfalls größere Sachkenntnis erfordert die Bodenbeurteilung auf der Grundlage einer sog. Durchschnittskörnungsart, wie sie z. B. bei der Bodenschätzung vorgenommen wurde. Ein Wechsel in der Körnungsart zieht vielfach auch einen mehr oder weniger schroffen Wechsel in bestimmten Bodeneigenschaften nach sich. Mehrschichtige Substrate können daher nicht einfach nach der Summe oder dem gewogenen Mittel der beteiligten Schichten beurteilt werden. Sandwechselfsubstrate sind grobkörnige (sandige) Substrate mit schichtweisem

Wechsel in der Korngröße des Sandes. Sie unterscheiden sich nicht nur dadurch, daß die einzelnen Schichten in ihrem Mineral- und damit auch Nährelementgehalt voneinander abweichen, sondern der Schichtaufbau beeinflußt vor allem die Wasserführung. Der Wechsel von einer groben zu einer feineren Körnungsart bewirkt stets eine Verzögerung der Versickerung. Wechselkörnige Sande weisen daher meist ein günstigeres Wasserregime auf als Sande mit einheitlichem Körnungsartenprofil. Bezüglich ihrer Bearbeitbarkeit und Nährelementspeicherung zeigen sich jedoch keine wesentlichen Unterschiede gegenüber diesen. Sandwechselsubstrate werden wegen des meist kleinschichtigen Wechsels im Rahmen der Substratkennzeichnung als einheitlich betrachtet.

Decklehme, -schluffe (-löße) und -tone sind Substrate mit Lehm, Schluff (Löß) oder Ton über Sand. Substrate dieser Art weisen in der Deckschicht gute Nährelementverhältnisse, eine stärkere Wasserbindung, meist aber auch eine verzögerte Wasserbewegung auf. Der Bearbeitbarkeit nach sind sie i. d. R. mittlere bis schwere Böden.

Tieflehme und -tone sind Substrate mit Sand, Lehmsand über Lehm oder Ton. Je mächtiger die obere Körnungsart ist, um so stärker bestimmen deren Eigenschaften den Gesamtcharakter dieser Substrate. Der tiefere Teil der Sanddecke ist oft etwas dichter gelagert, so daß Luft- und Wasserführung dort ungünstiger als bei durchgehenden Sanden sind. Bedeutung haben die guten Nährelementverhältnisse im Unterboden, in dem man oft ein reich verzweigtes Wurzelnetz findet. Nicht zu tief liegende Lehm- und Tonlagen können als stilles Nährelementreservoir betrachtet werden. Gute Bearbeitbarkeit und günstige Nährelementverhältnisse im Unterboden sind die wichtigsten Kennzeichen dieser Substrate.

I. w. S. gehören zu den Tieftonen auch die sog. Lehm- und Schluffkerfe, d. s. Substrate mit Lehm oder Schluff (Löß) über Ton. Je nach Mächtigkeit der Deckschicht stehen sie entweder den Lehmen oder den Tonen näher. Die Nährelementverhältnisse sind günstig, Wasser- und Luftregime hängen von der Schroffheit des Körnungsartenwechsels ab. Meliorative Maßnahmen sind i. d. R. erforderlich. Der Bearbeitbarkeit nach stehen die Kerfe den Lehmen und Lößen nahe, das unterscheidet sie von den durchgehenden Tonen.

Gesteinsunterlagerte Substrate sind Substrate mit Sand, Lehm, Löß oder Ton über festem Gestein (Fels). Ihre Eigenschaften lassen sich im wesentlichen aus der Körnungsart der Deckschicht und deren Mächtigkeit ableiten. Bei hoch anstehendem Fels fallen

Abb. 2/6

Zweischichtiges (gesteinsunterlagertes) Substrat: Felslehm-Rendzina aus Muschelkalk unter Wald; Bad Berka, Kreis Weimar

Horizonte

Humus-  
auflage

Ah

II C



Substrat

Lehm-  
schutt

Festgestein

sie in die Gruppe der flachgründigen Böden (s. Abb. 2/6) mit allen ihren nachteiligen Merkmalen. Bei mächtigerer Deckschicht verhalten sie sich ähnlich wie die entsprechenden ungeschichteten Substrate.

### 2.3.3. Technische Beurteilung von Korngemischen

Kennwerte zur technischen Beurteilung von Korngemischen (Substraten) werden vor allem bei der Vorbereitung von Bauvorhaben im Bereich des Meliorationswesens benötigt.

#### Ungleichkörnigkeitsgrad und Wirksame Korngröße

Die Korngrößenzusammensetzung eines Substrates läßt sich in vielfältiger Weise darstellen. Die Methode der Dreiecksdarstellung wurde bereits behandelt (vgl. Abb. 2/4). Außerdem gibt es Block-(Säulen-), Häufigkeits- und Summendiagramme (s. Abb. 2/7 und 2/8). Sie werden zur Ermittlung spezieller Kennwerte herangezogen. Von besonderer Bedeutung ist das Summendiagramm (Kumulativkurve), bei dem eine fortlaufende Addition der Kornfraktionen erfolgt. Aus ihm werden z. B. der Ungleichkörnigkeitsgrad (früher Ungleichförmigkeitsgrad) und die Wirksame Korngröße abgeleitet.

Der Ungleichkörnigkeitsgrad ergibt sich nach

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \quad (1)$$

$d_{60}$  ist die bei 60 M.-%,  $d_{10}$  die bei 10 M.-% Korn-(Sieb-)Durchgang ermittelte Korngröße (vgl. Abb. 2/8).  $U$  dient zur Abschätzung der Verdichtbarkeit von Substraten, insbesondere von sog. rolligem Material. Folgende Einteilung ist üblich:

$U < 5$ :	gleichkörnig (sortiert)
5 bis 15:	mittelgleichkörnig (unvollständig sortiert)
$> 15$ :	ungleichkörnig (unsortiert)

Die Verdichtbarkeit von Sanden und Kiesen ist um so größer, je ungleichkörniger das Material ist. Auch die Größe der Poren (Porendurchmesser) kann aus  $U$  abgeleitet werden.

Die Wirksame Korngröße  $d_w$  ist die Korngröße mit gleicher spezifischer Oberfläche wie ein entsprechendes heterodisperses (grch./lat., in ungleiche Teilchen zerlegbares) Korngemisch. Sie wird am einfachsten graphisch ermittelt und in mm, wie die Korngrößen selbst, angegeben. Für grobkörnige Substrate, z. B. Kiese und Sande, kann man die Wirksame Korngröße annähernd nach

$$d_w \cong U \cdot d_{10} \quad (2)$$

bestimmen.

Für Rutschempfindlichkeit und Frostgefährdung ist die Wirksame Korngruppe ein wichtiger Kennwert. Als Wirksame Korngruppe wird der Kornanteil an den Fraktionen  $< 0,02$  mm (Mittel-, Feinschluff und Ton) bezeichnet. Diese Fraktionen werden zum Ungleichkörnigkeitsgrad in Beziehung gesetzt. Danach sind z. B. alle Substrate frostgefährdet, die bei  $U$  um 5 einen Anteil von  $> 10\%$  und bei  $U$  um 15 von  $> 3\%$  der Kornfraktionen  $< 0,02$  mm aufweisen.

#### Gewinnungsklassen

Für die technische Beurteilung der Lösefestigkeit des Bodens im Hinblick auf den Einsatz von Grabwerkzeugen bei der Durchführung von Meliorationen und anderer landwirtschaftlicher Erdarbeiten teilt man die Gesteine (besser Substrate) nach Gewinnungsklassen (früher technische Bodenarten) ein. Mit Hilfe von Gewinnungsklassen gliedert man frostfreie Lockergesteine und Festgesteine nach ihrer Bearbeitbarkeit im Prozeß des Lösens, Füllens und Leerens von Grabgefäßen. Insgesamt werden 10 Klassen unterschieden. Die

Gewinnungsklassen werden vornehmlich nach der Körnungsart (Bindigkeit), der Lagerungsdichte, der Konsistenz und dem Feuchtegehalt des Substrates sowie nach dem

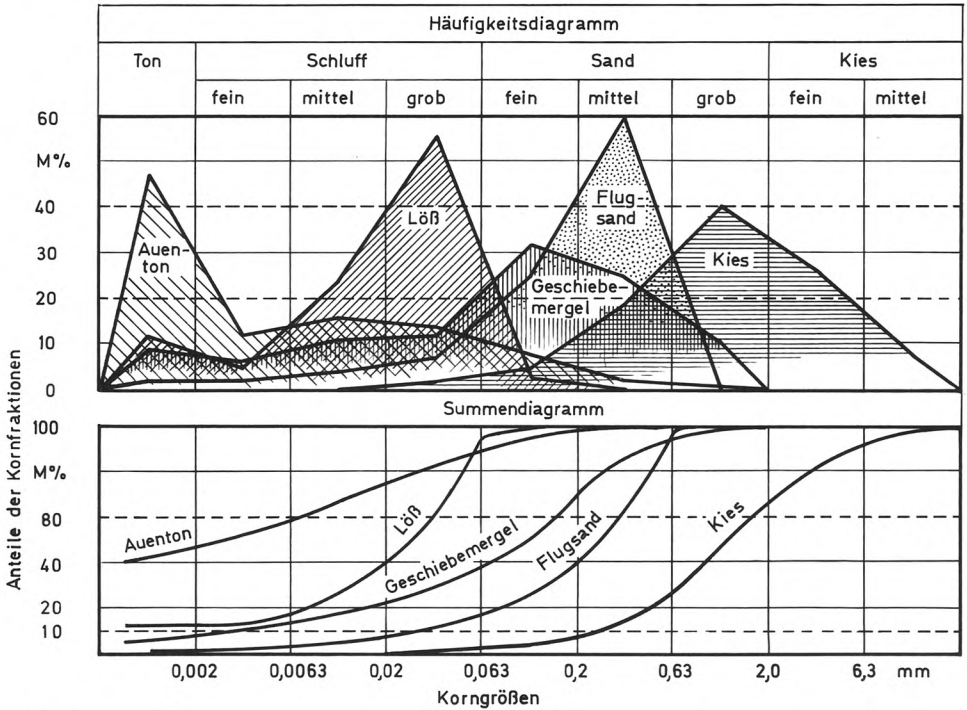


Abb. 2/7  
Häufigkeitsdiagramm und Summendiagramm (halblogarithmische Darstellung) von Korngrößengemischen charakteristischer bodenbildender Sedimente

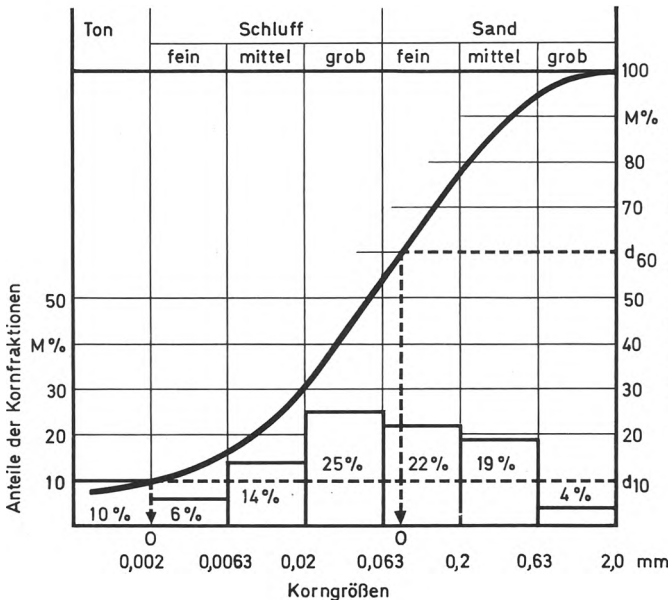


Abb. 2/8  
Säulendiagramm und Summendiagramm (halblogarithmische Darstellung) eines Sandlößes mit Angabe des  $d_{60}$ - und  $d_{10}$ -Wertes zur Ermittlung des Ungleichkörnigkeitsgrades



Skelettgehalt bestimmt. Als Sondermerkmal kommt die *Treibgefährdung* hinzu. Unter *Treibgefährdung* versteht man die Eigenschaft von Lockergesteinen, unter bestimmten hydrostatischen und -dynamischen Bedingungen bei bautechnischen Eingriffen durch in Bewegung geratenes Bodenwasser treiben zu können.

In Tabelle 2/6 wird die Einstufung in die Gewinnungsklassen wiedergegeben. Hierbei haben die einzelnen Gewinnungsklassen folgende Bedeutung (TGL 24300/15):

Tabelle 2/6

Gewinnungsklasse in Abhängigkeit von Körnungsart, Lagerungsdichte und Feuchtigkeit/Konsistenz (in Anlehnung an TGL 24300/15)

Lockergestein		Gewinnungsklasse		
Körnungsart ( Substrat )	Lagerungsdichte	Feuchtezustand / Konsistenz		
		trocken, frisch	feucht	naß, sehr naß
S, Sl *)	locker	3		3 (1)
	dicht			4 (1)
lS *)	locker			
	dicht			
U *)	locker	4		5 (1)
	dicht	5		
	Lagerungsdichte	fest	halbfest, steif	weich, sehr weich
sL *)	locker	4	4	
	dicht	5		
L *)	locker		6	
	dicht			
sT, lT, uT, T *)	locker	5		4
	dicht			
(U, UL *)	dicht	5		4
	locker			
Tonmudde	—	5		
Kalkmudde	—	4	3	
Torfmu-dde	—	2/1		
Lebermu-dde	—	2/1		
	Zersetzungsgrad			
Torf	≤6	3		
	>6	3/2		
	Steingehalt %	fest (trocken)	plastisch ( feucht )	nicht bindig
humusreiches Material mit 15... 30 % org. Sub.	≤ 10	4		3
	> 10			4
Kies, Schutt mit > 25 % Skelett	≤ 10	7	5	
	> 10 — 25		6	
	> 25 — 50	7		
	> 50	8		

\*) Gilt für Material mit ≤ 10% Skelett, bei Material mit 10 — 25 % Skelett wird um eine Gewinnungsklasse erhöht

- 1 Schlammige Lockergesteine (z. B. flüssige bis breiige Lehme, Tone, Mudden)
- 2 Lockergesteine ohne inneren Zusammenhang (z. B. lockergelagerte Kiese und Sande, zersetzte Torfe)
- 3 Lockergesteine mit schwachem innerem Zusammenhang (z. B. kompaktere Kiese und Sande, Schluffe, nicht zersetzte Torfe)
- 4 Lockergesteine mit mittlerem innerem Zusammenhang (z. B. lehmige Sande, sandige Lehme, nasse festgelagerte Sande)
- 5 Lockergesteine mit starkem innerem Zusammenhang (z. B. Schlufflehme, feste Tonmudden)
- 6 Lockergesteine mit sehr starkem innerem Zusammenhang (z. B. feste Lehme und Tone, Ortstein)
- 7 Leichte Festgesteine und Lockergesteine mit hohem Steingehalt (z. B. klüftiger Fels, Kiese und Schutte mit 25 bis 50 % Skelett, Raseneisenstein)
- 8 Mittlere Festgesteine mit geringer Gefügefestigkeit und Lockergesteine mit sehr hohem Steingehalt (z. B. Sand- und Kalkstein, Tonschiefer, Konglomerate, Kiese und Schutte mit > 50 % Skelett)
- 9 Kompakte Festgesteine mit mittlerer Gefügefestigkeit (z. B. härterer Sand- und Kalkstein)
- 10 Kompakte Festgesteine mit hoher Gefügefestigkeit (z. B. harte Felsbänke)

Mögliche Veränderungen der Gewinnungsklasse durch Schwankungen des Wassergehaltes bzw. der Konsistenz sind nebeneinander auszuweisen, z. B. 4/5. Die erste Ziffer bezieht sich auf den Zustand z. Z. der Standortaufnahme, die zweite auf die mögliche Veränderung. Treibgefährdete Lockergesteine erhalten den Zusatz (1), z. B. 4(1).

## 2.4. Stoffliches Grundgerüst der organischen Böden

Das stoffliche Grundgerüst der organischen (Moor-)Böden besteht aus Torf und Mudde mit mineralischen Beimengungen. Torf und Mudde werden wie folgt definiert:

– *Torf*: sedentäre (lat., durch aufwachsendes Material entstandene) Ablagerung abgestorbener Pflanzenteile mit 30 % organischer Substanz, die unter weitgehendem Luftabschluß im Wasser einer Ver torfung unterlag (bei 15 bis 30 % Torfanteil kann man von Antorf sprechen)

– *Mudde*: sedentär-sedimentäre Ablagerung in Süßwasser, die aus organischen Stoffen pflanzlicher und tierischer Herkunft besteht und mineralische Beimengungen in unterschiedlichen Anteilen (zurücktretend bis dominierend) enthält

### 2.4.1. Torf- und Muddearten

Torf- und Muddearten werden nach den Anteilen an Pflanzenresten bzw. nach dem Anteil an organischen und mineralischen Stoffen sowie nach Struktur-/Konsistenzmerkmalen definiert.

Auf Grund der vorherrschenden oder charakteristischen Reste torfbildender Pflanzen und bestimmten Strukturmerkmalen lassen sich folgende Torfarten unterscheiden (TGL 24 300/06):

#### a) Moostorfe

Aus Moospflänzchen hervorgegangene Torfe mit Beimengungen von Wollgras- und Zwergsträucherresten (< 15 % Reste von Holzgewächsen, > 50 % Moosreste)

*Bleichmoostorf*: aus Sphagnumarten hervorgegangen; bei geringer Zersetzung hell gefärbt; Hochmoore bildend

*Laubmoostorf*: nicht aus Sphagnumarten gebildete Moostorfe; i. d. R. bräunlicher gefärbt als Bleichmoostorf; Kalkmoore bildend (s. Abschn. 3.1.7.)

#### b) Riedtorfe

Vorwiegend aus anderen Sumpfpflanzen als Moose und Holzgewächse hervorgegangene Torfe (< 50% Moosreste, < 15% Reste von Holzgewächsen)

*Wollgrastorf*: aus den zerfasernden Bündeln des Scheidigen Wollgrases gebildet; oft mit Bleichmoostorf gemischt; Hochmoore bildend

*Beisertorf*: aus Wurzeln und Halmbasen der Beise hervorgegangen; ähnelt dem Seggentorf; Zwischenmoore bildend

*Seggentorf*: aus den Radizellen von Seggenarten entstanden; stark verfilzt; häufig mit anderen Sumpfpflanzen vermengt; Untergliederung in Großseggentorf (Flachmoore bildend) und Kleinseggentorf (Kalkmoore bildend) möglich

*Schneidentorf*: aus den rötlich-faserigen Stengelbasen der Schneide gebildet; oft mit Seggen- und Schilftorf vermengt; Kalkmoore bildend

*Schilftorf*: an den meist horizontal verlaufenden breiten Rhizomen des Schilfrohres erkennbar; riecht vielfach nach Schwefelwasserstoff; Flachmoore bildend

#### c) Holztorfe

Aus > 15% Holzresten bestehende Torfe; i. d. R. mit anderen nicht aus Holzgewächsen gebildeten Torfen vermengt

*Kiefernbruchtorf*: Holzreste vorherrschend von Kiefern; vorwiegend Hochmoore bildend

*Birkenbruchtorf*: Holzreste vorwiegend weißer Birkenrinden; Zwischenmoore bildend

*Erlenbruchtorf*: Reste vorwiegend bruchstückeliger Erlenhölzer; Flachmoore bildend

*Reisertorf*: Holzreste vorwiegend von Kleinsträuchern (Ericaceen); Hoch- und Zwischenmoore bildend

#### d) Amorphe Torfe

Weitgehend bis ausschließlich aus stark homogenisierter, amorpher organischer Substanz bestehend; meist aus Riedtorfen hervorgegangen

Folgende **Muddearten** werden nach dem Gehalt an organischen Stoffen, Kalk, Ton, Sand sowie nach der Konsistenz unterschieden:

##### a) Torfmudde

Vorwiegend aus Resten von Wasser- und Sumpfpflanzen entstanden, die in eine homogene Grundmasse eingebettet sind; sehr weich; Mineralanteil schwankt stark (< 70%), darunter < 70% Kalk

##### b) Lebermudde

Überwiegend aus ehemaligen Algen entstanden, mineralische Beimengungen < 70% und vielfach aus Kalk (bis 70%) bestehend; gallertartige elastische Konsistenz (ähnelt frischer Leber); bei Austrocknung stark zusammenschrumpfend und hart, plattig spaltend

##### c) Kalkmudde

In kalkreichen Gewässern durch Ausfällung von  $\text{CaCO}_3$  bzw. Absetzen kalkiger Skelette niederer Tiere entstanden; > 70% Mineralanteil, darunter > 30% Kalk; enthält stark wechselnde Beimengungen an Pflanzenresten und amorphen organischen Stoffen

##### d) Tonmudde, Sandmudde

Mudden mit stärkeren Anteilen mineralischer Beimengungen (> 70%) entweder an Ton + Schluff + Feinsand oder nur an Sand; Tonmudden schmierige Konsistenz, in Sandmudden immer pflanzliche Gewebereste enthalten; < 30% Kalkanteil; Zwischen Torfen und Mudden treten häufig Übergangsbildungen auf.

### 2.4.2. Zersetzungsgrad der Torfe

Der Zersetzungsgrad der Torfe ist ein Kennwert für das Ausmaß der Auflösung der strukturierten Pflanzenteile und des damit korrelierenden Anteils an amorpher Substanz

(Teilchen < 0,25 mm). Der Zersetzungsgrad kann visuell mittels Handpreßprobe sowohl nach der v. Postschen 10er Skala als auch nach folgender 3 stufigen Skala (TGL 24300/06) bestimmt werden:

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| Z 1<br>gering<br>zersetzt | Torf überwiegend aus strukturierten und gut erkennbaren Pflanzenresten bestehend; amorphe organische Substanz kann bis zu einem Drittel des Bodenvolumens einnehmen, tritt fein verteilt (makroskopisch nicht oder nur undeutlich erkennbar) zwischen den Pflanzenresten auf; beim Pressen fast farbloses bis hellbraunes Wasser mit nur wenig Torfpartikeln abgehend (v. Postsche Zersetzungsgrade 1 bis 3) |
| Z 2<br>mäßig<br>zersetzt  | Anteil an strukturierten Pflanzenresten zwischen zwei und einem Drittel variierend; amorphe organische Substanz deutlich sichtbar; beim Pressen dunkel gefärbtes Wasser mit bis zu einem Drittel der Torfsubstanz abgehend (v. Postsche Zersetzungsgrade 4 bis 6)  |
| Z 3<br>stark<br>zersetzt  | Torf überwiegend aus amorpher organischer Substanz bestehend; strukturierte Pflanzenreste (Holzreste, Rhizome, größere Wurzeln) nehmen weniger als ein Drittel des Bodenvolumens ein; beim Pressen mit dem Wasser mehr als ein Drittel der Torfsubstanz abgehend (v. Postsche Zersetzungsgrade 7 bis 10)   |

### 3. Substrat- und Bodenbildung

#### 3.1. Geschichte der Erde und Entwicklung der Böden

##### 3.1.1. Bodenbildung und Bodenentwicklung

Jedes an der Erdoberfläche anstehende Material ist durch den Einfluß bestimmter, von außen her wirkender Kräfte einer Umwandlung unterworfen. Solange dieser Vorgang auf vorwiegend vegetationsfreien Flächen vor sich geht, spricht man von Verwitterung. Erst bei Beteiligung der Vegetation wird der umfassendere Begriff Bodenbildung verwendet, in dem die *Verwitterung* mit eingeschlossen ist. Die *Bodenbildung* ist ein komplizierter und komplexer Vorgang, der auch vom Zeitpunkt und von der Zeitdauer abhängt. Die Bodenbildung im Ergebnis eines zeitlichen Prozesses wird *Bodenentwicklung* genannt. Deshalb besagen Bodenbildung und Bodenentwicklung (Pedogenese) nicht genau dasselbe, wenn sie auch oft synonym gebraucht werden.

##### Faktoren der Bodenbildung

Ursprünglich wurde die Bodenbildung nur von folgenden **Naturfaktoren** bestimmt:

- Ausgangsgestein: Fest- und Lockergestein
- Klima: Temperatur, Wasser, Wind
- Oberflächengestaltung (Relief): Hangneigung, Exposition
- Vegetation: Boden-, Strauch- und Baumvegetation
- Bodenfauna und Mikroflora

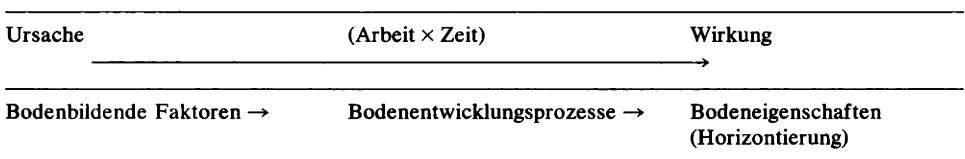
Erst in den letzten zwei Jahrtausenden kam es zu einer immer stärkeren **Überlagerung** durch folgende **gesellschaftliche Faktoren**, die heute die Bodenbildung zusätzlich beeinflussen:

- Bodennutzung: Nutzungsart, Fruchtfolge (Stoffentzug)
- Bodenumgestaltung: Bodenbearbeitung, Melioration
- Stoffzufuhr: Mineraldüngung, organische Düngung, Bewässerung, Zufuhr sonstiger Stoffe (Pflanzenschutzmittel, BVM u. a.)

Diese Faktoren wirken nicht isoliert für sich, sondern über die und mit den Naturfaktoren. Gesellschaftliche und Naturfaktoren sind daher als ein **Wirkungsgefüge** zu betrachten. Richtung und Intensität der Bodenbildung werden maßgebend von der Konstellation aller Bodenbildungsfaktoren bestimmt.

##### Bodenentwicklungsprozesse

Während die genannten Umweltfaktoren gewissermaßen nur das auslösende Moment, die Ursache, darstellen, wird der **eigentliche Ablauf** der Bodenentwicklung wie folgt gesteuert:



Dabei sind im einzelnen folgende Prozesse zu unterscheiden:

- *Verwitterung*: mechanische Zerkleinerung des Gesteins, Mineralum- und -neubildung
- *Humifizierung* und *Mineralisierung*: Umbau und Zersetzung der organischen Substanz, Humusbildung
- *Gefügeumbildung*: Übergang vom Sediment- zum Bodengefüge
- *Endogene* (grch., von innen heraus entstehende) *Lösungs-* und *Verlagerungsvorgänge*: Karbonatauswaschung (Entbasung), Tondurchschlämmung (Lessivierung), Podsolierung, Vergleyung (Hydromorphierung), Nährstoffverlagerung
- *Exogene* (grch., von außen stammende) *Verlagerungsvorgänge*: Erosion, Akkumulation
- *Turbation* (lat., Durchmischung): Bio- und Technoturbation

Die Bodenbildung beginnt im oberflächennahen Bereich des Ausgangssubstrates und schreitet allmählich zur Tiefe fort. Dabei werden ganz bestimmte Eigenschaften geformt, die sich in charakteristischen Lagen, bezeichnet als Bodenhorizonte, dokumentieren. Im Ergebnis des unterschiedlichen Zusammenwirkens der genannten Faktoren und Prozesse entstehen recht verschiedenartige Ausbildungsformen der Böden, die sich am zweckmäßigsten auf dem Niveau des Bodentyps beschreiben lassen. *Bodentypen* können als Grundformen der Bodenbildung und zugleich als unter bestimmten Umweltbedingungen relativ häufig anzutreffende Stadien der Bodenentwicklung angesehen werden. Alle Böden, die zu einem Bodentyp gehören, weisen einen ähnlichen Profilaufbau auf, was auf die in ihrer Gesamtwirkung gleichartigen Stoffumwandlungs- und -verlagerungsprozesse zurückzuführen ist.

### 3.1.2. Überblick über die geologischen Perioden

Das Alter unserer Erde wird jetzt auf etwa 5, nach neueren sowjetischen Untersuchungen sogar auf noch mehr Milliarden Jahre geschätzt. Lebewesen konnten sich aber erst entwickeln, als die anfänglich sehr hohen Temperaturen des Erdballs stärker abgesunken waren. Es bedurfte abermals einer großen Zeitspanne, bis Pflanzen, zunächst niedere, später höhere, das Festland besiedelten. Erst von dieser Zeit an war die Entstehung von Böden möglich, da ohne Vegetation keine Bodenbildung vor sich geht. Von den in früheren geologischen Perioden gebildeten Böden ist heute an der Erdoberfläche nur selten etwas zu finden. Mit jeder geologischen Umwälzung wurden sie zerstört, verlagert oder begraben. So viele Epochen es gegeben hat (s. Tab. 3/1), so viele Male haben sich Böden von neuem entwickelt.

Von besonderer Bedeutung für den heutigen Aufbau der erdoberflächennahen Gesteinsschichten ist die letzte große Ära der Erdgeschichte, das Neozoikum (Erdneuzeit). Sie wird in Tertiär und Quartär untergliedert. Im Tertiär herrschte zeitweilig tropisches Klima. Es kam zur Bildung mächtiger Moore, aus denen sich die Braunkohlenlager entwickelten. Auf den anstehenden Gesteinen entstanden durch intensive Verwitterung mächtige Böden, deren Reste heute noch an wenigen Stellen die Oberfläche bilden oder in größerer Tiefe als Kaolin abgebaut werden.

Das folgende Quartär wird zu einem wesentlichen Teil von der Eiszeitepoche (Pleistozän) eingenommen, die nach neuesten Schätzungen mit etwa 3 Millionen Jahren veranschlagt werden kann. Die Nacheiszeit (Holozän), in der wir heute leben, dauerte bis jetzt 10000 Jahre. Alle Gesteine, aus denen sich unsere Böden entwickelt haben, wurden im Quartär abgesetzt (Deckschichten) oder erhielten in dieser Zeit ihre letzte entscheidende Überprägung. Das gleiche gilt für die Oberflächenformen unserer Landschaft, deren wesentlichsten Züge sich in dieser Zeit herausbildeten.

Tabelle 3/1

Übersicht über die erdgeschichtlichen Epochen und wichtige Ereignisse auf dem Gebiet der DDR (nach verschiedenen Autoren)

Ära (Gruppe)	Periode (System)	Epoche (Abteilung) Alter [10 <sup>6</sup> Jahre] bei Beginn der Epoche	Wichtige erdgeschichtliche Ereignisse, insb. auf dem Gebiet der DDR
Känozoikum (Erdneuzeit)	Quartär	Holozän (Nacheiszeit) Pleistozän (Eiszeitalter)  ± 3	Entwicklung der heutigen Gestalt d. Erde; Ablagerung d. Oberflächensedimente, Bildung der fossilen u. rezenten Böden; Entwicklung der heutigen Pflanzen- u. Tierwelt sowie d. Menschen
	Tertiär	Neogen Pliozän Miozän  ± 25	Entstehung d. Hochgebirge; erneute Heraushebung d. Mittelgebirge, starke Vulkantätigkeit (Basalt- u. Phonolithkuppen i. Erzgebirge, Oberlausitz); Ende d. Braunkohlenzeit; Ablagerung v. Sanden u. Tonen; Vorherrschen d. Blütenpfl. u. Säugetiere
		Paläogen Oligozän Eozän Paleozän  ± 67	Fortsetzung d. Flyschbildung; Hauptzeit d. Braunkohlebildung; Kaolinentstehung; stärkere Ausbreitung d. Bedecktsamer; explosive Entfaltung der Säugetiere
Mesozoikum (Erdmittelalter)	Kreide	Oberkreide Unterkreide  ± 137	Meeresüberflutungen, Kreidebildung auf Rügen; Entwicklung d. Bedecktsamer (erste Blütenpfl.), Vögel stark verbreitet, Aussterben d. Riesensaurier; Entstehung d. Gesteine d. Elbsandsteingebirges
	Jura	Oberjura (Malm) Mitteljura (Dogger) Unterjura (Lias)  ± 195	Meeresüberflutungen; Vorherrschen d. Nadelhölzer, Palmen u. Farne; Fische sehr verbreitet, erste Vögel; Entstehung d. Helmstedter Jurazuges, Muldenfüllungen (z. B. NW Magdeburg)
	Trias	Keuper Muschelkalk Buntsandstein  ± 225	Oszillationen eines Flachmeeres; Steinsalzbildung; Vorherrschen d. Nacktsamer (Palmen, Nadelhölzer); erste niedere Säugetiere, sonst Saurier, Fische, Amphibien; Entstehung d. Gesteine d. nördl. Harzvorlandes, in Rüdersdorf, d. Ettersberg, d. Hainleite

Tabelle 3/1 Fortsetzung

Ära (Gruppe)	Periode (System)	Epoche (Abteilung) Alter [10 <sup>6</sup> Jahre]	Wichtige erdgeschichtliche Ereignisse, insb. auf dem Gebiet der DDR
Paläozoikum (Erdaltertum)	Perm	Oberperm (Zechstein) Unterperm (Rotliegendes)  ± 285	Meeresüberflutungen, Stein- u. Kalisalzbildung; Vorherrschen d. Samenfarne, Ausbreitung d. Nacktsamer; Reptilien überwiegen; Entstehung d. Inselberges, Wartburg, Petersberges
	Karbon	Oberkarbon (Siles) Unterkarbon (Dinant)  ± 350	Variszische Gebirgsfaltung, Harz, Erzgebirge werden Festland; Steinkohlenbildung; Vorherrschen höherer Sporenpfl.; Insekten häufig, erste Reptilien
	Devon	Oberdevon Mitteldevon Unterdevon  ± 405	Meeresüberflutungen; Entwicklung d. höheren Sporenpfl.; weitere Entwicklung d. Tierwelt (Amphibien, erste Insekten, höhere Fische)
	Silur	Obersilur Untersilur  ± 440	Meeresüberflutungen; noch Algen, Entwicklung d. älteren Sporenpfl. (erste Landpfl.), reiche Wassertierwelt, erste Landtiere
	Ordovizium	Oberordovizium Unterordovizium ± 500	Algen noch vorherrschend; Tierwelt reicher, erste Wirbeltiere (Fische)
	Kambrium	Oberkambrium Mittelkambrium Unterkambrium  ± 570	Meeresüberflutungen; Pflanzenwelt ausgedehnter, aber nur Algen; Tierwelt weiter entwickelt, aber nur Wirbellose im Meer
Proterozoikum (Erdfrühzeit)		± 2 600	Krustenbewegungen; erste Entstehung von niederen Tieren und Pflanzen
Archaikum		± 4 700	Entstehung der Erde

### 3.1.3. Eiszeitepoche

Auch die Eiszeitepoche (*Pleistozän*, früher Diluvium) war in sich noch stark differenziert. Deshalb wird sie in weitere Zeitabschnitte untergliedert. Dieser Einteilung liegen folgende klimastratigraphische Einheiten zugrunde:

– *Kaltzeit* (Glazial): Kälteperiode mit Vorstoß des nordeuropäischen Inlandeises bis nach Mittel- und Osteuropa und den daraus resultierenden arktischen bis subarktischen Vegeta-



tionsverhältnissen; Dauerfrosterscheinungen und glaziäre Ablagerungen in den betroffenen Gebieten; von zwei Warmzeiten begrenzt

– Warmzeit (Interglazial): Wärmeperiode mit Abbau des Inlandeises bis in die heutige Polarzone und Anstieg des Meeresspiegels bis etwa zum heutigen Niveau; geschlossene Wiederbewaldung mit wärmeliebenden Laubbäumen; intensive Bodenbildung

Tabelle 3/2

Gliederung des Pleistozäns auf dem Gebiet der DDR (in Anlehnung an Cepek, 1975; Haase, Lieberoth, Ruske, 1970)

Zeitabschnitte		10 <sup>3</sup> Jahre v. h.	Klima - charakter	Intensität d. Bodenbildung	Bildungen				
Kaltzeit Warmzeit	Stadial, Stadium Interstadial				Jungmoränengebiet	Lößgebiet			
Jungpleistozän	Weichsel - K. (letztes Glazial)	Spätglazial	Jüngere Dryas ( St. ) Alteröd - I. Ältere Dryas ( St. ) Bölling - I.	10	subarktisch ( kühl, feucht )	schwach ( post ) sedimentär ) beginnend	Periglaziäre Bildungen		
							z.B. Geschiebe - decksand		z.B. Lamellen - fleckenzone
							W <sub>2</sub> Grundmor.		Nordrügenschke Sta. Veigaster Sta. Rosenthaler Sta. Gerswalder Sta. Angermünder Sta. Hauptsta. Eberswalder U.
		Hochglazial	Älteste Dryas ( St. ) Pommersches St.	13	hocharktisch ( kalt, trocken )	fehlt			
									Typ. Löß
	Frühglazial	Blankenburger I. Frankfurter St. Brandenburger St.	16	arktisch	?	Tonlöß			
			17	hocharktisch	fehlt	W <sub>1</sub> Grundmor.	Hauptstaffel Berliner U. Sta. Reichskreuzer Sta. Hauptsta. Baruther U.	Sandlöß	
			28	subarktisch	schwach ( post - sedimentär )	?		Gleinaer Boden Kösener Verlehm - zone	
	Eem - W. ( letztes Interglazial )	Stadial Brörup - I. Stadial Ammersfort - I.	32	arktisch bis boreal	( syn - sedimentär ) mäßig	frühglaziale Serien und Interstadial - bildungen			
			75(?)	boreal bis temperiert	intensiv ( post - sedimentär )	lössliche Ablag. div. Böden	Lößderivate	Lommatzsch - und Naumburger Bodenkomplex z.B. W <sub>2</sub> - Löß W <sub>1</sub> - Löß	
Mittelpleistozän	? ← Lausitzer St. ( S III ) ? ← Rügen - I.		Abkürzungen K. = Kaltzeit W. = Warmzeit St. = Stadial, Stadium I. = Interstadial Sta. = Staffel U. = Urstromtal						
	Saale - K.   Fläming - St. ( S II ) Treene - I. Saale - St. ( S I )								
	Holstein - W								
	Elster - K. Cromer - W. Menap - K.								
Ältere Kalt - und Warmzeiten									

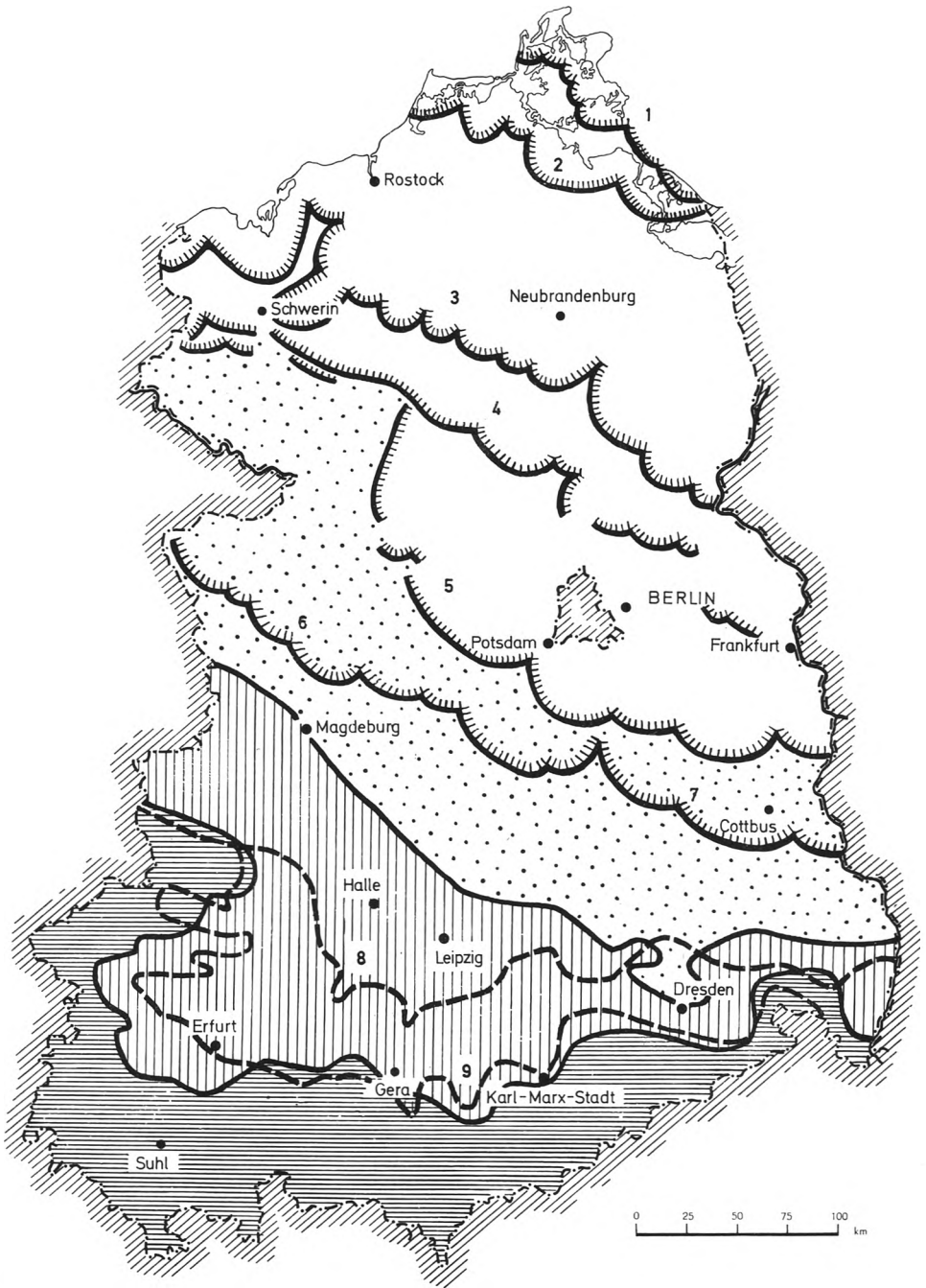


Abb. 3/1  
Karte der gürtelartigen Verbreitung glazialer und periglazialer Bildungen auf dem Territorium der DDR

- *Stadial*: Periode maximaler Kälte innerhalb eines Glazials; von zwei Interstadialen bzw. einem Interstadial und Interglazial begrenzt; Stadium: wie Stadial, Begrenzung durch Interstadiale aber noch nicht nachgewiesen
- *Interstadial*: Periode relativer Aufwärmung innerhalb eines Glazials ohne Entwicklung einer geschlossenen Laubwalddecke; schwache Bodenbildung
- *Staffel*: durch Kälterückgang innerhalb eines Stadials hervorgerufener Bewegungsstillstand der Inlandeisfront; Gleichgewichtsgrenze zwischen Eisauf- und Eisabbau; räumlich dokumentiert durch eine Eisrandlage in Form wallartiger Aufschüttungen

Der für die heute an der Erdoberfläche anstehenden Böden entscheidende Abschnitt des Pleistozäns war das letzte Glazial, die Weichsel-Kaltzeit. In Tabelle 3/2 sind für das Jungpleistozän die Stadiale und Interstadiale mit ihren typischen Bildungen für zwei größere Landschaftsgebiete der DDR zusammengestellt. Die älteren Abschnitte des Eiszeitalters sind namentlich angefügt.

Die Benennung der einzelnen Abschnitte erfolgte nach Typuslokalitäten, wo charakteristische Bildungen der betreffenden Zeit erstmals gefunden wurden. Die absoluten Daten wurden aus <sup>14</sup>C-Messungen (s. Abschn. 3.3.6.) abgeleitet. Im Jungmoränengebiet sind besonders die Staffeln landschaftlich herausragende Zeugen der Eiszeitvergangenheit. Die Bezeichnungen W<sub>1</sub>-, W<sub>2</sub>-Grundmoräne bzw. W<sub>α</sub>-, W<sub>β</sub>-, W<sub>γ</sub>-Löß widerspiegeln stratigraphische (lat., grch., schichtenkundliche) Bezeichnungen, die eine relative Altersangabe beinhalten (z. B. W<sub>γ</sub>-Löß jünger als W<sub>β</sub>-Löß). Die angeführten Böden und Bodenkomplexe sind auf Grund ihrer stratigraphischen Bedeutung ebenfalls mit lokalen Namen belegt worden.

Die Ablagerung des größten Teils der die DDR bedeckenden Sedimentgesteine bzw. ihre Überformung während der letzten Kaltzeit hat zur Herausbildung großräumiger Landschaftsgürtel geführt. Ihre Entstehung war von zwei Grundfaktoren abhängig:

- *Anstieg der Oberfläche von Nord nach Süd*: Anstieg von der Ostsee zu den Mittelgebirgen (0 bis ~ 1000 m über NN), im Westen durch Harz/Thüringer Becken gestört; damit ist gekoppelt eine regional-klimatische Differenzierung, insbesondere von niederen zu höheren Niederschlägen
- *Ablauf der Kaltzeit*: Vorstoß des Inlandeises von N nach S mit Ablagerung glaziärer Sedimente, Anwehung des Lößes im vegetationsfreien Vorgebiet des Eismassivs und intensiven kryogenen Prozessen; daraus ist ableitbar eine großräumige, gürtelförmige Differenzierung der Oberflächengesteine sowie die Anlage der heutigen Oberflächenformen

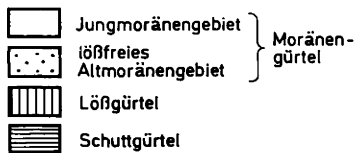
Diese beiden Faktoren beeinflussten entscheidend die Herausbildung und heutige Gestalt des Moränen-, des Löß- und des Gebirgsschutt-Gürtels (s. Abb. 3/1).

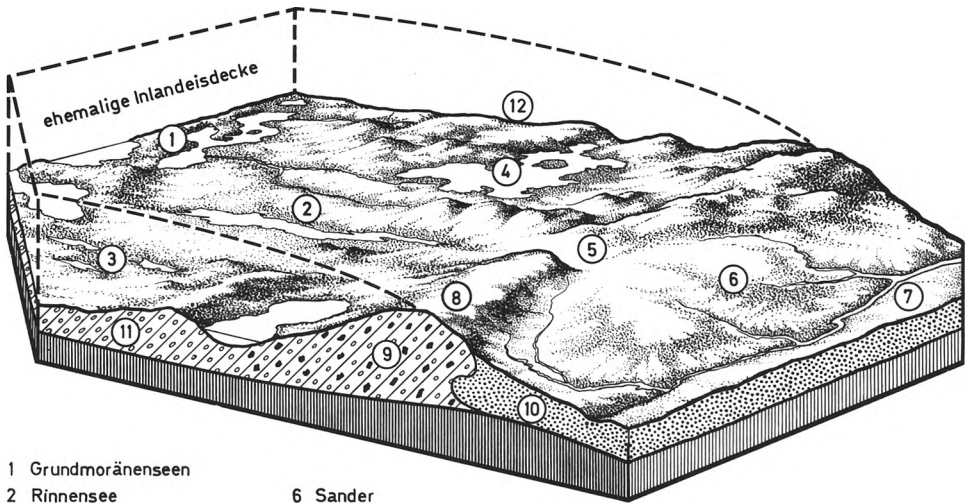
### 3.1.4. Entstehung des Moränen-Gürtels

#### Überblick

Der Moränen-Gürtel im nördlichen und mittleren Teil der DDR ist mit den Gletschervorstößen des nordeuropäischen Inlandeises verknüpft. Das Eismassiv dehnte sich in der Elster-Kaltzeit am weitesten, in der Weichsel-Kaltzeit am geringsten aus. Die Ablagerungen

- 1 Nordrügener Staffel
- 2 Veegaster Staffel
- 3 Pommersche Randlage
- 4 Frankfurter Staffel
- 5 Brandenburger Randlage
- 6 Letzlinger Randlage
- 7 Lausitzer Grenzwall
- 8 Maximalausdehnung der Saalvereisung
- 9 Maximalausdehnung der Elstervereisung





- |                           |                 |                         |
|---------------------------|-----------------|-------------------------|
| 1 Grundmoränenseen        | 6 Sander        | 10 geschiebefreie Sande |
| 2 Rinnensee               | 7 Urstromtal    | 11 Geschiebemergel      |
| 3 Sölle                   | 8 Satzendmoräne | 12 Grundmoräne          |
| 4 Zungenbeckensee         | 9 Blockpackung  |                         |
| 5 ehemaliges Gletschertor |                 |                         |

Abb. 3/2

Skizze eines charakteristischen, vom ehemaligen Inlandeis geformten Landschaftsausschnittes

der Elster- und Saale-Kaltzeit wurden später im Süden zu einem großen Teil von Lössen der jüngeren Kaltzeiten, im Norden von den Glaziärsedimenten der Weichsel-Kaltzeit überdeckt. Der Moränen-Gürtel zerfällt nach dem Alter der anstehenden glaziären Ablagerungen in zwei Teile. Der nördliche, insgesamt etwas oberflächenbewegtere Teil mit den Ablagerungen der Weichsel-Kaltzeit wird als *Jungmoränengebiet* bezeichnet. Der südliche, schon stärker eingeebnete Teil mit den bis an die Oberfläche anstehenden Ablagerungen der (Elster- und) Saale-Kaltzeit ist unter dem Namen *Altmoränengebiet* bekannt (vgl. Abb. 3/1). Großräumig gesehen, reicht diese bis zur Nordgrenze des Lößgürtels, inselartig aber auch in diesen hinein.

Das Inlandeis brachte innerhalb seiner bis teilweise über 600 m mächtigen Decke große Mengen an Sedimenten „schiebend“ mit sich (daher der Name *Geschiebemergel*). Diese wurden beim Abtauen des Eises ausgeschmolzen bzw. abgesetzt (*Moränen*) oder mit dem Schmelzwasser fortgespült und dann erst abgesetzt (*Schmelzwasserablagerungen*). Das Eis taute nicht nur als geschlossene Eisdecke nieder, sondern bei der Oszillation des Eisrandes, der Bewegung von Gletscherzungen und dem Rückzug des Massivs wurden auch große Eisblöcke (sog. *Toteisblöcke*) abgelöst, blieben liegen und schmolzen nur allmählich, nachdem sich die geschlossene Eisfront längst zurückgezogen hatte. Unterhalb des Eismassivs kam es zur Bildung von Schmelzwässern, die sich zum Teil in abflußlosen Becken (z. B. Zungenbecken) oder ausgeschürften Schmelzwasserrinnen (glaziären Rinnen) sammelten und später durch sog. Gletschertore abflossen. Vom Gletschertor aus bewegten sich die Schmelzwässer in die vorgelagerten, wie die Eisrandlagen SO–NW streichenden *Urstromtäler* und wurden dort abgeleitet (s. Abb. 3/2).

#### Ablagerung der Moränen und Schmelzwassersande

Die komplizierten Verhältnisse während der Gletschervorstöße führten zu besonderen Landschaftsformen mit spezifischen Glaziärsedimenten. Das in Skandinavien „ausgeräumte“ Material wurde beim Transport stark aufgearbeitet. Beim reinen Niedertauen des Eises ohne wesentlichen seitlichen Transport setzten sich folgende *M o r ä n e n* ab:

**a) Grundmoräne**

Weitflächig abgesetzte, unterschiedlich mächtige kompakte Ablagerung mit unregelmäßig verteilten Geschieben (große Geschiebe = Findlinge); meist lehmig bis schluffig ausgebildet; *Drumlin*: Sonderform; langgestreckter, herausragender, in Richtung der Eisbewegung liegender Grundmoränenrücken

**b) Endmoräne**

Herausragende, an der Stirnfront eines Eisfeldes oder gegen Toteisblöcke kleinflächig abgesetzte, regellos-kompakte Ablagerungen, oft mit Geschieben stärker angereichert; wechselnd sandig-lehmig ausgebildet;

*Stauchendmoräne*: von vorrückenden Gletschern wallartig aufgeschürft und gestaucht (s. Abb. 3/3);

*Satzendmoräne*: von ab- bzw. rückschmelzenden Gletschern an deren Stirnfront oder am Rande von Toteisblöcken abgelagert;

*Kames*: Sonderform („Endmoränenvertreter“); meist in Gruppen auftretende Hügel kiesig-sandiger Beschaffenheit; sanderartige Aufschüttungen zwischen Toteisblöcken im Vorgelände von Eisrandlagen

**c) Deckmoräne (Ablations- oder Finalmoräne)**

Geringmächtige, beim Niedertauen und Verdunsten der letzten kompakten Eislagen final abgesetzte ungeschichtete Ablagerung; oft locker und i. d. R. sandiger ausgebildet; bildet meist nur lückige Decken über der Grundmoräne

Abb. 3/3

Stauchendmoränen; Neuhagener Insel, Kreis Bad Freienwalde (Aufn. Deutsche Fotothek)



Das durch Eiswasser abtransportierte und wieder abgelagerte Material führte zu folgenden Schmelzwasserbildungen:

a) Sander

Im Bereich schnell fließender Wässer vom Gletschertor aus kegelförmig („Sanderwurzel“) oder vor der Endmoräne flächig abgelagerte geschiebeführende Kiese und Sande mit stark wechselnder Schichten („Schrägschichtung“) – heute oft als Kieslagerstätten abgebaut –; in größerer Entfernung von der Endmoräne geringmächtiger, feinkörniger und steinärmer

b) Talsand

Im Urstromtal großflächig abgelagerte, feinkörnige geschiebefreie Sande

c) Rinnen- und Beckensedimente

In Rinnen und Zungenbecken hinter der Endmoräne abgesetzte, geschiebeführende bis -freie Ablagerungen; meist weniger wechselnder Zusammensetzung;

Oser (Sonderform): wallartige Schüttungen in ehemaligen Eistunneln und -spalten

d) Deckschmelzwassersande

Im Gebiet der niedertauenden und tieftauenden Toteisblöcke final abgesetzte Schmelzwassersedimente; räumlich eng mit der Deckmoräne verzahnt

### Hauptformen der Landschaft

Die genannten Ablagerungen einschließlich der daraus resultierenden Oberflächenformen bilden den reichen Formenschatz der *glaziären Serie*. Für die landwirtschaftliche Nutzung wichtige charakteristische **Hauptlandschaftsformen** sind:

– die *Grundmoränen-Landschaft* (Grundmoränenplatten): flachwelliger, eisrandferner, weite Geländeteile einnehmender Bereich mit vorherrschender Grundmoräne

– die *Eisrand-Landschaft* (kuppige Eisrandlagen, glaziäre Marginalzonen): stark kuppig-böschiger Moränenbereich, umfaßt Endmoräne mit unmittelbarem Rückland und Vorland; stark gegliedertes Relief, z. T. mit zahlreichen abflußlosen Hohlformen

– die *Talsand- und Dünen-Landschaft*: wenig gegliedert, nur im Gebiet der Dünen welliger Bereich, umfaßt das Urstromtal und die ausgewehten Dünenfelder

Als Folge der glaziären Prozesse kam es im Bereich der Grundmoränen- und Eisrand-Landschaft zur Entwicklung folgender *Seentypen*, die im Jungmoränengebiet noch gut erhalten sind (Marcinek u. Nitz, 1973):

– *Rinnenseen*: durch subglaziäre (lat., unter dem Eis) Schmelzwassererosion (z. B. Seen des Gamengrundes NO von Berlin) oder durch ausschürfende Tätigkeit der Gletscher (z. B. Werbellinsee bei Eberswalde) gebildete langgestreckte, relativ enge Rinnenzüge

– *Zungenbeckenseen*: durch ausräumende Tätigkeit der Gletscher, unmittelbar hinter der Endmoräne entstandene ovale bis längliche Hohlformen (z. B. Müggelsee in Berlin)

– *Grundmoränenseen*: als Folge von Toteisblöcken im Bereich der Grundmoräne entstandene große Hohlformen; treten seltener auf (z. B. Briesensee bei Schwedt)

– *Sölle und Kesselsölle*: als Folge von kleineren Toteisblöcken im Bereich der Grundmoränen gebildete kleine abflußlose Hohlformen; treten relativ häufig auf

– *Beckenseen*: als Folge größerer Eisfelderreste, in vorher ausgeschürften Becken gebildete Hohlformen; treten relativ häufig auf (z. B. Stechlinsee bei Rheinsberg)

### 3.1.5. Entstehung des Löß-Gürtels

#### Überblick

Der Löß-Gürtel im Vorland der Mittelgebirgsschwelle (vgl. Abb. 3/1) entstand ebenfalls innerhalb der Kaltzeiten. Während der Warmzeiten fand an der jeweiligen Oberfläche eine intensive Bodenbildung statt; gleichzeitig führten starke Erosionsvorgänge zu charakteristischen Oberflächenformen. Die *Anwehung* der Löße erfolgte vorwiegend in den

arktischen Perioden der Stadiale, als das Vorfeld der Gletscher vegetationsfrei und das von den Eiswässern aufbereitete Material den von den Eiskalotten kommenden Fallwinden unmittelbar ausgesetzt war. Auch die vegetationsarmen bis -freien Flächen der Niedertau- und der periglaziär beanspruchten Landschaft nach Rückzug des Eismassivs boten den Winden gute Angriffsmöglichkeiten.

In diesen Zeiten müssen durch riesige Staubstürme die feinen Teilchen aus der Frostschutt-tundra und den eiszeitlichen Flußtälern hoch in die Luft gewirbelt und an entfernten Stellen wieder abgesetzt worden sein. Deutlichere Anzeichen von Staubeinwirkung sind schon im Geschiebedecksand, insbesondere des weiter südlich gelegenen Altmoränengebietes, zu beobachten. Die Hauptablagerung des Staubes erfolgte als *Sandlöß* (mit gleichzeitiger Einwehung von Sand) oder als „reiner“ *Löß* im Bereich des heutigen Löß-Gürtels, wo zu jener Zeit bereits eine halbwegs geschlossene arktische Steppenvegetation (baumlose Tundra) das Land bedeckte. Der Staub wurde Jahr für Jahr in dünnen Lagen aufgetragen und häufte sich so innerhalb von Jahrhunderten allmählich an. Die Tundrapflanzen wuchsen immer wieder durch und hinterließen in Form alter Wurzelkanäle ein poröses Gefüge. Allmählich löste sich in feuchteren Perioden ein Teil des mitverwehten Kalkes, umkrustete die Wurzelröhrchen und bewirkte so eine Stabilisierung des Lößgefüges. Auf diese Weise bildete sich die für den Löß so charakteristische *Karbonatver kittung* heraus. Die Staubwinde drangen von verschiedenen Seiten aber auch bis in die Mittelgebirge vor und überzogen diese selbst in den höchsten Lagen mit einem Lößschleier, der in die anstehenden Schuttdecken eingearbeitet wurde.

### **Lößareale und ihre Begrenzung**

Der Löß-Gürtel der DDR gliedert sich danach in vier größere *A re a l e* :

- *Magdeburger Börde* einschließlich Köthener Ebene und die südlich gelegenen Platten (östliches Harzvorland)
- *Mittelsächsisches Hügelland* einschließlich Altenburger Land; schließt sich unmittelbar an das vorgenannte Gebiet an, teilweise unterbrochen durch die Leipziger Tieflandsbucht
- *Lausitzer Hügelland*; schließt sich an das vorgenannte Gebiet an, unterbrochen durch das Dresdener Elbtal und die Dresdener Heide
- *Thüringer Becken* einschließlich Randplatten

Der Übergang in den ersten drei Arealen vollzieht sich aus dem nördlich gelegenen Altmoränengebiet über einen unterschiedlich breiten, insgesamt aber doch relativ schmalen Sandlößstreifen ziemlich unvermittelt in das Kerngebiet der Lößlandschaft. Nur verstreut treten nördlich des Sandlößstreifens, z. B. im Fläming, in der Altmark, östlich und nordöstlich Berlins sowie auf Rügen örtlich Sandlößareale auf.

Der nördliche Lößrand weist im Mittelsächsischen Hügelland einen markanten Höhenunterschied von 20 bis 60 m auf. Diese Stufe wurde im wesentlichen während der letzten Kaltzeit ausgebildet. Als Hauptursache der geringen Sedimentation von Lößstaub nördlich dieser Stufe dürfte die lückige, durch kryogene Prozesse immer wieder aufgerissene Vegetationsdecke angesehen werden.

Die Südgrenze des Löß-Gürtels ist zugleich eine klimatisch-geomorphologische Höhengrenze. Ihr Verlauf und ihre Ausbildung im Vorfeld der Mittelgebirge wurde sowohl vom Relief als auch von den gesteins- und vegetationsbedingten Verhältnissen an den Hängen bestimmt. Mit steigender Höhe ist der Löß vorwiegend auf N- und O-exponierte Hänge beschränkt. Er wird dabei sand- und skeletthaltiger, es dominieren die grobmaterialhaltigen Lößderivate. In 400 bis 500 m über NN klingen die geschlossenen Lößdecken allmählich aus und gehen in Streuareale über, die eng mit den Schuttdecken verzahnt sind. Das heute für die Lößlandschaften so charakteristische Mesorelief bildete sich im Spätglazial und Holozän heraus. Durch stärkere erosive Vorgänge entstanden Einkerbungen, die bei junger Ausbildung als Löß-Schluchten bekannt sind und bei weiterer Ausformung dann zu dem typischen Hügelrelief mit abgerundeten Kuppen/Rücken sowie geschlossenen

und offenen Hohlformen führten. Noch heute vertiefen sich in stark zerschnittenen Lößlandschaften die vorhandenen Schluchten weiter.

### 3.1.6. Entstehung des Gebirgsschutt-Gürtels

#### Überblick

Der Gebirgsschutt-Gürtel umfaßt die von Verwitterungs- und Umlagerungssedimenten bedeckten Mittelgebirge: Harz, Thüringer Wald, Thüringisches Schiefergebirge, Erzgebirge und Zittauer Gebirge einschließlich der benachbarten lößfreien Teile des Hügellandes (vgl. Abb. 3/1). Höhenstufe und Makrorelief entwickelten sich bereits im Tertiär. Die Schuttdecken aber, die im Mittel eine Mächtigkeit von 1 bis 2 m erreichten, wurden bis auf einige Basisschichten im wesentlichen während der letzten Kaltzeit gebildet. Da bis auf einen höher gelegenen Teil des Harzes keine Eigenvergletscherung entsprechend den Hochgebirgen angenommen werden kann, sind die Schuttdecken insgesamt das Resultat *periglazialer kryogener Vorgänge*. Periglazialzeit war hier die gesamte Weichsel-Kaltzeit, so daß Frostverwitterung, Kryoturbation und Solifluktion die ganze Zeit über stattfinden konnten.

Neben den Schuttdecken kommen im Gebirgsschutt-Gürtel auch andere, steinarme Lockerdecken vor, wie Fließerden, Gebirgslöbe u. a., auf die an anderer Stelle noch eingegangen wird.

#### Bildung der Schuttdecken

Nach dem Alter und Charakter der ausgebildeten Schutte unterscheidet man im wesentlichen folgende drei lithostratigraphische Einheiten, die ausgehend vom Festgestein bzw. seiner Auflockerungs- oder Zersatzzone, als Basis-, Mittel- und Deckschutt bezeichnet oder auf Grund des wechselnden Skelett- und Feinerde-(Löß-)anteils auch mit den übergeordneten Begriffen Basis-, Mittel- und Decksediment (früher Basis-, Haupt- und Deckfolge) belegt werden (Altermann u. a. 1978):

##### a) Basissediment (häufigster Vertreter: Basisschutt)

Liegt dem anstehenden Gestein unmittelbar auf; unterhalb 600 m stärker verbreitet, oberhalb 600 m seltener; vorwiegend als Gesteinsschutt ausgebildet; weist in Körnung (Feinerde sandig-lehmig) und Farbe (Grautöne herrschen vor) deutliche Beziehungen zum Ausgangsmaterial auf; Skelett hangabwärts eingeregelt; vielfach dicht gelagert, Mächtigkeit reliefabhängig, im Thüringer Wald > 1 m, im Harz < 1 m mächtig; örtlich vertreten durch ältere (praeweichselkaltzeitliche) Fließerden (Basislehm)

##### b) Mittelsediment (häufigster Vertreter: Mittelschutt)

Jünger als Basissediment; in allen Höhenlagen, vielfach aber expositionsabhängig (insbes. an Osthängen, an Westhängen z. T. fehlend) verbreitet; vorwiegend als Schuttfeinerde entwickelt, stärker verwittert als Basisschutt; Feinerde zeigt in Körnungsart und gelblich-brauner Farbe kaum noch Beziehungen zum Ausgangsgestein, daher auf verschiedenen Gesteinen ähnlich ausgebildet; meist aufgearbeiteter Basisschutt (Lokalanteil) mit äolischer Fremdkomponente; Steine stärker angewittert und auf der Oberseite Lehmkappen tragend; enthält meist größere Schluffbeimengen und wird daher örtlich an flacheren Hängen durch grobmaterialreichen Gebirgslöß oder durch grobmaterialhaltigen Solifluktionlöß vertreten; Mächtigkeit meist um 0,5 m; in Plateaulagen unterhalb 500 m stellenweise von einem bis zu 6 dm mächtigem grobmaterialarmem Solifluktionlöß (Zwischensediment nach Altermann u. Rabitzsch, 1977) unterlagert

##### c) Decksediment (häufigster Vertreter: Deckschutt)

Oberste, jüngste Schicht der Verwitterungsdecken; i. d. R. erst oberhalb 400 bis 500 m in der Umgebung klippenbildender Gesteine, insbesondere an SW exponierten Luvhängen auftretend; vorwiegend als Gesteinsschutt (insbesondere Blockschutt) und sandreiche Schuttfeinerde ausgebildet; Feinerde gröber als beim Basisschutt, ebenfalls gesteinsabhängig



gefärbt; zum Teil Fremdeinwehung bzw. Einarbeitung schluffigen Materials bis in über 900 m Höhe (am Brocken z. B. Schluffgehalt etwa 35% der Feinerde); gleichartige Entstehungsbedingungen wie beim Basisschutt, daher diesem lithogenetisch ähnlich, Skelett aber weniger eingeregelt; Mächtigkeit etwa wie beim Mittelsediment oder geringer; örtlich in Plateaulagen und an Reliefknicks von grobmaterialarmem Gebirgslöß vertreten, der aus der unmittelbaren Umgebung angeweht wurde

Die drei lithostratigraphisch voneinander zu trennenden Sedimente ergeben in ihrer Gesamtheit die *periglaziale Deckserie* (Gamma- bis Zeta-Zone nach *Schwanecke*) der Mittelgebirge. Es wird vermutet, daß die Basissedimente im Frühglazial oder früher, die Mit-

Abb. 3/4  
 Schuttlehm-Braunerde aus Tonschiefer in Mittel- über Basisschutt (Zweischichttyp);  
 Unterreichenau, Kreis Zeulenroda (Aufn. *Morgenstern*)

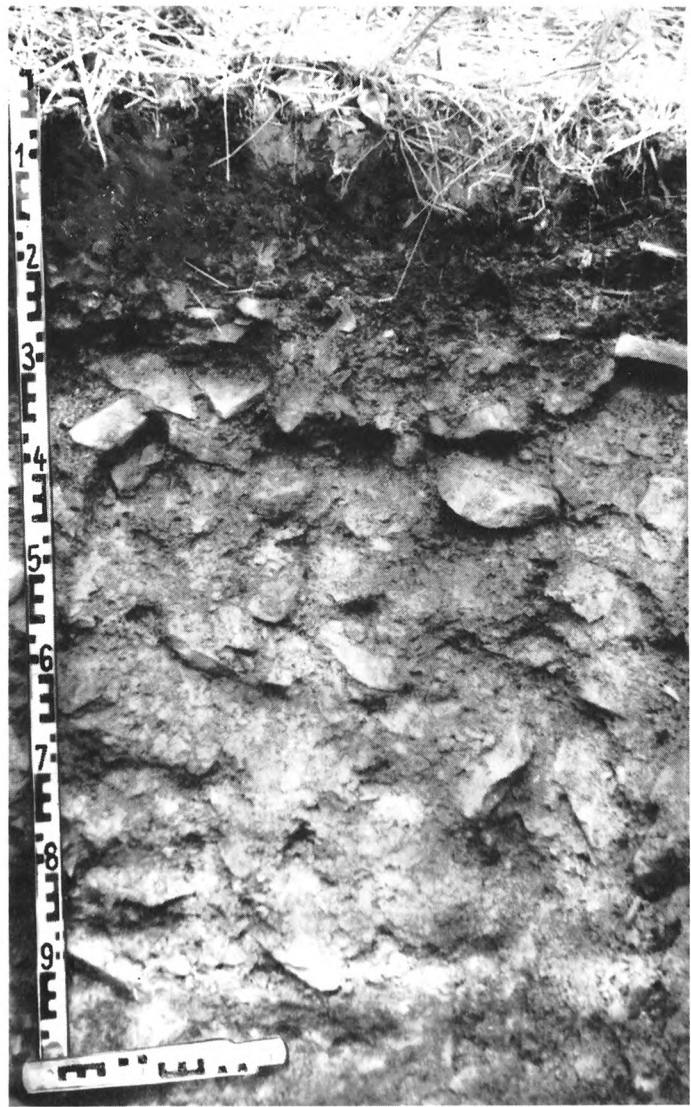
Hörizonte

Substrat

Ap

Bv

Schuttlehm



telsedimente im Hochglazial und die Decksedimente im Spätglazial der Weichsel-Kaltzeit gebildet wurden. Die periglaziäre Deckserie ist nicht immer vollständig, oft fehlen einzelne Glieder. Je nachdem, welche Schichten auftreten und welche Mächtigkeiten dieselben haben, kann man verschiedene Schichttypen bzw. Schichtkombinationen oder Schichtfolgen unterscheiden, von denen nachstehende drei stärker verbreitet sind:

- *Dreischichttyp* (Deckschutttyp): Deckschutt über Mittelschutt über Basisschutt; nur oberhalb 500 m verbreitet
- *Zweischichttyp* (Mittelschutttyp): Mittelschutt über Basisschutt; verbreitetste Ausbildung (s. Abb. 3/4)
- *Einschichttyp* (Basisschutttyp): ausschließlich Basisschutt; vorwiegend oberhalb 500 m verbreitet

Besonders im Zuge bodenkundlich betonter Arbeiten konnte der Charakter der periglaziären Schuttdecken im letzten Jahrzehnt erkannt und interpretiert werden.

### 3.1.7. Nacheiszeitepoche

#### Überblick

Die Nacheiszeitepoche, auch *Holozän* oder *Postglazial* genannt, begann mit dem Abschluß der Weichselvereisung vor etwa 10 000 Jahren. Auch sie wird in weitere Zeitabschnitte untergliedert, die sich aus dem Klimaablauf und der damit in enger Beziehung stehenden Vegetationsentwicklung ergeben (s. Tab. 3/3). In die gleiche Zeit fällt auch die Einstellung der nördlichen Meere auf ihr heutiges Niveau, die im Zusammenhang mit dem Rückzug des nordischen Inlandeises und den damit verbundenen Hebungen und Senkungen gesehen werden muß. Die Transgressionen (lat., Vordringen) und Regressionen (lat., Rückbildung) der Meere im Ostseeraum gehen ebenfalls aus Tabelle 3/3 hervor.

Während des Holozäns entwickelten sich im wesentlichen unsere *heutigen Böden*. Wenn auch die Bodenbildung schon im Spätglazial einsetzte, so war es doch nur die erste Umformungsphase, insbesondere während der Interstadiale Bölling und Alleröd. In den letzten kühlen Abschnitten der Weichsel-Kaltzeit herrschten in den vegetationsfreien Gebieten die kryoklastische Verwitterung sowie solifluidale Umlagerung vor, die zwar als postsedimentär, aber doch noch praepedogen (lat., prae = vor, post = nach) angesehen werden müssen. Im Bereich der Löße kann die Karbonatumsfällung unter dem Einfluß einer Tundravegetation als erste Bodenbildungsphase betrachtet werden. Bald danach setzte auf allen kalkhaltigen Sedimenten die Kalkauswaschung ein. Im *Altholozän* kam auf allen Sedimenten die Bodenbildung unter dem Einfluß der sich rasch ausbreitenden Vegetation verstärkt in Gang. Sie verlief während der einzelnen Abschnitte des Alt-, Mittel- und Jung-holozäns nicht immer gleich intensiv, je nachdem, ob es sich um kühlere oder wärmere, feuchtere (Atlantikum, Subatlantikum) oder trockenere (Boreal, Subboreal) Abschnitte handelte.

Von großem Einfluß auf die Bodenbildung, insbesondere während des *Jungholozäns*, war der *Eingriff des Menschen* in die Natur. Die Änderung der Vegetation (z. B. Wald → „Kultursteppe“) bewirkte i. d. R. auch eine Änderung in der Entwicklungsrichtung. Umfangreiche Rodungen führten zu weiträumiger Abtragung, wodurch die Bodenbildung ebenfalls beeinflusst wurde. Unsere Böden sind also nicht nur das Abbild der gegenwärtig wirkenden Umweltfaktoren, sondern auch das Ergebnis der Faktorenkonstellation früherer Zeitabschnitte, sie sind damit geschichtlich gewordene Naturkörper.

Als sedimentäre Vorgänge waren im Holozän nur die örtlichen Verwehungen (Dünenbildung) und die Umlagerungen von Bodenmaterial als Folge von Erosions- und Akkumulationsprozessen, insbes. die Auensedimentation, von größerer Bedeutung.

Tabelle 3/3

Gliederung des Spätglazials/Holozäns, einschließlich entwicklungsbestimmender Ereignisse auf dem Gebiet der DDR (nach verschiedenen Autoren)

Zeitabschnitte		abs. Zeit nach vorzeitrechnung	Klima-ablauf	Vegetationsentwicklung		Entwicklungsphasen der Ostsee	Entwicklung der menschlichen Kulturen			
				Baum-ausbreitung	Pollen-diagn. zonen n. Firbas					
Holozän ( Postglazial, Nacheiszeit )	Jungholozän	Jüngeres Subatlantikum	1500	heutige Verhältnisse mit Schwankungen	Wirtschaftswälder und naturnahe Wälder wie zuvor starke Rodungen	X	neutige Ostsee	Deutsche Zeit		
		Nachwärme-Zeit	1000					Slawische Zeit		
		Älteres Subatlantikum	+500	weiter abkühlend feuchter	Buchen - Mischwälder	IX		Lymnää - Phase	Völkerwanderung	
			Zw-2000						Römische Kaiserzeit	
	Mittelholozän	Sub-boreal		-500	abkühlend und trocken	Buchen-Eichenwälder Ausbreitung der Buche	VIII	Litorina - Meer	Vorrömische Eisenzeit	
				3000					geringer Rückzug	Bronzezeit
		( Späte Wärmezeit )	1500	sehr feucht	stärkere standörtliche Differenzierung in	VII	zweiter Höchststand		Jungsteinzeit ( Neolithikum )	
			4000	etwas weniger warm mit Feuchte - schwankungen	-Eichen-Lindenmischwald -Kiefernwald -Erlenwald					
		Jüngeres Atlantikum	2500				VI		erster Höchststand	Ertebölle
		Älteres Atlantikum	5000							
	Mittlere - Wärme - Zeit		3500	6000	Wärme - maximum und feucht	Eichenmischwälder mit Ulme, Linde, Kiefer, Hasel, Esche u. / o. Fichte		Ausdehnung	Mittelsteinzeit ( Mesolithikum )	
			4500	7000						
Altholozän	Boreal - ( Frühe Wärmezeit )		5500	nachhaltige Erwärmung, noch relativ trocken	Ausbreitung der Laubbäume Haselmaximum Hasel - Kiefernwälder	V	Litorina - Meer	Ancylus - Großsee ( mit Süßwasser )		
			8000							
	Präboreal ( Vorwärmezeit )		6500	9000	schnelle Erwärmung, trocken	Birken - Kiefernwälder wechselnder Zusammensetzung		IV	Yoldia - Meer	
			7500	10000						
Wechselkaltzeit Spätglazial	Jü. ( Dryas - ) Tundren - Zeit	8500	Kälte - rückschlag	Tundra m. licht. Birken - Kiefernwäldern	III	Rückzug des Inlandeises	Baltische Eisstauseen ( Süßwasser )	Ahrens - burger Gruppe		
	Alleröd	11000	mäßige Erwärmung, mäßig trocken	Birken - Kiefernwälder	II		Feder - messer - gruppen			
	Ält. ( Dryas - ) Tundren - Zeit	12000	kalt, mäßig trocken	baumarme Strauchtundra	I					
	Bölling	10500	13000	geringe Erwärmung		erste Birkenwälder				

## Bildung von Dünen

Die Bildung der Dünen erreichte ebenfalls noch im Spätglazial größere Ausmaße. Sie klang während des Altholozäns allmählich aus, da die Entwicklung der Vegetation eine „Festigung“ der Oberfläche zur Folge hatte. Trotzdem sind noch in vielen Teilen des Tieflandes der DDR, besonders aber in der Küstenregion, Dünen bis in das Subatlantikum entstanden.

Nach der Ausbildung unterscheidet man zwei Dünenformen:

- *Bogendünen*: parabelartiger, auf Grund vorherrschender westlicher Windrichtungen nach W geöffneten Grundriß; steilere Böschung mit bis zu 30° Neigung nach O (Leeseite)
- *Strichdünen*: weichen von NW nach SO gerichteten Verlauf; vermutlich aus zerstörten Bogendünen hervorgegangen

Das Alter der Dünen kann oft aus dem Alter der Böden auf diesen erschlossen werden. Junge Dünen tragen nur Ranker, ältere schwache Podsole (auf der Nordseite) bzw. Ranker (auf der Südseite). Auf sehr alten, intensiv entwickelten Dünen bildeten sich meist eisenreiche Podsole und Braunpodsole.

## Entwicklung der Auen

Die Sedimentation in den Auen vollzog sich zwar während des gesamten Holozäns, zeigt aber in Verbindung mit der Entwicklung der menschlichen Gesellschaft (vgl. Tab. 3/3) ausgesprochene Hauptbildungsphasen. Größere Rodungsperioden zogen starke Hangerosion und demzufolge mächtigere Auenablagerungen nach sich, die man als Auenlehme (besser Auensedimente) bezeichnet. Unter *Auensediment* versteht man die feinkörnigen Hochwasserabsätze im Überschwemmungsbereich der Flüsse und Bäche, also in jenem Bereich, der nach Überflutung jeweils wieder trocken fällt. Nach dem Alter unterscheidet man:

- *Ältere Auensedimente*: untere, meist geringmächtigere Schichten, abgesetzt in der Jungsteinzeit bis Bronzezeit; verbreitet z. B. im Oderbruch, in der Wische, in den sächsischen und thüringischen Fluß- und Bachtälern
- *Jüngere Auensedimente*: obere, meist mächtigere Schichten; abgesetzt während der großen mittelalterlichen Rodungsperioden; verbreitet in allen Tälern und Tälchen, besonders im Süden der DDR

Auensedimente bestehen aus abgesetzten Schwebstoffen, der sog. Flußtrübe. Das Material wurde von den entwaldeten Höhen und Hängen im Bereich der Einzugsgebiete der Flüsse herabgespült und mit dem Wasser in die heutigen Auen transportiert. Dabei handelt es sich nicht nur um Lehme, sondern auch um Sande, Schluffe und Tone.

Da jüngeres und älteres Auensediment meist übereinander lagern, entwickelten sich unsere heutigen Auenböden, vor allem im Süden der DDR, vorwiegend auf dem jüngeren Auensediment. Im Vergleich zu den Böden auf Glaziärsedimenten und Löß sind es relativ junge Bildungen. Außerdem wurden sie im Gegensatz zu diesen nicht post-, sondern vorwiegend synsedimentär gebildet. Auf Grund der in den letzten Jahrhunderten überall erfolgten Vorflutregelung und dem damit verbundenen Trockenfallen dieser Böden nennt man sie heute *Altauenböden* (paläohydromorphe Böden) und stellt sie den Jungauenböden, die immer noch überschwemmt werden (bei uns selten), gegenüber.

In der DDR gibt es zahlreiche Auen, vielfach handelt es sich jedoch nur um kleinräumige Landschaften. Nachfolgend sind einige größere charakteristische Auengebiete beschrieben (Cronewitz, Dörter, Lieberoth, Pretzschel, 1974):

### a) Wische

Umfaßt einen erheblichen Teil der Altmärkischen Elbtalniederung, in welcher sich drei Urstromtäler vereinigen; schwere, vorwiegend aus Auentonen bestehende Substrate mit stärkerem Grundwasser-einfluß; Relief eben; inhaltliche Heterogenität der Bodendecke kontrastarm, räumliche von der Elbe zur westlichen Talflanke hin heterogener werdend

#### b) Oderbruch

Liegt innerhalb des Thorn-Eberswalder Urstromtales;

nördlicher Teil: vorwiegend geringmächtige tonige und lehmige Auensedimente, stellenweise von Torf unterlagert, mit stärkerem Grundwassereinfluß; Relief eben bis ganz schwach kuppig; inhaltliche Heterogenität durch schwachen Substratkontrast gekennzeichnet, räumlich durch Schwindstellen mitbestimmt; südlicher Teil (etwa südlich der Linie Wollup-Letschin): durchgehend mächtigere Tondecken; Relief ebener; Areale gleicher Bodenqualität größer und kompakter, d. h. geringerer räumlicher Substratkontrast

#### c) Elster- und Saaleaue

Umfaßt die relativ schmalen Täler der Unter- bis Mittelläufe der Flüsse, die hier noch verhältnismäßig hohe Transportkraft haben; vorwiegend schluffige, lehmige oder leichtere Auensedimente mit schwächerem Grundwassereinfluß, daher neben grundwasserbestimmten halbhydromorphen Böden verstärkt anhydromorphe verbreitet; inhaltliche Heterogenität durch mittleren Substratkontrast gekennzeichnet, räumliche Heterogenität gering

#### d) Helme-Unstrut-Gebiet

Auenlandschaft im nördlichen und westlichen Teil des Thüringer Beckens; vorwiegend schluffige und tonige Auensubstrate; Talflanken von Kolluviallössen und anhydromorphen Böden gebildet, im Talinneren Grundwasser vorherrschend; Relief in Flußnähe eben, zu den Talflanken hin bewegter; inhaltliche Heterogenität der Bodendecke groß, räumliche unterschiedlich

#### e) Spreewald

Teil des Baruther Urstromtales, in dem sich die Spree in einer breiten, äußerst gefällearmen Aue in zahlreiche Arme aufteilt; vorwiegend leichtere Auensubstrate mit Grundwassereinfluß; Relief eben bis flachkuppig; starke inhaltliche Heterogenität der Bodendecke, räumliches Muster von den Talflanken zum Flußlauf hin infolge stark bewegten Mikroreliefs zunehmend heterogener; Substrate gegenüber anderen Auengebieten durch niedrigeren Ton- und Schluffgehalt sowie durch einen örtlich bis zu 7% betragenden Humusgehalt gekennzeichnet

Die Erosions- und Akkumulationsprozesse im Holozän müssen auch im Zusammenhang mit der Herausformung der heutigen Oberfläche und der Entwicklung des Flußnetzes gesehen werden. Die im Altholozän nach dem restlichen Tieftauen von Toteisblöcken und der Ausbreitung einer geschlossenen Walddecke zur Ruhe gekommene und damit im wesentlichen endgültig ausgeformte Oberfläche veränderte sich nur noch teilweise im Rahmen der jungholozänen Rodungsperioden und durch die Eingriffe des Menschen in das Gewässernetz. In der Löss- und Altmoränenlandschaft wurden nur die Läufe der Flüsse etwas verlegt und Einzugsgebiete zum Teil verschoben. Im Jungmoränengebiet hingegen sind zusätzlich bestimmte Einzugsgebiete vergrößert worden. Es entstanden neue Seen (z. B. der Mühlensee bei Lehnin), es verschwanden aber auch alte. Die Gründe dafür sind im Errichten von Mühlen-, Schifffahrts- oder Hochwasserfangstauen, in der Entwässerung von Niederungen (z. B. Oderbruch im 18. Jh.), im Absenken von Seenspiegeln und besonders in der Kopplung von Seen zu suchen. Auf diese Weise änderte sich in der Umgebung der Gewässernetze nicht nur die Landschaft, es änderte sich auch die Bodenbildung. Ehemals nasse Böden fielen z. B. trocken, so daß die in solchen Böden entwickelten und noch sichtbaren Gleymerkmale reliktsicher Natur sind.

### **Bildung der Moore**

Als eine besondere, sedentäre Bildung des Spätglazials und Holozäns können die Moore, auch als organische Böden bezeichnet, gelten. Bei ihnen überwiegt die anaerobe Akkumulation der organischen Substanz deutlich deren Zersetzung. Moore sind in ihren Basisschichten nicht selten sedimentär-organischen Ursprungs (Dy, Gytja; Mudden). In ihren Hauptschichten bestehen sie immer aus aufgewachsenen Torfen. Dieses Emporwachsen oberhalb einer mineralischen Sedimentschicht ist eine Eigentümlichkeit, die ihnen gegenüber den sich innerhalb der Sedimentschichten entwickelnden Mineralböden eine gewisse Sonderstellung einräumt. Moorböden sind somit Böden und Sediment zugleich.

Es werden nach der Vernässungsursache zwei große Gruppen von Mooren unterschieden:

a) Geogene Moore

Durch Substratwasser bedingt; etwa identisch mit den Niedermooren; durch Oberflächen-gewässer, Grundwasser oder Überrieselung (Fremdwasser) genährt; Wasser entweder selbst nährstoffreich oder durch nährstoffreiche Zuflüsse gespeist; Entwicklung anspruchsvoller Pflanzen, z. B. Schilf, z. T. Seggen und Erlen; zunächst Bildung von Unterwasserböden, später infolge ungenügenden Luftzutritts Zersetzungshemmung und damit Anhäufung abgestorbener organischer Substanz (Vertorfung) über die Wasserfläche hinaus

b) Ombrogene Moore (grch., Regenmoore)

Durch Ansammlung von Niederschlagswasser bedingt; etwa identisch mit den Hochmooren; entweder nach Absinken des Grundwasserspiegels auf geogenen Mooren durch Herauswachsen oder in kühlen regenreichen Gebieten (z. B. in den Höhenlagen) unmittelbar über undurchlässigen wasserstauenden Mineralbodenschichten (sog. wurzelechte Hochmoore) entstanden; Wasserversorgung ausschließlich über Niederschläge, daher nährstoffarm (oligotroph); Entwicklung anspruchsloser Pflanzen, z. B. Wollgräser, Torfmoose, Kiefern, Zwergsträucher; Hochmoortorfe sauer und i. d. R. weniger zur Kultivierung geeignet

Die Bildung der basalen Muddeschichten der geogenen Moore begann bereits am Ende des Hochglazials, wie aus ihrer Verzahnung mit kryogenen Erscheinungen (Frostspalten, Eiskeilnetze, Tropfenböden, Kryoturbationen) in den liegenden Sedimenten geschlossen werden kann. Im Havelländischen Luch ergab eine <sup>14</sup>C-Messung etwa 14 000 Jahre vor heute (Mundel, 1969). Die eigentliche Torfbildung setzte dann im Spätglazial ein, stagnierte im Altholozän in einigen Gebieten und erreichte während des Atlantikums und Subboreals in Verbindung mit den zu dieser Zeit kräftigen Meeresstransgressionen ihr Maximum. Die Entstehung der ombrogenen Moore begann meist erst im Älteren Atlantikum, verstärkte sich im Jüngeren Atlantikum und dauerte bis ins vorige Jahrhundert, als durch den ver-

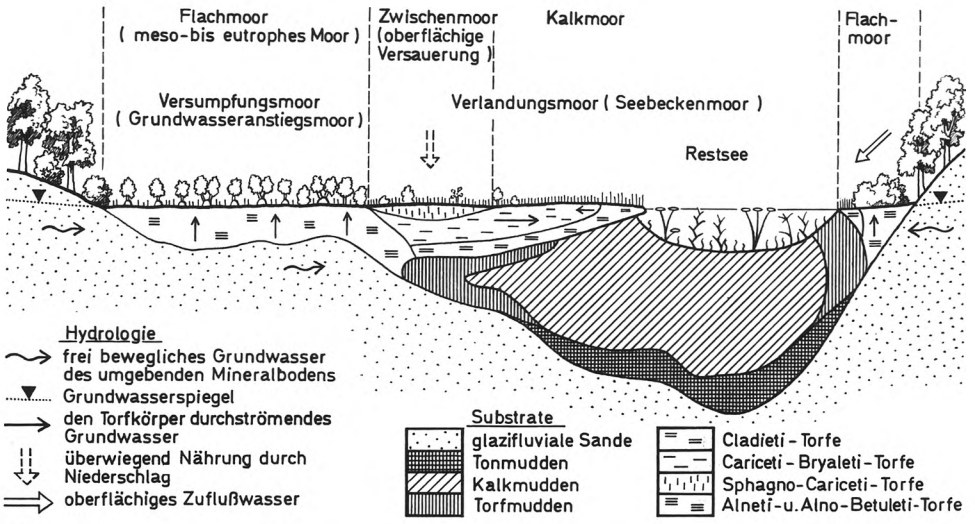


Abb. 3/5

Geländeschnitt (schematisiert) durch ein Verlandungs- sowie Versumpfungsmoor mit den ökologischen Moortypen Flach-, Kalk- und Zwischenmoor in einer kalkreichen Jungmoränenlandschaft mit Sander (nach Succow, 1980)

stärkten Eingriff des Menschen auf unserem Gebiet die Entwicklung dieser Moore endgültig abgebrochen wurde.

Während ombrogene Moore in den Mittelgebirgen vor allem als Quellmulden-, Plateau- und Hangmoore ausgebildet sind, findet man bei den geogenen Mooren eine größere Vieltalgestaltigkeit. Nach ihrer Entstehungsform können folgende hydrologische Typen unterschieden werden (Succow, 1980):

a) Gewässermoore

*Verlandungsmoore* (s. Abb. 3/5): durch Verlandung von abgeschlossenen Seebecken, Söllen, Altwasserarmen, Flußseen und „überwachsenen“ Tieflandflüssen entstanden; charakteristisch sind geringmächtige Torfe über mächtigeren Mudden; meist als Flach-, seltener als Zwischen- oder Kalkmoore entwickelt; vor allem im Jungmoränengebiet (insb. im Eisrandbereich und in der nördlichen Küstenregion) verbreitet; wenig geeignet für die landwirtschaftliche Nutzung

*Überflutungsmoore*: durch Überflutung kleinerer Flüsse (Flußmoore) und in periodisch überstauten Flußauen (Auenmoore) entstanden; liegen meist dem mineralischen Untergrund direkt auf; als Flachmoore entwickelt; im Bereich der unteren Peene, Spree, Havel, Schwarze Elster, unteren Oder u. a. Flüssen verbreitet; in hochproduktive Grünlandstandorte überführbar

b) Versumpfungsmoore (Grundwasseranstiegsmoore; vgl. Abb. 3/5) Durch Grundwasseranstieg in Tälern und Senken entstanden; meist in Form geringmächtiger (< 1 m) Torfe unmittelbar über dem sandigen mineralischen Untergrund als Flach-, seltener als Zwischenmoor mit breiten Anmoorsäumen entwickelt; im gesamten Moränengürtel (insb. Talsandgebiete) verbreitet; für die landwirtschaftliche Nutzung sehr gut geeignet

c) Bewegtwässermoore (Überrieselungsmoore)

*Durchströmungsmoore* (Talmoore): in vermoorten Tälern (als Ergebnis des durch den Torfkörper strömenden Bodenwassers) und in natürlichen Wasseradern entstanden; meist mächtige Torfe über Mudden oder unmittelbar über dem mineralischen Untergrund; als Kalkmoore entwickelt; verbreitetster Typ im Bereich des Pommerschen Stadiums (machen insg. 30 % aller Moore der DDR aus), vor allem an bestimmte Hauptentwässerungsadern gebunden (z. B. Warnow, Recknitz, Peene, Tollense, Ücker, Randow, Friedländer Wiese, Welse, Finow, Rhin, Havel); meist gute Grünlandstandorte.

*Quellmoore*: in der Umgebung von Quellen an Hängen (Hangquellmoore) und in Niederungen (Niederungsquellmoore) entstanden; charakteristisch ist der Wechsel von Torf und Sandschüttungen, oft mit eingelagerten Kalktuffen; als Flach-, Kalk- oder Zwischenmoore entwickelt; kommen in allen Gebieten der DDR vor, aber sehr kleinflächig (machen insg. < 1 % der Gesamtmoorfläche aus)

*Hangmoore*: an Hängen mit hohem oberflächigem Gebietsabfluß entstanden; mittelmächtige Torfe unmittelbar über dem mineralischen Untergrund; als Zwischenmoore, z. T. mit Hochmoortendenz entwickelt; nur im Gebirgsschutt-Gürtel (vereinzelt auch in der Lausitz) verbreitet; zur landwirtschaftlichen Nutzung weniger geeignet

*Kesselmoore*: in abflußlosen kleinen Hohlformen mit charakteristischer Ausbildung von Randsümpfen entstanden; mächtige Torfe meist unmittelbar über dem mineralischen Untergrund; als Zwischen-, seltener Kalkmoore entwickelt; nur im Moränengebiet vorkommend, aber sehr kleinflächig (machen etwa 1 % der Gesamtmoorfläche aus); im Zuge der Großflächenbewirtschaftung sind sie als Störareale zu betrachten

Die geogenen Moore sind bereits oder werden fast alle entwässert, so daß durch Wegfall der natürlichen Bildungsbedingungen das weitere Wachstum (außer bei Flachmooren) unterbunden ist.

Die ehemaligen Bildungsbedingungen der Moore spiegeln sich aber nicht nur in der Entstehungsform, sondern auch in ihrer Trophie (grch., Ernährungszustand) und Bodenreaktion wider. Dementsprechend unterscheidet man (Succow, 1971 u. 1974):

- oligotrophe (nährstoffarme), stark saure (pH in KCl < 4,5) Moore – sog. *Armmoore*
- mesotrophe, stark bis schwach saure (pH < 6,5) Moore – sog. *Sauermoore*
- oligo- bis mesotrophe, neutral bis basische (pH > 6,5) Moore – sog. *Kalkmoore*
- eutrophe (nährstoffreiche), schwach saure bis basische (pH > 4,5) Moore – sog. *Reichmoore*

Diese Gruppierung ist besonders im Hinblick auf die Nutzungsmöglichkeiten der Moore von Bedeutung. Der Einfachheit halber wird in der Bodensystematik der DDR das Kalk- und Reichmoor unter dem bekannten Begriff *Niedermoor* (Nto) zusammengefaßt. Sauer- und Armmoore entsprechen etwa dem Zwischen- und Hochmoor (Zto, Hto).

### 3.2. Das Ausgangsgestein und seine Veränderung

#### 3.2.1. Minerale und Mineralgemenge

##### Wichtige Primärminerale

Die feste Rinde der Erde, das sind die mehr oder weniger zugänglichen Gesteine in ihrer Gesamtheit, enthält fast alle Elemente. Es sind jedoch nur wenige, die in wesentlichen Mengenanteilen vorkommen (s. Abb. 3/6). Aus diesen Elementen setzen sich die verschiedenen gesteinsbildenden Minerale zusammen. Minerale sind feste, kristalline, überwiegend anorganische Verbindungen mit spezifischen chemischen und physikalischen Eigenschaften.

Die Eigenschaften der Böden sind eng mit denen des Ausgangsgesteins und seiner Minerale verknüpft. Besonders junge Böden zeigen eine dem Ausgangsmaterial ähnliche mineralogische Zusammensetzung. Der Anteil der unveränderten Minerale (Primärminerale) im

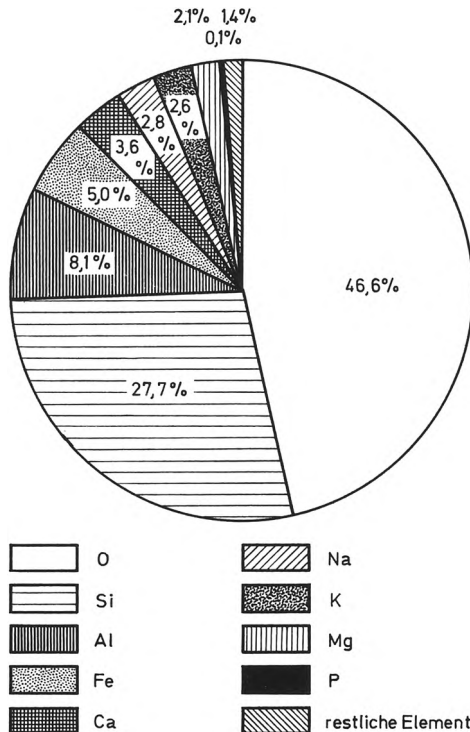


Abb. 3/6  
Kreisdiagramm der mittleren chemischen Zusammensetzung der Lithosphäre in M.-%



Boden hängt von deren Verwitterungsstabilität ab. Im Verlauf der Bodenbildung werden daher stabilere Minerale wie Quarz, Kalifeldspat, Glimmer und Schwerminerale in den größeren Kornfraktionen des Bodens relativ angereichert. In den feineren Fraktionen hingegen überwiegen Mineralneubildungen (Sekundärminerale), insbesondere Tonminerale (vgl. Abb. 3/17).

Zu den verbreitetsten Mineralen gehören die Gruppe der Silikate und der Quarz. Die magmatischen Gesteine und die Sedimentgesteine haben die in Tabelle 3/4 aufgeführten Anteile.

Tabelle 3/4

Mineralanteile in magmatischen und Sedimentgesteinen

Minerale	Magmatische Gesteine [%]	Sedimentgesteine [%]
Silikate	80	27
Quarz	12	38
Restliche Minerale, davon Karbonate	8	35 bis zu 20

Die für die Bodenbildung wichtigsten Primärminerale sind:

a) Quarz

Reines kristallisiertes Siliziumoxid ( $\text{SiO}_2$ ), kein Silikat; fast in allen Gesteinen vertreten; meist hell, fettglänzig, muscheliger Bruch; große Härte und Widerstandsfähigkeit, daher sehr stabil; enthält und bindet keine Pflanzennährstoffe; hat im Boden nur Gerüstfunktion; Anteil in Sanden > 95%; vorwiegend in den größeren Kornfraktionen, aber auch in der Tonfraktion enthalten

b) Feldspäte

Wichtigster Vertreter der Alumosilikate; matte glatte Spaltflächen der Kristalle; teilweise vierwertige Siliziumionen ( $\text{Si}^{4+}$ ) durch dreiwertige Aluminiumionen ( $\text{Al}^{3+}$ ) ersetzt (isomorpher Ersatz), Ladungsausgleich über Bindung von Nährstoffkationen, z. B. Kalium ( $\text{K}^+$ ) und Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ ); Anteil im Boden 5 bis 15%, in manchen Gesteinen bis 30% (z. B. Buntsandstein);

Wichtige Vertreter:

Orthoklas (Kalifeldspat)  
 Albit (Natronfeldspat)  
 Anorthit (Kalkfeldspat)

Plagioklas  
 (Kalknatronfeldspat)

Elementgehalt:

ca. 9% Kalium  
 ca. 4% Natrium  
 ca. 6% Kalzium

Orthoklas vorwiegend in größeren Kornfraktionen, Plagioklas infolge leichterer Verwitterbarkeit mehr in feineren Fraktionen vertreten

c) Glimmer

Schicht-(Phyllo-)Silikat, d. h. aus Schichtpaketen bestehend, daher blättchenförmige Ausbildung;  $\text{Si}^{4+}$  ebenfalls teilweise durch  $\text{Al}^{3+}$  ersetzt, Ladungsausgleich durch Einbau von  $\text{K}^+$  in die Schichtpaketzwischenräume; wichtiger Nährstoffträger im Boden; Anteil 1% (Sande) bis über 10% (Tone); Ausgangsmineral für einige sekundäre Tonminerale

Wichtige Vertreter:

Muskovit (Kaliglimmer): ca. 8% K, 2% Fe  
 Biotit: ca. 6% K, 8% Mg, 14% Fe; leichter verwitterbar

Außer diesen Mineralen haben im Boden weiterhin folgende Gruppen noch eine Bedeutung:

- *Silikate*: Augite (Pyroxene), Hornblenden (Amphibole), Olivine, bestimmte Schwerminerale
- *Weitere Schwerminerale*: Apatit, Magnetit, Granat, Rutil, Zirkon
- *Sonstige Minerale*: Calcit, Dolomit, Pyrit, Gips

### Hauptgruppen der Gesteine

Die beschriebenen Minerale kommen nur selten allein, sondern meist in Gemengen vor. Solche Mineralgemenge bezeichnet man als Gesteine. Unter dem Aspekt der Bodenbildung spricht man auch vom *Ausgangsgestein* („Muttergestein“).

In der DDR kommt dem Bodenbildungsfaktor Gestein eine besondere Bedeutung zu, weil durch ihn in vielen Fällen die Richtung der Bodenbildung entscheidend beeinflusst wurde und wird. Auch die Fruchtbarkeit vieler Böden hängt zu einem Teil von den über das Gestein erworbenen Eigenschaften ab, ganz gleich, ob sich die Entwicklung der Böden unmittelbar in den anstehenden Gesteinen oder in deren Umwandlungs- und Verlagerungsprodukten vollzog.

Nach der Entstehung unterscheidet man drei Gruppen von Gesteinen (s. Abb. 3/7). Die magmatischen Gesteine sind Erstarrungsprodukte des in die Erdkruste aufgestiegenen Magmas. Sie sind die eigentlichen Primärgesteine und kommen als Tiefen-, Erguß- und Ganggesteine vor. Aus ihnen gingen durch Umwandlung und Verlagerung die Sedimentgesteine hervor, die als Locker- und verfestigte Sedimente ausgebildet sind. Die unter hohem Druck und bei hohen Temperaturen durch Umkristallisation aus magmatischen und Sedimentgesteinen hervorgegangenen Umwandlungsprodukte bezeichnet man als metamorphe Gesteine. Magmatische Gesteine, metamorphe Gesteine und verfestigte Sedimentgesteine kann man unter dem Gesichtspunkt der Bodenbildung zu *Festgesteinen* zusammenfassen und den *Lockergesteinen*, das sind die unverfestigten Sedimentgesteine, gegenüberstellen. Charakteristisches Merkmal der Festgesteine ist die starke Bindung ihrer Bestandteile, so daß sie weder durch manuelles Kneten noch durch Aufschütteln in Wasser zerlegbar sind. Festgesteine nehmen über 90% der Erdkruste, aber nur wenige Prozente der bodenbildenden Gesteine ein. Lockergesteine treten als Ausgangsmaterial der Böden wesentlich häufiger auf.

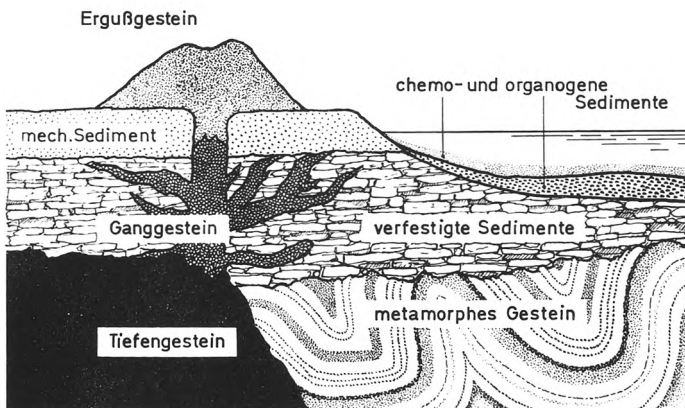


Abb. 3/7  
Schema der Gesteinsbildung

### 3.2.2. Bodenbildende Fest- und Lockergesteine

#### Magmatische Gesteine

Die magmatischen Gesteine (Eruptiv- oder Erstarrungsgesteine, Magmatite) unterteilt man nach Art und Ort ihrer Erstarrung in:

- *Tiefengesteine* (Plutonite): verbleiben in der Tiefe und kühlen dort langsam ab; bilden große, gleichmäßige Kristalle und damit ein grobkörniges (granitisches) Gefüge aus
- *Ganggesteine*: steigen in Spalten und Gängen auf und erstarren auch in diesen
- *Ergußgesteine*: steigen bis an die Oberfläche auf und kühlen dort rasch ab; bilden eine feinkörnige Grundmasse mit einzelnen größeren Kristallen (porphyrisches Gefüge) aus
- *Vulkanische Tuffe*: gehen aus zerstäubtem Magma hervor

Tabelle 3/5

Mineralzusammensetzung und Eigenschaften wichtiger magmatischer Gesteine

Vorherrschende Gemengteile	Kalifeldspat		Kalknatronfeldspat		
Weitere Gemengteile	Kalknatronfeldspat, Glimmer, Hornblende, Biotit und/oder Augit		alkalireich Glimmer, Hornblende, Biotit und/oder Augit, z. T. auch Kalifeldspat	kalkreich Augit und/oder Hornblende, Olivin	
Quarz	größere Mengen	geringe Mengen bis fehlend	größere Mengen	geringe Mengen bis fehlend	geringe Mengen bis fehlend
Tiefengesteine	Granit	Syenit	Granodiorit	Diorit	Gabbro
Ergußgesteine	Quarzporphyr	Trachyt Orthophyr Phonolith	Quarzporphyr	Porphyrit	Diabas Basalt Melaphyr <sup>1</sup> Dolerit <sup>2</sup>

<sup>1</sup> feinkörniger Basalt

<sup>2</sup> grobkörniger Basalt

Tabelle 3/6

Beziehungen zwischen Gesteins- und Substratcharakter bei Magmatiten

Gesteinscharakter	Substratcharakter	Beispiel
grobkörnig, sauer	tiefgründig; steiniger (lehm-)sandiger Grus	Granit
grobkörnig, basisch	tiefgründig; steinig-grusiger Lehm	Gabbro
feinkörnig, sauer	flachgründig; sandig-grusiger Schutt	Quarzporphyr
feinkörnig, basisch	flachgründig; steinig-grusiger Sandlehm	Diabas

Ergußgesteine und vulkanische Tuffe werden auch als *Vulkanite* zusammengefaßt. Bodenkundlich ist neben der Körnung vor allem der Mineralbestand von Bedeutung. Nach ihrem Siliziumgehalt unterteilt man daher die Magmatite in:

- kieselssäurereiche („saure“):  $> 65\% \text{ SiO}_2$
- mäßig kieselssäurereiche („neutrale“):  $52\text{--}65\% \text{ SiO}_2$
- kieselssäurearme („basische“):  $< 52\% \text{ SiO}_2$

Gesteine (weitere Eigenschaften s. Tab. 3/5).

Die Verwitter- und periglaziäre Beanspruchbarkeit wird in erster Linie von der Körnigkeit bestimmt. An vergleichbaren Standorten ergeben grobkörnige Granite tiefgründigere Substrate als die feinkörnigen Basalte. Erst bei gleicher Körnigkeit verwittern die basischen Gesteine schneller als die sauren, sie sind i. d. R. auch nährstoffreicher. Schematisiert gesehen, ergibt sich durch Verwitterung und Umlagerung das in Tabelle 3/6 dargestellte Resultat.

Zwischen diesen Ausbildungsformen gibt es alle Übergänge. Magmatite kommen in der DDR vor allem im Erzgebirge, Thüringer Wald und Harz vor.

### Metamorphe Gesteine

Die metamorphen Gesteine (*Metamorphite*) haben durch Temperatur- und Druckeinwirkung andere Eigenschaften erworben. Sie unterscheiden sich daher mehr oder weniger deutlich von ihren Herkunftsgesteinen. Besonders charakteristisch ist ihre Schieferung, die durch parallele Ausrichtung der blättchenförmigen Minerale senkrecht zur Hauptrichtung des Drucks bedingt ist. Nach der Herkunft unterscheidet man:

- Orthogesteine: aus magmatischen Gesteinen hervorgegangen
- Paragesteine: aus Sedimentgesteinen hervorgegangen

Oftmals ist eine scharfe Trennung zwischen beiden nicht möglich. In der DDR sind folgende Metamorphite stärker verbreitet:

- *Gneis*: Metamorphit mit hohem Feldspatanteil; körnig-schiefrig, leicht zerfallend, tiefgründig verwitternd; als Ortho- und Paragneis ausgebildet
- *Tonschiefer*: an der Grenze zwischen verfestigtem Sedimentit und Metamorphit; aus Tonen und Schiefertönen hervorgegangen; meist feinkörnig; verwittert zu schluffigen bzw. sandig-lehmigen skelettreichen Substraten
- *Phyllit* und *Glimmerschiefer*: aus Tonen, Tonschiefern, tonreichen Sandsteinen, Grauwacken, Graniten u. a. hervorgegangen; zum Teil leicht zerfallend; stärkste Metamorphose (Tonschiefer → Phyllit → Glimmerschiefer); vielfach basenarm; verwittern zu bindigen, schluffreichen Substraten
- *Quarzit*: aus quarzreichen, glimmerarmen Sedimentiten und Magmatiten hervorgegangen; schwer verwitterbar, fest; nährstoffarm; verwittern zu Skelettböden

### Verfestigte Sedimente

Wenn Lockersedimente nach der Ablagerung verfestigt wurden, spricht man von *Diagenese* (grch., nachträgliche Umbildung). Die auf diese Weise gebildeten Gesteine werden als verfestigte Sedimente bezeichnet. So entstanden aus

- Sanden → Sandsteine
- Tonen → Schiefertone
- Karbonaten → Kalksteine, Dolomite
- Kies, Schotter → Konglomerate
- Schutt → Brekzie

Wegen ihrer Verbreitung haben *Sandsteine* eine größere Bedeutung. Sie kommen vor allem in unseren Mittelgebirgen und deren Randgebieten vor und stammen insbesondere aus dem

Erdmittelalter (Rotliegendes, Buntsandstein, Keuper) und Erdaltertum (dann als *Grauwacken* bezeichnet). Ihr Wert für die Bodenbildung ist um so höher, je mehr sie verwitterbare Minerale enthalten und je angreifbarer ihre Bindemittel sind.

**Lockersedimente**

Die weitaus größte Gruppe innerhalb der Sedimentgesteine (Absatzgesteine, *Sedimente*, *Sedimentite*) bilden die Lockersedimente, auch als unverfestigte Sedimente oder *Lokergesteine* bezeichnet. Sie sind zwar nur zu etwa 5% an der Gesteinszusammensetzung der Erdrinde beteiligt, bedecken aber etwa 75% der festen Erdoberfläche und gehören damit zu den wichtigsten bodenbildenden Gesteinen.

Eine Untergliederung der Lockersedimente kann in folgender Weise vorgenommen werden:

- *chemogene Sedimente*: im Wasser ausgeschiedene, vorwiegend mineralische Sedimente; z. B. Gips, Steinsalz
- *mechanogene Sedimente* (klastische Trümmer-S.): durch Wasser, Eis, Frost und Wind aufgearbeitete Substrate; z. B. Kies, Geschiebemergel, Schuttdecken, Löß
- *organogene Sedimente*: unter Wasser abgesetzte, schwerer zersetzbare Organismenreste; z. B. organische Kalke, Kieselgur, Mudden

Nach der Transportart lassen sich die Lockergesteine gemäß Tabelle 3/7 unterteilen. In der DDR spielen der Verbreitung nach die glaziären und fluvioglaziären, die äolischen, periglaziären und alluvialen Sedimente eine dominierende Rolle. Im Verlauf der Umwandlung und des Transportes blieben viele Eigenschaften des Ausgangsgesteins, insb. die mineralogenen, erhalten. So zeigen solche Lockersedimente, die aus magmatischen oder metamorphen Gesteinen hervorgingen, noch charakteristische Merkmale der ursprünglichen Festgesteine. Umwandlungen innerhalb der Sedimente, z. B. die Bildung periglaziärer aus glaziären Lockergesteinen, führten zwar zur Herausbildung neuer Eigenschaften, der Grundcharakter des Sediments blieb aber auch dort erhalten. Mit dem Umprägungsvorgang durch Sedimentation war in vielen Fällen vor allem eine Verschiebung der relativen Mineralanteile zugunsten der verwitterungsresistenten verbunden. Für die nähere Erläuterung werden die Lockersedimentgruppen gebietsbezogen behandelt.

Tabelle 3/7  
Gliederung der Sedimente nach der Transportart

Bewegt	abgesetzt	Bezeichnung	Beispiel
durch Wasser	im Meer in Seen im Bereich von Wasserläufen	marine S.* limnische S. alluviale S. fluviatile S.	Gips Seekreide Auenlehm Flußschotter
durch Gletschereis	beim Abtauen durch Schmelzwässer	glaziäre S. fluvioglaziäre S.	Geschiebemergel Sandersand
als Folge von Bodenfrost	durch Bodenfließen an Ort und Stelle	solifluidale S. periglaziäre S.	Gesteinsschutt Geschiebedecksand
durch Wind	auf vegetationsbe- standenen Flächen	äolische S.	Löß

\* Sedimente

### 3.2.3. Glaziärsedimente des Tieflandes

#### Primäre Ablagerungen

Im Bereich des Tieflandes der DDR, dem Gebiet nördlich der Lößzone, dominieren die glaziären (lat., Eis...) Ablagerungen, zu denen auch die Schmelzwassersande, die sog. fluvioglaziären (lat., Eiswasser...) Sedimente gehören. Folgende Sedimenttypen werden unterschieden:

a) Geschiebemergel (Geschiebelehm)

Lehmige, kalkhaltige Ablagerungen mit Geschieben; abgesetzt beim Niedertauen der Eisfelder als Grund- und Endmoräne; braungrau, nach Entkalkung in braunen Geschiebelehm übergehend; laminares (Scherflächen-)Gefüge; enthält um 10% CaCO<sub>3</sub>, 10% Ton und 20% Schluff

b) Geschiebeführende Sande

Wechselkörnig-sandige, kalkhaltige oder kalkfreie Ablagerungen; abgesetzt als Deck-

Abb. 3/8

Lehmunterlagerter Sand (Salmtieflehm-Fahlerde); Alt-Lüdersdorf, Kreis Gransee (Aufn. Thiere)

Horizonte

Ap

Bv

Et

Bt

Substrat

Sand

Lehm

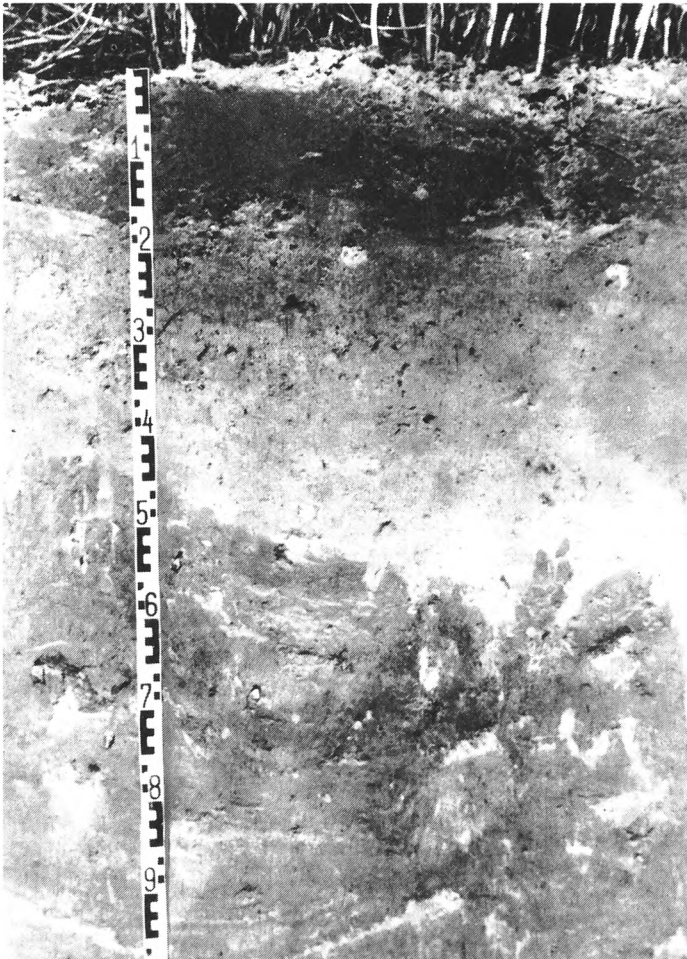


Tabelle 3/8

Sedimentbürtiger Gesamtgehalt an Nährelementen (Flußsäureaufschluß in humusarmen mittel- bis feinkörnigen Geschiebe- und Tertiärsanden in mg/100 g Boden (nach Angaben von Kopp u. a., 1969)

Substratalter	Kalium		Kalzium		Magnesium		Phosphor	
	a	b	a	b	a	b	a	b
	[mg/100 g]		[mg/100 g]		[mg/100 g]		[mg/100 g]	
Pommersches Stadium	860	1 300	170	240	60	180	n. b.	n. b.
Frankfurter Stadium	610	990	90	160	40	120	10	15
Präweichsel-Kaltzeiten	620	1 080	80	130	20	100	9	12
Tertiär	370	630	5	20	10	70	8	11

a: weitgehend schluff- und tonfrei

b: etwa 20% Schluff und 10% Ton

moräne, Deckschmelzwassersand, als End- seltener auch Grundmoräne beim Nieder-  
tauen der Eisfelder, als Schmelzwassersande vor dem Eisrand (Sander) und in Schmelz-  
wasserrinnen; meist ungeschichtet, enthält < 10% Ton, um 80% Sand

#### c) Geschiebefreie Sande

Feinkörnig-sandige, primär kalkfreie Ablagerung ohne Geschiebe; abgesetzt in langsam  
fließenden Wässern vor dem Eisrand als Talsand, in Becken als Beckensand; enthält < 10%  
Ton, > 70% Sand

Die Mächtigkeit der Glaziärsedimente ist unterschiedlich. Oft kommen glaziäre und flu-  
vioglaziäre Ablagerungen miteinander kombiniert vor. Verbreitet ist die Abfolge „geschie-  
beführender Sand über Geschiebemergel/-lehm“, die bei der Substratansprache als Tief-  
lehm benannt wird (s. Abb. 3/8). *Dünensande* sind meist ausgewehnte Talsande. Sie gehören  
mit zu den ärmsten Substraten und werden nur noch von den vor allem im südöstlichen Teil  
des Tieflandes örtlich stärker verbreiteten *Tertiärsanden* untertroffen.

Allgemein kann gesagt werden, je feinkörniger die Geschiebesedimente, um so nährstoff-  
reicher und sorptionskräftiger sind sie. Geschiebemergel/-lehme haben daher eine höhere  
Fruchtbarkeit als die vergleichbaren geschiebeführenden Sande. Innerhalb der Sande sind  
allerdings die grobkörnigen meist reicher an nährstoffführenden Mineralen als die feinkörnigen.  
Hinzu kommen regionale Unterschiede. So sind die sandigen Ablagerungen im  
Bereich des Pommerschen Stadiums von Natur aus nährstoffreicher als in dem des Bran-  
denburger und diese wiederum reicher als im Altmoränengebiet (s. Tab. 3/8). Ähnliches gilt  
für die Geschiebemergel. Lehmige Glaziärsedimente der Weichselvereisung weisen  
z. B. in der Sandfraktion im Mittel > 0,84% Kalium und > 0,016% Phosphor auf, saaleis-  
zeitliche weniger.

#### Derivate

Die meisten Glaziärsedimente wurden nach dem Abschmelzen des Inlandeises noch vor der  
einsetzenden Bodenbildung (praepedogen) durch periglaziäre und äolische Prozesse über-  
formt, so daß eine qualitativ andersartige Deckschicht entstand, die sich von dem liegenden  
Material in bestimmten Eigenschaften abhebt und daher auch als eigenes Sediment be-  
trachtet werden kann. Solch ein sekundäres Sediment, das sich aus anderen Lockersedimen-  
ten ableiten läßt, wird als Sediment-Derivat (lat., Abkömmling), in diesem Falle als  
Geschiebesediment-Derivat bezeichnet.

Sowohl die Tieflehme als auch die mächtigeren Geschiebesande zeigen innerhalb des obersten sandigen Profilbereichs eine Zweiteilung, die i. d. R. durch eine mehr oder weniger deutliche *Steinsohle* mit girlandenähnlichem Verlauf markiert ist (s. Abb. 3/9).

Ein charakteristisches Merkmal dieses *Decksandes* ist seine weitgehende Homogenität. Materialschichtungen, Bänder und andere Ungleichmäßigkeiten fehlen. Andererseits weist er bestimmte Materialbesonderheiten auf, insb. Abweichungen in der Gesamtkörnung gegenüber dem Liegenden. Dabei fällt auf, daß der Materialcharakter des Decksandes trotzdem immer dem Liegenden verwandt ist. Nicht selten zeigen sich deutliche *Fremdeinflüsse* durch Einwehung, die sich z. B. in höheren Schluffanteilen und gebietsweise auch höheren Schwermineralgehalten (z. B. Granat) niederschlagen. Auf lokale Verwehungen deuten u. a. die sog. *Windkanter* (Geschiebe mit spezifischen Kantenschliffen) in der Geschiebesohle hin. Bei deutlicher Ausbildung der Sohle sind die Steine perlschnurartig mit oberflächenparalleler Längsachse angeordnet. Die Geschiebe befinden sich aber nicht nur an der Basis des Decksandes, sondern sie kommen, wenn auch in geringerer Häufigkeit, in der gesamten Deckschicht vor.

Die Entstehung des Decksandes ist noch nicht restlos geklärt. Man ist sich jedoch darin einig, daß er als Umwandlungsprodukt eines periglazialen Milieus anzusehen ist, das durch das Mit- und Nacheinanderwirken folgender Vorgänge entstand:

- *Sedimentation*: kurzstreckige (parautochthone) Verlagerung und Fremdeinwehung
- *Kryoturbation*: Verwürgung und Durchmischung infolge Dauerbodenfrostes (vertikaler Filtergerüstbau) an Ort und Stelle
- *Gekoppelte kryoklastisch-chemische Verwitterung*: mechanischer Zerfall durch Frostverwitterung mit gleichzeitig beginnender Eisenfreilegung (Lösung/Oxidation)

Das Ergebnis insb. des an zweiter Stelle genannten Vorganges wird auch als *Perstruktion* (lat., Umgestaltung) bezeichnet. Solifluktion war von untergeordneter Bedeutung. Die Steinanreicherung wird nicht nur als Ausblasungsrückstand („Deflationspflaster“) angesehen, sondern auch durch Auffrieren (Frosthub) und Einsinken im eiszeitlichen Auftauboden erklärt. Am Resultat beurteilt, muß

Abb. 3/9

Periglaziäre Deckzone (Geschiebedecksand) mit Steinsohle (Sand-Rosterde);  
Jessen, Bezirk Cottbus





der Gesamtprozeß relativ einheitlich gewesen sein, da die Deckschicht im Jungmoränengebiet gleichmäßig  $\pm 4$  dm, im Altmoränengebiet bis zu 6 dm mächtig ist. Das Verhältnis zwischen den genannten drei Vorgängen kann recht unterschiedlich gewesen sein. Im Altmoränengebiet, das wesentlich länger unter Periglazialeinfluß stand, müssen die Vorgänge insgesamt intensiver verlaufen sein, insb. die äolischen Prozesse (größere Anzahl an Windkantern, unmittelbarer Übergang in den Sandlöß).

Je nach dem Aspekt, der für die Entstehung hervorgehoben werden soll, erfolgt die Benennung des Decksandes. Bei Betonung aller drei Vorgänge wird von *periglaziärer Deckzone*, bei Betonung der Kryoturbation von *periglaziärer Perstruktionszone* (Delta-Zone nach Kopp), bei Betonung der Sedimentation von *Geschiebedecksand* bzw. *Sanddeckschicht* (mit Steinsohle) gesprochen. Insgesamt gesehen, ist somit der Geschiebedecksand glaziär-periglaziären Ursprungs, ein parautochthones Umwandlungsprodukt des oberflächennahen Bereichs der glaziären Sedimente. Seine letzte Überformung erfolgte im Spätweichselglazial, als beim Rückzug und Niedertauen des Eismassivs der gesamte Raum gürtelweise im nachhinein periglaziär beansprucht wurde.

Die periglaziäre Deckzone ist i. d. R. gut identifizierbar. Weniger deutlich ist die darunter folgende *Übergangszone* (Epsilon- und Zeta-Zone nach Kopp) zu erkennen, die sowohl kryogene Merkmale des Decksandes als auch Merkmale des ungestörten Untergrundes (Schichtung bei Sanden, Laminargefüge bei Geschiebemergel) aufweist. Noch deutlicher sind solche Periglazialphänomene erhalten wie ehemalige Eiskeilverformungen, Eisspalten und Brodeltöpfe. Diese periglaziäre Übergangszone ist im Altmoränengebiet mächtiger und deutlicher ausgebildet. Der gesamte Deckenbereich, also „periglaziäre Deckzone über periglaziärer Übergangszone“ wird als *periglaziäre Deckserie* bzw. *Perstruktionsserie* bezeichnet. Ihre Mächtigkeit beträgt 6–12 dm.

Die bodenbildenden Lockergesteine im Tiefland der DDR müßten bei strenger Auslegung entsprechend obigen Ausführungen als mehrschichtig angesehen werden. Der Geschiebedecksand überzog alle glaziären und fluvioglaziären Sedimente, was nicht ohne Einfluß auf die nachfolgende Bodenbildung war. So sind die Braunhorizonte der Sand-Braunerden und -Rosterden sowie der Tieflehm-Fahlerden an diese Sanddeckschicht gebunden, weil das Material einmal chemisch bereits vorverwittert und zum anderen mechanisch stärker aufbereitet und damit auch im Holozän der Verbraunung zugänglicher war. Auf den im Tiefland vorhandenen jüngeren Sedimenten, z. B. den erst im Holozän zum Stillstand gekommenen Dünensanden, entwickelten sich hingegen Orthorizonte, die typisch für Podsole sind.

### 3.2.4. Windsedimente des Hügel- und Berglandes

#### Primäre Ablagerungen

Der Löß ist das für die Bodenbildung wertvollste Windsediment. Auf ihm haben sich unsere fruchtbarsten Böden, die Löß-Schwarzerden, -Parabraunerden und -Fahlerden entwickelt. Selbst die Löß-Staugleye zählen nach Melioration und bei guter Bewirtschaftung zu den ertragsreichen Böden der DDR.

Im Bereich des Lößgürtels (insb. Magdeburger Börde, Thüringer Becken, Mittelsächsisches Hügelland) und den angrenzenden Gebieten können folgende Sedimenttypen unterschieden werden (s. Abb. 3/10):

#### a) Typischer Löß

Eingipfliges Kornmaximum in der Grobschlufffraktion, < 20 % Sand, 10 bis 18 % Ton (vgl. Abb. 2/7); primär kalkhaltig (8 bis 15 %  $\text{CaCO}_3$ ); schichtungslos; stark porig, strohgelbe Farbe; ein bis mehrere Meter mächtig, verbreitetstes äolisches Sediment in den Zentren der Lößlandschaften; im Thüringer Becken und westlich Altenburg etwas toniger (bis 25 %) und feinschluffiger als in den anderen Gebieten

#### b) Sandlöß

Mit höherem Sandanteil (20 bis 40 %), entweder zwei Kornmaxima, und zwar in der Grob-

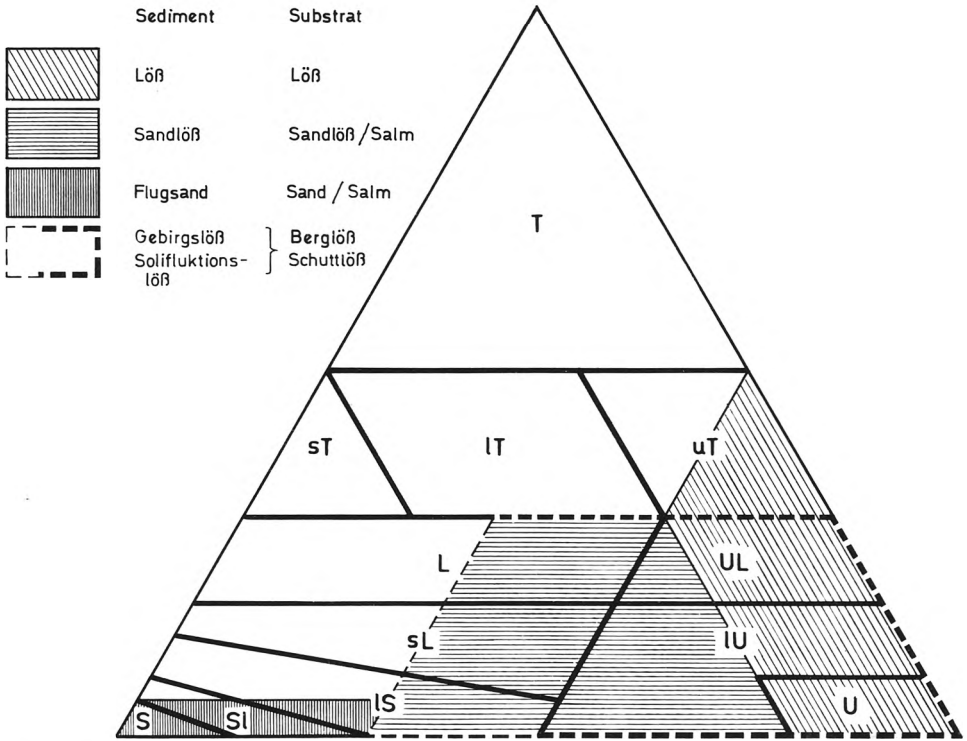
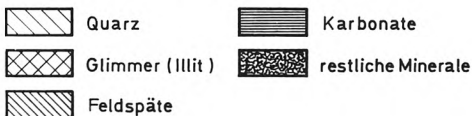
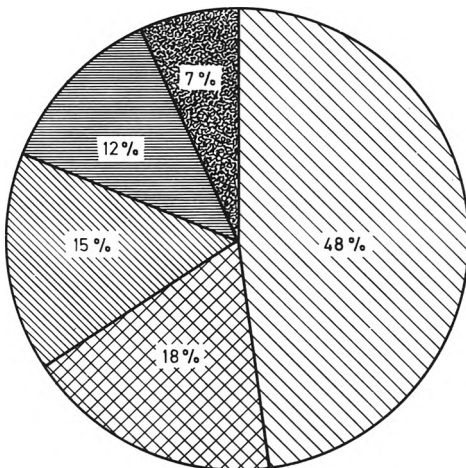


Abb. 3/10  
Dreiecksdiagramm des Körnungsartenspektrums bei Böden aus Windsedimenten  
(Körnungsartendreieck 1975 zugrunde gelegt)

Abb. 3/11  
Kreisdiagramm des mittleren Gehalts an Mineralen im Löß in M.-%



schluff- und in der Mittelsandfraktion, oder ein Maximum im Grobschluff-/Feinsandbereich, < 15 % Ton (vgl. Abb. 2/7 u. 2/8); schichtungslos bis gestriemt, grobporiger als typischer Löß; kalkarm bis -frei; meist < 1 m mächtig; vor allem in den nördlichen Lößrandgebieten im Übergang zu den Glaziärsedimenten verbreitet; z. T. auch lokal (z. B. in Thüringen) sog. sandige Löße als „Ortslöße“ mit nur einem Kornmaximum auftretend Körnungsbezogen schließt sich an den Sandlöß außerhalb des Lößgürtels der *Flugsand* an. Er hat ein Kornmaximum im Fein-/Mittelsandbereich mit > 80 % und enthält < 5 % Ton. Die Mineralzusammensetzung des typischen Lößes geht aus Abbildung 3/11 hervor. Die dort angegebenen Daten sind Mittelwerte. Unterschiede zwischen den Lößen können u. a. in der Schwermineralzusammensetzung beobachtet werden.

Schwankungen in der Korngrößenzusammensetzung ergeben sich nicht nur durch wechselnde Sand- und Tongehalte. Auch innerhalb der typischen Löße treten Unterschiede auf, die sich in einem unterschiedlichen Verhältnis des Gehaltes Grobschluff/Mittel + Feinschluff niederschlagen.

Die genannten wie auch die noch zu behandelnden Sedimenttypen kommen nicht nur einschichtig, sondern in verschiedenen Altersstufen (vgl. Tab. 3/2), d. h. mehrschichtig übereinander vor. In den Kerngebieten der Lößlandschaften ist das sogar die Regel. Liegen mehrere solcher verschieden alter, durch fossile Böden getrennte Löße aufeinander, dann spricht man von *Lößpaketen*. Sie können Mächtigkeiten bis über 10 m erreichen. Die eingeschobenen fossilen Böden dokumentieren jeweils ehemalige Landoberflächen während früherer Interglaziale bzw. Interstadiale. Die meisten der heute an der Oberfläche anstehenden Löße in der DDR wurden im Hochglazial der Weichsel-Kaltzeit angeweht. Doch in bestimmten Gebieten, z. B. im Vorland des Erzgebirges, gibt es auch ältere Weichsellöße, die bis an die Oberfläche durchragen. Die auf diesen bereits mehrfach überprägten Lößen entwickelten Böden zeigen daher auch bestimmte *reliktsche Bodenmerkmale*.

### Derivate

Auch die Löße wurden wie die glaziären Geschiebesedimente vorwiegend periglaziär überformt, und zwar sowohl während der Anwehung (synsedimentär) als auch nach der Anwehung (postsedimentär). Diese Umformungsvorgänge gingen

- unter feuchten Milieubedingungen,
- in Hanglagen und
- bei geringmächtigen Lößdecken, wo die oberflächengebundenen Frostbodenprozesse relativ lange einwirken konnten,

besonders intensiv vor sich. Das war im Bereich der Mittelgebirge (alle drei Faktoren wirksam), in den Übergangsbereichen zu den Mittelgebirgen, in den feuchteren Lößlandschaften (feuchtes Milieu) und in den Übergangsbereichen zum Tiefland (geringmächtige Decken) der Fall. Auch hier waren also in unterschiedlichem Maße und mit unterschiedlicher Dominanz die gleichen Vorgänge wirksam, die bei der Bildung des Geschiebedeckandes eine Rolle spielten zuzüglich der Solifluktion.

Das Resultat dieser periglaziären Umformungsvorgänge sind die *Lößderivate* bzw. lößartigen Sedimente. Sie gingen aus typischem Löß sowie Sandlöß hervor und haben durch Überprägung und/oder Verlagerung neue Sedimenteigenschaften angenommen. Folgende Sedimenttypen werden unterschieden:

#### a) Braunlöß

Dem typischen Löß noch sehr nahe stehend; insb. durch kryoklastisch-chemische Verwitterung, z. T. auch Hangabspülung, nicht aber durch Solifluktion verändert; in den feuchteren Lößlandschaften z. T. als Decklöß verbreitet; oft toniger oder grobschluffiger als Löß sowie kalkarm bis kalkfrei angeweht; geringmächtig (< 3 m, i. d. R. 0,5 bis 1,5 m); gehört zu den jüngstangewehten Würmlößen ( $W_{\gamma 2}$ ), Sedimentation und Abwanderung evtl. vorhandener geringer Kalkmengen in der Älteren bis Jüngeren Dryas-Zeit (vgl. Tab. 3/2), also präholozän; besondere Varianten sind *Schwemmlöß*, striemiger Löß (z. B. an Talrändern) und die *Kryoklastzone* (s. Abschnitt 4.5.4.)

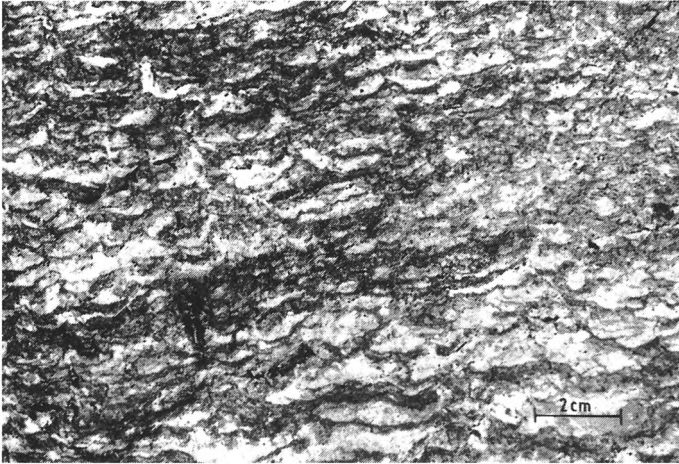
b) Gebirgslöß

Lokales Windsediment (sog. Ortsslöß) der Mittelgebirgslagen; während des kurzstreckigen Transportes Schutt (Steine, Grus) „ingerollt“, daher meist grobmaterialhaltig

Abb. 3/12

Ausschnitte aus der Lamellenfleckenzone an der Basis einer Löß-Fahlerde; Querbitzsch, Kreis Oschatz

a) Lamellenfleckenzone zwischen Bt- und Cc-Horizont



b) im Vergleich dazu: lamellenfleckenartige Randzone eines unterhalb des Bt-Horizontes ansetzenden ehemaligen Eiskeiles im gleichen Profil



(< 25 Vol.-%); stärker kryoklastisch-chemisch verwittert, kalkfrei, sauer; nur geringfügig solifluidal verlagert; geringmächtig (< 7 dm)

c) Gleylöß (früher Staublehm)

Dem typischen Löß ebenfalls noch nahestehend; wie Braunlöß zuzüglich stärkerer hydro-morpher Überprägung (groß- und kleinfleckig oder gebändert rost-/bleichfarben); kommen vor allem in Teillandschaften der Lößgebiete mit verhinderter natürlicher Drainage vor; ebenfalls noch keine oder nur geringfügige solifluidale Verlagerung; oft etwas feinschluffiger, Körnung sonst wie typischer Löß; kann 1 bis > 3 m mächtig sein

d) Solifluktionslöß (Fließlöß, Kryoturbationslöß, Löß-Fließerde)

Am stärksten umgeformter Löß, kann aus allen bisher angeführten Löß-Sedimenttypen hervorgegangen sein; zunächst primär äolisch abgelagert, später durch kryogene Prozesse stark überprägt, insb. solifluidal verlagert; dabei Einarbeitung von Skelett und anderem anstehenden Material möglich gewesen, deshalb außerhalb der Kerngebiete der Lößlandschaften (insb. im Bereich der Mittelgebirge) mehr oder weniger schutt- und sandhaltig (grobmaterialhaltiges Lößderivat: < 25 Vol.-% Skelett); im Bereich der Mittelgebirge stärker verbreitet, hier aus Gebirgslöß hervorgegangen; Schluffanteil > 50%; i. d. R. kalkfrei; als besonderes Charakteristikum dichte Lagerung, plattiges Gefüge, z. T. gestriemt; geringmächtig

Grobmaterialhaltiger Gebirgs- und Solifluktionslöß werden bei den Substraten als Berglöß bezeichnet, wenn Festgestein im Untergrund ansteht.

Auch Braunlöß und Gebirgslöß zeigen eine gewisse Verwandtschaft. Bei beiden ist die Verbraunung das Resultat intensiver kryoklastisch-chemischer Verwitterung. Je nach primärem Kalkgehalt, Geschwindigkeit des Auslaugungsprozesses und Herkunftsmaterial des Lößes führte die Verwitterung zu unterschiedlichen Resultaten. Der primär kalkfrei abgelagerte Gebirgslöß war von Anfang an so sauer, daß es in der nachfolgenden Zeit zu keiner Tonverlagerung kommen konnte. Auf Grund des niedrigen pH-Wertes wurde im Holozän ein Teil der Tonminerale bis zum sekundären (Boden-)Chlorit (s. Abschn. 3.2.8.) umgewandelt. Das stabile, nicht zur Verschlammung neigende Mikroaggregatgefüge blieb erhalten, es entwickelten sich Sauer-(Locker-)Braunerden. In dem kalkarmen, grobschluffigen, als Deckschicht ausgebildeten Braunlöß des Sächsischen Hügellandes lag der pH-Wert zur Zeit der Sedimentation um 7, jedoch kaum unter 6. In diesem neutralen bis schwach sauren Milieu war von Anfang an die Möglichkeit zur Tonverlagerung gegeben. Daher kam es hier noch im Periglazial in Verbindung mit kryogenen Prozessen zu einer partiellen, bändchenförmigen Verlagerung von Feinsubstanz. Diese Erscheinung kann besonders an der Basis der Löß-Parabraunerden und -Fahlerden in diesem Gebiet (Staugleye sind an den feinschluffigeren Gleylöß gebunden) 6 bis 12/20 dm u.Fl. beobachtet werden. Sie wird **Lamellenfleckenzone** genannt.

Die Lamellenfleckenzone zeichnet sich durch bereits im Tönhütchenhorizont beginnende und bis zum Karbonathorizont reichende, zahlreiche 2 bis 12 mm mächtige braune Flecken und bogenförmig nach unten ausgebuchtet verlaufende Kurzbändchen (s. Abb. 3/12a) auf bräunlich-grauem Untergrund aus. Flecken und Bändchen stellen Fließfronten der Feinsubstanz dar, dazwischen ist das Material tonverarmt. Auf Grund der örtlich größeren Mächtigkeit der Lamellenfleckenzone (> 1 m), ihrer Unabhängigkeit von dem darüber (später) durchgehend ausgebildeten Tönhütchenhorizont als Resultat einer *kompaktgeschlossenen Texturdifferenzierung* und der unmittelbaren Verknüpfung mit ehemaligen Frostbodenerscheinungen (z. B. ehemalige Eiskeile – s. Abb. 3/12b) wird geschlossen, daß es sich um eine noch vor der rezenten Bodenbildung syn- und postsedimentär abgelaufene *partielle Texturdifferenzierung* handelt.

Die Lamellenfleckenzone, die ursprünglich vermutlich bis an die Oberfläche reichte, im oberen Bereich aber von der postglazialen Fahl-/Parabraunerde überdeckt wird, blieb im basalen Bereich erhalten und unterlag im Holozän ebenfalls der Verbraunung, wobei die Tonmineralumwandlung nur bis zum Illit/Smectit ging. Der Lamellenfleckenlöß ist somit als erste, präholozäne Überprägung (schwache Bodenbildung) des Braunlößes ( $W_{\gamma 2}$ ) anzusehen. Auf einem solchen Material mußte die holozäne Boden-

bildung sofort in Richtung Fahlerde verlaufen, während es auf dem noch nicht entkalkten, typischen Löß ( $W_{\gamma 1}$ , vgl. Tab. 3/2) zunächst zur Bildung von Schwarzerden kam.

Natürlich gibt es zwischen allen genannten Sedimenttypen Übergänge. Körnungsbezogene Übergänge, wie z. B. vom typischen Löß zum Sandlöß, sind am bekanntesten. Was bestimmte an der Oberfläche anstehenden Sedimente aber auch verbindet, sind die dort abgelaufenen Frostbodenprozesse. Lamellenfleckenzone und kryogen überprägter Sandlöß gehen daher an einigen Stellen unmittelbar ineinander über. Andererseits kann über die beschriebene Steinsohle eine direkte Verbindung zwischen Sandlöß und Geschiebedecksand beobachtet werden. Somit sind Lamellenfleckenzone, kryogen überprägter Sandlöß und Geschiebedecksand das Resultat ähnlicher periglaziärer Umwandlungsvorgänge, nur auf verschiedenen Sedimenten und deshalb mit unterschiedlicher morphologischer Ausprägung. Dabei zeigt sich beim Sandlöß auf Grund seiner Ausbildung über andersartigem Untergrund am deutlichsten der Charakter einer selbständigen Sedimentschicht.

Die aus Löß gebildeten Böden können recht verschiedenartig sein. Bei geringer Auslaugung des Kalkes entstanden humusreiche, fruchtbare Böden (Löß-Schwarzerden), bei stärkerer Auslaugung und auf kalkfrei angewehten Lößen im Hügelland humusärmere texturdifferenzierte Böden (Löß-Fahlerden und -Parabraunerden), im Mittelgebirge Saure Braunerden. Auf den frühglazialen Gleylößen, die meist nur von einem geringmächtigen Lößschleier im Hochglazial überdeckt wurden, bildeten sich vor allem stauernäbte Böden (Löß-Staugleye und -Halbstaugleye), so z. B. im südlichen Teil des Mittelsächsischen Hügellandes. Das Auftreten von Staunässe ist darauf zurückzuführen, daß die Bodenbildung im Holozän auf einem Material ansetzte, das schon durch frühere, interstadiale Verwitterungsprozesse entkalkt, verlehmt und verdichtet worden war.

### 3.2.5. Schutthaltige Sedimente des Berg- und lößfreien Hügellandes

Im Bereich der Mittelgebirge und der angrenzenden lößfreien Hügellandschaften sind Böden, die sich unmittelbar aus dem anstehenden Festgestein entwickelt haben (z. B. Fels-Rendzinen), in landwirtschaftlicher Nutzung seltener zu finden. Viel häufiger trifft man über dem kompakten Gestein mehr oder weniger mächtige *Verwitterungs- und Umlagerungsdecken* an, die aus diesen Gesteinen unter Einarbeitung von Fremdmaterial hervorgegangen sind. Sie werden als schutthaltige Sedimente (Gebirgsschutte, Solifluktionsschutte, Wanderschutte, Hangschutte) bezeichnet. Solche Sedimente sind das Resultat periglaziärer Aufbereitungs- und Verlagerungsvorgänge. Eine besondere Rolle spielte dabei die *Solifluktion* (lat., Bodenfließen), zu der es in dem breiartigen Auftauboden über dem ständig gefrorenen Untergrund während des Eiszeitsommers kam. Zwischen primären Ablagerungen und Derivaten kann hier nur schwer unterschieden werden. Geht man von der lithostratigraphischen Gliederung (s. Abschn. 3.1.6.) aus, so sind der Basis- und der Deckschutt i. d. R. primäre Sedimente, der Mittelschutt hingegen ein Derivat. Petrographisch werden insb. nach dem Skelettgehalt folgende Sedimenttypen unterschieden:

#### a) Gesteinsschutt

> 50 Vol.-% Skelett; weitere Untergliederung nach dem Skelettgehalt in Skelettschutt (> 75 Vol.-% Skelett) und Feinerdeschutt (50–75 Vol.-% Skelett) oder nach dem Gesteinscharakter in Blockschutt, (Scherben-)Schutt und Grus; Gesteinsvarianten: Sandsteinschutt, Porphyrschutt, Quarzschutt, Granitblockschutt, Granitgrus

#### b) Schuttfeinerde

< 50 Vol.-% Skelett; weitere Untergliederung unter Berücksichtigung der Körnungsart nach Substraten, z. B. in Schuttsand, Schuttlehm (25 bis 50 Vol.-% Skelett) und Bergsand, Berglehm (< 25 Vol.-% Skelett)

Übergänge zum Gebirgs- und Solifluktlöss sind verbreitet. Grobmaterialhaltiger Solifluktlöss- und Gebirgslöss müssen > 50% Schluff aufweisen.

Auf den einzelnen Sedimenttypen haben sich in Abhängigkeit von ihrer stratigraphischen Lage als Basis-, Mittel- oder Decksediment ganz bestimmte Böden entwickelt. So sind in den Mittelgebirgen Podsole und Braunpodsole an die relativ groben Deckschutte gebunden. Auf den Mittelsedimenten hingegen, die i. d. R. zu den Schuttfeinerden gehören, findet man Sauerbraunerden und in bestimmten Lagen auch Staugleye. Steht der meist als Gesteinsschutt ausgebildete Basisschutt an der Oberfläche an, so haben sich Ranker entwickelt, z. T. auch Rendzinen. Entwicklungsrichtung und Ausbildungsgrad der Böden wurden außerdem von der Körnungsart und petrographischen Zusammensetzung (Mineralgehalt, geologische Formation) des in den jeweiligen Schutten aufbereiteten Gesteins bestimmt.

### 3.2.6. Sonstige Sedimente

Zu den verbreiteten bodenbildenden Lockergesteinen gehört neben den im Jungpleistozän abgelagerten Sedimenten auch der im Holozän abgesetzte Auenlehm. Da Auenlehme hinsichtlich ihrer Körnung stark wechseln, erscheint der umfassendere Begriff Auensedimente lithologisch treffender. Die Auensedimente sind dadurch charakterisiert, daß sie i. d. R. ehemaliges Bodenmaterial enthalten und daher gegenüber den entsprechenden Körnungsarten der Glaziärsedimente primär braun bis braungrau gefärbt sind.

Folgende Sedimenttypen werden unterschieden:

#### a) Auensalme

Lehmsandiges bis sandiges Material; in allen Auen mit sandigen Herkunftsgebieten verbreitet, insb. in den Tälern der Moränengebiete und in bestimmten Tälern Thüringens (z. B. im Bereich des Buntsandsteins)

#### b) Auenlehme

Lehmiges und schluffiges Material; vor allem in den Auen des Hügel- und Berglandes verbreitet; in den Bachtälchen der Mittelgebirge vielfach stärker wechsellössig und teilweise skeletthaltig, im Bereich der Lössgebiete und anderer karbonatführender Herkunftssedimente kalkhaltig

#### c) Auentone

Lehmig-toniges Material; im Rückstaubereich größerer Flüsse (Elbe, Oder) und im Bereich toniger Herkunftssedimente verbreitet; oft während der Ablagerung synsedimentäre Humusakkumulation und daher schwärzlich gefärbt (z. B. Goldene Aue, Oderbruch, Wische)

Körnungsart und Mineralgehalt der Auensedimente hängen weitgehend vom Herkunftssediment ab. Löße ergeben besonders fruchtbare Auenstandorte. Fast immer handelt es sich um bereits verwitterte Substrate. Je nach Material und hydrologischer Situation bildeten sich Vegas (braune Auenböden), Halbgleye, Vollgleye oder Amphigleye.

Örtlich von Bedeutung sind in der DDR noch die Mudden (Gyttja) sowie einige präquartäre Sedimente. Bei den letztgenannten handelt es sich erstens im Tiefland um sporadisch verbreitete Tone und Sande aus dem Tertiär. Sie sind vor allem auf die Gebiete mit älteren, an der Oberfläche anstehenden Glaziärsedimenten (insbesondere in der Niederlausitz) konzentriert. Tertiärsande sind unsere ärmsten Sande. Auf ihnen entwickelten sich Podsole, bei Einwehung jüngeren Staubes auch Rost- oder Braunerden. Auf den bis in Oberflächennähe anstehenden Tertiärtonen (Tone, Tiefertone) haben sich Vollstaugleye und Halbstaugleye gebildet.

Neben diesen Sedimenten sind im Bereich der Mittelgebirge lokal Verwitterungsdecken anzutreffen, die während des Jungtertiärs und z. T. auch schon im Mesozoikum (präcenomane Böden) entstanden sind. Es handelt sich um unter dem Begriff Rot- und Braun-

*lehm* (Buntverwitterung) zusammengefaßte Böden mit Tonen (mittlerer Gehalt 20 bis 35 %) von vorherrschend kaolinitischem und illitischem Charakter. Sie entwickelten sich im Zersatz verschiedener Gesteine (z. B. auf osterzgebirgischem Graugneis; auf Diabas, Phyllit, Tonschiefer und Quarzit im Thüringischen Schiefergebirge) und sind relativ plastisch (daher auch die Bezeichnung *Plastosole*). Wenn sie bis an die heutige Oberfläche anstehen, erfolgte i. d. R. eine Einarbeitung in pleistozäne Verwitterungsdecken. Außerdem haben sie sich fast immer zu Staugleyen weiterentwickelt.

### 3.2.7. Verwitterung

Die Veränderung des Gesteins durch physikalische und chemische Vorgänge bezeichnet man als Verwitterung. Die Verwitterung kann vor der Bodenbildung oder während derselben ablaufen.

#### Physikalische Verwitterung

Ausgangspunkt der Gesteinszersetzung ist i. d. R. die physikalische Verwitterung. Sie umfaßt alle Kräfte, die einen mechanischen Zerfall des Gesteins in kleinere Kornfraktionen bewirken. Dabei treten zunächst keine stofflichen Umwandlungen ein. Der kausale Wirkungszusammenhang, der zwischen Ursache, Übertragungsarbeit und Resultat bei den einzelnen Formen der physikalischen Verwitterung besteht, ist in Tabelle 3/9 wiedergegeben.

Besonders intensiv verläuft die physikalische Verwitterung in Form der Frostsprengung unter periglaziären Bedingungen im Dauerfrostboden (kryoklastische Verwitterung). Die Zerkleinerung kann bis in den Bereich der Grobtonfraktion gehen. Die kryoklastische Verwitterung ist an die sommerliche Auftauschicht gebunden, die im Normalfall < 10 dm mächtig ist. Ihre Wirksamkeit ist um so stärker, je häufiger Gefrieren und Auftauen miteinander wechseln, je größer die Amplitude der Temperaturschwankung und je feuchter das betreffende Substrat ist. Der vielfach anzutreffende Zerkleinerungsgrad periglaziärer Sedimente hat hier seine Begründung.

Das wesentlichste Ergebnis der physikalischen Verwitterung ist die Zerkleinerung der Gesteine und damit ihre Oberflächenvergrößerung.

Tabelle 3/9

Kausaler Zusammenhang zwischen Ursache, Übertragungskraft und Wirkung bei der physikalischen Verwitterung

Ursache	Übertragungsarbeit → ————— →	Wirkung
Abtrag überlagerner Gesteinsmassen	Druckminderung	Ausdehnung und damit Reißbildung im Festgestein
Temperaturänderung	Druckerhöhung und -minderung	Spannungen im Gestein und damit Reißbildung
	Eisbildung	Zertrümmerung (Frostsprengung) von Gesteinsfragmenten, Erweiterung von Rissen und Spalten
Wurzeldickenwachstum	Druckerhöhung	Erweiterung von Rissen und Spalten
Wasserzufuhr und -entzug	Quellung und Schrumpfung	Mechanische Beanspruchung von tonreichem Material
Strömungsgefälle	Bewegungskräfte	Abrieb und Rundung der Gesteinsfragmente



Ein Würfel von 10 cm Kantenlänge (1 l) hat eine Oberfläche von 600 cm<sup>2</sup>. Zerlegt man diesen in 1 000 gleich große Würfel mit einer Kantenlänge von 1 cm, so füllen sie wiederum 1 l, ihre Oberfläche erreicht aber den 10fachen Wert, nämlich 6 000 cm<sup>2</sup>.

Kennwert für den Umfang der Oberfläche von Gesteinsfragmenten (Kornfraktionen) ist deren *spezifische Oberfläche* O:

$$O \text{ [cm}^2\text{/cm}^3\text{]} = \frac{60}{\text{Korndurchmesser [mm]}} \quad (3)$$

Einen Überblick über die spezifische Oberfläche unterschiedlich stark verwitterter Gesteine, bezogen auf die standardisierten Korngrößenfraktionen (vgl. Tab. 2/1), wird durch die Angaben in Tabelle 3/10 vermittelt. Da das verwitterte Material immer aus einem Gemisch verschieden großer Teilchen besteht, dienen die angeführten Werte nur als Anhaltspunkt. O hat in den Korngemischen des Bodens eine Größenordnung von etwa

- < 10<sup>4</sup> cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>      bei Sanden,
- 10<sup>4</sup> – 10<sup>5</sup> cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>      bei Lehmen und Schluffen,
- > 10<sup>5</sup> cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>      bei Tonen.

Tabelle 3/10

Spezifische Oberfläche der Kornfraktionen

Kornfraktion	mittlerer Durchmesser [mm]	ungefähre spezifische Oberfläche [cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> ]	ungefähre Anzahl der Teilchen [Stück/l]
Mittelsteine	100	0,6	10 <sup>9</sup>
Großkies	10	6	10 <sup>3</sup>
Grobsand	1	60	10 <sup>6</sup>
Feinsand	0,1	600	10 <sup>9</sup>
Mittelschluff	0,01	6 000	10 <sup>12</sup>
Grobton	0,001	60 000	10 <sup>15</sup>

### Chemische Verwitterung

Die stoffliche Veränderung des Gesteins, insbesondere der Minerale, durch chemische Reaktionen bezeichnet man als chemische Verwitterung. Durch die Oberflächenvergrößerung im Zuge der physikalischen Verwitterung werden die Gesteine der chemischen Verwitterung zugänglicher gemacht. Die chemische Verwitterung ist um so stärker, je höher Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt sind. Da alle chemischen Prozesse Gleichgewichtsreaktionen sind, läuft sie bei fortwährender Störung der Gleichgewichtseinstellung am intensivsten ab. Resultate der chemischen Verwitterung sind Umwandlung der Primärminerale, die bis zum völligen Abbau gehen kann, und Synthese neuer Stoffe, der sog. Sekundärminerale.

In unseren gemäßigten Breiten spielen für die Bodenbildung folgende 4 chemischen Verwitterungsvorgänge eine dominierende Rolle:

#### a) Lösung durch Säuren und Komplexbildner

Verursacht durch den Gehalt an Kohlendioxid und anderen Säuren im Bodenwasser (Bodenlösung), vor allem bei Alkali- und Erdalkaliverbindungen; besonders starker Lösungseffekt durch die von Mikroorganismen und Pflanzenwurzeln ausgeschiedenen organischen Säuren; chemischer Reaktionsvorgang bei Einwirkung von Kohlendioxid:

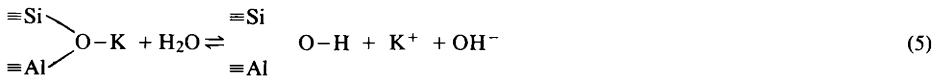


Lösung von Mineralen auch durch metall-organische Komplexe (*Chelate*), gebildet bei der Zersetzung organischer Substanzen, besonders im sauren Milieu und als Ausscheidungsprodukte der Wurzeln und Mikroorganismen; Lösungsgefälle aufrechterhalten durch Stabilität der Chelate (insbesondere Fulvosäuren mit Eisen, Mangan, Aluminium gekoppelt)

#### b) Hydrolyse

Reaktion von  $H^+$ - und  $OH^-$ -Ionen in wässriger Lösung bei Vorhandensein von Verbindungen mit schwacher Säure oder Base; häufigste chemische Verwitterungsreaktion im Boden; betrifft vor allem Silikate, Karbonate u. a. Minerale (Teilvorgänge am Beispiel des Kalifeldspates):

*Primärhydrolyse* über Austausch von  $K^+$ - durch  $H^+$ -Ionen, dabei Brechung der Sauerstoffbrücken zwischen Silizium (Si) und Metallen; verläuft um so intensiver, je saurer das Milieu; nährstofffreisetzender Vorgang:



*säurekatalysierte Hydrolyse* über Aufspaltung der Silizium-Sauerstoff-Aluminium-Bindung durch  $H^+$ -Ionen:



*basekatalysierte Hydrolyse* über Aufspaltung der Silizium-Sauerstoff-Silizium-Bindung durch  $OH^-$ -Ionen:



Resultat: Gitterschwächung und Spaltung der Silikate; Entstehung von Kieselsäure, Aluminiumhydroxid, Tonmineralen unter Freisetzung von Alkali- und Erdalkaliumionen

#### c) Oxidation

Durch Einwirkung von Luftsauerstoff, insbesondere auf Eisen und Mangan, Entstehung braun, schwärzlich und rötlich gefärbter Oxide und Hydroxide (Aluminium- und Siliziumoxide sind farblos); oft mit Hydrolyse gekoppelt; läuft vorzugsweise im Mineralgitter ab, Ausfällung aber meist außerhalb desselben; kommt bei fast allen Gesteinen vor, da eisenhaltige Minerale weit verbreitet sind; bei Umwandlung Biotit  $\rightarrow$  Vermiculit nicht nur Kalium-, sondern auch Eisenfreisetzung, Resultat gebleichter Biotit und ausgefälltes 3wertiges Eisenoxid

Dem oxidischen Eisen verdanken die Böden ihre braune Farbe („Brauneisen“). Daher wird dieser bodenbildende chemische Verwitterungsprozeß als *Verbraunung* bezeichnet. Es können die verschiedensten Eisenoxide und -oxidhydrate entstehen. Folgende Eisenoxidformen haben größere Bedeutung, wobei Mischformen nicht selten sind:

– *Goethit*: Nadeleisenerz,  $\alpha$ -FeOOH; gelbbraune nadelförmige Kristalle; vorwiegend bei langsamer Hydrolyse gebildet; stark verbreitet

– *Lepidokrokit*: Rubinglimmer,  $\gamma$ -FeOOH; orangefarbene plättchenförmige Kristalle; durch rasche Oxidation aus zweiwertigen Eisenverbindungen gebildet (z. B. bei zeitweilig sauerstoffarmem Milieu in staunassen und tonigen Substraten)

– *Maghemit*:  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; rotbraun, ferromagnetisch, selten

– *Ferrihydrit*: amorphes bis kristallines wasserhaltiges  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ; rotbraun; weniger verbreitet; entsteht bei schneller Hydrolyse, daher Bestandteil des Raseneisens, des „Ockers“ in Dränagen, z. T. auch der Orterde

– *Hämatit*:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ; blutrote säulenförmige Kristalle; vorwiegend in tropischen Böden gebildet, in der DDR in präholozänen reliktschen Böden zu finden

Die Löslichkeit der Eisenoxide wird vom Redoxpotential, dem pH-Wert, dem Lösungsgefälle und dem Komplexbildungsvermögen in der Bodenlösung bestimmt. Eine spezifische Bedeutung haben die zweiwertigen Eisenoxide und die stabilen organischen Eisenkomplexverbindungen, die beide auf Grund ihrer Löslichkeit eine wesentliche Transportform des Eisens im Boden darstellen. Ihr Anteil am Gesamteisen kann bis zu 4 % betragen (Bestimmung s. TGL 25418/20).

**M a n g a n o x i d e** erlangen in staunassen Böden größere Bedeutung. Ihre genauere Bestimmung stößt auf Schwierigkeiten. Bisher konnten nachgewiesen werden:

– Pyrolusit: Brauneisenstein,  $\beta\text{-MnO}_2$

– Manganit:  $\gamma\text{-MnOOH}$

– Birnessit: 2-/4-wertiges Mn-Oxid und -Hydroxid, gekoppelt mit Alkali- und Erdalkalimetallen

– Mn-Hydroxid: wasserhaltiges  $\text{Mn}(\text{OH})_3$

Diese Formen kommen sowohl rein als auch in Mischungen vor. Auch in Verbindung mit anderen Metallen treten Manganoxide auf, z. B. mit Eisen in Konkretionen, die dadurch meist etwas schwärzlicher gefärbt sind.

### 3.2.8. Um- und Neubildung von Tonmineralen

Tonminerale kommen als Primär- und Sekundärminerale im Boden vor. Besondere Bedeutung haben die Tonminerale als Neu-(Sekundär)Bildungen, sie gehören zu den *Bodenmineralen* im engeren Sinne. Unter Tonmineralen versteht man kristallisierte vorwiegend hydroxidhaltige Schicht-(Phyllo-)Silikate mit glimmerähnlichem Aufbau. Sie sind am stärksten in der Kornfraktion  $< 2 \mu\text{m}$  angereichert, kommen aber in geringfügigen Mengen auch in der Schlufffraktion vor. Boden-Tonminerale entstehen durch Umwandlung von Glimmern und durch Synthese aus Zerfallprodukten der Silikatverwitterung. Ein besonderes Merkmal ist ihre aus dem blättchenförmigen Aufbau ableitbare Fähigkeit zur Adsorption, d. h. zum Austausch (Speicherung und Abgabe) von Nährelementen und zur Einlagerung und Wiederabgabe von Wasser. Diese Form der Wasserbindung erklärt ihre Fähigkeit zum Quellen und Schrumpfen und damit die Plastizität von Tonen.

#### Grundstruktur der Tonminerale

Chemisch setzen sich die Tonminerale aus Kationen, insbesondere des Siliziums ( $\text{Si}^{4+}$ ), Aluminiums ( $\text{Al}^{3+}$ ), Eisens ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) und Magnesiums ( $\text{Mg}^{2+}$ ) sowie aus Sauerstoff- ( $\text{O}^{2-}$ ) und Hydroxid- ( $\text{OH}^-$ ) Anionen zusammen. Diese bilden in Form bestimmter räumlicher Anordnungen folgende **Grundbausteine** des Kristallgitters der Tonminerale:

– *Tetraeder*: Relativ kleines Si- (oder Al-)Zentralkation von 4 großen O-Ionen so umgeben, daß man sich bei Verbindung der Mittelpunkte dieser kugelförmigen Ionen 4 geometrische Ebenen vorstellen kann, die ein Tetraeder (grch., Vierflächner) ergeben (s. Abb. 3/13)

– *Oktaeder*: Zentralkation Al (Si, Mg) von 6 OH- (bzw. O-) Ionen so umgeben, daß man sich 8 geometrische Ebenen vorstellen kann, die ein Oktaeder (grch., Achtflächner) ergeben (vgl. Abb. 3/13)

Durch flächenhafte Vernetzung der Tetra- und Oktaeder jeweils untereinander entstehen *Tetraeder-* oder *Oktaederschichten*. Der Zusammenhalt innerhalb der Schichten wird dadurch erreicht, daß bestimmte O- bzw. OH-Ionen gleichzeitig mehreren benachbarten Tetra- bzw. Oktaedern angehören ( $\equiv\text{Si-OH-Si}\equiv$ -Brücken). Die Tetraederschichten können ver-

schiedenartig mit den Oktaederschichten gekoppelt sein. Die Verbindung zwischen ihnen wird über  $\equiv\text{Si-O-Al}\equiv$ Brücken hergestellt. Solche Schichtkombinationen werden als **Schichtpakete** bezeichnet. Man unterscheidet 2 Arten (s. Abb. 3/14):

– **Zweischicht-Kombination:** (1 : 1)-Typ, Schichtpaket durch Kopplung einer Tetraeder- mit einer Oktaederschicht gebildet

– **Dreischicht-Kombination:** (1 : 2)-Typ, Schichtpaket durch Kopplung einer Oktaederschicht mit jeweils 2, sie einschließenden Tetraederschichten gebildet

Mehrere Schichtpakete (im Mittel 10 bis 20) ergeben einen **Schichtpaketstoß**, der das eigentliche Kristallblättchen ausmacht. Der Zusammenhalt der einzelnen Schichtpakete wird beim (1 : 1)-Typ durch H-Ionen, beim (2 : 1)-Typ durch hydratisierte Einzelkationen (z. B.  $\text{K}^+$ ) und in bestimmten Fällen auch durch OH-Schichten bewirkt. Den Abstand zwischen den Basisflächen zweier Schichtpakete bezeichnet man als **Basisabstand**. Er ist ein charakteristischer Kennwert der Tonminerale und wird in Å-Einheiten ( $1 \text{ Å} = 10^{-7} \text{ mm}$ ) angegeben. Der Raum zwischen den einzelnen Schichtpaketen wird **Schichtpaket-Zwischenraum** genannt.

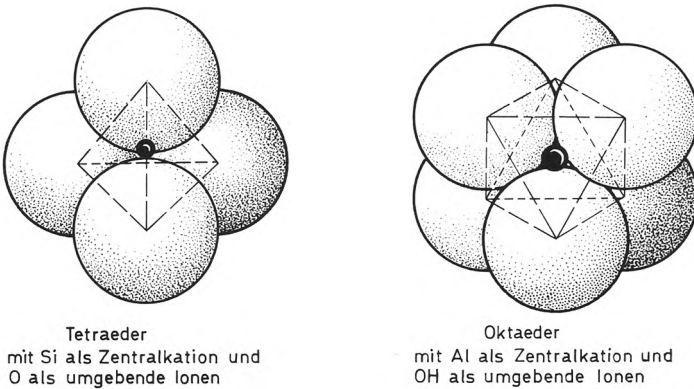


Abb. 3/13  
Kugelpackungs-Strukturmodell eines Tetra- und eines Oktaeders (in Anlehnung an Scheffer-Schachtschabel, 1976)

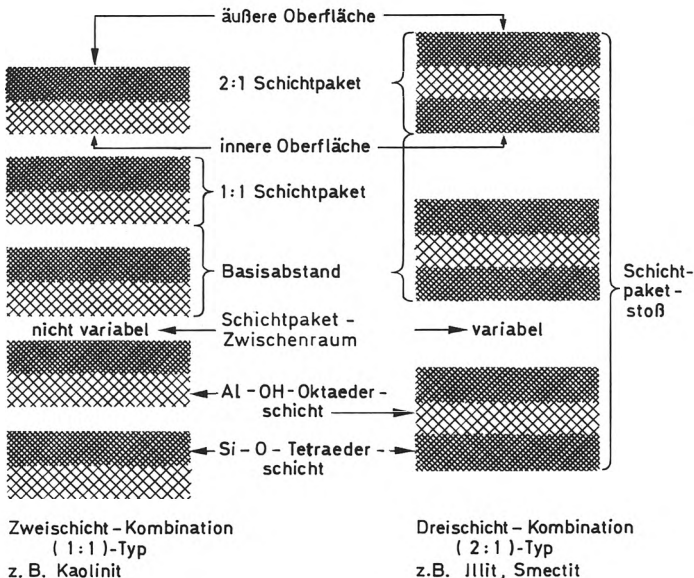
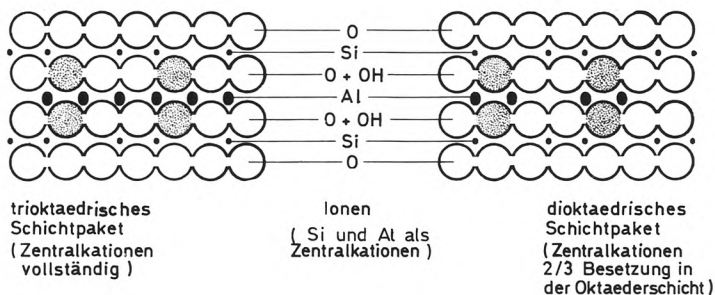


Abb. 3/14  
Schematische Darstellung des Aufbaus von Tonmineralen

Abb. 3/15  
Schematische Darstellung eines Schichtpaketes tri- und dioktaedrischer Dreischicht-Mineralen



Entsprechend dem erläuterten Schichtaufbau, der die blättchenförmige Ausbildung der Tonminerale bedingt, werden 2 große Tonmineralgruppen (vgl. Abb. 3/14) unterschieden:

#### a) Zweischicht-Mineralen

Abstand der Schichtpakete gering und unveränderlich (Basisabstand  $< 10 \text{ \AA}$ ); keine Sorption von Kationen in den Schichtpaket-Zwischenräumen, sondern nur an den Außen- und Bruchflächen, daher insges. nur geringes Sorptionsvermögen; wichtigster Vertreter Kaolinit

#### b) Dreischicht-Mineralen

Abstand der Schichtpakete größer, z. T. veränderlich ( $> 10 \text{ \AA}$ ); Sorption von Kationen in den Schichtpaket-Zwischenräumen und an den Außen- und Bruchflächen, daher i. d. R. hohes Sorptionsvermögen; wichtige Vertreter Smectit, Illit.

Qualitative Unterschiede innerhalb der Tonminerale ergeben sich noch dadurch, daß die Zentren der Oktaeder nicht immer voll besetzt sind. Danach unterscheidet man (s. Abb. 3/15):

- Trioktaedrische Tonminerale: Zentralkationen vollständig vorhanden (3/3-Besetzung)
- Dioktaedrische Tonminerale: Jedes 3. Zentralkation fehlt (2/3-Besetzung)

Bestimmte Tonminerale können in beiden Formen auftreten. So gibt es z. B. di- und trioktaedrischen Smectit.

#### Isomorpher Ersatz und Aufweitbarkeit

Von besonderer Bedeutung ist der Ersatz von Zentralkationen im Kristallgitter durch Ionen ähnlicher Größe, isomorpher (grch., gleichgestaltiger) Ersatz genannt (andere Bezeichnungen *diadocher* oder *isotroper* Ersatz). In den Tetraedern kann  $\text{Si}^{4+}$  durch  $\text{Al}^{3+}$ , in den Oktaedern  $\text{Al}^{3+}$  und  $\text{Fe}^{3+}$  durch  $\text{Mg}^{2+}$  oder  $\text{Fe}^{2+}$  bzw.  $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{Fe}^{2+}$  durch  $\text{Al}^{3+}$  ersetzt werden. Dadurch entsteht jeweils ein negativer oder positiver Ladungsüberschuß. Bei Dreischicht-Mineralen überwiegt i. d. R. der negative Ladungsüberschuß, der zur Abbindeung (Neutralisierung) durch Zwischenschichtkationen führt.

Ein spezifisches Charakteristikum der Dreischicht-Mineralen ist deren Variabilität im Schichtpaketabstand. Je nachdem, ob dieser Abstand reversibel vergrößerbar oder nicht vergrößerbar ist, spricht man von aufweitbaren oder nicht aufweitbaren Tonmineralen.

Die Aufweitbarkeit hängt insbesondere ab von:

- der Höhe der negativen Überschuss-Schichtladung und
- der Art der Zwischenschichtbelegung mit Kationen.

Kationen sind von Wassermolekülen umgeben (Hydratation). Je größer die Ladung der Kationen (zweiwertige  $>$  einwertige) und je kleiner – bei gleicher Ladung – ihr Durchmesser ist, um so stärker sind sie hydratisiert. Je stärker sie hydratisiert sind, um so mehr wird bei ihrem Eintausch der Schichtverband durch Vergrößerung des Schichtpaketabstandes

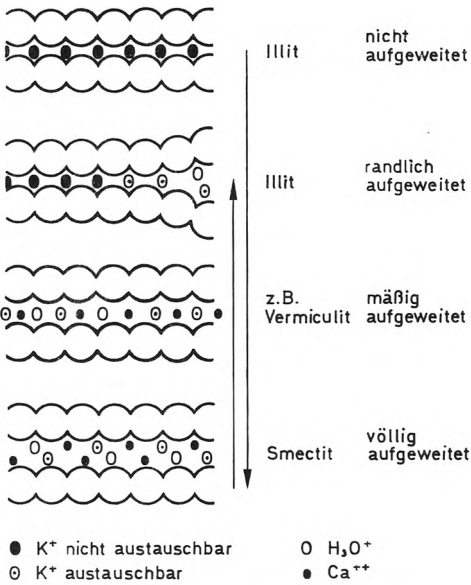


Abb. 3/16  
Schematische Darstellung von Schichtpaket-Zwischenräumen unterschiedlich aufgeweiteter Dreischicht-Mineralen

des aufgelockert, d. h. um so aufgeweiteter ist das Tonmineral. Bei Belegung der Schichtpaket-Zwischenräume mit Ca<sup>2+</sup> werden die Schichtpakete stärker aufgeweitet als bei Belegung mit K<sup>+</sup>. Hier wird eher der Zusammenhalt verstärkt, da Kalium sich auf Grund seiner Größe gut in die Maschen der die Schichtpaket-Zwischenräume begrenzenden Schichtgitter einschmiegt und außerdem besonders stark angezogen wird (s. Abb. 3/16). Entsprechend der Schichtpaket-Zwischenbelegung der Dreischicht-Mineralen werden unterschieden:

- nicht aufweitbare Tonminerale      } Illite, Basisabstand
- randlich aufweitbare Tonminerale } um 10 Å in Glycerin
- völlig aufweitbare Tonminerale:
- Vermiculite, Basisabstand um 14 Å (Hemiexpandite)
- Smectite, Basisabstand um 18 Å (Expandite)

Bodenkundlich gesehen ist ein Tonmineral um so wertvoller, je aufweitbarer es ist.

### Wichtige sekundäre Tonminerale und Tonsubstanzen

Folgende sekundäre kristalline Tonminerale kommen im Boden vor:

#### a) Illit

Dreischicht-Mineral mit stärkerem isomorph-tetraedrischem Ersatz; Schichtpaketzusammenhalt stark; Basisabstand gering ( $\pm 10 \text{ \AA}$ ) und wenig veränderlich; mäßige Oberflächenentwicklung; mäßiges Quellvermögen; Sorption nur an der äußeren Oberfläche und an Randzonen der Schichtpaket-Zwischenräume (beginnende randliche Aufweitung führt zum aufgeweiteten Illit mit erhöhter Sorptions- und Quellfähigkeit); höhere Kaliumnachlieferung, aber auch -fixierung; häufigstes Mineral in den Böden der DDR

#### b) Smectit (mit Montmorillonit i. w. S. identisch)

Dreischicht-Mineral mit weniger starkem, vorwiegend isomorph-oktaedrischem Ersatz, z. T. kombiniert di-/trioktaedrisch; Schichtpaketzusammenhalt bei Mg-reichen Formen gering, Basisabstand groß ( $\pm 18 \text{ \AA}$ ) und veränderlich (voll aufweitbar); starke Oberflächenentwicklung; hohes Sorptionsvermögen durch große innere Oberfläche in den Schichtpaket-Zwischenräumen; hohe innerkristalline Quellfähigkeit

### c) Chlorit

Grünliches Dreischicht-Mineral mit isomorph-tetra-/oktaedrischem Ersatz; zeichnet sich durch eine vierte, zwischen 2 Schichtpaketen vielfach inselförmig eingelagerte Mg-, Al- oder Fe-Hydroxidschicht aus, daher manchmal auch als Vierschicht-Mineral bezeichnet;  $Al^{3+}$  und  $Fe^{3+}$ -Chlorit dioktaedrisch,  $Mg^{2+}$ - und  $Fe^{2+}$ -Chlorit trioktaedrisch; durch Umwandlung von Olivinen, Pyroxenen und Amphibolen entstanden (primärer Chlorit); Entstehung sekundärer, sogenannter Bodenchloride durch Einlagerung fragmentarischer Al-Hydroxidschichten in die Schichtpaket-Zwischenräume von Smectit oder Vermiculit, Einlagerungsschicht wirkt wie Zwischen-Schichtpaket-Kation; schon bei geringem Al-Anteil im Schichtpaket-Zwischenraum Fixierung des Basisabstandes auf 14 Å, daher nicht weiter aufweitbar; relativ geringes Sorptionsvermögen für Zwischen-Schichtpaket-Kationen

### d) Kaolinit

Weißliches Zweischicht-Mineral, dioktaedrisch; starker Zusammenhalt der Schichtpakete ohne Zwischen-Schichtpaket-Kationen; Basisabstand sehr gering ( $< 7$  Å), nicht aufweitbar, kein Sorptions- und Quellvermögen; Hauptbestandteil keramischer Tone (tertiäre Bodenbildungen), in rezenten Böden nur in geringen Anteilen

Wegen ihres geringen Vorkommens haben folgende Tonminerale nur eine untergeordnete Bedeutung:

– *Vermiculit*: Dreischicht-Mineral; Basisabstand 14 Å, aufweitbar; Zwischenglied zwischen Smectit und Illit

– *Beidellit*: Dreischicht-Mineral; Al-reicher Smectit mit vorwiegend oktaedrischem Ersatz

– *Nontronit*: Dreischicht-Mineral;  $Fe^{3+}$ -reicher Smectit

– *Glaukonit*: Dreischicht-Mineral; eisenreicher Illit

– *Serpentin*: Zweischicht-Mineral; trioktaedrisch

Neben den kristallisierten Formen kommen im Boden häufig auch amorphe (nichtkristalline) Tonsubstanzen mit noch ungeordneten Tetra- und Oktaedern vor. Diese sog. röntgenamorphen Tone sind wasser- und eisenhaltige, sekundäre Alumosilikat-Verbindungen. Sie werden je nach Zusammensetzung, sich andeutender Grundstruktur und Gestalt unterteilt in:

– *Allophan*: kugelförmig; vor allem in vulkanischen Aschen

– *Imogolit*: fasrig

– *Halloysit*: röhrenförmig, Übergang zum Zweischicht-Mineral („wasserhaltiger Kaolinit“).

Amorpher Ton kommt nicht nur frei im Boden vor, er tritt vielfach auch als Hüllsubstanz auf der äußeren und inneren Oberfläche von in saurem Milieu gebildeten, stark quellbaren Dreischichtmineralen auf.

Verbreitet kommen in Böden auch die sog. *Wechselagerungs-Mineral*e vor. Sie haben keinen einheitlich aufgebauten Schichtpaketstoß, sondern es wechseln miteinander insbesondere

– illitische mit smectitischen/vermiculitischen,

– smectitische mit chloritischen,

– primär chloritische mit sekundär chloritischen

Schichtpaketen sowie auch kristalline mit amorphen Lagen. Bei Bodentonen besteht somit ein kontinuierlicher Übergang von gut kristallisierter über schwach kristallisierte bis zur amorphen Substanz. Die Übergangsformen sind bisher weniger untersucht worden, machen aber einen nicht unbeträchtlichen Teil der Tonsubstanzen im Boden aus.

## Bildung der Tonminerale

Die im Boden befindlichen Tonminerale können entweder

- Primärminerale (ohne Umwandlung) sein oder
- durch Umwandlung von Phyllosilikaten,
- durch Synthese aus Zerfallsprodukten von Silikaten und
- durch weiteren Umbau vorhandener Tonminerale

entstehen. In der Regel kommen alle vier Formen nebeneinander vor.

Während in magmatischen Gesteinen der Gehalt an Feldspäten hoch (> 50%) und an Glimmern niedrig (< 5%) ist, verhält es sich bei Sedimenten fast umgekehrt (< 15% Feldspäte, > 20% Glimmer). In den Sedimenten ist meist schon primär ein gewisser Prozentsatz an Tonmineralen vorhanden. Aus dem Feldspat/Glimmerverhältnis im Ausgangsgestein kann schon der Trend der künftigen Tonmineralbildung im Boden abgeleitet werden. Aus basischen Magmatiten entstehen vorwiegend Smectite und Chlorite, aus sauren Magmatiten und Sedimenten Illite. Metamorphite enthalten unter anderem Chlorite, die in Smectite übergehen können.

Der Umbau der Glimmer, insbesondere des Muskovits und Biotits, ist am besten untersucht. Nach ihrem mechanischen Zerfall bis in die Schlufffraktion kann auf Grund der Oberflächenvergrößerung die chemische Verwitterung verstärkt einsetzen, es kommt zu einer randlichen Aufweitung von Zwischenschichträumen. Aus dem dioktaedrischen Muskovit und dem trioktaedrischen Biotit entstehen Illite. Die Illite haben noch die gleiche Grundstruktur wie die Glimmer, sie werden daher auch als glimmerartige Tonminerale bezeichnet. Unterschiede gegenüber diesen bestehen in der geringeren Korngröße, in einer geringeren Schichtladung und in der beginnenden Herauslösung des Kaliums. Illite sind daher K-ärmer sowie wasserhaltiger als Glimmer und haben eine etwas stärkere Aufweitung.

Der weitere Umbau des Illits hängt vom Milieu ab. Bei *ausreichender Basensättigung*, z. B. in Schwarz- und Parabraunerden, vollzieht sich oberhalb pH 6 folgende Umwandlung (vgl. Abb. 3/16):

Illit  $\rightleftharpoons$  Übergangsmminerale  $\rightleftharpoons$  Smectit  $\rightarrow$  instabile Minerale (z. B. Vermiculit)

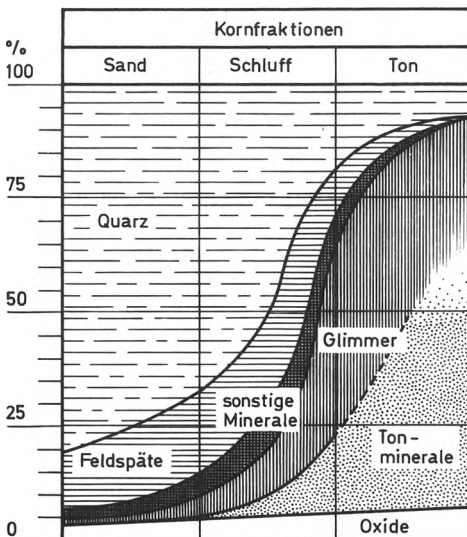


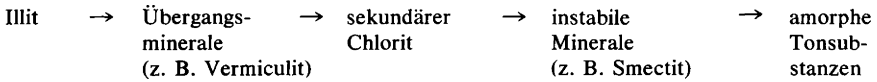
Abb. 3/17

Summendiagramm der Mineralanteile verschiedener Kornfraktionen in M.-%



Wenn die entstehenden Smectite weiter an Schichtladung verlieren, die Schichten immer weniger zusammenhalten und damit die Aufweitung  $> 20 \text{ \AA}$  („unendlich“) erreicht, dann ist die erste Phase der Tonzerstörung erreicht, es bilden sich instabile Tonminerale. Bei völliger Auflösung des Gitters entstehen schließlich amorphe Tonsubstanzen. Im Boden kann aber, z. T. sogar gleichzeitig, der umgekehrte Vorgang ablaufen, indem bei der Glimmerverwitterung freiwerdendes Kalium in smectitische Schichten irreversibel eingebaut wird und so aus Smectit wieder Illit entsteht. Das ist einer der Gründe für den hohen Gehalt an Illiten in vielen unserer Substrate.

Bei *nicht ausreichender Basensättigung*, insbesondere auf basenarmen Substraten (z. B. in den Mittelgebirgen), verläuft die Tonmineralumwandlung anders:



Sekundäre (Al-, Fe-)Chlorite bilden sich z. B. aus aufgeweiteten dioktaedrischen Vermiculiten unterhalb pH 6, verstärkt im Bereich um pH 5. Unter pH 4,5 werden auch die Chlorite instabil und können in Smectite übergehen, die dann weiter in amorphe Tonsubstanzen zerfallen. Das ist die Erklärung für die Entstehung von Smectiten auch im stark sauren Milieu.

Der beschriebene Umbau geht parallel mit einer *Kornverkleinerung* vor sich. In Umwandlung befindliche Illite erreichen ab Korngröße  $0,2 \mu\text{m}$  eine Aufweitung von  $18 \text{ \AA}$  und rechnen damit bereits zur Gruppe der Smectite. Indirekt kann man daher aus der Korngrößenverteilung von Sedimenten und Böden in bestimmten Fällen auf die relativen Anteile nicht nur der Tonminerale, sondern der Minerale überhaupt schließen (s. Abb. 3/17).

Die Neubildung von Tonmineralen geht meist von den Endprodukten der Feldspatsynthese aus. Ionen des Siliziums, des Aluminiums sowie der Alkali- und Erdalkalimetalle sind die Bausteine. Die Synthese ist von der Konzentration der genannten Ionen und den pH-Verhältnissen in der Bodenlösung abhängig. Unter stark sauren Bedingungen entstehen vorwiegend Zweischicht-, unter schwach sauren bis neutralen Dreischicht-Mineralen. Bei hohem K-Gehalt entstehen mehr illitische, bei hohen Mg-Gehalten mehr smectitische Tonminerale. Zum Teil nimmt die Synthese von Tonmineralen auch bei amorphen Tonsubstanzen ihren Anfang, indem an der Oberfläche kristalliner Tonteilchen aus  $\equiv\text{Al-O-Si}\equiv$ -Verbindungen negativ geladene Alumosilikat-Kerne entstehen, die sich dann zu einfachen Schichtsilikaten weiterentwickeln.

### Vorkommen in Böden

Im Boden korreliert die Menge der vorhandenen Tonminerale i. d. R. mit dem Anteil der Tonfraktion. Minerale vom Zweischichttyp spielen in den Böden auf quartären Sedimenten eine untergeordnete Rolle, sind aber doch in allen Böden, wenn auch in kleinen Mengen, nachweisbar. Unter den Dreischicht-Mineralen herrschen in vielen Böden der DDR die illitischen vor, insbesondere in denen aus Geschiebelehm und Löß. Allerdings sind es weniger die reinen Illite als vielmehr die Übergangsmminerale zu den Smectiten mit einer Aufweitbarkeit um  $14 \text{ \AA}$ . Im Solum der Böden der DDR überwiegen eindeutig die dioktaedrischen Glimmer/Illite. Während im unveränderten Ausgangsmaterial noch tri- und dioktaedrische Glimmer nebeneinander nachweisbar sind, ist im Zuge der Verwitterung und Tonbildung im Boden eine fast vollständige Umwandlung in dioktaedrische Formen vor sich gegangen.

Umbau und Synthese von Tonmineralen laufen auch heute noch in allen Böden ab. So vollzieht sich weiterhin die Umwandlung Illit  $\rightleftharpoons$  Smectit. Unter stärker sauren Bedingungen, insbesondere in den Sauerbraunerden wie auch in den Zwischenhorizonten der Fahlerden und Stagleye erfolgt unter Wald vermutlich immer noch die Umbildung in sekundären Chlorit. In den Ackerböden hingegen wird diese Entwicklung wieder gestoppt. Auf allen landwirtschaftlich genutzten Böden ist der Kaliumdüngung auch insofern größere

Tabelle 3/11

Aus Röntgenreflexintensitäten abgeschätzter relativer Anteil der Tonminerale in der Tonfraktion (nach *Laves*, 1969)

Bodenform	Horizont	Waldprofil						Ackerprofil					
		[%]						[%]					
		Glimmer/ Illit	14 Å- Minerale	18 Å- Minerale	davon a	davon b	davon c	Glimmer/ Illit	14 Å- Minerale	18 Å- Minerale	davon a	davon b	davon c
Lehm- Fahlerde (b. Eberswalde <sup>1)</sup> )	Ah/Ap	34	49	17	8	5	4	54	34	12	8	0	4
	Et	30	49	21	10	1	10	55	29	16	2	12	2
	Bt	26	13	61	2	47	12	35	21	45	3	35	7
	Cc	22	15	63	9	53	1	24	16	60	11	33	16
Löß- Fahlerde (bei Nebra <sup>2)</sup> )	Ah/Ap	39	42	19	7	12	0	30	27	43	12	3	28
	Et	15	60	25	11	14	0	21	27	52	5	6	41
	Bt	23	17	60	7	45	8	21	19	60	12	25	23
	Cc	17	11	73	16	45	12	17	15	68	9	38	21

Profilpaar <sup>1)</sup> Maienpfuhl/Lüdersdorf <sup>2)</sup> Schleberoda/Müncheroda

a nicht kontrahierbar (Pleisto-Expandit)

b kontrahierbar und wiederaufweitbar (Plio-Expandit)

c kontrahierbar und nicht aufweitbar (Oligo-Expandit)

Bedeutung beizumessen, als unter dem Einfluß hoher Gaben die Aufweitbarkeit infolge K-Einbaus in die Zwischenschichten zurückgehen kann, d. h. das Gleichgewicht sich zugunsten der Bildung illitischer Tonminerale verschiebt.

In Tabelle 3/11 sind die geschätzten Anteile der Tonminerale für Fahlerden aus einem Geschiebelehm und aus einem Löß, jeweils unter Wald und Acker, angeführt. Danach zeigt sich, daß in den Oberböden die Anteile deutlich zugunsten der 14-Å-Minerale (Vermiculit, Chlorit) verschoben sind. In den Unterböden und Karbonathorizonten dominieren hingegen die 18-Å-Minerale (Smectite). Unter Acker nehmen die 14-Å-Minerale (insbesondere Chlorit) im Oberboden deutlich ab, bei der Lehm-Fahlerde durch Erhöhung des Glimmer/Illitanteils (K-Einbau!), bei der Löß-Fahlerde durch Erhöhung des Smectitanteils. Auch aus diesen Daten geht hervor, daß die Tonmineralumbildung unter Acker nicht zum Stillstand gekommen ist.

### 3.2.9. Stabilität des Mineralgerüsts im Boden

Das Mineralgerüst ist der stabilste Faktor im Boden. Zwischen den Mineralen und Gesteinen gibt es jedoch bestimmte Unterschiede. Die Verwitterungsstabilität der Minerale ist abhängig vom Gitterbau ihrer Kristalle, von ihren chemischen Eigenschaften und vom Gehalt an oxydierbaren Stoffen. Je höher der Siliziumanteil, um so verwitterungsresistenter ist das Mineral. Quarz ist daher kaum angreifbar. Hohe Anteile an Aluminium, Eisen und Mangan hingegen bedingen eine leichtere Verwitterbarkeit der Minerale.

Die Stabilität der Gesteine gegenüber der Verwitterung hängt nicht nur von der Stabilität ihrer Minerale, sondern bei Festgesteinen z. B. auch von deren Körnigkeit und Zerklüftung ab. Lockergesteine unterliegen auf Grund ihrer großen spezifischen Oberfläche in stärkerem Maße sowohl der physikalischen als auch der chemischen Verwitterung. Je nach den äußeren Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, H<sup>+</sup>- und OH<sup>-</sup>-Konzentration) überwiegt

diese oder jene. Der Umbau von Tonmineralen ist daher ein zwar langsam, aber stetig fortschreitender Prozeß.

Der Verwitterungsgrad von Böden aus Lockersedimenten wird oft im Zusammenhang mit dem Ausmaß der Tonverlagerung untersucht. Die Bilanzierung erfolgt mit Hilfe der sog. *Indexmineral*-Methode, bei der man den Gehalt des interessierenden Minerals auf ein schwer verwitterbares (z. B. Quarz, Schwerminerale) bezieht. Durch Vergleich der einzelnen Bodenhorizonte untereinander und mit dem Ausgangssubstrat kann – Homogenität des Substrats über die gesamte Profiltiefe vorausgesetzt – der Umfang von Verwitterung und Verlagerung erschlossen werden.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß trotz der o. g. Einschränkungen insgesamt gesehen Mineralbestand, Gesteinsart und Körnung relativ stabile Eigenschaften des Bodens sind. Auch bei stärkerer Verwitterung und Bodenbildung bleibt die Verwandtschaft zwischen Ausgangs- und Bodensubstrat unverkennbar, d. h. die Veränderung des Ausgangsgesteins innerhalb bestimmter Grenzen. Die im Rahmen der Bodennutzung durchgeführten *Meliorationen* können i. d. R. die Grundstruktur des Substrats nicht ändern, sie beheben aber in der Mehrzahl der Fälle die Auswirkungen ungünstiger Substrateigenschaften. Direkte Veränderungen des Substratcharakters (Körnungsart) z. B. durch Einbringen von Mergel, Bentonit, Sand, durch Entsteinen oder durch tiefgreifendes Mengen sind vielfach sehr aufwendig und daher zunächst noch auf kleinere Flächen beschränkt. Bentonitmeliorationen zur Verbesserung von Sanden haben sich vor allem auf Kippstandorten bewährt. Bentonitgaben bis zu 200 t/ha bei 3 dm Einarbeitungstiefe bewirken eine wesentliche Verbesserung vieler Eigenschaften der sandigen Kippsubstrate und ermöglichen dadurch eine landwirtschaftliche Nutzung mit beachtlichen Erträgen. Eine mit 350 t/ha tonigem Material aus dem Oderbruch durchgeführte Verbesserung des sandigen Oberbodens einer Tieflehm-Fahlder in Thyrow führte zu einer Verdoppelung des Tongehaltes (4% → 8%) in der Krume und nach 35 Jahren zu einer Erhöhung des Gehaltes an organischer Substanz um etwa ein Drittel.

### **3.3. Die organische Substanz und ihre Umwandlung im Boden**

Neben den Tonmineralen gehört die organische Substanz (Humus) zu den wichtigsten Bestandteilen des Bodens. Sie ist einer der Hauptträger der Bodenfruchtbarkeit. Zur organischen Substanz des Bodens gehören *alle in und auf dem Boden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe* (postmortale organische Substanz) einschließlich deren Umwandlungsprodukte. Lebende Pflanzenwurzeln und größere Bodentiere werden nicht dazu gerechnet. Die den Boden bewohnenden Mikroorganismen hingegen, die man bei der Bestimmung des Gehalts an organischer Substanz aus technischen Gründen nicht abtrennen kann, werden zweckmäßigkeitshalber mit eingeschlossen.

Die organische Substanz ist wesentlich instabiler als die mineralische. Sie unterliegt fortwährenden Veränderungen, ein Teil wird immer vollständig mineralisiert. Endprodukte sind Wasser, Kohlendioxid und verschiedene Pflanzennährelemente, insbesondere Stickstoff. In Naturböden decken die Pflanzen ihren Bedarf an Nährelementen, die aus dem *Kohlenstoffkreislauf* freigesetzt werden. Auch in den Kulturböden ist die Mineralisierung noch von Bedeutung, aber der Kreislauf der organischen Stoffe ist anders, d. h. offen, und der Anteil der auf diese Weise freiwerdenden Nährelemente an der Versorgung der Kulturpflanzen vergleichsweise gering.

#### **3.3.1. Definition und Bedeutung**

Der Begriff Humus wird oft synonym mit organischer Substanz verwendet, obwohl Humus i. e. S. nur die Stoffgruppen umfaßt, die keine Gewebestrukturen mehr aufzeigen. Meist steht bei der Verwendung des Begriffes Humus der angewandte Aspekt im Vordergrund, d. h. Funktion und Wirkung der organischen Stoffe.

## Einteilung im Boden

Soweit es sich um nicht bis kaum veränderte organische Abfallstoffe handelt, kann man die gleichen organischen Verbindungen unterscheiden, die auch in der Pflanze vorkommen: Zellulose, Hemizellulose, Lignin, Pektin, Zucker, Stärke, Fett und Eiweiß. Sie sind die Ausgangsprodukte für die Bildung spezifischer organischer Bodenbestandteile.

Nach dem stofflichen Charakter und ihrem chemischen Verhalten unterscheidet man folgende Stoffgemische der postmortalen organischen Substanz im Boden:

### a) Huminstoffe

Vorwiegend hochmolekulare Verbindungen; aus Nichthuminstoffen durch biochemische Umwandlung entstandene (humifizierte), meist dunkel gefärbte Neubildungen, die in Pflanzenorganen und Tierorganismen nicht vorkommen (daher auch als „bodeneigen“ bezeichnet); biotisch relativ stabil

### b) Nichthuminstoffe

Alle übrigen organischen Stoffe im Boden; umfassen sowohl die noch nicht zersetzten pflanzlichen und tierischen Rückstände als auch einfache, leicht zersetzbare organische Stoffe; haben ebenso große Bedeutung wie Huminstoffe, jedoch eine andere Funktion im Boden

Entsprechend ihrem Verhalten im Boden kann man unter ackerbaulichem Aspekt die organische Substanz auch nach ihrer funktionellen Wirkung auf Boden und Pflanze in folgende Humusarten unterteilen:

– *Dauerhumus*: Gesamtheit der biotisch schwer umsetzbaren organischen Stoffe im Boden

– *Nährhumus*: Gesamtheit der biotisch leicht umsetzbaren organischen Stoffe im Boden; dienen den Mikroorganismen als Nahrungsquelle

Während der Dauerhumus als relativ stabiler Faktor im Boden besonders für die physikalischen und physikochemischen Eigenschaften von Bedeutung ist und auf diese Weise mittelbar die Fruchtbarkeitsbestimmenden Bodenvorgänge beeinflusst, wirkt der Nährhumus unmittelbar durch seine Fruchtbarkeitsbestimmenden Versorgungsfunktionen. Der Nährhumus macht einen wesentlichen Teil der im Volksmund als „alte Kraft“ des Bodens bezeichneten, ständig fließenden Stickstoffquelle aus.

Nach dem morphologisch erkennbaren Zersetzungsgrad gliedert man die organische Substanz in Humusformen. Unter Wald bilden sich die Humusformen *Rohhumus*, *Moder* und *Mull* mit einer spezifischen Horizontierung (Humusauflage) aus. Unter Acker und Grünland ist diese Unterteilung nicht durchführbar.

Nach der Bindungsform und der davon abhängigen Beweglichkeit können folgende bodeneigenen Humusverbindungen unterschieden werden:

– *Bewegliche* organische Verbindungen: peptisierte bzw. lösliche organische Stoffe, vorwiegend an Eisen und Aluminium sowie in Chelatform (s. Abschn. 3.4.2.) gebunden

– *Unbewegliche* organische Verbindungen: koagulierte bzw. unlösliche organische Stoffe, vorwiegend an Kalzium (und Mg) gebunden

– *Organo-mineralische* Verbindungen: mit mineralischen Substanzen gekoppelte organische Stoffe, vorwiegend über Dipol-, Wasserstoffbrücken- und Ionenbindungen an Ton gebunden

Während die beweglichen organischen Verbindungen im Boden verlagert werden bzw. die Verlagerung anderer Stoffe bewirken, stellen die beiden anderen Gruppen relativ stabile Produkte in Form ausgefällter Salze, kolloidaler Gele und Ton-Humuskomplexe dar.

## Bedeutung für Boden und Pflanze

Der organischen Substanz im Boden können folgende Funktionen zugeschrieben werden:

– Nahrungsquelle für Bodenorganismen (Nährhumus)

- Langsam fließende Nährelementquelle für Pflanzen durch Mineralisierung, insbesondere dosierte Nachlieferung von Stickstoff (Nährhumus)
- Speicherung und Nachlieferung von Nährelementen durch Ad- und Desorption (Dauerhumus) sowie Beeinflussung der Löslichkeit insb. von Phosphor und Mikroelementen
- Erhöhung der Wasserkapazität, Verbesserung der Luft- und Wasserführung durch stabileres Gefüge (Dauerhumus)
- Verbesserung des Bodenzustandes und der Bearbeitbarkeit durch erweiterte Konsistenzbereiche und günstigeres Gefüge (Dauerhumus, Schleimstoffe)
- Begünstigung der Erwärmbarkeit des Bodens durch dunkelgefärbte Humusstoffe (Dauerhumus)
- Begünstigung des Stofftransportes durch Lösungseffekt (bewegliche organische Verbindungen)
- Freisetzung von Kohlendioxid und damit Ergänzung des zur Assimilation notwendigen CO<sub>2</sub> in der bodennahen Luftschicht als Folge der Mineralisation
- Stimulation des Wurzelwachstums durch Wirkstoffeigenschaften (im Boden Antibiotica, Vitamine u. a. nachgewiesen), u. a. Beeinflussung der Welkeresistenz, der Plasmapermeabilität und der Atmung
- Bildung von Hemmstoffen (Toxine), mitverantwortlich für „Bodenmüdigkeit“

### 3.3.2. Ausgangsstoffe der Humusbildung

Ausgangsstoff für die Humusbildung kann jede in den Boden gelangende Substanz organischen Ursprungs sein. Unter Wald sind das im wesentlichen die abgestorbenen Reste der

Tabelle 3/12

Ernterückstände auf einer Sandlehm-Parabraunerde bis 4 dm Tiefe in dt/ha Trockenmasse (nach Köhnlein und Vetter, 1953)

Fruchtart	Ernterückstände [dt/ha]			Verhältnis Ernterück- stände zu Erntemasse	Erntemasse <sup>1)</sup> [dt/ha]
	insgesamt	oberirdisch	unterirdisch		
Luzerne <sup>2)</sup>	55,3	19,4	35,9	1:1,5	87
Klee gras (einjährig)	27,8	8,6	19,2	1:3,7	104
Winterroggen (Zwischenfrucht)	17,6	11,2	6,4	1:1,3	23
Silomais (Hauptfrucht)	17,2	6,0	11,2	1:2,9	50
Wintergerste	15,7	5,2	10,5	1:5,7	90
Winterweizen	14,4	5,8	8,6	1:6,6	95
Winterroggen	11,6	4,7	6,9	1:7,5	87
Sommergerste	9,2	3,2	6,0	1:6,3	58
Winterraps (Zwischenfrucht)	9,1	3,7	5,4	1:4,6	42
Erbsen-Wicken- Bohnen-Gemenge (Stoppelfrucht)	8,1	2,5	5,6	1:4,1	33
Kartoffeln <sup>3)</sup>	~ 8	~ 6	~ 2	1:7	55
Futterrüben	4,1	0,5	3,6	1:50	203

1) Ernteprodukte insgesamt, bei Getreide Körner + Stroh

2) Eine ähnliche Größenordnung weist das Dauergrünland auf

3) nach anderen Autoren

Bodenflora sowie die Nadel- und Laubstreu, wobei Menge und Artenzusammensetzung sehr verschieden sein können (derzeitiger Baumbestand in der DDR: 56 % Kiefern, 23 % Fichten, 7 % Buchen, 5 % Eichen, 2 % Birken, 7 % restliche Hölzer). Unter Acker bestehen völlig andere Voraussetzungen. Dort gelangen folgende organische Stoffe in den Boden:

- *Ernterückstände*: oberirdische (z. B. Stoppeln) und unterirdische (Wurzeln) Rückstände
- *Rückstandsdünger*: Stroh, Gülle, Stalldung, Kompost, Müll
- *Gründünger*
- Ständig absterbende *Feinwurzeln* und Bodenorganismen während der Vegetationsperiode

Ein Überblick über die anfallenden *Ernterückstände* wird in Tabelle 3/12 vermittelt. Danach hinterlassen Luzerne und Klee die größte, Kartoffeln die geringste Masse. Das Verhältnis von *Ernterückständen* zur verwertbaren Erntemasse hingegen schwankt von 1 : 10 bei Kartoffeln bis 1 : 2 bei den Futterleguminosen. Auf anderen Standorten kann die absolute Menge der *Ernterückstände* zwar andere Werte zeigen, die Relationen hingegen sind ähnlich. Da innerhalb der einzelnen Fruchtarten die Masse der *Ernterückstände* in einem engen Verhältnis zur Erntemasse steht, führen steigende Erträge auch zu einem größeren Anfall von *Ernterückständen*.

Der Umfang der in den Boden einzubringenden *Rückstands-* und *Gründünger* hängt von der Art der Bodennutzung ab. Vom Stroh kann nur so viel zur Düngung freigegeben werden, wie nicht für andere Zwecke (Direktfütterung, Pelletierung) benötigt wird. Stroh ist zunehmend differenziert anzuwenden, seine Einbringung in den Boden ist insbesondere auf Fruchtfolgen mit hohem Getreideanteil zu konzentrieren. Kombination mit Gülle, Mineralstickstoff oder Gründüngung ist erforderlich. Es ist zu beachten, daß Stroh gehäckselt oder gerissen eingebracht und durch intensives Einmischen möglichst gut verteilt wird. Der Anfall an *Gülle* und *Stalldung* hängt im wesentlichen vom Tierbesatz ab. Man kann im Mittel mit etwa 2 t TM Kot + Harn je GV und Jahr rechnen.

Verluste sind durch sorgfältige Aufbewahrung so gering wie möglich zu halten. Gülle ist auch bei erhöhtem Anfall in industriemäßigen Tierproduktionsanlagen kein Abfallstoff, sondern ein unentbehrliches Mittel zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit.

Schließlich können neben den pflanzlichen und tierischen Abprodukten auch extraktive Naturstoffe, wie Torf und Seeschlamm, sowie industrielle Abprodukte, zu denen Müll und Klärschlamm gehören, als Düngestoffe verwendet werden. Bei Industriemüll rechnet man mit einem jährlichen Anfall von 3,5 Mio t in der DDR. Siedlungsabfall-(Stadt-)Kompost, das ist kompostierter Hausmüll mit hoher Trockenmasse (etwa 60 %), hohem pH-Wert (um 8) und geringem Aschegehalt, kann bei guter Aufbereitung dem Stalldung durchaus gleichwertig sein. Landwirtschaftlich genutzte Böden können 250 bis 500 dt/ha alle 2 bis 4 Jahre

Tabelle 3/13

Entzug bzw. Zufuhr an organischer Trockenmasse in dt/ha und Jahr (nach *Eich* u. Autorenkoll., 1978)

Fruchtart	Lößböden (Schwarz- erden) [dt/ha]	Sand- böden [dt/ha]	Lehmsand- und Sand- böden [dt/ha]	Lehm- und Ton- böden [dt/ha]
Hackfrüchte, Gemüse	—29	—36	—40	—44
Getreide, Ölfrüchte	—11	—14	—15	—16
Futterroggen	— 7	— 9	—10	—11
Stoppel Früchte	+ 6	+ 5	+ 5	+ 6
Körnerleguminosen	+11	+ 9	+10	+11
mehrl. Futterpflanzen	+33	+27	+30	+33

erhalten. Auch Klärschlamm ist ein wertvoller Düngestoff. Die inzwischen gebildeten VEB Düngestoffe werden gerade solche Reserven für die organische Düngung mit erschließen helfen.

Um einen Überblick über die einander äquivalenten Mengen an Rückstands- und Gründünger zu vermitteln, ist nachstehend der Bedarf an Frischmasse je dt reproduktionswirksamer organischer Trockenmasse angegeben (Eich u. Autorenkoll. 1978):

- ~ 1,5 dt Stroh
- ~ 5,0 dt Stalldung, Güllefeststoffe, Kompost, Torf
- ~ 25 dt Gründünger
- ~ 50 dt Gülle (mit 4 % Trockenmasse)

Insgesamt gesehen, ist in Anbetracht unserer Klima- und Bodenverhältnisse je nach Bodennutzungstyp für die einfache Reproduktion der organischen Substanz eine Zufuhr bis zu 25 dt/ha und Jahr TM an Rückstands- und Gründünger erforderlich (vgl. Tab. 3/29). In welchem Maße der Bedarf an organischer Substanz von Boden und Fruchtart abhängt, geht aus Tabelle 3/13 hervor.

Eine nicht zu unterschätzende Bedeutung als Ausgangsstoff für die Humusbildung haben die noch während der Vegetationsperiode absterbenden Feinwurzeln. Hierbei ist sowohl die Gesamtmasse als auch die Verteilung im Boden zu beachten. Die Gesamtmasse hängt von Pflanzenart und Verzweigungsgrad der Wurzeln ab. Wie verzweigt das Wurzelnetz unter günstigen Nährelement- und Feuchtigkeitsbedingungen bei Erbsen auf Sand sein kann, wird in Abbildung 3/18 gezeigt. Die Verteilung ist aber nicht nur fruchtartenspezifisch, sondern auch bodenspezifisch in Abhängigkeit von Substrat und Bodentyp (Horizontierung). Außerdem spielen Dichte- und Feuchtigkeitsunterschiede eine Rolle. Die Wurzelmenge ist schließlich in allen Böden und bei allen Pflanzen auch eine Funktion der Tiefe (s. Abb. 3/19).

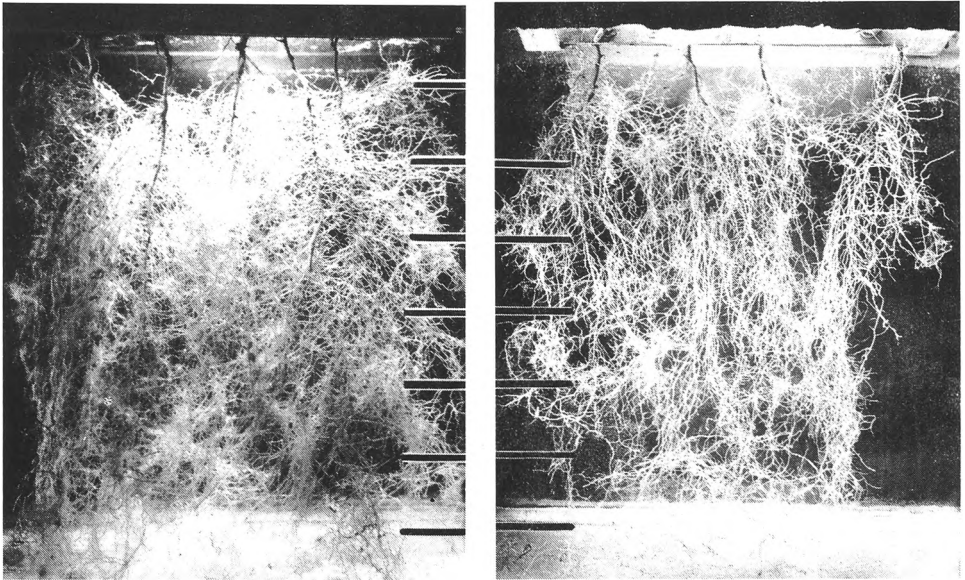


Abb. 3/18  
Wurzelbilder von Erbsen auf Sand; Kornertrag 18 dt/ha; Ernterückstände 9 dt/ha, davon 87 %  
Wurzeln (Aufn. Köhlein und Vetter)  
links während der Blüte  
rechts zur Zeit der Reife

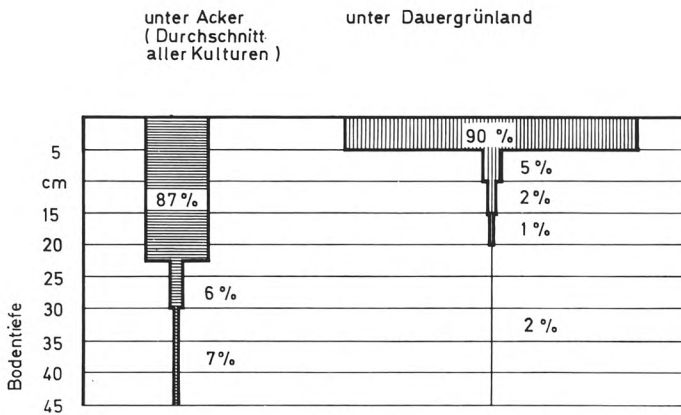


Abb. 3/19  
Wurzelmasse-Diagramm  
in Abhängigkeit von  
Bodentiefe und Nut-  
zungsart in Trocken-  
masse-%

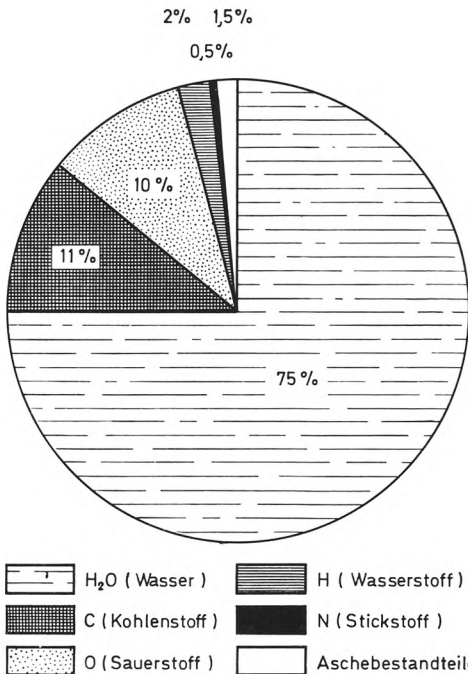


Abb. 3/20  
Kreisdiagramm der mittleren chemischen  
Zusammensetzung der organischen Substanz  
in M.-%

Die chemische Zusammensetzung der organischen Ausgangsstoffe ist sehr unterschiedlich (s. Abb. 3/20). Schon der Trockensubstanzanteil kann von 10–19% schwanken. Der Anteil an organischen Stoffgruppen geht aus Abbildung 3/27 hervor. Der Unterschied zwischen den einzelnen Ausgangsstoffen ist zum Teil erheblich. Zellenwandbestandteile (Lignin, Zellulose, Pektin) sind schwerer zersetzbar als Zellinhaltsstoffe (Zucker, Stärke, Eiweiß). Für die Zersetzungs Vorgänge haben somit besondere Bedeutung:

- der Gehalt an Eiweißen, insbesondere das C/N-Verhältnis
- der Gehalt an schwer zersetzbaren Stoffen, insbesondere Lignin und Zellulose

### 3.3.3. Übersicht über die Bodenlebewesen

Der Boden ist Lebensraum vieler Organismen. Ohne ihre Tätigkeit ist eine Zersetzung und Umwandlung organischer Stoffe nicht möglich. Als typische Bodenorganismen werden nur



diejenigen angesehen, die sich ständig im Boden aufhalten. Die Gesamtheit der Bodenlebewesen, auch *Edaphon* genannt, setzt sich aus den Bodentieren (Bodenfauna) und den pflanzlichen Bodenorganismen (Mikroflora des Bodens) zusammen. Mikroorganismen sind Bakterien, Pilze (pflanzliche Lebewesen) und Protozoen (tierische Einzeller).

### Wichtige tierische Bodenorganismen

Die wichtigste Tätigkeit der Bodentiere ist die Zerkleinerung organischer Abfallstoffe. Daneben sind kleinste Bodentierchen an der Verklebung der Aggregate, größere Bodentiere an der Durchmischung des Bodens (Bioturbation) beteiligt. Folgende Gruppen haben größere Bedeutung:

#### a) Einzeller (Protozoen)

Kleinste Bodentierchen, zum Beispiel Geißeltiere (Flagellata), Wimpertiere (Ciliata; s. Abb. 3/21e) und Wurzelfüßler bzw. Amöben (Rhizopoda); bewegen sich mit Hilfe von Geißeln, Wimpern oder unbestimmt geformten Körperfortsätzen (amöboid); ernähren sich vorwiegend von Bakterien, aber auch von organischen Stoffen; überstehen mit Hilfe ihrer Dauerformen (Zysten) ungünstige Umweltbedingungen; Anzahl 25 000 bis 200 000 je g Boden

#### b) Rädertierchen (Rotatoria, Schlauchwurm)

Kleine durchsichtige Organismen, bewegen sich schwimmend oder kriechend mittels Räderapparat, der auch zum Herbeistrudeln der Nahrung dient; ernähren sich von anderen Organismen, zum Teil von pflanzlichen Stoffen

#### c) Fadenwürmer (Nematoden, Schlauchwurm)

Wesentlich kleiner als Regenwürmer (s. Abb. 3/21d); ernähren sich hauptsächlich von Bakterien, zum Teil auch von angetroteten Substanzen; bei Angriff auf lebende Pflanzenteile gefährliche Schädlinge (Rüben- und Kartoffelnematoden); Anzahl 0,3 bis 14 Mill. unter 1 m<sup>2</sup>

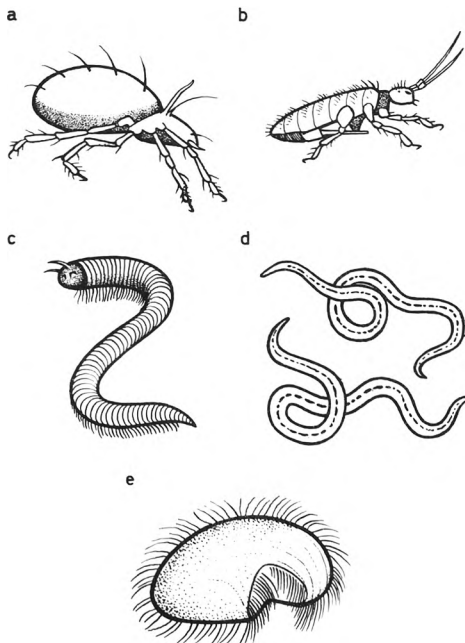


Abb. 3/21

Skizze kleiner tierischer Bodenorganismen

- a) Milbe
- b) Springschwanz
- c) Tausendfüßler
- d) Nematoden
- e) Wimpertier

#### d) Schnecken

Von Bedeutung vor allem Vorderkiemer (Prosobranchia) und Lungenschnecken (Pulmonata), beides Landschnecken; schaben mittels durch Zähnchen besetzte Kauplatten Nahrung von der Futteroberfläche ab; ernähren sich nicht nur von pflanzlichen Abfallstoffen, sondern auch von frischer Substanz (Pflanzenschädlinge); bodenbiotisch wichtig wegen ihrer humosen Exkremente

#### e) Regenwürmer (Lumbricidae, Gliederwurm)

Von allen Tierarten bodenbiotisch größte Bedeutung; leben meist in selbst gegrabenen Röhren; vertragen keine größere Nässe, verlassen daher bei Regen ihre wassergefüllten Röhren, nur einige Arten vertragen sauerstoffreiches Wasser; überstehen kalte und sehr trockene Perioden im Ruhestand, ziehen sich dazu an feuchtere und wärmere Stellen im Boden zurück; können bis zu 15 Jahre alt werden; haben sich durch große Artenmannigfaltigkeit den verschiedensten Umweltbedingungen angepaßt; können bis in über 1 m Tiefe eindringen; meiden Wurzelfilz; nehmen beim „Durchfressen“ durch den Boden sowohl (angerottete) organische als auch anorganische Stoffe auf und verarbeiten sie so zu humosen Mischexkrementen; von besonderer Bedeutung ist ihre lockernde Tätigkeit; Anzahl 1 Mill. (etwa 5 dt) bis 3 Mill. (etwa 15 dt) je ha

#### f) Milben (Acari, Spinnentiere)

Haben bodenbiotisch große Bedeutung, zersetzen ihre Nahrungsstoffe sehr intensiv, leben vielfach von Bakterien und Pilzen, deren Kolonien sie „abweiden“; besiedeln vorwiegend die obersten Bodenschichten; sind meist kleiner als 1 mm (s. Abb. 3/21a); etwa 10 000 Arten bekannt, Gruppe der Hornmilben ist im Boden am verbreitetsten; treten in großer Anzahl auf, in Grünlandböden bis 50 000 Stück/m<sup>2</sup> in 0 bis 5 cm Tiefe, darunter nur noch wenige

#### g) Asseln (Isopoda, Krebstiere)

Bevorzugen feuchte, zum Teil auch kalkhaltige Standorte; halten sich nur in Hohlräumen auf (besonders unter Steinen), da sie selbst nicht graben können; zerkleinern Pflanzenreste, Darmassage ist ähnlich wie beim Regenwurm; Körper ist abgeflacht und etwa 1 bis 2 cm groß; Anzahl sehr unterschiedlich

#### h) Tausendfüßler (Myriapoda)

Treten zwar nur in geringer Anzahl auf, fallen aber wegen ihres beträchtlichen Nahrungsbedarfs bodenbiotisch ins Gewicht (s. Abb. 3/21c); größere Arten nehmen unzeretzte Pflanzenteile zusammen mit Mineralkörnern, kleinere dagegen nur weichere Pflanzenreste auf; bevorzugen artenspezifisch trockenere oder feuchtere Standorte, suchen wie Asseln besonders unter Steinen Schutz

#### i) Springschwänze (Collembola, Insekten)

Benannt nach der Springgabel am Hinterende des gestreckt bis kugeligen Gliederrumpfes von 1 bis 2 mm Größe (s. Abb. 3/21b); weichhäutig, daher gegen Austrocknung empfindlich; halten sich vorwiegend in den oberen Bodenschichten auf; ernähren sich von Pflanzenresten, Pilzen und Bakterien, zum Teil auch vom Kot anderer Bodenorganismen; Anzahl bis zu 50 000 unter 1 m<sup>2</sup>

#### j) Sonstige Bodentiere

Insbesondere wegen ihrer wühlenden und damit lockernden Tätigkeit weiterhin von Bedeutung: Ameisen, Käfer, Mäuse und Maulwürfe

### **Wichtige pflanzliche Bodenorganismen**

Die wichtigste Tätigkeit der Mikroflora ist die Zersetzung organischer Abfallstoffe entweder unmittelbar oder nach vorheriger Aufbereitung durch Bodentiere. Dabei entstehen viele bodenbiotisch wichtige Zwischenprodukte.

Folgende Gruppen von pflanzlichen Bodenorganismen haben größere Bedeutung:

**a) Bakterien**

Mikroskopisch kleine, i. d. R. chlorophyllfreie einzellige Organismen, gegenüber Protozoen festere Membran und weniger definierter Zellkern; vermehren sich durch Zellteilung oder Sporenbildung; Fortpflanzung hängt von Lebensbedingungen ab, insbesondere von Temperatur, Feuchtigkeit, pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Nahrungsmenge; starke Arten- und Formenmannigfaltigkeit (s. Abb. 3/22c und 3/23); leben saprophytisch (grch., von in Zersetzung befindlichen Pflanzen) oder parasitisch (grch., als Schmarotzer); sind an der Zersetzung organischer Stoffe, an der Huminstoffbildung, an der Stickstoffbindung und vielen anderen Vorgängen beteiligt; durch Artenspezialisierung Anpassung an den Lebensraum (im Boden etwa 300 Arten): z. B. Zellulosebakterien, Nitratbakterien, Schwefelbakterien, Eisenbakterien, frei lebende Stickstoffbinder, symbiontisch (grch., in Lebensgemeinschaft) lebende Knöllchenbakterien; Ernährung erfolgt i. d. R. fermentativ (organische Substanz wird außerhalb des Organismus mittels ausgeschiedener Enzyme zersetzt und dann in abgebauter Form als Nahrung aufgenommen); Anzahl kann schwanken, maximal bis mehrere Milliarden je g Boden

**b) Strahlenpilze (Actinomyceten)**

Einzellige, mycelartig verzweigte querwandlose fadenförmige Organismen (s. Abb. 3/22b); Sondergruppe der Bakterien, nehmen in bestimmten Merkmalen eine Mittelstellung zwi-

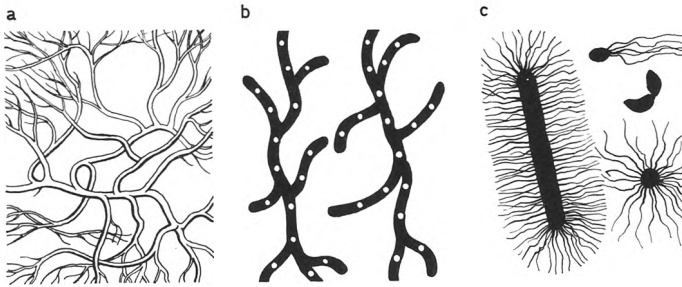


Abb. 3/22  
Skizze pflanzlicher  
Bodenorganismen  
a) Pilzmycel  
b) Strahlenpilze  
c) verschiedene  
Bakterienarten

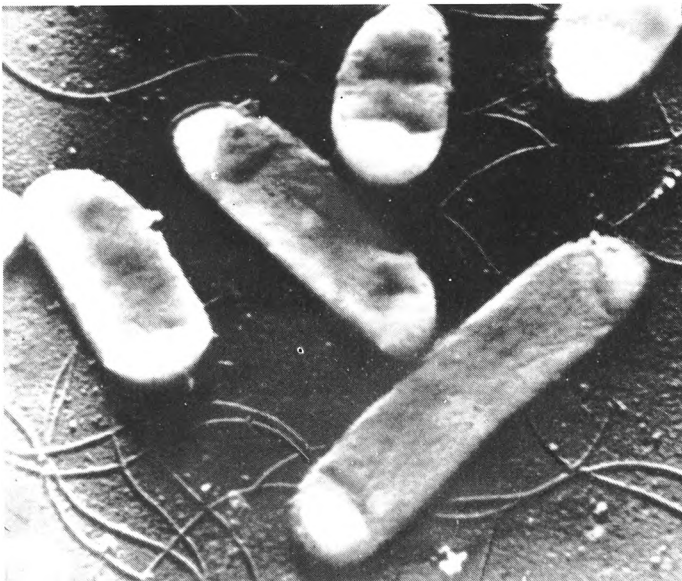


Abb. 3/23  
Elektronenmikroskopi-  
sche Aufnahme von  
Bakterien; 25 000fache  
Vergrößerung (Aufn.  
Russel)

schen Bakterien und Pilzen ein; sind verantwortlich für typischen „Erdgeruch“; können ungünstige Lebensbedingungen mit Hilfe von Sporen überstehen; sind besonders an der Huminstoffbildung beteiligt, andere Arten an der Stickstoffbindung

#### c) Pilze

Chlorophyllfreie Thallophyten mit einem komplizierteren Bau als die Bakterien, lassen Anfänge einer Zelldifferenzierung erkennen; entwickeln Mycel (s. Abb. 3/22a), d. h. ein Geflecht von stark verzweigten Hyphen; Hyphen bei niederen Pilzen ohne, bei höheren mit Querwänden; ungeschlechtliche Vermehrung vor allem durch Sporenbildung und Fragmentierung; größere Anhäufungen von Pilzmycel bereits mit bloßem Auge erkennbar; Mycel kann Humusaufgabe in Waldböden so „verfestigen“, daß sie brechbar wird; sind besonders am Abbau von Pflanzenresten als Zellulose- und Ligninzer-setzer, aber auch an der Huminstoffbildung beteiligt; Säureverträglichkeit ist größer als bei Bakterien; niedere Pilze (Phycomyceten) können bis zu 1 Million/g Boden vorkommen, höhere Pilze wie Ascomyceten, Basidiomyceten, Deuteromyceten (Fungi imperfecti) treten besonders in Grünlandböden stärker auf

#### d) Algen

Chlorophyllführende, einzellige bis (meist fadenförmige) Zellverbände bildende Thallophyten mit morphologisch und phylogenetisch stärkerer Differenzierung; im Boden vor allem als Grün-, Kiesel- und Spaltalgen vertreten; im Gegensatz zu den meisten Bakterien und Pilzen C-autotroph (grch., sich selbst ernährend), d. h. Aufbau der Körpersubstanz durch Assimilation – Flechten: Sondergruppe innerhalb der pflanzlichen Organismen als Symbionten zwischen Algen und Pilzen; vereinigen die Eigenschaften beider in einem Organismus.

### 3.3.4. Milieu, Masse und Funktion des Edaphons

#### Milieubedingungen

Die meisten Bodenlebewesen halten sich in den Hohlräumen auf. Kleinere Organismen sind auch deshalb an die Hohlräume gebunden, weil sie die festen Bodenteilchen bei ihren Wanderungen nicht beiseite schieben können. So spielen sich fast alle Vorgänge, die mit dem Bodenleben zusammenhängen, in den Hohlräumen und an den sie begrenzenden Wänden ab. Dadurch haben sich folgende besondere Lebensformen der Bodenorganismen herausgebildet:

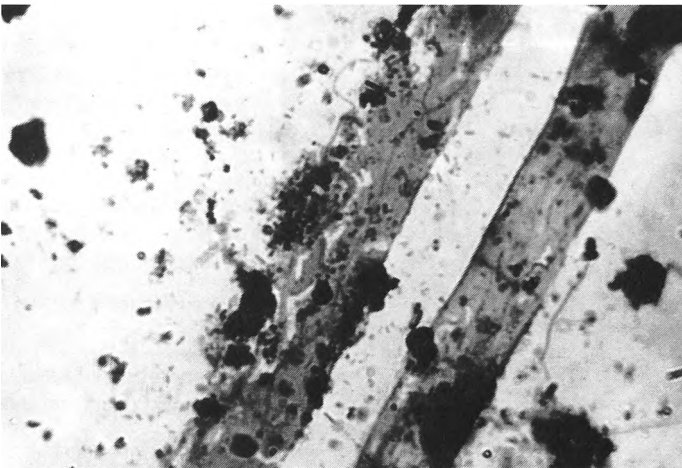


Abb. 3/24  
Mikroskopische Aufnahme eines in bakterieller Zersetzung befindlichen Strohhalms im Boden, 3 Wochen nach Einbringung (Aufn. Glathe)

- **Bodenwühler** (größere Tiere, wie Maulwürfe, Mäuse, grabende Insekten, Regenwürmer und andere größere Würmer): schaffen sich ihre „Verkehrswege“ und „Wohnstätten“ selbst, dabei Lockerung des Bodens
- **Bodenschliefer** (Wurzelfüßler, kleine Würmer): zwingen sich schlängelnd durch das winklige Hohlraumssystem hindurch; sind an durchgängige luftführende Hohlräume gebunden, daher vorwiegend in den oberen Bodenschichten anzutreffen
- **Bodenschwimmer** (geißeltragende Bakterien, Wimpertierchen, Rädertierchen und einige Würmer): sind an die mit Wasser gefüllten Hohlräume gebunden; bewegen sich mittels Geißeln, Wimperkränzchen oder eines Ruderschwanzes fort
- **Bodenhafter** (Actinomyceten, Pilze, einige Bakterienarten): besiedeln Wände der Hohlräume, wachsen zum Teil in die Hohlräume hinein; hinsichtlich ihrer Verbreitung auf passiven Transport im Bodenwasser und auf Verschleppung durch Bodenwühler und Bodenschliefer angewiesen

Da die Bodenverhältnisse außerordentlich verschieden sein können, sind auch die Lebensbedingungen für die Bodenorganismen sehr unterschiedlich. Von besonderer Bedeutung sind Nahrungs-, Feuchtigkeits-, Durchlüftungs-, Temperatur-, Strahlungs- und Reaktionsverhältnisse.

In bezug auf die Ernährung sind die meisten Bodenorganismen heterotroph (grch., sich von organischen Stoffen ernährend). Diejenigen Arten, die nicht nur abgestorbene, sondern auch noch lebende Pflanzenteile fressen, gehören zusätzlich in die Gruppe der Pflanzenschädlinge.

Bei den Bodentieren unterscheidet man *Erst-* und *Folgezersetzer*. Bestimmte Arten beginnen mit der Grobzersetzung der Pflanzenrückstände, andere Arten setzen die Zerkleinerung fort, wieder andere leben vom Kot der Erst- und Zweitsetzer. Detritusfresser decken ihren Bedarf an Eiweißen über den Aufschluß derselben durch Mikroben.

Bei den Mikroorganismen kann man nach der Gleichartigkeit hinsichtlich der zu zersetzenden Substanzen und der Art der Umsetzungsvorgänge „*physiologische*“ Gruppen unterscheiden, wie Zellulose- und Ligninzersetzer (s. Abb. 3/24), Eiweißzersetzer, Stickstoffsammler u. a. m. Die Zersetzbarkeit der organischen Stoffe wirkt sich auch auf die Artenverteilung der Bodenlebewesen aus.

Mengenmäßig bilden die Wurzeln die wichtigste Nahrungsquelle der Bodenlebewesen. Da sich der größte Teil der Wurzelmasse im Oberboden befindet, leben auch dort die meisten Organismen (s. Tab. 3/14). Besonders während der Vegetationszeit stehen ihnen hier reichliche Mengen leicht zersetzbarer Nahrung zur Verfügung, da ständig feine Haarwürzelchen absterben. Unmittelbar auf der Wurzeloberfläche kann die Anzahl der Bakterien, Pilze, Protozoen und Nematoden das Hundertfache derjenigen im übrigen Bodenraum betragen. Im Wurzelbereich der Gräser halten sich vorwiegend unter anderem Strahlenpilze, Hutpilze

Tabelle 3/14

Anzahl der Mikroorganismen im Bereich der Rhizosphäre in Mio/g Boden (nach Kaß, 1966)

Fruchtart	Wurzelbereich	Bakterien [Mio/g]	Actinomyceten [Mio/g]	Pilze [Mio/g]
Roggen	Wurzeloberfläche	653	8,6	2,8
	Nähe Hauptwurzel	93	10,2	0,5
	30 cm ab von der Hauptwurzel	23	8,4	0,3
Klee (einjährig)	Wurzeloberfläche	3 470	50,0	2,1
	Nähe Hauptwurzel	28	4,4	0,2
	30 cm ab von der Hauptwurzel	16	5,8	0,2

und Milben, im Wurzelbereich der Futterleguminosen vorwiegend Bakterien, Pilze und Springschwänze auf. Bei Luzerne- bzw. Klee-Gras-Gemischen erreichen Menge, qualitative Zusammensetzung und Formenspektrum der Bakterien, Pilze und Bodentiere die bodenbiologisch günstigsten Werte. Außer den abgestorbenen Pflanzenwurzeln dienen selbstverständlich auch alle anderen organischen Abfallstoffe den Bodenlebewesen als Nahrung.

Hinsichtlich der Feuchtigkeit verlangen die Bodenorganismen im allgemeinen ungünstigere Verhältnisse, die jedoch nur selten vorhanden sind. Die Bodenschwämme sind grundsätzlich an das Vorhandensein von Wasser gebunden. Einige Bodentierarten können Trockenperioden in unempfindlichen Dauerformen (Zysten) überstehen. Das gleiche gilt für die Dauerformen von Bakterien (Sporen). Azotobakter und Nitrosomonas können längere Trockenheit in Form ihrer vegetativen Zellen gut überstehen. Nach ihrer Anpassung an den Feuchtigkeitsgehalt der Bodenluft unterscheidet man bei den Bodentieren Feucht- und Trockenlufttiere. Die Feuchtlufttiere bevorzugen gleichmäßig mit Wasserdampf gesättigte Luft. Sie müssen sich beim Austrocknen des Oberbodens in tieferliegende Horizonte zurückziehen. Die Trockenlufttiere hingegen verlassen den Boden bei zu feuchten Verhältnissen, beispielsweise während der Schneeschmelze im Frühjahr. Sie sind dann auf der Schneedecke zu finden.

Wasserübersättigung des Bodens beeinträchtigt die Bodenorganismen. Regenwürmer können dadurch schwer geschädigt werden. Allerdings gibt es an Auenstandorten Regenwurmarten, die sich dem feuchten Milieu angepaßt haben und Überflutungen vertragen. Andere Tiere, zum Beispiel Springschwänze, überdauern solche feuchten Perioden, indem sie sich zusammenrollen und zwischen ihren Körperanhängen Luftblasen einschließen, die ihnen ein Weiteratmen gestatten. Bakterien vertragen im allgemeinen einen höheren Wassergehalt als Pilze und Strahlenpilze. Mit steigendem Wassergehalt nimmt daher die Anzahl der Bakterien im Boden zu, bei fallendem ist es umgekehrt.

Die Durchlüftung im Boden beeinflusst das Bodenleben unterschiedlich. Sauerstoff und Kohlendioxidgehalt spielen dabei die entscheidende Rolle. Nach dem Sauerstoffbedürfnis unterscheidet man bei den Bakterien zum Beispiel Arten, die unbedingt Luftsauerstoff benötigen (aerobe Bakterien), und solche, die nur bei Abwesenheit von Luftsauerstoff gedeihen (anaerobe Bakterien). Die anaeroben Bakterien decken ihren Sauerstoffbedarf aus den organischen Verbindungen, die sie zersetzen.

Durch die intensive Atmung der Pflanzenwurzeln und der Bodenlebewesen wird die Bodenluft mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) angereichert. Überschreitet dabei die CO<sub>2</sub>-Konzentration einen bestimmten Höchstwert, sterben bestimmte Organismen ab. Besonders empfindlich sind der Maulwurf und verschiedene aerobe Bakterien. Andere Organismen wiederum, beispielsweise der Regenwurm, vertragen höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen.

Die Temperatur spielt für das Gedeihen der Bodenorganismen eine große Rolle, die Mehrzahl hat in den Ackerböden unseres Gebietes ihr Lebensoptimum zwischen 5 °C und 30 °C. Niedrige Temperaturen werden eher vertragen als zu hohe. Die Sporen der Bakterien und Pilze überdauern sehr tiefe Temperaturen ohne Schaden. Im allgemeinen stellen aber Bakterien und Pilze ihre Lebenstätigkeit bei ± 0 °C ein, nur einzelne Arten erst bei tieferen Temperaturen. Viele Tierarten wie Milben, Springschwänze und Insektenlarven frieren im Boden ein, ohne Schaden zu erleiden.

Bodentiere können zu hohen oder zu niedrigen Temperaturen ausweichen, indem sie wandern. So verlegen Regenwürmer ihre Winterquartiere in tiefergelegene frostfreie Schichten. In Gebirgslagen, wo die tägliche Temperatur stärker schwankt, sollen viele Bodentiere sogar jeden Tag auf- und abwärts wandern. In der Regel treten jedoch größere tägliche Temperaturschwankungen nur in den obersten Bodenschichten auf (vgl. Abb. 6/48).

Auf die Strahlung reagieren Bodenlebewesen unterschiedlich. Besonders gegenüber ultraviolettem Licht sind viele Organismen empfindlich. Dies trifft vor allem für die weichhäutigen Bodentiere (Würmer, Larven) zu. Mit der Lichtempfindlichkeit eng verbunden ist

Tabelle 3/15

Mittlere biologische Aktivitätserwartung auf der Grundlage von Modell-(Gefäß-)Versuchen (nach Müller, 1973)

Veränderung der Bodenparameter	Besiedlung mit			Boden- atmung	Ferment- aktivität
	Bakterien	Actino- myceten	Pilze		
<b>Körnungsarten</b>					
von S → L	+ + +	+	- - -	+	- - -
von L → T	+ + +	+ + +	- - -	+ +	+ + +
<b>Wasserkapazität</b>					
von 25 → 60 %	- - -	- - -	- - -	+ +	+
von 60 → 90 %	- - -	- - -	- - -	+ + +	+ + +
<b>Temperatur</b>					
von 7 → 21 °C	- - -	- - -	+ + +	+ + +	- - -
von 21 → 35 °C	+ + +	+ + +	- - -	+ + +	- - -
<b>Düngung (NPK)</b>					
von 50 → 100 kg/ha	+ +	+ +	+ +	+	+
von 100 → 150 kg/ha	+ +	+	+	+	+
<b>pH</b>					
von niedrig → mittel	+ +	+ + +	-	+	+ + +
von mittel → hoch	+ +	+ + +	- -	+	+ +
<b>Jahreszeit</b>					
von Frühjahr → Sommer	+ + +	- - -	+ +	+	+ + +
von Sommer → Herbst	+ +	n. b.	+	+	- - -

+ geringe (+), mittlere (+ +), hohe (+ + +) positive Erwartung (Vermehrung, Aktivitätserhöhung)

- geringe (-), mittlere (- -), hohe (- - -) negative Erwartung (Rückgang, Aktivitätsverminderung)

auch die Färbung der Tiere. Hellfarbene Regenwürmer können zum Beispiel durch kurzfristige, aber intensive Bestrahlung bereits abgetötet werden. In Oberflächennähe lebende Tiere sind daher vorwiegend dunkel pigmentiert. Tiere, die in tieferen Bodenschichten leben (Enchytraeiden, Tausendfüßler), zeigen hingegen vielfach helle Farbtöne, zum Teil sind sie auch farblos (Rädertiere, Nematoden). Bakterien sind oft gegenüber dem sichtbaren Licht recht empfindlich, insbesondere die jungen Formen und die ausgetrockneten Sporen. So spricht man auch von einer bakteriziden Wirkung des Lichtes. Bei intensiver Sonneneinstrahlung (Sommer) ist die schädigende Wirkung wesentlich größer als bei wenig intensiver (Winter).

Im Hinblick auf den pH-Wert zeigen Bodenorganismen ebenfalls ganz bestimmte Ansprüche, wobei allerdings nur die im Bodenwasser lebenden betroffen sind. Pilze bevorzugen im allgemeinen saure, Bakterien mehr neutrale bis schwach alkalische Verhältnisse. Kalkung regt das Bakterienleben an. Empfindlich gegenüber saurer Reaktion sind u. a. die Stickstoffbinder und -umformer. Regenwürmer, Enchytraeiden, Ameisen u. a. sollen die Fähigkeit besitzen, Säuren unwirksam zu machen und damit in ihrer unmittelbaren Umgebung das Milieu entsprechend abzupuffern.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Ansprüche der Bodenorganismen sehr verschieden und dementsprechend auch ihre Aktivitäten sehr unterschiedlich sein können. In Tabelle 3/15 ist eine Übersicht über die Aktivitätserwartung gegeben.

## Anzahl und Masse der Bodenorganismen

Die Anzahl der Bodenlebewesen ist stark vom jahreszeitlichen Rhythmus abhängig, was in erster Linie auf Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen zurückzuführen ist. So erreicht die Anzahl der Bodenorganismen im Frühjahr bei steigender Temperatur und genügender Feuchtigkeit i. d. R. den Höchstwert, im Sommer sinkt sie infolge Austrocknung wieder ab. Im Spätsommer bis Herbst ist oft ein zweites Maximum vorhanden, im Spätherbst und Winter wird das Minimum erreicht. Die höchste Organismenanzahl ist auf der Oberfläche der Wurzeln (Rhizosphäre) zu beobachten (vgl. Tab. 3/14). Ein Vergleich der Bakterienanzahl unter Wald, Grünland und Acker wird in Tabelle 3/16 gebracht. Andere Untersuchungen an Böden in der DDR ergaben, daß die Bakterienbesatzdichte unter Acker bei Sand auch höher als bei Ton sein kann. Die Zusammensetzung des Edaphons weist bei verschiedener Nutzung erhebliche Unterschiede auf. Meist sind Ackerböden artenärmer als Grünlandböden.

Die Anzahl der Bodenorganismen ist vor allem in den verschiedenen Böden unterschiedlich, eine Differenzierung wird insbesondere durch Substrat und Bodentyp (vgl. Tab. 3/16) bewirkt. Alle Böden mit günstigen Reaktions- und Feuchtigkeitsverhältnissen zeigen meist ein großes Gattungs- und Artenspektrum sowie einen höheren Regenwurmbesatz, so zum Beispiel die Schwarzerden, Parabraunerden und Vegas. Wie die Verteilung von Mikroorganismen in einigen Bodenformen aussieht, geht aus Tabelle 3/17 hervor.

Aus der Anzahl der Organismen und ihrer Einzelmasse läßt sich die Gesamtmasse des Edaphons berechnen. Diese hat bodenbiologisch einen größeren Zeigerwert als die Individuenanzahl. In Tabelle 3/18 sind Mittel- und Optimalwerte für Böden unter unseren

Tabelle 3/16

Anzahl der Bakterien unter Wald, Grünland und Acker in Mio/g Boden (nach *Burrichter*, 1953)

Bodenform	Körnungsart in der Probe- entnahmetiefe	Wald [Mio/g]	Grünland [Mio/g]	Acker [Mio/g]
Sand-Ortgley	S	2,11	5,07	2,78
Sandtieflehm- Braunstaugley	I'S	3,23	7,49	2,88
Salmtieflehm- Fahlerde	IS	7,71	12,47	8,28
Salmtieflehm- Braunstaugley	IS	6,64	16,63	9,59
Sandlöß-Fahlerde	sL	10,08	24,80	12,97
Lehm-Staugley	L	5,87	4,04	3,25
Ton-Staugley	T	0,80	2,03	1,04

Tabelle 3/17

Keimzahlen verschiedener Mikroorganismen innerhalb der Krume in Mio/g organisch gebundenen Kohlenstoffs (nach *Stohr*, zit. *Rawald*, 1970)

Bodenform	Bakterien [Mio/g]	Actinomyceten [Mio/g]	Pilze [Mio/g]
Löß-Fahlerde	120	35	10
Ton-Rendzina	122	55	5
Sand-Gley	160	40	10



Tabelle 3/18

Anzahl und Masse der Bodenorganismen je m<sup>2</sup> bis 3 dm Tiefe (in Anlehnung an *Dunger*, 1970)

	Anzahl unter 1 m <sup>2</sup>		Gewicht in g unter 1 m <sup>2</sup>	
	Mittel	Optimum	Mittel	Optimum
Mikroflora	—	—	~ 200	~ 2 000
Bakterien	1 Bill	100 Bill	50	500
Actinomyceten	10 000 Mio	10 Bill	50	500
Pilze	100 Mio	1 Bill	100	1 000
Algen	1 Mio	10 000 Mio	1	15
Mikrofauna	—	—	10	100
Geiseltiere	0,5 Bill	1 Bill	} 10	} 100
Wurzelfüßler	0,1 Bill	0,5 Bill		
Wimpertierchen	1 Mio	100 Mio		
Mesofauna	—	—	~ 2,5	~ 40
Rädertiere	25 000	600 000	0,01	0,3
Fadenwürmer	1 Mio	20 Mio	1	20
Milben	100 000	400 000	1	10
Springschwänze	50 000	400 000	0,6	10
Makrofauna	—	—	~ 50	~ 500
Enchytraeiden	10 000	200 000	2	26
Schnecken	50	1 000	1	30
Spinnen	50	200	0,2	1
Asseln	50	200	0,5	1,5
Doppel-, Vielfüßler	300	3 000	4,5	11
Insekten m. Larven	350	17 000	3,5	45
Regenwürmer	80	800	40	400
Wirbeltiere	0,001	0,1	0,1	10
Edaphon insgesamt	—	—	~ 260	~ 2 650

Bedingungen angeführt. Daraus geht hervor, daß die Lebendmasse des Edaphons etwa 26 dt/ha im Mittel und 265 dt/ha im Optimum betragen kann. Unter Berücksichtigung eines Wassergehaltes von 80 % sind das rund 5 bzw. 50 dt/ha Trockenmasse. Bei einem mittleren Humusgehalt in der Ackerkrume von etwa 2 % entfallen somit 0,5 (Mittel) bis 5 % (Optimum) auf das Edaphon.

Die Bodenorganismen bilden in ihrer Gesamtheit bestimmte Lebensgemeinschaften, die man als *Biozönosen* bezeichnet. Biozönosen reagieren zum Teil empfindlich auf wechselnde äußere Einflüsse. Jedes neue Nahrungsangebot, andere Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse bewirken jeweils Gleichgewichtsstörungen, die aber meist nur vorübergehend sind. Diese Gleichgewichtsstörungen äußern sich in bestimmten Änderungen des Arten- und Massenspektrums der Bodenlebewesen. Auf Grund der Spezialisierung der einzelnen Organismenarten ist auch mit fortschreitender Zersetzung der organischen Stoffe ein Wechsel zu beobachten (= Organismensukzessionen). Stärkere Einwirkungen des Menschen durch Biozideinsatz, intensive Düngung, Anbaukonzentration u. a. Maßnahmen können, müssen aber nicht unbedingt arten- und massenvermindernd wirken.

### Funktionen der Bodenorganismen

Die Bodenlebewesen sind an zahlreichen Vorgängen im Boden beteiligt. Ihre wichtigste Tätigkeit ist die Umwandlung und Zersetzung der organischen Substanz. Alle damit in Beziehung stehenden Eigenschaften des Bodens werden mithin maßgeblich durch sie beeinflußt. Folgende Funktionen verdienen zusammenfassend hervorgehoben zu werden:

- Einarbeitung von Pflanzenrückständen in den Boden (alle Bodentiere)
- Vermengung organischer und mineralischer Bodenstoffe durch Darmpassage (Regenwürmer, Asseln)
- Durchmischung, auch Bioturbation genannt, und Lockerung des Bodens, Schaffung von Hohlräumen (Bodenwühler)
- Verklebung von Bodenaggregaten durch Schleimstoffe (Mikroorganismen) und Vernetzung (Pilze, Algen)
- Abbau der organischen Stoffe als Teilvorgang des biotischen Stoffkreislaufes (alle Organismenarten)
- Mineralisierung organischer Stoffe und damit Freisetzung von Pflanzennährelementen (Organismensukzessionen)
- Mitwirkung an der Bildung von Huminstoffen (insbesondere chromogene Bodenpilze, Bakterien, Actinomyceten)
- Bindung von Nährelementen in der Körpersubstanz der Bodenorganismen und damit Schutz vor anorganischer Festlegung (alle Organismenarten)
- Förderung der chemischen Verwitterung durch Ausscheiden bestimmter Stoffwechselprodukte und Lösung schwer löslicher Verbindungen (z. B. Silikat- und P-Bakterien)
- Förderung des Pflanzenwachstums durch Wirkstoffproduktion (Mikroorganismen)
- Umwandlung organischer N-Verbindungen durch Nitrifikation, Ammonifikation, Harnstoffumsetzung (Nitrifikations-, Denitrifikations-, Urobakterien)
- Bindung von Luftstickstoff (Azotobakter, Azotomonas, Amylobakter, Clostridium, Algen) sowie Bereitstellung von Luftstickstoff durch Symbiose (Knöllchenbakterien)
- Oxidation und Reduktion von Schwefel-, Mangan- und Eisenverbindungen (S-, Mn- und Fe-Bakterien)
- Einschränkung von Krankheitserregern durch bestimmte wechselseitige Beeinflussung (antiphytopathogenes Potential)
- Abbau von Bioziden, also Herbiziden und Insektiziden, sowie Abprodukten

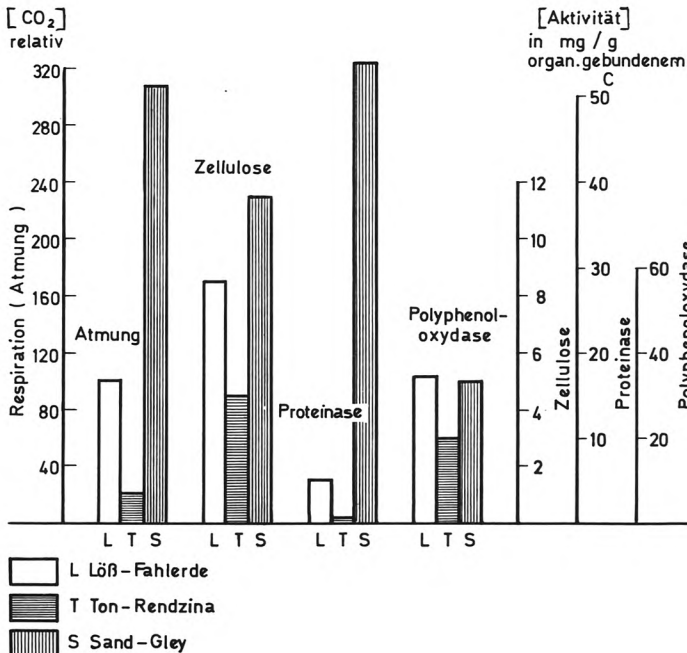


Abb. 3/25  
Säulendiagramm der bodenbiotischen Aktivitäten in der Ackerkrume einiger kontrastierender Bodenformen; Jahresmittelwerte aus 5 Terminen, bezogen auf 1 g organisch gebundenen Kohlenstoff in der Ackerkrume (nach Rawald, 1970)

Die Funktionen der Bodenlebewesen spiegeln sich in der bodenbiotischen Aktivität wider, die ein Ausdruck für ihre Gesamttätigkeit ist. Zusammensetzung, Anzahl und Masse geben nur indirekte Anhaltspunkte. Die biotische Aktivität wird zum Beispiel über die Atmung, d. h. über die von den Lebewesen ausgeschiedene *Kohlendioxidmenge* gemessen, da CO<sub>2</sub> bei den meisten heterotrophen Organismen ein charakteristisches Endprodukt des Stoffwechsels ist. Die jährlich durch Organismenätigkeit (und Wurzelatmung) anfallende CO<sub>2</sub>-Menge wird auf mehrere tausend kg/ha geschätzt, wobei es standortbezogen größere Schwankungen gibt. Die Kohlendioxidproduktion hat für den Stoffkreislauf in der Natur entscheidende Bedeutung. 85 % des in der Luft vorhandenen CO<sub>2</sub>-Vorrats stammen aus dem Boden. Ohne dieses Kohlendioxid ist keine Assimilation möglich. Wenn die CO<sub>2</sub>-Freisetzung im Boden unterbunden würde, wäre der Vorrat in der Luft (10<sup>15</sup> kg insgesamt) nach ca. 30 Jahren erschöpft!

Weitere Möglichkeiten zur Ermittlung *biotischer Teilaktivitäten* sind durch Bestimmung der Enzymfreisetzung, der Ammonifikation, der Nitrifikation, der Luftstickstoffbindung und der Intensität der Zellulosezerersetzung gegeben, auf die hier nur hingewiesen werden kann. In Abbildung 3/25 werden für 3 Bodenformen Angaben zur Atmung und zu einigen enzymatischen Teilaktivitäten gebracht. Sie dürfen jedoch nur als Anhaltspunkte für die Größenordnungen und Differenzierungstendenzen angesehen werden.

Das Edaphon hat einen entscheidenden Anteil an der Fruchtbarkeit unserer Böden. Es muß daher bei allen agrotechnischen Maßnahmen darauf geachtet werden, daß die Bodenorganismen den Umständen entsprechend geschont werden. Auf dem Ackerland kann man das durch eine hohe Ackerkultur erreichen. Im einzelnen handelt es sich dabei insbesondere um

- regelmäßige organische Düngung
- sachgemäße Bodenbearbeitung
- möglichst kontinuierliche Bodenbedeckung während der Sommermonate
- ordnungsgemäßen Fruchtwechsel im Rahmen der Bodennutzungstypen mit Einschaltung bodenverbessernder Zwischenfrüchte

### 3.3.5. Umwandlungsprozesse im Boden

Zwischen Abbau und Umbau der mineralischen und organischen Substanzen gibt es bestimmte Ähnlichkeiten, wenn auch die beteiligten Stoffe und die Vorgänge im einzelnen unterschiedlich sind (s. Tab. 3/19). Verwesung einschließlich Mineralisierung und Humifi-

Tabelle 3/19

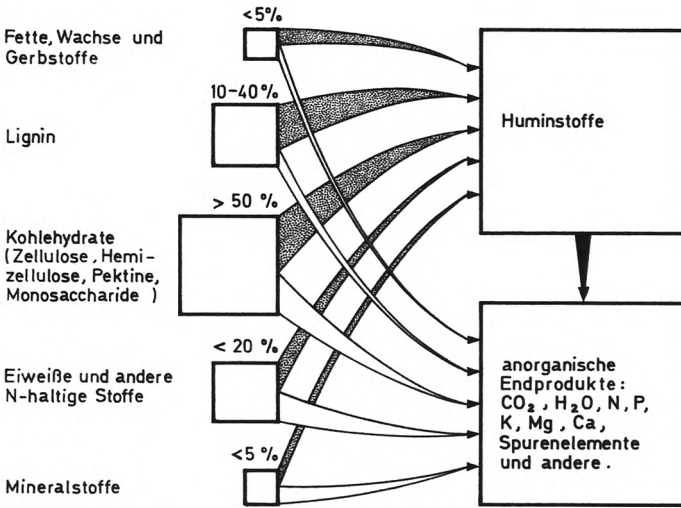
Analoge Ab- und Umbauprozesse der organischen und mineralischen Substanz im Boden

Ausgangssubstanzen	organische Stoffe (z. B. Zellulose, Lignin, Eiweiß)		Minerale (z. B. Feldspat, Glimmer, Augit)
Abbauprozesse	Verwesung		Verwitterung
Um- u. Aufbauprozesse	Mineralisierung	Humifizierung	Mineralneubildungen
Endprodukte	Kohlendioxid und Wasser	bodeneigene organische Verbindungen	Tonminerale und Oxide
		organo- ↔ mineralische Verbindungen	lösliche anorganische Verbindungen

Organische Ausgangsprodukte  
( pflanzliche Stoffgruppen )

Umwandlungs- und  
Zersetzungsprodukte

Abb. 3/26  
Trendschema der  
Umwandlungs- und  
Zersetzungsprozesse der  
organischen Substanz  
im Boden in Abhängig-  
keit von der Stoffgrup-  
penzusammensetzung  
(in Anlehnung an  
Schroeder, 1972)



zierung sind die entscheidenden Ab- und Umbauprozesse der organischen Substanz. Alle organischen Inhaltsstoffe können sowohl mineralisiert als auch humifiziert werden, jedoch gibt es schwerpunktmäßige Unterschiede (s. Abb. 3/26).

### Verwesung

Verwesung ist der Oberbegriff für alle im Boden ablaufenden Umbau- und Zersetzungsprozesse der organischen Stoffe. In gewisser Hinsicht ist damit auch die Humifizierung eingeschlossen. Ab- bzw. Umbau der organischen Substanz verläuft in folgenden Phasen, die aber nicht nur nach-, sondern teilweise auch nebeneinander ablaufen bzw. ineinander greifen können:

- 1. Phase: Biochemische Primärreaktionen; laufen vor, während oder kurz nach dem Absterben der pflanzlichen und tierischen Organismen ab; Hydrolyse- und Oxidationsvorgänge im Zellinneren; Zerfall hochpolymerer Verbindungen in einfachere Bausteine und aromatische Stoffe (z. B. Verfärbung der Blätter durch Abbau des Chlorophylls und Bildung von Farbstoffen der Karotinoide und Anthocyane) ohne sichtbare Zerstörung des Zellverbandes
- 2. Phase: Mechanische Zerkleinerung durch Bodentiere, dadurch Vergrößerung der Partikeloberfläche und somit auch der mikrobiotisch angreifbaren Fläche; gleichzeitig Einarbeitung und Vermischung mit Bodenmaterial; chemische Abbaureaktionen (oxidativer Abbau der Karotinoide und Anthocyane; unansehnliche Braunfärbung durch die relativ stabilen Gerbstoffe verursacht) treten zurück
- 3. Phase: Mikrobiotischer Um- und Abbau; Vorherrschen biotisch-chemischer Reaktionen; Verlust der pflanzlichen Struktur; Synthese bodeneigener organischer Stoffe, aber auch völlige Mineralisierung

Hervorzuheben ist die enge Wechselwirkung zwischen der Tätigkeit der pflanzlichen und tierischen Bodenorganismen. Durch fortwährende Freilegung der Nahrungssubstanzoberfläche sowie durch Beeinflussung mikrobieller Prozesse werden die Bodentiere zu Aktivatoren der enzymatischen Substanzzersetzung. Durch „Beweidung“ der Mikroflora und durch Vergrößerung der Angriffsfläche für die Mikroorganismen wird immer wieder die Vermehrung derselben und die Enzymproduktion angeregt. Auch durch die Darm-

passage der Mikroflora im Leib der Bodentiere werden bestimmte Organismen gefördert und Enzymelemente erhalten. Die Bodentiere ihrerseits behaupten sich gegenüber mikrobiell wechselnden Umweltbedingungen und über die zur Erhaltung ihrer Art notwendigen Zeiträume hinweg nur durch stärkere Anhäufung. Ansammlungen können sich auf Grund der spezifischen Nahrungswahl der Tiere bilden. So kommt es, auch in Abhängigkeit von den übrigen abiotischen Milieuverhältnissen, zu einem von tierischen und pflanzlichen Organismen wechselseitig geprägten Stoffum- und -abbau.

Die biotischen Abbauprozesse bilden ineinandergreifende Zyklen. Die organischen Stoffe dienen zunächst primär den Bodenlebewesen als Nahrung. Die aufgenommenen Substanzen werden zum Aufbau körpereigener Verbindungen und zur Deckung des Energiebedarfs verwendet. In Form von Ausscheidungen entstehen mehr oder weniger stabile Zwischenprodukte. Nach dem Absterben der Organismen verarbeiten andere Sukzessionen die Leichen der Bodenlebewesen, und es entstehen neue Zwischenprodukte. So kommt es sowohl zur Anreicherung relativ stabiler bodeneigener organischer Stoffe, zur Bildung löslicher organischer Verbindungen als auch zur völligen Zersetzung organischer Substanzen.

Der Verlauf (Geschwindigkeit, Intensität) dieser Umsetzungsvorgänge hängt im wesentlichen vom stofflichen Aufbau der postmortalen Substanz und von den Milieubedingungen für die Bodenorganismen ab. Bei der stofflichen Zusammensetzung spielt die Abbauresistenz der Verbindungen eine dominierende Rolle (s. Abb. 3/27). Von leichter zu schwerer Zeretzbarkeit ergibt sich folgende Reihenfolge:

Zucker, Stärke > Pektin, Hemizellulose > Zellulose > Lignin, Wachse  
Eiweiße > Harze, Gerbstoffe

Dementsprechend werden junge Pflanzen leichter als ältere, grüne schneller als reife, eiweißreiche schneller als eiweißarme zersetzt. Organische Hemmstoffe, die zum Beispiel bei der Rohhumusbildung im Walde entstehen, aber auch im Tierkot vorhanden sind, wirken verzögernd auf den Abbau. Sie verschwinden nur durch Auswaschung oder mikrobielle

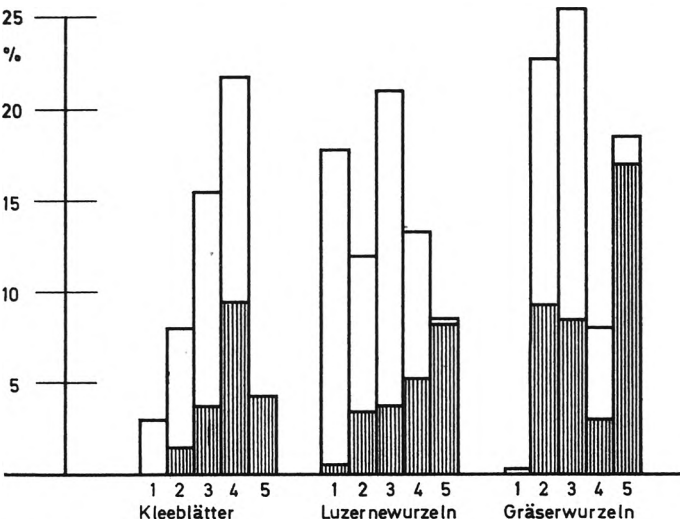


Abb. 3/27  
Säulendiagramm der Anteile organischer Inhaltsstoffe in verschiedenen Pflanzenrückständen vor und während der Rotte in % der aschefreien Ausgangstrockenmasse (nach Angaben von Kononova, 1963)

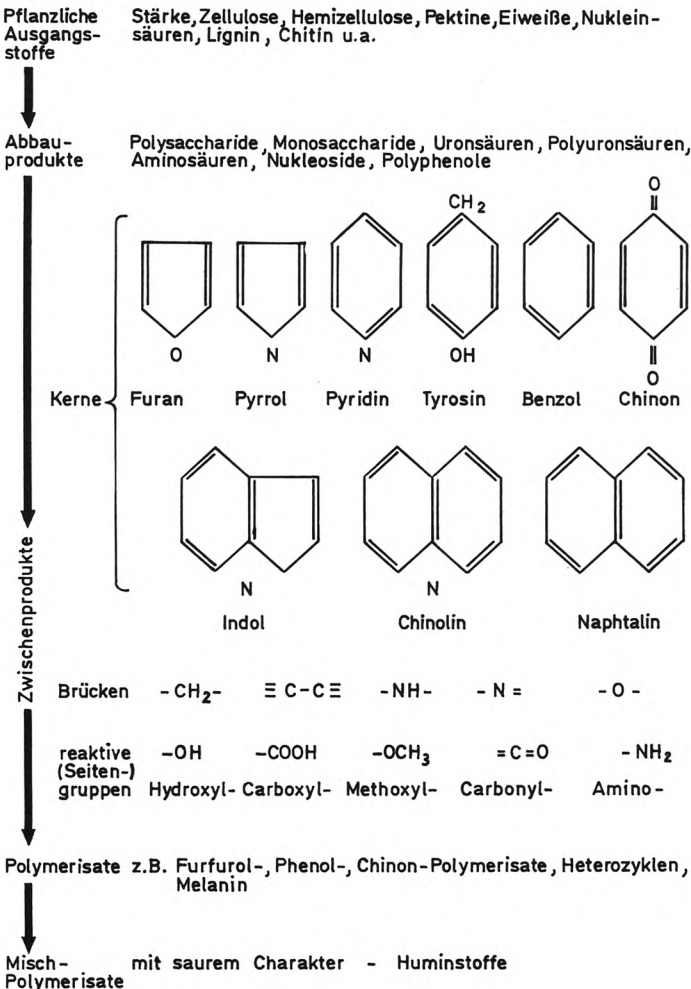
- 1 Stärke
  - 2 Hemizellulose
  - 3 Zellulose
  - 4 Eiweiß
  - 5 Lignin
- vor der Rotte  
 nach 10monatiger Rotte

Zersetzung. Ein Maß für die Zersetzbarkeit organischer Stoffe ist das *C/N-Verhältnis*. Wenn es weiter als 30:1 ist, tritt eine merkliche Verzögerung der Zersetzung ein. Bei alleiniger Strohdüngung (Stroh C/N = > 60:1) muß unbedingt Stickstoff zusätzlich verabreicht werden, da die Mikroben, die für ihr Körpereweiß ein Verhältnis von wenigstens 10:1 benötigen, sonst allen N, auch den im Boden bereits vorhandenen, festlegen.

### Humifizierung

Unter Humifizierung versteht man einen bodenspezifischen Vorgang, bei dem aus organischen Abfallstoffen neue, überwiegend relativ stabile, bodeneigene Stoffe, die Huminstoffe, entstehen. Zu den Huminstoffen gehören auch die leicht löslichen und damit wanderfähigen Fulvosäuren. Der Mechanismus der Humifizierung ist sehr kompliziert. Huminstoffe können sich auf recht verschiedenen chemischen und biotischen Wegen bilden. Grundbausteine sind einfache, kondensierte organische Ringverbindungen (vorwiegend Zyклоalkene und Aromate), die sich durch Verknüpfung zu hochpolymeren Sub-

Tabelle 3/20  
Ausgangsprodukte und Bausteine der Huminstoffe



stanzen mit den unterschiedlichsten makromolekularen Baustrukturen zusammenschließen. Allen gemeinsam ist der Einbau von Stickstoff als offene Brücke oder als ringgeschlossene Doppelbrücke sowie das Vorhandensein reaktionsfähiger Seitengruppen. Huminstoffe sind Mischpolymerisate, die einen räumlich vernetzten, mehr oder weniger kugelförmigen Aufbau (Sphärokolloide) zeigen. Die kleinste Assoziation hat zum Beispiel bei Huminsäuren eine Größenordnung von etwa  $1,6 \times 10^5$  Molekülen. Einige Bausteine sind in Tabelle 3/20 wiedergegeben.

Der Zusammenhalt der organischen Bausteine innerhalb eines Molekülkomplexes von Huminstoffen wird durch Haupt- und Nebervalenzkräfte bewirkt. Daß nicht nur Hauptvalenzbindungen vorliegen können, kommt beispielsweise in dem charakteristischen Verhalten von Huminsäuren zum Ausdruck,

Tabelle 3/21  
Wichtige Eigenschaften der Huminstoffe

Eigenschaften	Fulvosäuren	Huminsäuren	Humine
Polymerisationsgrad	niedrig	hoch	hoch
Molekulargewicht	< 10 000	10 000—100 000	verschieden
C-Gehalt [%]	45—50	50—60	> 60
N-Gehalt [%]	< 3	3— 8	verschieden
optische Eigenschaften (Extinktion, Q 4/6)	> 5	5— 3	< 3
Farbe	gelbbraun	tiefbraun	braun-schwarz
Abbauresistenz	gering	hoch	sehr hoch
Löslichkeit in			
Wasser	stark	schwach	kaum
Natronlauge	löslich	löslich	unlöslich
Salzsäure	löslich	unlöslich	—
Bezeichnung der Salze	Fulvate	Humate	—

Tabelle 3/22  
Zusammensetzung der organischen Substanz nach Humin- und Fulvosäuren in der Ackerkrume einiger verbreiteter Bodenformen (nach *Lieberoth*, 1964 a, und *Thiere*, 1968)

Bodenform	Organische Substanz [%]	davon anteilig [%]			Quotient Huminsäure / Fulvosäure
		Huminsäure	Fulvosäure	Rest	
Lehm-Parabraunerde	1,2	28	17	55	1,7
Tieflehm-Fahlerde	1,1	13	9	78	1,4
Tieflehm-Staugley	1,6	22	21	57	1,1
Löß-Parabraunerde	2,5	41	34	25	1,2
Löß-Fahlerde	2,0	27	34	39	0,8
Löß-Staugley	2,7	28	33	39	0,8

in wäßriger Lösung Assoziationskolloide zu bilden, komplexartige Bindungen mit anderen organischen Stoffen einzugehen und in fester Form den Strom zu leiten. Als *Nebervalenzkräfte* wurden bisher alle bekannten Formen, nämlich Wasserstoffbrückenbindung, van-der-Waalssche Kräfte und Elektronendonator/-akzeptor-Strukturen nachgewiesen. Entscheidend für die Reaktionsfähigkeit und Stabilität der Huminstoffe sind vor allem die letztgenannten, wobei aromatische Strukturen mehr zur Elektronenabgabe (Elektronendonatoren), Chinoide mehr zur -aufnahme (Elektronenakzeptoren) neigen.

Die Huminstoffe werden weiter untergliedert in *Huminsäuren*, *Fulvosäuren* und *Humine*. Ihre Eigenschaften gehen aus Tabelle 3/21, ihre Anteile in einigen wichtigen Bodenformen aus Tabelle 3/22 hervor. Der Säurecharakter der *Huminsäuren* wird vor allem durch die Carboxyl- und phenolischen Hydroxyl-Seitengruppen bedingt. Je nachdem, ob der Stickstoff

- als  $\text{NH}_4^+$  angelagert (austauschbar),
- in Form von Aminosäuren und -zuckern (hydrolysierbar),
- in direkter Bindung am aromatischen Kern oder
- heterozyklisch eingebaut

wird, kann er mikrobiell leichter oder schwerer angegriffen werden, d. h., er ist leichter oder schwerer zugänglich.

Die Bildung von Huminsäuren kann unter bestimmten Bedingungen durch Eisenverbindungen katalysiert werden. Fe verzögert auch die Mineralisierung. Insbesondere neigen ligninhaltige Substanzen in Gegenwart von Eisen zur Huminsäurebildung. Derart entstandene Huminsäuren sind optisch dichter, eisenreicher und gegenüber mikrobiellen Angriffen resistenter.

Huminsäuren lassen sich chemisch in weitere Gruppen aufteilen. Bedeutung haben vor allem folgende beiden Fraktionen:

– *Braunhuminsäuren*: durch NaCl aus einem NaOH-Extrakt von Huminsäuren ausfällbar; im alkalischen Milieu unter Einfluß von  $\text{O}_2$  oxidierbar; tief braun gefärbt; vielfach an Fe gebunden; relativ beweglich; geringere innere Vernetzung, geringeres Molekulargewicht; geringere mikrobielle Abbauresistenz

– *Grauhuminsäuren*: durch NaCl nicht fällbar; braunschwarz gefärbt; vielfach an Ca gebunden, weniger beweglich; stärker polymerisiert, stärkere innere Vernetzung, höheres Molekulargewicht; hohe mikrobielle Abbauresistenz; hohes Sorptionsvermögen; oft N-reich

Braun- und Grauhuminsäuren unterscheiden sich auch in ihrer Zusammensetzung, ins-

Tabelle 3/23

Zusammensetzung der Braun- und Grauhuminsäuren in einigen Bodenformen (nach Angaben von *Domke*, 1972)

Differenzierende Bestandteile [%]	Braunhuminsäuren			Grauhuminsäuren		
	Bändersand-Rosterde	Löß-Schwarzerde	Ton-Rendzina	Bändersand-Rosterde	Löß-Schwarzerde	Ton-Rendzina
Aschegehalt	5,0	3,6	4,2	8,9	8,6	10,1
Gehalt an Ca	0,35	0,45	0,90	0,65	0,75	1,20
Gehalt an Mg	0,13	0,17	0,31	0,20	0,20	0,40
Gehalt an Al	0,5	0,4	1,0	0,8	2,1	2,5
Gehalt an Fe	2,1	0,4	0,6	1,9	1,3	2,8
Methoxylgehalt	20	17	18	14	12	13
hydrolysierbarer Anteil	52	61	54	65	75	72



besondere im Gehalt an mineralischen Bestandteilen (s. Tab. 3/23). Grauhuminsäuren sind aschereicher, was auf eine stärkere Kopplung mit Ton hindeutet und wohl auch ihre höhere Stabilität erklärt. Weder die Braun-, noch die Grauhuminsäuren sind einheitliche Stoffgruppen, nur in bezug auf die Aussalzbarkeit verhalten sie sich einheitlich. In Sand-Rosterden und -Braunerden z. B. machen die Braunhuminsäuren das 2- bis 3fache der Grauhuminsäuren aus, in Löß-Schwarzerden ist es umgekehrt.

### **Stabilität der Huminstoffe**

Huminstoffe sind im Vergleich zu den Nichthuminstoffen stabiler. Ursache ihrer Stabilität ist der hohe Grad an molekularer „Unordnung“ und Heterogenität. Kaum zwei Huminstoffmoleküle sind gleich gebaut. Die Verminderung des Ordnungsgrades, die mit dem Abbau der organischen Ausgangsstoffe und der gleichzeitig erfolgenden Huminsäurebildung einhergeht, ist mit einer Entropiezunahme gekoppelt. Dieser *Entropieeffekt* ist vermutlich eine der wichtigsten Ursachen der Stabilität der Huminsäuren. Hinzu kommt die bereits erwähnte Elektronendonator/-akzeptor-Struktur. Außerdem resultiert die geringe Zersetzbarkeit der Huminsäuren auch aus den vielfältigen Vernetzungsformen der in sie eingegangenen Moleküle. Jede spezifische *Brückenbindung* zwischen den Huminsäurebausteinen erfordert für ihre Auflösung spezifische Enzyme. Deshalb kann es nur über eine hohe Enzymaktivität zu einem Aufbrechen dieser Brücken kommen. Trotzdem bleibt auch dann der mikrobiell-enzymatische Abbau der Huminstoffe gegenüber den Nichthuminstoffen vergleichsweise gering. *Nokardien* – eine Proactinomycetenart, die als besonders aktiver Humuszersetzer gilt – konnten beispielsweise unter optimalen Zersetzungsbedingungen nur 16% eines angebotenen Huminstoffextraktes abbauen. Der mit einer hohen Enzymproduktion verbundene intensive Stoffumsatz bezieht sich demnach mehr auf die Nichthuminstoffe, er ist aber – bei Aufrechterhaltung eines bestimmten Huminstoffspiegels – einer der wichtigsten Merkmale fruchtbarer Böden. Die Bedeutung der organischen Substanz liegt damit sowohl in ihrer Stabilität als auch in ihrer Dynamik als Basis für eine optimale Nährelementtransformation.

Auch die Bindung organischer Stoffe mit mineralischen Substanzen trägt zu deren Stabilisierung bei. Organomineralische Verbindungen können sehr unterschiedlich aufgebaut sein. Größere Bedeutung haben die relativ stabilen Kopplungen von Ton und Huminsäuren (früher als Ton-Humuskomplexe bezeichnet). Elektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen, daß bei diesen Verbindungen die Tonpartikel von den Huminsäuren umhüllt werden, wobei die Sorption nur an der äußeren, nicht an der inneren Oberfläche der Tonminerale erfolgt. Ihre Abtrennung vom Ton ist auf analytischem Wege schwer, die Bindung muß also sehr fest sein. Derart gekoppelte Huminstoffe sind besonders wertvoll, sie sorbieren Nährstoffe wie Ton, ihre Bindungskapazität übersteigt die der Tonminerale sogar um ein mehrfaches. Durch ihre Bindung an den Ton werden diese organischen Stoffe auch vor Abbau geschützt, sie werden gewissermaßen konserviert.

Die Regenwurmxkreme enthalten ebenfalls mineralische und organische Bestandteile, doch handelt es sich hierbei um etwas weniger stabile Verbindungen, eher um Stoffgemische. Im Durchmischen liegt die bodenbiotische Hauptleistung der Regenwürmer. Auf der Oberfläche gut bewirtschafteter Grünlandböden können sich jährlich Regenwurmxkreme bis zu 2 mm anhäufen, das sind über 300 dt/ha! Eine intensive Tätigkeit der Regenwürmer ist aber auch in den Ackerböden zu beobachten, in tiefgründigen Böden oft bis über einen Meter. Ihre Mischexkreme wirken in allen Horizonten aggregatstabilisierend.

### **3.3.6. Humusgehalt und Humusvorrat**

#### **Einflußfaktoren**

Der Humusgehalt im Boden ist eng mit dem Kohlenstoffkreislauf verknüpft. Zu- und Abgänge der organischen Stoffe im Boden muß man in Verbindung mit dem Gesamtumsatz

des Kohlenstoffs sowie den Faktoren der Umlaufbeschleunigung sehen. In landwirtschaftlich genutzten Böden stellt sich dabei ein anderes Gleichgewicht als in Naturböden ein. Es wird bestimmt durch die

- Umsetzungsbedingungen im Boden (naturbürtige Faktoren)
- Nutzungsart (Grünland, Acker)
- Intensitätsstufe der Pflanzenproduktion (Bodennutzungstyp, Intensität der Düngung und Bewässerung)

Der in den Naturböden (heute annähernd nur noch durch Waldstandorte vertreten) vorhandene Gleichgewichtszustand ist in den Kulturböden infolge des stärkeren Stoffentzuges und der zersetzungsfördernden agrotechnischen Maßnahmen auf ein niedrigeres Niveau verschoben. Durch intensive Nutzung und dem damit verbundenen hohen Anfall an Ernterückständen und durch die organische Düngung werden aber die Verluste zum größten Teil kompensiert (vgl. Abb. 3/36).

Die in den Naturböden auf die Humusumsetzung wirkenden Prozesse haben auch in den Kulturböden nach wie vor noch große Bedeutung. Das beweisen die standortabhängigen Mengenunterschiede in den verschiedenen Bodenformen. Ganz allgemein kann gesagt werden, daß die Abbauvorgänge um so verzögerter ablaufen, je kühler und trockener es ist. Eine intensive Zersetzung ist an höhere Temperaturen mit ausreichender (nicht überschüssiger) Feuchtigkeit gebunden. Die Kombination warm plus trocken (z. B. in Kontinentalgebieten während des Sommers) hemmt ebenfalls die Zersetzung, so daß es zu einer stärkeren Humusakkumulation kommt (Schwarzerdebildung). Bei genügendem Kalkvorrat im Boden entstehen dabei qualitativ wertvolle Huminstoffe, insbesondere Grauhuminsäuren.

Wasserüberschuß im Boden vermindert infolge des damit verbundenen Luftmangels ebenfalls den Abbau pflanzlicher Abfallprodukte. Es bilden sich Moore und Grundwasserböden mit hohem Humusgehalt. Je ärmer hierbei das Wasser und/oder das Substrat an Nährstoffen, besonders an Kalk ist, um so ungünstiger sind die angereicherten Humusstoffe. Das gilt besonders für Hochmoore, deren Fruchtbarkeit sehr gering ist.

Unter gegebenen Klimabedingungen steuern insbesondere Luft- und Wasserregime die im Boden ablaufenden Umwandlungsvorgänge der organischen Substanz.

Dementsprechend werden allgemein in Sandböden die Mineralisierungs-, in Lehm- und Lößböden die Humifizierungs-, in Ton- und Gleyböden die Fäulnisprozesse gefördert.

### **Humusalter**

Seitdem die  $^{14}\text{C}$ -Methode zur Verfügung steht, ist es nicht nur möglich, fossile (begrabene) Böden zu datieren (vgl. z. B. Tab. 3/2), sondern auch das Alter des Humus im Boden zu ermitteln. Zwar gibt es noch einige Bedenken gegen die Anwendung der Radiokohlenstoffmethode in rezenten, an der Oberfläche anstehenden, durchwurzelten Böden, doch lassen sich nur auf diese Weise wenigstens angenäherte Aussagen über das Humusalter, genauer über die scheinbare mittlere Verweilzeit des Kohlenstoffs (und damit von Huminstoffen), machen. Das Humusalter muß nicht identisch mit dem Bodentalter sein, es entspricht höchstens einem minimalen Alter der Bodenbildung; i. d. R. ist der betreffende Boden älter.

Die  $^{14}\text{C}$ -Methode beruht darauf, daß man die  $^{14}\text{C}$ -Konzentration des zu untersuchenden Humus (bzw. der Holzkohle oder anderer fossilierter organischer Stoffe) ins Verhältnis zu der in den heute frisch gebildeten organischen Stoffen setzt. Das Isotop  $^{14}\text{C}$  entsteht durch Neutroneneinwirkung der Höhenstrahlung aus  $^{14}\text{N}$ . Es wird z. Z. der Bildung der organischen Substanz neben dem normalen  $^{12}\text{C}$  in das lebende Gewebe eingebaut und bleibt auch im Humus erhalten. In der Folgezeit unterliegt es dem radioaktiven Zerfall (Halbwertszeit ca. 5 500 Jahre). Wenn kein neuer Kohlenstoff hinzukommt, kann man so aus der Abnahme der  $^{14}\text{C}$ -Konzentration das Alter berechnen.

In Tabelle 3/24 ist das Alter der organischen Substanz von Böden aus mehreren europäi-

Tabelle 3/24

Humusalter in verschiedenen europäischen Böden (nach Angaben von *Scharpenseel*, 1972)

Bodentyp	Anzahl der Profile*	Alter [10 <sup>3</sup> Jahre]				
		VR Bulgarien	BRD	ČSSR	VR Ungarn	UdSSR
Podsol	12	—	1—3 (2)	—	—	—
Parabraunerde/Fahlerde	25	4 —14	3—8 (4)	—	3— 4	—
Schwarzerde	26	6 —11	2—5 (4)	2—4 (4)	5—10 (5)	3—12
Plaggenboden	18	0,5— 2 (1)	—	—	—	—

In Klammern gesetzte Werte geben das am häufigsten auftretende Alter an.

\* Im Mittel wurden 3 Proben je Profil untersucht.

schen Ländern zusammengestellt. Daraus geht hervor, daß der Humus in Plaggenböden und Podsolen relativ jung ist, in Parabraunerden/Fahlerden und Schwarzerden hingegen wesentlich älter sein kann. Die angeführten Werte können ohne weiteres auf die Standorte in der DDR übertragen werden.

### Humusgehalt in den Böden der DDR

Bei den meisten Böden ist ein nennenswerter Gehalt an organischer Substanz auf den Ap- bzw. Aw-Horizont beschränkt. Nur Schwarzerden, Schwarzgleye/-staugleye, Humusgleye, Anmoore und Moore haben einen tiefer reichenden Humushorizont, der durch seine dunkelgraue bis schwärzliche Farbe deutlich hervortritt. Bei Böden auf Bergsubstraten, die ebenfalls unterhalb des Ap-Horizontes noch einen höheren Humusgehalt aufweisen, bewirkt dieser i. d. R. keinen dunkleren Farbton.

Entsprechend den Schwankungen im Gehalt an organischer Substanz werden zur Bodenkennzeichnung folgende Stufen unterschieden (TGL 24300/11):

— humusfrei (< 0,3 M.-%)	— stark humos (2,5 bis 5,0 M.-%)
— humusarm (0,3 bis 0,8 M.-%)	— sehr stark humos (5,0 bis 15 M.-%)
— schwach humos (0,8 bis 1,5 M.-%)	— extrem humos (15 bis 30 M.-%)
— mäßig humos (1,5 bis 2,5 M.-%)	— torfig (> 30 M.-%)

Berücksichtigt man, daß in bezug auf die Nährelementfesthaltung der Humus den Ton um das 5fache übertrifft, dann ist jedes Zehntel Prozent von Bedeutung. Die Unterschiede im Gehalt an organischer Substanz sind durch Substrat (Körnungsart) und Bodentyp bedingt. Aus der Untersuchung von rund 800 Proben ergaben sich folgende Mittelwerte für die Körnungsarten in der DDR (*Rawald, Klein*, 1970):

Sand	1,51%	Lehm	2,86%
lehmiger Sand	1,67%	Schlufflehm	2,96%
lehmiger Schluff	2,66%	Ton	3,25%
sandiger Lehm	2,27%		

Aus diesen Daten geht hervor, daß zwischen der Körnungsart und dem Gehalt an organischer Substanz enge Beziehungen bestehen. Ton mit Humus korrelieren ebenso positiv (Korrelationskoeffizient  $r = 0.58$ ) wie Ton + Fein-/Mittelschluff mit Humus ( $r = 0.75$ ). Im Mittel nimmt der Humusgehalt um 0,5 % zu, wenn der Gehalt an abschlämmbaren Teilchen (< 0,02 mm) um 11 % ansteigt. Die enge Beziehung zwischen Substrat und Hydromorphie einerseits sowie dem Gehalt an organischer Substanz andererseits geht auch aus Tabelle 3/25 hervor (*Rawald, Klein*, 1970).

Der Humusgehalt verbreiteter Bodenformen in der Krume und im Unterboden ist in Tabelle 3/26 zusammengestellt. Der Gehalt an organischer Substanz schwankt danach in der Krume von 1,11 bis 4,44 %, in den Unterböden bis 4 dm Tiefe von 0,54 bis 3,13 %.

Noch deutlicher sind die Gesamtwerte an organischer Substanz aus dem Humusvorrat ersichtlich. Unter Wald variiert die mittlere Gesamtmenge bis 8 dm Tiefe von 60 t/ha (Sand-Ranker) bis 1300 t/ha (Moore). Das Gros der anhydromorphen Böden liegt zwischen 80 und 180 t/ha, der hydromorphen Mineralböden zwischen 90 und 400 t/ha. In den vergleichbaren landwirtschaftlich genutzten Böden sinkt der Humusvorrat i. d. R. ab, in Ackerböden um 10 bis 40 %, in Grünlandböden um 5 bis 20 %. In Tabelle 3/27 sind die Mengen an organischer Substanz von Wald- und Ackerstandorten für einige verbreitete Bodenformen unter jeweils vergleichbaren Bedingungen zusammengestellt (vgl. Abb. 3/36).

In welchem Maße der Humusvorrat von Substrat und Bodentyp abhängt, geht aus Abbil-

Tabelle 3/25

Gehalt an organischer Substanz im Humushorizont verschiedener Bodentypen in Abhängigkeit vom Substratcharakter (nach Rawald, Klein, 1970)

Bodentyp	Substrate			
	sandig [%]	lehmig [%]	schluffig [%]	tonig [%]
Fahlerden	1,25	1,43	2,20	n. b.
Staugleye	1,70	2,10	2,65	n. b.
Gleye	3,23	2,49	n. b.	4,31

Tabelle 3/26

Gehalt an organischer Substanz in verbreiteten Bodenformen der DDR bis 4 dm Tiefe in [%] (nach Rawald, Klein, 1970)

Bodenform	Anzahl n	Krume		Unterboden bis 4 dm Tiefe	
		Mittelwert [%]	Schwankung*) [%]	Mittelwert [%]	Schwankung*) [%]
Sand-Rosterde	46	1,11	±0,22	0,54	±0,18
Tieflehm-Fahlerde	64	1,13	±0,18	0,62	±0,15
Sand-Rostgley	12	1,29	±0,26	0,76	±0,39
Lehm-Staugley	21	1,52	±0,33	0,55	±0,28
Tieflehm-Braun- staugley	17	1,56	±0,37	0,65	±0,32
Lehm-Parabraunerde	20	1,60	±0,34	0,70	±0,29
Tieflehm-Staugley	21	1,64	±0,33	0,85	±0,28
Sand-Gley	6	2,00	±0,73	0,87	±0,62
Löß-Parabraunerde	19	2,06	±0,35	0,57	±0,30
Löß-Staugley	22	2,14	±0,32	0,74	±0,27
Löß-Braunstaugley	33	2,32	±0,26	0,86	±0,22
Löß-Schwarzerde	13	3,35	±0,43	3,13	±0,37
Berglehm-Staugley	13	3,48	±0,43	0,85	±0,37
Berglehm-Braun- staugley	14	4,11	±0,42	1,35	±0,36
Berglehm-Braunerde	83	4,44	±0,18	2,22	±0,16

\*) absolut

dung 3/28 hervor. Wenn die Mengen auch nur bis zu einer Tiefe von 4 dm erfaßt wurden, so spiegeln sie doch deutlich die Relationen wider. Der Gesamtvorrat bis 8 dm Tiefe liegt bei allen Böden nur wenig höher. Lediglich bei den Löß-Schwarzerden muß man 25 % mehr veranschlagen, also mit etwa 250 t/ha rechnen. Diese Berechnungen fußen auf der Untersuchung von etwa 450 Böden.

Die mit der Bodentiefe abnehmende Masse an organischer Substanz ist in erster Linie

Tabelle 3/27

Humusvorrat vergleichbarer Bodenformen unter Wald und Acker bis 4 dm Tiefe in t/ha (nach Thiere, 1968 und Lieberoth, 1964 a)

Bodenform	Waldprofil [t/ha]	Ackerprofil [t/ha]
Sand-Podsol*)	278	156
Löß-Staugley*)	157	98
Löß-Fahlerden	128	70
Tieflehm- und Lehm-Staugleye	71	70
Tieflehm-Fahlerden	67	52
Sand-Braunpodsole/ Rosterden	52	50

\*) Einzelprofil, bei den übrigen Mittel aus 2 bis 5 Profilen

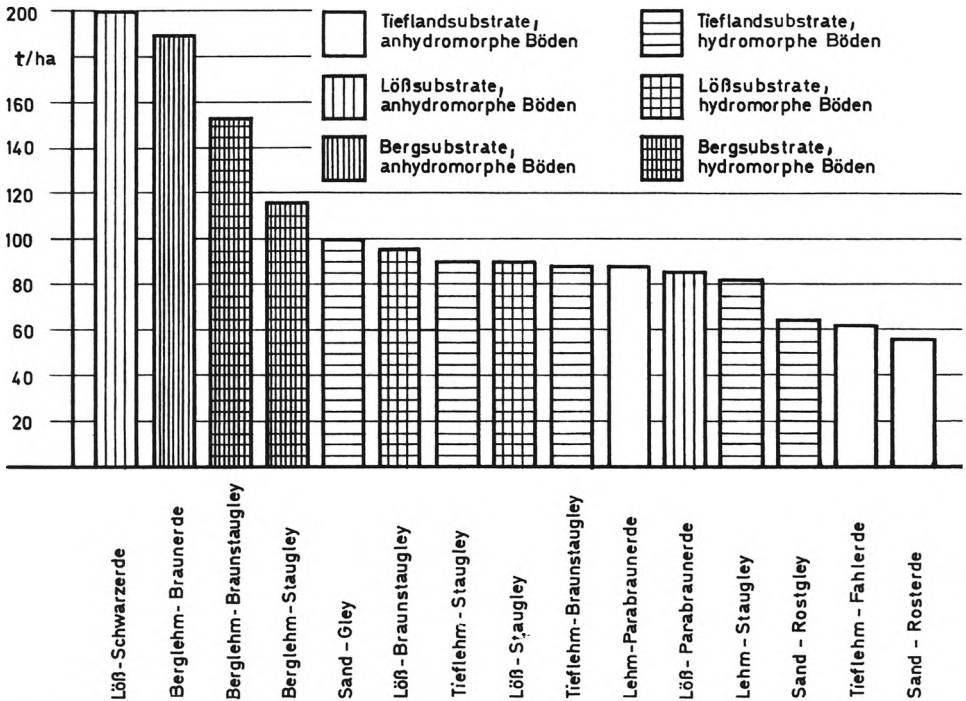


Abb. 3/28

Säulendiagramm des Humusvorrats verbreiteter Bodenformen in der DDR unter Acker in t/ha bis 4 dm Tiefe (nach Angaben von Rawald und Klein, 1970)

eine Funktion der Wurzelmenge, weil die Zersetzungsbedingungen zumindest im oberen halben Meter des Bodens als etwa gleich intensiv angenommen werden können. So z. B. werden die organischen Rückstände in einer Tieflehm-Fahlerde bis 5 dm u. Fl. in jeder Tiefe gleichermaßen mineralisiert und humifiziert. Wenn auch im Unterboden (3 bis 5 dm Tiefe) die Huminstoff-Synthese zunächst vorherrscht, wie anhand von Differenzspektren bewiesen werden konnte, vermögen sich die Huminsäuren doch nicht zu stabilisieren, so daß es zwischen Auf- und Abbauprozessen zu einem ähnlichen Gleichgewicht kommt wie in der Krume. Die Effektivität einer organischen Düngung kann durch tiefere Einbringung zumindest unter diesen Standortverhältnissen nicht erhöht werden.

### Humusspiegel und Humusumsatz

In den Naturböden hatte sich unter den ursprünglich jährlich gleichbleibenden Zugängen an organischen Stoffen und annähernd konstanten Zersetzungsbedingungen über lange Zeiträume hinweg ein bestimmtes Gleichgewicht (Humusspiegel) eingestellt, das folgendermaßen formuliert werden kann (Ehwald, 1974):

$$R \cdot K_1 \rightleftharpoons K_2 \cdot H \quad (8)$$

R = Zugang an organischen Stoffen

H = Humusvorrat im Boden

K = Koeffizient für die Zersetzungsbedingungen

$K_1$  = Humifizierungskoeffizient der jährlichen Zufuhr (~ 0,2 bis 0,3)

$K_2$  = Mineralisierungskoeffizient des Humusvorrates (~ 0,01 bis 0,02)

Diese Formel gilt strenggenommen nur für den abbaufähigen Teil der organischen Substanz. Für den *maximalen Humusvorrat* ( $H_{\max}$ ) muß daher folgende Beziehung aufgestellt werden:

$$H_{\max} \rightleftharpoons R \left( \frac{K_1}{K_2} \right)_{H_a} + H_i \quad (9)$$

$H_a$  = aktiver, abbaufähiger Teil des Humusvorrates

$H_i$  = inerte, nicht abbaufähiger Teil des Humusvorrates

Die höheren Humusvorräte in bestimmten Böden sind insbesondere auf einen höheren inerten Humusanteil ( $H_i$ ), z. B. in Löß-Schwarzerden, und auf einen geringeren Mineralisierungskoeffizienten ( $K_2$ ), zum Beispiel in Berglehm-Braunerden, zurückzuführen.  $H_i$  soll auch um so größer sein, je höher der Tongehalt und je höher das Bodenalter ist. Den Humusgehalt eines bestimmten Bodens relativ kurzfristig durch verstärkte organische Düngung anzuheben, stößt auf Grund des standortabhängigen Gleichgewichts zwischen Zugängen und Zersetzung auf Schwierigkeiten. Überblick über die Möglichkeiten der Humusmehrung nach jahrelanger Zufuhr von Stalldung wird durch die *Dauerdüngungsversuche* vermittelt (s. Abb. 3/29). Eine Anhebung des Humusspiegels auf den Stallungparzellen gegenüber den nur mit Mineraldünger versorgten Parzellen ist danach wohl möglich, jedoch nur in beschränktem Umfang. Aussagekräftig und für eine Reihe von Böden verallgemeinerbar sind die Schlußfolgerungen aus dem Thyrower Dauerversuch (Schnieder, 1975):

– Innerhalb von etwa 30 Jahren stellt sich bei Dauerversuchen ein der jeweiligen Versorgungsstufe entsprechender C-Gehalt ein. Auf den Stallungparzellen entspricht die C-Anreicherung 1/5 bis 1/7 der mit dem Stalldung zugeführten Menge. (Beim Ewigen Roggenbauversuch wurden von 1879 bis 1953 auch etwa 15 % des C = 13 t/ha in der Stallungparzelle I angereichert.)

– Eine alle 2 bis 3 Jahre durchgeführte Gründüngung hat auf den C-Gehalt die gleiche Wirkung wie eine Stalldunggabe von etwa 50 dt/ha und Jahr.

-In Kombination mit Stalldung eingesetzte Minereraldüngung führt zu einer weiteren (schwachen) C-Akkumulation gegenüber einer reinen Stalldunggabe. Folgt einer solchen kombinierten Düngung eine reine Minereraldüngung, kommt es wieder zu einer kontinuierlichen C-Abnahme, die allerdings mit sinkendem Humusgehalt geringer wird.

Der Einfluß unterschiedlicher Düngung auf unterschiedlichen Substraten geht auch aus einem Rostocker Versuch in Mitscherlichgefäßen hervor, bei dem umgerechnet jährlich 67 dt/ha organische Masse zugeführt werden. Die Auswertungsergebnisse nach 19 Jahren sind in Tabelle 3/28 zusammengestellt. Beim Mergel nahm die Rate des Humusanstiegs nach etwa 11 Jahren deutlich ab, beim Sand hingegen auch nach 19 Jahren noch nicht. Der allgemeine Schluß, daß mit einem höheren Humusvorrat auch ein höherer Ertrag verbunden ist, kann nicht in allen Fällen gezogen werden. Aus langjährigen Versuchen geht hervor, daß die Erträge der Stalldung- (+NPK-) Parzellen oft auf etwa gleicher Höhe liegen wie die der NPK-Parzellen, wenn bei diesen wiederholt Grün- und Strohdüngung eingeschaltet wird. Von entscheidender Bedeutung ist die Auswirkung des Humusgehaltes vor allem auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Hinzu kommt der Einfluß des Umsatzes der organischen Substanz. Von der Intensität des Umsatzes hängen einige grundlegende fruchtbarkeitsbestimmende Bodenfunktionen (s. Abschn. 1.2.) ab, wie zum Beispiel die Transformation (kontinuierliche Freisetzung) bestimmter Nährelemente und bestimmte

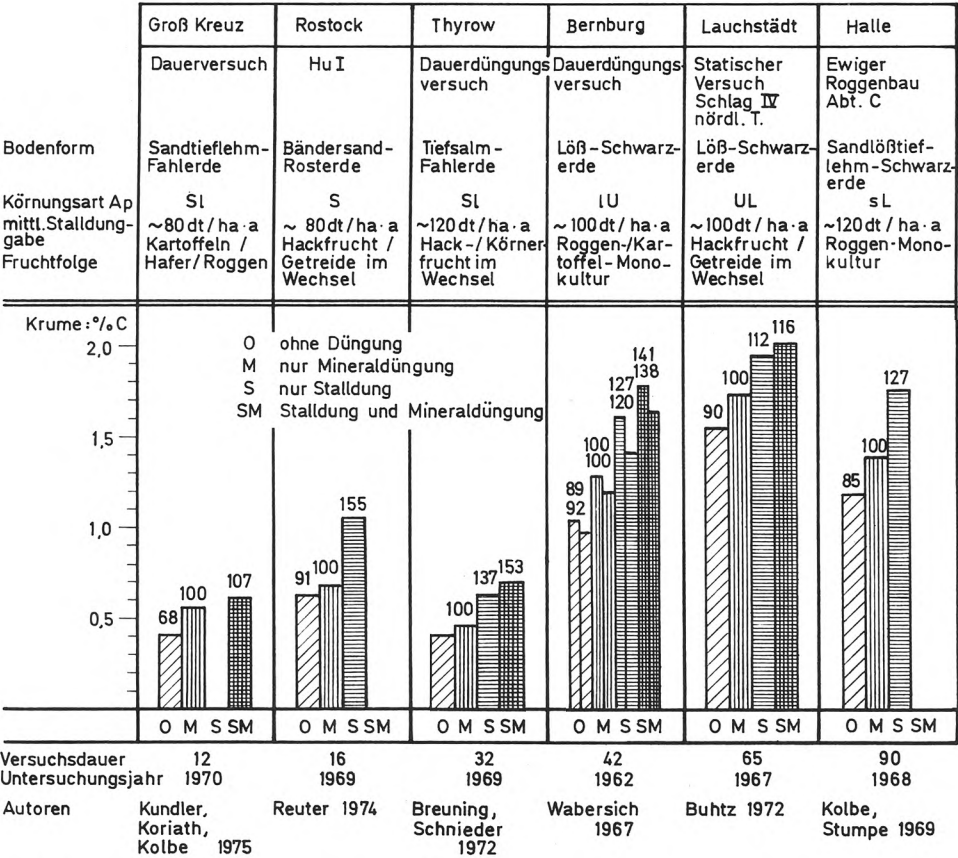


Abb. 3/29 Bilanzdiagramm der Kohlenstoffgehalte in den Ackerkrumen verschiedener Dauerversuche der DDR (bei Dauerversuch Bernburg jeweils 1. Säule Roggen, 2. Säule Kartoffeln)

Tabelle 3/28

Einfluß unterschiedlicher Düngung auf die Humusakkumulation in einem Gefäßversuch mit Sand und Mergel (nach G. Reuter, 1976)

Düngungsform	Sand (Hohenbocker Quarzsand)		Mergel (Geschiebemergel)	
	Humus [%]	Zersetzungs- rate [%]	Humus [%]	Zersetzungs- rate [%]
Ausgangsmaterial	0,02		0,22	
Mineraldüngung	0,94	—	1,66	—
Mineraldüngung mit Stroh	1,94	86	2,49	87
Frischmist	2,56	76	3,27	74
Indorekompost	4,02	47	4,62	56

phytosanitären Regulationen. Dabei muß berücksichtigt werden, daß an diesem Umsatz je nach Bodenform nur ein mehr oder weniger großer Anteil des Humusvorrates beteiligt ist, nämlich der aktive Teil. Die Bedingungen des Umsatzes (Mineralisierung) ergeben sich durch Ableitung aus Formel (8):

$$K_2 \Rightarrow \frac{K_1 \cdot R}{H} \quad (10)$$

Bei einem standörtlich etwa gleichbleibenden Humusspiegel (H) und damit auch Humifizierungskoeffizienten ( $K_1$ ) hängt der Mineralisierungskoeffizient ( $K_2$ ) nur noch von der Menge der zugeführten organischen Substanz (R) ab. Je höher diese ist, um so größer ist auch die Mineralisierung.

#### Humusproduktion unter industriemäßigen Produktionsbedingungen

Die Reproduktion der organischen Substanz im Boden ist auch bei industriemäßiger Pflanzen- und Tierproduktion eine wesentliche Voraussetzung für die weitere Steigerung und Sicherheit der Pflanzenerträge. Unter den Bedingungen der zunehmenden Konzentration und Spezialisierung in der Pflanzenproduktion ist für die Reproduktion auf Ackerböden eine

Tabelle 3/29

Anhaltswerte für den Bedarf an organischer Dünger-Trockenmasse für Mineralböden (außer Schwarzerden) bei unterschiedlichem Anbauverhältnis (nach Kundler, Koriath, Kolbe, 1975)

Anbauverhältnis [%]			Bedarf an organischer Dünger-TM [dt/ha]
Körner- früchte	Hackfrüchte Mais	mehrjährige Futterpflanzen	
80	20	0	20
60	40	0	25
60	20	20	15
60	10	30	0
50	30	20	15
50	20	30	0
40	40	20	20
20	60	20	20
20	40	40	0



mittlere jährliche Zufuhr von 15 bis 20 dt/ha organischer Dünger-TM erforderlich. Das entspricht einem Gesamtbedarf von >10 Mio t pro Jahr in der DDR. Auf Grund des verschieden hohen Anfalls an Ernterückständen und der standortabhängigen Abbauraten ( $K_2$ ) ergeben sich in Abhängigkeit vom Anbauverhältnis die in Tabelle 3/29 angeführten differenzierten Bedarfsmengen (Anhaltswerte). Daraus resultieren für die wichtigsten Gruppen von Bodennutzungstypen unterschiedliche Formen der organischen Düngung:

– Bodennutzungstypen mit vorherrschender *Getreideproduktion*: meist geringer Anfall an organischen Düngern aus der Tierproduktion, daher zunehmende Absicherung der Reproduktion über Stroh- und Gründüngung

– Bodennutzungstypen mit vorherrschender *Hackfruchtproduktion*: i. d. R. hohe Mineralisierungsraten, Absicherung der Reproduktion durch organische Dünger vorwiegend tierischer Herkunft

– Bodennutzungstypen mit vorherrschender *Grobfutterproduktion*: meist in der Nähe von Großanlagen der Tierproduktion, daher hohe Zufuhr an organischer Substanz insbesondere in Form von Gülle

Bei fortschreitender Konzentration der Pflanzen- und Tierproduktion kommt es also zu einer zunehmenden Differenzierung des örtlichen Anfalls an organischen Düngern und damit zu der aufgezeigten unterschiedlichen Form der Zufuhr organischer Substanzen. Zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit unter industriemäßigen Produktionsbedingungen müssen entsprechende Verfahren für die Verwertung von Gülle, Stroh, Stalldung und anderen Stoffen planmäßig gestaltet und territorial vorteilhaft auf die Bodenbedingungen abgestimmt werden.

### 3.4. Die Bedeutung von Klima und Relief für die Bodenbildung

Klima und Relief sind zwei weitere wichtige Standortfaktoren, die entscheidende Wirkung auf die Bodenbildung hatten und noch haben. Durch sie wird nicht nur die Entwicklungsrichtung im allgemeinen beeinflußt (Klima), sondern auch der engere räumliche Bodenwechsel mitbestimmt (Relief). Während das Klima über die Niederschläge vornehmlich die endogene (grch., von innen heraus bedingte) Stoffverlagerung im Boden auslöst, wird durch das Relief in Verbindung mit klimatischen Faktoren die exogene (grch., von außen bedingte) Stoffverlagerung an der Bodenoberfläche verursacht.

Die endogene Stoffverlagerung wird vor allem durch das *Bodenwasser* mitbewirkt. Menge und Perkolationsrichtung des Bodenwassers hängen einerseits vom Klima und andererseits von Bodeneigenschaften ab. Da vom Bodenwasser viele profilprägende Prozesse bestimmt werden, soll es als Agens von Verlagerungsvorgängen gesondert behandelt werden.

An dieser Stelle sei auf einen weiteren Bodenbildungsfaktor, die *Vegetation*, zumindest hingewiesen. Zwischen der Entwicklung von Pflanzenbeständen und von Böden bestehen enge Wechselbeziehungen. Boden und Vegetation sind daher in gewissem Sinne als Einheit zu betrachten, wobei dem zwischen ihnen bestehenden Stoffaustausch besondere Bedeutung zukommt.

#### 3.4.1. Wirkung des Klimas

Das Klima wirkt durch Niederschlag, Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Die Durchfeuchtung des Bodens ergibt sich aus dem Niederschlag abzüglich Verdunstung und Oberflächenabfluß. Je höher zum Beispiel die Niederschläge sind und je niedriger die Temperaturen liegen, um so geringer ist die Verdunstung und um so intensiver wird auch der Boden durchfeuchtet. Das gilt allerdings nur für Temperaturen über 0°C, darunter gefriert der Boden. Landschaften, in denen die Niederschläge die Verdunstung übertreffen, rechnen zu den *humiden*, solche, in denen es umgekehrt ist, zu den *ariden* (z. B. Wüsten, Steppen) Gebieten. Die DDR zählt zu den humiden Klimagebieten. Hier findet infolge

Tabelle 3/30

Niederschlags- und Temperaturwerte (1850/90–1930) von einigen charakteristischen Meßstationen in der DDR (nach Klimakunde 1939, Tabellenwerk)

Klimaparameter	Meßstation												
	Magdeburg	Erfurt	Frankfurt/O.	Berlin-Blankenburg	Rostock	Leipzig	Schwerin	Meiningen	Neustrelitz	Plauen	Bautzen	Freiberg	Brocken
Höhe über NN [m]:	58	218	57	53	27	125	59	316	75	381	208	402	1150
Niederschlag [mm]:													
Jahr	508	510	536	548	603	621	623	641	654	676	738	841	1678
Mai–Sept.	256	284	275	277	300	328	288	312	324	377	391	419	649
Tage mit > 1 mm:													
Jahr	103	103	105	109	116	109	121	122	116	121	122	136	183
Mai–Sept.	44	47	44	46	48	48	50	52	48	55	52	57	72
Rel. Luftfeuchtigkeit, 14° [%]:													
Jahr	64	67	68	70	74	69	70	26	68	66	66	69	86
Mai–Sept.	54	58	57	61	65	59	60	38	57	57	58	61	81
Temperatur [°C]:													
∅ Jahr	9,1	8,0	8,4	8,3	7,8	8,9	8,1	7,4	8,0	7,2	8,5	7,7	2,4
Σ Mai–Sept.	81	74	79	77	72	80	74	71	75	71	78	72	41
Tage mit													
> 5 °C	231	218	222	221	214	227	218	212	215	206	224	213	141
> 10 °C	168	155	161	159	149	165	154	146	153	143	162	150	—
Frosttage: Jahr	78	102	96	97	95	82	84	99	102	104	91	90	184
Heitere Tage: Jahr	37	37	35	37	34	41	37	41	54	45	48	32	30

stärkerer Bodendurchfeuchtung eine intensivere Verwitterung und Bodenbildung statt als in ariden. Innerhalb humider Landschaften gibt es noch weitere Differenzierungen. So ist die Magdeburger Börde im „Regenschatten“ des Harzes weniger humid als beispielsweise das Vorland des Erzgebirges. Modifiziert wird die Intensität der Bodenbildung in humiden Klimaten weiterhin durch die Art des Winters. Kalte Winter (kontinentales Klima, zum Beispiel in Osteuropa) bewirken durch Gefrieren des Bodens Stillstand der meisten Bodenprozesse, milde Winter (atlantisches Klima, zum Beispiel in Westeuropa) dagegen nur eine Verminderung der Bodenbildungsintensität. Die DDR ist stärker atlantisch getönt. Höhenstufen wirken sich ebenfalls über das Klima aus.

In Tabelle 3/30 sind mittlere Niederschlags- und Temperaturwerte von einigen Orten innerhalb der DDR wiedergegeben. Wenn auch die Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen nur mäßig erscheinen, wirken sie sich in langen Zeiträumen doch auf die Bodenbildung aus. So findet man auf vergleichbaren Substraten unter feuchteren Klimabedingungen Böden mit Stoffwanderung (z. B. Fahlerden, Podsole), unter weniger feuchten Bedingungen solche ohne Stoffwanderung (z. B. Schwarzerden). Je wärmer und feuchter das Klima ist, um so intensiver ist die chemische Verwitterung und die bodenbiotische Aktivität.

Außer Niederschlag, Temperatur und Luftfeuchtigkeit gibt es noch weitere klimatische Kennwerte, die zur Einschätzung der Klimawirkung auf den Boden herangezogen werden können. Sie gestatten meist nicht allein, sondern nur in Kombination eine Aussage. Von besonderer Bedeutung ist u. a. der umfassendere Kennwert der *klimatischen Wasserbilanz* (KWB):

N Niederschlag    PET potentielle Evapotranspiration

Unter potentieller Evapotranspiration versteht man die Verdunstung bei einem niedrigen, den Boden vollständig bedeckenden Pflanzenbestand, der in vollem Wachstum begriffen ist und Wasser im Überschuß besitzt. Die klimatische Wasserbilanz ist eine wichtige meteorologische Größe für die Berechnung des Bodenfeuchteverlaufs und damit auch ein Schätzwert für das Ausmaß der vom Bodenwasser abhängigen Verlagerungsvorgänge. Beim Klima lassen sich verschiedene Typen bilden, die wie folgt charakterisiert werden können:

- *Makroklima* (Großklima): klimatologische Verhältnisse oberhalb von etwa 2 m über Flur; wird großräumig erfaßt, d. h., Meßstellen sind viele Kilometer auseinander gelegen
- *Mikroklima*: klimatologische Verhältnisse unterhalb von etwa 2 m über Flur; Klima der bodennahen Luftschicht, d. h. unmittelbar an der Bodenoberfläche im Bereich der Pflanzendecke und damit im Grenzbereich Atmo-/Pedosphäre; als standörtliche Besonderheit des Makroklimas vorwiegend an das Mikrorelief gebunden
- *Mesoklima* (Geländeklima): Übergangsbereich zwischen Makro- und Mikroklima; vorwiegend an das Mesorelief gebunden; als Lokalklima zur Kennzeichnung eines Hanges, eines Sees, eines Waldstückes herangezogen

Meso- und Mikroklima werden zusammen auch als *Standortklima* bezeichnet. Obwohl das Standortklima für Bodenbildung und Standortbeurteilung sehr wichtig ist, gibt es wegen des hohen Aufwandes auf Grund der starken Differenzierungen keine flächenbedeckende Erhebung für die landwirtschaftlich genutzten Standorte. Bisherige Untersuchungen und Kennzeichnungen betrafen vorwiegend das Makroklima. So ist die Einteilung in die *Klimagebiete* eine großklimatische Differenzierung. Für die DDR wurden dazu verschiedene Vorschläge unterbreitet. In Abbildung 3/30 sind die Klimagebiete nach *Boer/Schmidt* wiedergegeben, die vielen Planungen in der Landwirtschaft zugrunde gelegt werden.

Daß eine solche klimatische Rayonierung ihre Berechtigung hat, zeigen u. a. die mittleren Ertragsrelationen bei Getreide. Den dazu in Tabelle 3/31 ausgewiesenen Daten aus den Jahren 1954 bis 1967 liegen rund 7 000 Ertrags einzelwerte zugrunde. Danach steigt das natürliche Ertragsniveau von Gebiet 1 bis 3 an und fällt bis 6 wieder ab. Diese Tendenz verläuft etwa gleichsinnig mit der Temperatursumme März bis Juli. Unter unseren Klimabedingungen haben danach anscheinend auch kleinere Temperaturdifferenzen nicht unbedeutende Auswirkungen auf die Ertragsbildung bei Getreide.

Tabelle 3/31

Mittlere Getreideerträge in den Klimagebieten der DDR (*Boer, Schmidt*) für den Zeitraum 1954 bis 1967 (nach *Lieberoth, Dunkelgod, 1975*)

	Klimagebiet					
	1	2	3	4	5	6
mittlerer Getreideertrag [dt/ha]	28	39	42	41	37	27
mittlere Temperatursumme März–Juli [°C]	52	58	59	57	55	44

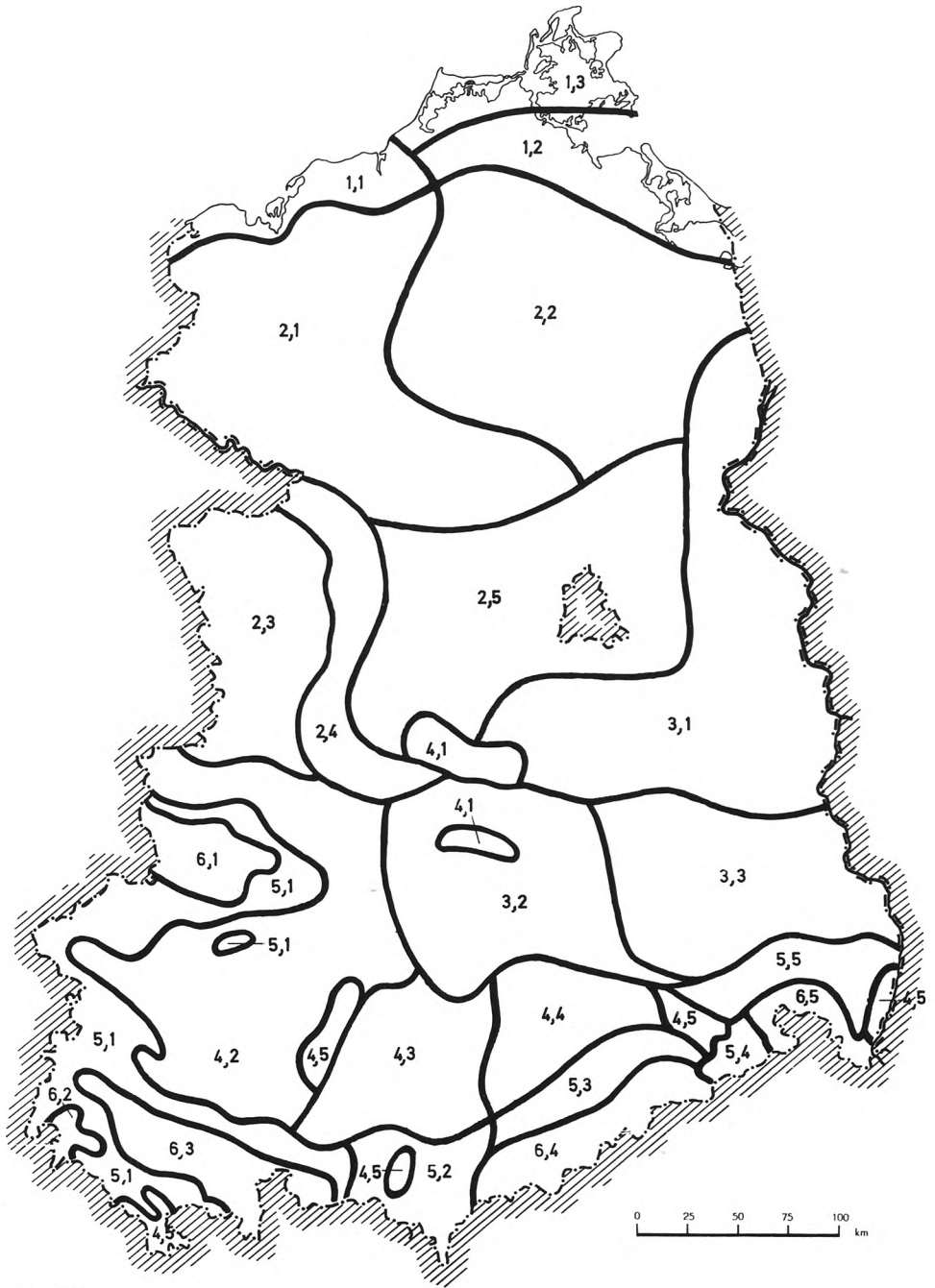


Abb. 3/30

Karte der Klimagebiete der DDR (nach Boer/Schmidt, s. TGL 24300/03)

1. Küste

1.1. Westmecklenburgische Küste

1.2. Ostmecklenburgische Küste

1.3. Raum Darß, Hiddensee, Nordrügen

### 3.4.2. Bodenwasser als Agens für Verlagerungsvorgänge

Eine besondere Bedeutung bei der Bodenbildung kommt dem Bodenwasser zu. In unserem Klima ist die Bewegung des Bodenwassers vorherrschend nach unten gerichtet. Bei Grundwasserböden kann die Bewegung auch nach oben erfolgen. In Böden, die insgesamt oder in bestimmten Schichten verdichtet sind, kommt es zu einer Stagnation, z. T. auch zu einer seitlichen Bewegung. Immer ist mit der Bewegung des Bodenwassers auch ein bestimmter endogener Stofftransport verbunden, der bei längerer Dauer zu einer deutlichen Verlagerung löslicher und dispergierbarer Stoffe führt. Als Resultat bilden sich innerhalb großer Zeiträume spezifische Horizonte heraus. Nach der Art des Lösungs-/Dispergierungsvorganges, der Art der gelösten Stoffe und der Form des Transportes sind auf unserem Territorium vor allem vier bodenbildende Prozesse zu unterscheiden: Karbonatauswaschung, Tondurchschlämmung, Podsolierung und Vergleyung.

Außer den genannten bodenbildenden Prozessen werden durch das Bodenwasser auch noch andere Verlagerungsvorgänge bewirkt, insbesondere der Transport von Nährstoffen in tiefere Horizonte (s. Abschn. 6.3.3.). In Naturböden wird diese Verlagerung durch den sogenannten physiologischen Stofftransport teilweise kompensiert, indem die Nährstoffe über Wurzeln → oberirdische Pflanzenteile aus den unteren Horizonten herauftransportiert und über die Zersetzung der Pflanzenrückstände dem Oberboden erneut zugeführt werden (biotischer Stoffkreislauf).

#### Karbonatauswaschung

Die Karbonatauswaschung ist auf kalkhaltigen Substraten meist der erste bodenbildende Prozeß nach Ablagerung des Substrates. Man versteht darunter die Lösung, abwärts ge-

- 
2. Stark maritim beeinflusstes Binnentiefeland
    - 2.1. Westmecklenburg
    - 2.2. Ostmecklenburg
    - 2.3. Westliche Altmark und nördliche Magdeburger Börde
    - 2.4. Elbniederung
    - 2.5. Nordwest-Brandenburg und Raum Berlin
  3. Stark kontinental beeinflusstes Binnentiefeland
    - 3.1. Odertal, Südost-Brandenburg, Spreewald
    - 3.2. Leipziger Tieflandsbucht und Heidegebiete zwischen Mulde und Schwarzer Elster
    - 3.3. Niederlausitz
  4. Binnenbecken und Binnenhügelland im Lee der Mittelgebirge
    - 4.1. Hoher Fläming und östliche Dübener Heide
    - 4.2. Harzvorland und Thüringer Becken
    - 4.3. Raum zwischen Saale und Zwickauer Mulde
    - 4.4. Mittelsächsisches Hügelland
    - 4.5. Oberes Werratal und Grabfeld, mittlere Saale; obere Weiße Elster, Dresdener Elbetalweitung, Zittauer Becken
  5. Vorland der Mittelgebirge
    - 5.1. Vorland von Harz, Rhön und Thüringer Wald
    - 5.2. Vogtland und Schiefergebirge
    - 5.3. Vorland des Erzgebirges
    - 5.4. Elbsandsteingebirge
    - 5.5. Lausitzer Gebirgsvorland
  6. Mittelgebirge, oberhalb 400 m
    - 6.1. Harz
    - 6.2. Rhön
    - 6.3. Thüringer Wald
    - 6.4. Erzgebirge
    - 6.5. Lausitzer Gebirge

richtete Verlagerung und Wiederausfällung von Kalziumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Die Lösung erfolgt in Form von Hydrogenkarbonat, der Transport mit dem perkolierenden Bodenwasser. Bei Wasserentzug (Konzentrationserhöhung) und sinkendem  $\text{CO}_2$ -Partialdruck in der Bodenluft fällt das Kalzium als sogenanntes sekundäres Karbonat in Form von Konkretionen (z. B. Lößkindel), Bändern, Adern oder fein verteilt wieder aus (analytische Bestimmung nach TGL 25418/05).

Wenn die Auswaschung das gesamte Solum erfaßt, spricht man von Entkalkung (Entbasung). Die Ausfällung erfolgt dann im Karbonat-C-Horizont (Cc), der i. d. R. 10 bis 20 %  $\text{CaCO}_3$  enthält. Das im Solum verbleibende  $\text{CaCO}_3$  wird als Restkarbonat bezeichnet. Das als sog. Pseudomycel in Form von Überzügen auf den Gefügekörpern von Kalkschwarzerden vorhandene „Schimmel“-Karbonat ist entweder an Ort und Stelle umgefällt oder sogar wieder aufwärts transportiert worden. Es macht nur 1 bis 2 % aus (1 %  $\text{CaCO}_3$  entspricht ca. 300 dt/ha). In Kalkgleyen wurde das sekundäre Karbonat mit dem Grundwasser herantransportiert.

### **Tondurchschlammung**

Tondurchschlammung (Tonverlagerung, *Lessivierung*, Illimerisierung) ist eine Dispergierung (lat., feine Verteilung eines Stoffes), im wesentlichen abwärts gerichtete Verlagerung und Anreicherung von Tonkolloiden, insbesondere von Feinton. Es handelt sich um einen weit verbreiteten Prozeß in den Böden der humiden Klimate, der sowohl im periglaziären als auch im warmzeitlichen Milieu abläuft, wenn die entsprechenden kolloidchemischen Bedingungen gegeben sind, und dazu gehört neutrale bis schwach saure Reaktion (nach Entkalkung). Bei einem pH-Wert unter 5,5 kommt die Tonverlagerung infolge der flockenden Wirkung der Al-Ionen zum Stillstand. In Substraten, die von Anfang an stärker sauer waren, erfolgte aus dem gleichen Grund keine Durchschlammung, selbst wenn größere Mengen Sickerwassers perkolierten (z. B. in Sauerbraunerden des Berglandes).

Die Dispergierung des Tons setzte unmittelbar nach der Entkalkung ein. Die Verlagerung ging mit dem perkolierenden Wasser vor sich, insbesondere innerhalb der größeren Poren und Schwundrisse. Zur Ausflockung des Tones kam es, wenn die Sinkgeschwindigkeit der Kolloide größer als die Abwärtsbewegung des Sickerwassers war, wenn eine Aufsättigung an Basen erfolgte (oberhalb des Cc-Horizontes) und durch Porenverstopfung. Dabei schlugen sich auf den Gefügekörpern und an Wänden der Schwundrisse charakteristische *Tonhäutchen* nieder, was zur Bezeichnung Tonhäutchenhorizont führte.

Die Tondurchschlammung ist der profilprägende Prozeß für Fahlerden, Parabraunerden und Griserden mit jeweils einem *Fahlhorizont* (Et) bzw. einem Mischhorizont desselben über einem *Tonhäutchenhorizont* (Bt). Auch Staogleye können durchschlammte sein. Das Resultat der Tondurchschlammung wird u. a. als *Texturdifferenzierung* bezeichnet. Stärkere Kopplung des wandernden Tones mit Huminstoffen führte zu graubraunen bis schwärzlichen Tonhäutchen, wie sie für Griserden und einige Schwarzerden mit beginnender Durchschlammung an der Basis des Humushorizontes charakteristisch sind. In sandigen Substraten ist der Bt-Horizont gebändert, man nennt solche Böden Bänderfahlerden. Im Rahmen der Bodenformklassifikation werden sie der Einfachheit halber mit zu den Bändersanden gestellt.

Tonhäutchenhorizonte konnten sich zu verschiedenen Zeiten bilden. Es gibt nicht nur quartärgeologische und -paläontologische Belege für ein hohes Alter (meist relativ dicke, oft gestörte und in die Aggregate eingebaute Tonbeläge), sondern auch Beweise für die Entstehung bis in die Jetztzeit. Schlußfolgernd daraus muß gesagt werden, daß die Tondurchschlammung immer dann vor sich ging, wenn die oben erläuterten Bedingungen gegeben waren. Das konnte auf bestimmten Substraten (z. B. Geschiebelehm) nach Entkalkung noch im Spätglazial, bei den gleichen und anderen Substraten aber auch während des ganzen Holozäns gewesen sein. Besonders schwärzliche Ton- (Humus-) Häutchen sowie auch dünne, ungestörte Tonbeläge sind relativ jung, was u. a. durch archäologische Befunde gestützt werden konnte.

Noch nicht in allen Fällen geklärt ist an bestimmten Standorten die komplementäre Zusammengehörigkeit des hangenden Fahl- mit dem liegenden Tonhäutchenhorizont. Die Herkunft der Tonhäutchen unmittelbar aus dem darüber liegenden Et-Horizont muß zumindest dort als fraglich erscheinen, wo der Fahlhorizont als neue, jüngere Substratschicht identifiziert wurde. Tonbeläge können daher auch horizontständig, d. h. nur innerhalb des jeweiligen Bt-Horizontes durch kurzstreckige Verlagerung entstanden sein. Abschließend sei erwähnt, daß kaum ein anderer bodenbildender Prozeß so umstritten ist wie die Tondurchschlämmung und damit die Entstehung der Fahlerden. Auf die umfangreiche Literatur, die darüber existiert, kann hier nur verwiesen werden.

### **Podsolierung**

Unter Podsolierung wird die Lösung, abwärts gerichtete Verlagerung und Wiederausfällung der Sesquioxide (lat., Anderthalboxide, z. B.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) des Fe, Al und Mn verstanden. Manche Autoren sprechen auch von einer diesen Vorgängen vorausgehenden Tonzerstörung, die aber bisher noch nicht einwandfrei bewiesen ist. Die Podsolierung ist an saures Milieu gebunden.

Die Lösung der Sesquioxide erfolgt durch Reduktion in wasserlöslichen niedermolekularen organischen Verbindungen, zum Beispiel Karbonsäuren, Fulvosäuren, Polyphenolen, Chelaten u. a. *Chelate* (grch., Kralle) sind lösungsstabile metallorganische Komplexverbindungen, bei denen mindestens ein Ligand (an das Zentralatom gekoppeltes Molekül) an dem als Zentralatom fungierenden Fe, Al mehrere Koordinationsstellen besitzt. Die Ausfällung erfolgt im Unterboden durch Erhöhung der Sesquioxid-Konzentration und/oder durch pH-Wert-Erhöhung in Form kompakter oder gebänderter Orthorizonte. Bei Verfestigung spricht man von *Ortstein*.

Die Podsolierung ist der profilprägende Prozeß für Podsole und Ortgleye (Gleypodsole) mit jeweils einem *Aschhorizont* (Es) über einem Orthorizont. Bei Humuspodsolen ist der *Orthorizont* als Bh ausgebildet. Braunpodsole/Rosterden sind Übergangsbildungen mit wenigen Bleichkörnchen (hüllenfreie Quarzkörner) statt eines Aschhorizontes im Oberboden und einem Bsv-Horizont als Unterboden.

### **Vergleyung**

Unter Vergleyung bzw. *Hydromorphierung* versteht man die Herausbildung von Gley- bzw. Hydromorphiemerkmalen durch Grundwasser-, Stau- oder Haftnässe infolge Verlagerung oder Umverteilung von Eisen und Mangan (im Gegensatz zur Podsolierung wird Aluminium kaum verlagert). Dementsprechend wird zwischen Grundwasser-, Stau- und Haftnässevergleyung unterschieden:

#### **a) Grundwasservergleyung**

Lösung des Eisens in reduzierter Form, seitlich und aufwärts gerichteter kurz- und langstreckiger Transport mit dem Grundwasser sowie Ausfällung oberhalb des Grundwassersaumes infolge Oxidation; neben rostfarbenen  $\text{Fe}^{3+}$ -Oxiden auch Ablagerung von weißlichen Eisenkarbonaten (Siderit) und bläulichen Eisenphosphaten (Vivianit); durch Alterung Übergang der Oxide, Karbonate und Phosphate in Eisenminerale; starke Anreicherung führt zur Bildung von *Raseneisenstein*

#### **b) Haft- und Staunässevergleyung**

Zusammenfassend früher als *Pseudovergleyung* bezeichnet; durch zeitweilige Wassersättigung in Verbindung mit reduzierenden organischen Verbindungen lokale Lösung von Eisen und Mangan, partielle, kurzstreckige Verlagerung und Wiederausfällung während der nachfolgenden Austrocknung infolge Oxidation; Wanderung i. d. R. nur in benachbarte Partien, insbesondere in Kanäle, Poren, Risse, Spalten, aber auch ins Innere der Gefügekörper; Ausfällung in Form von Rostflecken, -adern, -bändern und -konkretionen; Diagnose von Hydromorphiemerkmalen in pseudovergleyten Böden anhand von *Hydromorphiegraden* (s. Tab. 3/32).

Grundwasservergleyung ist der profilprägende Prozeß für Grund- und Halbgrundgleye, sie kommt aber auch in Amphigleyen, Anmooren und Mooren zur Wirkung. Typische Grundgleye haben einen Rostabsatzhorizont (Go) über einem hellen Reduktionshorizont (Gr). Stau- und Haftnässevergleyung sind die profilprägenden Prozesse für Staugleye und Haftgleye. Charakteristisch für Staunässe ist insbesondere die Herausbildung eines hydro-morphen Bleichhorizontes (Eg) in Oberflächennähe mit örtlicher Konzentrierung der Fe- und Mn-Oxide, besonders in Form von Konkretionen. Darunter befindet sich ein Mar-

Tabelle 3/32

Kriterien für die Hydromorphiegrade (nach Thiere, Morgenstern, 1970, TGL 24 300/10)

Hydro-morphie-grad	Kriterien			
	Braunmatrix	Graumatrix	Eisenanreicherungen	
			nicht konkretionär	konkretionär
0	durchgehend vorhanden	fehlt	fehlen	einzelne möglich
1	fast durchgehend vorhanden	fehlt oder sehr geringer Anteil vorhanden	wenige vorhanden (< 5%)	einzelne vorhanden
2	herrscht deutlich vor (> 90%)	geringer Anteil vorhanden (< 5%) noch geringer Farbkontrast	vorhanden (um 5%)	vorhanden
3	vorhanden (< 90%),	vorhanden (> 5%) deutlicher Farbkontrast	deutlich vorhanden (> 5%)	vorhanden
3a	dominiert	—	—	—
3b	—	dominiert	—	—
4	fehlt	vorherrschend vorhanden	vorhanden (< 10%)	vorhanden
4a	—	weniger intensiv grau	—	—
4b	—	intensiv grau (Farbe $\geq 2,5$ Y)	—	—
5	fehlt	durchgehend vorhanden (z. B. dunkel getönt)	fehlen oder geringer Anteil (< 5%)	fehlen oder vorhanden
5a		weniger intensiv grau oder blau		
5b		intensiv grau oder blau (Farbe $\geq 10$ Y)		
Grundcharakter der Matrix	Material mit der Grundfarbe des Horizontes ohne vernäsungsbedingte Merkmale	Material vernäsungsbedingt grau gefärbt (Flecken, Adern)	durch Nässeeinfluß rostbraun gefärbte Bildungen (Flecken, Bänder, Adern, Beläge, Röhren)	rostbraun (Konkretionen)



*morierungshorizont* (Bg), der auch für Haftgleye charakteristisch ist. Kennzeichnend für diesen Horizont ist ein starker partieller Wechsel von gebleichten (Graumatrix), nicht gebleichten (Braunmatrix) und mit Eisen angereicherten rostfarbenen Partien im Solum.

### 3.4.3. Einfluß der Oberflächengestaltung

Die Oberflächengestaltung (Relief) spielt eine maßgebende Rolle bei der Bodenbildung. Durch die relativen Niveauunterschiede im Gelände (Reliefenergie) und dem damit verbundenen Wechsel der Neigungsflächen kommt es zu exogenen lateralen (lat., seitlichen) Stoffumlagerungen in der Landschaft, wodurch die Ausformung der Böden infolge Abtrag (Erosion) und Auftrag (Akkumulation) beeinflusst wird. Die Folge ist ein bestimmter charakteristischer Bodenwechsel in Abhängigkeit von der Geländeform.

#### Kennwerte des Reliefs

Charakteristische Kennwerte des Reliefs zur Beurteilung seiner Wirkung sind Reliefform, Reliefposition, Hangneigung und Exposition.

Bei den **Reliefformen** unterscheidet man Makro-, Meso- und Mikroformen, wovon nur die letzten beiden für die Bodenbildung von Bedeutung sind. Mesoreliefformen haben eine Grundrißbreite von > 100 m und einen relativen Höhenunterschied von > 10 m (außer Ebenen). Die Kennzeichnung erfolgt nach typisierten geomorphologischen Einheiten (s. Abb. 3/31). Die Mikroreliefformen umfassen alle natürlichen und anthropogenen Kleinformen mit < 100 m Grundrißbreite und < 10 m relativer Höhe. Im einzelnen zählen dazu kleinere Hangversteilungen, Vollformen (konvex), Hohlformen (konkav) und ebene Gelandeteile (plan). Von besonderer Bedeutung ist ihre Dichte, die in Stufen von < 5 bis > 25 Kleinformen je 100 ha angegeben wird.

Gestalttyp		Bezeichnung	G	L: Grundriß Längsriß	Querriß
Bezeichnung	Merkmale				
Berg	im Queraufriß zweiseitig hangbegrenzt, relative Höhe zur Umgebung > 50 m	Einzelberg	G		
		Berg Rücken	G		
		Sporn	G		
		Berggruppe	L		
Hügel	wie vor, nur relative Höhe 10... 50 m	Kuppe	G		
		Hügel Rücken	G		
		Hügel-Mulden-Komplex	L		
		Stufe	einseitiger Abfall mit markantem Gefällebruch		
Hang	einseitig gerichteter Abfall, annähernd stetig	Vollhang			
		Streckhang			
		Stufenhang			
		Hohlhang			
Becken	im Quer- und Längsaufriß zweiseitig hangbegrenzt (geschlossene Hohlform)		L		
Tal	im Queraufriß wie vor, im Längsaufriß mindestens einseitig offen und lang	Tal mit Boden	L		
		Tal ohne Boden	L		
Platte (in Höhenlagen über 200 m Plateau)	zwei- oder mehrseitig durch Abhänge begrenzte Ebene in relativer Höhenlage zur Umgebung	ebene Platte	L		
		wellige Platte	L		
		zerschnittene Platte	L		
Ebene und Fastebenen	Ebener Ausschnitt ( Neigung < 2° ) aus einer übergeordneten Reliefseinheit	Talebene, (Aue), L			
		Niederung Platte			

Abb. 3/31

Verbreitete Mesoreliefformen (nach R. Schmidt, Diemann. 1974)

Tabelle 3/33

Hangneigungsgruppen der Hangneigungskarte der DDR 1:10000 (nach TGL 24 300/03)

Hangneigungsgruppe	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Neigung [Grad]	< 2	2—5	5—6	6—8	8—10	10—13	13—16	16—20	> 20
[%]	< 4	4—9	9—11	11—14	14—18	18—23	23—29	29—37	> 37
Farbe auf kolorierten Hangneigungskarten	weiß	hellgelb o. -grün	gelb	orange	gelb- braun	hell- braun	rot	rot- violett	violett
Zusammengefaßte Gruppen	I		III		IV		V	VI	
Bezeichnung	eben	II flach	mäßig geneigt		stark geneigt		steil	sehr steil	
Flächenanteile an der LN der DDR [%]	~ 85		~ 10		~ 4			~ 1	

Unter Reliefposition versteht man den speziellen Ort (Lage), an dem sich ein bestimmter Boden befindet. Wichtige Reliefpositionen (s. TGL 24300/03) sind bei den

– *Vollformen*: Gipfel, Scheitel, Sattel

– *Hangformen*: Hangoberkante, Stufenrand, Oberhang, Mittelhang, Unterhang, Hangfuß

– *Hohlformen*: Mitte, Rand, Sohle, Tallinie

Bei der Hangneigung werden in der Landwirtschaft, basierend auf der fast flächendeckend für das Gebiet der DDR vorhandenen Hangneigungskarte 1:10000 (vgl. Abb. 5/5), die in Tabelle 3/33 dargestellten Hangneigungsgruppen unterschieden. Bezieht man die Hangneigung auf die Fläche, so wird von Hangneigungsflächentypen gesprochen. Sie spielen vor allem im Rahmen der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung eine Rolle.

Durch die Exposition wird die Richtung angegeben, die der Oberfläche des Bodens am stärksten zugeneigt ist. Die Exposition ist vor allem im Hinblick auf Erwärmung und Durchfeuchtung des Bodens von Bedeutung. Südhänge sind beispielsweise wärmer als Nordhänge, Nordhänge i. d. R. feuchter als Südhänge.

Zur flächenmäßigen Erfassung der Bodenbildungen in Abhängigkeit vom Relief legt man entweder Längsschnitte (vgl. Abb. 5/1) oder Bodenschürfe nach dem Catenaprinzip an. Unter *Catena* verstand man ursprünglich eine regelhafte Bodenabfolge in Beziehung zu einem charakteristischen Relief. Heute faßt man den Begriff meist weiter. Zur Untersuchung von Hangcatenen werden Bodenschürfe auf einer Längsachse in Richtung des Hanggefälles angelegt. Die *Catena* ist somit ein methodisches Hilfsmittel zur Abbildung der regelhaften Vergesellschaftung von Böden und deren Bildungsbedingungen insbesondere an Hängen (vgl. Abb. 3/34).

### Laterale Stoffverlagerung

Die laterale Stoffverlagerung ist vorwiegend reliefabhängig. Sie umfaßt sowohl die Erosion/Akkumulation als auch den *Massenversatz*. Unter *Massenversatz* versteht man die

geschlossene Verlagerung ganzer Bodendecken am Hang, zum Beispiel durch Hangrutschung oder Solifluktion. Bei der Erosion kommt es nur zu einer lagenweisen Verfrachtung von Bodenmaterial durch Wind und Wasser. Die Erosion kann flächenmäßig (Denudation) oder linienförmig (linear-konzentrierter Abtrag; nur durch Wasser-Erosion i. e. S.) vor sich gehen.

Schon im Altertum wurden durch Erosion große Landstriche ihrer obersten Bodenlage beraubt. Es sei nur an die einst fruchtbaren Ländereien in Mesopotamien (Kleinasien) erinnert, die heute z. T. verwüstet sind. Bereits Plato warnte vor 2400 Jahren davor, durch Waldrodungen unaufhörlichen Bodenabtrag zu verursachen. Auch aus der Gegenwart gibt es Beispiele für große Schäden dieser Art. So können in weiten Gebieten Südafrikas starke Erosionsschäden beobachtet werden, die dort zu einem Hauptproblem der landwirtschaftlichen Produktion geworden sind. In den USA wurden von den um die Jahrhundertwende in der Kurzgrassteppe in Kultur genommenen 80 Mio ha bis heute ca. 4 Mio ha vollständig und 33 Mio ha teilweise infolge Weizenmonokultur durch Erosion zerstört. 165 000 Menschen mußten das Gebiet verlassen. In der SU sind ca. 40 Mio ha stärker betroffen. In der DDR können etwa ein Viertel der Fläche als schutzbedürftig angesehen werden.

Die Bodenerosion ist nur ein Teilvorgang des umfassenderen Prozesses der horizontalen Substratverlagerung. So zieht jeder Abtrag an irgend einer anderen Stelle einen Auftrag nach sich. Dieser kann unter Umständen sogar vorteilhaft sein. Kolluvialdecken an Unterhängen und Auenlehme z. B. sind sehr fruchtbare Standorte.

Nach dem Transportmedium unterscheidet man folgende beiden Erosionsarten:

a) Winderosion (Deflation)

Transport des Materials durch Wind; wirksam auf großen, weiten Flächen; Kurz- und weitstreckige Verlagerung; Ablagerungen im „Windschatten“, z. B. an Waldrändern, können durch Überdeckung zu größeren Schädigungen landwirtschaftlicher Kulturen führen; Eindämmung durch Anlage von Windschutzstreifen, über das Jahr gehende Bedeckung des Bodens und hohe Ackerkultur

b) Wassererosion

Transport des Materials durch Wasser; insbesondere an Hängen wirksam; heute vorwiegend nur noch kurzstreckige Verlagerung; Starkregen können selbst an flachen Hängen zur Grabenerosion (s. Abb. 3/32a), an unbewachsenen steilen Hängen zur Furchenerosion (s. Abb. 3/32b) führen; „schleichende“ Flächenerosion (flächenhafte Abspülung – Denudation) am gefährlichsten, da Abtrag zwar nur wenige Millimeter beträgt, Jahr für Jahr aber zu beträchtlichen Mengen führen kann; in Lößgebieten Erosion besonders intensiv; Eindämmung durch Bodenbedeckung, Konturenpflügen entlang der Höhenschichtlinien, hohe Ackerkultur, Anlage von Fangfurchen, Verbauung von Hangmulden, Terrassierung und schließlich Umlegung in andere Nutzungsart

Bei den heute in der sozialistischen Landwirtschaft der DDR vorhandenen großen Schlagkomplexen verdienen sowohl die Wasser- als auch die Winderosion allgemein größere Beachtung. Seit etwa einem Jahrzehnt ist bei uns eine zunehmende Stärke bodenerosiver Erscheinungen auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen zu beobachten. Man spricht deshalb auch von einer nutzungsbedingten Intensivierung dieser lateralen Stoffverfrachtung. Besonders intensiv von Starkregen werden Schläge mit Sommerkulturen im Frühjahr bis Frühsommer betroffen. Die Verstärkung der Erosion hängt auch maßgeblich mit der Vergrößerung der Schläge zusammen, weil sich dadurch gleichartige Bedeckungen über ganze lokale Wassereinzugsflächen erstrecken. Ein weiterer Belastungsfaktor ist die Entstehung künstlicher Leitbahnen in ständig wiederbenutzten Fahrspuren an Schlagrändern, wenn sie Gefälle zeigen.

Das Ausmaß der Erosion kann sehr unterschiedlich sein. Bei der Winderosion, die nur als flächenhafter Abtrag (Denudation) in Erscheinung tritt, hängt es von der Teilchengröße und Rauheit der Bodenpartikel sowie dem Feuchtegehalt an der Bodenoberfläche, der Windgeschwindigkeit/-turbulenz und der Bodenbedeckung ab, wieviel Material

wegtransportiert wird. Sandkörner bewegen sich rollend und springend, feinere Körner schwebend. Bodenaggregate sind rauher, daher haften sie stärker. Je feuchter der Boden ist, um so weniger kommt der Wind zur Wirkung. Hohe Windgeschwindigkeit und -turbulenz bewegen auch Bodenaggregate. Pflanzenbestände schränken die Winderosion besonders ein.

Das Ausmaß der Wassererosion, insb. bei der flächenhaften Abspülung, ist von der Beschaffenheit der Bodenoberfläche wie Körnungsart (Substrat), Größe und Stabilität der Bodenaggregate, Benetzbarkeit und Rissigkeit, von der Beschaffenheit der Geländeoberfläche wie Hangneigung und -form, von der Bodenbedeckung sowie in besonderem Maße von

Abb. 3/32

Wassererosion an Hängen mit linearkonzentriertem Abtrag

- a) Grabenerosion nach einem Starkregen (Sommer 1964); Bändersand-Rosterde, Finowfurt, Kreis Eberswalde

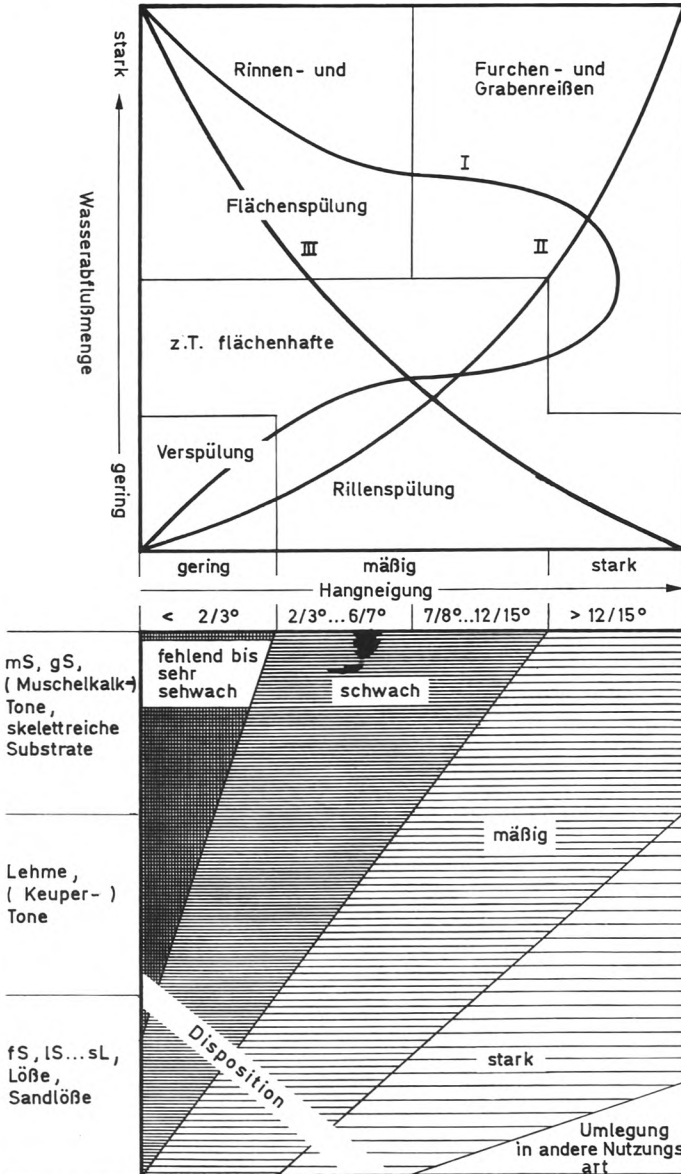


- b) Furchenerosion an einem unbewachten Steilhang (Sommer 1954); Hochkippe Espenhain, Kreis Borna (Aufn. Beer)

der Menge und Geschwindigkeit des abfließenden Wassers (Häufigkeit und Intensität der Starkregen als Auslösefaktor) abhängig (s. Abb. 3/33). Die Bodenaggregate werden an der Oberfläche des Bodens „zerschlagen“, anschließend aufgeweicht, im Oberflächenwasser suspendiert (lat., fein verteilt) und wegtransportiert. Am stärksten sind schluffige (Löbe) und feinsandige Böden mit minimalen Tongehalten erodierbar, sowohl nach der grobkörnigen (Grobsande, Kiese – schwere Körner) als auch nach der tonigen (stärkere Bindung der Teilchen) Seite nimmt die Erosionsneigung ab. Die Disposition der Bodenformen kann daher unter sonst gleichen Bedingungen sehr unterschiedlich sein, wie durch ein Beispiel aus Thüringen belegt werden kann (s. Tab. 3/34).

I - Normalhang (konvex-konkav) II - konkaver Hang III - konvexer Hang

Abb. 3/33  
Diagramm der Erosionsdisposition in Abhängigkeit von Hangneigung, Wasserabflußmenge und Substrat (im Anhalt an G. Richter, 1965)



Dispositionsfaktoren	Berglöß-Staugley	Ton-Ranker
Abfluß- und Abtragungsintensität	hoch	niedrig
Materialbelastung	sehr hoch	niedrig
Auslösungsschwelle	niedrig	hoch
Saigerungstendenz	deutlich	—
Bodenverlagerung vom Abfluß	abhängig	unabhängig
Disposition gegenüber Wassererosion insgesamt	sehr hoch	mäßig

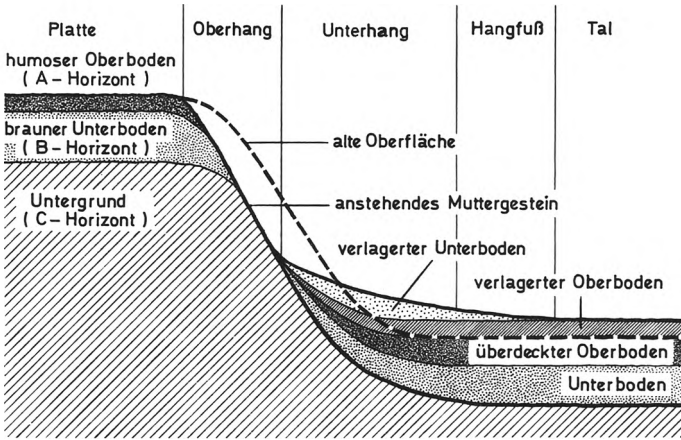


Abb. 3/34  
Schematischer Geländeschnitt am Hang mit Ab- und Auftrag von Bodenmaterial

Von besonderer Bedeutung für das Ausmaß der Wassererosion sind die kompensativ wirkenden (Widerstands-) Faktoren. Zu den *allgemeinen Kompensationsfaktoren* zählen das Interceptionsvermögen des Pflanzenbestandes, das Infiltrationsvermögen des Bodens und das Stagnations-Stapelungsvermögen der Oberfläche (Stau des Oberflächenwassers bei geringer Infiltrationsrate, ohne daß Abfluß eintritt). Bei den *speziellen Kompensationsfaktoren* werden folgende beiden Gruppen unterschieden (Herz u. a., 1978):

– *zeitlich variable*: Bedeckungsgrad, Ausbildung des Wurzelsystems, Befeuchtungszustand, Tiefe der technologischen Bodenlockerung, technologisch bedingte Oberflächenrauheit

– *zeitlich invariante*: Reliefausformung, Oberflächensubstrat, Bodenform u. a.

Diese Einteilung ist zur Unterscheidung von momentaner und normativer Erosionsgefährdung notwendig. Die Gesamtkonstellation von variablen und invarianten Faktoren

Abb. 3/35

Erosionsbedingte Ausbildungsformen der Böden an einem Hang im Jungmoränengebiet; Lichterfelde, Kreis Eberswalde

- geköpftes Profil am Oberhang (Lehm-Rendzina)
- überdecktes Profil am Hangfuß (Kolluvialsand)

Horizonte

Substrat

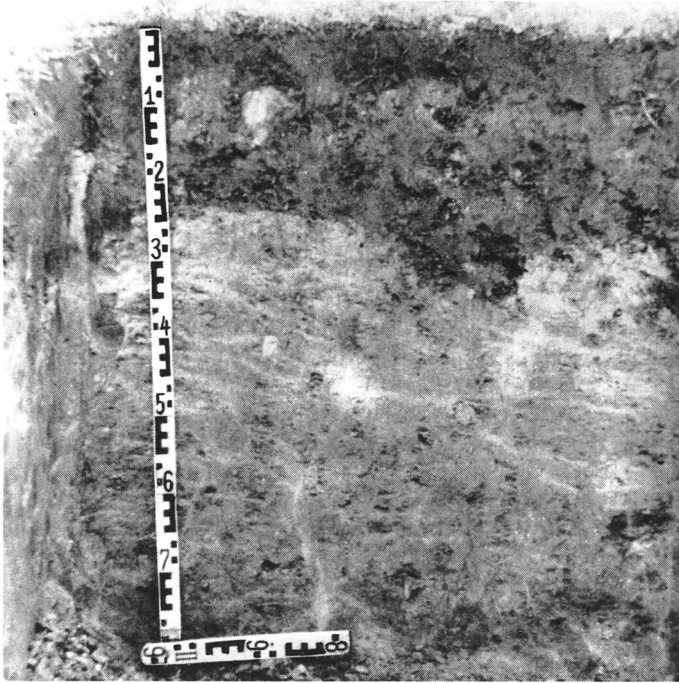
Ap

Sandlehm

Cc

Kallehm

C



Horizont

Substrat

Ap

f Ah



Kolluvial-  
sand

entscheidet darüber, ob und in welchem Ausmaß zu einem bestimmten Zeitpunkt bei einer bestimmten Belastungsintensität (z. B. einer bestimmten Regenmenge) erosive Vorgänge wirksam werden. Man spricht in diesem Falle von *momentaner* Gefährdung. Die *normative* Erosionsgefährdung hängt von der Teilkonstellation der invarianten Kompensationsfaktoren ab, durch die die Wahrscheinlichkeit der Häufigkeit von Erosionsereignissen unterschiedlichen Grades bestimmt wird. Wenn von Erosionsgefährdung die Rede ist, dann meint man i. d. R. die normative, bei der die invarianten Faktoren wirksam sind. Ob Schlaggröße und -form, Fruchtfolge (Bodennutzungstyp), Wegenetz, Fahrspuren u. a. den Charakter von invarianten Faktoren annehmen, hängt von der Ackerkultur und den Nutzungsgewohnheiten ab. Allen diesen Faktoren muß man zur Aufdeckung der Erosionsursachen und im Hinblick auf die Bekämpfung künftig große Aufmerksamkeit schenken. Das Resultat insbesondere der Wassererosion schlägt sich über längere Zeiträume hinweg deutlich im *Bodenmosaik* nieder. Die an einem gewölbten Hangkomplex sich vollziehenden Wandlungen sind in Abb. 3/34 dargestellt. Der stärkste Abtrag vollzieht sich am Oberhang, man spricht hier von „geköpften“ Profilen (s. Abb. 3/35a). Der stärkste Auftrag erfolgt am Hangfuß, dort bilden sich sog. Kolluvialprofile (s. Abb. 3/35b). Am Oberhang muß daher die Bodenbildung von neuem beginnen, am Unterhang wird der ursprüngliche Boden begraben. Diese Veränderungen im Bodenmosaik sind besonders bei abtrocknender Oberfläche gut zu sehen, indem die Oberhänge heller und die Unterhänge dunkler erscheinen. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Wassererosion im Abtragungsbereich die Differenzierung der Bodendecke und des Mikroreliefs verstärkt, im Auftragungsbereich hingegen verringert.

### **3.5. Der Einfluß des Menschen auf die Bodenbildung**

#### **3.5.1. Veränderung der Böden durch Ackerbau und Melioration**

##### **Bodenkultivierung als historischer Prozeß**

In den letzten Jahrhunderten bis Jahrtausenden hat der Mensch entscheidend in den weiteren Verlauf der Bodenentwicklung eingegriffen. Wir kennen heute kaum noch völlig unberührte Standorte. Auch die Entwicklung der Waldböden unterliegt einer immer stärkeren Beeinflussung durch den Menschen. Am deutlichsten sind die Veränderungen unter *Ackerkultur*. Es gibt Landschaften in der DDR, in denen nachweislich seit etwa 4000 Jahren, wenn auch nicht ständig, Ackerbau betrieben wird (z. B. in der Lommatzcher Pflege). In anderen Gebieten liegt die Zeit der Inkulturnahme nicht so weit zurück, doch sind es auch dort meist mehrere 100 Jahre. Moor- und bestimmte Auenböden wurden in stärkerem Maße erst in der Neuzeit kultiviert (z. B. das Oderbruch in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts). Aus diesen Gründen finden wir heute Böden in allen Altersstufen der Kultivierung nebeneinander vor.

Der Prozeß der Kultivierung läßt sich anhand von Vergleichen benachbarter Wald-, Jungacker- und Altackerböden auf gleichem Substrat rekonstruieren, so zum Beispiel im Löbgebiet des Mittelsächsischen Hügellandes. Der erste entscheidende Eingriff bei den *Jungackerböden* war die wühlende bzw. wendende Bearbeitung. Damit war eine Homogenisierung, der oberen 2 dm des Bodens, eine stärkere Durchlüftung und ein Volumenschwund verbunden. Gleichzeitig wurde das natürliche Nährelementgleichgewicht gestört. Trotz Zufuhr organischer Substanz erfolgte auf Grund intensiverer Umsetzungsvorgänge einerseits ein allmählicher Humusschwund (s. Abb. 3/36) und andererseits eine Verbesserung der Humusqualität. Die Aggregatstabilität ging im gesamten Oberboden zurück, der pH-Wert wurde angehoben (60 Jahre nach Inkulturnahme bereits bis 7 dm Tiefe), trotzdem besteht noch immer ein starker Abfall von der Krume zum nachfolgenden Horizont. Das charakterisiert am deutlichsten den Zustand der Jungackerprofile. Der Einfluß des Ackerbaus blieb im wesentlichen auf den Ap-Horizont beschränkt. An der Untergrenze des Bearbeitungshorizontes ist in vielen Eigenschaften ein schroffer Wechsel nachzuweisen, der sich auch farblich dokumentiert (s. Abb. 3/37a). In den *Altackerböden* hat der Einfluß der Kulturmaßnahmen zu einer weitgehenden Homogenisierung



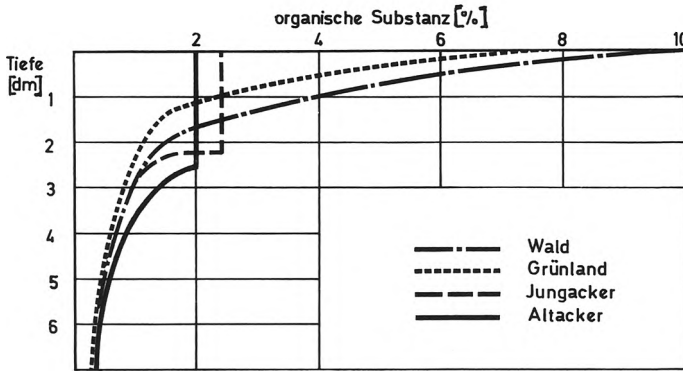


Abb. 3/36  
Diagramm des Gehalts an organischer Substanz vergleichbarer Löß-Fahlerden bei verschiedener Nutzung in M.-%

des gesamten Oberbodens und infolge erosiver Vorgänge auch zu einer weiteren Verminderung seiner Mächtigkeit geführt. In der Krume kommt der Humusschwund allmählich zum Stillstand, im nachfolgenden Horizont ist sogar eine Erhöhung des Gehalts an organischer Substanz zu verzeichnen, was sich in einer farblichen Angleichung beider Horizonte verdeutlicht. Die Qualität der Huminstoffe verbessert sich weiter, auch die Aggregatstabilität steigt wieder an. Im gesamten Profil bis über 1 m Tiefe ist der pH-Wert weiter angehoben. Dadurch wird das Bodenleben stärker angeregt, Regenwürmer sind bis in den Unterboden intensiv tätig. Die Grenze zwischen Ober- und Unterboden beginnt sich aufzulösen (s. Abb. 3/37b). Insgesamt gesehen, tritt in den Altacker- eine Verbesserung vieler Eigenschaften gegenüber den Jungackerböden ein.

Tabelle 3/35

Vergleich der mittleren Kohlenstoff- und Gesamtnährelementenmenge unter Wald und Acker bei anhydromorphen Sandböden bis 4 dm Tiefe (nach *Thiere*, 1969)

Element	Nutzungsart	Podsol		Rosterde		Braunerde	
		Menge [dt/ha]	KI* [%]	Menge [dt/ha]	KI [%]	Menge [dt/ha]	KI [%]
C	Wald	1 617	56	300	96	405	80
	Acker	905		289	323		
N	Wald	33	94	32	91	37	100
	Acker	31		29	37		
P	Wald	7,9	513	20,2	152	13,6	165
	Acker	40,5		30,8	22,4		
K	Wald	458	88	466	103	651	113
	Acker	403		482	736		
Mg	Wald	44	155	65	77	81	130
	Acker	68		50	105		
Ca	Wald	169	96	163	103	164	120
	Acker	162		168	197		

\*) KI: Kultivierungsindex = relativer Mengenanteil Ackerprofil gegenüber Waldprofil

Die Unterschiede zwischen Wald- und Ackerböden sind auch auf anderen Substraten ähnlich. Daten über Veränderungen, die hinsichtlich Humus und Nährelementen auf sandigen Glaziärsedimenten festzustellen sind, gehen aus Tabelle 3/35 hervor. Weitere Angaben sind den Tabellen 3/27 und 6/17 zu entnehmen.

### Degradierung und Retrogradierung

Der Einfluß des Menschen auf die Bodenentwicklung und auf die Fruchtbarkeit des Bodens kann sowohl negativ als auch positiv sein. Dementsprechend wird unterschieden zwischen

– *Degradierung*: Verlust charakteristischer Merkmale eines Bodentyps im Sinne einer Qualitäts- (Fruchtbarkeits-) Minderung

– *Retrogradierung*: Erwerb neuer Merkmale eines Bodentyps im Sinne einer Qualitäts- (Fruchtbarkeits-)Verbesserung

Für beide gibt es zahlreiche Beispiele. Früher wurde der Begriff Degradierung auf natürlich wie kultürlich hervorgerufene Veränderungen bezogen. Heute werden beide Begriffe nur noch im Zusammenhang mit der Einwirkung des Menschen verwendet.

Die schwächste Form der Degradierung ist die *Krumendegradierung*. Man versteht darunter eine Verringerung der Humusmenge und -qualität sowie eine Gefügeverschlechterung in der Ackerkrume. Sie dokumentiert sich in einer Farbaufhellung, die besonders bei Schwarzerden deutlich sichtbar werden kann. Der Humusabbau geht in allen Böden vor sich, denen nicht genügend organische Substanz zugeführt wird (vgl. Abb. 3/29). Durch sachgemäße Ackerkultur kann die Krumendegradierung aufgehalten und ihre Auswirkung auf die Ertragshöhe kompensiert werden.

Ein analoger Degradierungsprozeß ist die *Vermullung* bei zu stark entwässerten Mooren. Eine stärkere Degradierung kann auch durch zu tiefe Absenkung des Grundwassers in

Abb. 3/37

Durch Ackerkultur bedingte Veränderungen im oberen Profilteil von Löß-Staugleyen; Hartha, Kreis Döbeln

- a) Jungacker
- b) Altacker

Horizonte

Ap

Etg

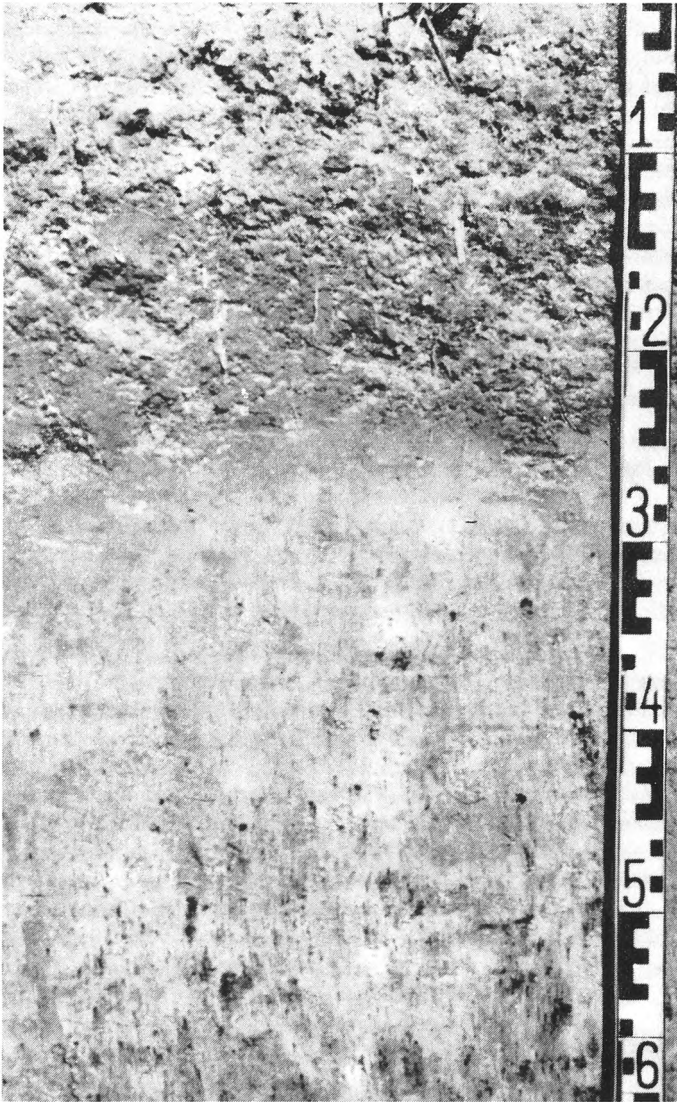


Horizonte

Ap

Etg

Btg



Mineralböden, durch ständig überdosierte Gaben an Abwasser, Gülle u. a. m. erfolgen. Krumenvertiefungen, durch die mit einem Male zu große Bereiche des Unterbodens erfaßt werden, führen ebenfalls zu einer Degradierung. So entstand selbst in Schwarzerden als Folge früheren Tiefpflügens mit dem Dampfpflug, wenn der erfaßte Bereich nicht voll in die Beackerung einbezogen wurde, ein sogenannter *verlassener Krumenhorizont* mit einer Reihe ungünstiger Eigenschaften. Die stärkste Form der Degradierung wird durch die Erosion bewirkt, wenn sie bis zum völligen Abtrag des Bodens, und durch die Immission, wenn sie bis zur Ausbildung eines Panzers an der Bodenoberfläche (z. B. Magnesitpanzer auf Bergweiden in der Nähe einer Magnesit-Ziegelfabrik bei Hačava/ČSSR) führt. Die *Retrogradierung* kann sich ebenfalls in der verschiedensten Weise dokumentieren. Zu den schwachen Formen gehört die Erhöhung der Sättigung, der Humusmenge und

-qualität sowie die Stabilisierung des Bodengefüges in der Krume. Eine bereits stärkere Retrogradierung liegt vor, wenn bei geringmächtigen Böden der überwiegende Teil des wertvolleren Unterbodens in die Ackerkrume eingemischt wurde (z. B. bei den Rosterden). In solchen Böden können nicht mehr die ehemaligen (Podsolierungs-) Prozesse dominieren. Ebenfalls deutlich retrogradieren solche Böden, auf denen eine *kombinierte Unterbodenmelioration*, zum Beispiel Tiefpflügen, Tieflockern (Technoturbationen) in Kombination mit Tiefdüngung oder Drainage erfolgte. In der gleichen Richtung wirken Entsteinung sowie Einbringung von Kalk, Mergel, Bentonit oder BVM. Die Trockenlegung von Mooren, die Eindeichung von Meeres- und Auenböden sowie die völlige Umgestaltung des Bodenprofils durch Tiefumbruch gehören zu den stärksten Formen der Retrogradierung.

Das Resultat einer stärkeren Bodenveränderung schlägt sich in der Entstehung neuer, sogenannter anthropogener (grch., durch den Menschen gebildeter) Böden nieder. Diese sind i. d. R. fruchtbarer als der Ausgangsboden. Allerdings gibt es auch Bildungen mit verringerter Fruchtbarkeit (z. B. Reliktgleye). Folgende anthropogene Bodentypen kommen in der DDR vor:

- *Rigosol* (Rigolerde): durch tiefes Wenden entstandener Boden (s. Abb. 3/38)
- *Hortisol*: durch starke Kompostzufuhr und intensive Pflege entstandene „Gartenschwarzerde“
- *Vicosol*: durch intensiven, lang andauernden Auftrag von Siedlungsresten entstandener schwarzerdeähnlicher Boden
- *Reliktgley*: durch anhaltende starke Absenkung des Grundwassers trockengelegter ehemaliger Grundgley

Der *Plaggenesch*, ein durch Auftrag kompostierter Heideplaggen völlig veränderter ehemaliger Heidepodsol, kann als weiteres Beispiel angeführt werden.

Abschließend sei kurz auf den Krumentzustand der Böden hingewiesen. Er ist weniger das Resultat von De-, als vielmehr von Retrogradierungsprozessen im Bereich der Krume. Es ist schon länger bekannt, daß Fruchtbarkeitsunterschiede sonst gleicher Bodenformen in besonderem Maße auf Unterschiede im Krumentzustand zurückgeführt werden können. Mit diesem Zustand ist weniger der Gehalt an löslichen, pflanzenverfügbaren Nährelementen als vielmehr die komplexe Fruchtbarkeitseigenschaft „Transformationsvermögen“ in der Krume gemeint. Bei gleicher Körnungsart zeigen z. B. lang kultivierte bzw. gut bewirtschaftete Böden einen günstigen Zustand der Krume, der sicher auch auf die Humusverhältnisse zurückzuführen ist und sich u. a. in einem stabilen Gefüge- bzw. Aggregatzu-



Abb. 3/38  
Tiefbearbeiteter Boden  
für Spargelkultur (Sand-  
Rigolanker); Jessen,  
Bezirk Cottbus

stand widerspiegelt, nicht aber unbedingt in einem besseren Närelementversorgungsgrad. In diesem Sinne gehört der Krumentzustand bereits zu den stabilen Merkmalen des Bodens und ist mit als ein Resultat der erweiterten Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit anzusehen. Leider sind wir noch nicht in der Lage, ihn eindeutig zu bestimmen bzw. quantitativ zu erfassen.

### 3.5.2. Wiedernutzbarmachung von Kippen und Halden

Ein ebenfalls auf die Tätigkeit des Menschen zurückzuführender Vorgang ist die Wiedernutzbarmachung aufgeschütteter Halden und (Flur- bzw. Überflur-)Kippen. Jährlich fallen in der DDR über 3 000 ha derartiger Flächen an, vorwiegend in den Braunkohlentagebaugebieten der Bezirke Leipzig, Halle und Cottbus. Unter Wiedernutzbarmachung versteht man die Gesamtheit aller Maßnahmen in den vom Bergbau, von der Industrie und anderen Wirtschaftszweigen zeitweilig beanspruchten Gebieten, die eine rationelle gesellschaftliche Nutzung der Rückgabeflächen sowie die Gestaltung einer hochentwickelten Bergbaufolgelandschaft zum Ziel haben. Die Wiedernutzbarmachung wird in folgende Teilbereiche gegliedert (Wünsche, 1977, mündl. Mitt.; K. Werner, 1973):

a) Wiederurbarmachung als Verpflichtung des Abbaureibenden; Maßnahmen des Bergbaues, der Industrie und anderer Wirtschaftszweige zur Herrichtung der in Ausübung des Untersuchungs-, Gewinnungs- und Speicherrechts genutzten Bodenflächen, um eine Folgenutzung bereits vom ersten Nutzungsjahr an zu ermöglichen; umfaßt im wesentlichen Planung, Schaffung von Zufahrt, Vorflut und standsicheren Böschungen, Auftrag von kulturfähigen Kippsubstraten sowie Durchführung von Grundmeliorationen

b) Rekultivierung als Verpflichtung des Folgenutzers; Acker- und pflanzen- bzw. waldbauliche sowie meliorative Maßnahmen im Zuge der Folgenutzung auf den wiederurbar gemachten Flächen; Gewährleistung einer nachhaltigen und ertragssicheren Nutzung bei ständiger Steigerung der Bodenfruchtbarkeit unter gleichzeitiger Berücksichtigung landeskultureller Belange

#### Eigenschaften der Abraumsstrate

Die Wiederurbarmachung beginnt schon bei der Vorfeldbegutachtung. Beschaffenheit und Form der Kippen werden weitgehend von der geologischen Zusammensetzung der Deckgebirgsmassen, aber auch von der Technologie der Gewinnung, des Transportes sowie des Verstüzens (Absetzer-, Rückwärts-, Vorwärts- oder Pflugkippe) bestimmt. Je stärker verschiedenartige Abraumschichten miteinander vermischt werden, je mehr tertiäres, insbesondere schwefelhaltiges Material an der Oberfläche verkippt wurde, um so ungünstiger ist das bodenbildende Substrat zu bewerten. Vor allem ist eine künftige landwirtschaftliche Nutzung von einem genügend mächtigen, in sich ziemlich gleichmäßigen Überzug mit hochwertigen Substraten abhängig. Außerdem ist wichtig, daß dieser Kulturbodenauftrag keine Qualitätsminderung durch Vermischung mit dem liegenden Material erfährt.

Für die künftige Nutzung hat der Kulturbodenauftrag eine besondere Bedeutung. Seine Aufbringung wurde daher gesetzlich verankert. Unter Kulturbodenauftrag versteht man das am besten geeignetste kulturfähige Bodensubstrat des Deckgebirges, das als abschließende Schicht in einer vorher festgelegten Mindestmächtigkeit aufgetragen wird (s. Abb. 3/39). Der Kulturbodenauftrag muß eine Qualität aufweisen, die eine sog. Mindestfruchtbarkeit für die Folgenutzung, d. h. ein gesichertes Wachstum land- und forstwirtschaftlicher Pflanzen gewährleistet. Die *Mindestmächtigkeit* des Auftrages wird nach folgenden Grundsätzen bestimmt (Werner, 1973):

- wenn kulturfeindliches (tertiäres) Material im Untergrund ansteht: 10 dm
- wenn das unterlagernde Material aus kulturfreundlichen Substraten besteht oder wenn vor dem Auftrag der Untergrund in einer Mächtigkeit von wenigstens 4 dm grundmelioriert wurde: 6 dm



Abb. 3/39

Kippenplanierung mit Kulturbodenauftrag: 1 m Kipplehmsand über Kippsand; Tagebau Sedlitz, Kreis Senftenberg (Aufn. Galinsky)

Sind diese Parameter nicht erreichbar oder volkswirtschaftlich nicht vertretbar, muß eine Grundmelioration zur Beseitigung der vegetationshemmenden Eigenschaften in der gesamten Deckschicht durchgeführt werden.

Die exakte Erfassung der verstürzten Substrate (Aufschüttungssubstrate) ist erst nach dem Planieren möglich. Es werden *Kippbodenformen* ausgegrenzt und nach einem einheitlichen Verfahren untersucht, wobei der Bestimmung der Körnung, des Kohlenstoffgehaltes, des pH-Wertes und des Gehaltes an Schwefel einschließlich seiner Löslichkeitsformen besondere Bedeutung zukommt. Nach diesen Untersuchungen erfolgt für jeden Parameter eine Einstufung in Grenzwertbereiche (Beispiel s. Tab. 3/36) als Basis für die Bewertung der Abraumsubstrate.

Nach den chemischen, mineralogischen und physikalischen Eigenschaften lassen sich die vier wichtigsten *Kippsubstratgruppen* wie folgt präzisieren (Wünsche, 1976):

a) Quartäre sandige Substrate (Schmelzwassersande, Flußschotter u. a.)

Geringer Ton- und Schluffgehalt; niedrige Sorption; hohe Wasser- und Luftdurchlässigkeit; auf Grund der mäßigen Glimmer- und Feldspatgehalte Sättigung noch befriedigend; bei zunehmendem Feinkornanteil Verbesserung vieler Eigenschaften

b) Quartäre bindige Substrate (Auenlehm, Sandlöß, Löß, Geschiebelehm/-mergel u. a.)

Entsprechend höherem Ton- und Schluffgehalt sorptionsstark und gut gepuffert; bei wachsendem Feinkornanteil verschlechtern sich Gefüge, Wasser- und Luftdurchlässigkeit, dadurch z. T. erhebliche Einschränkung der Kulturfähigkeit trotz sonst günstiger chemischer (Nährelementgehalt) und mineralogischer Eigenschaften

c) Tertiäre sandige Substrate (marine, marin-brackische, fluviatil-limnische Sande)

Bei Fehlen von Kohle und Schwefel ähnliche Eigenschaften wie a); innerhalb dieser Gruppe aber größere Unterschiede im Mineral- und Nährelementgehalt (z. B. sind marine „Böhle-ner“ Schichten glimmerhaltiger und daher reicher an nährelementliefernden und -speichernden Mineralen als fluviatil-limnische „Bornaer“ Schichten); Anteil an Schwefel kann

Tabelle 3/36

Grenzwerte wichtiger Bodeneigenschaften zur Einstufung der Abraums substrate (nach *Wünsche*, 1976)

Eigenschaft	Einstufung		
	gering	mäßig	hoch
Tongehalt [%]	< 5,0	5,0 — 15,0	> 15,0
Teilchen < 20 µm [%]	< 10,0	10,0 — 35,0	> 35,0
Kohlenstoff [%] a <sup>1)</sup>	< 0,5	0,5 — 2,0	> 2,0
b <sup>1)</sup>	< 2,0	2,0 — 5,0	> 5,0
C/N	< 15,0	15,0 — 50,0	> 50,0
T-Wert [mval/100 g]	< 7,0	7,0 — 15,0	> 15,0
V-Wert [%]	< 30,0	30,0 — 70,0	> 70,0
pH-Wert	< 4,5	4,5 — 6,5	> 6,5
hydrolytische Azidität [ml/50 g]	< 6,0	6,0 — 20,0	> 20,0
Austauschazidität [ml/50 g]	< 5,0	5,0 — 10,0	> 10,0
Gesamtschwefel [% SO <sub>3</sub> ]	< 0,4	0,4 — 0,8	> 0,8
Sulfat-Schwefel [% SO <sub>3</sub> ]	< 0,06	0,06 — 0,20	> 0,20
Disulfid-Schwefel [% S]	< 0,08	0,08 — 0,50	> 0,50

<sup>1)</sup> a = sandige Substrate, b = bindige Substrate

zu extrem saurer Reaktion führen, dieser in Abhängigkeit von der Körnung der Sande relativ leicht auswaschbar

#### d) Tertiäre bindige Substrate (Schluffe, Tone)

Neigen besonders stark zu Verdichtung, Verschmierung, Klumpenbildung und schlechter Durchlüftung; infolge höheren Kaolinitanteils mittlere Sorption, mäßige bis geringe Nähr-elementversorgung und Sättigung; höherer Schwefelgehalt schädlicher als bei c), da schwerer auswaschbar

Den tertiären Abraummassen häufig beigemengte Kohlebestandteile wirken einerseits durch Erhöhung der Sorption, Wasserkapazität und Pufferung verbessernd, andererseits infolge stärkerer Festlegung von P und N nachteilig auf die Eigenschaften der Kipp-substrate.

In die Gruppe der Aufschüttungsböden gehören auch die sog. *Ruderalsubstrate* (lat. Schuttsubstrate) und Ruderalböden, d. s. Böden aus Aufschüttungen von Bauschutt mit hohem Skelettanteil und einem Karbonatgehalt von ± 10%. Sie bestehen aus Mörtel- und Ziegelschutt sowie wechselnden Anteilen natürlicher Substrate.

#### Bewertung und Melioration landwirtschaftlich zu nutzender Kippsubstrate

Um die Kippsubstrate landwirtschaftlich nutzen zu können, müssen sie bestimmte Eigen-schaften aufweisen, die man unter dem Begriff *Kulturwert* zusammenfaßt. Für die Substrate, die zur landwirtschaftlichen Nutzung geeignet sind, wurde eine Kulturwert-gliederung (Beispiel s. Tab. 3/37) aufgestellt, wobei als untere Grenze gilt, daß die Kör-nungsart mindestens lehmiger Sand, bei Kohlebeimengung schwach lehmiger Sand sein muß.

Entsprechend dieser Gliederung werden die Kippsubstrate eingestuft und behandelt. Auch hier muß das Bodenmosaik beachtet werden. Nur wenn die eingestreuten ungünstigen Areale in der Verbreitung zurücktreten, ist die Gesamtfläche für die landwirtschaftliche Nutzung geeignet.

Die wichtigste Grundlage für die weitere Behandlung der Kippsubstrate ist die Ermittlung des *Kalkbedarfs*, der vom Gehalt an Schwefelverbindungen und der korrespondierenden

Tabelle 3/37

Gliederung der Kippsubstrate nach dem Kulturwert für den Bereich der Braunkohlenreviere südlich von Leipzig (nach *Wünsche*, 1976)

Kippsubstrat	Sedimente	Herkunft
<b>A. Mit vorwiegend höherem Ertragsvermögen</b>		
a) Ohne Grundmelioration		
– humushaltige lehmige Schluffe bis sandige Lehme	Auenlehm, Sandlöß, Lößlehm (A-Horizont)	Quartär
– schwach kiesige sandige Lehme bis lehmige Schluffe	Sandlöß	
– karbonathaltige lehmige Schluffe	Löß	
b) Nach Grundmelioration		
– schwach kiesige lehmige Schluffe bis kiesige Lehme	Auenlehm, Löß, Geschiebelehm	Quartär
– karbonathaltige schluffige Tone, Schluffe und kiesige Lehme	Bänderton, Geschiebemergel	
– karbonat- und kohlehaltige, zum Teil schluffige Fein- und Mittelsande	Glaukonitsande („Böhlener“ Schichten)	Tertiär
<b>B. Mit vorwiegend mittlerem bis geringem Ertragsvermögen</b>		
a) Ohne Grundmelioration		
– karbonathaltige kiesige schwach lehmige Sande	Schmelzwassersande	Quartär
b) Nach Grundmelioration		
– kohlehaltige, zum Teil schluffige Fein- und Mittelsande (z. T. schwefelhaltig)	Form- und Glaukonitsande („Böhlener“ Schichten)	Tertiär
– wie vor, nur stärker kohlehaltig	Braune Sande („Böhlener“ Schichten)	
– sandige und schluffige Kohle	Kohle	
– Schluffe, schluffige und lehmige Tone (z. T. schwefelhaltig)	Haselbacher und Luckenauer Tone („Bornaer“ Schichten)	
– kohlehaltige Schluffe, schluffige und lehmige Tone (z. T. schwefelhaltig)		

H-Ionenkonzentration abhängt. Danach entscheidet sich endgültig, ob eine Grundmelioration erforderlich ist oder nicht. Bei einem Bedarf an  $> 50$  dt/ha CaO muß eine tiefe (etwa 6 dm umfassende), nachhaltige Melioration durch Zufuhr ausreichender Mengen an kalkhaltigen Stoffen erfolgen. Man wendet hierfür folgende Verfahren an (s. TGL 26157/02):

– **Böhlener Verfahren:** ausschließliche Anwendung von Kalk in Form von Kalkmergel, Leuna- oder Mischkalk

– **Domsdorfer Verfahren:** Anwendung von Braunkohle-Filterasche oder abgesiebter Braunkohlenschlacke

– **Koyne-Verfahren:** Anwendung von nährstoff- (insb. N-) haltigen Industrieabwässern nach vorheriger Einbringung von Braunkohlenasche/-schlacke bzw. Kalk (biologisch aktivierte Kokereiabwässer)



Hiermit ist gleichzeitig auch eine Verbesserung des Gefüges verbunden. Da die überwiegende Menge an Nährstoffen in schwer löslichen Formen vorliegt, muß den Kippsubstraten gleich zu Beginn auch eine ausreichende Grunddüngung an P und K verabreicht werden. N ist in differenzierten Mengen anzuwenden. Kohlehaltige Substrate mit weitem C/N-Verhältnis bedürfen zum Beispiel höherer Gaben. Nur auf dieser Basis können die Erstkulturen befriedigend gedeihen.

Anschließend beginnt die eigentliche Rekultivierung und damit die allmähliche Formung eines Bodens. Für die Ausarbeitung standardisierter Behandlungsverfahren wurden die Kippbodenformen zu 13 Meliorationsgruppen und diese wiederum zu 6 *Behandlungseinheiten* zusammengefaßt. Auf der Grundlage dieser Einheiten und des Bodenfeuchteregimes erfolgt die weitere Kultivierung der Kippsubstrate. Von den einzelnen agrotechnischen Maßnahmen, insb. den Erst- (meist Roggen oder Hülsenfrüchte) und Folgefruchtarten, der weiteren Kalkung, Düngung und Behandlung, hängt dann die allmähliche Stabilisierung des Bodenaufbaues und damit auch des Ertragsniveaus ab. Auf diese Weise werden aus den Kippsubstraten oder Kipp-Rohböden normale, ertragsreiche Böden auf Kippstandorten, die aber immer bestimmte Besonderheiten gegenüber den sog. „gewachsenen“ Böden aufweisen werden.

## 4. Kennzeichnung und Gliederung der Agrarstandorte

### 4.1. Grundlagen der Boden-, Standort- und Gebietsgliederung

#### 4.1.1. Pedon und elementares Bodenareal

Während im Tier- und Pflanzenreich die Differenzierung zwischen den einzelnen Individuen scharf ist, zeichnen sich zwischen unterschiedlichen Böden i. d. R. nur *unscharfe Grenzen* (Grenzsäume) ab. Der Übergang ist nur dort scharf, wo Boden an einen bodenfreien Bereich, z. B. einen Fluß, einer Steilküste, angrenzt. Die Bodendecke stellt somit ein Kontinuum dar, die unterschiedlichen Böden gehen allmählich ineinander über. Für die Bodenkunde stellt sich damit das Problem, wie man diese zweifellos vorhandenen Unterschiede in der Qualität der Böden definiert und gegeneinander abgrenzt. Das ist nicht nur von wissenschaftlicher Bedeutung, z. B. für die Bodensystematik, sondern auch für praktische Belange wie Bodenkartierung und Bodenbeurteilung wichtig.

Wenn der Boden als Ganzes auch als ein Naturkörper anzusehen ist, so entspricht er doch nicht der strengen Definition der Homogenität, wie sie in der Festkörperphysik verlangt wird. Danach wäre nämlich der Boden grundsätzlich inhomogen. Kleinere Inhomogenitäten, wie sie für einen Bodenkörper typisch sind, werden toleriert. Man spricht in diesem Falle von Quasihomogenität. Unter quasihomo-

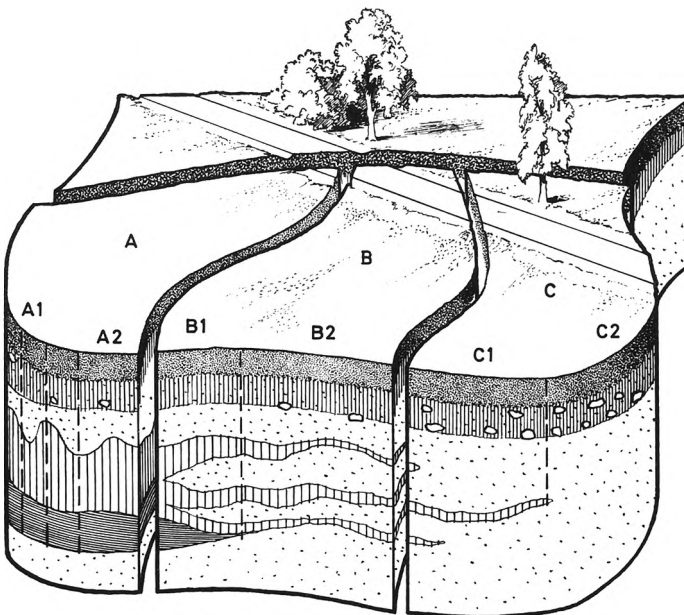


Abb. 4/1  
Skizze eines Ausschnitts  
aus der Bodendecke im  
Jungmoränengebiet zur  
Demonstration elemen-  
tärer Bodenareale und  
Pedons

A,B,C elementare Bodenareale

1,2... Pedon (gedachter, repräsentativer Teil der Bodendecke)

genen Bodenkörpern werden danach solche verstanden, die ein objektbezogenes vorgegebenes Maß an Inhomogenität nicht überschreiten. Dieses Maß sowie die weitere Graduierung der Inhomogenität hat grundsätzliche Bedeutung für die Kennzeichnung und Gliederung der Böden überhaupt. Ein quasihomogener Ausschnitt aus der Bodendecke, der kleinstmögliche Bodenkörper also, wird *Pedon* genannt. Pedons haben keine definierte Begrenzung, sie sind gewissermaßen als Pseudoeinheiten anzusehen, als statistische Elemente der Grundgesamtheit Bodendecke. Diese quasihomogenen Pseudoeinheiten werden der Einfachheit halber als homogen angenommen, um den Gegensatz zu den heterogenen Ausschnitten aus der Bodendecke herausstellen zu können. Heterogenität im bodengeographischen Sinne ist demnach ein arealbezogenes Merkmal der Böden mit inventarspezifischen Unterschieden.

Von diesen Überlegungen ausgehend, werden folgende Grundeinheiten der Bodendecke unterschieden (s. Abb. 4/1):

a) *Pedon* (nach *Smith*)

Kleinstmöglicher, dreidimensionaler Ausschnitt aus der Bodendecke; in der vertikalen und horizontalen Erstreckung quasihomogen ausgebildet; umfaßt die volle Bodentiefe (*Solum*) und hat eine Flächenausdehnung von nur wenigen Quadratmetern; willkürlicher, aber repräsentativer Teil der Bodendecke ohne definierte flächenbezogene (horizontale) Begrenzung (*Pseudoeinheit*)

b) *Elementares Bodenareal* (nach *Fridland*)

Durch mehrere ähnliche, beieinander liegende (*isotope*) *Pedons* gekennzeichnete Raum, der von einem Boden systematisch niedrigsten Ranges eingenommen wird; besitzt damit eine profilbezogene Gleichheit (unter dem Aspekt der inhaltlichen Definition zuweilen *Polypedon* genannt), weist eine definierte flächenbezogene Begrenzung und eine bestimmte Geometrie auf (wird von allen Seiten durch andere elementare Bodenareale oder bodenfreie Bereiche begrenzt); ist somit die kleinste homogene Arealinheit.

Das elementare Bodenareal bildet die Basiskategorie der systematisch und räumlich definierten Ordnungsstufen der Bodenklassifikation.

#### 4.1.2. Profil- und flächenbezogene Ordnung

Bei der Boden- und Standortgliederung sind entsprechend den obigen Ausführungen zwei Aspekte von grundlegender Bedeutung; sie beruhen auf der vertikalen und der horizontalen Differenzierung des Bodens. Die *vertikale Differenzierung* des Bodens spiegelt sich im Schicht- und Horizontaufbau wider, dessen zusammenfassende Kennzeichnung in den profilbezogenen Einheiten erfolgt (z. B. *Bodenform*, *Bodentyp*). Die *horizontale Differenzierung* dokumentiert sich in der Struktur der Bodendecke (vgl. Abb. 2/3), die durch die flächenbezogenen Einheiten gekennzeichnet wird (z. B. *Standortregionaltyp*, natürliche Standorteinheit, *Bodenregion*).

Böden und Standorte werden daher profil- und flächenbezogen geordnet. In Abbildung 4/2 sind die wichtigsten räumlich und systematisch definierten Ordnungsstufen sowie die daraus abgeleiteten Einheiten der Boden-, Standort- und Gebietsgliederung zusammengestellt, die auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen der DDR verwendet werden. Die schematische Darstellung derart komplexer Beziehungen wird immer unvollkommen sein, es gibt jedoch kaum einen anderen Weg, eine solche vielgestaltige und umfassende Gliederung verständlich zu machen.

#### Systematische Ordnungsstufen

Die Klassifikation der profilbezogenen Einheiten wird im wesentlichen durch die systematischen Ordnungsstufen (auch *taxonomische Einheiten* genannt) bestimmt. Diese Ordnungsstufen sind am bekanntesten, da sie in früheren Jahrzehnten immer im Vordergrund der Bodengliederung standen. Deshalb sind auch Begriffe wie *Bodentyp* (z. B. *Braunerde*), *Hauptbodenform* (z. B. *Tieflehm-Fahlerde*) oder *Bodenabteilung* (z. B. *anhydromorphe Böden*) allgemein eingeführt. Die systematischen Ordnungsstufen haben einen zunehmenden

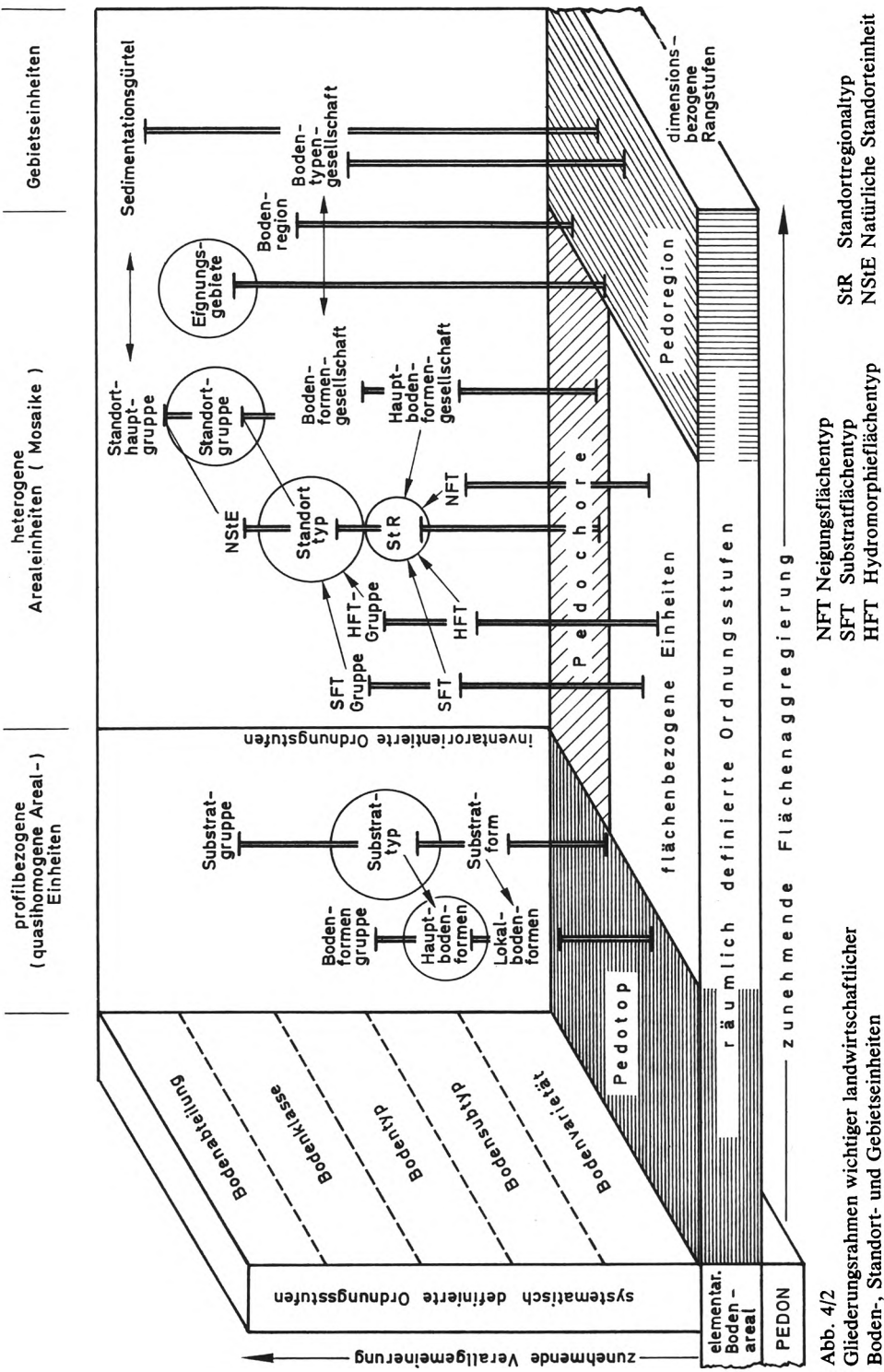


Abb. 4/2  
Gliederungsrahmen wichtiger landwirtschaftlicher  
Boden-, Standort- und Gebietseinheiten

den Abstraktionsgrad von der Bodenvarietät (z. B. texturdifferenzierter Braunstaugley mit intensiver Rostfleckung im Btg-Horizont) bis zur Bodenabteilung. Als Basis des Systems muß aus wissenschaftshistorischen Gründen nicht die Bodenvarietät, sondern der Bodentyp angesehen werden. Erst später wurden die Bodentypen weiter untergliedert sowie in höheren Ordnungsstufen zusammengefaßt. Die systematischen Ordnungsstufen bilden das Gerüst der Bodensystematik und einer inventar-orientierten Standortgliederung. Die Regeln (Gesetze), nach denen klassifiziert wird, sind Inhalt der *Bodentaxonomie*.

### **Dimensionsbezogene Rangstufen**

Die räumliche Ordnung der Böden und Standorte nach dimensionsbezogenen Rangstufen wurde erst im vergangenen Jahrzehnt exakter formuliert, Grundlage bilden die geographischen Dimensionen (*Neef*), d. s. Maßstabbereiche, durch welche eine bestimmte räumliche Größenordnung der untersuchten Objekte gekennzeichnet wird.

Innerhalb einer Dimension sind die Inhalte der einzelnen Objekte unmittelbar vergleichbar. Folgende drei Dimensionen werden unterschieden:

– *topische Dimension*: an einen relativ großen Maßstab ( $< 1 : 25\,000$ ) gebundener Bereich, in dem geographische Objekte (z. B. Böden, Standorte) mit homogen gesetztem (quasi-homogenem) Inhalt untersucht werden; z. B. Bodenformen

– *chorische Dimension*: an einen mittleren Maßstab ( $1 : 25\,000$  bis  $1 : 200\,000$ ) gebundener Bereich, in dem geographische Objekte untersucht werden; bestehen aus mehreren, miteinander vergesellschafteten topischen Einheiten, sie stellen damit in sich heterogene Areale dar; z. B. Standortregionaltypen

– *regionische Dimension*: an einen kleinen Maßstab ( $> 1 : 200\,000$ ) gebundener Bereich, in dem geographische Objekte untersucht werden; lassen als großräumige Ausschnitte aus der Geosphäre keinen Rückschluß mehr auf einzelne topische Einheiten zu, sie sind daher als auf hoher Integrationsstufe homogen erscheinende Gebiete zu betrachten; z. B. Bodenregionen

Die topische Dimension wird nicht weiter unterteilt, die chorische hingegen kann in drei (Topgefüge/Nanochore, Mikrochore, Mesochore), die regionische in zwei (Region, Zone) Dimensionsstufen aufgegliedert werden. Die **dimensionsbezogenen Kategorien** können auf alle Teilkomplexe der Geosphäre angewandt werden. Den Bodenkundler interessiert in erster Linie die Bodendecke. Im Hinblick auf diese spricht man von Pedotop, Pechochore und Pedoregion. Sie werden wie folgt definiert:

#### **a) Pedotop (Bodenkombination nach *Fridland*)**

Weitgehend homogene Arealeinheit der Bodendecke, in der die Merkmale etwa gleich bleiben oder innerhalb festgelegter Grenzen variieren; gekennzeichnet durch ein dominierendes elementares Bodenareal mit Einschluß fremder Pedons; profilbezogener Inhalt im wesentlichen durch eine Bodenform bestimmt

#### **b) Pechochore**

Heterogene Arealeinheit der Bodendecke, die aus mehreren bis zahlreichen Pedotope in regelhafter Verknüpfung besteht; Inhalt im wesentlichen durch Bodengesellschaften und Gefügestil (schließt Mesorelief ein) bestimmt; wesentliches Kriterium, insbesondere für die Unterscheidung der drei Stufen der chorischen Dimension, ist die Heterogenität (grch., innere Verschiedenartigkeit), wobei zwischen inhaltlicher Heterogenität (Kontrast, Komplexität) als Qualitätskriterium und räumlicher Heterogenität (Kompliziertheit) als Quantitätskriterium zu unterscheiden ist

#### **c) Pedoregion**

Gebietseinheit mit gleichen Haupttendenzen der Bodenbildung infolge gleichwertiger biotisch-klimatischer und geomorphologischer Bedingungen; Merkmale werden nur aus einigen, nicht aus allen bodenbildenden Faktoren abgeleitet; wesentliche Kennwerte sind Bodentypengesellschaft, Klima, Großrelief und Sediment

Die vielfältigen Beziehungen zwischen den heterogenen Arealen innerhalb der chorischen und regionalen Dimension sind sehr kompliziert. Inhalt und Abgrenzbarkeit werden vom inneren Gefüge bestimmt, d. h. von den Eigenschaften Vergesellschaftung und Anordnung. *Vergesellschaftung* bedeutet eine spezifische Kombination bestimmter Merkmalskorrelationen, die mit dem Inhalt des Gefüges identisch sind. Unter *Anordnung* versteht man die spezifischen Lage-, Form- und Größenbeziehungen der Areale.

Die heterogenen Areal- und Gebietseinheiten lassen sich sowohl nach dem Inventar als auch nach dem Verteilungsmuster klassifizieren (vgl. Abb. 4/2). So werden ranggleiche Gefüge bzw. ranggleiche Arealen nach ihrem *Inhalt* hierarchisch geordnet, z. B. Standortregionaltyp → Standorttyp → Standortgruppe. Man spricht in diesem Fall von einer inventarbezogenen systematischen Ordnung. Die unterste Stufe eines solchen Ordnungssystems entspricht jeweils der in der Natur real existierenden (Kartierungs-) Einheit. Die höheren Stufen sind jeweils Abstraktionen verschiedenen Grades, die sich aber auch auf Karten darstellen lassen.

Ranggleiche (unterschiedliche) Gefüge bzw. Areal-/Gebietseinheiten hingegen werden nach den dimensionsbezogenen *Rangstufen* von der Nanochor bis zur Zone geordnet. Die Rangordnung ist so aufgebaut, daß die Gefüge einer bestimmten Stufe jeweils Elemente der nächsthöheren Stufe sind.

Dieser Sachverhalt läßt sich durch folgendes Beispiel veranschaulichen. Betrachtet man die Erdoberfläche aus unterschiedlicher Höhe, so unterscheidet man in geringer Höhe zunächst nur eine begrenzte Anzahl von Pedotope (z. B. Bodenformen) und einige ihrer Einzelmerkmale (z. B. Farbe des Ap-Horizontes). Mit zunehmender Höhe erweitert sich das Blickfeld, man erfaßt einen größeren Ausschnitt, sieht eine größere Anzahl immer kleiner werdender Pedotope und überblickt damit bereits ganze Nanochores. Von einer bestimmten Höhe an verschimmt auch die Gliederung in Nanochores zu homogen erscheinenden Einheiten, man erfaßt die nächsthöhere Rangstufe, die Mikrochores. Auf diese Weise ließe sich das Beispiel zu den nächsthöheren Rängen fortsetzen. Die Information wird also stufenweise allgemeiner, Einzelheiten sind zunehmend geringer zu erkennen. Der Verlust an Detailinformation wird jeweils kompensiert durch den Gewinn an Überblicksinformation. Es sei hinzugefügt, daß mit steigendem Rang nicht nur die Arealgröße der Einheiten sprunghaft zunimmt, sondern auch die Breite ihrer Grenzsäume.

Vom elementaren Bodenareal gibt es über den Pedotop und die Pedochore bis zur Pedoregion einen gleitenden Übergang von Merkmalsänderungen, die sich aus der Bodendecke als Kontinuum ergeben. Bis zum Pedotop dominiert das Kriterium Homogenität, dann verliert es an Bedeutung und die Gesetzmäßigkeiten der Heterogenität treten in den Vordergrund. Erst im Bereich der Pedoregion gewinnt das Kriterium Homogenität wieder stärker an Gewicht, wenn auch auf einem höheren Niveau. Bezugsbasis für den profilbezogenen Inhalt aller Einheiten bleibt das elementare Bodenareal mit seinen klar definierten Beziehungen zu den bodensystematischen Ordnungsstufen.

Die geographischen Dimensionen bilden die Basis der areal- und gebietsbezogenen Gliederung in Boden-, Standort- und Gebietseinheiten. Durch Bodenformen werden im wesentlichen *homogene* Flächeneinheiten gekennzeichnet, während zum Beispiel der Standortregionaltyp und die Natürliche Standorteinheit *heterogene* Flächeneinheiten sind. Für die großen Schläge der sozialistischen Landwirtschaft haben die heterogenen Flächeneinheiten besondere Bedeutung. Da deren Bausteine aber in jedem Fall homogene Areale sind, wird verständlich, daß der Standortregionaltyp, der Standorttyp u. a. heterogene Einheiten nur dann richtig beurteilt werden können, wenn man die in ihnen vorkommenden Bodenformen kennt.

#### 4.1.3. Bodenkundlich relevante Begriffe der Landschaftslehre

Für das Verständnis der Ausführungen in den folgenden Abschnitten müssen noch einige Landschaftsbegriffe erläutert werden (Neef u. a., 1973):

– *Geosphäre*: Bereich für die Gültigkeit bestimmter Gesetzmäßigkeiten innerhalb der Erdhülle, d. h. innerhalb des an die Erdoberfläche gebundenen Raumes; gekennzeichnet

durch materielle Komplexe, in die Erscheinungen aus der unbelebten und belebten Natur sowie ihre Veränderungen durch gesellschaftliche Arbeit integriert sind; *Pedosphäre* ist ein Teilbereich der Geosphäre (genauer: Durchdringungsbereich von Litho-, Atmo- und Biosphäre)

– *Landschaft*: beliebig großer räumlicher Ausschnitt aus der Geosphäre, der durch einheitliche Struktur und gleiches Wirkungsgefüge seiner Komponenten bestimmt ist; vorherrschende Betrachtungsweise ist der Stoffwechsel zwischen Natur und Gesellschaft

– *Naturraum*: beliebig großer räumlicher Ausschnitt aus der Geosphäre, der durch naturgesetzlich determinierte einheitliche Struktur und gleiches Wirkungsgefüge seiner Komponenten bestimmt ist; teilweise deckungsgleich mit dem Begriff Landschaft, vorherrschende Betrachtungsweise sind hier aber Raumbezogenheit und naturgesetzliche Verflechtung der natürlichen Komponenten der Landschaft zu Geokomplexen verschiedener Größenordnung

– *Territorium*: Teil der Geosphäre in ihrer gesamten naturgesetzlich und gesellschaftlich bestimmten Realität; Abgrenzung überwiegend nach politisch-administrativen und ökonomischen Kriterien

– *Geokomplex*: relativ geschlossener Ausschnitt aus der Geosphäre, dessen (Geo-) Komponenten sich gegenseitig durchdringen; die zwischen den Komponenten ablaufenden Prozesse ergeben als Ganzes ein einheitliches Wirkungsgefüge

– *Teil-(Partial-)komplex*: Teil des Geokomplexes, in dem eine Gesamtheit von Merkmalen aus einer (oder mehreren) Sphäre(n) zum Ausdruck kommt; Beispiele: Boden, Klima, Relief

– *Geokomponente*: stofflicher Bestandteil des Geokomplexes; in der Landschaftsanalyse durch mehrere Merkmale erfaßbar; Beispiele: Mineralboden, Humushorizont, Bodenfeuchteregime, Relief

– *Ökosystem*: beliebig großes Wirkungsgefüge von Lebewesen und deren unbelebten (anorganischen) Umwelt; bringt die Beziehung von Vegetation, Tier- und Mikrowelt sowohl untereinander als auch mit ihrer unbelebten Umwelt zum Ausdruck; offenes System mit einer gewissen Selbstregulierung; abgeleitete Begriffe z. B. Ökosystemtyp, Ökotop (Ausschnitt aus der Erdoberfläche mit einheitlichem Ökosystem), Geoökosystem

Zur umfassenden Kennzeichnung wird in der Bodenkunde nicht nur der Begriff Boden, sondern auch der Begriff Standort verwendet. So gibt es neben der Bodenform, dem Bodentyp auch den Standorttyp, die Standortgruppe. Standort ist in diesen Fällen als ein zusammenfassender Begriff im Sinne eines Geokomplexes zu verstehen, in dem die Komplexwirkung aller auf das Pflanzenwachstum einflußnehmenden Faktoren integriert ist. Er umfaßt die Pedo- und Bio- sowie Teile der Hydro-, Atmo- und Lithosphäre einschließlich Relief, wobei der Boden eine zentrale Stellung einnimmt. Außerdem handelt es sich beim Standort meist um heterogene Einheiten der chorischen Dimension. Landwirtschaftlich genutzte Standorte werden auch als *Agrarstandorte* bezeichnet.

## 4.2. Profilbezogene Einteilung der Bodensubstrate

Bodensubstrat ist das nach Körnung und bodenkundlich wichtigen Merkmalen gekennzeichnete Material, aus dem der Boden besteht. Es kann ein- oder mehrschichtig sein. Als Schicht bezeichnet man eine  $> 2$  dm (bei organischem Material) bzw.  $> 4$  dm (bei mineralischem Material) mächtige Lage eines bestimmten Substrates, die von Lagen andersartiger Substrate begrenzt sein kann.

### 4.2.1. Gliederung und Benennung der Substrate

Substrate sind durch Haupt- und Zusatzmerkmale gekennzeichnet. Die Hauptmerkmale werden bei den mineralischen Substraten i. d. R. durch die Körnungsart, bei den organischen und Lößsubstraten durch Materialeigenschaften bestimmt. In den Zusatzmerk-

malen finden vor allem solche bodenkundlich relevanten Eigenschaften ihren Niederschlag, die lithogenetischen Ursprungs sind und zugleich regionale Besonderheiten darstellen.

### **Substratdifferenzierung nach bodenkundlich wichtigen Sedimenteigenschaften**

Nach den bodenkundlich wichtigen Sedimenteigenschaften, die meist auch an bestimmte Verbreitungsgebiete gebunden sind, werden folgende Gruppen von Substraten unterschieden:

- Glaziärsubstrate (Tieflandsubstrate)
- Organogene Substrate
- Lößsubstrate (Lößhügellandsubstrate)
- Bergsubstrate (Berglandsubstrate)
- Auensubstrate und Kolluvialsubstrate
- Kippsubstrate

Die Glaziärsubstrate werden allein durch die Körnungsart gekennzeichnet. In der Regel wird dafür ein Buchstabe verwendet, in bestimmten Fällen sind es auch zwei, z. B. als Besonderheit:

**bs** Bändersand: sandiges Material, das mit lehmsandigen, lehmigen oder schluffigen Bändern bis 4 dm Stärke durchsetzt ist

Die organogenen Substrate werden ebenfalls nur durch einen Buchstaben gekennzeichnet, der ein spezifisches Materialsymbol darstellt (z. B. h Torf, y Mudde, c Wiesen-kalk). Die Lößsubstrate werden durch ö symbolisiert, das stellvertretend für die Körnungsarten lehmiger Schluff und Schlufflehm verwendet wird. Lößderivate erhalten einen Zusatzbuchstaben (z. B. sö Sandlöß, vö Berglöß). Die Bergsubstrate werden durch folgende Zusatzsymbole gekennzeichnet:

- v** Berg...: Verwitterungs- und Umlagerungsmaterial fester Gesteine (einschließlich schutthaltiger Lößdecken) mit einem Anteil von < 25 Vol.-% kantigem Skelett (bzw. < 10 Vol.-% Steinen) über Festgestein, das erst unterhalb 3/4 dm u. Fl.\*) beginnen darf
- n** Schutt...: Verwitterungs- und Umlagerungsmaterial fester Gesteine mit einem Anteil von > 25–50 Vol.-% kantigem Skelett über Festgestein, das erst unterhalb von 3/4 dm u. Fl. beginnen darf (n auch allein als Körnungsartensymbol für Schutt und Grus mit einem Skelettgehalt von > 50 Vol.-% verwendet)
- f** Fels...: kompaktes Festgestein (einschl. Auflockerungs- oder Zersatzzone) mit einer < 3/4 dm mächtigen Verwitterungsdecke

Auen- und Kolluvialsubstrate zeigen eine gewisse Verwandtschaft. In beiden Fällen handelt es sich um umgelagertes (zumeist Boden-) Material, das durch Zusatzsymbole zur Körnungsart wie folgt gekennzeichnet wird:

- o** Auen...: in Fluß- und Bachauen abgesetztes braunes bis dunkelgraues, meist ehemaliges Bodenmaterial
- e** Kolluvial...: durch bodenerosive Hangabtragungsvorgänge lokal angeschwemmtes, meist humoses Material

Bei den Kippstandorten gibt es außer dem Zusatzsymbol x (von Xylit) für kohlehaltiges Material bestimmte Sonderregelungen (s. Abschn. 4.4.1.).

Bei einigen Substraten werden aus Zweckmäßigkeitsgründen Zusammenfassungen vorgenommen, um die Anzahl der Substrattypen in Grenzen zu halten:

\*) konventionelle Schreibweise bei Substraten: 3/4 dm u. Fl. heißt 3 bis 4 dm unter Flur, 8/9 dm u. Fl. heißt 8 bis 9 dm unter Flur



- d* Sand: Zusammenfassung von *kd* Grand, *s* Sand, *m* Salm, *om* Auensalm als durchlässiges Lockermaterial
- i* Kittsand: Zusammenfassung von *kd*, *s*, *m*, *om* als verkittetes Material
- l* Lehm: Zusammenfassung von *p* Sandlehm und *q* Lehm
- g* Gestein: Zusammenfassung von *f* Fels und *n* Schutt

### Wichtige Substrate

Nachfolgend sind die für das Territorium der DDR wichtigen Substrate zusammengestellt und kurz erläutert. Sie wurden nicht nach den pedolithogenen Eigenschaften, sondern nach der dominierenden Körnungsart gruppiert (TGL 24300/05 und 07):

#### a) Skelettsubstrate

- kd* Grand/Kiessand > 25 Vol.-% Grobsand bzw. Kies
- n* Schutt/Grus > 50 Vol.-% kantiges Skelett
- fs* Felslehm kompaktes Festgestein mit geringmächtiger lehmiger Verwitterungsdecke

Weitere Substrate: *fs*, *ft*, *k*

#### b) Sandsubstrate

- s* Sand S + l'S; im Tiefland  $\leq 25$  Vol.-% gerundetes Skelett, im Bergland nicht über Festgestein
- vs* Bergsand S + l'S; < 25 Vol.-% kantiges Skelett
- ns* Schuttsand S + l'S; 25–50 Vol.-% kantiges Skelett
- m* Salm (Lehmsand) IS (l'S + uS); im Tiefland  $\leq 25$  Vol.-% gerundetes Skelett, im Bergland nicht über Festgestein
- vm* Bergsalm IS; < 25 Vol.-% kantiges Skelett
- om* Auensalm IS; angeschwemmtes braunes bis graues Material (nur in Auen)
- bd* Bändersand S + l'S + IS; Bänder mit Gesamtmächtigkeit von 1 bis 4 dm oberhalb 8/9 dm u. Fl.
- ed* Kolluvialsand S + l'S + IS; humoses Hangabschwemmungsmaterial (nur an Unterhängen, in Hohlformen)
- xd* Kohlesand S + l'S + IS; kohlehaltiges Material auf Kippen mit > 0,5 bis 30 M.-% C in Form feinverteilter Kohle:  $\leq 25$  Vol.-% gerundetes Skelett

Weitere Substrate: *xm*, *nm*, *bm*, *is*, *im*

#### c) Lehmsubstrate

- p* Sandlehm sL; im Tiefland  $\leq 25$  Vol.-% gerundetes Skelett, im Bergland nicht über Festgestein
- q* Lehm L; im Tiefland  $\leq 25$  Vol.-% gerundetes, im Bergland nicht über Festgestein
- vq* Berglehm L; < 25 Vol.-% kantiges Skelett
- kl* Kieslehm sL + L; 25–50 Vol.-% gerundetes Skelett
- ol* Auenlehm sL + L; angeschwemmtes braunes bis graues Material (nur in Auen)
- xl* Kohlelehm sL + L; > 2 bis 30 M.-% C in Form feinverteilter Kohle;  $\leq 25$  Vol.-% gerundetes Skelett

Weitere Substrate: *vp*, *nl*, *el*

#### d) Schluffsubstrate

- sö* Sandlöß IU + UL mit > 20% Sand, sL + L mit > 30% Schluff
- ö* Löß U + IU + UI mit  $\leq 20$  Sand, in Thüringen auch uT mit > 50% Schluff

vö	Berglöß	IU + UL, sL + L mit > 30% Schluff; > 2 bis 10 Vol.-% kantiges Skelett
u	Schluff	U + IU + UL mit $\leq$ 20% Sand (außerhalb der Lößgebiete)
xu	Kohleschluff	U + IU + UL mit $\leq$ 20% Sand; > 2 bis 30 M.-% C in Form feinverteilter Kohle

Weitere Substrate: ou, eu

e) Tonsubstrate

t	Ton	uT + IT + sT + T; im Tiefland $\leq$ 25 Vol.-% gerundetes Skelett, im Bergland nicht über Festgestein
vt	Bergton	uT + IT + sT + T; < 25 Vol.-% kantiges Skelett
ot	Auenton	uT + IT + sT + T; angeschwemmtes braunes bis graues Material (nur in Auen)

Weitere Substrate: nt, et, xt

f) Organogene und andere Substrate

y	Mudde	organogenes Sediment, i. d. R. innerhalb von Mooren (Mudde)
h	Torf	> 30 M.-% organische Substanz enthaltendes Material
c	Kalk	Wiesenkalk mit > 30 M.-% CaCO <sub>3</sub>
x	Kohle	> 30 M.-% Kohlebestandteile enthaltendes Material

4.2.2. Kennzeichnung der Substratschichtung

Für die Bildung der Substrattypen wird das Substrat bis 15 dm u. Fl. berücksichtigt. Bleibt es bis zu dieser Tiefe durchgehend gleich, so handelt es sich um ein einschichtiges (einheitliches), wechselt es, um ein mehrschichtiges Substrat. Ein Substrat gilt auch dann als einheitlich, wenn die Unterschiede in der Körnungsort vorhandener Schichten gering und/oder abweichende Schichten  $\leq$  2 dm mächtig sind. Zur Kennzeichnung der Substratschichtung wurden drei Tiefenstufen gebildet:

- bis 3/4 dm u. Fl.
- 3/4 bis 8/9 dm u. Fl.
- 8/9 bis 15 dm u. Fl.

Entsprechend diesen Stufen werden folgende Benennungsregeln angewandt (s. TGL 24300/07):

a) Wechsel des Substrates oberhalb 3/4 dm u. Fl.

Kennsilbe:	Anwendungsfall:	Beispiele:
.. <i>bedeckt</i>	Deckschicht Mineralbodenmaterial (über Torf, Mudde, Kalk) oder Kalk	d'h sandbedeckte Torfschicht l'h lehmbedeckter Torf c'd kalkbedeckter Sand
.. <i>flach</i> ..	Deckschicht Torf oder Mudde	h'd Torfflachsand h'y Torfflachmuddschicht

Kommt nur für Torf, Mudde und Kalk in Frage; bei Kennworten mit mehr als 3 Begriffen kann aus sprachlichen Gründen ‚über‘ eingeschoben werden (z. B. h'y Torf über Flachmuddschicht)

b) Wechsel des Substrates zwischen 3/4 und 8/9 dm u. Fl.

Kennsilbe:	Anwendungsfall:	Beispiele:
Deck ..	unterlagernde Schicht Sand (Deckschicht darf nicht Torf sein)	l/d Decklehm c/d Deckkalk
.. <i>über</i> ..	unterlagernde Schicht Festgestein oder Bergmaterial	ö/g Löß über Gestein vö/vl Berglöß über Berglehm
.. <i>tief</i> ..	unterlagernde Schicht Lehm, Ton oder Deckschicht Torf	s/l Sandtieflehm ö/l Lößtieflehm h/d Torftiefsand

anstelle von ... tiefen auch ... kerf verwendbar

c) Wechsel des Substrates zwischen 8/9 und 15 dm u. Fl.

Kennzeichnung durch Verwendung des Kennwortes „unterlagert“, Symbol – ein doppelter Schrägstrich; die unterhalb 8/9 dm u. Fl. anstehenden Substrate werden dabei stärker zusammengefaßt: //d sandunterlagert, //l lehmunterlagert, //t tonunterlagert, //h torfunterlagert, //y muddunterlagert.

Bei den Decken im Bergland wird das unterlagernde Festgestein nicht als gesonderte Schicht betrachtet (Ausnahmen: halbfestes Tongestein, z. B. vl/vt).

Für Torf- und Muddesubstrate gibt es Sonderregelungen, die in Tabelle 4/1a und 4/1b zusammengefaßt sind. Es sei ergänzt, daß Torf- und Muddelagen von 2 bis 4 dm Mächtigkeit als „Band“, von > 4 bis 8 dm als „Schicht“ benannt werden.

Tabelle 4/1

Gliederung der Torfsubstrate (nach TGL 24 300/07)

a ohne Mineralbodendecke

Mächtigkeit der Torfdecke dm	Mächtigkeit des unterlagernden Substrates			
	Sand > 4 dm	Lehm > 4 dm	Mudde bei einer Moormächtigkeit von 8—12 dm      > 12 dm	
> 12	h Torf			
> 8 bis 12	h//d sand- unter- lager- ter Torf	h//l lehm- unter- lager- ter Torf	h//y mudd- schicht- unter- lagerter Torf	h//ȳ mudd- unter- lagerter Torf
> 4 bis 8	h/d Torftief- sand	h/l Torftief- lehm	h/y Torf über Tiefmudd- schicht	h/ȳ Torftief- mudd
> 2 bis 4	h'd Torf- flachsand	h'l Torf- flach- lehm	h'y Torf über Flachmudd- schicht	h'ȳ Torfflach- mudd

b mit Mineralbodendecke

Deck- substrat	Mächtigkeit des unterlagernden Torfes		
	2—4 dm	> 4—8 dm	> 8 dm
Sand	d'h' sandbedecktes Torfband	d'h sandbedeckte Torphschicht	d'h̄ sandbedeckter Torf
Lehm	l'h' lehmbedecktes Torfband	l'h lehmbedeckte Torphschicht	l'h̄ lehmbedeckter Torf
Ton	t'h' tonbedecktes Torfband	t'h tonbedeckte Torphschicht	t'h̄ tonbedeckter Torf

### 4.2.3. Verbreitete Substrattypen in der DDR

Häufig vorkommende, ein- und mehrschichtige Substrate werden als *Substrattypen* herausgestellt. Substrattypen sind zum Zwecke der Bodenkartierung und differenzierteren Bodenbeurteilung gebildete Haupteinheiten für die Gliederung der Bodensubstrate. Ihre Benennung erfolgt nach den im Abschnitt 4.2.1. und 4.2.2. angeführten Regeln. In Tabelle 4/2 wird eine Gesamtübersicht über wichtige Substrattypen gegeben. Insgesamt werden auf dem Territorium der DDR

- ~ 80 Substrattypen auf Mineralbodenstandorten
- ~ 20 Substrattypen auf Moorstandorten
- ~ 25 Substrattypen auf Kippstandorten

ausgeschieden, von denen allerdings nur etwa 1/6 stärker verbreitet vorkommen (s. auch Abb. 4/3). Für jeden Substrattyp gibt es eine Kurzkenzeichnung, die nachfolgend durch einige Beispiele belegt sei:

- ft* Felston: Oberhalb 3/4 dm u. Fl. beginnendes kompaktes bzw. aufgelockertes Festgestein mit einer geringmächtigen tonigen Verwitterungsdecke
- s* Sand: > 8/9 dm Sand bis schwach lehmiger Sand mit wenigen oder keinen Bändern
- s/l* Sandtieflern: 3/4 bis 8/9 dm Sand bis schwach lehmiger Sand über sandigem Lehm bis Lehm (einschl. IU + UL) von > 4 dm Mächtigkeit
- vm* Bergsalm: > 3/4 dm lehmsandiges Verwitterungs- und Umlagerungsmaterial mit < 25 Vol.-% kantigem Skelett über Schutt oder Festgestein
- p* Sandlehm: oberhalb 3/4 dm u. Fl. beginnender und tiefer als 8/9 dm u. Fl. reichender sandiger Lehm bis Lehm; mindestens in den oberen 4 dm als sandiger Lehm ausgebildet
- nl* Schuttlehm: > 3/4 dm sandlehmiges bis lehmiges Verwitterungs- und Umlagerungsmaterial mit 25–50 Vol.-% kantigem Skelett über Schutt oder Festgestein
- ol/d* Deckauenlehm: 3/4 bis 8/9 dm sandlehmiges bis lehmiges Auensediment über durchlässigem Lockermaterial von > 4 dm Mächtigkeit
- el* Kolluviallehm:  $\geq$  6 dm vorwiegend humoses Hangabschwemmungsmaterial aus sandigem Lehm bis Lehm, zum Teil geschichtet

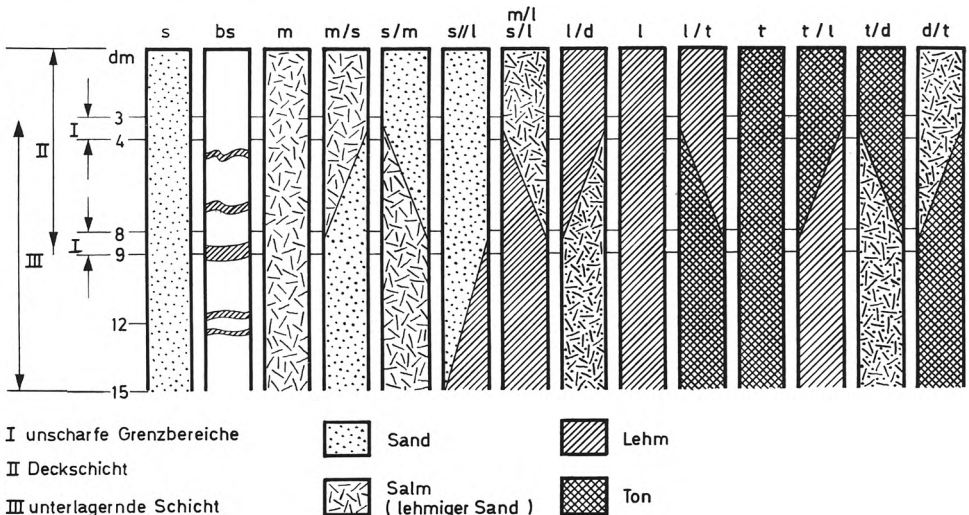


Abb. 4/3  
Schematische Darstellung charakteristischer Substrattypen der Sand-Lehm-Ton-Reihe

- ö/l Lößtieflehm: 3/4 bis 8/9 dm Löß über sandigem Lehm bis Lehm von > 4 dm Mächtigkeit  
 vö/vl Berglöß über (Berg)lehm: 3/4 bis 8/9 dm Berglöß über Berglehm  
 ou Auenschluff: > 8/9 dm schluffiges bis lehmiges Auensediment, mindestens die oberen 4 dm als Schluff ausgebildet  
 xu Kohleschluff: > 8 dm verstärzter Schluff mit > 2 bis 30% C in Form feinverteilter Kohle  
 vt Bergton: > 3/4 dm toniges Verwitterungs- und Umlagerungsmaterial mit < 25 Vol.-% kantigem Skelett über Fest- oder Tongestein  
 ol/ot Auenlehmkerf: 3/4 bis 8/9 dm sandlehmiges bis lehmiges Auensediment über Ton von > 4 dm Mächtigkeit  
 h Torf: > 12 dm Torf (Nto Ia)  
 h/ÿ muddunterlagerter Torf: > 8 bis 12 dm mächtiger Torf über Mudde, Moormächtigkeit > 12 dm  
 h/s Torftiefsand: > 4 bis 8 dm Torf über sandigem Material von > 4 dm Mächtigkeit  
 d'h' sandbedecktes Torfband: 2 bis 6 dm Sand bis lehmiger Sand über Torf von 2 bis 4 dm Mächtigkeit

Auch die Substrattypen können je nach Gruppierungsziel in verschiedener Weise zusammengefaßt werden, so z. B. nach

- der dominierenden Körnungsart im oberen Profilteil in skelettreiche, sandige, lehmige, schluffige, tonige und organogene Substrattypen (sog. Substratgruppen)
- der Schichtung in ein- und mehrschichtige Substrattypen
- dem Verbreitungsgebiet in Tiefland-, Löß(hügelland)-, Berg(land)-, Auen- und Kippsubstrate

### 4.3. Allgemeine Systematik der Böden

Der Horizontaufbau ist Grundlage für die profilbezogene Einteilung der Böden, die in hierarchisch aufgebauten Kategorien vollzogen wird. Diese Kategorien sind die Ordnungsstufen eines Klassifikationssystems, das man als Bodensystematik bezeichnet.

#### 4.3.1. Horizonteinteilung

Horizonte sind charakteristische, meist oberflächenparallel verlaufende Lagen im Solum, deren Entstehung durch Bodenentwicklung und Bodenkultur bedingt ist. Die Benennung der Horizonte erfolgt durch Symbole, die aus einem Großbuchstaben (Horizontgruppe) und einem nachgestellten Kleinbuchstaben bestehen.

Nach ihrer Lage im Profil kann eine grobe Zusammenfassung von Horizonten in *Oberboden*, *Unterboden* und *Untergrund* vorgenommen werden (s. Abschn. 2.2.). Zwischen Ober- und Unterboden schieben sich bei Böden mit stärkerer abwärtsgerichteter Stoffverlagerung sogenannte Zwischenhorizonte ein, die in der Praxis im allgemeinen schon zum Unterboden gerechnet werden, ihrem pedogenen Charakter nach aber eher zum Oberboden gehören (insbesondere E-, z. T. auch B-Horizonte). Torfhorizonte können in allen Lagen vorkommen.

#### Übersicht über die Horizonte

Nachfolgende Einteilung der Horizonte wird bei den landwirtschaftlich genutzten Böden der DDR vorgenommen (s. TGL 24300/08):

##### a) A-Horizonte

Alle Oberbodenhorizonte mit einem Gehalt an organischer Substanz bis zu 30% (s. S. 154):

## Übersicht über die wichtigsten Substrattypen entsprechend ihrer Gliederung in Deck- und unterlagernde Schicht

unterlagernde Schicht ab 3/4 bis 8/9 dm u. Fl.	Deckschicht 3/4 bis 8/9 dm mächtig								
	Gestein Schutt	Sand	Salm	Sandlehm	Lehm	Schluff	Löß	Ton	Torf
Gestein Schutt	fs, fl, ft FELS... n	vs Bergsand*) ns Schuttsand*)	vm Bergsalm*) nm	vp Berg- sandlehm nl Schuttlehm*)	vq Berglehm*)	vö Bergtlöß ö/g Löß u. Gestein	vt Bergton*) nt Schuttton*)	h/g Torf über Gestein	
Sand	s SAND bs Bändersand	m/d Decksalm om/d Deckauensalm	p/d Deck- sandlehm ol/d Deckauensalm	q/d Decklehm	u/d Deckschluff ou/d Deck- auenschluff	ö/d Decktlöß sö/d Decksandtlöß	ot/d Deck- auenton	h/d Torf- tiefsand	
Salm	s/m Tiefsalm	m SALM om Auensalm							
Sandlehm			P SAND- LEHM ol Auenlehm	l LEHM	u Schluff	ö/l Lößtieflehm sö/l Sandtlöß ü. Lehm	ot/l Auenton über Lehm	h/l Torf- tieflehm	
Lehm	s/l Sand- tieflehm	m/l Salm- tieflehm			ou AUEN- SCHLUFF				
Schluff									
Löß						ö LÖß sö Sandtlöß			

Tabelle 4/2 Fortsetzung

Übersicht über die wichtigsten Substrattypen entsprechend ihrer Gliederung in Deck- und unterlagernde Schicht

unterlagernde Schicht ab 3/4 bis 8/9 dm u. Fl.	Deckschicht 3/4 bis 8/9 dm mächtig	Gestein Schutt	Sand	Salm	Sandlehm	Lehm	Schluff	Löß	Ton	Torf
Ton	d/t (Sand-)Tiefton			l/t Lehmkerf		ou/t Auenschluff- kerf	ö/t Lößkerf	ot AUENTON t Ton	h/t Torf- tiefton	
Torf	d'h' sandbed. Torfband d'h sandbed. Torfschicht d'h̄ sandbedeckter Torf			l'h̄ lehmbedeckter Torf				t'h̄ tonbedeckter Torf	h TORF	

\*) Deckschicht zum Teil auch mächtiger

- Ah** Humushorizont: in der Regel an die Oberfläche gebundener, gegenüber dem liegenden Teil des Solum humusreicherer Horizont
- Ap** Ackerkrume (Krumenhorizont): spezielle Form des Ah-Horizontes, ständig bearbeiteter Teil des Bodens
- Aw** Wurzelfilzhorizont: stark von Wurzeln durchsetzter Teil des Ah-Horizontes unter Dauergrünland
- Ahg** Hydromorpher Humushorizont: von Nässemerkmalen (Bleichflecke, Rostflecke, Konkretionen) durchsetzter Humushorizont bei Stauleylen; in Grundleylen als AhG bezeichnet
- Ai** Immissionshorizont: durch Immission, vornehmlich Flugasche, beeinflusster A-Horizont

**b) E-Horizonte**

Alle zwischen A-Horizont und braunem Unterboden liegende, aufgehellte Zwischenhorizonte mit gegenüber dem darunter folgenden Horizont deutlicher Verarmung an Ton, Humus und/oder Sesquioxiden:

- Et** Fahlorizont: anhydromorpher fahler Horizont; gegenüber dem darunter folgenden Bt tonärmer; Rostflecken fehlen oder sind nur vereinzelt vorhanden
- Es** Aschhorizont: anhydromorpher aschfarbener Horizont; gegenüber dem darunter folgenden Bs bzw. Bh sesquioxid- und/oder humusärmer; Rostflecken fehlen oder sind nur vereinzelt vorhanden
- Eg** hydromorpher Bleichhorizont: durch Stauwasser gebleichter Horizont; hat unterschiedliche Anteile an Rostflecken und Konkretionen; wird von einem Bg unterlagert  
Egk: an Konkretionen reicher Eg

**c) B-Horizonte**

Alle braunen Unterboden- und Zwischenhorizonte:

- Bv** Braunhorizont: anhydromorpher brauner Horizont in Böden außerhalb der Auen; ohne wesentliche Verlagerungsmerkmale für Ton, Sesquioxide und Humus; Rost- und Bleichflecken fehlen oder sind nur vereinzelt vorhanden
- Ba** Gefügeumbildungshorizont: anhydromorpher brauner Horizont in Auenböden; unterscheidet sich vom gleichfarbenen Untergrund nur im Gefüge; Rost- und Bleichflecken fehlen oder sind nur vereinzelt vorhanden
- Bs** Sesquioxid-Orthorizont: anhydromorpher dunkelbrauner Horizont; vorwiegend durch Einwanderungsmerkmale von Sesquioxiden geprägt; deutlich höherer Sesquioxidgehalt als in den begrenzenden Horizonten; Bh: durch Humus geprägter Orthorizont
- Bt** Tonhäutchenhorizont: anhydromorpher brauner bis rötlichbrauner Horizont; mit deutlichen Verlagerungsmerkmalen von Ton (Tonhäutchen auf den Gefügekörpern); Tongehalt in der Regel höher als in den begrenzenden Horizonten; Rost- und Bleichflecken fehlen oder sind nur vereinzelt vorhanden; Bth: mit schwärzlichen Tonhäutchen
- Bb** Bänderhorizont: anhydromorpher, von braunen unregelmäßig verlaufenden Bändern durchsetzter Horizont; Sonderform des Bt in sandigem Material
- Bg** Marmorierungshorizont: durch Stau- und/oder Haftwasser geprägter hydromorpher Horizont; Rost- und Bleichflecken und/oder -adern treten deutlich hervor (> 10% Flächenanteil)
- Bp** Rigol-B-Horizont: durch Zweischicht-Bodenbearbeitung erfaßter B-Horizont, sofern er nicht in den Ap-Horizont einbezogen ist

**d) G-Horizonte**

Durch Grundwasser geprägte hydromorphe Unterbodenhorizonte (seltener Zwischenhorizonte):



- Go Rostabsatzhorizont: mit oxidiertem Eisen angereicherter Horizont; durchgehend oder großfleckig rostbraun
- Gr Reduktionshorizont: durchgehend hell- bis blau- oder grüngrauer Horizont; frei bis fast frei von Rostflecken, nur in tonigem Material Roströhren möglich; i. d. R. deutlich vom darüber liegenden rostfarbenen Horizont abgesetzt

e) C-Horizonte

Wenig oder nicht von der Bodenbildung beeinflusstes mineralisches Material mit noch weitgehend erhaltenem gesteinstypischem Gefüge (Untergrund):

- Cc Karbonat-C-Horizont: anhydromorph; mit Kalziumkarbonat angereicherter oberer Teil des Untergrundes ohne sonstige pedogene Merkmale
- Cg Marmorierter C-Horizont: durch Haft- und Stauwasser rost- und bleichfleckiger Untergrund

f) T-Horizonte

Alle Torfhorizonte mit einem Gehalt an organischer Substanz von > 30%:

- Tv Vererdungshorizont: durch sekundäre aerobe Zersetzung torfspezifisch gekrümelter (vererdeter) Horizont
- Tm Vermullungshorizont: durch verstärkte sekundäre aerobe Zersetzung von Torf degradierter Vererdungshorizont; im trockenen Zustand körnig-pulvrig (vermullt) mit hohem Benetzungswiderstand
- Ta Torfbröckelhorizont: durch sekundäre Schrumpfung und teilweise anaerobe Zersetzung torfspezifisch bröcklig und klumpig; bei gleicher Torfart gegenüber Untergrund dunkler; Eisenausfällungen möglich
- Ts Torfschrumpfungshorizont: durch sekundäre Schrumpfung und gehemmte (anaerobe) Zersetzung verdichteter Torf mit spezifischem Kohärent-/Prismengefüge; bei gleicher Torfart gegenüber Untergrund dunkler; teilweise durch Eisen durchweg oder fleckig rostbraun gefärbt
- T Torfhorizont: wenig oder nicht von einer jungen Bodenbildung (sekundär) beeinflusster Torf

**Weitere Differenzierung der Horizonte**

Eine Untergliederung der Horizonte wird mittels arabischer Ziffern angezeigt (z. B. Bt1, Bt2, Bt3). Schwach ausgeprägte Horizonte werden durch Apostroph gekennzeichnet (z. B. Bt'g, Btg'). *Mischhorizonte*, bei denen Merkmale zweier Horizonte nebeneinander auftreten, sind durch Kombination der betreffenden Buchstaben zu symbolisieren (z. B. AhEs, Bvg). *Übergangshorizonte*, bei denen ein Übergangs- bzw. Verzahnungsbereich von > 1,5 dm ausgebildet ist, werden durch Schrägstrich gekennzeichnet (z. B. Et/Bt, Ta/Ts). *Begrabene Horizonte* sind durch ein vorgestelltes f zu symbolisieren (z. B. fAh). *Reliktische Horizonte*, d. s. Horizonte, die unter anderen Bedingungen gebildet wurden als heute herrschen, kennzeichnet man durch eckige Klammern (z. B. [Ap] = ehemalige Ackerkrume unter heutiger Grünlandnutzung). Bei Böden, die sich aus unterschiedlichen Ausgangssubstraten entwickelt haben, können die Horizontsymbole substratbezogen zusätzlich mit von oben nach unten fortlaufenden römischen Ziffern versehen werden (z. B. Ap/Eg/Btg/IIBg; die Ziffer I ist wegzulassen)

**4.3.2. Kategorien der Bodensystematik**

Die wichtigste Kategorie der Bodensystematik ist der Bodentyp. Zu einem Bodentyp gehören Böden, die im Verlauf ihrer Entwicklung eine größere Anzahl ähnlicher Eigenschaften erwarben, so daß sie heute eine annähernd gleiche pedogene Merkmalskombination aufweisen. Jeder Bodentyp ist durch eine ihm eigene charakteristische Horizontabfolge gekennzeichnet.

Typen sind die wichtigste Stütze einer Klassifikation. Unter einem „Typ“ versteht man ganz allgemein eine empirisch vorgefundene ganzheitliche Merkmalsassoziation, die in den ihm zugeordneten Individuen in unterschiedlichem Maße ausgeprägt ist. Dementsprechend haben Typen einen festen Kern (zentrales Konzept), aber keine scharfen Grenzen. Das gleiche gilt für den Bodentyp. Inzwischen konnten aber auf der Grundlage umfangreicher Analysen und Beobachtungen objektive Merkmale (diagnostische Kriterien) auch zur Abgrenzung der einzelnen Bodentypen gegeneinander erarbeitet werden (s. Abschn. 4.5. bis 4.7.).

Die Bodentypen lassen sich sowohl in höheren Ordnungsstufen zusammenfassen als auch weiter unterteilen. Nahe verwandte Bodentypen werden so beispielsweise zu Typengruppen, Klassen, diese wiederum zu Abteilungen zusammengefaßt. Die Unterteilung erfolgt in Subtypen und Varietäten (vgl. Abb. 4/2).

### **Kategorien oberhalb des Bodentyps**

Oberste Kategorie der Bodensystematik ist die **Abteilung**. Es werden drei Bodenabteilungen unterschieden, die anhydromorphen Böden, die hydromorphen Mineralböden und die Moorböden. Unter *Hydromorphie* versteht man eine Prägung des Solum durch Stau-, Haft- und/oder Grundnässe. Dieser Gruppierung liegen also nicht zuletzt auch ökologische Überlegungen zugrunde.

Unterhalb der Abteilung folgt die **Klasse**. In der Bodenklasse werden Bodentypen nach dem prinzipiellen Charakter und der Richtung der Bodenentwicklung zusammengefaßt, wobei etwa die gleiche Grobhorizontierung vorliegt.

### **Kategorien unterhalb des Bodentyps**

Die erste Kategorie unterhalb des Bodentyps ist der **Subtyp**. In den Bodensubtypen werden wichtige Modifikationen der Bodentypen berücksichtigt. Es sind folgende Arten von Subtypen zu unterscheiden (s. Tab. 4/3):

#### **a) Normsubtyp (N)**

Entspricht dem zentralen Konzept, d. h. der engsten Definition des Bodentyps und damit seiner typischen Ausbildung; Bezeichnung als „Norm ...“ bzw. „typische ...“ (z. B. Normschwarzerde oder typische Schwarzerde); in der Systematik der landwirtschaftlich genutzten Böden schließt „Norm“ einen Ap- bzw. Aw-Horizont von normaler Mächtigkeit ein

#### **b) Übergangssubtyp (Ü)**

Umfaßt die Übergänge zwischen den Bodentypen; Benennung i. d. R. durch Kombination von Kennworten beider Typen; an letzter Stelle steht der Typ, dem der Subtyp zugeordnet ist (z. B. Braunschwarzerde als Subtyp der Schwarzerde)

#### **c) Subtyp mit Sondermerkmalen (S)**

Umfaßt diejenigen Subtypen, bei denen pedogen wichtige Merkmale hinzukommen, die nicht zu einem anderen Typ überleiten (provinzielle, pedogene und nutzungsbedingte Besonderheiten); Benennung durch Kombination der Merkmals- mit der Bodentypenbezeichnung (z. B. Sauerbraunerde); Kipp-Subtypen werden dieser Gruppe zugeordnet.

Früher schied man i. d. R. zwei Übergangssubtypen zwischen zwei Typen aus. Das ist einerseits vom System her gesehen logisch, andererseits aber zu schematisch. Da zudem die Festlegung der Grenzen im Gelände meist schwerfällt (insbesondere bei Kartierungsarbeiten), wurde es für zweckmäßig gehalten, nur noch einen Übergangssubtyp zu belassen. Dieser umfaßt nahezu den gesamten Übergangsbereich, d. h. den größten Teil der bisher in zwei Subtypen aufgespaltenen Böden. Auf diese Weise wurde die Anzahl der Grenzen zwischen jeweils zwei Normsubtypen von 3 auf 2 verringert (s. Abb. 4/4). Die Zuordnung des Übergangssubtyps erfolgt konventionell zu einem der beiden benachbarten Typen. In

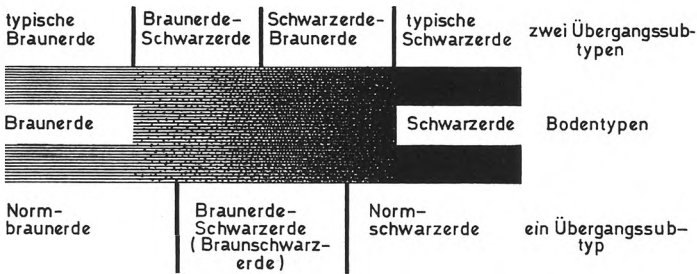


Abb. 4/4  
Schema der möglichen Abgrenzung von Übergangssubtypen

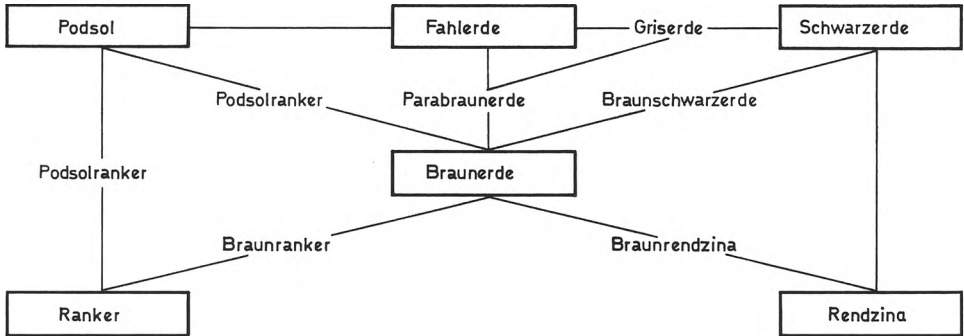


Abb. 4/5  
Schematische Darstellung der Einordnung von Übergangssubtypen bei den anhydromorphen Bodentypen

Abbildung 4/5 ist anhand der anhydromorphen Bodentypen die Stellung der Übergangssubtypen demonstriert.

Eine Reihe von Subtypen, die unter Wald noch deutlich ausgeprägt sind, werden nach Inkulturnahme im Oberboden so stark homogenisiert, daß sie nicht mehr abgrenzbar sind. Solche Böden ordnet man entweder verwandten, meist den Normsubtypen, zu, oder sie werden als neue Subtypen bzw. Typen in die Systematik eingereiht (z. B. Rosterde, Rigolerde).

Bei Bedarf ist es möglich, die Subtypen weiter in Varietäten zu untergliedern. In den Bodenvarietäten werden alle feineren qualitativen und quantitativen Modifikationen zum Ausdruck gebracht.

### 4.3.3. Übersicht über die Systematik der landwirtschaftlich genutzten Böden der DDR

Mit Hilfe der Bodensystematik werden die Böden unter Berücksichtigung ihrer verwandtschaftlichen Beziehungen nach einem hierarchischen System klassifiziert. Fast jedes Land hat seine eigene Klassifikation, was auf die spezifischen natürlichen Bedingungen und die jeweilige historische Entwicklung der Bodenkunde in den betreffenden Ländern zurückzuführen ist. Das erschwert zum Teil erheblich einen Vergleich der verschiedenen Böden über größere Naturräume hinweg.

In einigen Ländern bemüht man sich, für eine Objektivierung der Bodenklassifikation die elektronische Datenverarbeitung (EDV) einzusetzen. Dieser Zweig der Bodenkunde wird numerische Bodenklassifikation genannt. Im einzelnen geht es darum, mit Hilfe der EDV aus zahlreichen Merkmalen und Eigenschaften der Böden eine maximale Übereinstimmung abzuleiten und danach eine Klassenbildung vorzunehmen, d. h. Gruppen

Übersicht über die allgemeine Bodensystematik der DDR mit Parallelisierung zu den Einheiten der Weltbodenkarte (FAO-Klassifikation)

Bodenklasse	Bodentyp	Bodensubtypen	Einheiten der FAO-Klassifikation	systematische Einheiten der landwirtschaftlichen Hauptbodenformen	
<b>Abteilung A: Anhydromorphe Böden</b>					
<b>I:</b> Schwach differenzierte Böden ( <i>Inceptisols</i> )	Ranker	Normranker/N/ Braunranker/Ü/ Ackerranker/S/ Kippanker/S/	Ranker Ranker Eutric Regosol Eutric <sup>8</sup> Regosol	} A Ranker	
		Normrendzina/N/ Braunrendzina/Ü/ Ackerrendzina/S/ Kipprendzina/S/	Rendzina Rendzina Calcic Regosol Calcic Regosol		} C Rendzina
		Vega	Braunvega/N/ Schwarzvega/S/ Kalkvega/S/	Eutric Fluvisol Haplic Phaeozem Calcic Fluvisol	
			Schwarzerde	Normschwarzerde/N/ Kalkschwarzerde/S/ Feuchtschwarzerde/S/ Braunschwarzerde/Ü/ (Hortisol)	Haplic + Calcic Chernozem <sup>9</sup> Haplic + Calcic Phaeozem Haplic + Calcic Chernozem (mehrere Möglichkeiten)
<b>III:</b> Stärker differenzierte (braune) Böden	Braunerde	Normbraunerde/N/  Sauerbraunerde/S/ Kalkbraunerde/S/ (Rumpfbraunerde) <sup>1</sup> /S/ Rosterde/Ü/	Eutric Cambisol Campic <sup>4</sup> + Luvic <sup>5</sup> Arenosol Dystric Cambisol Calcic Cambisol Campic Arenosol Leptic Podsol	} B Braunerde     R Rosterde	

Bodenklasse	Bodentyp	Bodensubtypen	Einheiten der FAO-Klassifikation	systematische Einheiten der landwirtschaftlichen Hauptbodenformen	
Abteilung B: Hydromorphe Mineralböden IV: Staunäseböden	Podsol	(Braunpodsol)/Ü/ Rostpodsol*/N/ (Humuspodsol*)/S/ (Eisenpodsol*)/S/ (Jungpodsol*)/S/	Leptic Podzol Orthic Podzol Humic Podzol Orthic Podzol Leptic Podzol	D Podsol	
		Fahlerde	Normfahlerde/N/ Parabraunerde/Ü/ Ackerparabraunerde/S/ (Rumpffahlerde) Griserde/Ü/		F Fahlerde P Parabraunerde
		Rigolerde	Normrigolerde/N/ Kipprigolerde/S/		Orthic Greyzem (mehrere Möglichkeiten) (mehrere Möglichkeiten)
	Humusstaugley Anmoorstaugley	Staugley (Pseudogley)	Bleichstaugley/N/ Haftgley/S/ Rostabsatzstaugley/Ü/ Braunstaugley/Ü/ Parabraunstaugley/Ü/ Fahlstaugley/Ü/ Roststaugley/Ü/ (Ortstaugley)/Ü/ Grisstaugley/Ü/ Schwarzstaugley/Ü/	Gleyic Podzoluvisol + Dystric Planosol Gleyic Luvisol* Gleyic Podzoluvisol Gleyic Cambisol* Gleyic <sup>10</sup> Luvisol Gleyic <sup>10</sup> Podzoluvisol Gleyic Luvisol Gleyic Podzoluvisol Gleyic <sup>10</sup> Greyzem Gleyic Phaeozem Gleyic Luvisol + Gleyic Phaeozem Humic Planosol	S Staugley U Braunstaugley J Schwarzstaugley H Humusstaugley

Tabelle 4/3 Fortsetzung

Bodenklasse	Bodentyp	Bodensubtypen	Einheiten der FAO-Klassifikation	systematische Einheiten der landwirtschaftlichen Hauptbodenformen	
V: Grundwasser- böden ( <i>Gleysols</i> )	Plastosol	Braunlehm(N) Rotelehm(N)	Chromic Luvisol + Chromic Cambisol	X <i>Amphigley</i>	
	Amphigley (Staugley-Gley)	Normamphigley/N/ Parabraunamphigley/Ü/ Fahlamphigley/Ü/ Vegaamphigley/Ü/ Schwarzamphigley/Ü/	Eutric Fluvisol <sup>12</sup> Gleyic <sup>10</sup> Luvisol Gleyic <sup>10</sup> Podzoluvisol Eutric Fluvisol Haplic Phaeozem Gleyic Phaeozem		Y <i>Halbamphigley</i>
	Humusamphigley			dem Humusgley zu- geordnet	
	Grundgley	Graugley/N/ Kalkgley/S/ Rankergley/Ü/ Rostgley/Ü/ Ortgley/Ü/	Eutric <sup>2</sup> Gleysol <sup>13</sup> Calcaric Gleysol Dystric Gleysol Gleyic Podzol	G <i>Gley</i>	
	Braungley	Braungley/Ü/ Vegagley/Ü/ Kalkvegagley/S/ Schwarzgley/Ü/ (Gleyrendzina)/Ü/ (Rankergley)/Ü/	Gleyic Cambisol Eutric Fluvisol <sup>14</sup> Calcaric Fluvisol Haplic Phaeozem	Braungley K <i>Vegagley</i>	
	Humusgley	Normhumusgley/N/ Kalkhumusgley/S/	Calcaric Gleysol Dystric Gleysol Mollic <sup>11</sup> Gleysol Mollic Gleysol	M <i>Humusgley</i>	
	Anmoorgley	Normanmoorgley/N/ Kalkanmoorgley/S/	Mollic <sup>11</sup> Gleysol Mollic Gleysol	O <i>Anmoor</i>	
					Z <i>Schwarzgley</i>

Bodenklasse	Bodentyp	Bodensubtypen	Einheiten der FAO-Klassifikation	systematische Einheiten der landwirtschaftlichen Hauptbodenformen
<b>Abteilung C: Organische Böden</b>				
VI: Niedermoorböden	Ried (Moorgley, Gleymoor, Moorstaugley, Moorstaugley, Fen Staugleymoor, Moor)			Ni <i>Ried</i>
	Fen	Riedfen/Ü/ Erdfen/N/ Mulmfen/S/	Eutric Histosol + Mollic Gleysol	Nf <i>Fen</i> Ne <i>Erdfen</i> Nu <i>Mulm</i>

VII:

Hoch- und Übergangsmoorböden

Dystric Histosol<sup>15</sup>

/N/ = Normsubtypen, /Ü/ = Übergangssubtypen, /S/ = Subtypen mit Sondermerkmalen (s. Text)

- <sup>1</sup> ( ) = unter Wald ausgeschiedene Einheiten, die in der Ackerbodensystematik nicht mehr berücksichtigt werden
- <sup>2</sup> seltener Dystric
- <sup>3</sup> Tieflehm-Schwarzerde: Luvic Phaeozem
- <sup>4</sup> Sand-Braunerde/Rosterde
- <sup>5</sup> Bändersand-Braunerde/Rosterde
- <sup>6</sup> unter Wald werden von diesen Subtypen diejenigen mit einem höheren Humusvorrat in der Humusaufgabe gesondert als Filz... abgetrennt
- <sup>7</sup> bei fehlenden Zungen: Albic Luvisol
- <sup>8</sup> bei fehlendem Tonhäutenhorizont: Orthic Gleysol
- <sup>9</sup> bei oberhalb 5 dm u. Fl. beginnenden Hydromorphiemerkmalen: Orthic Gleysol
- <sup>10</sup> auch Orthic möglich
- <sup>11</sup> seltener Humic
- <sup>12</sup> mit Tonhäutenhorizont: Gleyic Luvisol
- <sup>13</sup> innerhalb der Auen: Eutric Fluvisol
- <sup>14</sup> Schwarzvegetagley: Haplic Phaeozem
- <sup>15</sup> geringmächtige Moore: Humic Gleysol oder Eutric Histosol

größter Ähnlichkeit aufzustellen. Nach dem Grad der Übereinstimmung ist eine Staffelung von hoher zu geringer Ähnlichkeit und damit eine hierarchische Ordnung möglich. In der DDR hat sich im Verlauf des letzten Jahrzehnts im Zuge der Einführung der Bodenformen die in Tabelle 4/3 dargestellte allgemeine Systematik durchgesetzt und als naturwissenschaftliche Grundlage einer profilbezogenen Bodengruppierung bewährt. Die anthropogenen Bildungen (Kultosole) sind unmittelbar mit eingebaut. Sie werden jeweils als Typ oder Subtyp dort plaziert, wo sie entsprechend ihrer Horizontkombination am günstigsten einzuordnen sind. Es lassen sich jederzeit auch weitere Kultosole aufnehmen, so zum Beispiel solche, die zwar noch eine Reihe von Merkmalen des ehemaligen Bodentyps aufweisen, inzwischen aber schon tiefer bearbeitet wurden, wie Rigolschwarzerden, Rigolparabraunerden u. a.

Die hydromorphen Mineralböden und die organischen Böden lassen sich nicht nur in Staugleye, Grundgleye und Moore, sondern unter dem Aspekt der Vernässungsintensität auch in halb- und vollhydromorphe Böden untergliedern. Bei den halbhydromorphen Böden schiebt sich zwischen Oberboden und hydromorphen Unterboden ein anhydromorpher Zwischenhorizont ein, bei den vollhydromorphen fehlt dieser oder ist nur geringmächtig bzw. undeutlich ausgebildet. Danach gehören die Übergangssubtypen der Stau-, Amphi- und Grundgleye zu den halbhydromorphen, die anderen Subtypen dieser Bodentypen zu den vollhydromorphen Böden.

Zwischen Acker- und Waldbodensystematik bestehen in der DDR viele Gemeinsamkeiten, da das Grundkonzept abgestimmt wurde. Die Klassifikation der Waldböden weicht nur darin ab, daß einerseits noch Subtypen enthalten sind, die unter Acker infolge Kultivierung und erosiver Vorgänge nicht mehr identifiziert werden können, und andererseits die anthropogenen Böden entfallen. Aus den gleichen Gründen gibt es bei einigen Subtypen auch bestimmte Verschiebungen. In Tabelle 4/3 sind die unter Wald ausgeschiedenen und in der Ackerbodensystematik nicht mehr gesondert berücksichtigten Böden in Klammern gesetzt.

#### 4.3.4. Einordnung der Böden der DDR in die internationale Bodenklassifikation

Es gibt die verschiedensten Bemühungen, weltweite Bodenklassifikationen zu erstellen. Ein System, das international allmählich Eingang findet, ist die unter Federführung der FAO entwickelte *Legende der neuen Weltbodenkarte*. Nach den Einheiten dieser Klassifikation wurde auch die neue Bodenkarte Europas erarbeitet. Die Namen sind aus lateinischen und griechischen Wörtern abgeleitet und in die englische Sprache übertragen worden. Nachfolgend werden die für das Gebiet der DDR in Frage kommenden Haupteinheiten der FAO-Klassifikation erläutert (FAO 1974):

- *Regosols\**): Rohböden auf Lockermaterial (außer Auensedimenten) mit schwach ausgeprägtem, fahlem Humushorizont und sonst keinen weiteren Horizonten
- *Arenosols\**): Böden aus sandigem (> 65% Sand, < 18% Ton) Material (außer Auensedimenten) mit Braun- und Bänderhorizonten
- *Rankers\**): Böden mit deutlich ausgeprägtem Humushorizont bis 2,5 dm Mächtigkeit und sonst keinen weiteren Horizonten (nicht auf Auensedimenten)
- *Rendzinas\**): Böden in oder unmittelbar über Material mit mindestens 40% CaCO<sub>3</sub>
- *Chernozems\*\**): Schwarzerden mit Karbonat-C-Horizont oder Kalkpuder im Solum oberhalb 7,5/12 dm u. Fl.
- *Phaeozems\*\**): „degradierte“ (farblich aufgehellte) Schwarzerden und schwarzerdeähnliche Böden ohne Karbonat-C-Horizont oder Kalkpuder, z. T. mit Tonhäutchenhorizont

\*) oberhalb 5 dm u. Fl. keine Hydromorphiemerkmale

\*\*) oberhalb 5 dm nur bei Vorhandensein von Tonhäutchenhorizonten Hydromorphiemerkmale möglich



- *Greyzems*: humusreichere texturdifferenzierte Böden mit gebleichten Humusüberzügen im Tonhäutchenhorizont
- *Cambisols*\*): Böden mit Braunhorizont
- *Luvisols*: Böden mit braunem Tonhäutchenhorizont, einer höheren Basensättigung ( $V = > 50\%$ ) in demselben und fehlender Zungenbildung vom Fahl- zum Tonhäutchenhorizont
- *Podzoluvisols*: texturdifferenzierte Böden mit deutlichem Fahlhorizont und scharfer, aber unregelmäßiger (zungenförmiger) Grenze von diesem zum Tonhäutchenhorizont
- *Podzols*: Böden mit Orthhorizont
- *Planosols*: Böden mit stark ausgeprägtem hydromorphem Bleichhorizont über einem schwach durchlässigen Marmorierungshorizont
- *Fluvisols*: Böden auf Auensedimenten mit geringer Profildifferenzierung
- *Gleysols*: Böden auf lockerem Material (außer Auensedimenten) mit hydromorphen Merkmalen oberhalb 5 dm u. Fl. und keinem Tonhäutchenhorizont
- *Histosols*: organische Böden mit Torf von mindestens 4/6 dm Mächtigkeit

Diese Haupteinheiten sind i. d. R. in mehrere *Untereinheiten* aufgegliedert, die etwa unseren Subtypen entsprechen. Ihre Benennung erfolgt durch Voranstellen eines Adjektivs, das entweder aus anderen Haupteinheiten inhaltlich abgeleitet ist oder einen neuen Begriff darstellt. Abgeleitete Adjektive sind z. B. *Luvic* (von Luvisol), *Campic* (von Cambisol) und *Gleyic* (von Gleysol). Als neue Begriffe wurden eingeführt (FAO 1974):

- *Calcaric*:  $\text{CaCO}_3$  im Solum vorhanden
- *Calcic*: starker Karbonatanreicherungshorizont oberhalb 7,5/12 dm u. Fl. vorhanden, z. B. bei Schwarzerden
- *Dystric* (von dystroph, grch. = nährelementarm): gering gesättigt ( $V = < 50\%$ )
- *Eutric* (von eutroph, grch. = nährelementreich): hochgesättigt ( $V = > 50\%$ )
- *Albic* (von albus, lat. = weiß): Fahlhorizont vorhanden
- *Chromic* (von chromos, grch. = Farbe): B-Horizont intensiv braun bis rötlich gefärbt
- *Haplic* (von haplos, grch. = einfach): einfach bzw. gewöhnlich („normal“) ausgebildet
- *Humic*: reich an gering gesättigter ( $V = < 50\%$  bzw. pH-Wert in Wasser  $< 5,5$ ) organischer Substanz
- *Mollic* (von mollis, lat. = mild): reich an hoch gesättigter ( $V = > 50\%$  bzw. pH-Wert in Wasser  $> 5,5$ ) organischer Substanz
- *Leptic* (von leptos, grch. = flach): schwach entwickelt, z. B. die Horizonte in Podsolen
- *Orthic* (von orthos, grch. = echt): „normal“ ausgebildet, im ähnlichen Sinne wie Haplic verwendet

Die Parallelisierung der Subtypen der DDR-Bodensystematik mit den Einheiten der FAO-Klassifikation ist Tabelle 4/3 zu entnehmen.

#### 4.4. Profilbezogene Klassifikationen für die Praxis

##### 4.4.1. Bodenformen als spezielle bodensystematische Einheiten

###### Überblick

Entsprechend den Bedingungen und Erfordernissen der Praxis war es zweckmäßig, das im vorangegangenen Abschnitt angeführte Ordnungsprinzip der allgemeinen Bodensystematik für den Gebrauch in der Kartierungspraxis abzuwandeln. Als neue Einheiten wurden in der DDR sog. Bodenformen gebildet. Bodenformen sind spezielle bodensystematische Einheiten, in denen Substrat- und Horizontabfolge gleichrangig berücksichtigt werden. Über den Bodentyp bleibt die Möglichkeit erhalten, die Bodenformen in die allgemeine Bo-

densystematik einzuordnen. Räumlich können die Bodenformen als Pedotope interpretiert werden. Drei Kategorien (Niveaus) von Bodenformen sind zu unterscheiden (vgl. Abb. 4/2):

**a) Hauptbodenform**

Haupteinheit der Bodenformenklassifikation; gekennzeichnet durch Kombination von Substrattyp und Bodentyp/-subtyp (z. B. Sand-Rosterde); umfaßt Böden, die in ihren stabilen Merkmalen und Eigenschaften so weit übereinstimmen, daß sie für die wissenschaftliche und praktische Bodenbeurteilung als im wesentlichen gleichartig angesehen werden können

**b) Lokalbodenform**

Untereinheit der Hauptbodenform; umfaßt Böden mit solchen feineren Unterschieden im Substrat- und Horizontaufbau, die für die regionale und örtliche Bodenkennzeichnung noch von Bedeutung sind oder sein können (z. B. Sandtieflehm-Fahlerde mit tief anstehendem Bt-Horizont)

**c) Bodenformengruppe**

Zusammenfassung von Hauptbodenformen mit ähnlichem Profilaufbau zum Zwecke einer vereinfachten Auswertung; Benennung nach der bestimmenden Hauptbodenform

Der entscheidende Unterschied der Lokal- gegenüber der Hauptbodenform ergibt sich aus einer differenzierteren ökologischen Bewertung bestimmter Merkmale. In der Praxis lassen sich die Bodenformen besser anwenden als die unteren Einheiten der allgemeinen Bodensystematik. Haupt- und Lokalbodenformen sind unmittelbare Bausteine für landwirtschaftliche Auswertungseinheiten. Sie können je nach Bedarf zu Gruppen zusammengefaßt werden, die eine gleichartige Nutzung, eine gleichartige agrotechnische Behandlung oder eine gleichartige Melioration zulassen (Nutzungs- und Behandlungseinheiten). Über die Bodenformen werden damit auch die neueren naturwissenschaftlichen Erkenntnisse auf dem Gebiet der Bodengliederung und -kennzeichnung besser als bisher der Praxis zugänglich.

Während die Hauptbodenformen definiert und gegeneinander klar abgegrenzt wurden, ist die Gliederung der Lokalbodenformen noch offen. Die Modifikationen der Hauptbodenformen, die vor allem aus regionalen Unterschieden resultieren, bedürfen erst noch einer ökologischen Wertung. Erst dann ist eine exakte Fassung der Lokalbodenformen möglich.

**Gliederungsrahmen der Hauptbodenformen**

Alle Hauptbodenformen wurden einzeln gekennzeichnet und in einem Rahmenkatalog, der sogenannten *Hauptbodenformenliste*, zusammengefaßt. Eine Abstimmung mit der Gliederung der Hauptbodenformen der forstlich genutzten Standorte ist erfolgt, so daß trotz bestimmter nutzungsgebundener Unterschiede die Böden nach den gleichen Grundregeln geordnet werden. Damit wurde der in einigen Ländern noch vorhandene Dualismus zwischen Wald- und Ackerbodensystematik in der DDR endgültig überwunden und gleichzeitig die Basis dafür geschaffen, daß bei einem Flächenaustausch land- und forstwirtschaftlich genutzter Standorte ein Vergleich zwischen den Bodeneinheiten möglich ist.

Eine Zusammenfassung von Hauptbodenformen kann unter verschiedenen Aspekten vorgenommen werden:

- nach Bodenformengruppen (s. folgenden Abschn.)
- nach pedohydrologischen Einheiten (s. Abschn. 4.4.3)
- nach Bodentypen/-subtypen (s. Abschn. 4.5.–4.7.)
- nach Substratgruppen

Der Name der Hauptbodenform setzt sich aus den Bezeichnungen von Substrattyp und allgemeiner bodensystematischer Einheit zusammen, wobei die bereits angeführten Kenn-

wörter verwendet werden. So ergeben sich Namen wie Bändersand-Rosterde, Löß-Staugley und Berglehm-Braunerde, die inzwischen auch in der Praxis Eingang finden. In der Benennung werden Kürzungen vorgenommen, solange Verwechslungen ausgeschlossen sind. Staugleye und Grundgleye zum Beispiel werden dadurch unterschieden, daß bei Staugleyen grundsätzlich der volle Name verwendet, bei Grundgleyen in Wortverbindungen hingegen die Silbe „Grund-“ gestrichen wird. In Klammern gesetzte Wortteile können beim Sprechen weggelassen werden.

Wenn bei der Ansprache einer Hauptbodenform nicht entschieden werden kann, ob es sich um einen Grund- oder Staugley handelt, zum Beispiel bei kolluvialen Böden, bei Böden in Hanglagen und Hohlformen, wird sie den Amphi- oder Halbamphigleyen zugeordnet. Hauptbodenformen auf Kippstandorten werden, solange sie anhydromorphe Rohböden sind, mit „Kipp-“ kombiniert bezeichnet (Wünsche, Lorenz, Schubert, 1969):

z. B.:	s-Kp	Kipp-Sand	x-Kp	Kipp-Kohle
	xl-Kp	Kipp-Kohlelehm	n-Kp	Kipp-Schutt

Wenn sich einer der o. g. Bodentypen entwickelt hat (z. Z. kommen nur Ranker, Rendzina und Rigolerde in Frage), wird „Kipp-“ mit der betreffenden allgemeinen bodensystematischen Bezeichnung kombiniert (z. B. m-KpA Kippsalm-Ranker, l-KpC Kipplehm-Rendzina).

Bei Böden, die tiefer als 4 dm u. Fl. in irgendeiner Form intensiv bearbeitet worden sind (rigolt, tiefgepflügt, segmentgepflügt, tiefgelockert), ist vor den Namen der bodensystematischen Bezeichnung Ri = *Rigol* . . . zu setzen oder, bei völliger Umgestaltung, Rigolerde allein zu verwenden. Daraus leiten sich Namen ab, wie zum Beispiel:

sRi	Sand-Rigolerde	mRiB	Salm-Rigolbraunerde
öRiT	Löß-Rigolschwarzerde	u-KpRi	Kippschluff-Rigolerde

### Zusammenfassung zu Bodenformengruppen

Für das Territorium der DDR werden mehrere Hundert Hauptbodenformen einschließlich der etwa 35 auf Moor- und etwa 25 auf Kippstandorten ausgeschieden. Davon treten aber < 100 verbreitet auf. Innerhalb der einzelnen Naturräume kommen zudem nur ganz bestimmte Hauptbodenformen vor, so daß für den örtlichen Gebrauch, zum Beispiel innerhalb eines Kreises, i. d. R. die Kenntnis nur weniger Hauptbodenformen erforderlich ist. Trotzdem erwies sich unter dem Gesichtspunkt der weiteren Vereinfachung für die Auswertung eine Zusammenfassung von Hauptbodenformen zu Bodenformengruppen als zweckmäßig.

In den Bodenformengruppen werden Hauptbodenformen unter landwirtschaftlichen Gesichtspunkten mit ähnlichem Substrat- und Horizontaufbau zusammengefaßt und nach einem charakteristischen Vertreter (*bestimmende Bodenform*) benannt. Als Beispiel seien folgende Bodenformengruppen angeführt:

– *Sandtieflehm-Fahlerde*: Sandtieflehm-Fahlerde (s/lF), Tiefsalm-Fahlerde (s/mF), Kies-sand über Tieflehm-Fahlerde (kd/lF), Sandtiefton-Fahlerde (s/tF), Sandtieflehm-Parabraunerde (s/lP)

– *Löß-Braunstaugley*: Löß-Braunstaugley (öU), Lößtieflehm-Braunstaugley (ö/lU), Löß-Braunstaugley über Gestein (ö/gU), Sandlöß-Braunstaugley (söU), Sandlöß-Braunstaugley über Kittsand (sö/iU), Sandlöß-Braunstaugley über Lehm (sö/lU)

– *Berglehm-Braunerde*: Berglehm-Braunerde (vqB), Schuttlehm-Braunerde (nlB), Lehm-Braunerde über Gestein (l/gB)

– *Salm-Vegagley*: Auensalm-Vegagley (omK), Auensalm-Vega (omV), Auensalm-Schwarzgley (omZ), Auensalm-Halbamphigley (omY), Deckkauensalm-Vegagley (om/dK), Deckkauensalm-Vega (om/dV), Deckkauensalm-Schwarzgley (om/dZ), Deckkauensalm-Halb-amphigley (om/dY)

Die verbreitetsten der etwa 80 Bodenformengruppen sind in Tabelle 5/7 angeführt.

#### 4.4.2. Bodengruppierung für das Düngungssystem

Im Rahmen des edv-gerechten Düngungssystems (DS 79) zur Ermittlung der optimalen Nährelementmengen wird der Boden in einer stark vereinfachten Form klassifiziert. Es werden insgesamt 19 Bodengruppen ausgedehnt. Jede Bodengruppe wird in gleicher Form hinsichtlich der Bemessung der Düngung und der Beurteilung der Düngungswirkung eingestuft. Eine weitere Differenzierung nach Bodenformengruppen ist möglich. Die Kennzeichnung der Bodengruppen des Düngungssystems erfolgt mittels Ziffern. Mit der ersten Ziffer wird die Körnungsart im Oberboden nach einer vereinfachten Skala (Teilchen  $< 6 \mu\text{m}$ ), mit der zweiten die Vernässungsintensität – soweit im Oberboden erkennbar – und eine Besonderheit (Humusqualität) symbolisiert (s. Tab. 4/4). Es entsprechen unter der zweiten Ziffer:

01 den anhydromorphen Böden und Halbstaugleyen

02 den Vollstaugleyen und Halbgrundgleyen

03 den Vollgrundgleyen

Schwierigkeiten bereitet die Einstufung nach dem hydromorphen Charakter vor allem dann, wenn vom Oberboden nicht auf das gesamte Solum geschlossen werden kann. Für die Düngungsbemessung genügt i. d. R. eine Kennzeichnung des Oberbodens.

#### 4.4.3. Pedohydrologische Einheiten

Zur speziellen Kennzeichnung des Wasserregimes auf der Basis topischer Einheiten können sogenannte Pedohydrotypen, besser pedohydrologische Einheiten, gebildet werden. Sie sind eine gute Grundlage für die Planung insbesondere hydromeliorativer Maßnahmen. Unter pedohydrologischen Einheiten versteht man nach hydrologisch relevanten Merkmalen zusammengefaßte und typisierte Bodenformen. Dazu werden bestimmte bodenhydrologisch wichtige Merkmale, wie zum Beispiel die Körnungsart, Rohdichte, Wasserkapazität, Grundwasserstufe, Porenvolumen, Zuschußwasser, Versickerungsvermögen und der Feuchtegehalt im Jahresgang, herausgegriffen, alle anderen Merkmale vernachlässigt. Auf diese Weise kommt man zu neuen Einheiten, deren zentrales Konzept auf bodenhydrologischen Kennwerten basiert. In Abbildung 4/6 ist die Bildung von pedohydrologischen Einheiten schematisch dargestellt.

Die pedohydrologischen Einheiten sind ebenso Einheiten der topischen Dimension wie die Bodenformen. In dem einen Fall (Pedohydrotop) wird nur nach der Geokomponente Bodenfeuchteregime, im anderen Falle (Pedotop) nach dem Partialkomplex Boden typisiert (vgl. Abschn. 4.1.2.). Über den Pedohydrotop werden demnach die systematisch definierten pedohydrologischen Einheiten (insbesondere Variante, Subtyp) auf die Fläche transformiert.

Die pedohydrologischen Einheiten lassen sich unter dem inhaltlichen Aspekt in 4 verschiedene, systematisch definierte Ordnungsstufen gliedern, für die folgende Differenzierungskriterien formuliert wurden (Hubrich, Thomas, 1973; Thomas, Haase, 1967/1968):

– *Pedohydrologisches Regime*: beinhaltet die wesentlichen Erscheinungsformen des Bodenwassers (Sickerwasser-, Hangwasser-, Stauwasser-, Haftwasser-, Grundwasserregime); Symbolisierung durch Großbuchstaben

– *Pedohydrologischer Typ*: beinhaltet gröbere Unterschiede im Filtergerüst (Substrat) sowie die Intensitätsgrade der jeweiligen Vernässungsform, die sich vor allem in einer spezifischen Dynamik des Bodenfeuchteganges im Jahresablauf niederschlagen; Symbolisierung durch römische Ziffern

– *Pedohydrologischer Subtyp*: beinhaltet die Feingliederung des Substrats in Verbindung mit bestimmten bodengenetischen Eigenschaften; Symbolisierung durch arabische Ziffern

Tabelle 4/4

Bodengruppen des Düngungssystems DS 79 (Kändler, Lieberoth, Schmidt, Ewert, Ansoerge, 1977)

Gehalt an Teilchen < 0,006 mm <sup>1</sup> %	organ. Substanz %	entspricht etwa folgenden Körnungs- arten	Ackerland		Grünland		
			nicht vernäßt <sup>2</sup>	(mäßige) vernäßt <sup>3</sup>	nicht vernäßt <sup>3</sup>	stark vernäßt <sup>4</sup>	
< 8	< 15	Sand	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
8—15	< 15	schwach und stark lehmiger Sand	2.1	2.2			
16—25	< 15	sandiger Lehm und lehmiger Schluff	3.1	3.2	2.1/3.1	2.2/3.2	2.3/3.3
26—38	< 15	Lehm und Schlufflehm	4.1	4.2	4.1 4.4 <sup>5</sup>	4.2	4.3
> 38	< 15	sandiger, lehmiger, schluffiger Ton u. Ton	5.1	5.2	5.1	5.2	5.3
15—30		Anmoor und Torf < 2 dm	—	6.1	6.1	6.2	6.3
> 30		Torf > 2 dm	—	6.2			

<sup>1</sup> Ton + Feinschluff<sup>2</sup> grundwasserfern („trocken“); Staunässe erst unterhalb 4 dm u. Fl. (≙ Halbstaugleyen)<sup>3</sup> grundwasserbeeinflußt (Grundwasser in 6—10 dm Tiefe, ≙ Halbgrundgleyen) bzw. Staunässe oberhalb 4 dm u. Fl. (≙ Vollstaugleyen)<sup>4</sup> Grundwasser oberhalb 6 dm u. Fl. (≙ Vollgrundgleyen)<sup>5</sup> Schwarzerden (Sondergruppe)

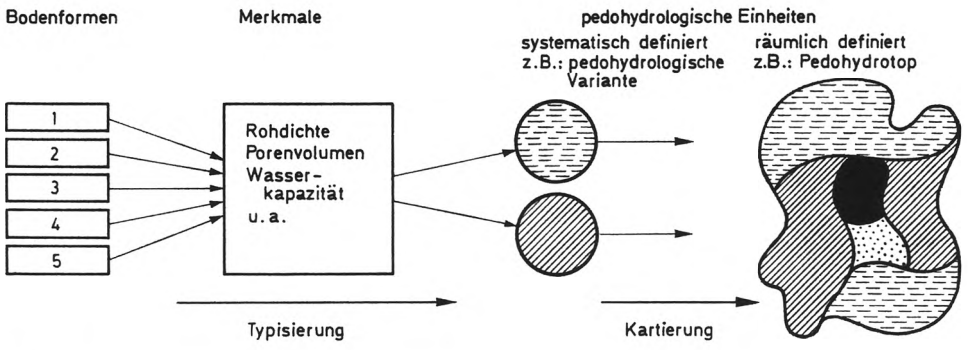


Abb. 4/6  
 Schema der Typisierung und Kartierung pedohydrologischer Einheiten (in Anlehnung an Hubrich, Thomas, 1973)

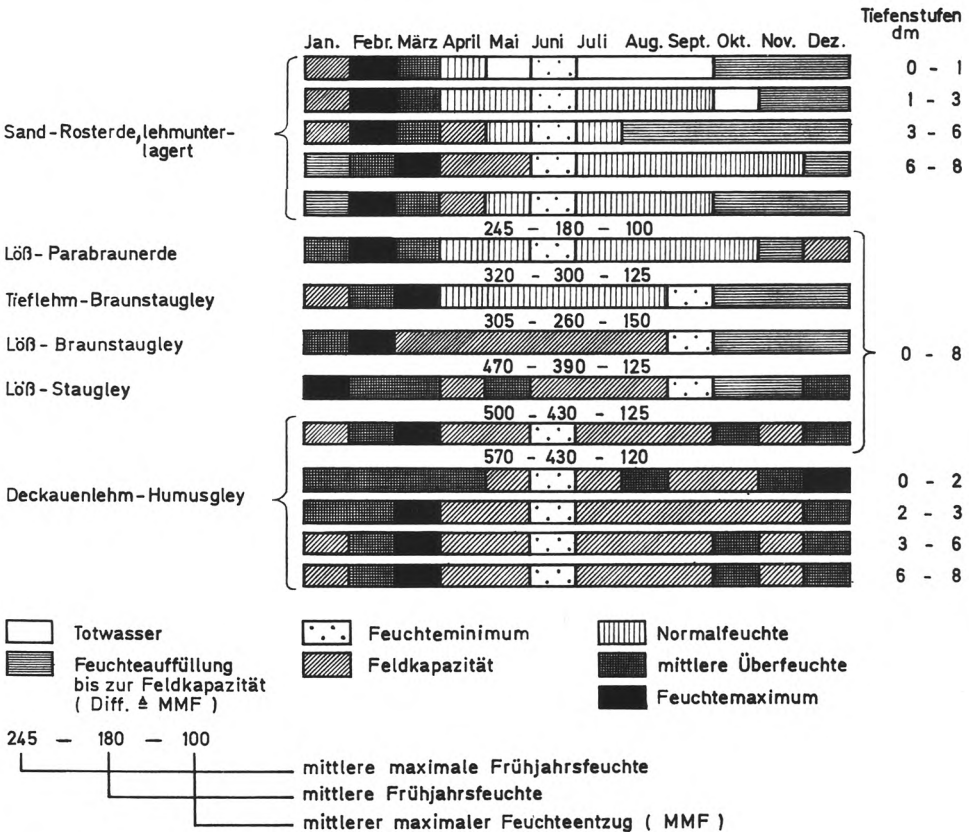
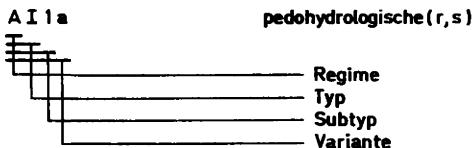


Abb. 4/7  
 Balkendiagramm des Jahresganges der Bodenfeuchte einschließlich bodenhydrologischer Kennwerte von charakteristischen Bodenformen im Sächsischen Hügelland; Mittel der Jahre 1956–1967, Zahlenangaben in mm (in Anlehnung an Thomas, 1975)

–*Pedohydrologische Variante*: beinhaltet feinere bodenhydrologische Differenzierungskriterien; Symbolisierung durch Kleinbuchstaben

Zusammengefaßt wird also die Kennzeichnung folgendermaßen vorgenommen:



Diese hierarchische Ordnung kann je nach Erfordernissen (z. B. entsprechend dem Kartierungsmaßstab) in unterschiedlicher Detaillierung verwendet werden.

Die Kenntnis dieser bodenhydrologischen Einheiten ist eine wesentliche Hilfe für die Beurteilung der Dynamik der Bodenfeuchte in topischen Ausschnitten aus der Bodendecke (s. Abb. 4/7). Selbstverständlich läßt sich auch eine Aggregation in der chorischen Dimension durchführen. Mit Hilfe derartiger *Pedohydrochoren* lassen sich zum Beispiel wasserwirtschaftliche Einzugsgebiete, Moortypen u. a. sowohl kennzeichnen als auch beurteilen.

#### 4.5. Charakterisierung verbreiteter Böden ohne hervortretende Nässemerkmale (anhydromorphe Böden)

Unter anhydromorphen Böden werden alle Böden zusammengefaßt, bei denen oberhalb 8/9 dm u. Fl. keine oder höchstens sehr schwache Nässemerkmale vorhanden sind. Hierbei handelt es sich ausschließlich um *Mineralböden*, zu denen alle diejenigen rechnen, die oberhalb 8 dm u. Fl. keinen Torf und/oder keine Mudde (eine Schicht von < 2 dm ist zugelassen) aufweisen.

Die kürzeste Charakteristik der bodensystematischen Einheiten geht aus der *Horizontabfolge* hervor. Die wichtigsten Horizonte sind unterstrichen. Zusätzlich angegebene Horizonte können, müssen aber nicht vorkommen. Durch Komma getrennte Symbole zeigen ein wahlweises Auftreten von Horizonten an. Als Zusammenfassung für Ap-, Aw- und Ah-Horizonte wird das Symbol Ah verwendet.

Die Kurzbezeichnung der bodensystematischen Einheiten ist auf die wichtigsten Merkmale konzentriert, wobei neben dem zentralen Konzept insbesondere der Abgrenzung gegenüber Böden mit ähnlicher Horizontfolge große Bedeutung beigemessen wurde. Diese Merkmale werden in ihrer Gesamtheit als *diagnostische Merkmale* (der Erkennung dienende Unterscheidungsmerkmale) bezeichnet. Der Bodentyp oder -subtyp, demgegenüber ein bestimmtes Merkmal als Abgrenzung dient, wird jeweils in Schrägklammer /↑ .../ dahintergesetzt.

Die Verbreitung der Böden wird bei den Hauptbodenformen hinter den Gebieten (jeweils eingeklammert) in Form folgender Verbreitungsstufen (VSt) angegeben:

VSt	I	bedeutet	< 30 Tha	< 0,5% der LN der DDR
	II	bedeutet	30 bis 60 Tha	0,5 bis 1,0% der LN der DDR
	III	bedeutet	60 bis 90 Tha	1,0 bis 1,5% der LN der DDR
	IV	bedeutet	90 bis 300 Tha	1,5 bis 5,0% der LN der DDR
	V	bedeutet	> 300 Tha	> 5,0% der LN der DDR

##### 4.5.1. Ranker

*Horizontfolge*: Ah/C

*FAO-Klassifikation*: Rankers und Eutric Regosols

*Diagnostische Kriterien*: kalkfreier, i. d. R. geringmächtiger Boden; Ah < 4 dm mächtig /↑ kolluviale Bodenformen/ und deutlich grauer oder brauner als der Untergrund; Ranker

sind bei Ackernutzung nur dann auszuscheiden, wenn unterhalb des Ap kein Bv oder Bsv und auch innerhalb der Ackerkrume keine Reste derselben /↑ Braunerde, Rosterde/erkennbar sind; Untergrund ebenfalls kalkfrei /↑ Rendzina/; auf Lockergesteinen in der Regel erodierter Boden; Rohböden sind eingeschlossen.

### Eigenschaften und Vorkommen

Ranker sind Böden, in denen es in einem kalkfreien Material zu einer schwachen und geringmächtigen Humusakkumulation kam. Bei Ackernutzung ist die Grenze zwischen Pflughorizont und Untergrund scharf. Die gleiche Horizontfolge weisen die Rendzinen, die Schwarzerden und nicht selten auch Vegas sowie kolluviale Böden auf. Von den Rendzinen unterscheiden sich die Ranker durch die Kalkfreiheit, von den Schwarzerden durch geringe Mächtigkeit des Humushorizontes und von den Vegas und kolluvialen Böden durch das Fehlen von verlagertem Bodenmaterial.

Der Name Ranker ist ursprünglich von den flachgründigen Böden an Hängen abgeleitet worden, die dort gewissermaßen „ranken“. Bei den landwirtschaftlich genutzten Rankern handelt es sich i. d. R. um erodierte Standorte auf Lockersedimenten (Ackerranker). Daher kommen die Ranker nur kleinflächig auf Kuppen und an Oberhängen eingestreut zwischen anderen, nicht erodierten Böden vor. Ranker auf Festgesteinen sind meist skelettreich. Eine Sonderstellung nehmen die Ranker auf älteren, bereits intensiv bewirtschafteten Kippen und Halden ein (Kippranker). Sie haben sich durch Akkumulation von Humus aus Kipp- rohböden entwickelt.

### Hauptbodenformen

**Tiefeland (VSt I):**

sA Sand-R.  
bsA Bändersand-R.

**Bergland (VSt I):**

fsA Felssand-R.  
ftA Felston-R.  
nA Schutt-R.  
vtA Bergton-R.  
t/gA Ton-R. über Gestein

**Kippen:**

Alle Bodenbildungen, die in das Ranker stadium eingetreten sind, z. B.: s-KpA Kippsand-R.

### 4.5.2. Rendzinen

Horizontfolge: Ah/Cc/C

FAO-Klassifikation: Rendzinas und Calcaric Regosols

Diagnostische Kriterien: kalkhaltiger, i. d. R. geringmächtiger Boden; Ah < 4 dm mächtig /↑ Schwarzerde/ und deutlich grauer als Untergrund; < 2 dm mächtiger Bv zwischen Ap und C möglich; Kalkgehalt oberhalb 3 dm u. Fl. beginnend /↑ Ranker/; auf Lockergesteinen zum Teil erodierte Böden

### Eigenschaften und Vorkommen

Rendzinen sind Böden mit einer meist geringmächtigen Anreicherung von kalkgesättigtem Humus ohne Ton oder Eisen- bzw. Aluminiumverlagerung in einem noch heute bis bzw. bis fast an die Oberfläche reichendem kalkhaltigem Substrat. Sie haben demzufolge einen meist dunklen, kalkhaltigen Humushorizont, dem unmittelbar der Untergrund folgt (Normrendzina).

Der Kalk ist in Form von Restkarbonat, d. h. noch nicht verwittertem bzw. gelöstem Kalziumkarbonat, enthalten. Die Reaktion ist deshalb schwach alkalisch. Der Humus liegt durch seine Bindung an Kalk in einer günstigen Form vor. Bei Ackernutzung zeigt die Krume oft eine scharfe Grenze zum Untergrund.

Die Fruchtbarkeit der Rendzinen wird maßgebend vom Substrat bestimmt. Auf Festgesteinen (s. Abb. 4/8) und Schutten hängt sie vor allem vom Anteil an nicht karbonatischen Bestandteilen und an Lößbeimengungen (durch Einwehung) ab. Auf Tonen ist die Wasserführung beeinträchtigt. Ton-Rendzinen kommen in Thüringen vor, sie sind dort zum



Beispiel auf Röt- und Keupertonen verbreitet. Rendzinen auf Lockergesteinen (früher als Pararendzinen bezeichnet) entstanden nach Bodenabtrag, z. B. in Ackerbaugebieten (Ackerrendzina). Man findet sie kleinflächig in stärker kuppigem Gelände, wobei noch Reste des alten B-Horizontes vorhanden sein können. Rendzinen auf Löß und Lehm sind meist recht fruchtbare Böden, in der Verbreitung treten sie jedoch gegenüber anderen Löß-Bodenformen zurück.

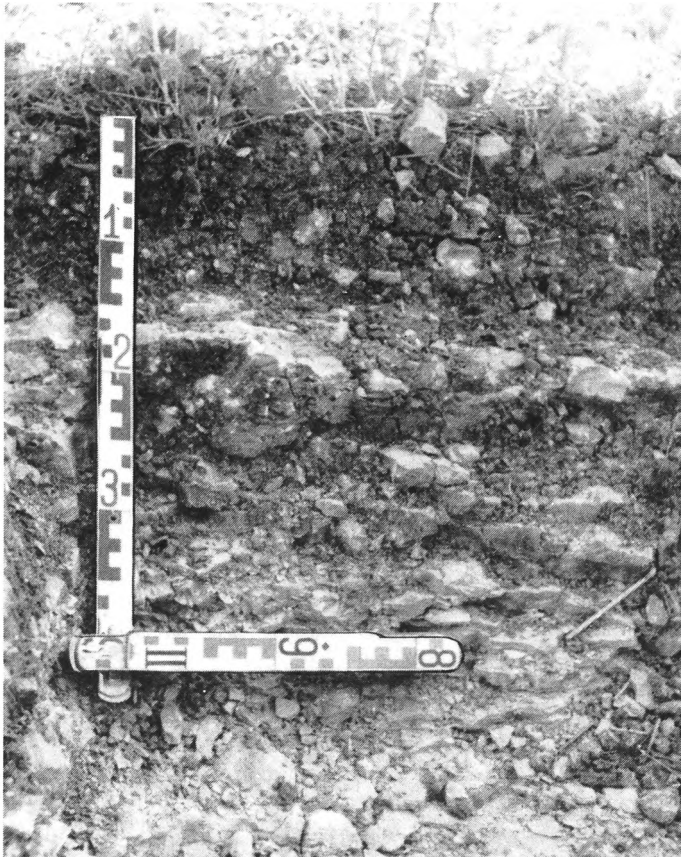
Rendzinen auf Sand sind wegen des geringen Tonanteils weniger fruchtbar, doch können unter entsprechenden Feuchtigkeitsbedingungen auch auf ihnen anspruchsvollere Pflanzen angebaut werden.

Rendzinen können in trockenen Jahreszeiten rasch austrocknen. Die Bearbeitbarkeit hängt vom Substrat ab, höherer Steingehalt (Fels- und Schutt-Rendzinen) ist besonders erschwerend. Dem knirschenden Geräusch beim Pflügen, das von den am Pflugschar reibenden Steinen herrührt, verdanken die (Fels- und Schutt-)Rendzinen ihren Namen, der aus dem Polnischen stammt.

Abb. 4/8  
Felslehm-Rendzina; Bad Berka, Kreis Weimar

Horizonte

Ap



Substrat

Schuttlehm

Festgestein

II C

## Hauptbodenformen

### Bergland (VSt I):

fsC Felssand-R.  
 flC Felslehm-R.  
 ftC Felston-R.  
 nC Schutt-R.  
 vtC Bergton-R.

### Tiefland/Hügelland (VSt II):

kdC Grand-R.  
 sC Sand-R.  
 pC Sandlehm-R.  
 öC Löß-R.  
 ö/dC Decklöß-R.  
 tC Ton-R.

### Kippen:

Alle Bodenbildungen, die  
 in das Rendzinastadium  
 eingetreten sind;  
 z. B. l-KpC Kipplehm-R.

### 4.5.3. Vegas

**Horizontfolge:** Ah/Ba/C/CG

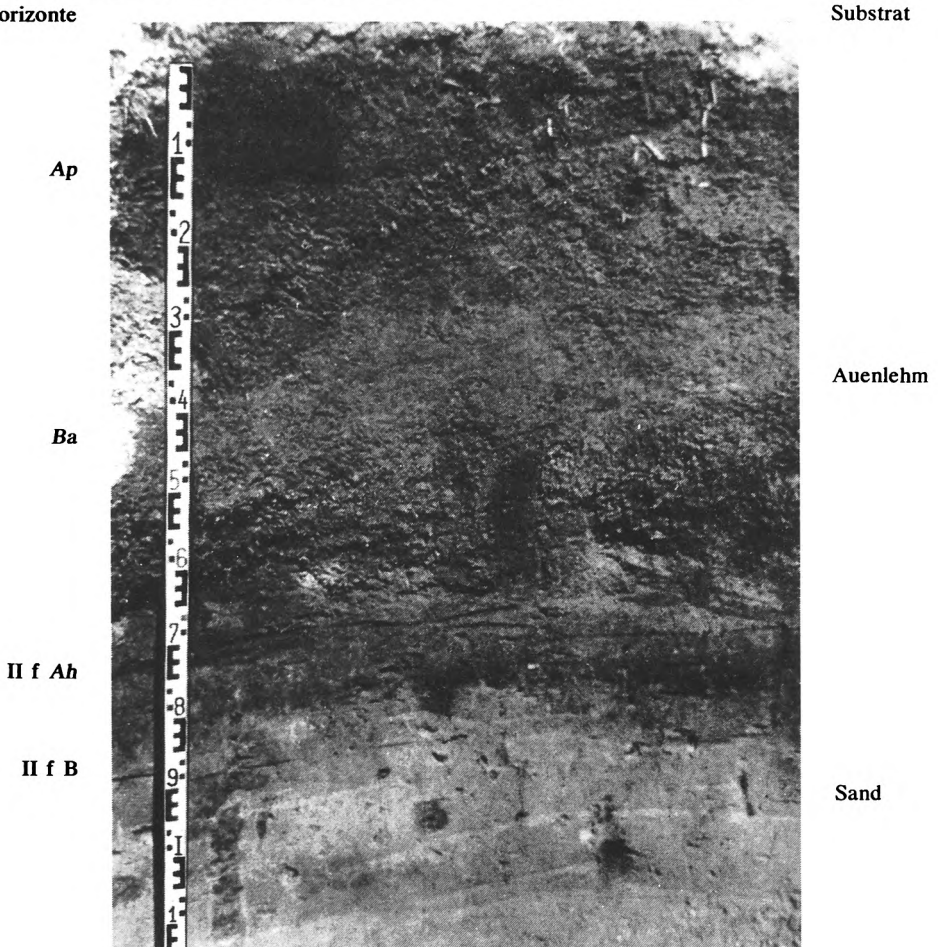
**FAO-Klassifikation:** Eutric und Calcaric Fluvisols

**Diagnostische Kriterien:** aus Auensedimenten gebildeter Boden mit geringer Veränderung gegenüber dem Ausgangssubstrat; bei gleichem Substrat Ba vom C oft nur im Gefüge, nicht

Abb. 4/9

Deck(auen-)lehm-Vega; Beaugard, Kreis Bad Freienwalde (Aufn.: Cronewitz)

Horizonte



in der braunen bis braungrauen Grundfarbe /↑ Braunerde/ zu unterscheiden; Gleyhorizonte unterhalb 8/9 dm u. Fl. möglich; bei kalkhaltigem Ausgangssubstrat im Solum Restkalk vorhanden.

### Eigenschaften und Vorkommen

Bei den Vegas handelt es sich um Böden auf Material, das über größere Entfernungen in die Fluß- und Bachtäler transportiert und dort während der Frühjahrüberschwemmungen abgelagert wurde (Auensedimente). Der in den Auensedimenten enthaltene Humus wurde prae- (lat., vor), syn- (grch., zugleich) und postsedimentär (lat., nach der Sedimentation) gebildet. Besonders den synsedimentären Humus kann man heute von dem praesedimentären oder, wie man auch sagt, allochthon (grch., an einem anderen Ort) gebildeten nicht mehr trennen.

Vegas weisen nur eine schwache Horizontdifferenzierung auf. Trotz ihrer Entwicklung auf verschwemmtem Material zeigen sie zumindest im oberen Profilteil keine Vernässungsmerkmale. Die Vega hat entweder ein Ah/C-Profil, oder es hat sich bei lehmigem und schluffigem Material zwischen Ah- und C-Horizont noch ein nur im Gefüge veränderter sog. Ba-Horizont entwickelt. Im Untergrund sind vielfach Rostflecke vorhanden, die auf Nässeeinfluß hinweisen. Ba- und C-Horizont haben eine braune oder dunkelgraue Farbe (danach Unterscheidung von Braun- und Schwarzvegas), je nachdem, ob es sich um Material ehemaliger brauner oder schwarzer Böden handelt (s. Abb. 4/9). Man kann daher die Vegas in bestimmten Lagen mit Braunerden oder Schwarzerden verwechseln. Der Name Vega entstammt der spanischen Sprache und war dem in Tälern angeschwemmten Material gegeben worden.

Vegas kommen nur in Auengebieten vor. Sie müssen heute zu den *Altauenböden* gerechnet werden, da sie infolge Eindeichung und Flußregulierung außerhalb des Überschwemmungsgebietes liegen. *Jungauenböden*, bei denen sich Sedimentation und Bodenbildung noch abwechseln, kommen in unserem Gebiet unter landwirtschaftlicher Nutzung kaum noch vor.

Die Vega gehört zu den fruchtbarsten Böden, was insbesondere auf die günstigen Substrateigenschaften und Wasserverhältnisse zurückzuführen ist. Vegas sind sowohl gute Acker- als auch Grünlandstandorte. Ackernutzung ist nach Möglichkeit vorzuziehen. Die Nährelementnachlieferung ist gut, trotzdem lohnen sich hohe Mineraldüngergaben. Der Bearbeitbarkeit nach gehören die Vegas zu den mittleren Böden. Nur auf tonigen Substraten sind sie schwer zu bewirtschaften (Stundenböden), hier muß auf die Einhaltung der agrotechnischen Termine besonders geachtet werden.

### Hauptbodenformen

*Auen* (VSt III):

omV	Salm-V.	ou/dV	Deckschluff-V.	otV	Ton-V.
om/dV	Decksalm-V.	oIV	Lehm-V.	ot/dV	Deckton-V.
ouV	Schluff-V.	ol/dV	Decklehm-V.	ou/ot	Schluffkerf-V.

Bei der Substratbezeichnung kann die Kennsilbe „Auen-“ entfallen, da Vegas nur in Auen vorkommen.

#### 4.5.4. Schwarzerden und Braunschwarzerden

##### Schwarzerden

*Horizontfolge:* Ah/Bth, Bv/Cc/C

*FAO-Klassifikation:* Haplic und Calcic Chernozems/Phaeozems

*Diagnostische Kriterien* (s. auch Abb. 4/10): dunkelgrauer, kalkfreier oder schwach kalk-

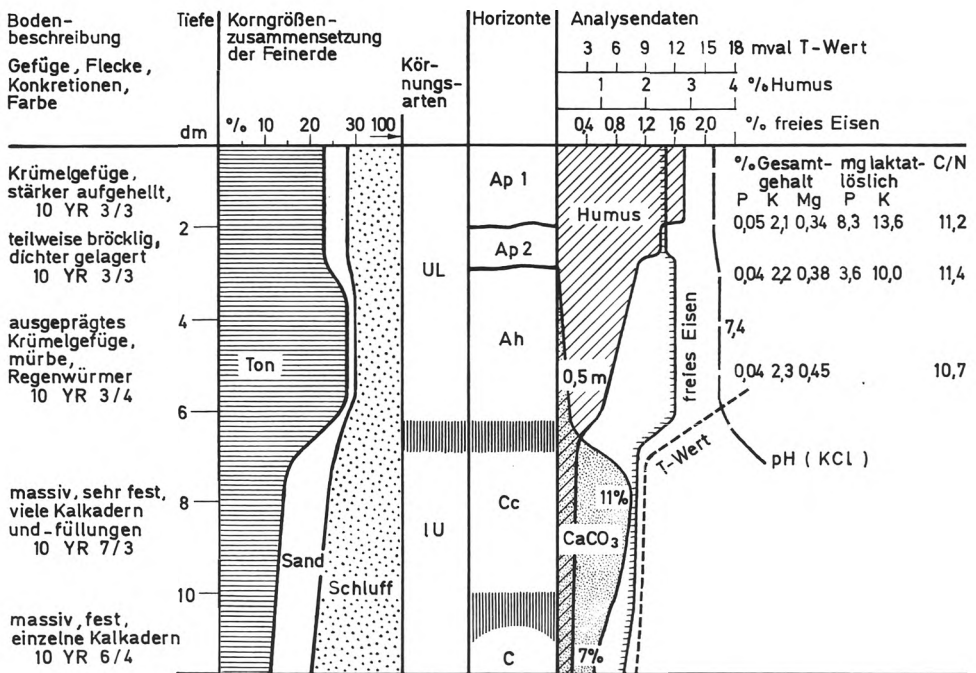


Abb. 4/10

Schematische Profildarstellung einer Löss-Schwarzerde mit Beschreibung und Analysendiagramm  
 Bodentyp: Schwarzerde Ort: Schafstädt; Kreis Merseburg, Bezirk Halle  
 Subtyp: Normschwarzerde Mesorelief: Fastebene  
 Bodenschätzung: L2Lö 90/92 Mittlerer Jahresniederschlag: 472 mm  
 Geologische Verhältnisse: jüngerer Weichsellöß Mittlere Jahrestemperatur: 9,1 °C  
 Hydrologische Verhältnisse: Naturräumliche Einheit: Schwarzerdegebiet der DDR  
 keine Besonderheiten

haltiger Boden mit deutlicher Humusakkumulation und mit Krümelfüge; Ah > 4 dm mächtig /↑ Rendzina/; ein bis zu 2 dm (Gesamtmächtigkeit des Solum < 8 dm) oder 3 dm (Gesamtmächtigkeit des Solum > 8 dm) mächtiger Bth /↑ Griserde/ bzw. schwacher Bv /↑ Braunschwarzerde/ zwischen Ah und C möglich; vielfach Krotowinen vorhanden; Untergrund kalkhaltig; im Solum geringe Mengen von Kalk möglich (Kalkpulver)

### Braunschwarzerden

Horizontfolge: Ah/Bvh/Bv, Bth/Cc/C

FAO-Klassifikation: Haplic und Calcic Chernozems

Diagnostische Kriterien: dunkelgrauer bis brauner Boden mit deutlicher Humusakkumulation im oberen Profilteil und Krümelfüge; Übergangsbildung zwischen Schwarzerde und Braunerde; Ah > 4 dm mächtig /↑ Rendzina/, zuweilen etwas bräunlicher Farbton; Bv > 2 dm (Gesamtmächtigkeit des Solum < 8 dm) oder > 3 dm (Gesamtmächtigkeit des Solum > 8 dm) mächtig /↑ Schwarzerde/; vielfach Krotowinen vorhanden; Untergrund kalkhaltig

### Eigenschaften und Vorkommen

Die Normschwarzerde und Feuchtschwarzerde, kurz als Schwarzerde oder Tschernosiom (russ. Name) bezeichnet, sind Böden mit einer mächtigen Anreicherung an

weitgehend kalkgesättigtem Humus ohne nennenswerte Ton- oder Eisen- bzw. Aluminiumverlagerung. Sie haben einen meist 6 bis 8 dm mächtigen humusreichen Ah-, dem sich unmittelbar der Cc-Horizont anschließt. Der Name Schwarzerde wurde nach diesem dunklen Humushorizont gegeben. Im Bereich der Ackerkrume sind die Schwarzerden meist etwas aufgehellt, man spricht dann von *Krumendegradierung* (s. Abschn. 3.5.). Bei größerer Mächtigkeit des eingeschobenen B-Horizont wird der Boden den Braunschwarzerden oder Griserden zugeordnet. Der Untergrund ist immer kalkhaltig. Zwischen Humushorizont und Untergrund ist i. d. R. ein Kalkanreicherungs-horizont eingeschoben, der neben Restkarbonat vor allem sekundäres Karbonat enthält. Die oft kinds-kopf-großen humosen Flecken und Röhren im Untergrund (wie auch die braunen Flecken und Röhren im unteren Teil des Humushorizontes) bezeichnet man als *Krotowinen* (s. Abb. 4/11). Sie sind auf die Tätigkeit von Bodenwühlern zurückzuführen.

Wenn der Ah-Horizont bis in die Krume kalkhaltig ist, spricht man von *Kalkschwarzerden*. Der Kalkgehalt ist nicht auf das Vorhandensein von Restkarbonat (Substratmerkmal) zurückzuführen, sondern das Karbonat muß in trockenen Perioden sekundär mit dem Bodenwasser aufgestiegen sein, da es in den vom Pflug unberührten Horizonten die Gefügekörper

Abb. 4/11  
Löß-Schwarzerde; Domnitz, Saalkreis

Horizonte

Ap

Ah

Cc

C



Substrat

Löß

Krotowinen

wie Pilzmycel („Schimmelkarbonat“) überzieht. Solche Schwarzerden kommen vor allem im südlichen Teil der Magdeburger Börde vor.

Die Norm- und Feuchtschwarzerden unterscheiden sich in ihrem äußeren Erscheinungsbild nur wenig voneinander. Die Feuchtschwarzerden haben gegenüber den Normschwarzerden einen in der Regel etwas mächtigeren und dunkleren Humushorizont, meist einen höheren Humusgehalt (> 2,8%), ein körniges statt krümeliges Makrogefüge unterhalb der Ackerkrume und ein labileres Mikrogefüge. Diese Unterschiede sind auf eine verschiedenartige Entwicklung zurückzuführen. So entstanden die Normschwarzerden bei einem relativ trockenen Bodenfeuchteregime, vermutlich unter einer (Wald-)Steppenvegetation. Der Beginn ihrer Entwicklung reicht bis in das Spätglazial zurück, die Hauptbildungszeit lag vermutlich im Altholozän bis Atlantikum. Sie nehmen flächenmäßig den größten Anteil ein.

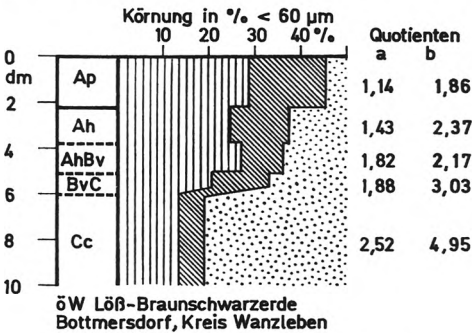


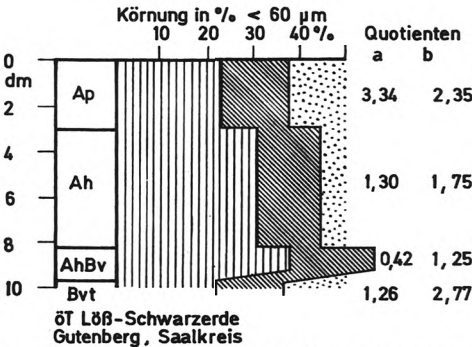
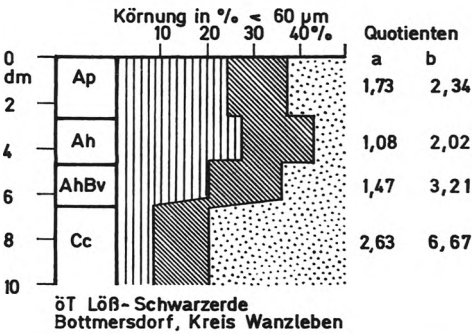
Abb. 4/12

Zonen höheren Tongehaltes (Kryoklastzonen) in Löß-Schwarzerden (in Anlehnung an B. Reuter, 1970)

I im oberen Profilteil (Ap-Horizont)

II im mittleren Profilteil (Ah-Horizont)

III im unteren Profilteil (AhBv-Horizont)



Körnungsquotienten: a - Grobschluff / Mittelschluff  
b - Grob- → Mittelschluff / Feinschluff und Ton



Die Feuchtschwarzerden hingegen bildeten sich unter feuchteren Bedingungen und kommen meist nur örtlich vor. Bei ihnen muß unter natürlichen Bedingungen eine wiesenartige Vegetation vorgeherrscht haben, unter der die Humusbildung in einer anderen Form verlief. In Südosteuropa sind diese Böden stärker verbreitet. Unter den Bedingungen der heutigen Bodenkultur findet zwischen Norm- und Feuchtschwarzerde eine Angleichung statt, d. h. die ehemals gewiß noch stärker ausgeprägten Unterschiede verwischen allmählich. Beide Subtypen werden daher auf dem Hauptbodenformenniveau nicht getrennt.

Das weitaus verbreitetste Substrat, auf dem die Schwarzerden vorkommen, ist der Löß (vgl. Abb. 4/10). Daneben sind, vor allem in Thüringen, auch Schwarzerden auf Ton bekannt. Bei Prenzlau, auf der Insel Poel und dem gegenüberliegenden Festland sind lokal Schwarzerden auf Lehm und Tieflehm verbreitet.

Bei den Braunschwarzerden folgt unter einem > 4 dm mächtigen, i. d. R. nur mäßig dunklen Humushorizont ein brauner Zwischen- und diesem der Cc-Horizont. Nicht selten verläuft infolge des stärker hervortretenden braunen Farbtones im Oberboden der Übergang vom Ah- zum Bv-Horizont ganz allmählich. Tondurchschlammung ist in den Braunschwarzerden nicht erfolgt. Die Entkalkung reicht mindestens bis in den unteren Teil des Braunhorizontes. In vielen Eigenschaften nehmen sie eine Mittelstellung zwischen der Normschwarzerde und Norm-Braunerde ein, neigen jedoch auf Löß stärker zu dem erstgenannten Normsubtyp. Braunschwarzerden sind zum Beispiel im nördlichen Lößbrandgebiet der Magdeburger Börde, lokal bei Aschersleben und auf der Querfurter Platte sowie in Teilen des Thüringer Beckens zu finden.

Bemerkenswert ist in den Schwarzerden des östlichen Harzvorlandes eine Zone höheren Tongehaltes (> 25%), die als Kryoklastzone gedeutet wird. Unter Kryoklastzone versteht man eine Zone, in der es bereits vor der Schwarzerdebildung, d. h. im Spätglazial, durch kryoklastische Verwitterung (s. Abschn. 3.2.3. bis 3.2.5.) zu einer verstärkten Tonbildung kam. Dieser, damals an der Oberfläche anstehende Teil des Profils läßt sich auch als reliktsche Bodenbildung deuten, die der Bildung der Lamellenfleckenzone (s. Abschn. 3.2.4.) etwa äquivalent sein dürfte. Für eine präholozäne Bildung der Kryoklastzone sprechen ihre unabhängige Lage von der heutigen Horizontfolge der Schwarzerde, ihr gleichbleibender Tongehalt über einen größeren Geländebereich hinweg und die Zunahme ihrer Mächtigkeit in Richtung der gebirgsnahen Lößderivate. Die Kryoklastzone liegt heute in verschiedenen Tiefenbereichen des Solum (s. Abb. 4/12).

Schwarzerden und Braunschwarzerden gehören zu unseren fruchtbarsten Böden. Daher erhielten sie bei der Bodenschätzung die höchsten Bodenzahlen. Im einzelnen ist das auf die günstigste Form des Humus und des Gefüges, auf die neutrale Reaktion, den hohen bodenbürtigen Gehalt und das gute Nachlieferungsvermögen für Nährelemente zurückzuführen. Wasser- und Lufthaushalt sind ausgeglichen. Der Humus ist i. d. R. reich an Grauhuminsäuren, Stickstoff sowie Calcium und eng mit den mineralischen Bodenbestandteilen gekoppelt. Biologisch zeigen alle diese Böden eine hohe Aktivität. Der Bearbeitbarkeit nach gehören die Schwarzerden meist zu den mittleren Böden. Oft werden sie tief gepflügt. In früheren Zeiten wurden sie vielerorts bis über 4 dm u. Fl. mit dem Dampfpflug gewendet.

## Hauptbodenformen

### Tiefland (VSt II):

mT, W Salm-Sch./B.  
 m/IT Salmtieflehm-Sch.  
 pT Sandlehm-Sch.  
 p/dT Decksandlehm-Sch.  
 s/IT Sandtieflehm-Sch.  
 IT Lehm-Sch.

### Hügelland (VSt V):

söT, W Sandlöß-Sch./B.  
 sö/dT, W Decksandlöß-Sch./B.  
 sö/IT Sandlöß-Sch. über Lehm  
 öT, W Löß-Sch./B.  
 ö/dT, W Decklöß-Sch./B.  
 ö/IT Lößtieflehm-Sch.  
 ö/tT Lößkerf-Sch.  
 ö/tT Löß-Sch. über Gestein  
 tT Ton-Sch.  
 l/tT Lehmkerf-Sch.  
 vtT, W Bergton-Sch./B.

#### 4.5.5. Braunerden

**Horizontfolge:** Ah/Bv/Cc/C

**FAO-Klassifikation:** Eutric und Dystric Cambisols, auf Sand Campic und Luvic Arenosols

**Diagnostische Kriterien:** kalkfreier oder schwach kalkhaltiger Boden; Ah unter Acker meist auf die Krume beschränkt; kräftig brauner Bv ohne Tonhäutchen auf Gefügekörpern /↑ Parabraunerde/ und ohne Einwanderungsmerkmale von Eisen /↑ Podsol, Rosterde/; bei kalkhaltigem Untergrund im Solum Restkalk möglich

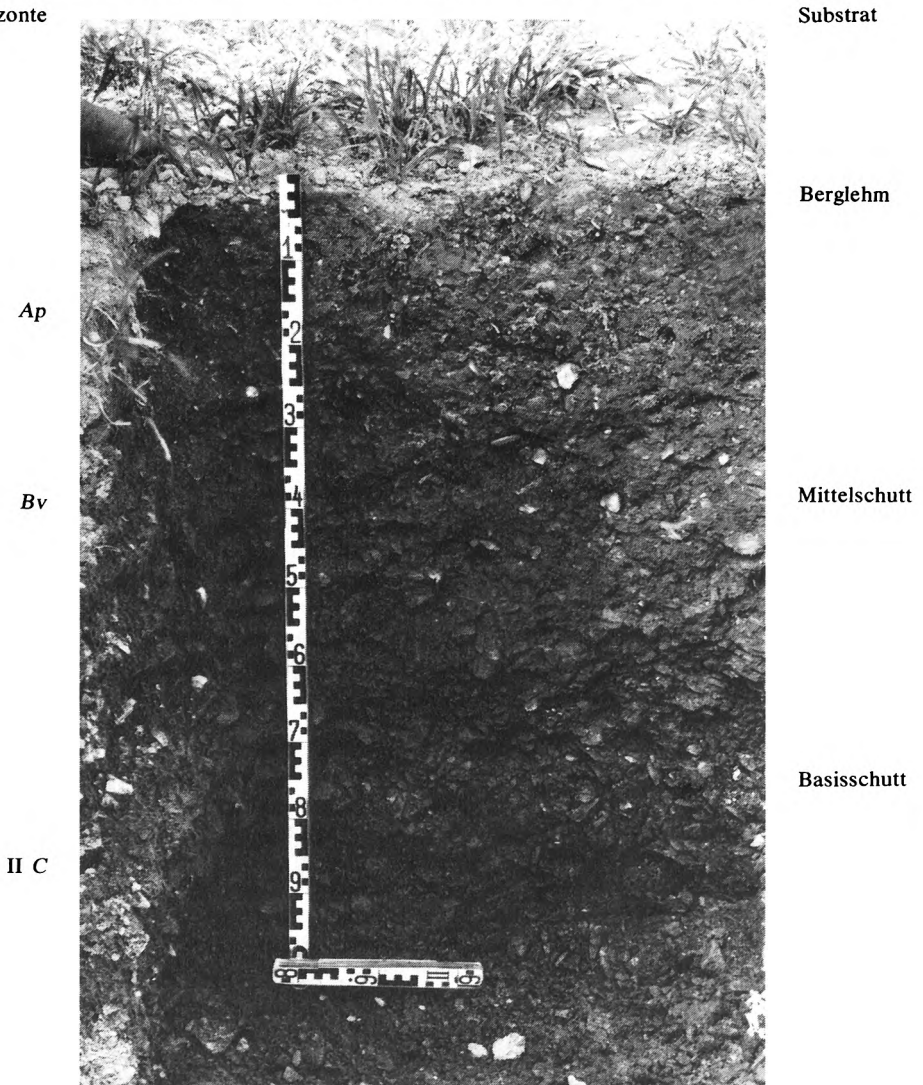
#### Eigenschaften und Vorkommen

Braunerden sind Böden mit einer intensiven Verbraunung und einem nur geringmächtigen Humushorizont ohne nennenswerte Ton- und Eisenverlagerung. Unter dem meist mäch-

Abb. 4/13

Berglehm-Braunerde aus Glimmerschiefer; Gelenau, Kreis Zschopau (Aufn.: Hahn, Thiele)

Horizonte





tigeren braunen Horizont, der namensgebend für diese Böden war, folgt der Untergrund. Die Braunerden umfassen im wesentlichen die *Norm-* und *Sauerbraunerden* (Rosterden s. nächsten Abschn.), die sich unter landwirtschaftlicher Nutzung oftmals nur schwer voneinander trennen lassen und daher auf dem Hauptbodenformenniveau zusammengefaßt werden können. Unter Wald zeigt die Sauerbraunerde eine starke Versauerung und eine damit verbundene geringe Sättigung, die in erster Linie auf den höheren Gehalt an freiem Aluminium zurückzuführen ist. Das Aluminium wirkt andererseits flockend auf die Tonpartikel und bewirkt damit ein stabileres Mikrogefüge.

Braunerden können auf verschiedenen Substraten entwickelt sein. Am häufigsten sind sie auf den meist umgelagerten, mehr oder weniger skelettreichen Verwitterungsdecken fester Gesteine im Bergland zu finden (s. Abb. 4/13). Ihre Fruchtbarkeit hängt dort von der Art der Verwitterungsdecke (meist Mittelschutt), von der Gesteinsart, dem Skelettgehalt und der Körnungsart ab. Sie enthalten im Bv-Horizont viel organische Substanz, ohne dabei die Farbe zu ändern. Die Braunerden auf kalkhaltigen Gesteinen werden als *Kalkbraunerden* bezeichnet, auf dem Hauptbodenformenniveau aber mit den Braunerden zusammengefaßt. Technologisch sind ton- und steinreiche Substrate am schwierigsten zu behandeln. Sowohl tonige als auch lehmige Verwitterungsdecken können bei Austrocknung sehr fest werden.

Braunerden auf typischem Löß sind sehr selten. In der Regel handelt es sich um erodierte Braunschwarzerden. Häufiger sind Sauerbraunerden auf Berglöß in den Mittelgebirgen. Braunerden auf lehmigen Glaziärsedimenten des Tieflandes sind ebenfalls selten und nur als Kalkbraunerden an erodierten Standorten im Geschiebemergel oder als Normbraunerden in älteren, lößhaltigen Geschiebelehm-Verwitterungsdecken zu finden.

Braunerden auf sandigen Glaziärsedimenten sind weit verbreitet, insbesondere im südlichen (Sandlößgebiet) und nördlichen Teil des Tieflandes. Gegenüber den Rosterden haben sie einen ins sattbraune gehenden Farbton, vielfach auch einen etwas höheren Tongehalt (~ um 3 bis 10%). Beides sind aber keine sicheren Abgrenzungskriterien. Daher wird neuerdings ein analytischer Kennwert als objektiveres Merkmal verwendet, der sogenannte *Franzmeyer-Quotient*:

$$FQ = \frac{\text{Gehalt an löslichem C + Fe + Al}}{\text{Tongehalt}} \quad (12)$$

Da dieser Kennwert für seine Bestimmung einen hohen Aufwand erfordert, kann auch ein reduzierter Analysenkennwert, der Eisen-/Tonquotient (dithionitlösliches Eisen durch Ton  $\times 10$ ) verwendet werden. B-Horizonte in sandigen Böden des Tieflandes, bei denen dieser Wert  $< 0,60$  ist, werden als Bv und die Böden damit als Braunerden eingestuft. Dies gilt zunächst nur für die angeführten sandigen Substrate. Auf Sand entwickelte Braunerden gehören zu den fruchtbarsten Sandböden, ihre Bodenzahlen liegen über 23. Die Feldkapazität ist der begrenzende Faktor. Die Anbauspanne ist größer als bei den Sand-Rosterden. In der Bearbeitbarkeit gibt es keine Probleme.

### Hauptbodenformen

*Tiefland/Hügelland*  
(VSt V):

*Bergland* (VSt V):

sB	Sand-B.	vmB	Bergsalm-B.	nlB	Schuttlehm-B.
bdB	Bändersand-B.	nmV	Schuttsalm-B.	vd/vtB	Bergsand-B.
mB	Salm-B.	vöB	Berglöß-B.		über Ton
m/dB	Decksalm-B.	vö/vlB	Berglöß-B. über Lehm	vl/vtB	Berglehm-B.
sö/dB	Decksandlöß-B.	vpB	Bergsandlehm-B.		über Ton
kdB	Grand-B.	vqB	Berglehm-B.	flB	Felslehm-B.
m/iB	Salm-B.	l/gB	Lehm-B. über Gestein	ftB	Felston-B.
	über Kittsand				

#### 4.5.6. Rosterden und Podsole

##### Rosterden

*Horizontfolge: Ah/Bsv/C*

*FAO-Klassifikation: Leptic Podzols und Luvic Arenosols*

*Diagnostische Kriterien:* kalkfreier, i. d. R. geringmächtiger Boden, hervorgegangen aus Podsolen mit hoch anstehendem B-Horizont und aus Braunpodsolen unter Wald; Humushorizont unter Acker meist auf Ap beschränkt; Bsv diffus rostbraun bis schwach mittelbraun ohne deutlichen Orthorizont /↑ Podsol/, vielfach nur geringmächtig oder fehlend; bei völlig in die Ackerkrume eingearbeitetem Bsv müssen im Ap wenigstens noch Reste desselben erkennbar sein /↑ Ranker/; i. d. R. auf sandigen Substraten entwickelt; Untergrund meist kalkfrei

##### Podsole

*Horizontfolge: Ah/Es/Bs, Bh/C*

*FAO-Klassifikation: Podzols*

*Diagnostische Kriterien:* kalkfreier Boden mit deutlichen Verlagerungsmerkmalen von Eisen und/oder Humus; hellgrauer Es meist nur noch in Resten unterhalb des Ap, kann auch völlig in die Ackerkrume eingearbeitet sein; dunkelbrauner bis braunschwarzer Orthorizont ist deutlich ausgebildet /↑ Rosterde/ und zum Teil verhärtet (Ortstein); in der Regel auf sandigen Substraten entwickelt; Untergrund immer kalkfrei

Abb. 4/14

Meliorativ gepflügte Bändersand-Rosterde; Finowfurt, Kreis Eberswalde

Horizonte

Ap

Bsv

Bb



Substrat

Bändersand

## Eigenschaften und Vorkommen

Rosterden sind geringmächtige Böden mit einer schwachen Humusanreicherung und Verbraunung (vgl. Abb. 3/9). Bei ihnen handelt es sich um eine Gruppe von unter Acker stärker veränderten (retrogradierten) Böden, deren heutige Dynamik noch nicht genügend erforscht ist. Ehemals waren es unter Wald Braunpodsole (Übergangsbildung zwischen Sauerbraunerde und Podsol) und schwache Podsole, in denen heute zumindest die Podsolierung zum Stillstand gekommen ist. Die Rosterden weisen einen geringmächtigen Humus über einem noch geringmächtigeren rostbraunen Bsv-Horizont auf, dem meist ein kalkfreier Untergrund folgt. Im gesamten Profil liegt Einzelkorngefüge vor (außer in den Bändern). Der Name Rosterde wurde nach dem rostbraunen Unterboden in Anlehnung an die alte Bezeichnung Rostfarbener Waldboden (*Stremme*) gegeben.

Rosterden werden trotz ihrer Verwandtschaft mit den Podsolen als Subtyp bereits den Braunerden (Rostbraunerden) zugeordnet, da sie sich diesen durch den Kultivierungseinfluß allmählich nähern. Ihre Abgrenzung auf sandigen Glaziärsedimenten erfolgt mittels des bereits erwähnten Eisen-Ton-Quotienten (s. Abschn. 4.5.5.), der bei Rosterden  $> 0,60$  ist.

Rosterden kommen vorwiegend auf sandigen Substraten vor, die unter natürlichen Verhältnissen zur Podsolierung neigen. Meist handelt es sich hierbei um silikat-, ton- und schluffarme Sande. Im Tiefland der DDR enthalten die Sande vielfach Bänder. Hier finden wir sie daher auf Sanden und Bändersanden (s. Abb. 4/14). Im Bergland sind Rosterden an Sande und Schutte gebunden.

Die Horizontfolge der Rosterde ist auch bei Tieflehm-Fahlerden im Oberboden zu finden, wird bei diesen aber in der Namensgebung nicht gesondert berücksichtigt, da der restliche Teil des Profils den Charakter des Bodens entscheidender bestimmt.

Infolge des geringen Tongehaltes ist das Speichervermögen für Nährelemente und Wasser bei den Rosterden sehr gering, die Durchlüftung dagegen gut. Bei feinkörnigen Sanden kann stärkere Dichtlagerung auftreten. Die Rosterden gehören zu den Böden mit der geringsten Fruchtbarkeit, deshalb wird ihre Verbesserung allgemein angestrebt. Krumenvertiefung und kombinierte Unterbodenmelioration sind entsprechende Maßnahmen, müssen jedoch wohlüberlegt erfolgen. *Krumenvertiefung* darf nur schrittweise, jeweils wenige Zentimeter im Abstand von mehreren Jahren, durchgeführt werden. Die *kombinierte Unterbodenmelioration* hat zu unterschiedlichen Ergebnissen geführt. Teilweise verminderte sich der Humusgehalt im Ap-Horizont beträchtlich und erreichte erst nach Jahren wieder den standorttypischen Spiegel. Auch das Wasserregime wurde nur teilweise verbessert, in einigen Fällen sogar verschlechtert. Günstig hingegen wirkt sich das Einbringen von Stauschichten aus Bitumen in etwa 8 dm Tiefe aus. Die Erträge auf Versuchspartellen konnten hierdurch im Mittel von 3 Jahren um etwa 9 GE/ha angehoben werden.

Die kombinierte Unterbodenmelioration ist ein so starker Eingriff in den Bodenaufbau, daß die Rosterde dadurch gänzlich umgewandelt wird. Man muß deshalb solche Böden bereits als Rigolerden bezeichnen.

Podsole werden i. d. R. forstlich genutzt, landwirtschaftlich dagegen nur selten. Kultivierte schwache Podsole sind meist in Rosterden umgewandelt, bei starken Podsolen bleibt der ursprüngliche Unterboden (Bs-Horizont) auch nach Inkulturnahme als Acker weitgehend erhalten. Dem sich an den Humushorizont anschließenden weißlichen Aschhorizont verdanken die Podsole (russ. ascheähnlich) ihren Namen. Eisen- und Humuspodsole unterscheiden sich durch den Orthorizont, der als Bs, Bsh oder Bh ausgebildet sein kann. Lockere Anreicherungshorizonte werden als Orterde, verfestigte als *Ortstein* bezeichnet.

Podsole kommen in der DDR vorwiegend auf Sand und Schutt vor. Sie sind deshalb wie die Rosterden sowohl im Tiefland auf Glaziärsanden als auch im Bergland auf Deckschutten zu finden. Oft treten sie im Tiefland in Gesellschaft mit Ortgleyen (Gleypodsolen) auf.

# Hauptbodenformen

Tiefeland (VSt IV):

Bergland (VSt I):

kdR, P	Grand-R./P.	fsR	Felssand-R.	vmR	Bergsalm-R.
sR, P	Sand-R./P.	vsR, P	Bergsand-R./P.	vd/vtR	Bergsand-R.
bsR	Bändersand-R.	ndR, P	Schuttsand-R./P.		über Ton
s//lR	lehmunterl. Sand-R.				

## 4.5.7. Fahlerden, Parabraunerden, Griserden

### Fahlerden

Horizontfolge: Ah/Bv, Bsv/Et/Bt/Bv/Cc/C

FAO-Klassifikation: Eutric Podzoluvisols und Albic Luvisols

Diagnostische Kriterien (s. auch Abb. 4/15): kalkfreier Boden mit starker Texturdifferenzierung; Humushorizont unter Acker meist auf Ap beschränkt; Bv vielfach bereits voll-

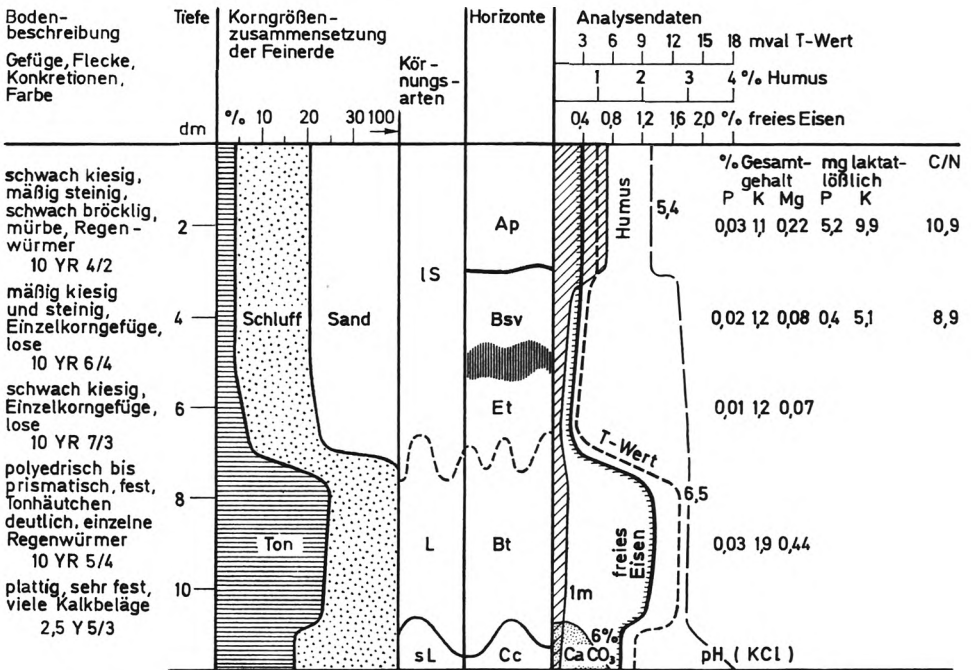


Abb. 4/15

Schematische Profilardarstellung einer Salmtieflehm-Fahlerde mit Beschreibung und Analysendiagramm

Bodentyp: Fahlerde

Subtyp: Normfahlerde

Bodenschätzung: SI4D 31/33

Geologische Verhältnisse: Geschiebesand über -lehm mit periglaziärer Deckzone

Hydrologische Verhältnisse: keine

Besonderheiten

Ort: Lichterfelde; Kreis Eberswalde, Bezirk Frankfurt

Mesorelief: Streckhang

Mittlerer Jahresniederschlag: 572 mm

Mittlere Jahrestemperatur: 8,4°C

Naturräumliche Einheit: Mecklenburgische Seenplatte

ständig in Ap einbezogen; Et auch im feuchten Zustand heller als Bt und Ap /↑ Parabraunerde, Griserde/; Übergang vom Et zum Bt klar, oft zungenförmig; Gefügekörper und Klufflächen im Bt deutlich von mehr oder weniger dicken, vorwiegend bräunlichen /↑ Griserde/ Tonhäutchen überzogen, die sich auch im feuchten Zustand von der Grundsubstanz farblich deutlich absetzen; sehr schwache Staunässemerkmale oberhalb 8/9 dm u. Fl. möglich; Untergrund meist kalkhaltig

### **Parabraunerden**

*Horizontfolge:* Ah/Bv/Et, BvBt/Bt/Bv/Cc/C

*FAO-Klassifikation:* Orthic und Calcic Luvisols

*Diagnostische Kriterien:* insgesamt brauner, kalkfreier Boden mit i. d. R. mäßiger Texturdifferenzierung; schließt sowohl Übergangsbildungen zwischen Fahlerde und Braunerde als auch erodierte Fahlerden (Ackerparabraunerden) ein; Bv meist vollständig in Ap einbezogen, Et fehlt, an seiner Statt oft oberhalb des Bt ein humoser Mischhorizont AhBv entwickelt /↑ Fahlerde/; vorhandene Zwischenhorizonte im feuchten Zustand kaum, im trockenen Zustand nur schwach heller als der darunter folgende Bt; Ah < 4 dm mächtig /↑ Griserde/; vorwiegend bräunliche /↑ Griserde/ Tonhäutchen auf Gefügekörpern des Bt im trockenen Zustand gut, im feuchten Zustand weniger gut farblich abgesetzt; sehr schwache Staunässemerkmale können oberhalb 8/9 dm u. Fl. vorhanden sein; Untergrund meist kalkhaltig

### **Griserden**

*Horizontfolge:* Ah/AhBv, AhEt/Bth/Bt/Cc/C

*FAO-Klassifikation:* Orthic Gleysols

*Diagnostische Kriterien:* insgesamt grauer kalkfreier Boden mit Texturdifferenzierung; Übergangsbildung zwischen Fahlerde und Schwarzerde; Ah > 4 dm mächtig und/oder deutlich schwärzliche Tonhäutchen in mindestens der oberen Hälfte des Tonhäutchenhorizontes /↑ Parabraunerde, Fahlerde/; im oberen Teil des Bt oft nicht nur Tonhäutchen, sondern auch Grundsubstanz braungrau bis schwärzlich; sehr schwache Staunässemerkmale können oberhalb 8/9 dm u. Fl. vorhanden sein; Untergrund meist kalkhaltig

### **Eigenschaften und Vorkommen**

Zum Typ Fahlerde gehören Böden, in denen neben einer mehr oder weniger starken Verbraunung oder schwachen Sesquioxidverlagerung im Oberboden eine stärkere Texturdifferenzierung das Profil im ganzen auszeichnet. Der Name Fahlerde wird auf Grund des etwas helleren (fahlen) Oberbodens unterhalb der Krume gegeben. Andere Bezeichnungen sind Lessive, Pseudopodsol, illimerisierter Boden (UdSSR). Bodensystematisch werden dem Typ Fahlerde die Subtypen Normfahlerde, Parabraunerde und Griserde zugeordnet.

Die Normfahlerde hat unter dem krumenmächtigen Humushorizont, meist mit scharfer Grenze folgend, einen mehr oder weniger mächtigen, stark aufgehellten Fahlorizont. Dieser ist an Ton und Humus verarmt und zeigt vielfach ein lamelliges Gefüge. In seinem oberen Teil hat sich ein brauner Zwischenhorizont entwickelt, der heute oft schon vollständig mit in die Krume einbezogen ist. Dieser Zwischenhorizont kann als Bv (Übergang zur Parabraunerde) oder als Bsv (Übergang zum Braunpodsol, besser „Braunpodsol in Fahlerde“) ausgebildet sein. Daraus resultieren Namen wie zum Beispiel Braunfahlerde und Rostfahlerde. Unter dem Bleichhorizont beginnt mit scharfer, meist unregelmäßig-taschiger („zerfressener“) Grenze der intensiv ausgeprägte braune Tonhäutchenhorizont, der gegenüber dem Fahlorizont deutlich lehmiger ist. Die Gefügekörper sind im trockenen Zustand prismatisch und lassen sich in Grobpolyeder zerlegen. Die Tonhäutchen sind i. d. R. auch im feuchten Zustand gut zu erkennen. Meist haben sie in der Normfahlerde eine ungleichmäßigere Verteilung als in der Parabraunerde, oft findet man auch dicke Beläge in größeren Rissen und Spalten. Die im obersten Teil des Bt-Horizontes auf den Gefügekörpern vielfach

zu beobachtende weißliche Mineralsubstanz wird als *Kieselpuder* (hüllenfreie Schluff- und Feinsandkörner) bezeichnet.

Parabraunerden sind Böden, die neben einer starken Verbraunung nur eine mäßige Texturdifferenzierung haben. Der Name Parabraunerde bedeutet „Neben“-Braunerde und besagt, daß diese Böden der Braunerde ähnlich sind, auf Grund bestimmter Merkmale aber von ihr abgegrenzt werden. Bei den Parabraunerden folgt unter dem Humushorizont ein im feuchten Zustand kaum, im trockenen nur schwach aufgehellter geringmächtiger bräunlicher Zwischenhorizont (s. Abb. 4/16). Dieser ist weniger an Ton verarmt und meist humusreicher als der darunter liegende Horizont, wodurch sich diese Böden u. a. von den Normfahlerden unterscheiden. Ihm folgt, i. d. R. mit undeutlicher Grenze, der Tonhäutchenhorizont. Ein großer Teil der polyedrischen bis prismatischen Gefügekörper hat gleichmäßig verteilte dünne Tonüberzüge, die in vielen Fällen erst in trockenem Zustand klar zu erkennen sind. Einmal können die Parabraunerden bereits vor der Inkulturnahme das geschilderte charakteristische Profilbild aufweisen. Zum anderen retrogradierten unter dem Einfluß jahrhundertelanger Bodenkultur auch Fahlerden zu Parabraunerden, meist

Abb. 4/16  
Löß-Parabraunerde; Zehren, Kreis Meißen

Horizonte

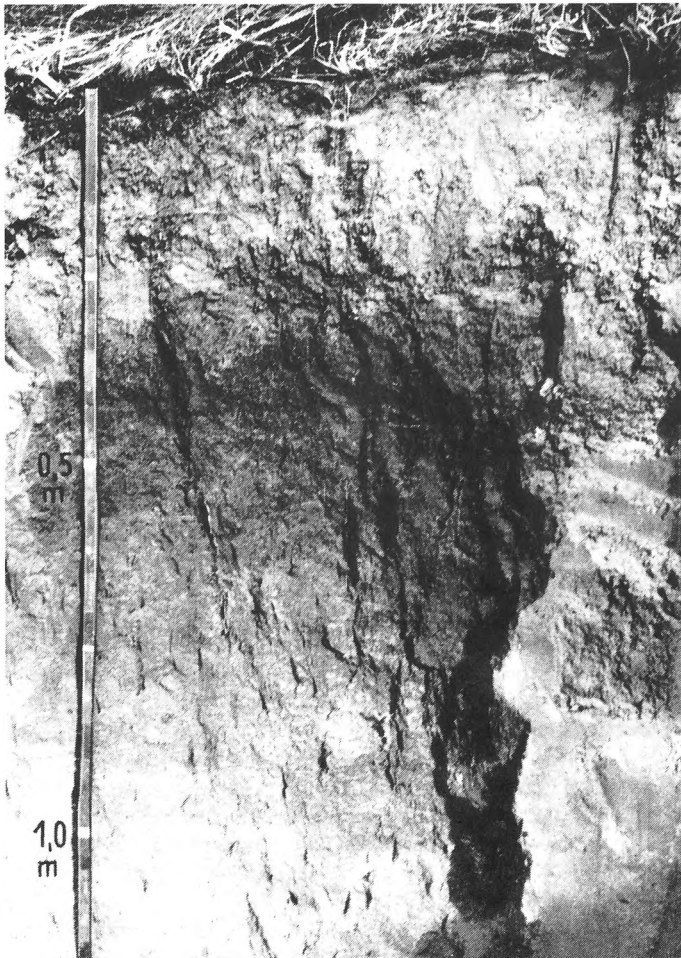
Aw

Et Bv

Bt

Bv

Cc



Substrat

Löß

Lamellen-  
fleckenzone

unter Verlust eines Teils oder des ganzen Oberbodens durch Erosion. Diese sogenannten „atypischen“ Parabraunerden (*Ackerparabraunerden*) unterscheiden sich von den typischen nur noch in einigen Merkmalen des Bt-Horizontes.

Die Griserden stehen systematisch zwischen den Schwarzerden und den Parabraunerden/Fahlerden. Der Name Griserde (franz. gris = grau) wurde von ihrer vorwiegend grauen Färbung abgeleitet. Die Griserden zeichnen sich durch einen noch relativ mächtigen Humushorizont aus, der das mäßig bis stark ausgeprägte Texturprofil, insbesondere den Übergang Et/Bt überdecken kann. Nur bei fortgeschrittener Entwicklung ist der Übergang vom Eluvial- zum Illuvialhorizont deutlich erkennbar. Der Tonhäutchenhorizont ist dem der Parabraunerde ähnlich, unterscheidet sich aber von diesem durch die dunkelgraue bis schwärzliche Färbung mindestens eines Teils der Tonbeläge.

Bei allen Subtypen der Fahlerde können unter dem Tonhäutchenhorizont noch oberhalb des Untergrundes andere Horizonte folgen, zum Beispiel ein Braunhorizont oder eine bis zu 15 dm mächtige *Lamellenfleckenzone* (s. Abschn. 3.2.4.). Darunter oder unmittelbar unter dem Bt- folgt der C-Horizont, der im oberen Teil als Cc ausgebildet ist.

Fahlerden einschließlich Parabraun- und Griserden kommen vor allem auf Geschiebemergel/-lehm und Löß vor. Auf Sand über Lehm sind sie im Tiefland der DDR als Tieflehm-Fahlerden weit verbreitet. Auch auf durchgehend sandreichem Material treten texturdifferenzierte Böden auf (z. B. Tiefsalm- und Sandlöß-Fahlerden/Parabraunerden). Ist der lehmsandige Unterboden < 4 dm mächtig oder in Bänder aufgelöst, kann man von *Sand-Fahlerden* sprechen. Diese werden aber als gesonderte Bodenform vorerst nicht berücksichtigt, sondern zu den Bändersalm-Braunerden/Rosterden gestellt, da ihre Abgrenzung gegenüber diesen ohnehin schwer fällt. Auf Löß kommen Fahlerden wie Parabraunerden, insbesondere im nördlichen Teil des Mittelsächsischen Hügellandes und in den äußeren Randgebieten der Magdeburger Börde sowie des Thüringer Beckens vor. Griserden hingegen treten nur lokal auf, zum Beispiel in den inneren Randgebieten o. g. Schwarzerdlandschaften und auf Moränenablagerungen im Gebiet um Prenzlau. Griserden und Parabraunerden sind kleinflächig auch auf anderen Substraten zu finden, zum Beispiel auf Keupertonen.

Normfahlerden haben im allgemeinen eine geringere Fruchtbarkeit als Parabraun- und Griserden. Ihre Nährelementnachlieferung hängt zu einem großen Teil vom Gehalt an Tonteilchen im Oberboden ab. Bei stärkerer Verarmung bedürfen sie nicht nur stärkerer Gaben an Mineral-, sondern auch an organischen Düngern. Der Unterboden ist wesentlich günstiger zu bewerten. Als ehemalige Waldböden sind die Normfahlerden sauer und müssen daher ausreichend mit Kalk versorgt werden. Infolge des leichteren Oberbodens sind die Normfahlerden gut zu bearbeiten. Allerdings neigen sie leicht zur Verschlammung. Wasserführung und Durchlüftung sind ausreichend. Unterbodenmelioration führt in Tieflehm-Fahlerden zu einer zeitweiligen Ertragserrhöhung, nicht aber zu einer bleibenden Verbesserung der physikalischen Eigenschaften. Besonders der obere sandige Bereich zeigt Gefügelabilität und starke Neigung zu plattigem Gefüge. Krumenvertiefung ist schrittweise durchzuführen. Die große Ertragsreserve der Normfahlerde liegt in ihrem wertvollen Unterboden (Bt-Horizont).

Parabraunerden und Griserden hingegen zählen zu unseren fruchtbarsten Böden, was nicht zuletzt auf den höheren Humusgehalt und die günstigen Substrateigenschaften auch im Oberboden zurückzuführen ist. Bei beiden sind sowohl Nährelementnachlieferung als auch Nährelementspeicherung hoch, Durchlüftung und Wasserführung ausgesprochen gut. Ihre Bearbeitbarkeit ist nicht erschwert. Eine Krumenvertiefung kann ohne weiteres empfohlen werden. Da die Parabraunerden und Griserden im Vergleich zu den Schwarzerden in feuchteren Gebieten verbreitet sind, liegen ihre Erträge oft höher als bei diesen.

## Hauptbodenformen (mit etwa 1/6 der LN am verbreitetsten in der DDR)

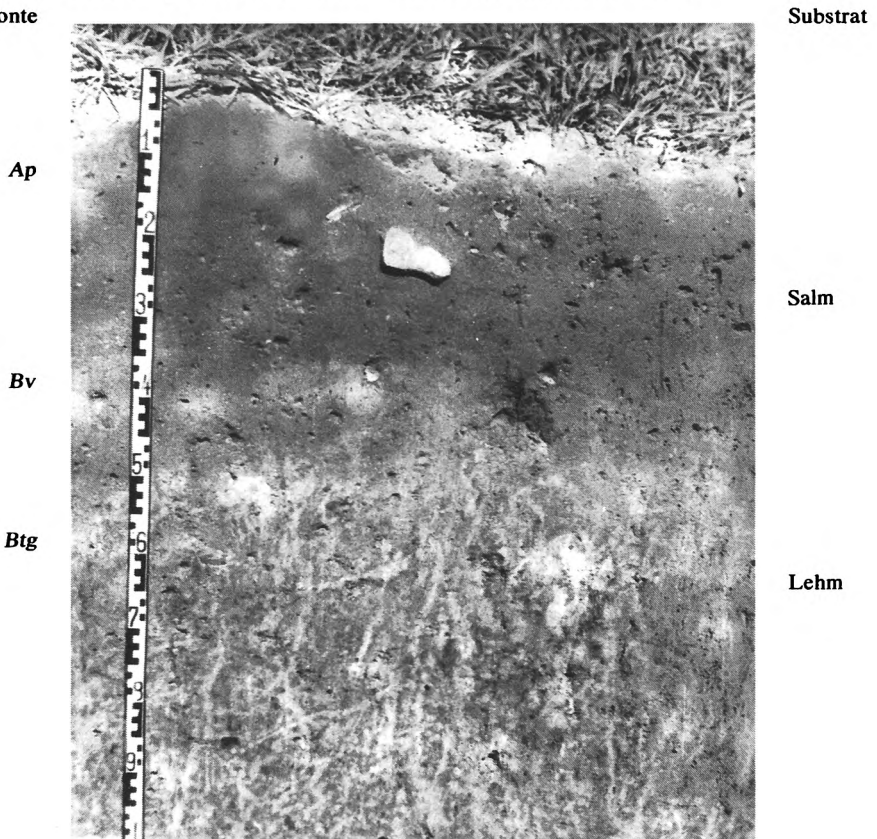
Tiefland (VSt V):		Tiefland/Hügelland (VSt V):		Bergland (VSt I):	
s/mF	Tiefsalm-F.	söF, P,	Sandlöß-F./P./	vöF, P	Berglöß-F./P.
s/mP	Tiefsalm-P.	I	G.	tP	Ton-P.
s/lF	Salmtieflehm-F.	sö/dP	Decksandlöß-P.	vtP	Bergton-P.
m/lF, P,	Salmtieflehm-	ö/dF, P	Decklöß-F./P.	t/gP	Ton-P.
I	F./P./G.	öF, P, I	Löß-F./P./G.		über Gestein
pF, P, I	Sandlehm-F./	ö/gF, P,	Lö-F./P./G.		
	P./G.	I	über Gestein		
p/dF/P	Decksandlehm-	sö/lF, P	Sandlöß-F./P.		
	F./P.				
qP	Lehm-P.				

### 4.6. Charakterisierung verbreiteter Böden mit Nässemerkmalen im Unterboden (halbhydromorphe Böden)

Alle Böden, bei denen Nässemerkmale oberhalb 8/9 dm, aber nicht höher als 3/4 dm u. Fl. deutlich hervortreten, werden als halbhydromorphe Böden bezeichnet. Dazu gehören die

Abb. 4/17  
Salmtieflehm-Braunstaugley; Rostock-Schutow, Kreis Rostock (Aufn.: Thiere)

Horizonte





**Halbstaugleye** und **Halbgrundgleye**, also Böden, die zwischen Humushorizont und vergleytem Unterboden einen anhydromorphen Zwischenhorizont aufweisen. Auch bei diesen handelt es sich ausschließlich um Mineralböden.

Über das Niveau der Hauptbodenformen werden die Subtypen der halbhydromorphen Böden stärker zusammengefaßt als bei den an- und vollhydromorphen Böden, wobei die Benennung jeweils nach dem verbreitetsten Subtyp erfolgt.

#### 4.6.1. Schwarzstaugleye und Braunstaugleye

##### Schwarzstaugleye

**Horizontfolge:** Ah/AhBv, AhEt/AhBg, Btg/Cg, C

**FAO-Klassifikation:** Gleyic Greyzems und Phaeozems

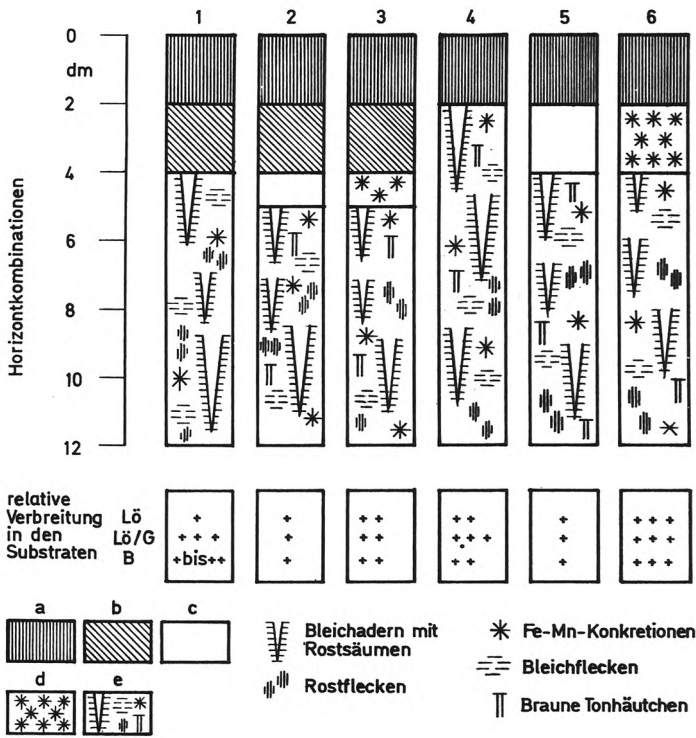
**Diagnostische Kriterien:** dunkelgrauer Boden, nur mit Haft- und/oder Staunässevergleyung /↑ Halbampfigleye, halbhydromorphe Grundgleye/; Übergangsbildung zwischen Staugleye und Griserde bzw. Schwarzerde/Braunschwarzerde; Texturdifferenzierung kann vorhanden sein; Ah > 4 dm mächtig; bei Übergängen zur Griserde in rostfarben begrenzten Spalten dunkelgraue bis schwärzliche Tonhäutchen /↑ Braunstaugleye/; Marmorierungshorizont deutlich rost- und bleichfleckig, vielfach auch -adrig; geschlossener Gr fehlt oberhalb 15 dm u. F. /↑ Halbampfigleye/

##### Braunstaugleye

**Horizontfolge:** Ah/Bv, Bsv/Et/Btg, Bvg/Cg/C

**FAO-Klassifikation:** Gleyic Luvisols, Podzoluvisols und Cambisols

**Diagnostische Kriterien:** Boden nur mit Haft- und/oder Staunässevergleyung /↑ halbhydro-



**Abb. 4/18**  
Schematische Darstellung verbreiteter Horizontkombinationen staunässegeprägter Böden (nach Morgenstern, 1969)  
1–3 Braunstaugleye, 4–6 Staugleye  
davon 1, 4 vorwiegend mit Haftnässe, 2, 3, 5, 6 vorwiegend mit Staunässe  
Substrate:  
Lö: Löß  
Lö/G: Lößüberlagerter Geschiebelehm  
B: Bergsubstrat  
Horizonte:  
a Ap  
b Bv  
c Eg  
d Egk  
e Btg (Marmorierungshorizont)

+ wenig verbreitet    ++ mäßig verbreitet    +++ verbreitet

morphe Grundgleye, Halbamphigleye/; Übergangsbildung zwischen Staugley und Braunerde/Rosterde bzw. Parabraunerde/Fahlerde; Texturdifferenzierung kann vorhanden sein; Ah < 4 dm mächtig, anhydromorpher Zwischenhorizont braun oder fahl /↑ Schwarzstaugley/; Bg deutlich rost- und bleichfleckig, vielfach auch -adrig; bei texturdifferenzierten Böden auf Gefügekörpern stellenweise noch Tonhäutchen sichtbar; unverändertes Ausgangsmaterial zum Teil nicht mehr vorhanden; geschlossener Gr fehlt oberhalb 15 dm u. F. /↑ Halbamphigleye/

### Eigenschaften und Vorkommen

Schwarz- und Braunstaugleye (zusammenfassend als *Halbstaugleye* bezeichnet) weisen noch keinen hydromorphen Humus, im Unterboden aber deutliche Nässemerkmale in Form kleinflächiger Rost- und Bleichflecken sowie rostumrandeter Bleichadern auf (Marmorierung). Sie unterscheiden sich durch den Humusgehalt und damit durch die Farbe des anhydromorphen Zwischenhorizontes. Die *Grisstaugleye* sind auf dem Niveau der Hauptbodenform mit in die Schwarzstaugleye einbezogen. Die *Fahl-* und *Parabraunstaugleye* werden den Braunstaugleyen zugeordnet.

Braunstaugleye (s. Abb. 4/17) können wie Staugleye auf vielen Substraten vorkommen. Diese Mannigfaltigkeit ist bei den Schwarzstaugleyen eingeschränkt. Man findet sie vorwiegend auf Lößen und Sandlößen mit Unterlagerung durch ton- oder schluffreicheres Material in den Randgebieten des Hügellandes (z. B. NO von Köthen) und des Thüringer Beckens. Ihre Verbreitung ist gering, sie treten nur lokal auf.

In ihren Eigenschaften nehmen die Halbstaugleye eine Mittelstellung zwischen den Staugleyen und den entsprechenden anhydromorphen Bodentypen ein (s. Abb. 4/18). Oft sind es landwirtschaftlich außerordentlich günstige Standorte, da sie auf der einen Seite einen höheren Bodenfeuchtevorrat als die anhydromorphen Böden aufweisen, andererseits aber nicht unbedingt einer Melioration bedürfen. Löß-Braunstaugleye zeigen während der Vegetationsperiode gegenüber Löß-Fahlerden eine deutlich stärkere Abnahme der Bodenfeuchteschwankung mit der Tiefe und eine nahezu gleichmäßige Austrocknung von oben nach unten. Schwarzstaugleye haben auch auf Grund ihres größeren Humusvorrates eine hohe Fruchtbarkeit. Bei allen Halbstaugleyen richtet sich die Bearbeitbarkeit und das technologische Verhalten nach dem Substrat im Oberboden.

Die *Ortstaugleye*, auch als *Staugleyepodsole* bezeichnet, werden vorerst wegen ihrer geringen Verbreitung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen den Braunstaugleyen mit zugeordnet. Nach ihrer Horizontfolge **Ah/Es/Bs(h)/Bg/C** handelt es sich um einen Podsol mit staunässegeprägtem Unterboden. Ortstaugleye haben die gleichen Oberbodeneigenschaften wie Podsole, sind aber wesentlich frischer als diese.

### Hauptbodenformen

Tiefeland (VSt IV):	<i>Hügelland/Tiefeland</i> (VSt IV):	Bergland (VSt IV):
mU, J Salm-B./Sch.	söU, J Sandlöß-B./Sch.	vmU Bergsalm-B.
m/1U, Salmtieflhm-B./	sö/1U, Sandlöß-B./Sch.	vöU, J Berglöß-B./Sch.
J Sch.	J über Lehm	vpU Bergsandlehm-B.
s/tU Sandtiefton-B.	sö/tJ Sandlößkerf-Sch.	nlU Schuttlehm-B.
pU, J Sandlehm-B./	ö/1U, J Lößtieflhm-B./	vtU Bergton-B.
Sch.	Sch.	ntU Schutton-B.
1U, J Lehm-B./Sch.	öU, J Löß-B.	
s/l U Sandtieflhm-B.	ö/tU, J Lößkerf-B./Sch.	

### 4.6.2. Halbamphigleye

**Horizontfolge:** Ah/Bv, Ba/Et/Bg, Btg/BgGo/Go/Gr; Ah/AhBv/AhBg, Bg/BgGo/Go/Gr  
**FAO-Klassifikation:** Gleyic Luvisols und Eutric Fluvisols

*Diagnostische Kriterien:* Boden mit Haft- und/oder Staunässe- über Grundwasservergleyung /↑ halbhydromorphe Stau- oder Grundgleye/; Übergangsbildung zwischen Amphigley und anhydromorphen Böden (Braunerde, Fahlerde, Vega, Schwarzerde); Marmorierungshorizont deutlich rost- und bleichfleckig, vielfach auch -adrig, meist geringmächtig; Ausbildung der G-Horizonte siehe Braungley; geschlossener Gr muß oberhalb 15 dm u. Fl. beginnen /↑ Braunstaugley, Schwarzstaugley/

### **Eigenschaften und Vorkommen**

Der Name Amphigley drückt aus, daß beide Vergleyungsarten, d. h. Staunässe-(Haftnässe-) und Grundwasservergleyung, in einem Profil vorkommen. Die Bezeichnung Halbamphigley (grch., amph = beides) ist eine Sammelbezeichnung für alle Amphigleye mit anhydromorphem Zwischenhorizont, also für die Vega-, Schwarz-, Parabraun- und Fahlamphigleye. Der Zwischenhorizont kann somit ein Ba, Ah, Bv oder Et sein, er darf noch keine hervortretende Rost-/Bleichfleckung aufweisen. Halbamphigleye haben eine geringe Verbreitung. Sie sind vor allem in Auen (Oderbruch, Wische) anzutreffen, treten aber auch lokal in anderen Landschaften auf, zum Beispiel in der Küstenregion. Sie dominieren vor allem in solchen Auen, in denen Deckschluffe, -lehme und -tone vorkommen. Diese Substrate sind praedestiniert für eine Unterboden-/Untergrundvergleyung durch Grundwasser und eine Haftvernässung in der bindigen Deckschicht. Halbamphigleye sind dort an etwas höher gelegene Teile der Auen gebunden und werden i. d. R. von Vollamphigleyen in den tiefer liegenden Bereichen umgeben.

Eigenschaften und Verhalten der Halbamphigleye wird maßgebend vom Substrataufbau bestimmt. Die tiefer vorkommende Vernässung stört die Bewirtschaftung weniger. In den Sommermonaten kann der Oberboden sogar stärker austrocknen.

### **Hauptbodenformen**

<i>Tiefland (VSt I):</i>		<i>Hügelland (VSt I):</i>		<i>Auen (VSt I):</i>	
mY	Salm-H.	sö/dY	Decksandlöß-H.	ouY	Auenschluff-H.
pY	Sandlehm-H.	ö/dY	Decklöß-H.	ou/dY	Deckauenschluff-H.
p/dY	Decksandlehm-H.	öY	Löß-H.	olY	Auenlehm-H.
q/dY	Decklehm-H.			ol/dY	Deckauenlehm-H.
				ot/dY	Deckauton-H.

### **4.6.3. Braungleye und Rostgleye**

#### **Braun(grund)gleye**

*Horizontfolge:* Ah/Bv/BvGo/Go/Gr

*FAO-Klassifikation:* Gleyic Cambisols

*Diagnostische Kriterien:* Boden nur mit Grundwasservergleyung /↑ Halbamphigleye, halbhydromorphe Staugleye/; Übergangsbildung zwischen Grundgley und Braunerde; Ah < 4 dm mächtig /↑ Schwarzgleye/; anhydromorpher Zwischenhorizont kräftig braun /↑ Rostgleye/; Go geschlossen ausgebildet, fleckig oder in bänderartige Rostabsätze aufgelöst, nicht selten als Misch- oder Übergangshorizont mit dem darüber liegenden Horizont verbunden; Gr nicht immer deutlich entwickelt; Auensedimente ausgeschlossen /↑ Vegagley/

#### **Rost(grund)gleye**

*Horizontfolge:* Ah/Bsv/BsvGo/Go/Gr

*FAO-Klassifikation:* Gleyic Podzols

*Diagnostische Kriterien:* kalkfreier Boden nur mit Grundwasservergleyung /↑ Halbamphigleye, halbhydromorphe Staugleye/; Übergangsbildung zwischen Grundgley und Rosterde;

Humushorizont unter Acker meist auf Ap beschränkt; anhydromorpher Zwischenhorizont mittelbraun bis rostbraun, oft schwach ausgebildet und/oder geringmächtig /↑ Braungley/; Ausbildung der G-Horizonte siehe Braungley; Auensedimente ausgeschlossen /↑ Vega-gley/

**Eigenschaften und Vorkommen**

Braun- und Rostgleye sind Halbgrundgleye. Sie unterscheiden sich in der Ausprägung des anhydromorphen Zwischenhorizontes. Braungleye haben einen Bv, Rostgleye einen Bsv-Horizont. Die Gleyhorizonte sind beim Rostgley öfter als Mischhorizonte ausgebildet, d. h. statt einer klaren Gliederung in Go und Gr findet man große Rostflecken, z. T. auch bänderartige Eisenabsätze auf fahlgrauem Untergrund. Mit zunehmender Tiefe tritt die Rostfärbung zurück. Beim Braungley gibt es ähnliche Ausbildungsformen, im allgemeinen sind Rostabsatz- und Reduktionshorizont aber deutlicher erkennbar.

Braun- und Rostgleye treten vorwiegend im Tiefland auf. Sie kommen vor allem an Talrändern, aber auch innerhalb von Grundmoränenplatten an tiefer gelegenen Positionen vor. Während Rostgleye mehr auf reinen Sanden verbreitet sind, findet man Braungleye vor

Abb. 4/19  
Sand-Ortgley; Rövenshagen, Kreis Rostock (Aufn.: G. Reuter)

Horizonte

Substrat

Humus-  
auflage

Ah

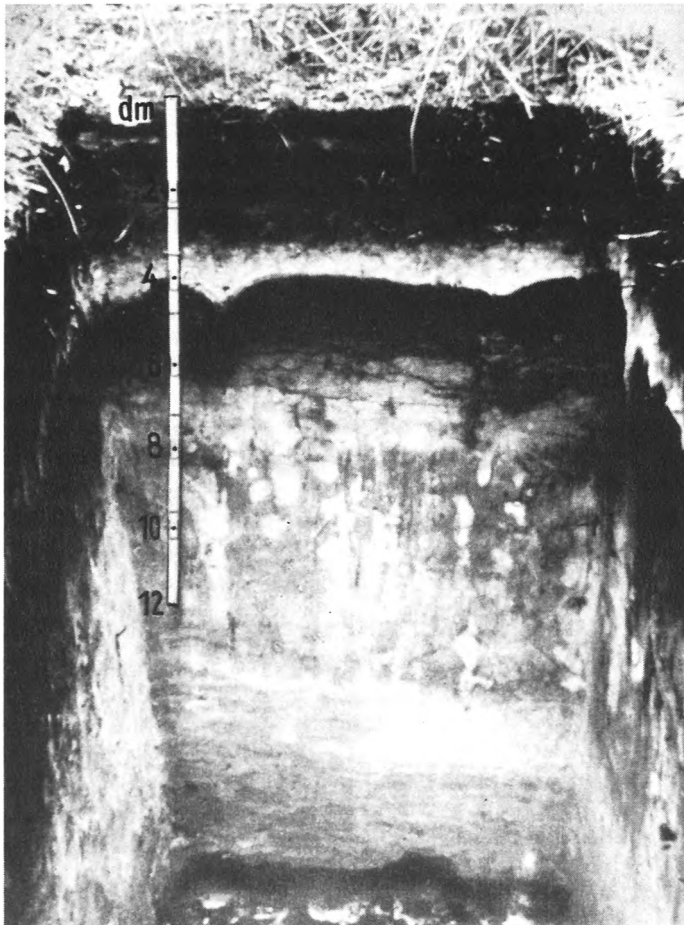
Es

Bsh

Go

Gr

Sand



allen auf Salmen und Decksalmen. In Verbindung mit größeren Sammelwasserdellen sind sie sogar auf lehmigem Material zu finden. Braungleye kommen örtlich auch im Hügel- und Bergland vor, hier aber gleichfalls nur in Talrandbereichen.

In ihren Eigenschaften nehmen die Braun- und Rostgleye eine Mittelstellung zwischen den jeweiligen anhydromorphen und hydromorphen Böden ein. Landwirtschaftlich können sie aber günstiger bewertet werden, weil sie meist frischere Standorte anzeigen. Braungleye sind fruchtbarer als Rostgleye.

Ortgleye, früher als Gleypodsole bezeichnet (s. Abb. 4/19), werden wegen ihrer geringen Verbreitung vorerst den Rostgleyen zugeordnet. Nach ihrer Horizontfolge Ah/Es/Bs(h)Go/Gr handelt es sich um Podsole mit grundwasservergleytem Unterboden. Auch die Ortgleye sind frischer als die Podsole.

## Hauptbodenformen

### Tiefland (VSt III):

kdL, E	Grand-B./R.	s/mE	Tiefsalm-R.
sL, E	Sand-B./R.	s/IL, E	Sandtieflehm-B./R.
bsL, E	Bändersand-B./R.	m/IL	Salmtieflehm-B.
mL	Salm-B.	pL	Sandlehm-B.
m/dL	Decksalm-B.		

### 4.6.4. Vegagleye und Schwarzgleye

#### Vega(grund)gleye

*Horizontfolge:* Ah/Ba/BaGo/Go/Gr

*FAO-Klassifikation:* Eutric und Calcacic Fluvisols

*Diagnostische Kriterien:* Boden nur mit Grundwasservergleyung /↑ Halbamphigleye, Halbstaugleye/; nur in Auensedimenten entwickelt /↑ Braungley, Rostgley/; Übergangsbildung zwischen Grundgley und Vega; Ah < 4 dm mächtig /↑ Schwarzgley/; anhydromorpher Zwischenhorizont als Ba entwickelt; Ausbildung der G-Horizonte siehe Braungley; bei kalkhaltigem Untergrund im Solum Restkalk möglich

#### Schwarz(grund)gleye

*Horizontfolge:* Ah/AhBa/AhGo/Go/Gr

*FAO-Klassifikation:* Haplic Phaeozems

*Diagnostische Kriterien:* dunkelgrauer Boden nur mit Grundwasservergleyung /↑ Halbamphigleye, Halbstaugleye/; Übergangsbildung zwischen Grundgley und Feuchtschwarzerde, zum Teil auch Vega (wenn allochthoner Humushorizont mächtiger > 4 dm ist) /↑ Vegagley, Braungley, Rostgley/; Ausbildung der G-Horizonte siehe Braungley

#### Eigenschaften und Vorkommen

Vega- und Schwarzgleye sind Halbgrundgleye. Sie zeigen in bezug auf ihre Ausbildung eine gewisse Verwandtschaft. Während sich bei dem Vegagley i. d. R. ein brauner Ba-Horizont entwickelte, zeichnen sich die Schwarzgleye durch einen anhydromorphen grauen bis schwarzen, mächtigeren AhBa- oder durch einen mächtigen Ah-Horizont aus. Beide Subtypen kommen vorwiegend in Auen vor, doch dominiert entsprechend den Bildungsbedingungen meist entweder der eine oder der andere.

Der Vegagley steht oft der Vega näher als dem Gley. Die Ausbildung der Gleyhorizonte unterhalb des Gefügeumbildungshorizontes ist nicht immer deutlich. Der Go-Horizont beginnt meist schon im Ba, aber erst unterhalb 4 dm u. Fl. Vegagleye kommen in allen Auengebieten auf Sedimenten, die lehmiger Sand und schwerer sind, vor. I. d. R. sind es fruchtbare Böden auf vorwiegend schluffigen und lehmigen Substraten vor allem in den im südlichen Teil der DDR gelegenen Auen. Sie sind nur selten meliorationsbedürftig, ihre Bearbeitbarkeit ist günstig. Es handelt sich um frische Standorte.

Schwarzgleye haben einen Humusgehalt von 2 bis 5 %. Sie sind eine heterogene Gruppe. Einmal handelt es sich um Schwarzerden mit Unterbodenvergleyung durch Grundwasser. Diese Böden kommen in tiefer gelegenen Teilen des Schwarzerdegebietes vor und werden in ost- und südosteuropäischen Ländern auch als *Wiesenschwarzerden* bezeichnet. Zum zweiten kommen sie auf sandigen Auensedimenten (?) vor, beispielsweise im Brandenburg-Potsdamer Havelgebiet im Bereich der Terrassen. Kalkgehalt im Grundwasser ist die Ursache für hohe pH-Werte im Profil, vielleicht auch für die stärkere Humusakkumulation. Sie zeigen für leichte Böden einen vergleichsweise hohen Nährelementvorrat, es handelt sich um ausgesprochen fruchtbare Sandböden. Schwarzgleye kommen aber auch auf den lehmigen und schluffigen Sedimenten des Helme-Unstrut-Gebietes sowie auf den tonigen in der Wische vor. Die Entstehung dieser humosen Böden in der Wische wird auf einen stärkeren Rückstau der Elbe in früheren Jahrtausenden zurückgeführt, durch den besonders in diesem Flußabschnitt eine stärkere Humusakkumulation begünstigt wurde. Die Auenton-Schwarzgleye verlangen wie alle Stundenböden eine große Umsicht in der technologischen Behandlung.

### Hauptbodenformen

#### Auen (VSt IV):

omK Auensalm-V.  
 om/dK Deckauensalm-V.  
 ouK, Z Auenschluff-V./Sch.  
 olK, Z Auenlehm-V./Sch.  
 ol/dK Deckauenlehm-V.

ot/dK, Z Deckauenton-V./Sch.  
 ou/tK, Z Auenschluffkerf-V./Sch.  
 ol/tK, Z Auenlehmkerf-V./Sch.

#### Tiefland/Hügelland (VSt I):

ksK Kiessand-V.  
 sZ Sand-Sch.  
 mZ Salm-Sch.  
 m/dZ Decksalm-Sch.  
 öZ Löß-Sch.

otK, Z Auenton-V./Sch.

## 4.7. Charakterisierung verbreiteter Böden mit Nässemerkmalen im gesamten Profil (vollhydromorphe Böden)

Alle Böden, bei denen Nässemerkmale oberhalb 3/4 dm u. Fl. deutlich hervortreten, werden als vollhydromorphe Böden bezeichnet. Dazu rechnen die Vollstaugleye, Vollamphigleye, Vollgrundgleye und Moore, also Böden, die i. d. R. bis an die Oberfläche vergleyt sind. In diese Gruppe von Böden gehören somit Mineral- und Moorböden. Zu den *Moorböden* werden alle diejenigen gezählt, die oberhalb 8 dm u. Fl. ganz aus Torf bestehen oder zumindest eine > 2 dm mächtige Torf-/Muddeschicht aufweisen.

### 4.7.1. Staugleye und Humusstaugleye

#### Staugleye

Horizontfolge: Ah/Etg, Egk/Bg, Btg/Cg/C

FAO-Klassifikation: Gleyic Podzoluvisols/Luvisols und Dystric Planosols

Diagnostische Kriterien (s. auch Abb. 4/20): Mineralboden nur mit Stau- und/oder Haftnässevergleyung /↑ Amphigley, vollhydromorphe Grundgleye/; Texturdifferenzierung kann vorhanden sein; Humushorizont mit < 5 % organischer Substanz und < 4 dm mächtig /↑ Humusstaugleye/, bei Ackernutzung meist auf die Krume beschränkt; Eg deutlich heller als Bg sowie unterschiedlich stark von Eisen- und Mangankonkretionen durchsetzt; ein gut ausgeprägter Eg weist auf Staunässe (Bleichstaugleye), ein wenig ausgeprägter oder fehlender auf Haftnässe (Haftgleye) hin; Marmorierungshorizont intensiv rost- und bleichfleckig, vielfach auch -adrig; bei texturdifferenzierten Böden verschiedenfarbene Ton-

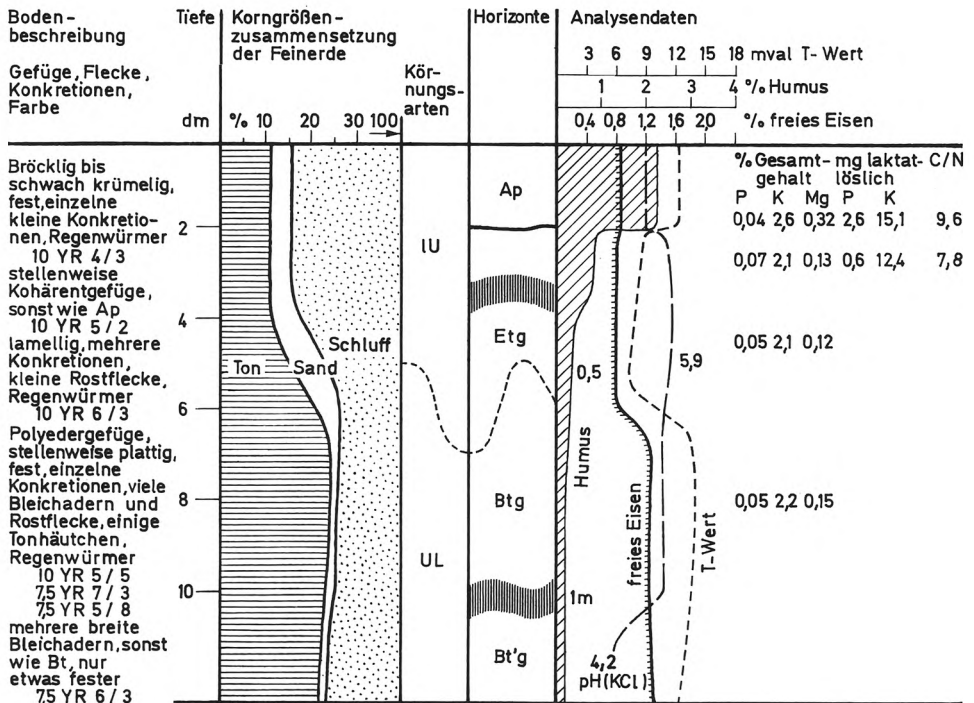


Abb. 4/20

Schematische Profildarstellung eines Löß-Staogleys mit Beschreibung und Analysendiagramm  
 Bodentyp: Staogley

Subtyp: Bleichstaogley  
 Bodenschätzung: sL5Lö 54/52  
 Geologische Verhältnisse:  
 jüngerer über älterem Weichsellöß  
 Hydrologische Verhältnisse:  
 staunässebestimmt (S2)

Ort: Altgeringswalde, Kreis Rochlitz,  
 Bezirk Karl-Marx-Stadt  
 Mesorelief: Hohlhang  
 Mittlerer Jahresniederschlag: 709 mm  
 Mittlere Jahrestemperatur: 8,7°C

Naturräumliche Einheit:  
 Sächsisches Hügelland

häutchen möglich; unverändertes Ausgangsmaterial sedimentgebunden zum Teil nicht mehr vorhanden; geschlossener Gr fehlt oberhalb 15 dm u. Fl. /↑ Amphigley/

### Humusstaogleye

Horizontfolge: Ahg/Eg, Egk/Bg/Cg/C

FAO-Klassifikation: Gleyic Luvisols/Phaeozems

Diagnostische Kriterien: dunkler, kalkfreier Mineralboden mit intensiver Stau- und Haftnässevergleyung /↑ Humusgley/ bis an die Oberfläche; Ahg mindestens im oberen Teil 5 bis 30 % organische Substanz und/oder > 4 dm mächtig /↑ Staogley/; zwischen Ahg und Bg Bleichhorizont möglich; Ausbildung des Bg s. Staogley

### Eigenschaften und Vorkommen

Staogleye und Humusstaogleye sind Vollstaogleye. Staogleye können in Bleichstaogleye und Haftgleye untergliedert werden. Für die Bleichstaogleye ist ein verdichteter Unterbodenhorizont (Staukörper) charakteristisch, der zeitweilig zur Überfeuchtung und damit Vernässung auch im oberen Profilleit (Stauwasserleiter) führt. Die Verdichtung ist nicht allein auf eine Verringerung des Porenvolumens, sondern auch auf eine ungünstigere Po-

rengößenverteilung (höherer Anteil an Mikroporen) zurückzuführen. Das Luftvolumen sinkt im Staukörper bei Sättigung im Bereich der Feldkapazität auf < 5 Vol.-% ab. Bei den *Haftgleyen* überwiegt eine verzögerte Wasserversickerung im gesamten Profil, so daß der Staukörper gleichzeitig auch Stauwasserleiter ist. Bei Bleichstau- und Haftgleyen spricht man auch von Tagwasservergleyung.

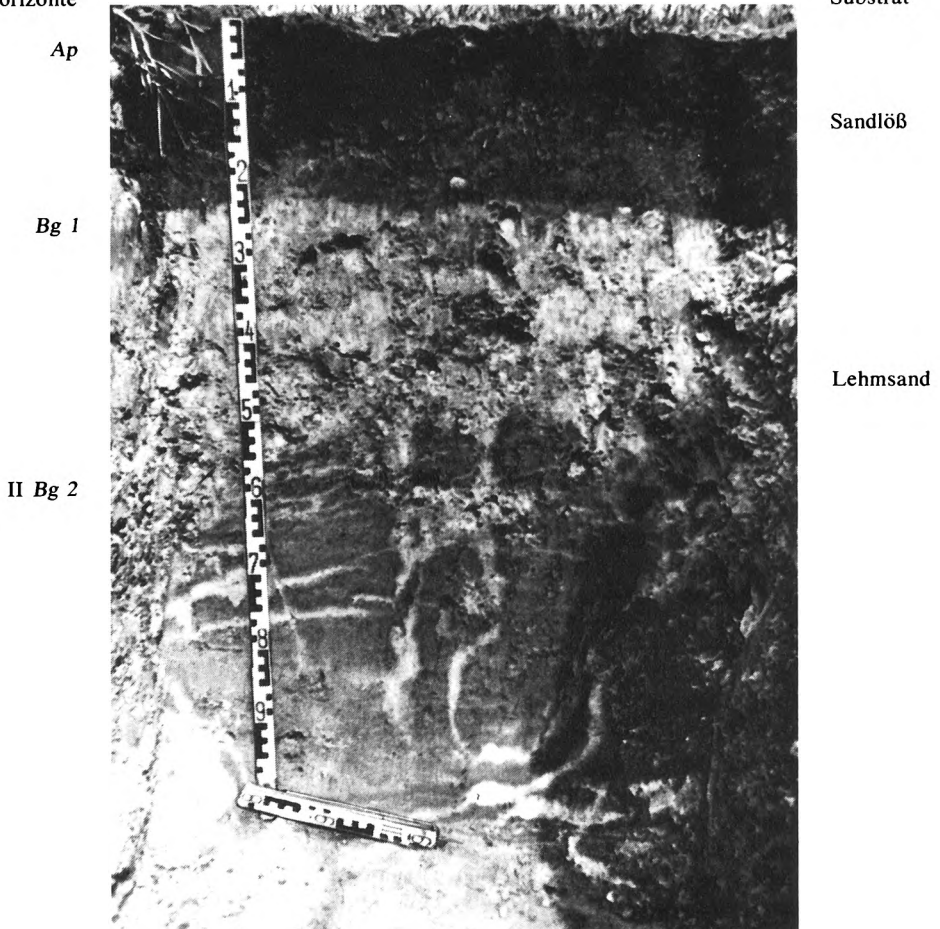
Meist kommen Stau- und Haftvernässung zusammen vor, es gibt aber auch eine Reihe von Fällen, in denen eindeutig die eine oder die andere dominiert (vgl. Abb. 4/18). Bei vorherrschender Staunässe bildet sich im oberen Profilteil infolge zeitweilig stark reduzierter Verhältnisse ein hydromorpher Bleichhorizont aus, der bei stärkerer Anreicherung mit Fe-Mn-Konkretionen als Ekg-Horizont bezeichnet wird. Bei vorherrschender Haftnässe ist das gesamte Solum bis auf den Ah-Horizont marmoriert, entweder nur in Form von Rost-/Bleichflecken oder zusätzlich auch von Spaltenbleichung. Im ersten Fall spricht man manchmal auch von einem Flecken-, im zweiten von einem Aderhorizont. Da Bleichstau- und Haftgleye oftmals schwer auseinanderzuhalten sind bzw. unmittelbar ineinander übergehen, werden sie auf dem Niveau der Hauptbodenform vorerst unter der Bezeichnung *Staugley* zusammengefaßt.

*Humusstaugleye* sind Böden, die infolge intensiver Vernässung eine stärkere Humus-

Abb. 4/21

Sandlöß-Staugley über Lehm; Grethen, Kreis Grimma (Aufn.: *Morgenstern*)

Horizonte





akkumulation als die Staugleye aufweisen. Die Humusanreicherung ist entweder auf einen höheren Gehalt an organischer Substanz oder auf einen mächtigeren Ah-Horizont zurückzuführen. Die *Anmoorstaugleye* werden mit den Humusstaugleyen zusammengefaßt, da beide verwandt sind und ohnehin selten auftreten.

Der *Rostabsatzstaugleye* ist ein besonderer Subtyp des Staugleys. Nach der Horizontfolge **Ah/Go/Bg, Btg/C** handelt es sich um Böden mit einem Rostabsatzhorizont über dem Marmorierungshorizont, also einer umgekehrten Horizontfolge als beim Amphigley. Der Go- ist vermutlich alt, d. h., er hat reliktsichen Charakter. Diese nur in Küstennähe verbreiteten Böden werden vorerst ebenfalls den Staugleyen zugeordnet.

Staugleye können sowohl an eine Texturdifferenzierung gekoppelt sein (bei einigen Böden sogar als Folge derselben), als auch in einem nicht texturdifferenzierten Substrat vorkommen. Dementsprechend sind sie weit verbreitet, sie nehmen etwa  $\frac{1}{7}$  der Fläche der DDR ein (z. T. in Streulage, d. h. nur als Begleitbodenformen) und kommen auf fast allen Substraten vor. Im Tiefland treten Staugleye vorwiegend auf lehmigerem Material auf, angefangen vom Salm über Tieflehm bis zum Lehm. Örtlich sind auch eutrophe (grch., nährelementreiche) Staugleye mit Karbonat-Marmorierungshorizonten (Ccg) im Untergrund entwickelt. Der Staukörper ist in diesen Profilen weniger der Btg-, als vielmehr der kompakte, sehr porenarme Karbonathorizont, in dessen oberen Teil, also an der Basis des Solum, die stärkste Hydromorphierung zu finden ist. Im Küstengebiet überwiegen in bestimmten Teilen die Haftgleye gegenüber den Bleichstaugleyen.

Im Hügelland findet man Staugleye vor allem in den luvseitigen niederschlagsreichen Übergangslagen zum Erzgebirge. Sie sind dort i. d. R. an oberflächennah anstehende ältere Löße gebunden, die von einem nur wenige Dezimeter mächtigen jüngeren Weichsellöß überlagert werden. Mächtige Lößschichten verschiedenen Alters, in die dazu noch fossile Lößböden eingeschoben sein können, bezeichnet man auch als *Lößpakete*. Sie sind meist restlos entkalkt. Das Karbonat wurde in früheren geologischen Epochen, z. T. bereits während der Anwehung, in einem relativ feuchten Milieu ausgelaugt (Gleylöße). Oftmals waren die Substrate auch primär kalkfrei (Braunlöße). Der Untergrund ist deshalb bei Löß-Staugleyen ebenfalls marmoriert, d. h., es gibt keinen C-Horizont. Die *älteren Löße* sind demnach der eigentliche Staukörper, der sowohl Stau- als auch Haftnässe bewirkt. Da die Stau-/Haftnässe in diesem Gebiet an das Vorkommen dieser älteren Löße (lokal auch an im Unterboden anstehende ältere Geschiebelehme – s. Abb. 4/21) gebunden ist, korreliert die Intensität der Staunässevergleyung auch nicht mit der Stärke der Texturdifferenzierung in dem an der Oberfläche anstehenden Boden. Löß-Staugleye sind i. d. R. sogar schwächer texturdifferenziert als vergleichbare Löß-Fahlerden in dieser Landschaft.

Im Bergland treten Staugleye auf allen Substraten in stärker feuchten Lagen sowohl als Bleichstaugleye als auch als Haftgleye auf. Sie kommen vor allem auf Gebirgslößen, Zwischensedimenten und Basislehmen vor (s. Abschn. 3.1.6.).

In den Auen treten typische Staugleye kaum auf, da dort die Staunässe, genauer Haftnässe, meist mit Grundnässe gekoppelt ist und somit Amphigleye ausgebildet sind.

*Humusstaugleye* sind im Tiefland an nicht entwässerte (tief liegende) Moränenplatten und an Geländedepressionen im Verbreitungsgebiet der Staugleye gebunden. Im Hügel- und Bergland treten sie seltener auf. Charakteristisch für das Wasserregime der Staugleye ist der Wechsel von stärkerer Durchfeuchtung und Austrocknung. Es handelt sich also um typisch *wechselfeuchte* Standorte, die im Frühjahr (und Spätherbst) zu naß, im Sommer zu trocken sind. Unterschiede treten in der Intensität der Vernässung auf. Bleichstaugleye sind teilweise an Geländedepositionen mit Zuschußwasser gebunden (besonders im Tiefland), Haftgleye i. d. R. nicht. Böden mit einer langen Nässephase im Frühjahr bis Sommer neigen zur stärkeren Humusakkumulation, sie sind daher örtlich auch als Humusstaugleye ausgebildet. Bleichstaugleye zeichnen sich durch einen schrofferen Wechsel von Nässe- und Trockenphasen aus, der vielfach auch zu stärkerer Konkretionsbildung führt. Haftgleye neigen hingegen zu längeren Feuchtphasen (Übergang zwischen Naß- und Trockenphase).

Die Fruchtbarkeit der Staugleye und Humusstaugleye hängt vom Bodenfeuchteregime und vom Substrat ab. Je länger die Nässephase dauert, um so ungünstiger sind sie zu bewerten. Staugleye mit langer Vernässung werden daher auch als Grünland genutzt, oder sie müssen drainiert werden. Staugleye gehören zu den Böden, die durch Melioration entscheidend verbessert werden können. In der DDR ist der größte Teil der Staugleye bisher schon melioriert worden, meist jedoch zunächst durch Drainung. Alleinige Drainung führt aber nur dann zum Erfolg, wenn es sich um Staugleye und Humusstaugleye mit langer Nässephase handelt, weil dort wenigstens ein Teil der Feuchtigkeit abgeführt werden muß. Solche Böden sind jedoch selten. Bei allen übrigen Staugleyen kommt es darauf an, daß der zeitweilig auftretende Feuchteüberschuß, der ohnehin nur technologisch hinderlich ist, nicht verlorengeht, sondern ackerbaulich „tragbar“ gemacht, d. h. ohne Hindernis für die Bewirtschaftung und damit für die nachfolgende trockenere Periode zur Gewährleistung hoher, stabiler Erträge im Boden erhalten bleibt. Auf Staugleyen ist deshalb durch kombinierte Unterbodenmelioration die größte Wirksamkeit zu erreichen. So erbrachten Staugleye auf Bergsubstraten die höchsten Mehrerträge durch Kombination von Tieflockerung und Tiefkalkung mit Drainung. Tieflockerung oder Drainung jeweils allein sind ungünstiger. Kombinierte Unterbodenmelioration hat somit bei Staugleyen einen hohen Stellenwert.

Problematisch bleiben weiterhin solche Staugleye, bei denen das Profilbild nicht mit dem derzeitigen Bodenfeuchteregime übereinstimmt. So gibt es eine Reihe von Staugleyen, deren Merkmale sich in schon lange zurückliegenden Perioden herausgebildet haben (*reliktische Staugleye*). Ihre Beurteilung ist weitaus schwieriger. Um diese Frage, die vor allem für meliorationstechnische Vorhaben Bedeutung hat, klären zu können, muß man nicht nur das Profilbild, sondern auch das derzeitige Wasserregime der Staugleye kennen. Erst dann lassen sich geeignete Maßnahmen zu ihrer Verbesserung einleiten.

Das Nährelementnachlieferungsvermögen der Staugleye ist mindestens ebenso günstig wie bei den Fahlerden einzuschätzen. Staugleye müssen allerdings meist stärker gekalkt werden. Ausreichende organische Düngung ist besonders für die Verbesserung des Bodengefüges notwendig. Lockerung und Durchlüftung sind wichtige fruchtbarkeitsfördernde Maßnahmen. Infolge der größeren Schwankungen des Feuchtigkeitsgehaltes sind sie schwieriger als die entsprechenden anhydromorphen Böden mit gleichem Substrataufbau zu bearbeiten. Große Aufmerksamkeit erfordert die richtige Wahl des Pflügezeitpunktes, eine Herbstfurche ist am günstigsten. Krumenvertiefung muß vorsichtig durchgeführt werden, differenzierte Pflügetiefen wirken sich günstig auf physikalische Bodeneigenschaften aus. Nach langer ackerbaulicher Nutzung und sachgemäßer Melioration können Staugleye wertvolle Ackerstandorte ergeben. So z. B. retrogradierten Löß-Staugleye im Mittelsächsischen Hügelland allmählich zu Parabraunerden mit der für diese Böden charakteristischen hohen Fruchtbarkeit (s. Abschn. 3.5.1.).

### Hauptbodenformen

Tiefland (VSt V):		Hügelland/Tiefland (VSt III):		Bergland (VSt III):	
s/mS	Tiefsalm-S.	öS	Löß-S.	vmS	Bergsalm-S.
s/IS	Sandtieflhm-S.	ö/gS	Löß-S. ü. Gest.	vöS	Berglöß-S.
m/IS, H	Salmtieflhm-S./H.	sö/tS	Sandlößkerf-S.	vpS, H	Bergsandlhm-S./H.
pS, H	Sandlehm-S./H.	ö/tS, H	Lößkerf-S./H.	vqS, H	Berglehm-S./H.
qS, H	Lehm-S./H.	sö/IS, H	Sandlöß-S./H.	nlS	Schuttiehm-S.
d/tS	Tiefton-S.		über Lehm	vtS, H	Bergton-S./H.
l/tS, H.	Lehmkerf-S./H.	ö/IS, H	Löbtieflhm-S./H.	ntS	Schutton-S.
				vö/vtS, H	Berglößkerf-S./H.
				vö/vIS, H	Berglöß-S./H. über Lehm

## 4.7.2. Amphigleye

**Horizontfolge:** Ah/Eg/Bg, Btg/BgGo/Go/Gr

**FAO-Klassifikation:** Gleyic Luvisols und Eutric Fluvisols

**Diagnostische Kriterien** (s. auch Abb. 4/22): Mineralboden mit Haftnässe- über Grundwasservergleyung /↑ volhydromorphe Stau- und Grundgleye/; Übergangsbildung zwischen Stauley und Grundgley; Ah mit unterschiedlichem Gehalt an organischer Substanz; Eg kann fehlen, Bg immer vorhanden; unterer Teil des Bg meist als Mischhorizont BgGo entwickelt; Ausbildung der G-Horizonte siehe Grundgley; Go manchmal undeutlich entwickelt; geschlossener Gr muß oberhalb 15 dm u. Fl. /↑ Stauley/ auftreten

### Eigenschaften und Vorkommen

Amphigleye zeigen unmittelbar unter dem Humushorizont entweder Haftnässe- mit sich anschließenden Vergleyungsmerkmalen durch Grundwasser oder einen Mischhorizont BgG. Sie sind also dadurch charakterisiert, daß Haftnässe über Grundnässe auftritt. Die Marmorierung beginnt gleich unterhalb des Ah, welcher selbst i. d. R. bereits hydromorph gebildeten Humus enthält.

Am typischsten sind Amphigleye in Decklehm- und -tonen ausgebildet. Das Grundwasser

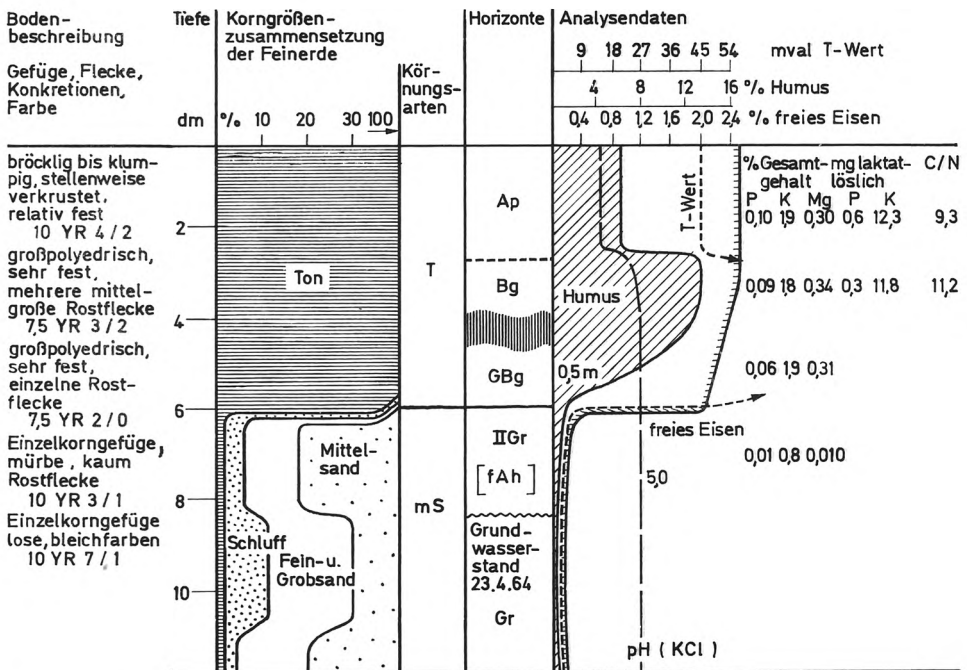


Abb. 4/22

Schematische Darstellung eines Deckkaution-Amphigleys mit Beschreibung und Analysendiagramm

Bodentyp: Amphigleye

Subtyp: Normamphigleye

Bodenschätzung: L3Al 73/70

Geologische Verhältnisse:

älteres Auensediment über Talsand

Hydrologische Verhältnisse: Haftnässe über stärker schwankendem Grundwasser (A3)

Ort: Beaugard; Kreis Bad

Freienwalde,

Bezirk Frankfurt

Mesorelief: Talebene

Mittlerer Jahresniederschlag: 480 mm

Mittlere Jahrestemperatur: 8,2°C

Naturräumliche Einheit: Odertal

ist meist gespannt. Je tonreicher auch der Unterboden/Untergrund ist, um so schwerer lassen sich Haft- und Grundnässe voneinander trennen. Das gesamte Profil kann dann marmoriert sein, wobei Go- und Gr-Horizont nur angedeutet sind. Durchgehende Grundwasserhorizonte können sich wegen der schweren Beweglichkeit des Bodenwassers nicht ausbilden. In solchen Böden dominieren selbst im Bereich des Grundwassers Haftnässemerkmale. Eine Differenzierung zwischen den verschiedenen Erscheinungsformen des Bodenwassers wird hier gegenstandslos, zumal auch die praktischen Auswirkungen ähnlich sind.

Amphigleye treten örtlich nur dort im Geschiebelehm (insbesondere nahe der Ostseeküste) auf, wo im durchlässigen Untergrund Grundwasserbewegungen stattfinden. Auch auf Lößen und in den breiteren Talmulden des Berglandes sind Amphigleye anzutreffen. Verbreiteter kommen sie jedoch nur in den Auen vor, zum Beispiel in der Wische und im Oderbruch. Der Wasserhaushalt dieser Gebiete wird maßgebend durch die Elbe bzw. Oder bestimmt. Typisch sind durch Winter- und Frühjahrshochwässer hervorgerufene Rückstauerscheinungen, die zu höheren Grundwasserständen führen. Im Sommer/Herbst hingegen kommt es infolge unzureichender Niederschläge zu einem stärkeren Absinken des Grundwassers und damit zur zeitweiligen Austrocknung dieser Böden. Kombinierte Unterbodenmelioration und zweiseitige Wasserregulierung können daher wesentliche Ertragssteigerungen bewirken.

Die Eigenschaften der Amphigleye werden demnach vom Substrat und vom Gebietswasserhaushalt bestimmt. Nutzung und agrotechnische Behandlung sind nicht immer einfach, sie erfordern ein hohes Wissen über die Eigenart dieser Böden und große Erfahrungen über die örtlichen Verhältnisse.

Die Humusamphigleye, die analog den Humusgleyen und Humusstaugleyen (s. diese) ausgegrenzt werden, sind vorerst den Humusgleyen zugeordnet worden, da sie diesen sehr nahe stehen.

### Hauptbodenformen

Tiefland/Hügelland  
(VSt I):

pX Sandlehm-A.  
p/dX Decksandlehm-A.  
q/dX Decklehm-A.  
öX Löß-A.

Auen (VSt II):

ouX	Auenschluff-A.	ol/dX	Deckauenlehm-A.
ou/dX	Deckauenschluff-A.	otX	Auenton-A.
olX	Auenlehm-A.	ot/dX	Deckauton-A.

### 4.7.3. Grundgleye

*Horizontfolge:* Ah, AhG/Go, Gor/Gr

*FAO-Klassifikation:* Eutric und Calcaric Gleysols

*Diagnostische Kriterien* (s. auch Abb. 4/23): Mineralboden mit Grundwasservergleyung (↑ Amphigleye, vollhydromorphe Staugleye/; Humushorizont mit < 5% organischer Substanz und < 4 dm mächtig /↑ Humusgleye/; rostbrauner Go weitgehend geschlossen ausgebildet, seltener in größere rostbraune Flecken oder bänderartige Rostabsätze aufgelöst, kann verfestigt sein (Raseneisenstein); Gr bei sandigem Material i. d. R. kaum Rostflecke, bei tonigem Roströhren möglich; manchmal G-Horizonte insgesamt undeutlich ausgebildet, zum Beispiel bei Schuttsedimenten in Tälern, bei Kiesen und bei eisenarmem Grundwasser; nach Grundwasserabsenkung Bildung schwach ausgeprägter Rostflecken innerhalb des ehemaligen Gr möglich

### Eigenschaften und Vorkommen

Grundgleye sind humusarme Vollgleye. Sie können als *Graugleye* und als *Kalkgleye* auftreten, d. h. ohne oder mit Karbonat im Solum. Beide Substypen werden auf dem Niveau

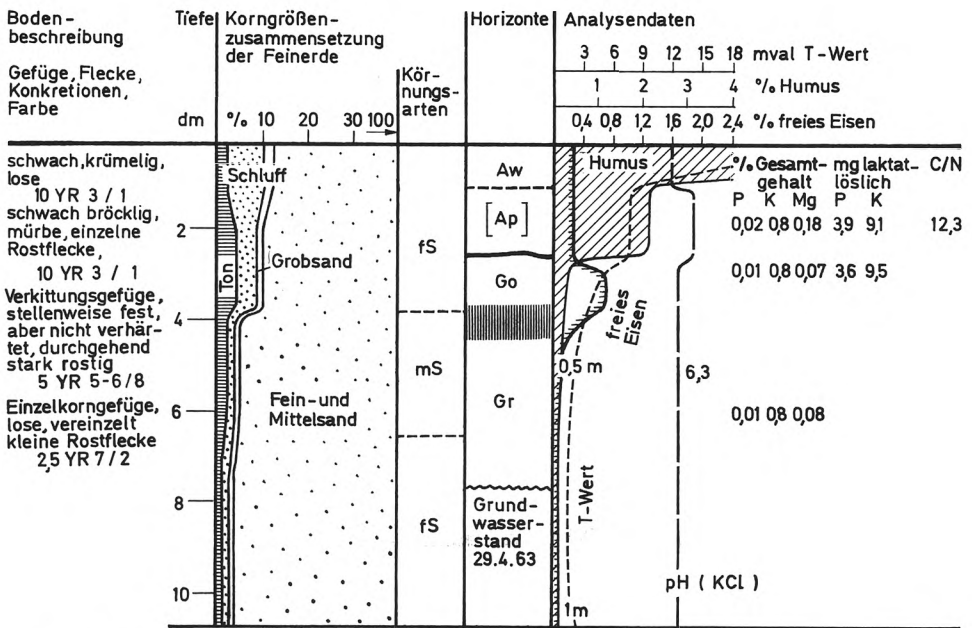


Abb. 4/23

Schematische Darstellung eines Sand-Gleys mit Beschreibung und Analysendiagramm  
 Bodentyp: Grundgley Ort: Lichterfelde; Kreis Eberswalde, Bezirk Frankfurt

Subtyp: Graugley

Bodenschätzung: SIIa3 + 32

Geologische Verhältnisse: Talsand

Hydrologische Verhältnisse:

grundwasserbestimmt (G2)

Mesorelief: Niederungsebene

Mittlerer Jahresniederschlag: 572 mm

Mittlere Jahrestemperatur: 8,4°C

Naturräumliche Einheit: Mecklenburgische

Seenplatte

der Hauptbodenform zusammengefaßt. Grundgleye sind Böden mit Feuchthumus, der sich unter dem Einfluß höher stehenden Grundwassers bildete. Unter Wald hatten diese Böden ursprünglich einen höheren Gehalt an organischer Substanz. Durch die landwirtschaftliche Nutzung kam es zu einem Humusschwund, so daß zum Beispiel Sand-Grundgleye heute im Ap nur 2 bis 3%, im Aw 3 bis 5% aufweisen (daher auch der Name Graugley). Unter dem grauen Humushorizont, der manchmal schon Rost- und/oder Bleichflecken aufweist, folgt der Rostabsatzhorizont. In diesem wurde das durch Grundwasser herantransportierte Eisen infolge Luftzutritts während periodisch auftretender Grundwasserabsenkungen (vor allem im Sommer) oxidiert und damit ausgefällt. Bei starken Anreicherungen kann es zu Verfestigungen in Form von Knollen und Bänken kommen, die man als *Raseneisenstein* bezeichnet. Bei der *Verockerung* handelt es sich um einen analogen Vorgang, bei dem künstlich im Zuge der Entwässerung Eisenverbindungen, insb. in Dränrohren, ausgefällt werden.

Im ständigen Bereich des Grundwassers bleibt hingegen das Eisen in der zweiwertigen, reduzierten Form löslich (die Ausbildung von Rostrohren ist an ehemalige Wurzelröhren gebunden) und färbt das Solum graugrün bis -blau. Deshalb ist ein gut ausgebildeter Reduktionshorizont gleichzeitig Anzeiger für den aktuellen Grundwasserstand.

Die Qualität des Grundwassers wird vornehmlich vom Kalk- und Sauerstoffgehalt bestimmt. Je kalkreicher das Grundwasser ist und je schneller es fließt, um so größer ist auch

sein Sauerstoffgehalt. Sauerstoffreiches Grundwasser vertragen die Pflanzen eher als sauerstoffarmes, höhere Grundwasserstände bewirken dann kaum Schäden. Sauerstoffreiche, an organischer Substanz arme Grundgleye erkennt man im Profil an dem meist fehlenden Gr-Horizont. Sie kommen vor allem in stark durchlässigen (z. B. kiesreichen) Substraten vor.

Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ist heute oftmals der Grundwasserstand abgesunken, sei es durch örtliche meliorative Maßnahmen, sei es infolge einer allgemeinen Absenkung in dem betreffenden Gebiet. Gleye unter diesen neuen Bedingungen bezeichnet man als Reliktgleye. Sie haben die gleiche Ausprägung des Profils wie der ursprüngliche Gley, das Wasserregime aber ist ein anderes, und der Humusgehalt ist noch stärker abgesunken. Solche Böden sind im Gelände schwer zu beurteilen. In der Bodenformensystematik werden sie nach den erkennbaren Profilmmerkmalen vorerst weiter als Grundgleye eingeordnet. Zusätzlich wird über die Wasserstufe, in der sich die aktuellen Wasserverhältnisse widerspiegeln, die Diskrepanz zwischen Profilausbildung und Grundwasserstand abgeschätzt und daraus die Stärke der Grundwasserabsenkung erschlossen. Liegt die Grundwasserabsenkung > 10 Jahre zurück, kann sich im Gr- ein neuer Rostabsatzhorizont

Abb. 4/24  
Sand-Gley; Eberswalde, Bezirk Frankfurt

Horizonte

Substrat

Ap

Go

Gr

Sand



entwickeln, der aber nur sehr schwach ausgebildet ist. Stufenweises Absinken des Grundwassers führt zu sogenannten *Stockwerkgleyen*. Es gibt auch Gleye, bei denen der Rostabsatzhorizont infolge eisenarmen Grundwassers völlig fehlt; solche Grundgleye sind jedoch selten.

Am häufigsten ist der Grundgley auf sandigen Substraten anzutreffen (s. Abb. 4/24), und das nicht nur in den Niederungen des Tieflandes. Nicht so häufig kommen sie auf Schluffen, Lehmen und Tonen vor. Diese Sedimente bilden meist nur in den Auen das Ausgangsmaterial. So finden wir Grundgleye auch in der Wische, im Oderbruch und in kleinen Bachauen auf Schluffen, Decklehm, Decktonen, z. T. auch auf durchgehend lehmigem und tonigem Material. Nicht selten handelt es sich hierbei um gespanntes Grundwasser. Die Fruchtbarkeit der Grundgleye hängt vom Substrat, vom Grundwasserstand, von der Qualität des Grundwassers und vom Humusgehalt ab. Liegt bei sandigen Böden der mittlere Grundwasserhöchststand nicht höher als etwa 6 bis 10 dm u. Fl., können sie als Acker genutzt werden. Geht das Grundwasser höher als etwa 6 dm u. Fl., steht die Grünlandnutzung im Vordergrund. Als meliorative Maßnahme kommt bei Grundgleyen nicht nur Entwässerung, sondern in den Sommermonaten oft auch eine zusätzliche Bewässerung in Frage. Sand-Grundgleye sind damit diejenigen Böden, die bei günstigem Relief eine zweiseitige Wasserregulierung (GWR) am ehesten zulassen.

### Hauptbodenformen

#### Tiefland/Hügel (VSt V):

kdG	Grand-G.	c/dG	Deckkalk-G.
sG	Sand-G.	IG	Lehm-G.
mG	Salm-G.	l/dG	Decklehm-G.
m/sG	Decksalm-G.	öG	Löb-G.

#### Auen (VSt II):

omG	Auensalm-G.
om/dG	Deckauensalm-G.
ouG	Auenschluff-G.
ol/dG	Deckauenlehm-G.
ot/dG	Deckauton-G.

## 4.7.4. Humusgleye und Anmoore

### Humus(grund)gleye

*Horizontfolge:* AhG/Go/Gr

*FAO-Klassifikation:* Mollic und Humic Gleysols

*Diagnostische Kriterien:* dunkler Mineralboden mit intensiver Grundwasservergleyung /↑ Humusstaugley/ bis an die Oberfläche; AhG mindestens im oberen Teil mit 5 bis 15% organische Substanz und/oder > 4 dm mächtig /↑ Grundgley, Anmoorgley/; Ausbildung der G-Horizonte siehe Grundgley

### Anmoor(gley)e

*Horizontfolge:* AhG/Go/Gr

*FAO-Klassifikation:* Mollic und Humic Gleysols

*Diagnostische Kriterien:* dunkler Mineralboden mit intensiver Grundwasservergleyung /↑ Humusstaugley/ bis an die Oberfläche; AhG mindestens im oberen Teil mit 15 bis 30% organische Substanz /↑ Humusgley/; Ausbildung der G-Horizonte siehe Grundgley

### Eigenschaften und Vorkommen

Humusgleye, früher auch als *Naßgleye* bezeichnet, und Anmoore (hier nur auf Grundwasservergleyung zurückzuführende) gehören zu den humusreichen Vollgrundgleyen. Beide können wie der Grundgley mit und ohne Karbonat im Solum vorkommen. Dementsprechend spricht man von Kalk- und Normhumusgleyen/-Anmooren. Wesentlichstes Unterscheidungsmerkmal zwischen beiden ist der Humusgehalt. Anmoore enthalten 15 bis 30% organische Substanz. Bei ihnen liegt eine ausgesprochene *Feuchthumusbildung* vor.

**Humusgleye** sind unter landwirtschaftlicher Nutzung wenig verbreitet. Sie kommen nur in bestimmten Geländebereichen vor: in Vergesellschaftung mit Anmooren und Mooren an den höher gelegenen Stellen, mit Grundgleyen in tiefer liegenden Positionen. Humusgleye können auch aus ehemaligen Anmooren entstanden sein. Hoher Grundwasserstand ist i. d. R. Voraussetzung. Sie sind vorwiegend an sandige Substrate gebunden, lehmige kommen selten vor.

**Anmoore** sind ebenfalls nur inselförmig verbreitet, insbesondere in den Niederungen des Tieflandes, zum Beispiel im Bereich von Havel, Rhin und Dosse. I. d. R. handelt es sich um sehr feuchte, nasse Standorte, auf die bei Meliorationen besondere Rücksicht genommen werden muß. Kalkanmoore sacken bei Trockenlegung besonders stark zusammen. Anmoore können auf sandigen bis lehmigen Substraten vorkommen. Der Verbreitung nach sind nur die Sande von Bedeutung.

Die Fruchtbarkeit der Humusgleye und Anmoore ist bei sachgemäßer Entwässerung und Bewirtschaftung hoch. Sie sind günstige Grünlandstandorte.

**Hauptbodenformen** (VSt II; infolge des hohen Humusgehaltes stärkere Zusammenfassung der Substrate; Auensubstrate nicht gesondert berücksichtigt):

dM, O Sand-H./A.	cM, O Kalk-H./A.	c'dM, O kalkbedeckter(s) Sand-H./A.
lM, O Lehm-H./A.	c/dM, O Deckkalk-H./A.	yM, O Mudd-H./A.
		s/h N, O Sandtief torf-H./A.

#### 4.7.5. Niedermoore

Unter der Bezeichnung Niedermoor werden die ökologischen Moortypen (vgl. Abschn. 3.1.7.) *Flachmoor* (Eutric Histosol) und *Kalkmoor* (Eutric Histosol) zusammengefaßt. Hoch- und Zwischenmoore (Dystric Histosols) kommen in der DDR unter landwirtschaftlicher Nutzung nur selten vor. Die Gesamtgliederung der Niedermoore erfolgt für die landwirtschaftliche Nutzung in erster Linie nach der Mächtigkeit des Torfes in *flachgründige* (< 8 dm mächtig) und *tiefgründige* (> 8 dm mächtig) Moore. In zweiter Linie wird nach Böden mit und ohne Mineralbodendecke unterteilt. Niedermoore mit Minderbodendecke kommen wesentlich seltener vor. Bei ihnen ist eine typologische Zuordnung vorerst nicht möglich, weil die im oberen Profilteil ablaufenden Prozesse nicht genügend erforscht sind. Bei den Niedermooren ohne Mineralbodendecke werden folgende systematischen Einheiten (vgl. Tab. 4/3) unterschieden (*Schmidt, Illner, 1976*):

**Ried:** Horizontfolge T

Niedermoore ohne jegliche Vererdung /↑ Fen/ und Vermüllung /↑ Mulm/

**Fen:** Horizontfolge Tv'/Ts/T

Niedermoore mit beginnender Vererdung; Tv < 1,5 dm mächtig und/oder Vererdung nur schwach ausgeprägt /↑ Erdfen/

**Erdfen:** Horizontfolge Tv/Ts/T

Niedermoore mit deutlicher Vererdung; Tv > 1,5 dm mächtig und/oder Vererdung stark ausgeprägt /↑ Fen/; Ts immer vorhanden; Tm fehlt /↑ Mulm/

**Mulm(fen):** Horizontfolge Tm/Tv/Ta/Ts/T

Niedermoore mit deutlicher Vermüllung /↑ Erdfen/; Tm unterschiedlich mächtig und unterschiedlich ausgeprägt, immer vom Vererdungshorizont unterlagert; Ta kann fehlen; Ts immer vorhanden

#### Eigenschaften und Vorkommen

Unter Moor versteht man nicht allein die Torfschicht, sondern den gesamten Boden einschließlich vorhandener Mulde- als auch mineralischer Deck- und höher anstehender mineralischer Schichten.



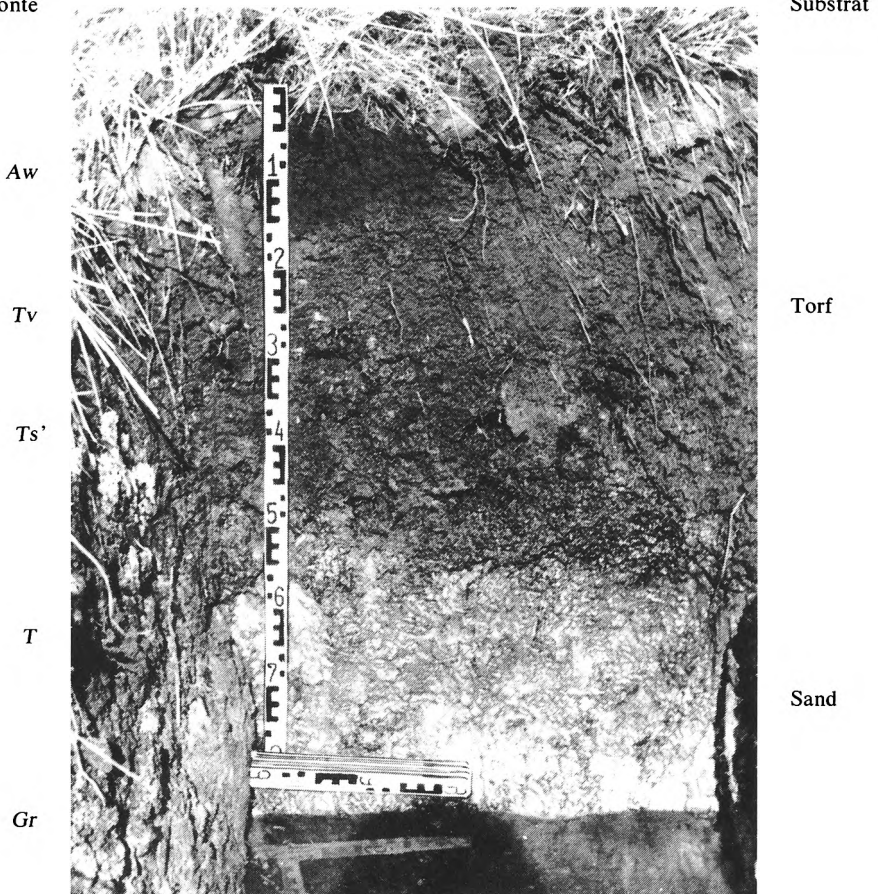
Niedermoore haben i. d. R. pH-Werte um 5,0. Als Torfarten (s. Abschn. 2.4.1.) kommen vor allem Braunmoos-, Seggen-, Schneiden-, Schilf- und Erlenbruchtorfe vor.

Die Niedermoore ohne Mineralbodendecke werden entsprechend ihrer postsedentären Entwicklung in die Bodentypen Ried und Fen untergliedert. Riede sind Niedermoore ohne wesentliche Veränderung, Fene mit Veränderung in Form von Vererdung/Vermullung und Gefügeumbildung. Die weitere Unterteilung der Fene in Erdfen (s. Abb. 4/25) und Mulm(fen) wird nach der Intensität der Umprägung vorgenommen. Die stärkste Veränderung liegt beim Mulm vor, bei dem die Vererdung zur Vermullung fortgeschritten ist. Im wesentlichen sind diese pedogenen Prozesse durch die Absenkung des Grundwasserspiegels bedingt. Deshalb sind die Fene an die großflächigen Wasserregulierungen gebunden, die vorwiegend erst in den letzten 100 Jahren erfolgten.

Die Absenkung des Grundwasserspiegels hatte einen umfassenden *Moorschwind* zur Folge. In Modellversuchen konnte festgestellt werden, daß bei einer 5 dm mächtigen Torfschicht je nach Grundwassertiefe 300 bis 700 mg Kohlenstoff je m<sup>2</sup> und Jahr zersetzt werden. Dieser Schwund entspricht einer Sackung von 0,2 bis 0,35 cm. Die höchsten Abbauraten konnten bei einem Grundwasserstand von 9 dm u. Fl. beobachtet werden. Sandmischkulturen verhalten sich ähnlich, Sanddeckkulturen unterschiedlich.

Abb. 4/25  
Torftiefsand-Erdfen; Schlepzig, Kreis Lübben (Aufn.: Abdel Kader)

Horizonte



Niedermoore sind vor allem im Tiefland der DDR verbreitet. Sie treten sowohl großflächig, z. B. im Havelländischen Luch, in der Großen Friedländer Wiese, im Großbeerener Graben und im Randow-Welse-Bruch, als auch kleinflächig in Niederungen und in der Umgebung von Seen und Söllen auf. Nur vereinzelt findet man sie auch im Hügel- und Bergland. Die Mächtigkeit ist recht unterschiedlich. Es kommen Torfstärken von 2 bis > 30 dm vor, häufiger sind jedoch Mächtigkeiten < 12 dm. Da die Stärke der Torfschicht für die Melio-

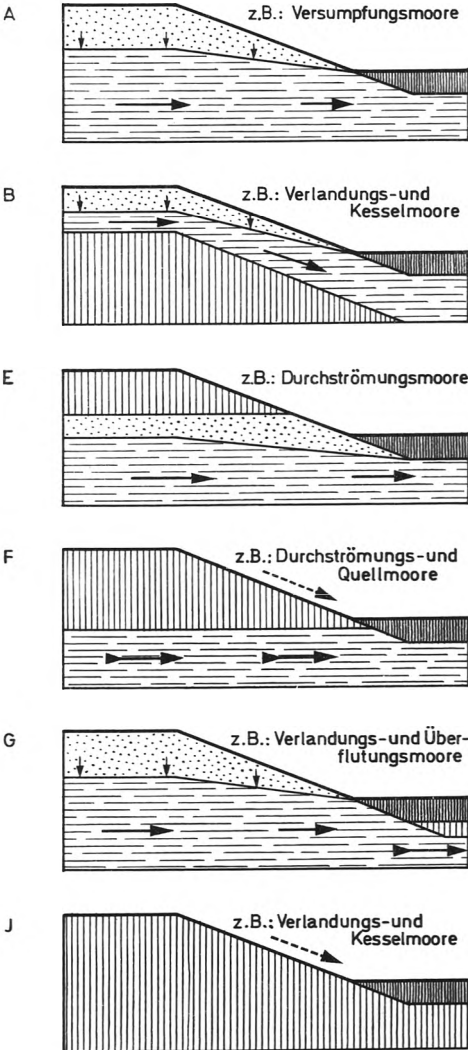


Abb. 4/26

Schematische Darstellung der Bautypen der Niedermoorumgebung nach Art der Fremdwasserspeisung (nach Kirchner, 1972)

- durchlässiges Substrat
- durchlässiges Substrat ( grundwassererfüllt )
- gering durchlässiges Substrat
- Moore      ↓ Sickerwasserzufluß
- Grundwasserzustrom
- Zustrom gespannten Grundwassers
- Oberflächenzufluß

ration und Nutzung von Bedeutung ist, wird bei den Substrattypen eine feinere Unterteilung als bei Mineralböden vorgenommen:

<i>Stufe 1:</i> 2 bis 4 dm	<i>Stufe 4:</i> > 12 bis 20 dm
2: > 4 bis 8 dm	5: > 20 bis 50 dm
3: > 8 bis 12 dm	6: > 50 dm

Natürlich entstandene Mineralbodendecken können bis zu 6 dm mächtig sein, i. d.R. sind es nur einige Dezimeter. Vorwiegend handelt es sich um Sand. Lehm, Ton und Mudde kommen als Deckschicht seltener vor. Alle Decken können anmoorigen Charakter aufweisen. *Mudden* treten häufig an der Basis der Torfschichten auf. Sie sind sehr unterschiedlich (als Torf-, Kalk-, Leber-, Ton- und Sandmudde) ausgebildet. Ihre Mächtigkeit ist meist gering.

Niedermoore werden durch Schwarzkultur oder Sanddeckkultur verbessert. Bei der *Schwarzkultur* wird das Moor nach ausreichender Entwässerung unmittelbar in Kultur genommen. Bei der *Sanddeckkultur* trägt man nach der Trockenlegung eine geringmächtige Sanddecke (etwa 2 dm) auf, vermischt diese aber nicht mit dem Torf. Bei beiden Kultivierungsverfahren ist die zu erwartende Moorsackung zu berücksichtigen. Die Vorflut muß daher so geregelt sein, daß sie auch noch nach Jahren wirksam bleibt. Bei geringmächtigen Torfen kann wechselseitige Wasserregulierung empfohlen werden. Trocknen Moorböden zu stark aus, wird die Vermüllung gefördert.

Die Art der Melioration von Niedermooren hängt von dem jeweils vorliegenden Bautyp des Moores ab. Unter Bautyp versteht man die Gesamtheit der geohydrologischen Verhältnisse im Bereich des Moores und seiner Umgebung. Die Ausbildung der moorerfüllten Hohlformen, der Bau des mineralischen Untergrundes und der geologischen Schichten in der Umgebung bedingen eine spezifische Fremdwasserspeisung des Niedermoores. Standorterkundung und Meliorationsprojektierung beschränken sich meist nur unmittelbar auf das Moor. Die Bautypen, demonstriert anhand von Profilschnitten durch das Moor und sein Randgebiet, sollen helfen, die in der Natur auftretenden Beziehungen zwischen wasserleitenden und wasserstauenden Schichten um und unter dem Moor modellartig zu verdeutlichen.

Die Verfahren der Hydromelioration können künftig gezielter projektiert und mit größerer Aussicht auf Erfolg durchgeführt werden, wenn durch die Standortkartierung der Bautyp (s. Abb. 4/26) und damit folgende hydromeliorative Situation erfaßt wird (Kirchner, 1972):

- *Bautyp A:* Vorflutbeschaffung schwierig; Entwässerung zieht häufig ein zu starkes Absinken der Grundwasser Oberfläche nach sich
- *Bautyp B:* Grundwasserregime durch ein relativ kleines Einzugsgebiet beeinflußt, zu scharfe Entwässerung daher vermeiden
- *Bautypen C und D:* ähneln I
- *Bautyp E:* Grundwasserleiter bedeckt, Ermittlung des unterirdischen Einzugsgebietes daher schwierig
- *Bautyp F:* Wie E mit Auftreten von gespanntem Grundwasser, wobei das Moor Entlastungszone ist; zur Ableitung der großen Grundwassermengen Bau aufwendiger Filterstrecken notwendig, die außerdem stark zur Verockerung neigen
- *Bautyp G:* Bedeckter Grundwasserleiter im Mooruntergrund führt gespanntes Grundwasser, das bei stellenweisem Fehlen der undurchlässigen Schicht zur Quellmoorbildung führen kann; durch Melioration darf undurchlässige Schicht nicht zerstört werden
- *Bautyp H:* ähnelt A, Wasserzuzug zum Moor aber nur seitlich; selten
- *Bautyp I:* nur kleines Einzugsgebiet vorhanden; wichtigste hydromeliorative Aufgabe ist die Beherrschung des oberirdischen Zuflusses

Niedermoore bedürfen in den ersten Kulturjahren weder einer Kalk- noch einer Stickstoffdüngung, meist sind jedoch reichliche Kalium- und Phosphorgaben angebracht. Dabei ist zu berücksichtigen, daß Böden mit sehr hohem Humusgehalt befriedigende Erträge nur unter Reaktionsverhältnissen bringen, die bei Mineralböden noch als sauer gelten. Zu starke Kalkung bewirkt außerdem einen zu intensiven Humusabbau.

Niedermoore rechnet man zu den kalten Böden. Nicht selten treten bis in das späte Frühjahr Nachfröste auf. Niedermoore sind bevorzugte Grünlandstandorte. Als Ackerland werden sie zu einem geringeren Prozentsatz genutzt, oft auch nur zeitweilig.

### Hauptbodenformen

*Ohne Mineralbodendecke* (flache Moore: VSt IV; tiefe Moore: VSt IV)

hNf	Torf-F.*)	h'dNf	Torfflachsand-F.
h//dNf	sandunterlagertes Torf-F.	h'lNf	Torfflachlehm-F.
h/dNf	Torftiefsand-F.	h'yNf	Torf-F. über Flachmuddschicht
h/lNf	Torftieflehm-F.	yNu	Mudd-Mulm
h/yNf	Torf-F. über Tiefmuddschicht	y'dNu	Muddflachsand-Mulm
h/ȳNf	Torftiefmudd-F.	desgl. mit Lehm-, Ton- (und bei Mudde Torf-)Unterlagerung	

*Mit Mineralbodendecke* (VSt I):

d'h'	sandbedecktes Torfband	alle drei Bodenformen können in der Deckschicht statt Sand auch Lehm oder Ton aufweisen
d'h	sandbedeckte Torfschicht	
d'h	sandbedeckter Torf	

\*) Diese und alle folgenden Torf-Bodenformen auch als (Ried), Erdfen und Mulm möglich.

## 4.8. Areal- und gebietsbezogene Kennzeichnung der Böden und Standorte

### 4.8.1. Kennwerte heterogener Bodeneinheiten

Alle für die landwirtschaftlich genutzten Flächen in der DDR wichtigen Standorteinheiten liegen im Maßstabbereich der Pedochore. Pedochoren (Bodenmosaike) werden durch die Gesamtheit der sie aufbauenden Pedotope (Bodenformen) und deren räumliche Anordnung charakterisiert. Sie werden einer zweifachen Klassifikation unterworfen, der bodensystematischen nach dem Inventar und der raumstrukturellen nach dem Verteilungsmuster. Aus beiden Ordnungen lassen sich alle Merkmale ableiten, die für ihre Beschreibung von Bedeutung sind. Nachfolgend werden die wichtigsten Kennwerte erläutert, wobei sich die Beispiele vorwiegend auf den *Standortregionaltyp* entsprechend der „Richtlinie für die mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung“ und dessen Bodenformeninventar beziehen.

#### Inhaltliche Kriterien

Der Inhalt eines Bodenmosaiks wird durch seine Ausstattung (korrelative inhaltliche Merkmalskombination), d. h. durch das Inventar an Bodenformen bestimmt und in Bodenformengesellschaften zusammengefaßt.

Für ihre Kennzeichnung werden herangezogen:

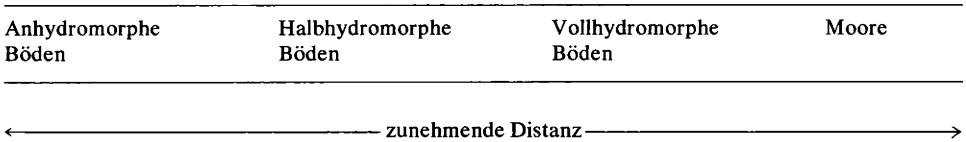
- *Leitbodenformen*: besonders häufig und mit einem relativ hohen Flächenanteil (mindestens > 20 %) auftretende Bodenformen
- *Begleitbodenformen*: nach Häufigkeit und Flächendeckung zurücktretende Bodenformen, trotzdem aber charakteristische Bestandteile des Mosaiks; nach der Funktion werden stetige, sporadische und singuläre unterschieden; treten auch als sogenannte Störareale zwar mit geringer Flächenverbreitung, doch von nicht unerheblicher Bedeutung auf

Durch die Aufgliederung in Leit- und Begleitbodenformen ist bereits eine Beziehung zur räumlichen Verteilung, genauer zum Flächenanteil am Mosaik hergestellt. Ein einfaches Schema zur Abschätzung des Flächendeckungsgrades über die Anzahl der auftretenden Leit- und stetigen Begleitbodenformen wird nachfolgend gegeben (Schmidt, Diemann, 1974):

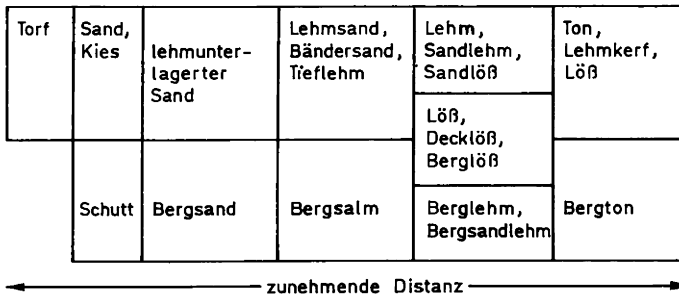
Begleitbodenformen	es bedeuten:	Anzahl der beteiligten Bodenformen	Flächenanteil %
5 0		0	<5
4 1		1	>5 bis 20
3 1 1		2	>20 bis 40
3 2 0		3	>40 bis 60
2 2 1 0		4	>60 bis 80
Leitbodenformen		5	>80

Die *inhaltliche Heterogenität*, auch pedoökologischer Kontrast oder *Komplexität* genannt, ist ein Kennwert für die Differenziertheit des Inhalts. Sie resultiert aus den Haupttendenzen der Bodenbildung innerhalb des Mosaiks, wofür Substrat und Hydromorphie zur Kennzeichnung herangezogen werden. Unter Kontrast versteht man den Grad der größten Unterschiedlichkeit zwischen den auftretenden Bodenformen. Er wird für die vorkommenden Bodenformen insgesamt und für die Leitbodenformen im besonderen ermittelt. Dazu kann man sich zum Beispiel folgender *Distanzdiagramme* bedienen (Schmidt, Diemann, 1974):

(a) Hydromorphie



( b ) Substrat



Auf der Grundlage dieser zunächst getrennt für Hydromorphie und Substrat ermittelten Distanzstufen wird aus der in Tabelle 4/5 dargestellten Kontrastmatrix als Kombinationsmerkmal die Kontraststufe abgeleitet.

Hierbei versteht man unter:

- *einheitlich*: keine Distanz, die zu prüfenden Merkmale liegen in einem Feld des Distanzdiagramms für Hydromorphie bzw. Substrat
- *uneinheitlich mit geringer Distanz*: die zu prüfenden Merkmale liegen in benachbarten Feldern (über Kanten oder Ecken angrenzend)
- *uneinheitlich mit hoher Distanz*: die zu prüfenden Merkmale liegen in nicht benachbarten Feldern

Tabelle 4/5  
 Rahmen zur Bestimmung der inhaltlichen Heterogenität (Kontraststufen) bei der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (nach R. Schmidt, Diemann, 1974)

Hydromorphie	uneinheitlich	hohe Distanz	B 2	C 3	C 4
		geringe Distanz	B 1	C 1	C 2
	einheitlich		O	A 1	A 2
			einheitlich	geringe Distanz	hohe Distanz
			uneinheitlich		
Substratgruppen					

Bedeutung der Kontraststufen :

- |  |   |
|--|---|
| 0 kein Kontrast  | A Kontrast nur auf Substrat bezogen     |
| 1 schwacher Kontrast   | B Kontrast nur auf Hydromorphie bezogen |
| 2 starker Substratkontrast, wechselnder Hydromorphiekontrast | C Kontrast auf beide bezogen            |
| 3 starker Hydromorphiekontrast, schwacher Substratkontrast   |   |
| 4 insgesamt starker Kontrast                                 |   |

### Räumliche Kriterien

Räumliche Kriterien heterogener Flächeneinheiten beziehen sich im wesentlichen auf die Lage und Nachbarschaftsbeziehungen der Bodenformen innerhalb des Bodenmosaiks. Ihr zusammenfassender Kennwert ist das Komplexmerkmal *räumliche Heterogenität*, auch *Kompliziertheit* genannt. Man versteht darunter das Anordnungsmuster, d. h. Form, Größe, Bindungsintensität und räumliche Verknüpfung der einzelnen Bodenformen. Zur Kennzeichnung werden sowohl die Form betreffende (Gefügestil, Verteilungsmuster) als auch Quantitätskriterien (Mensurparameter) herangezogen.

Der *Gefügestil*, auch *Kopplungstyp* genannt, widerspiegelt die genetisch-funktional bedingten Grundformen der räumlichen Anordnung. Im *Gefügestil* kommen die primär mosaikbildenden Faktoren über die „innere“ Struktur zum Ausdruck, wobei das Relief besonders herausgestellt und dazu die anderen Faktoren in Beziehung gesetzt werden. Für das Territorium der DDR sind folgende drei Grundformen des *Gefügestils* bestimmend (s. Abb. 4/27):

#### a) Hanggefüge (Catenagefüge)

Regelhafte Anordnung am Hang durch Verknüpfung in Richtung des Hanggefälles; Kommunikationsgefüge mit einfach orientierter Kopplungsrichtung; funktionale Bedingung ist das Relief, Agens insbesondere das Hangwasser; Stofftransport durch das Beziehungsgefüge Erosion-Akkumulation gekennzeichnet

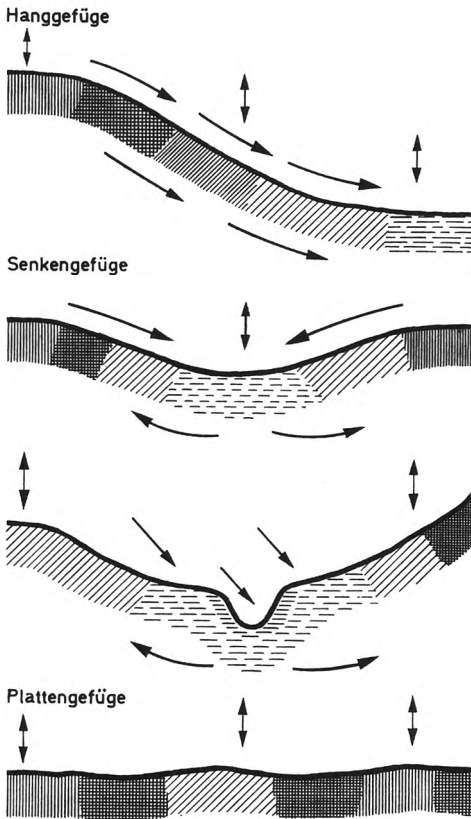
#### b) Senkengefüge (Infusionsgefüge)

Regelhafte Anordnung als wechselseitige Verknüpfung in Senken von der Mitte bis zum Rand, in Tälern entlang der Längsachse; mehrfach orientierte Kopplungsrichtung; funktionale Bedingung ist ebenfalls das Relief, Agens das Grund- und Sammelwasser; lateraler Stofftransport vorwiegend in gelöster Form

#### c) Plattengefüge (Inzidenzgefüge)

Ohne regelhafte Anordnung; auf Grund des ebenen bis schwach geneigten Geländes (Platten) keine lateralen Beziehungen, kein lateraler Stofftransport zwischen den neben-

Abb. 4/27  
Schematische Darstellung der drei Grundformen des Gefügestils mit Angabe der Kopplungsrichtung (nach R. Schmidt, 1973)



einander liegenden Böden; nicht orientierte Kopplungsrichtung; herrschende Bedingung ist der Substratwechsel

Zwischen diesen Grundformen des Gefügestils sind alle Übergänge möglich.

Das Verteilungsmuster spiegelt die geometrischen Formen der räumlichen Anordnung der Bodenformareale innerhalb des Mosaiks wider. Man spricht auch von Vernetzung und meint damit die regelhafte Verknüpfung der Areale. Das Verteilungsmuster wird auf einen bestimmten Ausschnitt aus der Bodendecke, beispielsweise auf 100 ha, bezogen. Folgende Typen der räumlichen Verteilung der Bodenformareale werden unterschieden (s. Abb. 4/28):

- **Konzentrisches Muster:** rundlich bis langgestreckte Bodenformareale um ein zentrales Areal (z. B. um eine Kuppe, einen Hügel oder einen Rücken)
- **Gestreiftes Muster:** streifenförmig angeordnete Bodenformareale (z. B. am Hang, am Rande einer Niederung)
- **Gestafeltes Muster:** aneinandergereihte kleinflächige, aber langgezogene Bodenformareale innerhalb eines einheitlich ausgebildeten Einbettungsareals (z. B. in der Tiefenlinie eines Tales)
- **Gefiedertes Muster:** langgestreckte, aufgefiederte Bodenformareale innerhalb eines einheitlich ausgebildeten Einbettungsareals (z. B. in Hangmulden und an größeren Hängen in Richtung des Hanggefälles)
- **Kompaktes Muster:** mehrere etwa gleich große Bodenformareale nebeneinander mit unterschiedlicher, insgesamt aber kompakter Form

– **Gelapptes Muster:** wenige, sehr unregelmäßig ineinandergreifende (zerlappte) Bodenformenareale

– **Flächiges Muster:** mehrere klein- bis kleinstflächige Bodenformenareale, eingestreut innerhalb eines einheitlich ausgebildeten Einbettungsareals (Streumuster)

Die Quantitätsparameter werden unter dem Begriff **Mensur** zusammengefaßt. Man versteht darunter die inneren Maß- und Größenverhältnisse der ein Mosaik aufbauenden Einzelareale. Es werden folgende Kennwerte verwendet:

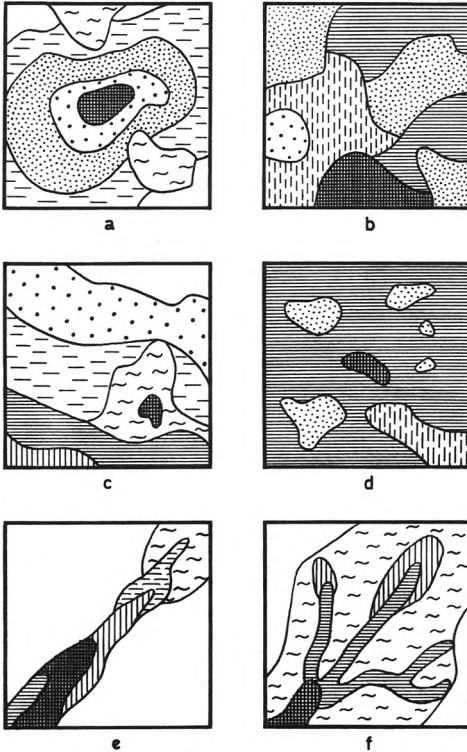


Abb. 4/28  
Schematische Darstellung der geometrischen Grundformen des Verteilungsmusters (nach I. Schmidt, 1975)  
a konzentrisch (bei Voll- und Hohlformen)  
b kompakt (bei ausgebuchteten Grenzlinien: zerlappt)  
c gestreift (am Hang)  
d fleckhaft  
e gestaffelt (im Tal)  
f gefiedert

Anzahl der Leitbodenformen	Gesamtanzahl der Bodenformen im Standortregionaltyp		
	1 – 4	5 – 8	≥ 9
1 mit > 80 % Flächenanteil	großflächige Verteilung		
1 mit > 40 – 80 % Flächenanteil	(1 – 4 Bodenformen je km <sup>2</sup> )	mittelflächige Verteilung	
2		(4 – 16 Bodenformen je km <sup>2</sup> )	(> 16 Bodenformen je km <sup>2</sup> )
≥ 3		kleinflächige Verteilung	

Tabelle 4/6  
Rahmen zur vereinfachten Bestimmung der räumlichen Heterogenität bei der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (nach R. Schmidt, Diemann, 1974)



- **Frequenz:** Anzahl (Häufigkeit) der in einem Mosaik vorkommenden Areale jeder einzelnen Bodenform; Angabe als Relativwert in % der Gesamtanzahl der Areale
- **Flächengröße und Grenzlänge:** mittlere Flächengröße bzw. mittlere Grenzlänge der einzelnen Areale jeder beteiligten Bodenform
- **Verbreitungsdichte:** Vergleichsmaß; mittlere Anzahl der Bodenformen, bezogen auf einen bestimmten Geländeausschnitt (z. B. 1 km<sup>2</sup>); wird als vereinfachter Kennwert der räumlichen Heterogenität für den Standortregionaltyp verwendet (s. Tab. 4/6).

Eine umfassendere quantitative Abbildung heterogener Flächeneinheiten kann mittels Graphen vorgenommen werden. Graphen sind ein methodisches Mittel, Elemente (in unserem Falle Bodenformenareale) und die zwischen ihnen bestehenden Beziehungen (Verbindungen, Relationen) übersichtlich darzustellen, zu abstrahieren und damit mathematischen Operationen zugänglich zu machen. Die Elemente eines Graphen werden als **Knoten**, die Verbindungen zwischen ihnen als **Kanten** bezeichnet. In Abbildung 4/29 ist als Beispiel ein Hanggefüge als (schlichter) Graph dargestellt. Mit Hilfe einer solchen Bewertung lassen sich Analysen über die gesetzmäßige Anordnung der Areale in einem Bodenmosaik vornehmen und darauf aufbauend vergleichbare quantitative Angaben gewinnen. Durch Kopplung mit weiteren Auswertungsformen, wie zum Beispiel durch Berechnung des Konfinitätsgrades oder durch Anwendung der Methode „der Übergangshäufigkeiten und der gemeinsamen Grenzlänge“ kann außerdem eine bessere Wichtung der Nachbarschaftsbeziehungen erfolgen. Mittels derartiger Methoden läßt sich schließlich das Bodengefüge soweit abstrahieren, daß Modelle von Flächenstrukturen erstellbar sind. In diesen standörtlichen Strukturmodellen wird der Inhalt im wesentlichen durch Systemelemente und Systemrelationen wiedergegeben, wobei die Erfassung sowohl der statischen (als Resultat der Genese des Standortes) als auch der dynamischen (auf aktuellen Prozessen beruhenden) Beziehungen eine bedeutende Rolle spielt.

Ein weiteres methodisches Mittel, Raumstrukturen abzubilden, ist die Darstellung von Bodensequenzen bzw. Pedosequenzen (lat. Aufeinanderfolge bestimmter Bodenqualitäten). Ihre Untersuchung erfolgt in Abhängigkeit von den sie bestimmenden Standortfaktoren, nach denen sie dann im Einzelfall auch benannt werden. Das bekannteste Beispiel ist die *Toposequenz* (auch als *Hangcatena* bezeichnet; vgl. Abb. 3/34), die sich in Abhängigkeit vom Relief ergibt. Des weiteren unterscheidet man *Lithosequenzen* und *Hydrosequenzen*, die das Beziehungsgefüge zwischen Gestein bzw. Bodenwasser einerseits und der Bodenausbildung andererseits widerspiegeln. Werden bei solchen Sequenzen nur noch einzelne Faktoren betrachtet, spricht man von Merkmalssequenzen. Mit ihrer Hilfe ist die Quantifizierung einzelner Bodenmerkmale bzw. -eigenschaften (z. B. des Humusvorrats, des Feuchtegehalts, des Nährelementgehalts) unter Berücksichtigung der Lage- und Nachbarschaftsbeziehungen möglich. Auf diese Weise kann man zu Netzwerken der räumlichen Verknüpfung von Bodeneigenschaften kommen, wobei man sich ebenfalls graphentheoretische Prinzipien zu nutze macht. Derartige Merkmalssequenzen sind zur halb-

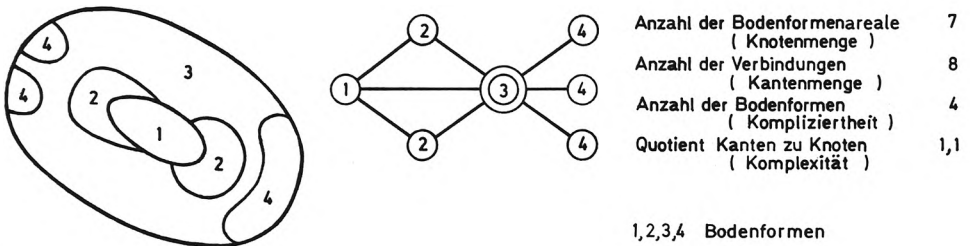


Abb. 4/29  
Ableitung eines Graphen am Beispiel eines Bodenmosaiks auf einem Berggrücken  
(Grundrißdarstellung)

quantitativen Abbildung von Raumstrukturen herangezogen worden, so zum Beispiel im Rahmen der Forstlichen Standortserkundung der DDR.

#### 4.8.2. Praxisrelevante Flächentypen

Die nachfolgend behandelten Flächentypen (vgl. Abb. 4/2) sind arealbezogene Einheiten, die durch Art und Flächenanteil bestimmter Geokomponenten (z. B. Substrat, Hydromorphie, Relief) gekennzeichnet sind. Sie werden vor allem zur näheren Charakterisierung praxisrelevanter Merkmale herangezogen, wobei durch Umsetzung auf die Fläche eine generalisierende Einschätzung der betreffenden Geokomponente ermöglicht wird. Flächentypen sind keine chorischen Einheiten, da ihr Inhalt nur über den relativen Anteil der betreffenden Inventarkomponenten, nicht aber über die Art der Verknüpfung gekennzeichnet wird. Sie können jedoch zur Charakterisierung chorischer Einheiten (wie z. B. des Standortregionaltyps und des Standorttyps) herangezogen werden.

Im Rahmen der Auswertung der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) haben der Substrat-, der Hydromorphie- und der Hangneigungsflächentyp größere Bedeutung. Beim Substrat- und Hydromorphieflächentyp werden zwei Niveaus unterschieden, die jeweils mit dem Standorttyp (oberes Niveau) und dem Standortregionaltyp (unteres Niveau) korrespondieren.

Es gibt noch weitere Ansätze, Geokomponenten flächenbezogen für die Landwirtschaft zu charakterisieren und interpretieren. Von Bedeutung sind vor allem der Flächenwasserhaushalt und die Bautypen der Moore.

#### Substratflächentypen

Substratflächentypen (SFT) sind Einheiten, die durch die Flächenanteile dominierender und subdominierender oder mit etwa gleicher Dominanz auftretender Substrattypen gekennzeichnet sind. Ihre Benennung erfolgt auf dem unteren Niveau (Substratflächentyp) in Anlehnung an die Substrattypenbezeichnungen, auf dem oberen Niveau (Substratflächentypengruppe) in Form zusammenfassender Substratgruppenbezeichnungen.

Die in der DDR vorkommenden Substratflächentypengruppen gehen aus nachfolgender Aufstellung hervor (Schmidt, Diemann, 1974; Succow 1979, Diemann, 1978a). Durch Kreuz (+ = und) werden Substrate mit annähernd gleicher Dominanz, durch waagerechten Strich (– = mit) solche, die sich aus dominierenden und subdominierenden Komponenten zusammensetzen, gekennzeichnet:

##### a) D-Standorte

s	sandbestimmt	> 80% Sand
s – s/l	sandbestimmt mit Tieflehm	60 bis 80% Sand; Rest Tieflehm oder Lehm
s/l + s	tieflehm- und sandbestimmt	20 bis 60% Tieflehm; Rest Sand und/oder Lehm
s/l	tieflehmbestimmt	≅ 60% Tieflehm, z. T. mit Sand und Lehm
s + l	sand- und lehmbestimmt	40 bis 60% Sand; Rest Lehm, z. T. mit Tieflehm
l + s/l	lehm- und tieflehmbestimmt	40 bis 60% Lehm; Rest Tieflehm und/oder Sand
l	lehmbestimmt	≅ 80% Lehm, z. T. mit Tieflehm, Ton oder Sand
l + t	lehm- und tonbestimmt	20 bis 60% Lehm; Rest Ton, z. T. mit Tieflehm und Sand
m/d	decksalmbestimmt	40 bis 80% Decklehmsand; Rest Sand, Tieflehm und/oder Lehm
sö/d	decksandlößbestimmt	≅ 40% Decksandlöß, z. T. mit Sandlöß-tieflehm
sö	sandlößbestimmt	≅ 60% Sandlöß oder Sandlößtieflehm

## b) L $\ddot{o}$ -Standorte

<i>ö/d</i>	deckl $\ddot{o}$ bestimmt	$\cong$ 60% Deckl $\ddot{o}$ , z. T. mit L $\ddot{o}$ und L $\ddot{o}$ - tieflehm
<i>ö + ö/l</i>	l $\ddot{o}$ - und l $\ddot{o}$ tieflehmbestimmt	$\cong$ 40% L $\ddot{o}$ tieflehm und/oder L $\ddot{o}$ , z. T. mit Deckl $\ddot{o}$
<i>ö</i>	l $\ddot{o}$ bestimmt	$\cong$ 80% L $\ddot{o}$
<i>ö + ö/t</i>	l $\ddot{o}$ - und l $\ddot{o}$ kerfbestimmt	60 bis 80% L $\ddot{o}$ kerf oder L $\ddot{o}$ ; Rest L $\ddot{o}$ oder L $\ddot{o}$ kerf, Ton bzw. Bergton
<i>ö + vl</i>	l $\ddot{o}$ - und berglehmbestimmt	$\cong$ 60% L $\ddot{o}$ , Bergl $\ddot{o}$ oder L $\ddot{o}$ über Gestein; Rest Bergsubstrate

## c) V-Standorte

<i>vm + vs</i>	bergsalm- und bergsand- bestimmt	$\cong$ 80% Berglehmsand und/oder Bergsand
<i>vm</i>	bergsalmbestimmt	$\cong$ 60% Berglehmsand und Bergsandlehm, z. T. mit Bergl $\ddot{o}$ und/oder L $\ddot{o}$
<i>vp + vq</i>	bergsandlehm- und/oder -lehmbestimmt	$\cong$ 60% Bergsandlehm und -lehm; Rest Fels und Schutt
<i>vp + vq – v<math>\ddot{o}</math></i>	bergsandlehm- und -lehmbestimmt mit L $\ddot{o}$	60 bis 80% Bergsandlehm und -lehm; Rest Bergl $\ddot{o}$
<i>vq</i>	berglehmbestimmt	$\cong$ 60% Berglehm (aus Karbonatgestein), z. T. mit Fels und Schutt
<i>vq – ö</i>	berglehmbestimmt mit L $\ddot{o}$	$\cong$ 60% Berglehm (aus Karbonatgestein); Rest L $\ddot{o}$ oder Bergl $\ddot{o}$
<i>vl + vt</i>	bergton- und berglehm- bestimmt	60 bis 80% Berglehm oder Bergton; Rest Bergton oder Berglehm
<i>vt + vl – v<math>\ddot{o}</math></i>	bergton- und -lehmbestimmt mit L $\ddot{o}$	60 bis 80% Bergton- und Berglehm; Rest Bergl $\ddot{o}$ , L $\ddot{o}$ oder L $\ddot{o}$ kerf
<i>t + vt</i>	ton- und bergtonbestimmt	$\cong$ 60% Bergton oder Ton, z. T. mit Fels und Schutt
<i>t – ö</i>	tonbestimmt mit L $\ddot{o}$	60 bis 80% Bergton oder Ton, z. T. mit L $\ddot{o}$ oder L $\ddot{o}$ kerf

## d) Al-Standorte

<i>om</i>	auensalmbestimmt	$\cong$ 40% Auenlehmsand und/oder Deckauen- lehmsand, z. T. mit Sand oder Deckauen- lehm
<i>ol + ol/d</i>	auenlehm- und deckauen- lehmbestimmt	$\cong$ 60% Auenlehm und/oder Deckauenlehm, z. T. mit Sand und Auenlehmsand
<i>ol + ot</i>	auenlehm- und -tonbestimmt	40 bis 80% Auenlehm und/oder Deckauen- lehm; Rest Auenton und/oder Deckauenton
<i>ot/d + ol</i>	deckauenton- und auenlehm- bestimmt	60 bis 80% Auendeckton und/oder Auenton; Rest Auenlehm und/oder Deckauenlehm
<i>ot</i>	auentonbestimmt	$\cong$ 60% Auenton und/oder Auendeckton, z. T. mit Sand

## e) Torfstandorte

<i>h/d</i>	durch sandunterlagerte oder sandbedeckte Torfe bestimmt	$\cong$ 60% Torf über Sand oder sandbedeckter Torf, z. T. mit Torf, Sand und/oder Mudde
<i>h</i>	durch tiefgründige Torfe bestimmt	$\cong$ 60% Torf, z. T. mit Torf über Sand oder Mudde und/oder Sand, Lehm
<i>h/y</i>	durch mudde- und/oder lehm- unter- oder überlagerte Torfe bestimmt	$\cong$ 60% Torf über Mudde, Lehm oder Fels oder lehmbedeckter Torf, z. T. mit Mudde, Lehm und/oder Sand

Diese Substratflächentypengruppen werden nach den einzelnen Substratanteilen weiter in Substratflächentypen untergliedert.

### Hangneigungsflächentypen

Hangneigungsflächentypen (NFT) sind Einheiten, die durch die Flächenanteile mit vorherrschenden und extremen Hangneigungsgruppen (vgl. Tab. 3/33) gekennzeichnet sind. Insgesamt werden 13 Hangneigungsflächentypen ausgegrenzt. Für das Niveau des Standortregionaltyps erfolgt eine Zusammenfassung zu 7 Gruppen von Hangneigungsflächentypen (s. Tab. 4/7).

### Hydromorphieflächentypen

Hydromorphieflächentypen (HFT) sind Einheiten, die durch Flächenanteile von sicker-, stau-/haft- und grundwasserbestimmten Böden gekennzeichnet sind. Die Benennung erfolgt auf dem oberen Niveau (Hydromorphieflächentypengruppe) durch Angabe des dominierenden Wasserregimes. Aus der Darstellung in Abbildung 4/30 gehen Flächenanteil und Benennung hervor. Das untere Niveau (Hydromorphieflächentyp) ist durch eine weitere Differenzierung der Flächenanteile sowie bei den staunässe- und grundwasserbestimmten Böden zusätzlich durch Berücksichtigung der Intensität der Vernässung gekennzeichnet.

### Kennzeichnung des Flächenwasserhaushaltes

Unter Flächenwasserhaushalt versteht man das Wasserregime heterogener Bodeneinheiten mit jahreszeitlicher und mehrjähriger Dynamik einschl. vertikaler und horizontaler Wasserbewegung. Der Flächenwasserhaushalt wird gekennzeichnet durch den Charakter des Wasserregimes, die jahreszeitliche Dynamik des Bodenfeuchtegehaltes und die horizontalen Zu- und Abflußpositionen. Charakter und jahreszeitliche Dynamik des Wasserregimes werden über die im Gelände ausgrenzbaren Erscheinungsformen des Bodenwassers und ihre Stufen (s. Abschn. 6.5.2.) berücksichtigt. Die Diagnose der Zu- und Abflußpositionen erfolgt über die Reliefformen in Verbindung mit den am Profil erkennbaren Hydro-

Tabelle 4/7

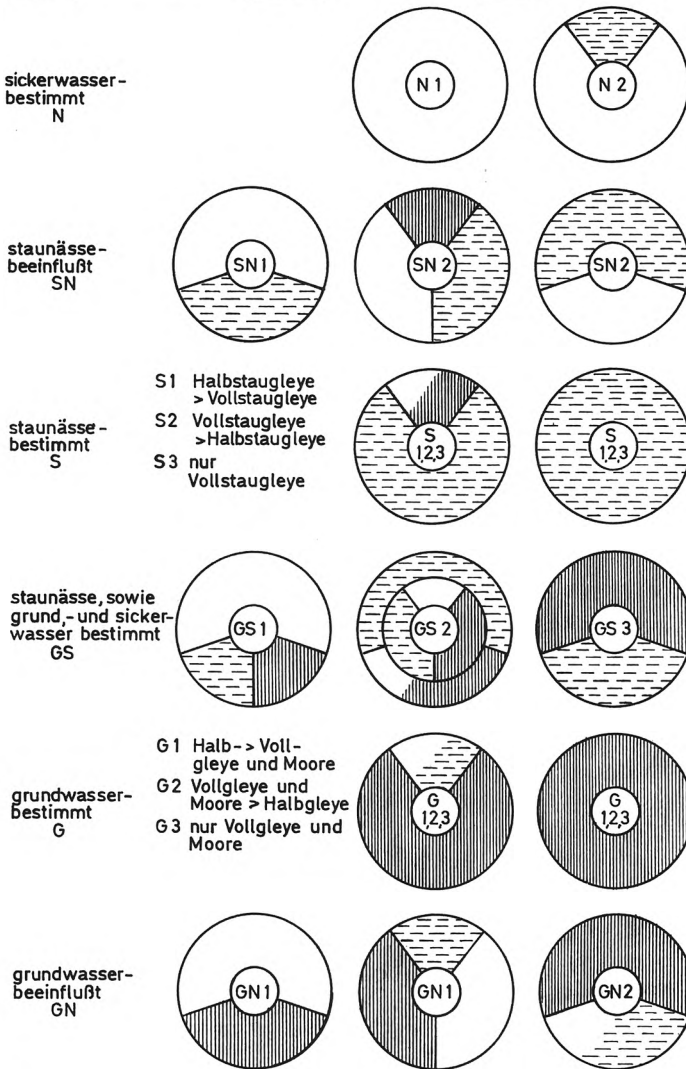
Hangneigungsflächentypen nach den Anteilen an Hangneigungsgruppen (nach TGL 24 300/15)

Hangneigungsflächentyp		Hangneigungsgruppen				
		I	II	III	IV	V/VI
Bezeichnung	Symbol	< 2° < 4%	2—5° 4—9%	5—8° 9—14%	8—13° 14—23%	> 13° > 23%
eben	01	100%	x			
flach	03	60—80%	< 40%	x		
flach mit mäßig geneigten Anteilen	05	> 80%		≤ 20%	x	
flach mit stark geneigten Anteilen	07	> 80%		≤ 20%		x
mäßig geneigt mit stark geneigten Anteilen	09	40—60%		20—40%	< 20%	x
stark geneigt	11	40—60%			40—60%	

x = mögliche Flächenanteile < 5%



Abb. 4/30  
Kreisdiagramme der  
Hydomorphieflächentypen  
(Daten nach  
Schmidt, Diemann,  
1974; Diemann, 1978 a)



N, SN ... Hydromorphieflächentypengruppen  
 N1, N2, SN1, SN2... Hydromorphieflächentypen

morphieverhältnissen. Diese Positionen lassen sich wie folgt charakterisieren (I. Schmidt, 1975):

– **Abflußpositionen:** Wasser wird durch bodeninneren und oberirdischen Abfluß an benachbarte oder entferntere Geländeteile abgegeben; an Standorte gebunden, die als Vollformen (Kuppen, Rücken, insbesondere Gipfel- und Scheitellagen) ausgebildet sind oder sich in konvexen (lat., nach außen gewölbten) Hanglagen wie an Oberhängen, Hangoberkanten und Stufenrändern befinden

– **Zuflußpositionen:** Wasser wird durch bodeninneren und oberirdischen Zufluß aus benachbarten oder entfernteren Geländeteilen zugeführt; an Standorte gebunden, die als ge-

schlossene (Mulden, Wann, Sölle) bzw. offene Hohlformen (Täler, Nischen) ausgebildet sind oder sich an konkaven (lat., nach innen gewölbten) Mittel- und Unterhängen befinden

Unter Überschußwasser wird die zusätzliche Wassermenge verstanden (bezogen auf eine 1 m mächtige Bodenlage), die in der Zuflußposition mehr vorhanden ist als in der benachbarten, höher gelegenen Abflußposition. Der Unterschied zwischen Ab- und Zuflußposition kommt auch im Hydromorphiekontrast zum Ausdruck, d. i. der Grad der größten Unterschiedlichkeit in der Hydromorphieausprägung der zu vergleichenden Standorte. Zur Abschätzung der Überschußwassermenge (in mm) wurden 3 Stufen in Abhängigkeit von der Hanglänge (in m) gebildet ( $< 40 \text{ m} \triangleq < 100 \text{ mm}$ ,  $40\text{--}100 \text{ m} \triangleq > 100 \text{ mm}$ ,  $> 100 \text{ m} \triangleq > 200 \text{ mm}$ ). Grund- und Staunässestandorte sowie Torfe in Hohlformen weisen stets Überschußwasser auf, Kolluvialstandorte nur dann, wenn sie Nässemerkmale zeigen. Die Kennzeichnung des Flächenwasserhaushaltes kann durch Kombination mit den Pedohydrotypen (s. Abschn. 4.4.3.) in der chorischen Dimension weiter verbessert werden. Derartige Pedohydrochoren lassen sich gut im Gelände erfassen und auf Karten darstellen.

An dieser Stelle sei auf die Bautypen der Moore (s. Abschn. 4.7.5.) hingewiesen, durch die ebenfalls der Flächenwasserhaushalt charakterisiert werden kann.

### 4.8.3. Bodengesellschaften als Gerüst von Inventartypen

Bodengesellschaften bringen den Grundcharakter des Inventars flächenbezogener Einheiten zum Ausdruck. Sie werden zur Kennzeichnung des Inhalts sowohl chorisch als auch regionisch definierter Einheiten herangezogen, wobei sie jeweils deren räumlichem Aggregationsgrad angepaßt sind (vgl. Abb. 4/2). Benannt werden sie im wesentlichen durch Leit- und Begleitbodenformen/-typen. Der Begriff Bodengesellschaft wird allgemein weit gefaßt, d. h., man nutzt ihn für jegliche Vergesellschaftung von Böden, wenn profilbezogene Einheiten zur Benennung herangezogen werden.

Für die Kennzeichnung landwirtschaftlich genutzter Böden der DDR haben vor allem folgende Einheiten Bedeutung:

– *Hauptbodenformengesellschaft*: Kombination von Bodenformen, vor allem Hauptbodenformen, zur inhaltlichen Kennzeichnung (Inventartypen) von Standorteinheiten (insb. Standortregionaltypen, d. h. Nanochoren; Beispiel: Tieflehm-Fahlerde/Sand-Rosterde-Boden(formen)gesellschaft

– *Bodenformengesellschaft*: Inventarbezogene Zusammenfassung von Hauptbodenformengesellschaften beispielsweise zur Kennzeichnung von Mikro-/Mesochoren; Beispiel: Tieflehm-/Lehm-Fahlerde-Boden(formen)gesellschaft der welligen Grundmoränenplatten

– *Bodentypengesellschaft*: Kombination von Bodentypen zur Kennzeichnung von Bodenregionen (s. Abschn. 4.8.6.); Beispiel: Staugley-Boden(typen)gesellschaft im Löß- und Sandlöß-Gürtel

Nachfolgend wird ein Ausschnitt (auch innerhalb der Gruppen nur auszugsweise) aus der Legende zur Bodenkarte der DDR gebracht, um die Gliederung in die beiden letztgenannten Niveaus zu veranschaulichen:

#### *Bodenformengesellschaften des Löß- und Sandlößgürtels*

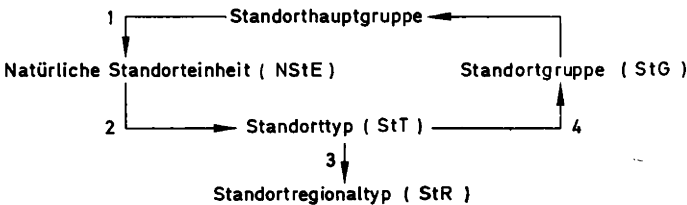
<i>F</i>	Rendzina-Bodentypengesellschaften	<i>G6</i>	Löß-Schwarzerde/Felslehm-Rendzina-Bodenges.
<i>F1</i>	Schotter-Rendzina-Bodenges.	<i>G7</i>	Löß-Schwarzerde/-Rendzina-Bodenges.
<i>F2</i>	Seemergel-Rendzina-Bodenges.	<i>G8</i>	Löß-Schwarzerde/Berglehm-Braunerde-Bodenges.
<i>G</i>	Schwarzerde-(Griserde)-Bodentypengesellschaften	<i>G9</i>	Löß-Schwarzerde-Bodenges.
<i>G4</i>	Salmtieflehm-Schwarzerde/-Griserde-Bodenges.	<i>G10</i>	Löß-Schwarzerde/Lehm-Schwarzstaugley-Bodenges.
<i>G5</i>	Decklöß-Schwarzerde-Bodenges.		

G11	Lehmkerf-Schwarzerde/Ton-Rendzina-Bodenges.	I	Fahlerde-(Braunerde-)Staugley-Bodentypengesellschaften
H	Fahlerde-(Parabraunerde-)-Bodentypengesellschaften	I5	Decklöß-Fahlerde/-Griserde-Bodenges.
H1	Decksalm-Fahlerde/Sand-Braunerde-Bodenges.	I6	Decklöß-Fahlerde/-Braunstaugley-Bodenges.
H2	Salm/Decksalm-Fahlerde-Bodenges.	I7	Löß-Fahlerde/-Braunstaugley-Bodenges.
H3	Salm-/Salmtieflehm-Fahlerde-Bodenges.	K	Staugley-Bodentypengesellschaften
H4	Decksalm-Fahlerde/Berglehm-Braunerde-Bodenges.	K2	Löß-Braunstaugley-Bodenges.
		K3	Löß-Staugley-Bodenges.

#### 4.8.4. Das System der Standorteinheiten

Die landwirtschaftlich genutzten Flächen der DDR werden im Bereich der chorischen Dimension zusammenfassend nach Standorteinheiten gegliedert. Ausgangspunkt dieser Gliederung waren die ehemals erarbeiteten Natürlichen Standorteinheiten (NStE). Da die NStE eine relativ hohe Abstraktionsstufe darstellen, wurden sie zu einem späteren Zeitpunkt weiter unterteilt in die sogenannten Qualifizierten Natürlichen Standorteinheiten (NStE-Q), jetzt als *Standorttypen* bezeichnet. Eine Einheit mit ähnlichem Aussageniveau war die Agrarische Standortgesellschaft als Untergliederungsstufe der Agrarischen Standorteinheit nach Barsch (1970a).

Der Standorttyp nimmt heute eine gewisse Schlüsselstellung ein. Zum einen werden durch ihn für Gebiete bestimmter Größenordnung wesentliche Merkmale in typischer Form abstrahiert, zum anderen ist er das Transformationsglied zwischen NStE, Standortgruppe und Standortregionaltyp:



Die Pfeile dieser Abbildung geben die Richtung, die Ziffern die Reihenfolge der Schritte an, die zur Bildung der einzelnen Einheiten führten. Das System der Standorteinheiten (TGL 24300/15) stellt eine arealbezogene Gliederung der Agrarstandorte nach systematischen Ordnungsstufen vorwiegend im Bereich der chorischen Dimension dar (vgl. Abb. 4/2).

#### Natürliche Standorteinheiten und Standorthauptgruppen

Die Natürliche Standorteinheit (NStE) ist als eine Zusammenfassung der Klassenflächen der Bodenschätzung in der chorischen Dimension anzusehen. Während die Klassenflächen noch homogene Areale repräsentieren, handelt es sich bei den NStE um heterogene Flächeneinheiten. Auf der Grundlage der Bodenschätzungsergebnisse wurde die Zuordnung zu den NStE gemeindeweise vorgenommen, wobei für die Einstufung nur das Ackerland Berücksichtigung fand. Die Begrenzung der Einzelareale der NStE ist somit durch administrative, nicht natürliche Gegebenheiten bestimmt. Bei der Beurteilung größerer Gebiete spielt das aber eine untergeordnete Rolle, weil sich dort die großräumigen natürlichen Grenzen trotzdem recht gut abzeichnen. Die NStE gestatten nur für Areale mindestens ab Gemeindegröße, besser jedoch für größere Gebiete, eine sinnvolle Aussage. Areale innerhalb einer Gemeinde können nicht nach NStE beurteilt werden.

In der NStE spiegeln sich bestimmte natürliche Produktionsbedingungen wider, die hin-

sichtlich der Anbaumöglichkeiten und der Produktionsleistung bei dem in den 60er Jahren vorhandenen Entwicklungsstand der Produktivkräfte in etwa gleichem Maße wirksam waren. Sie ermöglichten eine Aussage über die potentielle Bodenfruchtbarkeit und den Bruttoumsatz in der Pflanzenproduktion. Die NStE haben noch heute Bedeutung für die Bemessung von Bodennutzungsgebühren und Produktionsabgaben. Auch die statistische Auswertung der Produktionsergebnisse basiert noch auf ihnen.

Tabelle 4/8

Verteilung der Natürlichen Standorteinheiten (NStE) in % der Ackerfläche mit Stand von 1963 (nach Schilling, Bannorth, Schlicht, 1965)

Natürliche Standorteinheiten	Rostock	Schwerin	Neubrandenburg	Potsdam	Frankfurt/O.	Cottbus	Magdeburg	Halle	Erfurt	Gera	Suhl	Dresden	Leipzig	Karl-Marx-Stadt	DDR
D 1	1	8	5	6	7	6	—	—	—	—	—	—	—	—	3
D 2	4	15	6	28	17	33	3	2	—	—	—	3	1	—	9
D 3	11	20	11	34	29	37	10	4	—	—	—	7	5	—	13
D 4	39	32	41	25	23	16	20	2	—	—	—	13	10	—	19
D 5	37	17	34	7	9	1	20	2	—	—	—	6	7	—	12
D 6	8	6	3	—	1	—	3	4	—	—	—	—	2	—	2
D 1—6	100	98	100	100	86	93	56	14	—	—	—	29	25	—	58
Al 1	—	2	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	1
Al 2	—	—	—	—	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Al 3	—	—	—	—	—	7	6	8	5	—	—	—	5	—	2
Al 1—3	—	2	—	—	14	7	9	8	5	—	—	—	5	—	4
Lö 1	—	—	—	—	—	—	26	37	5	—	—	—	3	—	6
Lö 2	—	—	—	—	—	—	8	29	22	1	—	—	2	—	5
Lö 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	10	—	1
Lö 4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	30	4	3
Lö 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	—	20	23	—	3
Lö 6	—	—	—	—	—	—	—	3	—	2	—	12	1	27	3
Lö 1—6	—	—	—	—	—	—	34	69	27	8	—	59	69	31	21
V 1	—	—	—	—	—	—	—	7	31	3	—	—	—	—	3
V 2	—	—	—	—	—	—	1	—	20	34	6	—	1	—	3
V 3	—	—	—	—	—	—	—	—	12	19	55	—	—	—	3
V 4 + 5	—	—	—	—	—	—	—	2	5	35	30	—	—	19	4
V 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	1
V 7 + 8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	—	21	2
V 9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	9	1	—	12	1
V 1—9	—	—	—	—	—	—	1	9	68	92	100	12	1	69	17
Anzahl	6	7	6	5	7	6	10	11	8	9	5	11	13	7	24



Insgesamt sind 24 NStE gebildet worden, deren Verteilung in den Bezirken der DDR aus Tabelle 4/8 hervorgeht. Unter Berücksichtigung der Sedimentgenese werden diese 24 NStE zu 4 Standorthauptgruppen zusammengefaßt, die – auf die Flächen übertragen – zugleich den in Abschnitt 3.1.4. bis 3.1.6. erläuterten Sedimentgürteln (vgl. auch Abschn. 4.8.6.) entsprechen. Nachfolgend sind die Standorthauptgruppen und die wichtigsten Merkmale der NStE erläutert, wobei eine Erweiterung durch Mo-Standorte (Moorstandorte) und K-Standorte (Kippstandorte) erfolgte:

a) D-Standorte

58 % der Ackerfläche; Untergliederung in 6 NStE (D1 bis D6); Tongehalt und Leistungsfähigkeit nehmen von D1 bis D5/6 zu, bei D5/6 Beeinträchtigung durch Staunässe; dominierende Bodenformen sind bei D1 Sand-Rosterden, bei D2 bis 3 Sand-Braunerden und Tieflehm-Fahlerden, bei D4 bis 5 Tieflehm-Fahlerden/Lehm-Parabraunerden, bei D5 bis 6 Lehm-/Tieflehm-Stau-/Braunstaugleye, bei D3 bis 5 zusätzlich Bodenformen mit Decksaum und Sandlöß (Löbrandgebiet)

b) Löß-Standorte

21 % der Ackerfläche; Untergliederung nach vorherrschendem Bodentyp (s. Tab. 4/9), bei L64 bis L66 zusätzlich nach dem Anteil an D- und V-Standorten in 6 NStE (L61 bis L66); dominierende Bodentypen sind bei L61 und L62 Schwarzerden, Braunschwarzerden und Griserden, bei L63 bis 4 Parabraunerden bzw. Fahlerden mit Braunstaugleyen, bei L65 bis 6 Braunstaugleye, Staugleye sowie Braunerden; L64 und 5 schließen Decklöße (über sandigem Glaziärmaterial) ein, L66 hingegen Bergsubstrate

c) V-Standorte

17 % der Ackerfläche; Untergliederung nach regionalen Gesichtspunkten und nach der Gesteinsart der Verwitterungs- und Umlagerungsdecken (Bergsubstrate) in 9 NStE (V1 bis V9); bei V1 bis 3 dominieren lehmige und tonige Böden aus Keuper und Muschelkalk (Schwarz-, Braun-, Parabraun- und Fahlerden sowie Rendzinen), bei V4 bis 7 sandige bis lehmige Böden aus Material des Buntsandsteins, des Rotliegenden sowie aus Gneis, Granit und Schiefeln (Braunerden und Staugleye); V8 und 9 sind die Standorte der Hochlagen; zusätzlich zeichnen sich V1, 2 und 4 durch günstige, die übrigen durch ungünstige klima-

Tabelle 4/9

Differenzierung der Natürlichen Standorteinheiten im Bereich der Löß-Standorte nach dem Anteil bestimmender Hauptbodenformen (nach R. Schmidt, 1973)

Boden- formen	NStE						
	L6 1	L6 1	L6 2	L6 3	L6 4	L6 5	L6 6
	AZ						
	> 85	85—75	< 75	> 70	70—55	< 55	< 55
L6ß-Schwarz- erde	92	4	—	—	—	—	—
L6ß-Braun- schwarzerde	8	92	5 (?)	—	—	—	—
L6ß-Griserde	—	4	95 (?)	—	—	—	—
L6ß-Parabraun- erde	—	—	—	67	18	11	—
L6ß-Fahlerde/ -Parabraunerde	—	—	—	33	41	80	10
L6ß-Braun- staugley	—	—	—	—	35	6	40
L6ß-Staugley	—	—	—	—	6	3	50

tische Bedingungen aus; im Bereich vieler V-Standorte sind die Bergsubstrate mit Berglöß vergesellschaftet

#### d) Al-Standorte

4 % der Ackerfläche; Untergliederung nach Substrat und regionalen Gesichtspunkten in 3 NStE (Al1 bis Al3); bei Al1 und Al2 dominieren die tonigen Substrate jeweils der Elbwische oder des Oderbruchs, bei Al3 die lehmigen, z. T. auch schluffigen Substrate der mittleren Elb-, der Saale-, Elster- und Muldeau sowie des Thüringer Beckens

#### e) Mo-Standorte

Untergliederung nach Substrataufbau in 2 NStE (Mo1 und Mo2); bei Mo1 dominieren die sandunterlagerten (flachgründigen) oder sandbedeckten Moore, bei Mo2 die tiefgründigen Moore und solche mit Mudde und Lehm

#### f) K-Standorte

Kippstandorte werden nicht weiter untergliedert, d. h., vorerst gibt es nur K1-Standorte

### **Standorttypen als Qualifizierungsstufe der NStE**

Die Standorttypen (StT) sind eine Qualifizierungsstufe der Natürlichen Standorteinheiten im Sinne einer weiteren Unterteilung durch Präzisierung der Substratangaben und ergänzende Aussagen über die Hydromorphieverhältnisse. Als wesentliche Kennwerte gelten der Substrat- und der Hydromorphieflächentyp (s. Abschn. 4.8.2.). Über den Standorttyp wird die Verbindung zwischen NStE und Standortregionaltyp hergestellt. Trotz einer höheren Anzahl von Kombinationsmöglichkeiten zwischen Substrat- und Hydromorphieflächentypen werden auf Grund ihres tatsächlichen Vorkommens insgesamt nur 52 Einheiten ausgeschieden. Ihre Benennung erfolgt in Anlehnung an die einzelnen NStE durch Anfügen eines Kleinbuchstabens (s. Tab. 4/10). Hierbei gilt die Regel, daß alle sickerwasserbestimmten (anhydromorphen) Standorte durch a, alle staunässe- und/oder grundwasserbestimmten (hydromorphen) Standorte durch b, Substratbesonderheiten hingegen durch c gekennzeichnet werden.

Auf dem Niveau des Standorttyps ist es möglich, sowohl Gemeinden insgesamt als auch Areale innerhalb der Gemeinden zu kennzeichnen. Mit Hilfe des Datenspeichers Boden (Gemeindedatei) kann der Standorttyp zum Beispiel auf Gemeindeebene abgerufen werden. Im Rahmen der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung wird für die einzelnen Areale der Standorttyp gleichzeitig mit dem Standortregionaltyp festgelegt.

Mit der unmittelbaren Bindung des Standorttyps an die NStE war der Vorteil verbunden, daß die seit langem in der Landwirtschaft angewandte und überall bekannte Klassifikation der Natürlichen Standorteinheiten erhalten bleiben konnte. Allerdings ergaben sich auch einige Nachteile, die aber von untergeordneter Bedeutung sind, wie die weitere Berücksichtigung von Merkmalen, die gebietsweise wohl von Bedeutung, für die Gesamtgliederung hingegen weniger wichtig sind (z. B. klimatische Faktoren bei den V-, regionale bei den Al-Standorten).

Die Beziehungen zwischen Standorttyp und Standortgruppe einerseits sowie Natürliche Standorteinheit andererseits gehen aus Tabelle 4/11 hervor.

Für die Standorttypen wurden Dokumentationskarten zur detaillierten Kennzeichnung und landwirtschaftlichen Beurteilung entwickelt.

### **Rahmengliederung für die Standortregionaltypen**

Der Standortregionaltyp (StR) ist die komplexe Grundeinheit des Systems der Standorteinheiten. Die Zusammenfassung der Standortregionaltypen erfolgt auf dem Niveau des Standorttyps.

Standortregionaltypen können als chorische Einheiten der Bodendecke auf der dimensionsbezogenen Rangstufe der Nanochores definiert werden. Die Größe der Areale schwankt zwischen 30 und 250 ha, im Mittel beträgt sie 70 ha. Im Bezirk Cottbus liegt beispielsweise

die mittlere Konturrengröße der Standortregionaltypen bei etwa 100 bis 120 ha, im Bezirk Neubrandenburg bei etwa 50 bis 80 ha.

Die Standortregionaltypen sind einfache heterogene Flächeneinheiten mit einem charakteristischen Bodenformenmosaik, das sich im wesentlichen auf das Substrat, die Hydromorphieverhältnisse und das Relief zurückführen läßt. Inhaltlich werden sie durch gut

Tabelle 4/10  
Übersicht über die Standorttypen (nach TGL 24 300/15)

NStE	a sickerwasserbestimmt (vernässungsfrei)	b staunässe- und/oder grundwasserbestimmt	c mit Besonderheiten des Substrataufbaues
<b>D-Standorte</b>			
D 1	D 1 a sickerwasserbesti. Sande s ≤ 09 N		
D 2	D 2 a sickerwasserbesti. Sande u. Sande mit Tieflehm s — s/l ≤ 09 N	D 2 b grundwasserbesti. Sande s ≤ 01 G	
D 3	D 3 a sickerwasserbesti. Tieflehme u. Sande s/l+s ≤ 11 N	D 3 b grundwasser- u. staunässebesti. Sande u. Tief- lehme s/l + s ≤ 03 G,GS	D 3 c sickerwasserbesti. Decksalme m/d ≤ 11 N
D 4	D 4 a sickerwasserbesti. Tieflehme s/l ≤ 11 N	D 4 b staunässe- u./o. grundwasserbesti. Tieflehme s/l ≤ 05 GS	D 4 c sickerwasser- u. stau- nässebeeinfl. Deck- sandlöße sö/d ≤ 05 N
D 5	D 5 a sickerwasserbesti. Lehme u. Tief- lehme l + s/l ≤ 11 N	D 5 b staunässe- u./o. grundwasserbesti. Lehme u. Tief- lehme l + s/l ≤ 07 GS,SN	D 5 c sickerwasser- u. stau- nässebeeinfl. Sandlöße sö/l ≤ 05 N, S
D 6	D 6 a sickerwasserbesti. Lehme l ≤ 09 N	D 6 b staunässe- u./o. grundwasserbesti. Lehme u. Tone l + t ≤ 03 S,GS	D 6 c Sandlöße mit schwarzerdeähnlichen Böden sö ≤ 09 N
<b>Mo-Standorte</b>			
Mo 1			Mo1c sandunterlagerte o. -bedeckte Moore h/d 01 G
Mo 2		Mo2b tiefgründige Torf- moore h 01 G	Mo2c mudde-(lehm-) unter- lagerte o. -bedeckte Moore h/y ≤ 03 G

Tabelle 4/10 Fortsetzung

NStE	a sickerwasserbestimmt (vernässungsfrei)	b staunässe- und/oder grundwasserbestimmt	c mit Besonderheiten des Substrataufbaues
<b>Al-Standorte</b>			
Al 1 (Elb- wische) Al 2 (Oder- bruch)	Al 1 a an- u. halbhydro- Al 2 a morphe Auen- tone ol + ot 01 GN	Al 1 b halb- u. voll- Al 1 b hydro- morphe Auen- tone ot 01 G, GS	Al 1 c halb- u. vollhydro- Al 2 c morphe Deckaentone ot/d 01 GS
Al 3	Al 3 a an- u. halbhydro- morphe Auen- lehme u. -deck- lehme, z. T. Auenschluffe ol 01 GN	Al 3 b halb- u. voll- hydromorphe Auenlehme u. -decklehme, z. T. Auenschluffe ol/d 01 G	Al 3 c halb- u. vollhydro- morphe Auenlehm- sande om 01 G
<b>Lö-Standorte</b>			
Lö 1 Lö 2	Lö 1 a lößbesti. Schwarz- erden ö ≤ 05 N	Lö 1 b lößbesti. Schwarz- erden mit Stau- nässe- u./o. Grundwasserein- fluß ö ≤ 09 GN	Lö 1 c lößtieflehm- u./o. lößkerfbesti. Schwarz- erden ö/l, ö/t ≤ 11 N Lö 2 c decklößbesti. Schwarzerden ö/d ≤ 09 N Lö 2 d löß- u. berglehmbesti. Schwarzerden u./o. Rendzinen ö — vl ≤ 11 N
Lö 3 Lö 4	Lö 3 a lößbesti. Para- braunerden u. Fahlerden ö ≤ 09 N	Lö 4 b staunässe- u./o. grundwasserbee- infl. Löße ö ≤ 09 S, SN	Lö 3 c sickerwasser- u./o. staunässebeeinfl. Löß- tieflehme ö/l ≤ 07 SN Lö 4 c sickerwasser- bis stau- nässebeeinfl. Decklöße ö/d — ö ≤ 09 SN
Lö 5		Lö 5 b staunässe- u./o. grundwasserbesti. Löße ö ≤ 05 GS	Lö 5 c staunässe- u./o. grundwasserbesti. Lößtieflehme, z. T. Decklöße ö/l ≤ 03 S
Lö 6		Lö 6 b staunässe- u./o. grundwasserbesti. Löße u. Berg- lehme ö + vl ≤ 05 S	Lö 6 c sickerwasser- u./o. staunässebeeinfl. Löße u. Berglehme ö + vl ≤ 07 SN

Tabelle 4/10 Fortsetzung

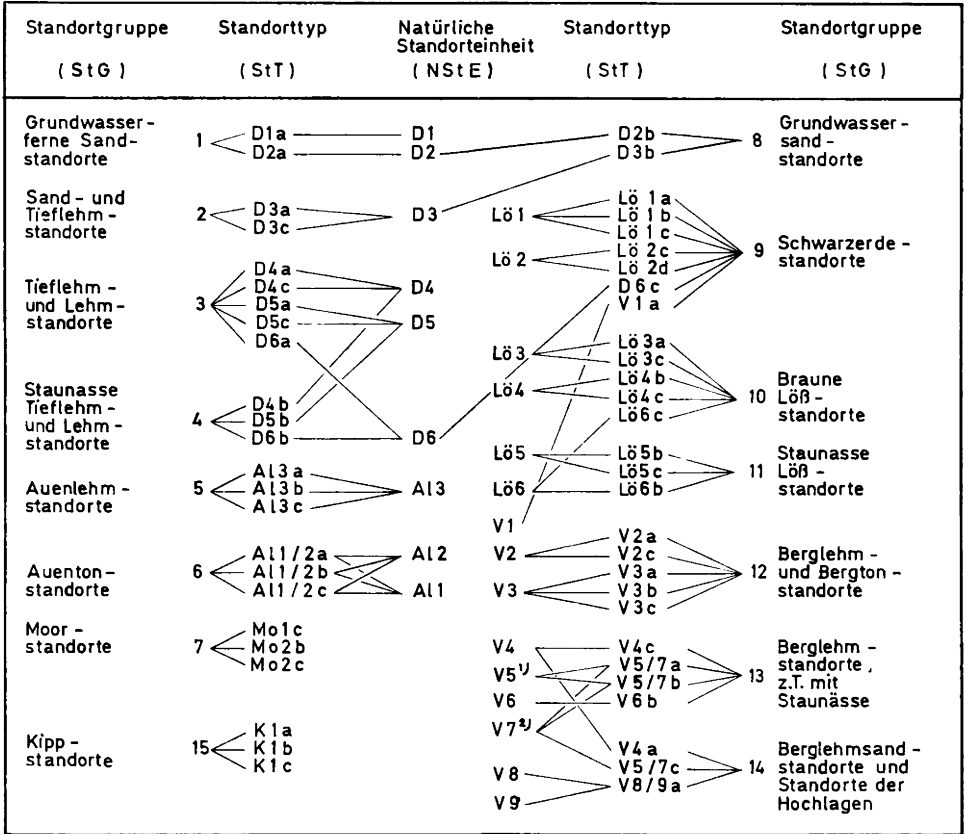
NStE	a sickerwasserbestimmt (vernässungsfrei)	b staunässe- und/oder grundwasserbestimmt	c mit Besonderheiten des Substrataufbaues
<b>V-Standorte</b>			
V 1	V 1 a lehm- u. tonbesti. Schwarzerden, z. T. mit Löß vt + vl — ö ≤ 05 N		
V 2	V 2 a vernässungsfr. Berglehme aus Karbonatgestein vq ≤ 11 N		V 2 c vernässungsfr. lößbe- einfl. Berglehme aus Karbonatgestein vq — ö ≤ 11 N
V 3	V 3 a vernässungsfr. Tone bis Berg- tone mit Berglehm vl + vt ≤ 11 N	V 3 b staunässe- u./o. grundwasserbesti. Tone t — ö/t ≤ 03 GS	V 3 c vernässungsfr. Schutt- lehme u. -tone aus Karbonatgestein nl + nt ≤ 11 N
V 4 V 5 V 6 V 7	V 4 a vernässungsfr. Bergsalme bis -sandlehme vm + vp ≤ 09 N		V 4 c vernässungsfr. lößbe- einfl. Bergsandlehme, z. T. Berglehme vl — ö ≤ 09 N
V 5/ 7 a	vernässungsfr. Bergsandlehme bis -lehme vp + vq ≤ 09 SN	V 5/ 7 b staunässebeeinfl. Bergsandlehme bis -lehme, z. T. mit Löß vp + vq — vö ≤ 09 SN	V 5/ 7 c vernässungsfr. Schutt- salme bis -lehme nm + nl ≤ 11 N
		V 6 b staunässe- u./o. grundwasserbesti. Bergsandlehme bis -lehme vp + vq ≤ 11 GS,S	
V 8 V 9	V 8/ 9 a Bergsubstrate der Hochlagen vm, vl ≤ 11 SN		

Jeweils unterhalb der einzelnen Standorttypen stehen links der dominierende Substratflächen-  
typ und rechts der/die dominierende(n) Hydromorphieflächentyp(en) sowie in der Mitte der  
höchstmögliche Hangneigungslächentyp (vgl. Abschn. 4.8.2.)

definierte Pedotope (Bodenformen) charakterisiert, die sich jeweils in Leitbodenformen  
unterschiedlicher Flächenanteile und typische Begleitbodenformen differenzieren lassen.  
Durch Kenntnis der Gesetzmäßigkeiten der räumlichen Verknüpfung kann auf die innere  
Differenziertheit der Standortregionaltypen geschlossen werden, ohne daß eine Kartierung  
großen Maßstabs mit den Einzelkonturen der beteiligten Bodenformen vorliegen muß.

Tabelle 4/11

Beziehungen zwischen Standorttyp, Standortgruppe und Natürlicher Standorteinheit



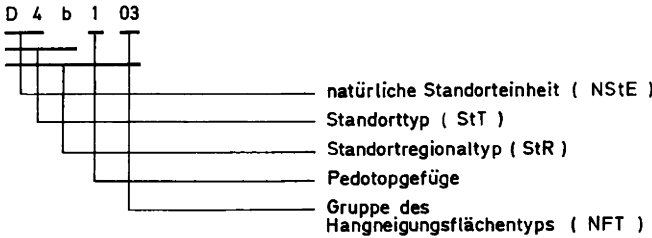
<sup>1)</sup> auf Schiefergestein und Buntsandstein  
<sup>2)</sup> auf Gneis, Glimmerschiefer und Granit

Als Leitkriterien der Standortregionaltypen werden im einzelnen erfaßt (R. Schmidt, 1973; Schmidt, Diemann, 1974):

- **Bodenformeninventar:** Kennzeichnung aller regelhaft auftretenden Hauptbodenformen; Einschätzung nach Flächenanteil und Häufigkeit des Auftretens der Leit- und stetigen Begleitbodenformen
- **Relief:** Einschätzung nach der Hangneigung
- **Gefügestil:** Kennzeichnung durch Abstraktion der gesetzmäßigen Anordnung, d. h. der regelhaften Verknüpfung der Bodenformen; Einschätzung als Hang-, Senken- oder Plattengefüge

Neben diesen Leitkriterien sind weitere Kennwerte einbezogen, die in ihrer Gesamtheit in einem Dokumentationsblatt (vgl. Abb. 5/8) festgehalten werden. Mittels dieser Angaben sind Aussagen sowohl über den Gesamtcharakter und die dominierende Standortqualität als auch zahlreiche spezifische Einzelinformationen möglich, so zum Beispiel zur Substratschichtung und Vernässungsintensität, zum Auftreten von Störarealen und lagebedingten Wassermangels sowie zu Besonderheiten im Hinblick auf den Technikeinsatz.

Die Benennung der Standortregionaltypen erfolgt durch Anfügen einer arabischen Ziffer an die Bezeichnung des Standorttyps zuzüglich einer weiteren Ziffer für den Hangneigungsflächentyp (s. Abschn. 4.8.2.):



Jeder Standorttyp umfaßt 2 bis 10 Standortregionaltypen, die entsprechend oben erläuteter Symbolik (s. 4. Symbol) von 1 an fortlaufend numeriert werden. Insgesamt gibt es etwa 290 Standortregionaltypen auf dem Territorium der DDR.

Für detaillierte Aussagen kann die Nanochose (Pedotopgefüge) nach ausgewählten Merkmalen differenzierter gekennzeichnet werden, wofür folgende Beispiele angeführt seien:

(sB-IC)H: Sand-Braunerde/Lehm-Rendzina-Hanggefüge

(ö/dP-öU)P: Decklöß-Parabraunerde/Löß-Braunstaugley-Plattengefüge

(sG-m/dL)S: Sand-Gley/Decksalm-Braungley-Senkengefüge

Die Anzahl der Standortregionaltypen hat innerhalb der einzelnen Bezirke der DDR etwa die gleiche Größenordnung. So treten im Bezirk Cottbus und Erfurt etwa je 50 auf, von denen allerdings nur ca. 30  $\cong$  0,5% der Bezirks-LN einnehmen.

### Zusammenfassung der Standorttypen zu Standortgruppen

Die Standortgruppe (StG) ist die oberste arealbezogene Gliederungseinheit der natürlichen Standortverhältnisse auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen. Sie fußt auf den Standorttypen und damit sowohl auf den NStE als auch Standortregionaltypen. Bei den Standortgruppen handelt es sich um eine Gliederung der Standorte unter Berücksichtigung stark abstrahierter Substrat- und Hydromorphieverhältnisse sowie der allgemeinen Relief- und Klimabedingungen in Gruppen ähnlicher Bildungsbedingungen. Auf dieser Grundlage können die Agrarstandorte der DDR in stark zusammengefaßter Form nach ihren natürlichen Standortverhältnissen insbesondere für die Verfahren der Pflanzenproduktion und Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit beurteilt werden. Die Grünlandstandorte sind integriert.

Folgende 14 Standortgruppen (s. Abb. 4/31) werden unterschieden (Kundler, Lieberoth, Schmidt, Ewert, Ansoerge, 1977); Flächenangaben nach MMK, 1980:

#### a) Sickerwasser- und staunässebestimmte D-Standorte

- |  |   |
|--|---|
| 1 – Grundwasserferne Sandstandorte: sandige Substrate (> 60%)<br>mit starker Versickerung des Niederschlagswassers und<br>häufiger Austrocknung  | D1, D2<br>ohne Vernässung;<br>etwa 10% der LN |
| 2 – Sand- und Tieflehmstandorte: vorwiegend sandiger Oberboden<br>und teilweise lehmiger Unterboden, d. h. regelmäßiges<br>Mosaik von Sand (20–60%) und Tieflehm (40–60%),<br>z. T. Sandlöß; vernässungsfrei | D3<br>ohne Vernässung;<br>etwa 6% der LN      |
























3 – Tieflehm- und Lehmstandorte: vorwiegend lehmsandiger Oberboden und lehmiger Unterboden, vernässungsfrei; in reliefierten Moränengebieten zusätzlich flachgründiger Lehm auf Kuppen und vernähten Böden in Senken (> 60% Tieflehm und Lehm, z. T. Sandlöß)	D4 bis D6 ohne Vernässung; etwa 11% der LN
4 – Staunasse Tieflehm- und Lehmstandorte: vorwiegend lehmsandiger Oberboden und lehmiger Unterboden (> 60% Lehm und Tieflehm); infolge welligen bis kuppigen Reliefs heterogenes Bodenmosaik mit unterschiedlichem Vernässungsgrad, Staunässe dominiert	D4 bis D6 mit Vernässung; etwa 13% der LN
<b>b) Auen- und Niederungsstandorte</b>	
5 – Auenlehmstandorte: grundwasserbeeinflusste Auenlehme mit Anteilen von tonigen und sandigen Böden, häufiger Substratwechsel charakteristisch (Auenlehme und Deckauenlehme, z. T. Auensalme)	A13; etwa 7% der LN
6 – Auentonstandorte: grundwasserbeeinflusste Auentone mit Anteilen von lehmigen und sandigen Böden, häufiger Substratwechsel charakteristisch (Auentone und Deckaentone)	A11, A12; etwa 2% der LN
7 – Niedermoorstandorte: Torfsubstrate mit vorherrschendem Grundwasser (> 60%)	Mo1, Mo2; etwa 8% der LN
8 – Grundwassersandstandorte: vorwiegend sandige Substrate (> 40%) mit vorherrschendem Grundwasser	D2, D3 mit Vernässung; etwa 12% der LN

Standortgruppen:

- 1 Grundwasserferne Sandstandorte
- 2 Sand- und Tieflehmstandorte
- 3 Tieflehm- und Lehmstandorte
- 4 Staunasse Tieflehm- und Lehmstandorte
- 5 Auenlehmstandorte
- 6 Auentonstandorte
- 7 Niedermoorstandorte
- 8 Grundwasserstandorte
- 9 Schwarzerdestandorte
- 10 Braune Lößstandorte
- 11 Staunasse Lößstandorte
- 12 Tiefgründige Berglehm- und Bergtonstandorte
- 13 Berglehmstandorte mit Staunässe
- 14 Berglehmsandstandorte

Eignungsgebiete:

- I Sandige Ackerbaugebiete der Nordbezirke
- II Sandige Ackerbaugebiete der mittleren Bezirke
- III Lehmige Ackerbaugebiete der Nordbezirke
- IV Lehmige Ackerbaugebiete der mittleren Bezirke
- V Grünlandgebiete des Tieflandes
- VI Ackerbaugebiete der Börde und des Thüringer Beckens
- VII Ackerbaugebiete des Sächsischen Hügellandes
- VIII Übergangsgebiete zu den Mittelgebirgen
- IX Grünlandgebiete der Höhenlagen

	1		8	
	2		9	
	3		10	
	4		11	
	5		12	
	6		13	
	7		14	
				
				



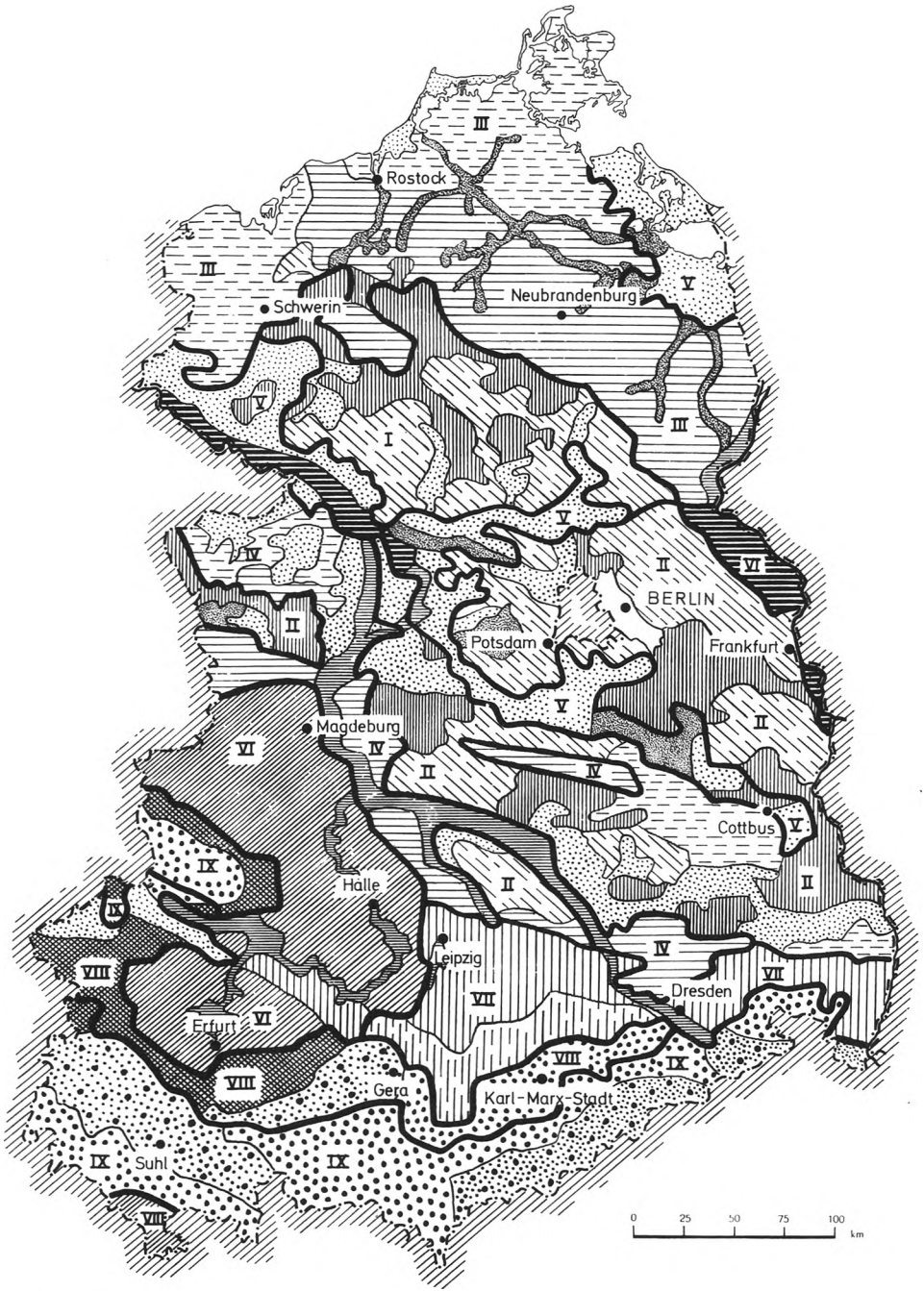


Abb. 4/31  
 Karte der Eignungsgebiete und der Verbreitungsgebiete der Standortgruppen in der DDR (nach Kundler, Lieberoth, Schmidt, Ewert, Ansoerge, 1977)

c) Vorwiegend LÖ-Standorte

- 9 – Schwarzerdestandorte: Schwarzerden auf mächtigen Lößen und schwarzerdeähnliche Böden auf anderen Substraten (> 60%) Lö1, Lö2 sowie D6, V1; etwa 10% der LN
- 10 – Braune Lößstandorte: schluffige Böden, im Unterboden teilweise wechselndes Substrat (Löß, Decklöß, Lößtieflern) örtlich schwacher Staunässeeinfluß; Relief vorwiegend Hügelcharakter Lö3, Lö4 ohne Vernässung; etwa 6% der LN
- 11 – Staunasse Lößstandorte: schluffige Böden, teilweise mit Tiefland- und Bergsubstraten wechselnd; Staunasse dominiert; Relief vorwiegend Hügelcharakter Lö5, Lö6 mit Vernässung; etwa 2% der LN

d) V-Standorte

- 12 – Berglehm- und Bergtonstandorte; Bergsubstrate aus Karbonatgestein mit lückenhaft verbreiteten und geringmächtigen Lößdecken, vorwiegend vernässungsfrei; untere Lagen der Mittelgebirge, Hangneigung < 8° V2, V3 z. T. mit Löß und Karbonat; etwa 5% der LN
- 13 – Berglehmstandorte, z. T. mit Staunässe: vorwiegend Berglehm- und Schuttsubstrate unterschiedlicher Gesteine und Gründigkeit, Stau- und Hangnässeeinfluß in Mulden und an Unterhängen; untere bis mittlere Lagen der Mittelgebirge, Hangneigung teilweise > 8° V4 bis V7 lehmig; etwa 5% der LN
- 14 – Berglehmsandstandorte sowie Standorte der Hochlagen: vorwiegend Bergsalme, z. T. flachgründig und steinig; mit und ohne Staunässeeinfluß; Hangneigung vielfach > 8°; Standorte der höheren Lagen der Mittelgebirge (oberhalb 500 m) mit ungünstigen Klimaverhältnissen hier zugeordnet V4, V5, V7 lehmsandig sowie V8, V9; etwa 3% der LN

e) K-Standorte

- 15 – Kippstandorte: Aufschüttungen verschiedenster Substrate, z. T. kohlehaltig

Tabelle 4/12

Gruppierung der Standortgruppen (StG) in den Bezirken Cottbus und Erfurt nach ihren Flächenanteilen

Bezirk	Flächenanteile in % der Bezirks-LN				
	< 5	5—14	15—29	30—44	45—59
Cottbus	StG 6	StG 2, 4, 5, 7	StG 1	—	StG 8
Erfurt	StG 3, 6, 7, 11, 13	StG 5, 10, 14	StG 9	StG 12	—

Die Verteilung der Standortgruppen auf die einzelnen Bezirke ist sehr unterschiedlich. Als Beispiel seien die Verhältnisse in den Bezirken Cottbus und Erfurt miteinander verglichen (s. Tab. 4/12). Während im Bezirk Cottbus eindeutig die Standortgruppe 8 (Grundwasserstandorte) dominiert, gefolgt von der Standortgruppe 1, herrscht im Bezirk Erfurt die Standortgruppe 12 (Berglehm- und Bergtonstandorte), gefolgt von der Standortgruppe 9, vor.

4.8.5. Standörtliche Heterogenität und Großflächennutzung

Die Heterogenität der Bodendecke wird nicht nur zur Bestimmung arealbezogener Standorteinheiten und deren Interpretation herangezogen, sie ist auch für sich allein ohne Bindung

an eine Standortklassifikation ein gutes Hilfsmittel zur Kennzeichnung bestimmter Eigenschaften der Agrarstandorte unter den Bedingungen der industriemäßigen Pflanzenproduktion. Auf mehr als einem Drittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche der DDR kommen stärkere Bodenunterschiede vor, so daß bei der Großflächennutzung darauf Rücksicht genommen werden muß. Auf Grund des ökologischen Kontrastes in den Substrat- und Hydromorphieverhältnissen zwischen den Leitbodenformen ist mit folgenden Größenordnungen zu rechnen (R. Schmidt, 1972; R. Schmidt, Haase, 1978):

- Kontrast kaum vorhanden (relativ einheitlich),  
Ertragsdifferenzen < 10%: auf etwa 24% der LN
- Schwacher Kontrast (mäßig heterogen),  
Ertragsdifferenzen 10 bis 30%: auf etwa 40% der LN
- starker Kontrast (stark heterogen),  
Ertragsdifferenzen > 30%: auf etwa 36% der LN

Die Heterogenität der Bodendecke innerhalb der Schläge spiegelt sich in einer unterschiedlichen Ausbildung der Bodenfruchtbarkeit wider, insb. in unterschiedlichen Erträgen sowie in einer verminderten Ertragssicherheit. In Abbildung 4/32 werden einige Beispiele für mögliche Ertragsdifferenzen gebracht. Die Auswirkungen der Bodenheterogenität in dem ungünstigen Jahr 1976 gehen auch aus den großen Ertragsschwankungen einer LPG im

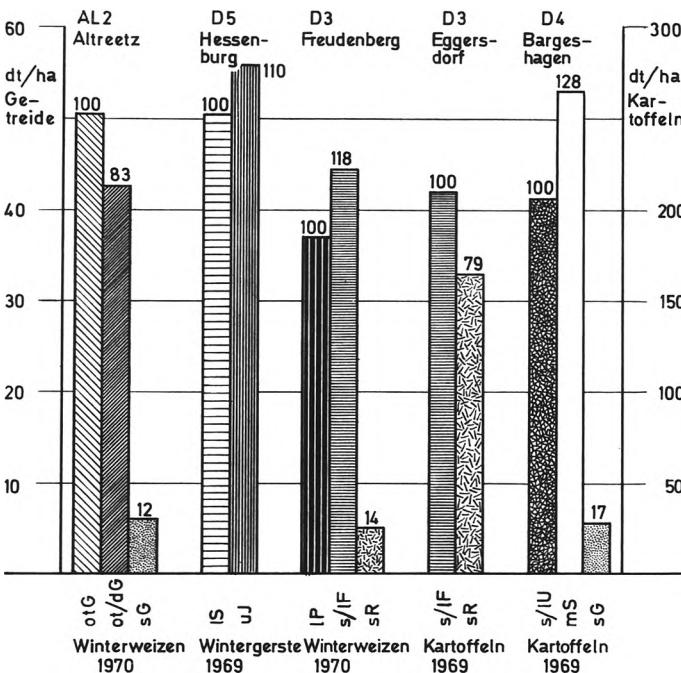


Abb. 4/32 Säulendiagramm der Ertragsunterschiede auf standörtlich heterogenen Schlägen (nach Angaben von R. Schmidt, 1973)



Bezirk Frankfurt/O. hervor, wo auf 10 Schlägen folgende maximale Differenzen zwischen niedrigstem und höchstem Ertrag innerhalb der Schlagkomplexe auftraten (M. Frielinghaus, 1976):

Winterweizen	49 dt/ha	Wintergerste	32 dt/ha
Winterroggen	43 dt/ha	Sommergerste	30 dt/ha

Hierbei handelt es sich um die Standortgruppe 2 (Sand- und Tieflehmstandorte) mit Sand-Rosterden, Bändersand-Braunerden, Tieflehm-Fahlerden, Lehm-Parabraunerden (in Kuppenlage) und Sand-Braungleyen (in Senken). Es muß hinzugefügt werden, daß solche hohen Differenzen selbstverständlich nur auf ganz bestimmten Standorten und – entspr. den Witterungsbedingungen – auch nur in ganz bestimmten Jahren auftreten.

Areale, durch die innerhalb der Schläge die technologische Eignung vermindert wird bzw. Ertragsdepressionen hervorgerufen werden, bezeichnet man als *Stör-* bzw. *Minimumareale*. Der Umfang dieser ungünstigen Bodenanteile muß bekannt sein, um gegebenenfalls die Schlageinteilung korrigieren zu können. Andere Möglichkeiten bestehen darin, die Störareale entweder durch Meliorationen (z. B. Bedarfsdränung, Bentonitanwendung, kombinierte Unterbodenmelioration) anzugleichen oder die Bewirtschaftung anzupassen (z. B. durch Ausgleichsdüngung, differenzierte Bearbeitung).

Die Effektivität der Pflanzenproduktion wird nicht allein durch Bodenunterschiede beeinträchtigt. Zur Beurteilung der Disposition von Standorten für die Einrichtung von Schlagkomplexen werden im Rahmen zentraler Auswertungen insgesamt folgende vier Kriterien herangezogen:

- Heterogenität der Bodendecke
- Reliefgliederung einschließlich Hangneigung
- Gliederung des Gewässernetzes
- Wechsel der Nutzungsarten

Tabelle 4/13

Anteil der Gebietstypen für die Disposition zur Großflächennutzung in den einzelnen Bezirken der DDR (nach R. Schmidt, 1972)

Bezirk	Gebietstypen (bezogen auf AL*)					
	günstige		ungünstige		wechselnde	
	Voraussetzungen					
	Tha	[%]	Tha	[%]	Tha	[%]
Rostock	89	25	72	20	198	55
Schwerin	66	18	52	15	239	67
Neubrandenburg	203	40	64	13	237	47
Potsdam	137	33	65	15	218	52
Frankfurt/O.	133	45	39	13	122	42
Cottbus	28	12	77	32	132	56
Magdeburg	265	48	75	13	216	39
Halle	324	66	23	5	139	29
Erfurt	161	42	86	22	138	36
Gera	2	2	84	60	54	38
Suhl	—	—	55	73	20	27
Dresden	73	26	73	26	135	48
Leipzig	147	51	10	3	131	46
Karl-Marx-Stadt	12	5	134	60	78	35

\*) 1970

Dabei kam es zur Bildung von drei Gebietstypen der Disposition für die Großflächennutzung (R. Schmidt, 1972):

– Gebiete mit günstigen Voraussetzungen: Schläge von 100 ha und mehr möglich mit für die Bearbeitung günstigen Formen; nur in Teilbereichen erschwert eine heterogene Bodendecke trotz günstiger Reliefverhältnisse die zusammenhängende Nutzung

– Gebiete mit ungünstigen Voraussetzungen: Schläge von nur etwa 30 ha und weniger möglich infolge starker Reliefzergliederung, stärkerer Hangneigung, starker Flurgliederung und/oder engräumigen Gewässernetzes; es dominieren im allgemeinen kleine, unregelmäßig geformte Schläge

– Gebiete mit wechselnden Voraussetzungen: Schläge nur unterschiedlicher Größe und Form möglich infolge wechselnder standörtlicher Differenzierung und Flurgliederung; sehr große Schläge selten und wenig formgünstig; in Teilbereichen lassen sich durch Meliorationsmaßnahmen günstigere Voraussetzungen schaffen

Eine solche Gruppierung kann natürlich nur Übersichtscharakter haben. Der Anteil der einzelnen Gebietstypen geht aus Tabelle 4/13 hervor. Bezieht man die bezirksweise angeführten Angaben auf das gesamte Ackerland der DDR, so ergibt sich, daß 30 % der Gesamtfläche günstige, 25 % ungünstige Voraussetzungen für die Schlaggestaltung haben, während die restlichen 45 % ein relativ breites Spektrum unterschiedlicher Schlaggrößen zulassen.

#### 4.8.6. Standortbezogene Gebietsgliederung der DDR

##### Einteilung in Bodenregionen

Bodenregionen sind Einheiten einer großräumigen Gebietsgliederung (vgl. Abb. 4/2). Sie weisen eine repräsentative Größenordnung auf, in deren Bereich sich der Hauptcharakter von Bodenbildung und Naturraum verknüpfen lassen. Die kennzeichnenden Merkmale einer Bodenregion sind nicht aus dem Gesamtinventar, aus der Vielfalt der beteiligten Böden, sondern nur aus einigen, den regionischen Charakter unmittelbar bestimmenden Eigenschaften abgeleitet. Die Bodenregion zeigt deshalb eine für diesen Gebietsumfang spezifische inhaltliche Homogenität, die trotz kleinflächigem Wechsel in der Bodendecke sich in einer einheitlichen Haupttendenz der Bodenbildung (regionische Norm-Bodenbildung) und in einer unter der Regionsnorm integrierten Raumstruktur niederschlägt.

Tabelle 4/14

Kurzcharakteristik der Bodenregionen der DDR (nach Haase, R. Schmidt, 1971) – s. Abbildung 4/33 –

Bezeichnung	Faktoren der inneren Differenzierung	Heterogenität der Bodendecke	NStE	Fläche in % der DDR
1. Staugley-Region Nordwest-Mecklenburgs	Relief, Bodenwasser	mäßig	D 4—D 6	3,4
2. Staugley-/Amphigley-Region Nordost-Mecklenburgs	Bodenwasser	stark	D 1, D 3—D 5	7,4
3. Fahlerde-Region im mittleren Mecklenburg	Klima, Relief	gering	D 4, D 5	4,8
4. Parabraunerde-Region der Uckermark	Klima, Relief	gering	D 4, D 5	2,2

Tabelle 4/14 Fortsetzung

Bezeichnung	Faktoren der inneren Differenzierung	Heterogenität der Boden-decke	NStE	Fläche in % der DDR
5. Fahlerde-/Braunerde-Region der mecklen-brandenburgischen Platten	Substrat, Klima	mäßig-gering	D 2—D 4	6,5
6. Staugley-/Gley-Region der Altmark	Bodenwasser, Substrat	mäßig-stark	D 3—D 5	4,8
7. Gley-/Braunpodsol*)-Region Südwest-Mecklenburgs	Bodenwasser, Substrat, Relief	stark	D 1—D 4	3,6
8. Gley-/Fahlerde-Region West-Brandenburgs	Bodenwasser, Substrat, Relief	mäßig	D 1—D 4	7,0
9. Fahlerde-/Braunpodsol-Region Ost-Brandenburgs	Substrat, Klima	mäßig-gering	D 1—D 4	8,5
10. Vega-/Halbgley-Region	Bodenwasser, Substrat	gering		
– der Elbaue –			Al 1	2,5
– der Oderaue –			Al 2	0,7
11. Staugley-/Gley-/Braunpodsol-Region der Niederlausitz	Bodenwasser, Substrat	stark	D 2—D 4	6,1
12. Fahlerde-/Staugley-Region d. Fläming u. der Dübener Heide	Substrat, Relief	mäßig-stark	D 2—D 5	5,0
13. Schwarzerde-Region des Harzvorlandes	Klima	gering	Lö 1, Lö 2	7,0
14. Schwarzerde-/Rendzina-Region des Thüringer Beckens	Klima, Substrat	mäßig	Lö 2, V 1	2,8
15. Braunerde-/Rendzina-Region der Thüringer Platten	Klima, Substrat, Relief	gering-stark	V 2—V 5	6,3
16. Fahlerde-/Staugley-Region Sachsens	Klima, Substrat, Relief	mäßig-stark	Lö 3—Lö 6, D 4	9,6
17. Braunerde-Region Südwest-Thüringens	Substrat, Relief	mäßig-stark	V 3, V 5, V 9	2,6
18. Braunerde-/Braunstaugley-Region des Erzgebirges	Höhenstufung, Relief	mäßig	V 5, V 7—V 9	3,5
19. Staugley-/Braunerde-Region des Thüringer Schiefergebirges	Höhenstufung, Substrat	mäßig	V 2, V 3, V 5, V 6	3,2
20. Braunerde-/Braunpodsol-Region des Thüringer Waldes	Höhenstufung	mäßig	V 5, V 9	1,1
21. Braunerde-/Braunstaugley-Region des Harzes	Höhenstufung, Relief	mäßig	V 1, V 5, V 9	1,4

\*) Braunpodsol  $\approx$  Rosterde

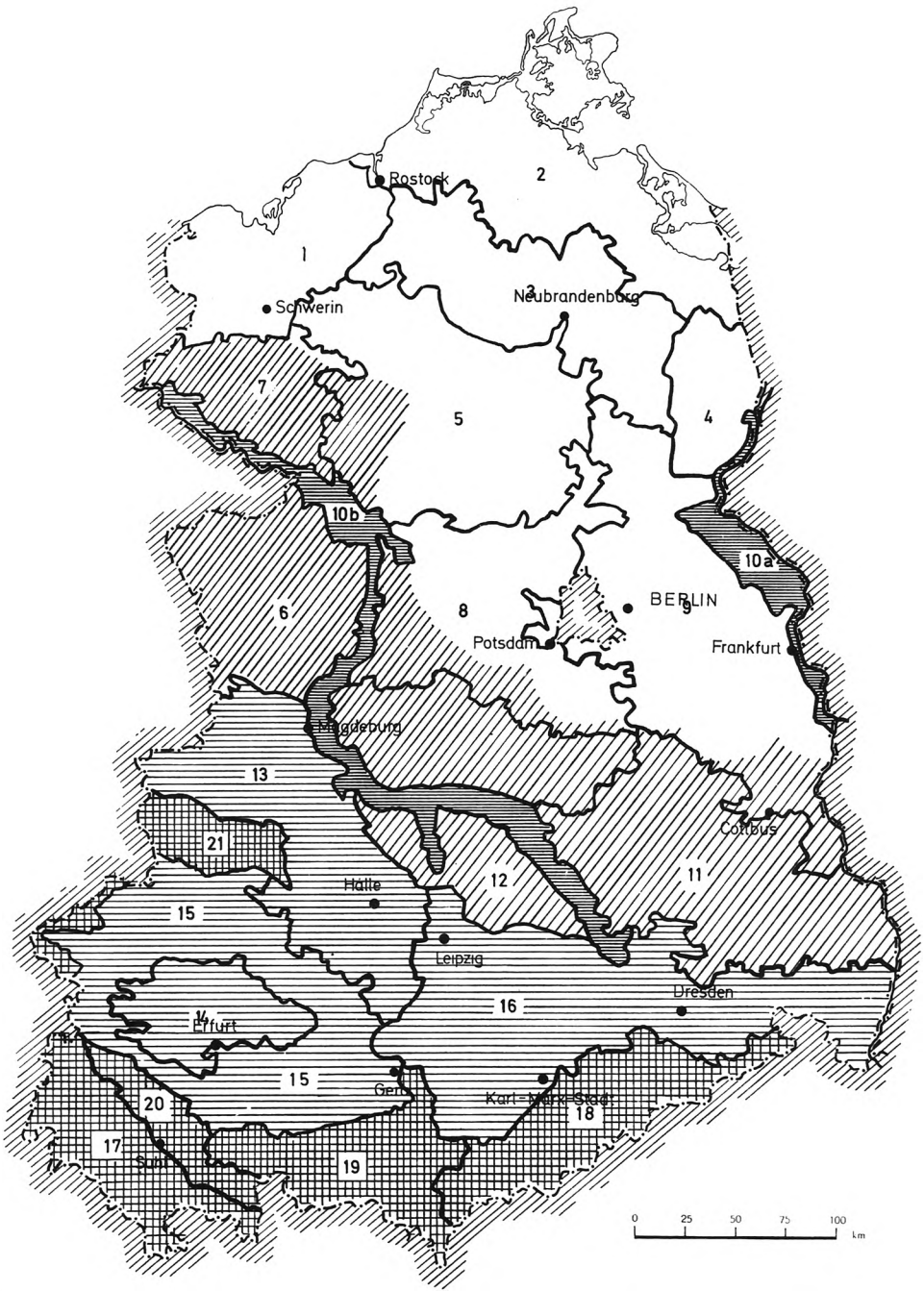


Abb. 4/33  
 Karte der Bodenregionen der DDR (nach Haase, Schmidt, 1971); Legende siehe Tabelle 4/14

Für das Gebiet der DDR werden 21 Bodenregionen unterschieden (s. Abb. 4/33). Ihre Charakterisierung geht aus Tabelle 4/14 hervor. Der Inhalt der Bodenregionen wird durch einen oder mehrere charakteristische Bodentypen (Bodentypengesellschaft, siehe Abschnitt 4.8.3.) gekennzeichnet. Die regionalen Besonderheiten von Klima, Relief und Höhenlage sind auch dann berücksichtigt worden, wenn die Ausprägung der Bodendecke dadurch noch nicht wesentlich beeinflusst wurde. Das Klima schlägt sich vor allem in unterschiedlichen Hydrosequenzen nieder, die von hydromorphen Bodengesellschaften an der Küste über anhydromorphe im Binnenland bis wieder zu hydromorphen im Vorgebirgs- und Bergland reichen. Die Substrat- und Reliefverhältnisse spiegeln sich deutlich in der gürtelartigen Gliederung der DDR wider. Aus all diesen Einflüssen resultieren sogenannte *Normbodenbildungen*, die das eigentliche Grundgerüst der Bodenregionen ausmachen. Aus den Erläuterungen in Tabelle 4/14 geht hervor, daß die einzelnen Bodenregionen teilweise sehr verschieden definiert sind. Während einige Gebiete einen relativ einheitlichen Charakter aufweisen (z. B. Region 4 – Uckermark – und Region 13 – Harzvorland –), zeichnen sich andere durch ihre Vielfalt aus (z. B. Region 6 – Altmark – und Region 12 – Fläming, Dübener Heide –). Für einige Bodenregionen ist ein wesentliches Kriterium die kontinuierliche Zunahme der Hydromorphie in einer bestimmten Richtung (z. B. Region 16 – Sachsen –). Es gibt auch Regionen, die einander sehr ähnlich sind (z. B. die Schwarzerdegebiete Region 13 und 14 oder die Fahlerde/Braunerde/Braunpodsolgebiete Region 5 und 9), die aber trotzdem auf Grund der Lage- und Klimaverhältnisse getrennt werden mußten.

### **Bodenprovinzen und Sedimentationsgürtel**

Die Einteilung der DDR in Bodenregionen kann als eine Gliederung angesehen werden, die sowohl einen großräumigen Überblick über Boden- und Standortverhältnisse ermöglicht als auch im Rahmen eines überregionalen Systems die Einordnung in Bodenprovinzen und -subzonen gestattet. *Bodenprovinzen* als Zwischenglied zu den Subzonen wurden für das Gebiet der DDR zunächst nur für fossile, noch nicht aber für rezente Böden fixiert. *Sedimentationsgürtel* können als substratbestimmte Teilräume aus Subzonen aufgefaßt werden. Sie sind auch bei uns schon längere Zeit eine viel genutzte Ordnungsstufe der regionischen Dimension:

- Moränengürtel
  - a) Jungmoränengebiet
  - b) Altmoränengebiet
- Lößgürtel
- Gebirgsschuttgürtel

Allerdings muß festgestellt werden, daß die für das Gesamtgebiet der DDR ausgeschiedenen Sedimentationsgürtel (s. Abschn. 3.1.4. bis 3.1.6.) strenggenommen Einheiten mit lithozonalem Grundcharakter sind. Da jedoch durch die Sediment- (Substrat-)genese wesentliche Merkmale der Bodendecke bestimmt werden, ist eine solche bodenbezogene Interpretation zulässig.

Sedimentationsgürtel und *Standorthauptgruppe* beziehen sich auf den gleichen Geokomplex. Während die Sedimentationsgürtel in erster Linie den Gebietscharakter widerspiegeln, wird über die Standorthauptgruppen (D-, Lö-, Al-Standorte) der inhaltliche Aspekt hervorgehoben (Erläuterungen s. Abschn. 4.8.4.).

### **Territoriale Gliederung nach Eignungsgebieten**

Eignungsgebiete sind auf die Bedingungen der Praxis zugeschnittene großräumig-geschlossene (zusammenhängende) Territorien in der regionischen Dimension (vgl. Abb. 4/2). Zu ihrer Definition wurden *Boden, Klima, Höhenlage* und *Grünlandanteil* herangezogen. Sie dienen als Grundlage für die gebietliche Spezialisierung und regionale Standortverteilung der Pflanzen- und Tierproduktion und damit einer effektiven Nutzung der natürlichen



Standortressourcen zur Steigerung der Produktion. Eignungsgebiete sind durch das Vorkommen bestimmter Standortgruppen und damit auch bestimmter NStE und Standorttypen gekennzeichnet.

Die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) der DDR wird in folgende 9 Eignungsgebiete eingeteilt (vgl. Abb. 4/31):

**a) Eignungsgebiete I und II**

Umfassen die sandigen Ackerbauggebiete der mittleren und Nordbezirke; sind vorwiegend grundwasserferne Sandstandorte sowie Sand- und Tieflehmstandorte der NStE D1, D2 und D3 mit mittleren Grünlandanteilen von < 25 % der LN; eignen sich vorrangig für die Bewässerung in Verbindung mit dem Aufbau industriemäßiger Tierproduktionsanlagen; Trennung von Gebiet I (nördlicher Teil) und II (südlicher Teil) durch die Linie Elbe, Havel, Dosse, Neuruppiner Oder-Havel-Kanal

**b) Eignungsgebiete III und IV**

Umfassen die lehmigen Ackerbauggebiete der mittleren und Nordbezirke, vorwiegend Tieflehm-, Lehm- und Auenlehmstandorte der NStE D4 bis D6 und A13 mit mittleren Grünlandanteilen von < 25 % der LN; Trennung zwischen Gebiet III (nördlicher Teil) und IV (südlicher Teil) wie unter a), sie wird bestimmt durch die vorrangige Eignung des Küstengebietes für Rapsanbau und des Binnenlandes für Hülsenfruchtanbau; Beregnungseffekt ist in Gebiet IV wegen des größeren Niederschlagsdefizits höher

**c) Eignungsgebiet V**

Umfaßt die Gebiete des Tieflandes mit einem hohen Grünlandanteil von > 25 % der LN auf Niedermoor-, Grundwassersand- und Anstaustandorten; Gebiete für den Einsatz der zweiseitigen Grundwasserregulierung

**d) Eignungsgebiete VI und VII**

Umfassen die Ackerbauggebiete der Börde, des Thüringer Beckens und des Sächsischen Hügellandes mit dem NStE Löl bis 6 und V1; Gebiet VI (Schwarzerdestandorte der Börde und des Thüringer Beckens; vorerst auch die Auenstandorte des Oderbruchs eingeschlossen) wird durch einen Grünlandanteil von < 10 % der LN bestimmt; Abgrenzung von Gebiet VII (braune Lößstandorte des Sächsischen Hügellandes) infolge höherer Niederschläge, der damit verbundenen geringeren Beregnungsbedürftigkeit und wegen des höheren Grünlandanteiles von 10 bis 25 % der LN

**e) Eignungsgebiete VIII und IX**

Umfassen die Übergangsgebiete zu den Mittelgebirgen und die Grünlandgebiete der Höhenlagen; vorwiegend Verwitterungsstandorte mit höheren Grünlandanteilen; Abgrenzung von Gebiet IX gegenüber VIII infolge der flachgründigen Böden, der stärkeren Hanglage, der kürzeren Vegetationszeit und des Grünlandanteils von > 25 % der LN.

#### **4.9. Gliederungsrahmen für die Agrarstandorte der DDR**

Für zentrale Auswertungen im Hinblick auf die Standortverteilung, die Planung, die Durchführung und Beurteilung von industriemäßigen Verfahren der Pflanzenproduktion einschließlich der Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit genügt eine begrenzte Anzahl von Klassifikationseinheiten. Zu diesem Zweck wurden bestimmte praxisrelevante Boden-, Standort- und Gebietseinheiten ausgewählt und in einem Gliederungsrahmen der Agrarstandorte zusammengefaßt. Da die einbezogenen Einheiten mit unterschiedlichen Zielen aufgestellt worden waren und damit nicht in jedem Falle unmittelbar verknüpfbar sind, mußten sie aufeinander abgestimmt werden. Eine solche Abstimmung war nicht innerhalb eines hierarchischen Systems, sondern nur auf dem Wege der *Zuordnung* möglich. Im einzelnen ist das auf Sprungstellen zurückzuführen, die sich aus den verschiedenen Dimensionen dieser Einheiten ableiten, d. h., die Eignungsgebiete gehören der regionischen,

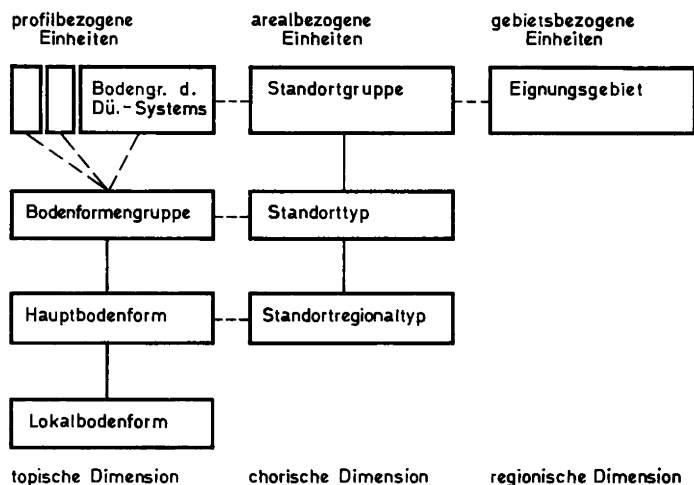


Abb. 4/34  
Schema des Zuordnungsprinzips praxisrelevanter Boden-, Standort- und Gebiets-einheiten

Tabelle 4/15

Zuordnungsrahmen für die landwirtschaftlich genutzten Standorte nach Eignungsgebieten, Standort- und Bodengruppen (nach Kundler u. a., 1977, TGL 24 300/15)

EIGNUNGSGEBIETE	STANDORTGRUPPEN	BODENGRUPPEN
I. Sandige Ackerbaugelände der Nordbezirke (N)	1. Grundwasserferne Sandstandorte (1 N + 1 S)	1.1.
II. Sandige Ackerbaugelände der mittleren Bezirke (S)	2. Sand- und Tieflandstandorte (2 N + 2 S)	2.1., 2.2.
III. Lehmige Ackerbaugelände der Nordbezirke (N)	3. Tiefland- und Lehmstandorte (3 N + 3 S)	2.1., 3.1.
IV. Lehmige Ackerbaugelände der mittleren Bezirke (S)	4. Staunasse Tiefland- und Lehmstandorte (4 N + 4 S)	3.2., 4.2.
	5. Auenlehmstandorte	4.2., 3.2. (4.3., 2./3.3.)
V. Grünlandgelände des Tieflandes	6. Auentonstandorte	5.2. (5.3.)
	7. Niedermoorstandorte	6.2. (6.3.)
	8. Grundwassersandstandorte	1.2., 6.1. (1.3.)
VI. Ackerbaugelände der Börde und des Thür. Beckens	9. Schwarzerdestandorte	4.4., 5.1. (4.2.)
VII. Ackerbaugelände des Sächsischen Hügellandes	10. Braune Lössstandorte	4.1., 3.1.
	11. Staunasse Lössstandorte	4.2., 3.2.
VIII. Übergangsgelände zu den Mittelgebirgen (N)	12. Tiefgründige Berglehm- und Bergtonstandorte	4.1., 5.1.
IX. Grünlandgelände der Höhenlagen (S)	13. Berglehmstandorte mit Staunasse (13 N + 13 S)	4.2., 3.2. (4.1.)
	14. Berglehmsandstandorte (14 N + 14 S)	2.2., 2.1.

die Standorteinheiten der chorischen und die Bodeneinheiten der topischen Dimension an. In Abbildung 4/34 deuten die geraden Verbindungslinien unmittelbare, hierarchische, die unterbrochenen Linien hingegen Zuordnungsbeziehungen an. Die Bodenformengruppen stellen ein Verbindungsglied zwischen den Bodengruppen des Düngungssystems und den Hauptbodenformen dar. Sie lassen sich gleichzeitig mit den Standorttypen durch Zuordnung koppeln.

Auf der Basis des oben erläuterten Prinzips wurde ein Zuordnungsrahmen für die landwirtschaftlichen Boden-, Standort- und Gebietseinheiten entwickelt. Der ausführliche Zuordnungsrahmen umfaßt als

- Gebietseinheiten die Eignungsgebiete (s. Abschn. 4.8.6.)
- Standorteinheiten die Standortgruppen und Standorttypen (s. Abschn. 4.8.4.)
- Bodeneinheiten die Bodenformengruppen (s. Abschn. 4.4.1.) und Bodengruppen des Düngungssystems (s. Abschn. 4.4.2.)

Der in Tabelle 4/15 wiedergegebene zusammengefaßte Zuordnungsrahmen wurde auf die Eignungsgebiete, die Standortgruppen und die Bodengruppen des Düngungssystems beschränkt.

Mit dieser praxisrelevanten Rahmengliederung konnte die Grundlage für ein einheitliches Vorgehen bei der Standortkartierung und Standortbeurteilung geschaffen werden. Alle Kartierungs- und zentralen Auswertungsarbeiten in der DDR sind deshalb auf diesen Gliederungsrahmen der Agrarstandorte ausgerichtet.

Im Rahmen der verstärkten Intensivierung der Pflanzenproduktion und einer erweiterten Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit müssen auch die standortkundlichen Untersuchungen gezielter geplant, umfassender ausgewertet und schneller als bisher verfügbar gemacht werden. Zu diesem Zwecke ist eine rationelle Technologie zur Verarbeitung bodenkundlicher Informationen erforderlich. Die in diesem Abschnitt vorliegende Übersicht wird mit der Darstellung der Untersuchung von Geländepunkten und -schnitten begonnen, mit der Abhandlung von Verfahren der Flächenerkundung (einschließlich spezieller Auswertungen) fortgesetzt und mit der Beschreibung der automatisierten Datenverarbeitung sowie komplexer Auswertungsformen abgeschlossen.

## 5. Gewinnung und Auswertung von Boden- und Standortdaten

### 5.1. Untersuchung von Geländepunkten und Geländeschnitten

Untersuchungen von Geländepunkten und -schnitten werden für die verschiedensten Zwecke durchgeführt. Einmal kann es sich um Aufnahmen handeln, die von vornherein die Untersuchung nur eng begrenzter Ausschnitte aus der Bodendecke zum Ziel haben, beispielsweise Profilaufnahmen zur Kennzeichnung von Einzelstandorten, von Versuchsflächen u. a. Zum anderen können für Flächenerhebungen punkt- oder linienförmige Aufnahmen erforderlich sein, die rasterförmig über die zu untersuchende Fläche verteilt bzw. entsprechend den Geländegegebenheiten als Sequenzen angelegt werden. Für bestimmte Zwecke, zum Beispiel zur umfassenden Charakterisierung größerer Landschaftskomplexe, werden oft Geländeschnitte herangezogen, die sich graphisch gut darstellen lassen (s. Abb. 5/1, vgl. Abb. 3/34) und so eine wertvolle Überblicksinformation ermöglichen.

Alle diese Untersuchungen können an offenen Gruben und Gräben, an Grabungen (Schürfe) sowie mittels Bohrungen durchgeführt werden. Je nach Ziel der Aufnahmen erfolgen sie

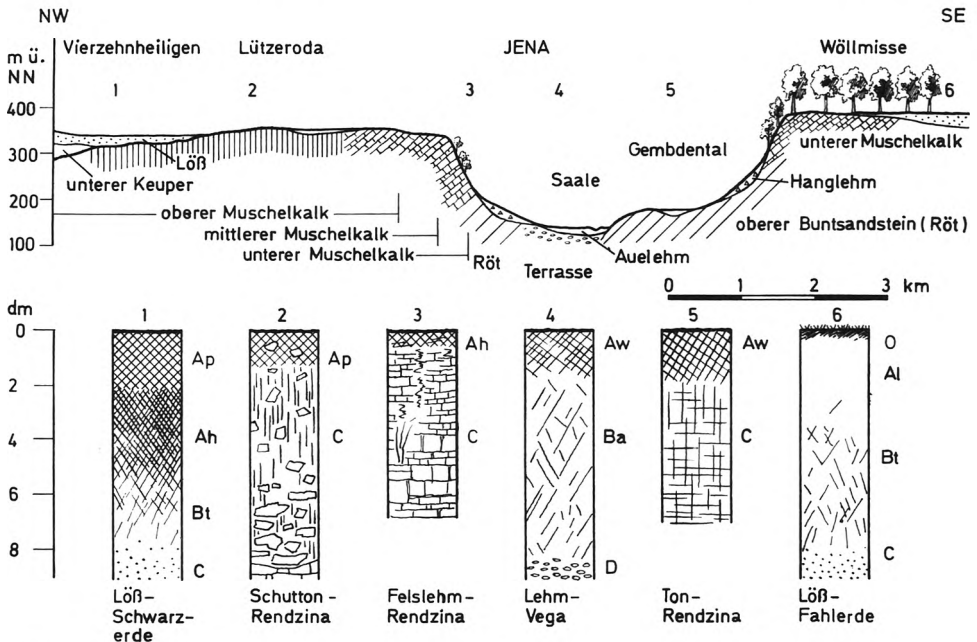


Abb. 5/1

Schematischer Geländeschnitt durch die Muschelkalk-Landschaft im Randplattenbereich des Thüringer Beckens bei Jena mit Darstellung typischer Bodenprofile (nach Rau, 1974)

bis zu unterschiedlichen Tiefen, bei bodenkundlichen Erkundungen i. d. R. bis etwa 15 dm u. Fl., sofern nicht eine Behinderung durch Festgestein oder Grundwasser vorliegt. Bei der Untersuchung von Geländepunkten unterscheidet man die Arbeitsetappen Feldaufnahme, Entnahme von Bodenproben und Analyse der Proben im Labor. Die meisten dieser Arbeiten sind standardisiert. Das ist insofern ein großer Vorteil, als solche Untersuchungen früher sehr individuell gehandhabt wurden und deshalb so schwer miteinander vergleichbar waren.

### **Feldaufnahme**

Bereits 1967 war ein einheitliches Vorgehen bei der Profilaufnahme der landwirtschaftlich genutzten Standorte in der DDR unter Verwendung eines Formblattes vorgeschlagen worden, welches in der zweiten Auflage dieses Buches ausführlicher erläutert wurde. Gleichzeitig war damals im Rahmen der Meliorationsprojektierung der erste Werkstandard auf diesem Gebiet (Mepro 603) erarbeitet worden. Das Ergebnis aller dieser Arbeiten wurde in den 16 Blättern der TGL 24300 „Standortaufnahme von Böden“ zusammengefaßt, die 1970 als erste allgemein verbindliche Form der Standortaufnahme herauskamen. Inzwischen konnte diese TGL nicht nur überarbeitet, sondern auch erweitert werden.

Die TGL 24300 umfaßt folgende Blätter:

01 Übersicht	09 Wasser in und auf dem Boden
02 Erläuterung von Begriffen	10 Hydromorphiegrad
03 Georelief und Klima	11 Ergänzende Bodenmerkmale
04 Gliederung der Moorstandorte	12 Bohrungen und Schürfe
05 Körnungsarten und Skelettgehalt	13 Probenahme
06 Torfarten und Muddearten, Zersetzungsgrad der Torfe	14 Dokumentation und Darstellung der Ergebnisse
07 Substrate und Substrattypen	15 Standorteinheiten der Mittelmaßstäbigen
08 Bodenhorizonte, Bodentypen und Bodenformen	Landwirtschaftlichen Standortkartierung
	16 Gewinnungsklassen

Für die Dokumentation der Ergebnisse einer Standortaufnahme liegen drei verschiedene Formblätter vor:

- **Standortaufnahme-Formular:** Dokumentationsblatt für eine umfassende und vollständige Standort- und Profilaufnahme (s. Abb. 5/2a)
- **Grabenaufnahme-Formular:** Dokumentationsblatt für eine Profilaufnahme an Grabenwänden
- **Schichtenverzeichnis:** Dokumentationsblatt für Bohrungen

Auf der Grundlage der o. g. TGL und dieser Formulare wird heute im Bereich der landwirtschaftlich ausgerichteten Bodenkunde der DDR und darüber hinaus auch bei anderen profilbezogenen Standorterkundungen die Feldaufnahme durchgeführt. Damit ist die Voraussetzung für eine edv-gerechte Verarbeitung der Ergebnisse geschaffen.

### **Entnahme und Analyse der Bodenproben**

Die **Entnahme** von Bodenproben (s. TGL 24300/13) erfolgt zum Zwecke der chemischen, physikalischen, mineralogischen und biologischen Untersuchung des Bodens. Sie sollte sich bei bodenkundlichen Aufnahmen grundsätzlich auf das gesamte Solum erstrecken, wobei jeweils repräsentative Teile aller Horizonte und Schichten erfaßt werden müssen. Bei Horizont- bzw. Schichtmächtigkeiten von < 4 dm ist eine, von > 4 dm sind mindestens 2 Proben zu ziehen. Als Entnahmegereäte dienen neben Messer und Handschaufel auch

Nutzung: **A**

Vorhaben Ort, Betrieb: **Institut für Rübenforschung, Versuchsfeld Wanzenleben**

Kreis: **Wanzenleben**

Fruchtart, Vegetation: **Weizenstoppel**

Zeigerpflanzen: **entfällt**

Vorausgegangene Nutzung: **Schauer, warm**

Datum: **20.8.76**

Bearbeiter: **Cronewitz**

Bezirk: **Magdeburg**

Klimatische Besonderheiten:

Beobachter: **Cronewitz**

Operativ: **Magdeburg**

Fruchtart: **Weizenstoppel**

Zeigerpflanzen: **entfällt**

Vorausgegangene Nutzung: **Schauer, warm**

Kontenblatts-Nr.: **3934**

Legenngabe: **H 70520 /R 58430**

Geologie bzw. Ausgangssubstrat: **Weichsellöß über Saalemoräne**

Mesorelief: **Streckhang, mitte**

Sonstiges: **verrohrter Graben in 40 m Entfernung**

Schurf (Profil): **ZFS / 242**

Kartenblatts-Nr.: **3934**

Legenngabe: **H 70520 /R 58430**

Geologie bzw. Ausgangssubstrat: **Weichsellöß über Saalemoräne**

Mesorelief: **Streckhang, mitte**

Sonstiges: **verrohrter Graben in 40 m Entfernung**

### Standortaufnahme-Formular

Hor.-Nr.	Förbung	Feuchte	Gefüge (Struktur)	Festigk	Humus bzw. ZG	Ca CO <sub>3</sub>	Eisenschüssigkeit	Sonstige Merkmale (Flecke, Bänder, Beläge)	Proben		
									Beurteilung	Zylinder	
1	10 YR 3/2	1	Kr <sup>1</sup>	2	4	1	0		1	116	84-86
2	10 YR 3/3	1	kPo	3	4	1	0	Kro, Re R	2	117	87-89
3	10 YR 4/2 + 6/4	1	kPo -Kr	3	2	1	0	Kro, gHuF3	3	118	90-92
4	10 YR 7/3 +7.5 YR 5/6	2	Pr	4	1	3	1	mRoF2, CaA1 gHuF1	4	119	
5	10 YR 5/4	3	mPo	3	1	3	1	Ca A1, kUB1	5	120	

**Landstraße nach Remkersleben**

**Feldweg**

**nach Wanzenleben**

**150 m**

**< 125 m >**

Beckensymbol d. NSIE: **Lö 1a 1-03**

Naturraumtyp: \_\_\_\_\_

Klassensymbol der Bo. Schd: \_\_\_\_\_

Bodenformsymbol: **ÖT**

Hauptbodenform: **Löß - Schwarzerde**

Lokalbodenform: \_\_\_\_\_

Boden-Subtyp: \_\_\_\_\_

Schwarzerde: **S<sub>i</sub> 4**

Wasserstufe: **Lie**

geprüft: \_\_\_\_\_

übertr.: \_\_\_\_\_

Abb. 5/2 Standortaufnahme- und Analysen-Formular a Vorderseite

Analytische Daten I ( Körnung und chemische Untersuchungen )

Schurf-bezeichnung	PZ	Labor-Nr.	Kies/Grus										Hygroskopisches Volumen	pH-Wert	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Gesamt-N	Humus	Gesamt-C	C/N																				
			FS	FS I	FS II	FS III	FS IV	FS V	FS VI	FS VII	FS VIII	FS IX									FS X	CaCO <sub>3</sub>	Methode	Methode	Methode	Methode	Methode	Methode	Methode											
6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80			
242																																								
242																																								
242																																								
242																																								
242																																								
Einheit																																								

Schurf-bezeichnung	PZ	Horizont Nr.	M.-%										austauschbare Kationen				V-Wert																									
			Farb-quotient	dithionit-lösliches	Methode	Fe	oxal-lösliches	Methode	austauschbare Al <sup>3+</sup>	austauschbare H <sup>+</sup>	Methode	CaCl <sub>2</sub> lösliches	Mg	Methode	laktat-phosphor	laktat-lösliches		Methode	Kalium	salzsaure-lösliches	Methode	fixierbares Kalium	Ca	Mg	K	Na	S-Wert	T-Wert	Methode													
6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80					
242																																										
242																																										
242																																										
242																																										
242																																										
Einheit																																										

Schurf-bezeichnung	PZ	Horizont Nr.	mg / 100 g										mval / 100 g										%																			
			Gesamtgehalt					R-Fraktionen					Gesamtgehalt					Methode																								
6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80					
242																																										
242																																										
242																																										
242																																										
242																																										
Einheit																																										

b Rückseite



Abb. 5/3  
Präparierung einer Stechzylinderprobe nach der Entnahme

Bohrer verschiedenster Ausführung (insbesondere Löffel-, Spiral- und Nutbohrer), Stechzylinder, Handstecher und -sonden.

Je nach dem Ziel der Untersuchung werden *gestörte* und *ungestörte* Bodenproben entnommen. Folgende Entnahmeverfahren sind zu unterscheiden:

– *Gewinnung von Beutelp Proben*: Erfassung des Bodenmaterials in gestörter Lagerung; Entnahme per Hand oder mittels Bohrer/Sonden, unbegrenzter Anwendungsbereich; Entnahme vor allem für die Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung, des Wassergehaltes, der Konsistenzgrenzen sowie für chemische, mineralogische und biologische Untersuchungen; erforderliche Menge für Vollanalyse etwa 1 kg

– *Gewinnung von Volumenproben*: Erfassung des Bodenmaterials in ungestörter Lagerung; Entnahme mittels Stechzylindern von 100, 250 oder 500 cm<sup>3</sup> Inhalt (s. Abb. 5/3) auf Moorböden und skelettarmen Mineralböden oder als paraffinhüllte Schollenproben von 250 bis 300 cm<sup>3</sup> Inhalt auf skelettreichen Böden; Entnahme vor allem für physikalische Untersuchungen (Rohdichte, Volumenanteile, Durchlässigkeitsbeiwert, Saugspannung, Porengrößenverteilung)

Entnahmeort und -stelle (Geländepunkt, Schicht, Horizont, Tiefe) sowie Art der Probe sind für eine sachgemäße Auswertung im Standortaufnahme-Formular (vgl. Abb. 5/2a – Spalte 19) oder im Schichtenverzeichnis der Meliorationsstandorterkundung (Formblatt 220 für Mineralböden, 201 für Moorböden) exakt festzuhalten. Die frisch zu entnehmenden Bodenproben müssen möglichst bald dem jeweiligen Untersuchungslabor zugeführt werden.

Die Analyse der Bodenproben erfolgt auf der Grundlage vorgeschriebener Methoden. Die meisten von ihnen sind standardisiert.

Folgende TGL-Blätter sind für die Untersuchungen heranzuziehen:

a Chemische Bodenuntersuchung (TGL 25418)

- 01 Entnahme von Bodenproben
- 02 Probenvorbereitung
- 03 Bestimmung des Stickstoffs
- 04 Bestimmung des Gehaltes an organischer Substanz
- 05 Bestimmung des Kalziumkarbonatgehaltes
- 06 Bestimmung des pH-Wertes

- 07 Bestimmung des Phosphors
- 08 Bestimmung des Kaliums
- 09 Bestimmung des Magnesiums
- 10 Bestimmung des austauschbaren Natriums
- 11 Bestimmung des Salzgehaltes
- 12 Bestimmung des pflanzenverfügbaren Bor-gehaltes



- 13 Bestimmung des Kupfers
- 14 Bestimmung des Mangans
- 15 Bestimmung des pflanzenverfügbaren Mo-  
lybdäugehaltes
- 16 Bestimmung des Zinks

- 17 Bestimmung des Aluminiums
- 18 Bestimmung des in Flußsäure aufschließ-  
baren Ca, Mg, K, P, Fe und Al
- 19 Bestimmung der Austauschkapazität
- 20 Bestimmung des Eisens

**b Physikalische Bodenuntersuchung (TGL 31222):**

- 01 Begriffe und Formelzeichen
- 02 Bestimmung der Korngrößenzusammenset-  
zung
- 03 Dichte, Substanzvolumen und Porenvolu-  
men
- 04 Bodenwassergehalt, Wasserkapazität, Wel-  
kepunkt und Hygroskopizität
- 05 Tensiometerdruck und Saugspannung

Das Ergebnis der Untersuchungen wird in Formblättern festgehalten. Zum Zwecke der Einspeicherung in die Profil-Datei des Datenspeichers Boden (DABO-PRODAT, s. Abschn. 5.6.3.) wurde als Ablochbeleg ein Dokumentationsblatt entwickelt, das auch als Analysenbeleg auf der Rückseite des Standortaufnahme-Formulars aufgeklebt werden kann (s. Abb. 5/2b).

## **5.2. Die Bodenschätzung**

### **5.2.1. Verfahren der ehemaligen Bodenschätzung**

Die Bemühungen um eine Bodenschätzung (Bodenbewertung, Bodenbonitierung) sind schon sehr alt. Sowohl bei den Römern als auch im Mittelalter lassen sich Ansätze in dieser Richtung erkennen. Insbesondere war für die Bemessung der Grundsteuer, einer der ältesten Steuern in allen Staaten, neben der Klärung der Eigentumsverhältnisse auch eine Bestandsaufnahme des Bodens mit Ermittlung seines Gebrauchswertes wichtig. Im 18. und 19. Jahrhundert fanden in vielen deutschen Ländern sowohl Landvermessungen als auch Bonitierungen der Äcker nach Bodenklassen statt, wobei Inhalt und Benennung der Klassen recht unterschiedlich waren, ein einheitliches Bewertungssystem fehlte indessen. Erst im Jahre 1934 kam es zur Erlassung eines Gesetzes, des sog. Bodenschätzungsgesetzes, nach dem sämtliche landwirtschaftlich nutzbaren Ländereien des ehemaligen Reichsgebietes auf der Grundlage gleicher Richtlinien kartiert und bonitiert wurden.

Hauptaufgabe der Bodenschätzung war die einheitliche Bewertung aller landwirtschaftlich genutzten Böden zum Zwecke einer besseren Besteuerung. Das Verfahren baute auf dem bodenkundlichen Kenntnisstand Ende der 20er Jahre auf und wurde von 1934 bis 1953 durchgeführt. Schon deshalb ist es verständlich, daß bei dem raschen Erkenntniszuwachs innerhalb der letzten Jahrzehnte auf dem Gebiet der Bodenkunde die damaligen theoretischen Grundvorstellungen für dieses Verfahren heute veraltet sind. Die Kartierungsergebnisse haben aber insofern noch Bedeutung, als sie nach einer einheitlichen Methodik erarbeitet wurden und für das Gesamtgebiet der DDR fast lückenlos (d. h. ausschließlich Berlin) vorliegen. Sie sind deshalb immer noch für bestimmte landwirtschaftliche Auswertungen eine brauchbare Grundlage. So werden die Ergebnisse der Bodenschätzung sowohl über die Natürlichen Standorteinheiten (NStE) als auch für moderne mittel- und großmaßstäbige Kartierungen genutzt. Die *Gemeindedatei* des Datenspeichers Boden (DABO-GEMDAT) ist heute der einzige zentrale Speicher, der noch alle Bodenschätzungsdaten auf Gemeindebasis enthält und für Auswertungszwecke verschiedenster Art kurzfristig verfügbar hält.

Die Bewertung der Böden erfolgte bei der Bodenschätzung nach dem Vergleichs-  
system. Dazu wurden überall Vergleichsprofile (*Musterstücke*) angelegt, die eine relative Einstufung der Böden gestatteten. Als bester Boden wurde eine Schwarzerde im Kreis

Schönebeck ausgewählt und mit 100 bewertet. Der schlechteste Boden erhielt die Wertzahl 7. Diese Wertzahlen sollten Reinertragsverhältniszahlen widerspiegeln, was sie in Wirklichkeit aber kaum waren. Vielmehr handelte es sich um abgeleitete komplexe Verhältniszahlen, in denen naturbedingte und ökonomische Bestimmungsgründe in schwer kontrollierbarer Weise vereinigt wurden. Zudem waren als Grundlage dieser Wertzahlen die ökonomischen Bedingungen der kapitalistischen Produktionsverhältnisse im damaligen Deutschland herangezogen worden, die für uns heute in keiner Weise mehr zutreffen. Nur wenn man auf die in das Schätzungsergebnis eingegangenen naturbedingten Ausgangsgrößen zurückgreift, lassen sich die Resultate auch unter unseren jetzigen Produktionsbedingungen für die Standortbeurteilung heranziehen.

Bei dem Verfahren der Bodenschätzung wurde auf dem Ackerland etwas anders als auf dem Grünland vorgegangen. Die Darstellung der Schätzungsergebnisse erfolgte auf Karten im Maßstab  $< 1 : 10\,000$  und in Listenform.

### Ackerschätzung

Für die Schätzung des Ackerlandes wurden drei Kennwerte herangezogen, die laut Vorschrift bis 1 m Tiefe zu erfassen waren:

- *Bodenart* (heute Körnungsart): Erfassung als Durchschnittswert für die gesamte Profiltiefe; Abgrenzung von insgesamt 9 Bodenarten einschließlich Moor (S, SI, IS, SL, sL, L, LT, T, Mo)
- *Geologische Entstehung*: Berücksichtigung des Ausgangssubstrats nach einer groben Skala in 5 Stufen als D-, Lö-, Al-, V- und Vg-(steiniges Verwitterungsmaterial) Standorte
- *Zustandsstufe*: Als Schätzwert für den Entwicklungszustand („Reifegrad“) des Bodens gedacht; theoretische Basis der 7 abgegrenzten Stufen heute völlig überholt

Auf der Grundlage dieser Bestimmungsgrößen wurde jedem Ackerboden nach dem Ackerschätzungsrahmen (s. Tab. 5/1) eine bestimmte Wertziffer zugeordnet, die man als *Bodenzahl* bezeichnet. Die Bodenzahlen sind Verhältniszahlen. Sie sollten Ertragsunterschiede zum Ausdruck bringen, die unter sonst gleichen Bedingungen bei „normalen“ Verhältnissen nur durch die Bodenbeschaffenheit bedingt sind. Folgende Normalverhältnisse wurden zugrunde gelegt:

- für das Klima eine Jahresmitteltemperatur von  $8^{\circ}\text{C}$
- für das Relief eine ebene bis schwach geneigte Lage
- für den Grundwasserstand eine „optimale“ Höhe
- für die wirtschaftliche Lage (insbesondere war die Verkehrslage gemeint) die Verhältnisse im mittleren Teil des ehemaligen Landes Sachsen-Anhalt

Wenn Abweichungen von den angenommenen Normalverhältnissen vorlagen, wurden die Bodenzahlen durch Zu- oder Abschläge erhöht bzw. verringert. Das Resultat war die *Ackerzahl*. Zuschläge wurden vorgenommen für günstigeres Klima, bessere Verkehrslage usw., Abschläge bei ungünstigerem Klima, stärkerer Hangneigung, schlechteren Grundwasserhältnissen, höherem Steingehalt, Beeinflussung durch Wald (Schatten, Wurzelschäden) und schlechterer Verkehrslage.

Das gesamte Schätzungsergebnis, auch *Klassenzeichen* genannt, lautet zum Beispiel:

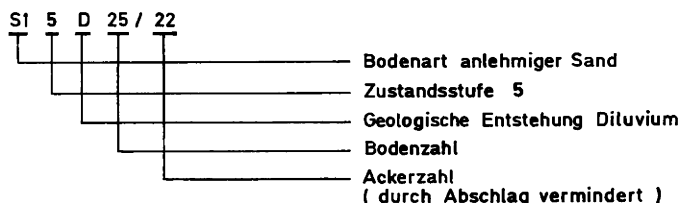


Tabelle 5/1

## Ackerschätzungsrahmen der ehemaligen Bodenschätzung

Bodenart	Entstehung	Zustandsstufe						
		1	2	3	4	5	6	7
<i>S</i>	D	—	41—34	33—27	26—21	20—16	15—12	11— 7
	Al	—	44—37	36—30	29—24	23—19	18—14	13— 9
<i>Sl</i> ( <i>S/IS</i> )	D	—	51—43	42—35	34—28	27—22	21—17	16—11
	Al	—	53—46	45—38	37—31	30—24	23—19	18—13
	V	—	—	42—36	35—29	28—23	22—18	17—12
<i>IS</i>	D	68—60	59—51	50—44	43—37	36—30	29—23	22—16
	Lö	71—63	62—54	53—46	45—39	38—32	31—25	24—18
	Al	71—63	62—54	53—46	45—39	38—32	31—25	24—18
	V	—	57—51	50—44	43—37	36—30	29—24	23—17
	Vg	—	—	47—41	40—34	33—27	26—20	19—12
<i>SL</i> ( <i>IS/SL</i> )	D	75—68	67—60	59—52	51—45	44—38	37—31	30—23
	Lö	81—73	72—64	63—55	54—47	46—40	39—33	32—25
	Al	80—72	71—63	62—55	54—47	46—40	39—33	32—25
	V	75—68	67—60	59—52	51—44	43—37	36—30	29—22
	Vg	—	—	55—48	47—40	39—32	31—24	23—16
<i>sL</i>	D	84—76	75—68	67—60	59—53	52—46	45—39	28—30
	Lö	92—83	82—74	73—65	64—56	55—48	47—41	40—32
	Al	90—81	80—72	71—64	63—56	55—48	47—41	40—32
	V	85—77	76—68	67—59	58—51	50—44	43—36	35—27
	Vg	—	—	64—55	54—45	44—36	35—27	26—18
<i>L</i>	D	90—82	81—74	73—66	56—58	57—50	49—43	42—34
	Lö	100—92	91—83	82—74	73—65	64—56	55—46	45—36
	Al	100—90	89—80	79—71	70—62	61—54	53—45	44—35
	V	91—83	82—74	73—65	64—56	55—47	46—39	38—30
	Vg	—	—	70—61	60—51	50—41	40—30	29—19
<i>LT</i>	D	87—79	78—70	69—62	61—54	53—46	45—38	37—28
	Al	91—83	82—74	73—65	64—57	56—49	48—40	39—29
	V	87—79	78—70	69—61	60—52	51—43	42—34	33—24
	Vg	—	—	67—58	57—48	47—38	37—28	27—17
<i>T</i>	D	—	71—64	63—56	54—58	47—40	39—30	29—18
	Al	—	74—66	65—58	57—50	49—41	40—31	30—18
	V	—	71—63	62—54	53—45	44—36	35—26	25—14
	Vg	—	—	59—51	50—42	41—33	32—24	23—14
<i>Mo</i>	—	—	54—46	45—37	36—29	28—22	21—16	15—10

**Grünlandschätzung**

Die Bewertung des Grünlandes erfolgte bei der Bodenschätzung in Anlehnung an die Ackerbewertung. Durch bestimmte Abänderungen wurde den etwas anders gearteten Verhältnissen auf dem Grünland Rechnung getragen. Zur Ermittlung der Grünlandgrundzahl, die der Bodenzahl entspricht, sind neben Bodenart und Bodenstufe (Zustandsstufe)

Tabelle 5/2

## Grünlandschätzungsrahmen der ehemaligen Bodenschätzung

Bodenart	Bodenstufe	Klimastufe	Wasserstufe				
			1	2	3	4	5
S	I (45—40)	a	60—51	50—43	42—35	34—28	27—20
		b	52—44	43—36	35—29	28—23	22—16
		c	45—38	37—30	29—24	23—19	18—13
	II (30—25)	a	50—43	42—36	35—29	28—23	22—16
		b	43—37	36—30	29—24	23—19	18—13
		c	37—32	31—26	25—21	20—16	15—10
	III (20—15)	a	41—34	33—28	27—23	22—18	17—12
		b	36—30	29—24	23—19	18—15	14—10
		c	31—26	25—21	20—16	15—12	11—7
LS	I (60—55)	a	73—64	63—54	53—45	44—37	36—28
		b	65—56	55—47	46—39	38—31	30—23
		c	57—49	48—41	40—34	33—27	26—19
	II (45—40)	a	62—54	53—45	44—37	36—30	29—22
		b	55—47	46—39	38—32	31—26	25—19
		c	48—41	40—34	33—28	27—23	22—16
	III (30—25)	a	52—45	44—37	36—30	29—24	23—17
		b	46—39	38—32	31—26	25—21	20—14
		c	40—34	33—28	27—23	22—18	17—11
L	I (75—70)	a	88—77	76—66	65—55	54—44	43—33
		b	80—70	69—59	58—49	48—40	39—30
		c	70—61	60—52	51—43	42—35	34—26
	II (60—55)	a	75—65	64—55	54—46	45—38	37—28
		b	68—59	58—50	49—41	40—33	32—24
		c	60—52	51—44	43—36	35—29	28—22
	III (45—40)	a	64—55	54—46	45—38	37—30	29—22
		b	58—50	49—42	41—34	33—27	26—18
		c	51—44	43—37	36—30	29—23	22—14
T	I (70—65)	a	88—77	76—66	65—55	54—44	43—33
		b	80—70	69—59	58—48	47—39	38—28
		c	70—61	60—52	51—43	42—34	33—23
	II (55—50)	a	74—64	63—54	53—45	44—36	35—26
		b	66—57	56—48	47—39	38—30	29—21
		c	57—49	48—41	40—33	32—25	24—17
	III (40—35)	a	61—52	51—43	42—35	34—28	27—20
		b	54—46	45—38	37—31	30—24	23—16
		c	46—39	38—32	31—25	24—19	18—12
Mo	I (45—40)	a	60—51	50—42	41—34	33—27	26—19
		b	57—49	48—40	39—32	31—25	24—17
		c	54—46	45—38	37—30	29—23	22—15
	II (30—25)	a	53—45	44—37	36—30	29—23	22—15
		b	50—43	42—35	34—28	27—21	20—14
		c	47—40	39—33	32—26	25—19	18—11
	III (20—15)	a	45—38	37—31	30—25	24—19	18—13
		b	41—35	34—28	27—22	21—16	15—10
		c	37—31	30—25	24—19	18—13	12—7

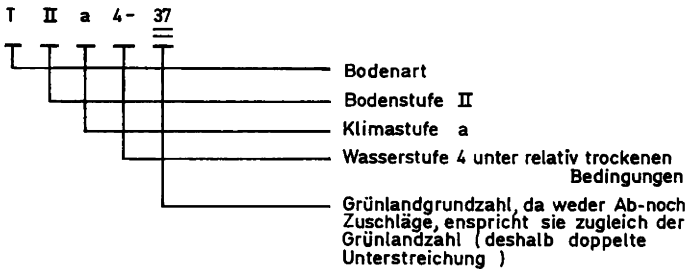
Die in Klammern gesetzten Zahlen in der Spalte „Bodenstufe“ geben die Wertzahlen vergleichbarer Ackerböden an.

außerdem noch die Klima- und Wasserstufe herangezogen worden. Die geologische Entstehung wurde nicht mehr berücksichtigt. Im einzelnen sind folgende Kennwerte zugrunde gelegt worden:

- **Bodenart:** geringere Differenzierung als beim Ackerland; nur S, IS, L, T und Mo berücksichtigt
- **Bodenstufe:** Zusammenfassung der Zustandsstufen 1 bis 3 = I, 4 bis 5 = II und 6 bis 7 = III
- **Klimastufe:** Ausdruck für die Temperaturverhältnisse; es bedeuten: a = > 8 °C, b = > 7 bis 8 °C, c = 5,7 bis 7 °C, d = < 5,7 °C
- **Wasserstufe:** Berücksichtigung der Wasserverhältnisse im Boden in 5 Stufen; Abweichungen zur trockenen Seite (nur bei den schlechten Wasserstufen) durch ein Minus, Abweichungen zur feuchten Seite durch ein Plus hinter der Ziffer gekennzeichnet

Auf der Grundlage dieser Bestimmungsgrößen wurde aus dem *Grünland-schätzungsrahmen* (s. Tab. 5/2) die Grünlandgrundzahl ermittelt. Unter Berücksichtigung örtlicher Besonderheiten (Vegetationsdauer, Luftfeuchtigkeit, Relief, Pflanzenbestand, Weidemöglichkeit) erfolgte dann durch Zu- und Abschläge die Festlegung der *Grünlandzahl*, die der Ackerzahl entspricht.

Das gesamte Schätzungsergebnis lautet zum Beispiel:



Die Mängel der Grünland-schätzung sind wie die der Ackerschätzung erheblich. Aus diesem Grunde erfolgte in verschiedenen Gebieten eine Nachschätzung in verbesserter Form, die unter dem Namen *Rostocker Grünland-schätzung* bzw. *Grünland-schnellbewertung* bekannt ist. Nach dieser Methode wurden die alten Kennwerte der Grünland-schätzung zwar belassen, ihre Charakterisierung und Ansprache aber wesentlich verbessert.

### Beziehungen zwischen Ergebnissen der Bodenschätzung und Erträgen

Ursprünglich waren die Ackerzahlen, wie bereits angedeutet, als Verhältniszahlen für Reinertragsunterschiede gedacht. Heute muß man sie eher als Schätzwerte für die Roherträge bestimmter (nicht aller!) Fruchtarten ansehen. Aus diesem Grunde wurden daher in den vergangenen Jahren immer wieder Versuche unternommen, für das Territorium der DDR bzw. für Teilgebiete die Roherträge verschiedener Fruchtarten zu den Ackerzahlen in Beziehung zu setzen. Wenn auch die Ergebnisse zum Teil voneinander abwichen – was nicht zuletzt auf die unterschiedlichen Zeiträume und auf das unterschiedliche methodische Herangehen zurückzuführen war –, so kann doch zusammenfassend geschlußfolgert werden, daß i. d. R. bei *Halm-* und *Hackfrüchten* die Erträge mit steigender Ackerzahl zunehmen, wobei sich allerdings die Zuwachsraten mehr oder weniger verringern. Es hat nicht an Bemühungen gefehlt, diesen Zusammenhang auch mathematisch zu erfassen, wobei es für die Beziehung Getreideertrag (y)/Bodenwertzahl (x) zur Formulierung folgender parabolischer Regressionsfunktion kam (Barsch, 1977):

$$y = -11,957 + 1,648x - 0,012x^2 \quad (13)$$

Tabelle 5/3

NStE-bezogene Getreideerträge als Mittel der Jahre 1954 bis 1967 auf der Basis 50 kg N/ha (nach Lieberoth, Dunkelgod, 1975)

<i>D-Standorte</i>						
NStE	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6
dt/ha	20,6	27,0	29,5	30,3	35,8	40,0
relativ	100	131	143	147	174	194
<i>Lö-Standorte</i>						
NStE	Lö 4/6	Lö 2	Lö 3	Lö 1		
dt/ha	40,5	43,5	46,4	47,8		
relativ	100	108	115	118		
<i>V-Standorte</i>						
NStE	V 3	V 2	V 4/5	V 6	V 8	V 7
dt/ha	29,7	31,8	32,8	39,0	40,0	41,0
relativ	100	107	110	131	135	138

Aus anderen Untersuchungen ist zu entnehmen, daß vor allem bei höherer Düngung im Bereich der Ackerzahlen < 60 die schweren Böden im allgemeinen niedrigere Erträge als die leichten bringen. Daraus geht hervor, daß sich das Ertragsniveau in den letzten Jahrzehnten allmählich zugunsten der leichteren verschoben hat. Diese Böden sind demnach den agrotechnischen Fortschritten besser zugänglich. Es sei hier nur auf die Wirkung der Beregnung verwiesen.

Bei den Feldfutterpflanzen sind die Beziehungen zwischen Ackerzahl und Ertrag ganz anders gestaltet. Hier spielt das Klima, genauer der Bodenfeuchtegehalt, eine dominierende Rolle. Deshalb bringen Böden in feuchten Lagen mit niedrigen Ackerzahlen die gleichen Erträge wie Böden mit hohen Ackerzahlen in trockenen Gebieten. Hier versagt also die Ackerzahl als Wertmaßstab völlig, und es wird deutlich, daß vor allem die Ertragsrelationen zwischen den einzelnen Fruchtarten durch Ackerzahlen nicht erfaßt werden können. Diese Relationen verschieben sich noch weiter, wenn man den Intensivierungsfaktor Beregnung berücksichtigt.

Reeller als die Ackerzahlen spiegeln die aus den Bodenschätzungsergebnissen abgeleiteten NStE die Ertragsverhältnisse wider, weil in diese zum einen der Gesamtkomplex der Schätzung und zum anderen die Heterogenität der Flächen eingehen. In Tabelle 5/3 sind die Ertragswerte von Getreide für verbreitete NStE zusammengestellt. Es handelt sich um eine Sekundärauswertung von im Feldversuchsarchiv Bad Lauchstädt archivierten Erträgen aller Getreidearten aus den Jahren 1954 bis 1967. Den Daten liegen insgesamt etwa 7 000 Einzelwerte zugrunde, deren Anzahl sich bei D:Lö:V wie 5:3:2 verhält. Alle Erträge wurden auf 50 kg/ha Stickstoff umgerechnet. Es sei darauf hingewiesen, daß diese Gaben und damit auch die Erträge dem damaligen und nicht mehr dem heutigen Stand des Intensivierungsniveaus in der Pflanzenproduktion entsprechen.

### 5.2.2. Die Standortkundliche Ergänzung der Bodenschätzung

In den letzten beiden Jahrzehnten sind zahlreiche Vorschläge für eine Verbesserung der Bodenschätzung gemacht worden. In vielen Bezirken der DDR wurden Ergänzungsarbeiten aufgenommen, wobei man zunächst recht unterschiedlich vorgeht, bis dann 1970 ein einheitliches Verfahren erarbeitet worden war, das unter dem Namen „Standortkundliche Ergänzung der Bodenschätzung“ bekannt ist. Dieses Verfahren wurde auf der Grundlage der „Ordnung für die Standortuntersuchung“ vom 8. Januar 1970 (Gesetzbl. der DDR II, 9/1970) durchgeführt. In einigen Bezirken wurde die Standortkundliche Ergänzung der

Bodenschätzung weit vorangetrieben (z. B. Frankfurt/Oder, Potsdam, Cottbus), in anderen hingegen nicht begonnen (z. B. Leipzig, Halle, Dresden). Das Verfahren der Standortkundlichen Ergänzung der Bodenschätzung wird auch als Stufe 1 der Standortuntersuchung in der Phase der Planung und Vorbereitung von Meliorationsmaßnahmen geführt.

Die wesentlichsten Ergebnisse des o. g. Ergänzungsverfahrens sind die Bodengliederungskarte und die Hangneigungskarte im Maßstab 1 : 10 000. Außerdem waren Bodenformenkarten vorgesehen, die heute jedoch meist unabhängig von diesem Verfahren als moderne großmaßstäbige Unterlagen angefertigt werden.

### Bodengliederungskarte

Bei der Erarbeitung der Bodengliederungskarte werden die Substratverhältnisse in anderer Form interpretiert und die Wasserverhältnisse neu erfaßt. Als Grundlage sind die Unter-

	durchgehend oder obere Schicht > 3 dm		Deckschicht    Unterlagerung		
			< 3 dm	3-6 dm	6-9 dm
Kies	gelbe Schraffur		K	<b>K</b>	K
Sand	gelb			<b>L</b>	L
anlehmiger Sand	orange			<b>L</b>	L
Lehmsand	zinnober			<b>L</b>	L
Sandlehm	karmin			<b>L</b>	L
Lehm	violett			<b>L</b>	L
Ton	blau		T	<b>T</b>	T
Kalkmudde Wiesenkalk	oliv			<b>M</b>	M

farbig    schwarz/weiß (Farbe Unterb.)

Mächtigkeit

Mineralböden

Abb. 5/4  
Farben und Symbole für die Darstellung der Substratverhältnisse auf der Bodengliederungskarte am Beispiel der D-, Mo- und Al-Standorte

	< 3 dm		3-6 dm		> 6 dm	
sandiges Anmoor	gelb					
lehmsandiges Anmoor	zinnober					
lehmisches Anmoor	grün					
lehmiges Anmoor	violett					

mineralische Unterlagerung nach entspr. Legende

Anmoorböden

Torfmächtigkeit	Deck- schicht	Unterlagerung	
< 3-4 dm	hellgrün		<b>L T M</b>
3-4 bis 8-9 dm	grün		<b>L T M</b>
> 8-9 dm	dunkelgrün		<b>L T M</b>

farbig    schwarz/weiß

kalkhaltig    Gesamtprofil ●  
Unterboden ●

Moorböden

lagen der Bodenschätzung heranzuziehen. Hinzu kommen Erhebungen im Gelände, die eine Überprüfung der ausgegrenzten Substrateinheiten und eine Neuerfassung der Wasserverhältnisse zum Inhalt haben.

Die Ermittlung der Substratverhältnisse konzentriert sich im wesentlichen auf eine Ableitung der Schichtenlagerung aus den Profilbeschrieben und Klassenzeichen der Bodenschätzung. Unter Beibehaltung der (bisweilen auch zusammengelegten) Klassenflächen werden die ermittelten Schichtentypen auf der Karte wiedergegeben (Farben und Signaturen s. Abb. 5/4). Der Schichtentyp selbst ist eine profilbezogene Einheit des Substrats und entspricht der Substratform als Untereinheit des Substrattyps (vgl. Abb. 4/2).

Die Wasserverhältnisse werden auf dem Acker- und Grünland neu erfaßt, wobei die Erscheinungsformen des Bodenwassers (s. Abschn. 6.5.2.) zugrunde gelegt werden:

- Grundwasser in 4 Stufen G1 bis G4 (Signatur –)
- Staunässe in 4 Stufen S1 bis S4 (Signatur ~)
- Hangdruckwasser in 2 Stufen H1 bis H2 (Signatur ↓)
- Sammelwasser Sa (Signatur ∇)
- Überflutungswasser Ü (Signatur ▼)

Erstmals wird bei den Wasserverhältnissen auch der Flächendeckungsgrad berücksichtigt, indem die Begrenzungslinien in folgender Form variiert werden:

————— 100% Flächendeckung      ·········· 33 bis 66% Flächendeckung  
 - - - - - 66 bis 100% Flächendeckung      ·········· < 10% Flächendeckung

Bei der Ermittlung der Steinigkeit werden Größe und Menge berücksichtigt. Da in bestimmten Gebieten eine Erfassung nicht notwendig ist (z. B. in Lößgebieten), in anderen Gebieten wiederum der Aufwand für die Erfassung recht groß sein kann, wurde die Steinigkeit bisher nur in wenigen Bezirken durchgehend kartiert (Neubrandenburg und Frankfurt/Oder).

Tabelle 5/4

Übersicht über die relativen Anteile der Hangneigungsgruppen im Bezirk Erfurt (nach Fischer, Winterstein, 1976)

Kreis	LN [Tha]	Hangneigungsgruppen [%]								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
Apolda	21,2	41	42	7	4	3	2	1	x	x
Arnstadt	30,4	42	37	8	5	4	2	1	x	x
Eisenach	35,8	28	30	11	8	10	7	4	1	x
Erfurt-Land	45,0	70	23	4	1	1	x	x	x	x
Erfurt-Stadt	5,9	54	31	7	4	3	1	x	—	—
Gotha	42,8	61	29	4	2	2	1	x	x	x
Heiligenstadt	23,0	18	34	12	8	10	10	5	2	x
Bad Langensalza	40,2	45	46	5	2	1	x	x	x	x
Mühlhausen	37,9	38	47	7	3	2	2	x	x	x
Nordhausen	44,1	39	34	9	5	6	4	2	x	x
Sömmerda	45,0	63	28	4	2	2	x	x	x	x
Sondershausen	40,7	39	48	6	3	2	1	x	x	x
Weimar	41,3	40	42	7	5	3	2	x	x	x
Worbis	35,7	25	39	12	8	8	5	2	x	x
Bezirk gesamt	489,0	44	37	7	4	4	3	1	x	x

x Flächenanteil unter 1%



## Hangneigungskarte

In einer gesonderten Karte wird das Relief über Hangneigungsflächen dargestellt, die auf der Grundlage der Höhengschichtlinien in Maßstab 1 : 10 000 ausgegrenzt wurden (Methode nach Kasch-Fliegel). Der Umfang der ausgegrenzten Flächen gleicher Hangneigung wird außerdem in Listen angegeben. Auch hier wird der Flächendeckungsgrad in die Ergebnisse einbezogen. Grundlage sind die in Tabelle 3/33 angeführten Hangneigungsgruppen. Eine Übersicht über die im Bezirk Erfurt auftretenden Anteile an Hangneigungsgruppen 1 bis 8 wird in Tabelle 5/4 gegeben. In Abbildung 5/5 ist ein Ausschnitt aus einer Hangneigungs-

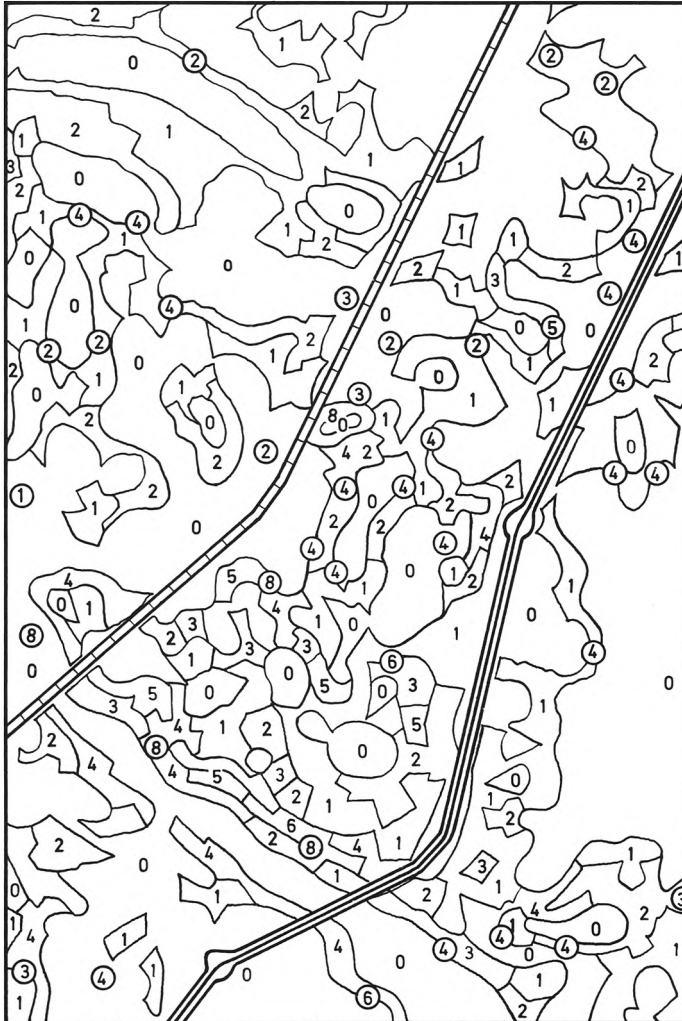


Abb. 5/5  
Ausschnitt aus einer  
Hangneigungskarte

Hangneigungsgruppe	%	Neigung	Grad
0	< 4		< 2
1	> 4 ... 9		> 2 ... 5
2	> 9 ... 11		> 5 ... 6
3	> 11 ... 14		> 6 ... 8
4	> 14 ... 18		> 8 ... 10
5	> 18 ... 23		> 10 ... 13
6	> 23 ... 29		> 13 ... 16
7	> 29 ... 37		> 16 ... 20
8	> 37		> 20

⑥ Versteilungen innerhalb einer Hangneigungsgruppe

karte dargestellt. Die Hangneigungskarten konnten inzwischen fast flächendeckend für das Territorium der DDR angefertigt werden. Sie bilden u. a. auch eine wesentliche Grundlage für die Ermittlung der Hangneigungsflächentypen im Rahmen der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung.

### **5.3. Moderne großmaßstäbige Bodenkartierungen**

#### **5.3.1. Grundsätzliches zur Erstellung von Bodenkarten**

Unter Bodenkartierung (Standortkartierung) versteht man die Erfassung der flächenmäßigen Verbreitung der Böden (nachfolgende Ausführungen gelten sinngemäß auch für Standorte) sowie deren Darstellung auf Karten. Bodenkarten sind verkleinerte und verallgemeinerte Abbildungen der Erdoberfläche in der Ebene, welche die Verteilung und den Charakter der verschiedenen Böden einschließlich ihrer räumlichen Verknüpfung zum Ausdruck bringen. Mit Hilfe von Bodenkarten hat man somit eine gute Möglichkeit, die Lage der Böden im Raum zu fixieren und ihre Verbreitung detailliert, anschaulich sowie für ein größeres Gebiet übersichtlich darzustellen. Die Bodenkarten können als Orientierungsmittel, Demonstrationsmittel, Dokumentationsmittel und Arbeitsmittel verwendet werden. Nach der äußeren Form unterscheidet man zwischen:

- *Inselkarten*: Darstellung umfaßt nur einen beschränkten arrondierten Kartenteil mit unregelmäßiger Begrenzung und freibleibender Umgebung
- *Rahmenkarten*: Darstellung umfaßt den vollen Rahmen des gewählten Blattschnittes, der i. d. R. in ein Koordinatennetz eingepaßt ist

Jede Karte hat einen bestimmten Maßstab, der aus Zweckmäßigkeitsgründen auf Zentimeter bezogen wird (z. B. 1 : 10 000 bedeutet 1 cm auf der Karte = 10 000 cm bzw. 100 m in der Natur). Nach der Größe des gewählten Verhältnisses unterscheidet man großmaßstäbige (z. B. 1 : 10 000), mittelmaßstäbige (z. B. 1 : 100 000) und kleinmaßstäbige (z. B. 1 : 750 000) Karten.

Für die Landwirtschaft der DDR haben als Grundlagenkarten für die Darstellung thematischer Inhalte folgende eine größere Bedeutung:

- *Flurkarten*: vom Liegenschaftsdienst hergestellte Karten mit den Flurstücksgrenzen als Hauptinhalt
- *Topographische Karten*: Lagegenaue Darstellung des Reliefs, geodätischer Punkte, der Ortschaften, der hydrographischen Objekte, der Nutzungsarten, des Verkehrsnetzes und der administrativen Grenzen

Auf dieser Orientierungsgrundlage sind Boden- und Standortkarten unterschiedlichsten Inhalts erarbeitet worden. Nach der Art der Darstellung des Inhalts kann man folgende thematische Bodenkarten unterscheiden:

- *Merkmalskarten* (analytische Karten): Darstellung nur einzelner Merkmale ohne Berücksichtigung deren korrelativer Verknüpfung; z. B. Bodenschätzungskarten
- *Synthetische Karten* (komplexe Karten): Darstellung von Erscheinungen als einheitliches Ganzes durch Zusammenfassung von Merkmalen unter Berücksichtigung ihrer korrelativen Verknüpfung (Typenbildung); z. B. Bodenformenkarten

Zwischen diesen beiden thematischen Kartenarten gibt es alle Übergänge.

Kartierungseinheiten, d. h. unter Kartierungsgesichtspunkten gebildete arealbezogene Einheiten, sind bei modernen großmaßstäbigen Bodenkartierungen in der DDR i. d. R. Bodenformen, Substrattypen, Bodentypen, Wasserstufen u. a. Die angewandten Verfahren werden jeweils auf einen bestimmten Zweck ausgerichtet. Mit großmaßstäbigen Kartierungen strebt man zunächst keine flächendeckenden Unterlagen für ein größeres Gebiet

an, da ihre Erarbeitung mit einem hohen Aufwand verbunden ist. Sie bleiben auf Objekte beschränkt, die Gegenstand einer speziellen Projektierung sind. Daher werden im Rahmen solcher Kartierungen i. d. R. *Inselkarten* erstellt.

### 5.3.2. Kartierung von Bodenformen

Umfassende (komplexe) großmaßstäbige Kartierungen werden in der DDR auf der Basis von Bodenformen durchgeführt. Die Bodenformen können auf dem Niveau der Haupt- oder Lokalbodenform erfaßt werden (s. Abschn. 4.4.1.). In jedem Falle handelt es sich um die Kartierung weitgehend homogener (topischer) Areale, was eine sehr detaillierte Aufnahme erfordert. Außer den Bodenformen werden bei einer solchen Kartierung auch die aktuellen Wasserverhältnisse über Erscheinungsformen und Stufen des Bodenwassers sowie gegebenenfalls die Steinigkeit und Hangneigung ermittelt.

#### Verfahren

Bodenformenkartierungen liegen von ausgewählten landwirtschaftlichen Betrieben und allen wichtigen Versuchsflächen der DDR vor. Sie werden im Maßstab 1 : 10 000 vorgenommen. Als Kartengrundlage wird eine topographische Karte verwendet. Außerdem können zur Orientierung alle verfügbaren geologischen Unterlagen und sonstigen Bodenkarten (z. B. Bodenschätzungskarten, mittelmaßstäbige Standortkarten) mit herangezogen werden. Die Aufnahme erfolgt auf der Basis der TGL 24 300 (Standortaufnahme). Die technische Durchführung kann durch Einsatz von Löffelbaggern (s. Abb. 5/6) für das Ausheben der Schürfe erleichtert werden. Eine durchgehende Rationalisierung, insbesondere der Bohrarbeiten, steht allerdings noch aus. Über *Luftbilder* läßt sich die Abgrenzung der Kartierungseinheiten weiter verbessern. Je nach den Standortmerkmalen, die bevorzugt erfaßt werden sollen, kann man hierfür verschiedene Film-Filterkombinationen verwenden. Sowohl der panchromatische als auch der spektrozonale Film haben spezifische Vorteile.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt betriebs- bzw. projektweise auf Bodenformenkarten, denen ein Erläuterungstext beigegeben wird. Am günstigsten ist es, die Hauptbodenformen farbig anzulegen und die Lokalbodenformen zusätzlich durch Symbole zu kennzeichnen. Wenn man auf Farben ganz verzichtet, haben sich Schraffuren als zweckmäßig erwiesen (s. Abb. 5/7). Wasserstufen, Steingehalt u. ä. werden durch zusätzliche Symbole/Schraffuren wiedergegeben, gegebenenfalls auch über gesonderte Konturen ausgewiesen.

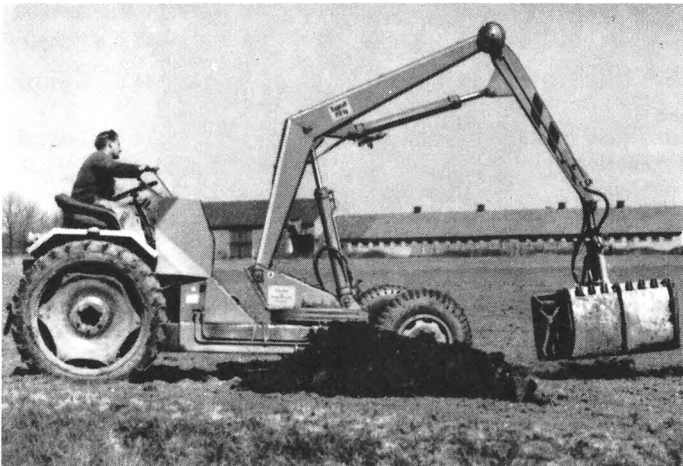
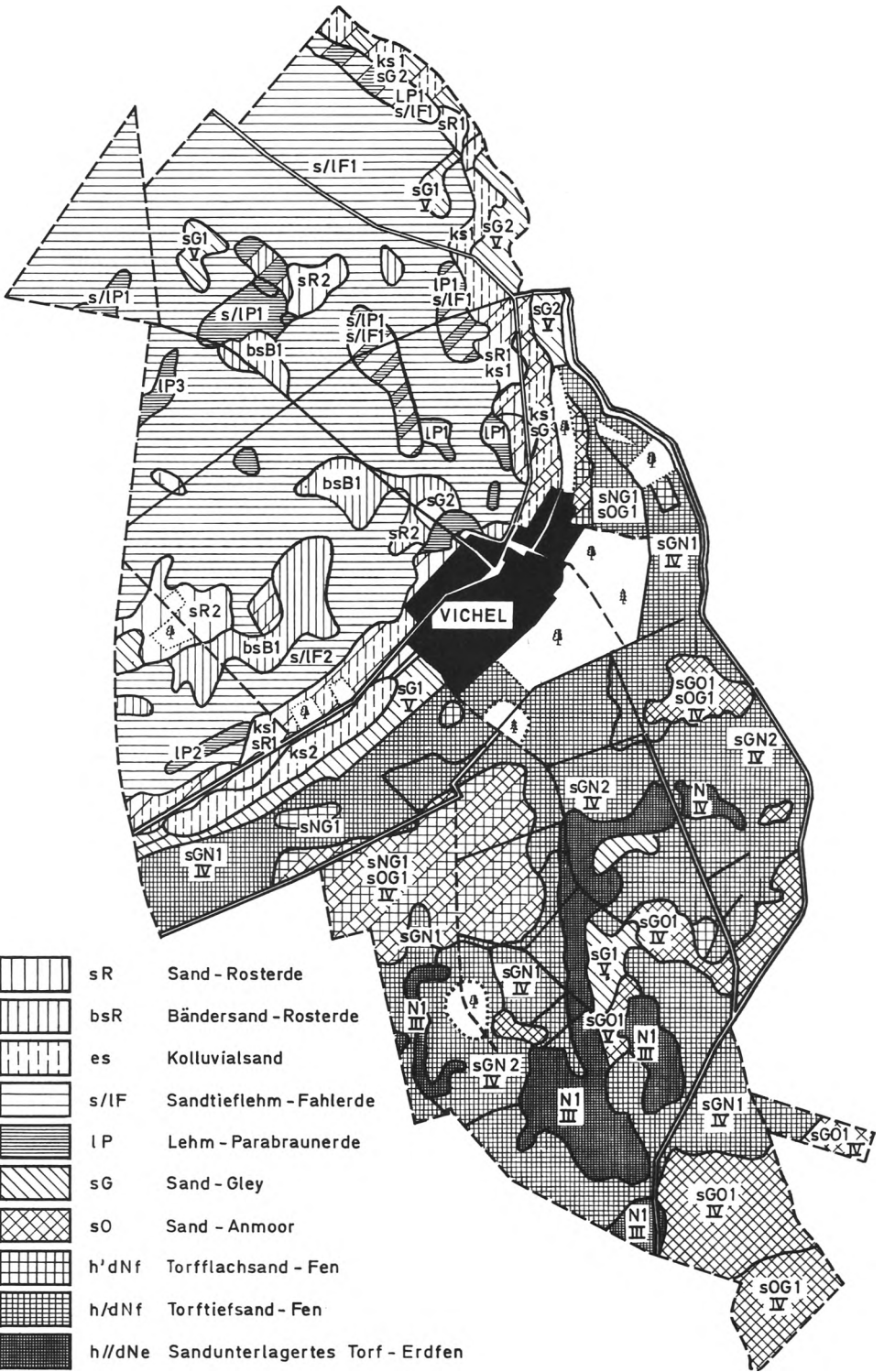


Abb. 5/6  
Ausheben eines Bodenschurfs mit einem Löffelbagger



Bei der in Abbildung 5/7 dargestellten Bodenformenkarte handelt es sich um einen Ausschnitt aus dem Übergangsbereich Ruppiner Platte/Oberes Rhinluch. Die unterschiedlichen geologischen Verhältnisse spiegeln sich deutlich in der Bodendecke wider. Auf der Ruppiner Platte dominieren Tieflehm-Fahlerden ( $\frac{2}{3}$  der Fläche), Begleitbodenformen sind vor allem Bändersand-Rosterden, Lehm-Parabraunerden und Kolluvialsande. Grund- und Staunässe fehlen fast völlig. Im Luch überwiegen die Torftiefsande (ca.  $\frac{1}{2}$  der Fläche), in die Torfflachsande, Sand-Gleye und sandunterlagerte Torfe eingestreut sind. Alle Böden weisen hier also Grundwasser auf.

### **Auswertung**

Bodenformenkarten sind keine Merkmalskarten wie bei der Bodenschätzung, sondern Karten mit komplexen Einheiten, deren Komponenten einzeln oder zusammengefaßt ausgewertet werden können. Ein solches Vorgehen läßt sich dadurch rechtfertigen, daß in der Natur nicht irgendwelche, sondern immer nur bestimmte Merkmale gemeinsam auftreten, d. h. korreliert sind. Derartige Kartierungseinheiten gestatten eine vielseitige Auswertung, die eine Beurteilung der Nutzungs- und Behandlungsmöglichkeiten einschließlich Melioration ebenso zuläßt wie Aussagen zur Belastbarkeit, zur Flurneugestaltung und zur Territorialplanung. Von den möglichen Auswertungsformen sind nachfolgend zwei Beispiele angeführt.

So können Bodenformen zu sogenannten Nutzungs- und Behandlungsgruppen zusammengefaßt werden. Solche Gruppen zeigen eine gewisse Ähnlichkeit zu den Bodenformengruppen (s. Abschn. 4.4.1.). Nutzungs- und Behandlungsgruppen weisen in bezug auf Melioration und Nutzung annähernd gleiches Verhalten auf, d. h., sie umfassen Böden mit etwa gleicher ökologischer Wertigkeit. Es muß darauf hingewiesen werden, daß mit den Nutzungs- und Behandlungsgruppen nicht benachbarte Areale, sondern gleichartig zu behandelnde und gleichartig ökologisch zu bewertende Hauptbodenformen zusammengefaßt werden.

Nutzungs- und Behandlungsgruppen wurden zum Beispiel ausschnittsweise für die Auenböden der DDR gebildet. In Tabelle 5/5 sind die in Auen verbreiteten Gruppen zusammengestellt mit Hinweisen zur Anbaubeschränkung, auf Bearbeitungserschwerisse und zur Meliorationsbedürftigkeit. Ähnliche Arbeiten liegen auch für andere Bodengruppen bzw. Gebiete vor, wie zum Beispiel für das zentrale Thüringer Becken.

Eine weitere Grundlage zur Auswertung von Bodenformenkarten wurde durch die Anfertigung eines Kataloges der leistungsbegrenzenden Faktoren geschaffen. Dabei handelt es sich um eine detaillierte Kennzeichnung bestimmter Fruchtbarkeitseigenschaften verbreiteter Bodenformen, der die Vorstellung zugrunde liegt, daß alle Bodeneigenschaften direkt oder indirekt ökologisch wirksam sind. Die positiv wirksamen Eigenschaften werden als fruchtbarkeitsbegünstigend, die negativ wirksamen als *fruchtbarkeitsbegrenzend* bzw. leistungsbegrenzend bezeichnet. Auf der Basis dieses Prinzips wurden folgende 5 Bewertungsstufen gebildet:

- Stufe 1:** Merkmal sehr günstig bzw. sehr hohes Angebot an dem betreffenden Nährelement
- Stufe 2:** Merkmal günstig bzw. hohes Angebot an dem betreffenden Nährelement
- Stufe 3:** Merkmal noch günstig bzw. weder zu hohes noch zu geringes Angebot an dem betreffenden Nährelement
- Stufe 4:** Merkmal ungünstig bzw. geringes Angebot an dem betreffenden Nährelement
- Stufe 5:** Merkmal sehr ungünstig bzw. sehr geringes Angebot an dem betreffenden Nährelement

---

#### **Abb. 5/7**

Bodenformenkarte von Vichel, Kreis Neuruppin, im Maßstab 1: 10 000 (aufgenommen von Asmus, Dunkelgod, 1965); in der Karte sind die ehemaligen Kartierungssymbole einschließlich Grundwasserstufen (III: 2–6 dm, IV: 6–10 dm u. Fl.), in der Legende die heute gültigen Bodenformensymbole angegeben

Nutzungs- und Behandlungsgruppen der Auenböden einschl. meliorationskundlicher Interpretation (in Anlehnung an *Pretzschel, Cronewitz, Lieberoth, 1970*)

Nutzungs- und Behandlungsgruppe	Bestimmende Hauptbodenformen <sup>1</sup>	Flächen- umfang <sup>2</sup> [Tha]	Anbau- beschränkung	Bearbei- tungs- erschw- nisse	Meliorationsbedürftigkeit <sup>3</sup>		
					Ent- wässe- rung	An-/ Ein- stau	Kombin. Unterbo- meliorat.
1	Schluff-Vega Lehm-Vega	30	keine	mäßig			×
2	Decksalm-Vega Salm-Vegagley Sand-Schwarzgley	15	für an- spruchsvolle Kulturen	keine	×	○	○
3	Decklehm-Vegagley	5	keine	mäßig	×	×	×
4	Schluff-Vegagley Lehm-Vegagley Lehm-Schwarzgley Lehmkerf-Schwarzgley	30	keine	mäßig	×	×	×
5	Ton-Vega Ton-Vegagley	30	für Hack- fruchte	hoch	○		○
6	Sand-Braungley	15	} für an- spruchsvolle Kulturen	keine je nach Grundw.- stand	○	×	×
7	Sand-Gley Decksalm-Gley	10					
8	Decklehm-Amphigley Decklehm-Gley	10	} für Hack- fruchte nur bei hohem Grund- wasserstand	mäßig	○	×	○
9	Lehm-Amphigley Salm-Gley Lehm-Gley Schluff-Gley	45					

Tabelle 5/5 Fortsetzung

Nutzungs- und Behandlungsgruppen der Auenböden einschl. meliorationskundlicher Interpretation (in Anlehnung an *Pretzschel, Cronewitz, Lieberoth, 1970*)

Nutzungs- und Behandlungsgruppe	Bestimmende Hauptbodenformen <sup>1</sup>	Flächenumfang <sup>2</sup> [Tha]	Anbau- beschränkung	Bearbei- tungs- erschw- nisse	Meliorationsbedürftigkeit <sup>3</sup>		
					Ent- wässe- rung	An-/ Ein- stau	Kombin. Unterbo- meliorat.
10	Deckton-Amphigley Deckton-Gley	35	} für Hack- früchte	} hoch, besonders bei hohem Grund- wasserstand	○	○	×
11	Ton-Amphigley Ton-Gley	55			○	○	×
12	Ton-Humusgley Deckton-Humusgley	15			○	○	×

<sup>1</sup> bei allen Substrattypen außer Sand entfällt die Silbe „Auen“, z. B. Schluff-Vega statt Auenschluff-Vega

<sup>2</sup> Schätzwerte

<sup>3</sup> × = Maßnahmen unter allen Standortbedingungen erforderlich bzw. möglich

○ = Maßnahmen nicht unter allen Standortbedingungen (oder nur im Bedarfsfall) erforderlich bzw. möglich

Tabelle 5/6  
Semiquantitative Bewertung von Bodeneigenschaften am Beispiel von vier Hauptbodenformen (aus dem Katalog der leistungsbegrenzenden Faktoren der Bodenformen)

Bodenform	Tiefen- stufe	Kör- nungs- art	Humus- gehalt	$\rho$ H- Wert	C/N- Ver- hältnis	Gesamtgehalt		Festig- keit	Poren- volumen	Nutzwa.- kapazität	Durch- lässigkeit
						P	K Mg				
Lehmunter- lagerte Sand- Rosterde	I	5	4	3	3	4	4	2	3	5	4
	II	5	4	4	4	5	4	2	3	5	5
	III	5	5	4	4	5	4	1	3	4	5
Salmtieflehm- Braunstaugley	I	3	4	2	2	3	3	2	4	4	3
	II	3	5	3	1	3	4	2	5	4	3
	III	3	5	4	2	3	4	3	5	3	1
Löß-Staugley	I	2	3	3	2	3	3	2	2	3	2
	II	2	5	4	3	4	2	2	3	3	2
	III	1	5	4	3	4	2	3	4	3	2
Ton-Vegagley	I	4	4	1	3	3	3	3	4	3	3
	II	4	4	1	2	4	3	4	4	3	3
	III	4	4	1	2	4	3	4	4	4	4

I: 0 bis 2,7 dm    II: 2,8 bis 4 dm    III: 4,1 bis 8,0 dm



Tabelle 5/7

## Begrenzende Bodeneigenschaften bestimmender Hauptbodenformen

Bodenformengruppen		Begrenzende Bodeneigenschaften <sup>1)</sup>							
Bestimmende Hauptbodenform	Symbol	N	W	L	D	V <sup>2)</sup>	B	U	S
Grand-Braunerde	kdB	(x)			x				
Sand-Rosterde	sR	x	x		x				
Sand-Gley	sG	(x)	(x)		x	x			
Sand-Anmoor	sO				(x)	x	x		
Bändersand-Rosterde	bsR	x	(x)		x				
Bergsand-Rosterde	vsR	x	(x)		x				
Salm-Braunerde	mB	(x)							
Bergsalm-Braunerde	vmB	(x)							
Salm-Braungley	mL	(x)							
Auensalm-Vegagley	omK								
Bergsalm-Staugley	vmS		(x)	(x)		x	(x)		
Sandtieflehm-Fahlerde	s/IF	x	(x)		(x)				
Sandtieflehm-Braunstaugley	s/IU	x	(x)						
Salmtieflehm-Fahlerde	m/IF	(x)							
Salmtieflehm-Staugley	m/IS			(x)		x	(x)		
Auendecklehm-Vegagley	ol/dK				(x)		(x)	x	x
Auendecklehm-Amphigley	ol/dX			(x)	(x)	x	x	x	x
Decksandlöß-Griserde	sö/dI				(x)				
Sandlöß-Schwarzerde	söT								
Sandlöß-Parabraunerde	söP								
Sandlöß-Braunstaugley über Lehm	sö/IU								
Sandlöß-Griserde	söI								
Löß-Schwarzerde	öt							(x)	
Löß-Parabraunerde	öp							(x)	
Löß-Griserde	öI							(x)	
Löß-Braunstaugley	öU							x	
Löß-Staugley	ös		(x)	(x)		x	x	x	
Lößtieflehm-Braunstaugley	ö/IU							(x)	
Berglöß-Braunerde über Berglehm	vö/vlB							(x)	
Sandlehm-Rendzina	pC		(x)					(x)	(x)
Sandlehm-Schwarzerde	pT							(x)	(x)
Sandlehm-Staugley	pS		(x)	(x)		x	(x)	(x)	(x)
Bergsandlehm-Braunerde	vpB							(x)	(x)
Bergsandlehm-Staugley	vpS		(x)	(x)		x	(x)	(x)	(x)
Lehm-Parabraunerde	lP						(x)	x	x
Lehm-Humusstaugley	lH			x		x	x	x	x
Auenlehm-Vegagley	olK						(x)	x	x
Berglehm-Braunerde	vlB						(x)	x	x
Berglehm-Staugley	vlS		(x)	(x)		x	x	x	x
Lößkerf-Braunstaugley	öt/tU			(x)				x	(x)
Deckkaution-Halbamphigley	ot/dY		(x)	(x)			x	x	x
Deckkaution-Amphigley	ot/dX		x	x		x	x	x	x
Auenton-Amphigley	otX		x	(x)		x	x	x	x
Bergton-Ranker	vtA		x	x			x	x	x
Bergton-Schwarzerde	vtT			(x)			(x)	x	x
Bergton-Staugley	vtS		x	x		x	x	x	x
Felssand-Rendzina	fsC	x	x		(x)				
Felslehm-Braunerde	flB	(x)	x				(x)	x	x
Ton-Humusstaugley	tH		x	x		x	x	x	x
Torftiefmudd-Fen	h/yNf		(x)	x		x	x	x	x
Torflachsand-Erdten	h'dNe	x			x	x	x	x	x

Tabelle 5/7 Fortsetzung

Bodenformengruppen		Begrenzende Bodeneigenschaften <sup>1)</sup>							
Bestimmende Hauptbodenform	Symbol	N	W	L	D	V <sup>2)</sup>	B	U	S
Torf-Ried	hNi		(×)			×	×	×	×
Torf-Erdfen	hNe					×	×	×	×
Torf-Mulrn	hNu			(×)			(×)	×	×

1) Erläuterung der begrenzenden Bodeneigenschaften s. Text

× = Begrenzung deutlich vorhanden

(×) = Begrenzung weniger deutlich (bedingt, zeitweilig) vorhanden

2) bei Wasserstufe G 1 und S 1 (s. Abschn. 6.5.2.): (×)

Entscheidend für die Beurteilung der Bodenformen sind die limitierenden Stufen 4 und 5, da durch sie Höchstträge eingeschränkt werden. Entsprechend dieser allgemeinen Bewertungsskala wurden die 5 Stufen für jede einzelne Bodeneigenschaft ermittelt, d. h. durch Grenzwerte festgelegt. Es muß hinzugefügt werden, daß es sich dabei um eine Beurteilung von Einzelfaktoren unter weitgehender Vernachlässigung der zwischen ihnen bestehenden Wechselwirkungen handelt. Auf der Grundlage der ermittelten Grenzwerte konnten von allen wichtigen Hauptbodenformen für alle einbezogenen Bodeneigenschaften nach den Tiefenstufen I (0 bis 2,7 dm, Krume) II (2,8 bis 4,0 dm) und III (4,1 bis 8,0 dm) die Bewertung vorgenommen und auf einem Beurteilungsblatt festgehalten werden. In Tabelle 5/6 sind auszugsweise derart bewertete Eigenschaften von vier Bodenformen, bei denen eine mehr oder weniger deutliche Leistungsbegrenzung erkennbar ist, wiedergegeben. Neben den im Bereich der Ackerkrume mit Stufe 4 und 5 bewerteten Eigenschaften sind auch diejenigen Ziffernpaare hervorgehoben, bei denen von Tiefenstufe I zu II die Bewertungsstufe 3 überschritten wird, da hier mit Schockreaktionen der Pflanzen zu rechnen ist. Die Zusammenfassung dieser Beurteilungsblätter in dem o. g. Katalog der leistungsbegrenzenden Faktoren erlaubte eine erste semiquantitative ökologische Bewertung der Bodenformen. Die leistungsbegrenzenden Faktoren können in diesem Sinne als Vorläufer der Bodenfruchtbarkeitskennziffern (s. Abschn. 5.7.) aufgefaßt werden.

Wenn man die im Kopf von Tabelle 5/6 genannten Primärparameter in ihrer Auswirkung auf die Begrenzung der Bodenfruchtbarkeit interpretiert, kommt man zu folgenden Sekundärparametern:

N: Geringe Nährstoffhaltung, bodenbürtig relativ geringer Nährstoffgehalt

W: Geringe Durchwurzelbarkeit unterhalb der Krume

L: Geringe Wasserbeweglichkeit (Neigung zu geringer Durchlüftung)

D: Hohe Wasserdurchlässigkeit (geringe NWK)

V: Periodische Vernässung

B: Geringe zeitliche Bearbeitungsspanne (Stundenboden)

U: Nach Niederschlägen Neigung zu Bodenschlupf (Behinderung der Befahrbarkeit) und Verdichtung durch Bodendruck

S: Geringe Siebfähigkeit – ohne Berücksichtigung der Steinigkeit – (Neigung zur Klutenbildung)

In Tabelle 5/7 sind von den bestimmenden Hauptbodenformen der verbreitetsten Bodenformengruppen (s. Abschn. 4.4.1.) diese begrenzenden Eigenschaften angegeben. Im wesentlichen handelt es sich dabei um eine zusammenfassende Beurteilung der Bodenformen nach den leistungsbegrenzenden Bodeneigenschaften gemäß Stufe 4 und 5 des oben angeführten Bewertungsschemas.

### 5.3.3. Meliorationsstandortuntersuchung

Für die Vorbereitung von Meliorationen sind Standortuntersuchungen zur Ermittlung der Meliorationsbedürftigkeit der Standorte und der daraus ableitbaren Meliorationserfordernisse notwendig. Die *Meliorationsbedürftigkeit* resultiert aus der Gegenüberstellung von gesellschaftlicher Anforderung an die Produktionsfähigkeit und industriemäßige Bewirtschaftungsmöglichkeit der Standorte auf der einen sowie den tatsächlichen Standortgegebenheiten auf der anderen Seite. Vom ökonomischen Standpunkt aus muß entschieden werden, ob die Pflanzenproduktion den Standortgegebenheiten oder ob der Standort den Erfordernissen der Intensivierung angepaßt, d. h. melioriert werden soll. Die Meliorationsbedürftigkeit widerspiegelt somit einen Defekt, dessen Behebung unter standörtlichen und ökonomischen Gesichtspunkten entschieden werden muß. Es läßt sich schon heute sagen, daß mit zunehmender Intensität der industriemäßigen Pflanzen- und Tierproduktion die Meliorationsbedürftigkeit der Standorte gesetzmäßig steigen wird. In Zukunft werden immer mehr Standorte in die Melioration einbezogen werden. Dabei kommen auch solche Böden in Frage, über die bisher kaum diskutiert wurde. So gibt es zum Beispiel am Rande des Thüringer Beckens Standorte, die nur in größeren Abständen, d. h. nicht jedes Jahr, vernäßt sind. Auch diese Böden müssen zur Gewährleistung einer größeren Ertragssicherheit künftig melioriert werden.

Aus der Meliorationsbedürftigkeit und den auf den Standort bezogenen technologischen Möglichkeiten resultiert die *Standorteignung für Meliorationen*, wie sie z. B. im Rahmen der Auswertung der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) für Kreise und Bezirke ausgewiesen wird.

Schließlich müssen bei allen Meliorationsmaßnahmen in stärkerem Maße als bisher auch Umweltschutz, Abproduktverwertung und Flurneugestaltung berücksichtigt werden. Als gutes Beispiel für eine gründlich aufgebaute Folge von der komplexen Vorbereitung bis zur weiträumigen Durchführung von Meliorationsmaßnahmen einschließlich Flurneugestaltung können Projekte des WZM Falkenberg im Bezirk Magdeburg (z. B. im Gebiet von Arneburg) angeführt werden.

Die Meliorationsstandortuntersuchung umfaßt die Standorterkundung (Aufnahme) und die Standortbeurteilung (Diagnose). Die Standortbeurteilung muß Aussagen zur

- Meliorationsbedürftigkeit
- Meliorationseignung mit Auswahl des Verfahrens und
- Bemessung der Anlagen mit bautechnischer Absicherung

enthalten. Im Resultat von Standorterkundung und Standortbeurteilung kommt es zur Ausgrenzung von *Meliorationsstandorten*, unter denen man die zur meliorativen Veränderung vorgesehenen Teile einer Landschaft versteht. Alle durchzuführenden Standortuntersuchungen basieren auf der „Ordnung für die Standortuntersuchung zur Schaffung von standortkundlichen Unterlagen für Meliorationen und andere Maßnahmen zur Hebung der Bodenfruchtbarkeit“ vom 8. Januar 1970 (Gesetzbl. der DDR II, 9/1970) sowie auf den TGL 24 300 (Standortaufnahme), 31 222 (Physikalische Bodenuntersuchungen), 25 418 (Chemische Bodenuntersuchungen), 29 834 (Berechnung der Moorsackung) u. a.

#### Stufen der Standortuntersuchung

Im Rahmen der Standortuntersuchung werden folgende 3 Stufen unterschieden (s. auch *Menning, Reuter, 1978*):

##### a) Stufe 1

Ziel: Schaffung einer Entscheidungsgrundlage für die Planung großflächiger Meliorationen durch grundfondswirtschaftliche Untersuchungen (GU) mit Investitionsvorentscheid (IVE) bzw. Erarbeitung einer Studie zur Bestimmung des volkswirtschaftlich effektivsten Meliorationsverfahrens einschließlich Konzeption für die technische Lösung;

Lösungsweg: auf der Grundlage vorhandener oder anzufertigender Standortkarten (z. B.

im Rahmen der Standortkundlichen Ergänzung der Bodenschätzung oder der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung) Bestimmung der meliorationsbedürftigen Flächen einschließlich verfahrensbezogener Eignung, ihre Ausgrenzung auf Karten im Maßstab 1 : 10 000 bis 1 : 5 000 mit Unterbreitung eines Vorschlages für das optimale Verfahren zur Bemessung der Meliorationsanlagen; umfassende Standortuntersuchung schon im Rahmen dieser Studie notwendig, sonst von vornherein keine Qualität der Meliorationsmaßnahme zu erwarten

#### b) Stufe 2

Ziel: Schaffung der standortkundlichen Unterlagen für die Projektierungsphase mit Grundsatzzentscheidung (GE) zur Projektherstellung einschließlich Vorlage der Ausführungsunterlagen (AU), d. h. Erarbeitung der volkswirtschaftlich effektivsten technologischen Lösungsvariante im Rahmen des Investitionsvorentscheids mit Bilanzierung;

Lösungsweg: exakte Ausgrenzung der meliorationsbedürftigen Flächen auf Karten 1 : 5 000 bis 1 : 2 000, genaue Bestimmung der Standortparameter für die Bemessung der Meliorationsanlagen und Absicherung der technologischen Vorbereitung des Verfahrens einschließlich Einholung von Spezialgutachten

#### c) Stufe 3

Ziel: Untersuchungen zur bautechnischen Absicherung des Projektes;

Lösungsweg: Durchführung ergänzender hydrologischer und Baugrunduntersuchungen

Im Rahmen der Stufe 1 und 2 spielt für Hydromeliorationen die hydrologische Standortkartierung verständlicherweise eine dominierende Rolle. Künftig wird diese auf der Basis eines Arbeitsblattes zur TGL 24300 entspr. diesen beiden Stufen (Planung, Projektierung) in 2 Etappen durchgeführt, wobei das Ergebnis in Form blauer Grenzlinien und Symbole in die vorliegenden Standortkarten einzutragen ist.

Die Stufen 2 und 3 der Standortuntersuchung werden in Abhängigkeit vom Verfahren und den hierfür geforderten Bemessungsgrundlagen nur auf der unmittelbar zu meliorierenden Fläche, der sogenannten *Vorteilsfläche*, durchgeführt. Sie umfassen sowohl die Felddaufnahme als auch Laboruntersuchungen. Durch Einbeziehung der Luftbildinterpretation können eine Verringerung des Aufwandes an lebendiger Arbeit und an Zeit (nicht zuletzt auch durch Mehrfachnutzung) sowie objektivere Ergebnisse erzielt werden. Das Resultat der Standortuntersuchung wird in einem Standortgutachten zusammengefaßt, das als standortkundliche Information dem Projektanten übergeben wird. Es enthält i. d. R. allgemeine Angaben zum Standort, die Karte mit den Meliorationseinheiten, eine tabellarische Übersicht über die ausgeschiedenen Einheiten einschließlich Erläuterungen und gegebenenfalls Anlagen.

### **Standortkennwerte und Meliorationsbedürftigkeit**

Die Meliorationsbedürftigkeit resultiert immer aus einer größeren Anzahl bestimmter Kennwerte, die im Rahmen der Standortuntersuchung zu ermitteln sind. Für die Einschätzung der Parameter sind verschiedene Beurteilungen durchzuführen, die nachfolgend für einige Meliorationsmaßnahmen zusammengestellt sind (*Mennig, Reuter, 1978*):

#### a) Entwässerung

Einschätzung der Entwässerungsbedürftigkeit, des einsetzbaren Meliorationsverfahrens und der Bemessungsgrößen nach Tabelle 5/8; Beurteilung der Entwässerbarkeit vornehmlich nach dem dränbaren Porenvolumen ( $> 5\%$  = voll, 5 bis 2% = eingeschränkt,  $< 2\%$  nicht entwässerbar); Grundwasserregulierung (bei einem Stand oberhalb 2 dm u. Fl.) nur auf Flächen mit  $< 5\%$  Neigung und hoher Wasserdurchlässigkeit des Unterbodens ( $k_f > 0,5\text{m/d}$ ) möglich; bei eingeschränkter oder fehlender Entwässerbarkeit von stau-/haftvernäbten Böden besteht Gefügemeliorationsbedürftigkeit; mögliche Verfahren: bei Mineral- und Moorböden Grabenentwässerung; bei sandigen bis lehmigen Mineralböden Ton- und

Plastrohrdränung, meliorative Unterbodenmelioration; bei tonigen Mineralböden Sickerschlitzdränung, Verfahrenskombination; bei Moorböden Maulwurfsdränung

**b) Entsteinung**

Einschätzung der Entsteinungsbedürftigkeit nach Steingehalt (>100 t/ha bis 3,5 dm u. Fl.), Steingröße (Äquivalentdurchmesser 3 bis 30 cm) und Siebfähigkeit des Bodens; Ausgrenzung der entsteinungswürdigen Flächen nach ökonomischer Vertretbarkeit (< 800 t/ha) und Hangneigung (< 14%); Berechnung des zu erwartenden Steinanfalls mit Nachweis der Depotfläche

**c) Beregnung**

Einschätzung der Beregnungsbedürftigkeit je Schlageinheit nach der Körnung in der durchwurzelbaren Zone, dem mittleren Grundwasserstand oberhalb 15 dm u. Fl., klimatischen Kennwerten und dem Bodennutzungstyp; Beurteilung der Beregnungseignung; Berechnung der zulässigen Zusatzwassermenge entsprechend den Standortgegebenheiten; unmittelbare Steuerung der Beregnung mittels EDV-Beregnungsberatung; für die Verlegung des Rohrnetzes im Boden Ermittlung bestimmter Bodenparameter

**d) Flurmelioration**

Einschätzung der Flurmeliorationsbedürftigkeit nach der Behinderung durch bestimmte Flurelemente, wie Gräben, Gruben, Hecken, Sölle, Wege, Wälle, Bäume, Steinhaufen u. a.;

Tabelle 5/8

Rahmen für die Beurteilung der Standortparameter im Hinblick auf Bedürftigkeit, Verfahren und Bemessungsgrößen bei der Entwässerung (nach *Menning, Reuter, 1978*)

Standortparameter	Entwässerungsbedürftig. Technol. Vorbereitung	Meliorationsverfahren	Dränabstand/-tiefe	Verschlämmungsneigung	Verockerungsneigung	Treibverhalten	Moorsackung	Schlitzweite
Körnung	×	×	×	×	×	×		×
Ungleichkör.-grad	×			×		×		×
Gewinnungsklasse	×	×						
Aggregatstabilität	×							
Plastizität				×				×
Torfstärke		×					×	
Torfart, Glührückstand		×	×				×	
Zersetzungsgrad	×	×						
Trockenrohddichte	×	×	×					
Substanzvolumen		×	×				×	
dränbares PV	×	×						
Hydromorphiegrad	×	×						
Wasserstufe								
Grundwasserstand	×					×	×	
Druckwasser					×			
Bodenfeuchte, Wassergehalt	×						×	
k <sub>r</sub> -Wert		×	×					
Eisengehalt					×			

Beurteilung der Behinderungswirkung nach der zu erwartenden Minderung der Arbeits- und Flächenproduktivität bei Beachtung des Aufwandes für die Beseitigung, dem geplanten Einsatz von Maschinen in der industriemäßigen Pflanzenproduktion unter Berücksichtigung der Bearbeitungsrichtung und der landeskulturellen Funktion der behindernden Flurelemente

Auf der Grundlage der Meliorationsbedürftigkeit und -eignung, der Bemessungsgrößen und bestimmter Besonderheiten der Standorte werden verfahrensspezifische Areale ausgegrenzt. Areale gleicher Meliorationseignung bezeichnet man als *Meliorationseinheiten*. Bei ihnen ist das gleiche Meliorationsverfahren anwendbar. Meliorationseinheiten können bei stärkerer Differenzierung der bemessungswirksamen Boden- und Standortmerkmale in Meliorationsspezialeinheiten untergliedert werden.

### **Standortleistungstypen**

Für die Bestimmung der Meliorationsbedürftigkeit wie für die objektbezogene Meliorationsvorbereitung wurde eine Typisierung vergleichbarer Standortverhältnisse durchgeführt, um die Erarbeitung standortspezifischer Meliorationslösungen zu erleichtern. Die mit dieser Zielsetzung innerhalb bestimmter Naturräume der DDR ausgrenzbaren Einheiten heißen Standortleistungstypen. Man versteht darunter aus den tatsächlichen Gegebenheiten und den Eigenschaften verwandter Physiotope abgeleitete landwirtschaftliche Nutzflächeneinheiten, die sich durch gleichartige ökologische Bedingungen, gleichartige Meliorations- und Bewirtschaftungserfordernisse sowie vergleichbare Soll-Leistungen in der Pflanzenproduktion auszeichnen (*Olbertz, 1976*). Es handelt sich also nicht um rein ökologische Typen, sondern um meliorationskundliche und ökonomisch aussagefähige Struktur- und Verhaltensmodelle naturbedingter Nutzflächeneinheiten der industriemäßigen Pflanzenproduktion. Man kann die Standortleistungstypen daher in verschiedene Ebenen der Standorteinheiten (z. B. Standortregionaltyp, Standorttyp) einordnen. Wesentlich für ihre Definition sind die Bedingungen und Erfolgchancen für bestimmte Varianten der landwirtschaftlichen Erschließung, Melioration und Bewirtschaftung. Die umfassende Kennzeichnung der Standortleistungstypen erfolgt in drei Arbeitsschritten (*Olbertz, 1976*):

- Typendefinition
- Typencharakteristik
- meliorationswissenschaftliche Interpretation der Typen

Die Ergebnisse dieser Arbeitsschritte werden in Arbeitsrichtlinien und einem *Informationsspeicher* festgehalten, der an der Sektion für Melioration und Pflanzenproduktion der „Wilhelm-Pieck-Universität“ Rostock stationiert ist. Ziel der Erstellung dieser Unterlagen ist die Vermittlung allgemeingültiger typenspezifischer Aussagen und Erfahrungen, die dann im Zuge der objektgebundenen Meliorationsvorbereitung auf den konkreten Fall übertragbar sind.

## **5.4. Die Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung**

Unter Mittelmaßstäbiger Landwirtschaftlicher Standortkartierung (MMK) ist ein Verfahren zu verstehen, nach dem die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche für Übersichtszwecke im Maßstab 1 : 25 000 flächendeckend erfaßt und das Ergebnis in den verschiedensten Formen ausgewertet wird. Mit den auf diese Weise erarbeiteten Unterlagen wird eine bedeutende Informationslücke auf dem Gebiet der Standortkennzeichnung und -beurteilung geschlossen, die bei dem raschen Tempo der Entwicklung der Produktivkräfte und Produktionsverhältnisse in der Landwirtschaft der DDR immer offensichtlicher wurde. Besonders unter den Bedingungen der industriemäßigen Pflanzenproduktion sind mit zu-

nehmendem Intensivierungsgrad und wachsendem Einsatz an Investitionsmitteln präzise Aussagen insb. über Beschaffenheit und räumliche Verteilung der Standorte unbedingt erforderlich.

Der Kartierungsmaßstab 1:25 000 basiert auf dem Meßtischblatt alten Schnitts und gewährleistet durch die enthaltene Topographie eine bessere Lokalisierung der Kartierungseinheiten. Als erste Phase der Auswertung erfolgt eine tabellarische Zusammenfassung praxisrelevanter Kennwerte auf Kreis-, Bezirks- und Betriebsebene sowie eine Übersichts-darstellung der Bodendecke und des Reliefs auf Karten im Maßstab 1:100 000.

#### 5.4.1. Verfahren

##### Überblick

Mit Hilfe der MMK wurden die relativ stabilen, zugleich aber produktionsbestimmenden Standorteigenschaften nach einer einheitlichen Methodik ermittelt. Zur Ausgrenzung der Kartierungseinheiten wurden alle verfügbaren Unterlagen, angefangen von den Ergebnissen der Bodenschätzung und der Forstlichen Standortserkundung über geologische und bodengeologische Karten bis zu Standortkartierungen von Beispielsgebieten sowie die neuen Ergebnisse zur Charakterisierung und Darstellung heterogener Flächeneinheiten genutzt. Ergänzende Erhebungen im Gelände vervollständigten das Bild.

Kartierungseinheiten sind die in Abschnitt 4.8.4. bereits ausführlich erläuterten *Standort-regionaltypen*. Unter Standortregionaltypen versteht man heterogene (chorische) Standorteinheiten, die vor allem durch ein charakteristisches Mosaik der Substrat-, Bodenwasser- und Hangneignungsverhältnisse bestimmt sind. Die Kenntnis der Gesetzmäßigkeiten der räumlichen Verknüpfung der Bodenformen läßt bereits einen Schluß auf die Art der inneren Differenziertheit der Standortregionaltypen zu, ohne daß eine Kartierung großen Maßstabs mit den Einzelkonturen der beteiligten Bodenformen vorliegen muß. Da die Konturen der Standortregionaltypen meist Flächen von  $\pm 70$  ha einnehmen und nur unter komplizierten Landschaftsverhältnissen  $< 30$  ha sind, lassen sich auch Auswertungen für Betriebe als Ganzes vornehmen, wofür zusätzlich die Arbeitsreinkarten im Maßstab 1:25 000 herangezogen werden können.

##### Dokumentationsblatt A als wichtiger Primärdatenträger

Die Standortregionaltypen der MMK werden auf Meßtischblättern ausgegrenzt, ihre wichtigsten Merkmale und Eigenschaften auf einem Karteiblatt (s. Abb. 5/8), dem sogenannten Dokumentationsblatt A, festgehalten. Die detaillierte Erläuterung der einzelnen Parameter auf diesem Dokumentationsblatt einschließlich Verschlüsselung und Hinweisen für ein sachgemäßes Ausfüllen sind in der „Richtlinie für die mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung“ (R. Schmidt, Diemann u. a., 1974) zusammengestellt. Das Dokumentationsblatt A enthält alle feldbodenkundlichen Angaben, die für die Charakterisierung der Standortregionaltypen notwendig sind. Diese Charakterisierung ist das naturwissenschaftliche Fundament für die Nutzung der Ergebnisse, woraus sich die Bedeutung dieses Blattes als Primärdatenträger ergibt. Das Dokumentationsblatt A wird für jeden Standortregionaltyp pro Kreis ausgefüllt, d. h., es werden keine Einzelkonturen interpretiert. Das Blatt wurde außerdem so gegliedert, daß aus seinem Aufbau einerseits die wesentlichen Grundzüge der Erkundungsstufen hervorgehen und andererseits die sachlogischen Zusammenhänge bewahrt bleiben. Da es gleichzeitig edv-gerechter Ablochbeleg ist, enthält es zusätzliche Felder (dick umrandet) für die Verschlüsselung der einzelnen Parameter.

Die aus Abbildung 5/8 hervorgehenden Parameter des Dokumentationsblattes A sind nachstehend entsprechend der dort ersichtlichen Numerierung kurz erläutert (Symbole nach vorgegebenem Schlüssel, s. Kartierungsrichtlinie und Diemann, 1978a):





1. Standortregionaltyp: Angabe der zusammenfassenden Bezeichnung für die Standorteinheit nach naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten (Standorttyp, Leitbodenformen, Grundtyp der räumlichen Anordnung)
- 2., 3. Bezirk, Kreis: Angabe der Schlüsselziffer entsprechend dem Verzeichnis der Gemeinden und Ortsteile der DDR
4. Meßtischblatt: Angabe der vierstelligen Nomenklaturziffer
5. Nutzungsart: Angabe nach dominierender (1.) und subdominierender (2.) Verbreitung
6. Meliorationen/Bergbaufolgewirkung: Angabe von Meliorationsanlagen (M.) neueren Datums nach dominierendem (1.) und subdominierendem (2.) Vorkommen sowie von Bergbaufolgewirkungen (B.)
7. Bodenschätzung: schwerpunktmäßige Zuordnung der Leitbodenformen (Bf.) zu den Klassenflächen (Kfl.)
8. Geologie: verbale Angaben einschl. Petrographie (8.1.) und Chronostratigraphie (8.2.) nach dominierenden (I.) und subdominierenden (II.) Merkmalen
9. Karbonat: Angabe der Karbonattiefe
10. Substratwechsel: Angabe unter W.: 1 = leicht über schwer, s = schwer über leicht; Angabe unter Flächenanteil: 1 = Substratwechsel oberhalb 6 dm, 2 = Substratwechsel unterhalb 6 dm u. Fl.
11. Steinigkeit: Angabe eines Schätzwertes für die Ackerkrume (11. 1.), für den Unterboden bis 6 dm u. Fl. (11. 2.), für Steinsohlen (11. 3.) und für Blockgehalt (11. 4.)
12. Mesorelief: verbale Angabe der Reliefform
13. Hangneigung: Angabe der Häufigkeitsverteilung nach zusammengefaßten Hangneigungsgruppen I bis VI in Fünfteln
14. Kleinformen: Angabe nach dominierenden (1.) und subdominierenden (2.) Formen einschl. der Formendichte (D.)
15. NFT: Angabe des Neigungsflächentyps
16. Bodenformeninventar: Angabe der charakteristischen Reliefpositionen (P.), der Hauptbodenformen (Bf.) und der Flächenanteile (F.) in Fünfteln (in den ersten beiden Feldern die Leit-, dahinter die Begleitbodenformen)
17. Wasserverhältnisse: Angabe der Flächenanteile der Wasserstufen in Fünfteln für Grundwasser (17. 1.), für Stauwasser (17. 2.) sowie für Hang-, Sammel- und Überschwemmungswasser (17. 3.)
18. Räumliche Heterogenität: Angabe des räumlichen Bodenwechsels
19. Inhaltliche Heterogenität: Angabe des Kontrastes für die Leitbodenformen (1.) und die Bodenformen insgesamt (2.)
20. Verteilungsmuster: Angabe nach dominierenden (1.) und subdominierenden (2.) geometrischen Grundformen des räumlichen Musters
21. Gefügestil: Angabe nach dominierenden (1.) und subdominierenden (2.) Grundtypen der räumlichen Anordnung (H = Hanggefüge, P = Plattengefüge, S = Senkengefüge)
22. Substratflächentyp: Angabe des Flächenanteils der dominierenden Substrattypen für den Standortregionaltyp (22. 1.) und den Standorttyp (22.2.)
23. Hydromorphieflächentyp: Angabe des dominierenden Wasserregimes für den Standortregionaltyp (23.1.) und den Standorttyp (23.2.)
- 24., 25. NStE-Q, NStE: Angabe des Standorttyps und der Natürlichen Standorteinheit
26. Bearbeiter/Jahr: Angabe des Familiennamens und der beiden Endzahlen des Aufnahmejahres

#### 5.4.2. Auswertung der Ergebnisse

##### Überblick

Im Mittelpunkt der ersten Auswertungsphase der MMK stehen Aussagen zur industriegemäßen Pflanzenproduktion und zur Standortverteilung der landwirtschaftlichen Produktion. Dabei lassen sich folgende Anwendungsbereiche herausstellen (R. Schmidt, 1975; Thiere, 1975; Lieberoth, 1978):

- Bereitstellung flächendeckender standortkundlicher Übersichtskarten für das Territorium der DDR als Orientierungsgrundlage über die Standortverhältnisse und zur Lokalisierung territorialer Einsatzbereiche für Intensivierungsmaßnahmen
- Bereitstellung tabellarischer Übersichten zur Standortcharakterisierung und Standorteignung der landwirtschaftlich genutzten Flächen mit Empfehlungen für den Einsatzumfang von Intensivierungs- und Spezialisierungsmaßnahmen in der Pflanzenproduktion als Grundlage für die Planung auf Kreis-, Bezirks- und DDR-Ebene

- Bereitstellung tabellarischer Flächennachweise und Standortkarten zur Charakterisierung der natürlichen Produktionsbedingungen in den sozialistischen Landwirtschaftsbetrieben über das von ihnen bewirtschaftete Gebiet auf einer für das Gesamtterritorium der DDR vergleichbaren Grundlage
- Bereitstellung von Unterlagen zur Standortbeurteilung der Schläge, die allerdings noch Ergänzungen bedürfen
- Bereitstellung standortkundlicher Unterlagen für die Rationalisierung der Standorterkundung zur Meliorationsvorbereitung
- Bereitstellung territorialer Übersichten über die Standortverhältnisse der DDR für die verschiedensten Spezialauswertungen im Bereich der Landeskultur, des Umweltschutzes, der Wasserwirtschaft sowie für zahlreiche andere wissenschaftliche und praktische Fragestellungen innerhalb naturräumlich und territorial begrenzter Gebiete

Die Ergebnisse der MMK werden somit über Karten, tabellarische Zusammenstellungen und Spezialinterpretationen nutzbar gemacht.

### **Standortkarten**

Als Kartenwerk stehen zunächst die Blätter „Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung“ (Maßstab 1 : 100 000) zur Verfügung (Herausgeber: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Münchenberg, Bereich Bodenkunde Eberswalde). Auf diesen Karten wird folgendes dargestellt:

- *Topographische Elemente*: administrative Grenzen, Straßen, Eisenbahnen, Ortschaften, Wald, Gewässer, Relief (Höhenlinien)
- *Standorteinheiten*: Wiedergabe durch Farben und Symbole; Farbtöne nach Standorthauptgruppen, Abstufung innerhalb derselben nach Standortgruppen und Standorttypen; Kennzeichnung der Standortregionaltypen durch Ziffernsymbole
- *Hangneigung*: Darstellung als Hangneigungsflächentypen über Rasterung

Auf diese Weise werden alle wesentlichen Komplexmerkmale zum Ausdruck gebracht, wobei die Standorttypen am deutlichsten hervortreten (synthetische Karten). Durch die aufgedruckte Legende erfolgt eine kurze Information über die dargestellten Boden- und Bodenwasserverhältnisse.

Neben diesen kolorierten Karten wird die gleiche Unterlage auch als sog. *Konturenkarte* herausgegeben, d. s. Karten, die nur die Konturen der Standortregionaltypen mit den eingedruckten Symbolen enthalten. Solche Karten lassen sich vielseitig weiterverwenden, insb. wenn zusätzliche Eintragungen, andere Farbgebung usw. erwünscht sind. Zu einem späteren Zeitpunkt werden auch Karten auf der Grundlage der Arbeitskarten 1 : 25 000 in aufbereiteter Form zur Auswertung und Nutzung übergeben werden können.

Schließlich können aus den Ergebnissen der MMK eine Reihe *thematischer Karten* abgeleitet werden, die sich auf automatisiertem bzw. teilautomatisiertem Wege (Schreibwerk-kartogramme, Lichtsatzkarten, Plotter- und Automatenkarten) rationell herstellen lassen.

### **Beurteilungsalgorithmen**

Ausgehend von den im Dokumentationsblatt A erfaßten Parametern wird als erster datenbezogener Auswertungsschritt eine maschinenlesbare Matrix, sog. AUSWER erstellt, welche die für eine zentrale Auswertung wesentlichsten Ausgangsparameter sowie alle für die Planung von Melioration und industriemäßiger Pflanzenproduktion aus den Ergebnissen der MMK ableitbaren Beurteilungsdaten enthält (Programmteil von DABO – REGDAT).

Grundlage der Auswertung bilden im wesentlichen die nachstehenden primären Standortfaktoren, die bei der Kartierung der heterogenen Standortregionaltypen ermittelt wurden:

- Substrat (Substratflächentyp, Tiefe des Substratwechsels)
- Bodenwasserverhältnisse (Hydromorphieflächentyp, Flächenanteile der Intensitätsstufen von Grundwasser und Staunässe → Vernässungsgefährdung, Bodenformen)
- Steinigkeit (Stein- und Blockgehalt → Flächentypen der Steinigkeit)
- Relief (Hangneigungsflächentyp)

Unter zusätzlicher Heranziehung von Klimafaktoren werden mittels spezifischer Beurteilungsalgorithmen Aussagen für etwa 50 Beurteilungsziele abgeleitet. Wesentliche Grundlage für das Auswertungsverfahren war die Bildung von Flächentypen. Flächentypen sind auf die Fläche bezogene heterogene Gliederungseinheiten des jeweiligen Standortfaktors unter Berücksichtigung von Art und Flächenanteil der einzelnen Komponenten (z. B. Substratflächentyp, Neigungsflächentyp, Flächentyp der Steinigkeit und des Oberbodensubstrats).

Die Beurteilungsaussagen werden in Form von Beurteilungsstufen gewonnen. Diese Stufen umfassen (Thiere, Lieberoth, Dunkelgod, 1979):

- eine inhaltliche Aussage über den Einfluß der Standortbedingungen (z. B. Substrat, Hangneigung) bezüglich Eignung in 3 Stufen (2 = gut, 3 = bedingt, 4 = nicht geeignet), bezüglich Behinderung und Gefährdung in 4 Stufen (1 = sehr stark, 2 = stark, 3 = mäßig, 4 = nicht behindert/gefährdet)
- eine räumliche Aussage, durch die der Flächenanteil, auf den die inhaltliche Beurteilung bezogen ist, angegeben wird, in 4 Stufen (d = durchgehend, d. h. > 80 %, v = vorwiegend, d. h. 40–80 %, t = teilweise, d. h. 20–40 %, k = kleinflächig, d. h. 5–20 % der Gesamtfläche)

Durch Kombination der inhaltlichen und räumlichen Aussage können maximal 9 Beurteilungsstufen bei der Eignung und 13 bei der Behinderung/Gefährdung (nicht geeignet/behindert/gefährdet gibt es nur durchgehend) gebildet werden. Nachfolgend sind einige Beispiele für mögliche Beurteilungsaussagen angeführt:

- Substratlockerung: 3d = durchgehend bedingt geeignet
- Staunässebeseitigung: 2k = kleinflächig (gut) geeignet
- Wassererosion: 1t = teilweise sehr stark gefährdet
- Technischeinsatz (K 700): 4d = durchgehend nicht behindert
- Zuckerrübenanbau 2v = vorwiegend (gut) geeignet
- Weizenanbau: 4d = durchgehend nicht geeignet

Es sei darauf hingewiesen, daß mit dem Symbol 4d jeweils die Negation des Beurteilungszieles ausgedrückt wird. Dabei ist zu beachten, daß diese Beurteilungsstufe in Abhängigkeit vom Beurteilungsziel sowohl einen negativen („nicht geeignet“) als auch einen positiven Inhalt („nicht behindert/gefährdet“) haben kann.

Der Begriff „Eignung“ ist so zu verstehen, daß damit nur die aus den Eigenschaften von Boden, Relief und Klima ableitbaren Möglichkeiten („Meliorationsbedürftigkeit, Anbaueignung“) aufgezeigt werden. Die endgültige Festlegung von Maßnahmen hängt von weiteren natürlichen wie betriebs- und volkswirtschaftlichen Faktoren ab.

Jede der o. g. Beurteilungsstufen widerspiegelt einen bestimmten Grad der Eignung, Gefährdung oder Behinderung unter Berücksichtigung des Flächenanteils. Alle Beurteilungsaussagen bauen auf den Bausteinen der MMK, den Konturen der Standortregionaltypen auf. Die Angabe von Teilflächen bedeutet eine flächenbezogene Einschränkung der Aussage, die bei allen Maßnahmen beachtet werden muß. So darf bei Teilflächen von 40 bis 80 % im Mittel nur mit 60 %, bei Teilflächen von 20 bis 40 % im Mittel nur mit 30 % und bei Teilflächen von 5 bis 20 % im Mittel nur mit 10 % der jeweils angeführten Gesamtfläche gerechnet werden.

Im Ergebnis der oben erläuterten Auswertungsform werden differenzierte Aussagen für die Eignung sowohl bestimmter Meliorationsprinzipien als auch bestimmter acker-

und pflanzenbaulicher Maßnahmen getroffen. Dabei wird so vorgegangen, daß nach einer vorgegebenen Vorschrift in einem 1. Auswertungsschritt zunächst bei jedem Beurteilungsziel (Beregnungseignung, Eignung für Kartoffelanbau usw.) die einzelnen Primärfaktoren (Substrat, Relief usw.) getrennt beurteilt werden. In einem 2. Schritt wird aus diesen Zwischenurteilen das Gesamturteil für den Standort nach dem Dominanzprinzip dergestalt abgeleitet, daß immer die ungünstigste inhaltliche Aussage mit dem ungünstigsten Flächenanteil kombiniert wird. Dafür drei Beispiele bezüglich Anbaueignung bei Zuckerrüben:

	Beispiel A	Beispiel B	Beispiel C
Substrat, Hydromorphie	2t	2d	2d
Steinigkei	2d	2v	2t
Siebfähigkeit	3v	2d	2d
Höhenlage	2d	2d	2d
Hangneigung	2t	2d	4d
Standort insgesamt	3t	2v	4d

Die Bewertung aller Primärfaktoren für alle Beurteilungsaussagen ist in sog. Beurteilungsrahmen fixiert. Damit ist es möglich, jede Standorteinheit in Verbindung mit den Primärfaktoren auf dem Dokumentationsblatt A und den Karten der MMK selbständig zu beurteilen.

Die Beurteilung im Rahmen der MMK erstreckt sich auf folgende Eignungen, Gefährdungen und Behinderungen, wobei immer von einer bestimmten Kombination der Primärfaktoren ausgegangen wird (s. Abb. 5/9):

a) Eignung für Meliorationen

Eignung für *Melioration* wird beurteilt bei der

- Staunässefortführung nach Vernässungsgefährdung, Steinigkeit und Hangneigung
- Substratlockerung nach Substrat, Steinigkeit, Bodentyp, Hydromorphie und Hangneigung
- Substratlockerung mit Staunässefortführung nach Substrat, Steinigkeit, Vernässungsgefährdung und Hangneigung
- Grundnässefortführung nach Vernässungsgefährdung, Steinigkeit und Hangneigung
- Beregnung nach Substrat, Hydromorphie, Niederschlag (Trockenheitsgefährdung) und Hangneigung
- Entsteinung nach Steinigkeit, Siebfähigkeit und Hangneigung
- Substratdurchmischung nach Substratflächentyp, Substrateigenschaften (Lehmtiefe), Steinigkeit, Hydromorphie und Hangneigung
- Versickerungsverringerung nach Substrat, Hydromorphie und Hangneigung

Gefährdung durch *Erosion* wird beurteilt bei der

- Winderosion nach Oberbodensubstrat, Hydromorphie und Ebenheit
- Wassererosion nach Substrat, Steingehalt im Oberboden und Hangneigung

b) Eignung für industriemäßige Pflanzenproduktion

Behinderung des Einsatzes von Geräten und Maschinen wird beurteilt nach sog. technologischen Bodengruppen (Kombination von Oberbodensubstrat, Hydromorphie, Steinigkeit, Hangneigung und geologische Entstehung) mit Aussagen für

- die Einsatzgrenzen verschiedener Traktoren
- die Befahrbarkeit
- die Siebfähigkeit
- die Bearbeitbarkeit
- den Maschinen- und Geräteeinsatz

Beurteilungsparameter ( Ziffern lt. Dok.-blatt B )	Standortfaktoren								
	Steinig- keit	Substrat	Hang- neigung	Hydro- morphie	Klima				
31 Zuckerrübenanbau	/	/	/	/	/				
35 Luzerneanbau									
30 Kartoffelanbau									
32- Weizen-, Roggen- u. 34 Kleegrasanbau									
10- Substratlockerung 11 (m.Staunässebeseitg.)									
14 Substratdurchmischg.									
06 Entsteinung									
17 Wassererosion									
13 Grundwasserreguliertg						/	/	/	/
15 Versickerungs- verringderung									
19 Befahrbarkeit									
16 Winderosion									
23,25 So.- Gersten-, Raps -, 27,29 Lupinen- u. Haferanb.	/	/	/	/					
08 Beregnung									
22,24 Silomais-, W. Gersten; 26,28 Ackerbohnen- und Körnermaisbau	/	/	/	/					
09 Staunässebeseitigung									
12 Grundnässebeseitig.									
18 Einsatz K 700 / T150 K	/	/	/	/	/				

Abb. 5/9  
Zur Ableitung der Eignung für Melioration und Pflanzenproduktion bei der MMK in die Beurteilung eingehende Standortfaktoren (Auszug)

Die Einsatzmöglichkeiten von Agrochemikalien werden beurteilt nach Oberbodensubstrat, Hydromorphie und Hangneigung mit Aussagen

- zum Einsatz von Camposan
- zur Zuordnung der Bodengruppen des DS 79

**Anbaueignung** wird beurteilt bei den

- Leitfruchtarten Kartoffel, Zuckerrübe, Weizen, Roggen, Klee gras, Luzerne und Ackergräser nach Substrat, Hydromorphie, Steinigkeit, Siebfähigkeit (nur Kartoffel), Höhenlage (nur Zuckerrübe und Luzerne) und Hangneigung
- sonstige Fruchtarten Silomais, So.-Gerste, Wi.-Gerste, Raps, Ackerbohne, Lupine, Körnermais und Hafer nach Substrat, Hydromorphie, Höhenlage (nur Wi.-Gerste, Ackerbohne, Silomais), Klima (nur Körnermais, Raps) und Hangneigung

**Gesamteignung** für die Pflanzenproduktion wird beurteilt nach

- dem Anbautyp, der durch Kombination der Anbaueignung für Kartoffeln, Zuckerrüben, Weizen und Wintergerste sowie nach der Eignung als Grünland gebildet wird
- der Eignungsklasse als Zusammenfassung von Anbautypen

## Auswertungsberichte

Im Rahmen der zentralen Auswertung der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung wurden die Konturen der Standortregionaltypen auf den Arbeitskarten 1:25 000 digitalisiert, die Flächenberechnungen für jedes Kartierungsareal durchgeführt und durch Verknüpfung mit der o. g. AUSWER zum Gesamtflächennachweis geführt. Die Ergebnisse dieser Auswertung werden, meist bezirksweise, in Auswertungsberichten zusammengefaßt. Das Kernstück dieser Berichte stellen standardisierte Listen dar, die sowohl für territoriale als auch naturräumliche Einheiten (Gebiete) ausgegeben werden können. Von besonderem Interesse sind folgende Listen:

Liste 1: Flächenübersicht über die Standorteinheiten und Hangneigungsverhältnisse

Liste 2: Flächenübersicht über die Flächentypen

Liste 3: Zusammenfassende Flächenangaben zur Melioration und Erosion

Tabelle 5/9

Beispiel für Liste 1 der zentralen Auswertung der MMK – Auszug (nach *Lieberoth* u. a., 1978)  
Zentrale Auswertung der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK)

Bezirk: Cottbus

LN: 365 Tha

Liste 1: Flächenübersicht über die Standorteinheiten und Hangneigungsverhältnisse (Bezirk)

Standortregionaltyp (StR)		Neigungsflächentypen (NFT)				Standorttyp (StT)			Standortgruppe (StG)			
Sym- bol	[Tha]	[%]	NFT 01 (eben)		NFT 03 (flach)		Sym- bol	[Tha]	[%]	Bezeich- nung	[Tha]	[%]
			[Tha]	[%]	[Tha]	[%]						
D-Standorte												
D 1 a 1	48,3	13	—	—	47,3	13						
D 1 a 2	7,0	2	—	—	7,0	2						
D 1 a 3	4,6	1	4,6	1	—	—	D 1 a	60,0	16	- 1 -		
D 2 a 1	3,8	1	—	—	3,8	1				Grund-		
D 2 a 2	1,6	0	—	—	1,6	0				wasser-		
D 2 a 4	1,9	1	1,9	1	—	—	D 2 a	7,2	2	Sande	67,2	18
D 2 b 1	3,2	1	3,2	1	—	—						
D 2 b 3	58,1	16	58,1	16	—	—						
D 2 b 4	71,4	20	71,4	20	—	—						
D 2 b 5	30,9	9	30,9	9	—	—	D 2 b	163,6	45			
D 3 b 2	2,0	1	2,0	1	—	—				- 8 -		
D 3 b 4	0,5	0	0,5	0	—	—				Grund-		
D 3 b 6	7,2	2	7,2	2	—	—				wasser-		
D 3 b 7	0,8	0	0,8	0	—	—	D 3 b	10,5	3	sande	174,2	48
Mo-Standorte												
Mo 1 c 1	11,9	3	11,9	3	—	—						
Mo 1 c 2	0,8	0	0,8	0	—	—						
Mo 1 c 6	0,3	0	0,3	0	—	—	Mo 1 c	13,1	4			
Mo 2 b 1	11,0	3	11,0	3	—	—	Mo 2 b	11,0	3	- 7 -		
Mo 2 c 2	0,1	0	0,1	0	—	—				Nieder-		
										moore	24,2	7

Symbole der StR, StT und StG s. Abschn. 4.8.4.

NFT (Hangneigungsflächentyp) s. Tab. 4/7

Liste 4: Zusammenfassende Flächenangaben zur Standorteignung für die industriemäßige Pflanzenproduktion

Liste 5: Zusammenfassende Flächenangaben zu den standörtlichen Einsatzbedingungen von Geräten, Maschinen und Agrochemikalien

Beispiele für die Listen 1 und 3, 4 sind in Form von Auszügen den Tabellen 5/9 und 5/10 zu entnehmen. Eine weitere Aggregation des Datenmaterials wie auch eine Detaillierung (z. B. für Pflanzenproduktionsbetriebe und ACZ-Bereiche, für Standortgruppen, für Klimagebiete, für Naturräume) ist möglich. Außerdem lassen sich derartige Flächenübersichten wahlweise auf die LN, das Ackerland oder das Grünland beziehen. Dabei können die Angaben auf die tatsächlich betroffene Fläche umgerechnet (bei Aussagen z. B. für Teilflächen von 40 bis 80% mit dem Faktor 0.6 multipliziert) sowie in absoluten (Tha) und relativen (%) Werten angegeben werden.

Eine weitere Nutzbarmachung der Ergebnisse der MMK kann auch über *Eignungsklassifikationen* vorgenommen werden, durch die den Anforderungen der Praxis stärker Rechnung getragen werden kann. Eignungsklassifikationen sind eine notwendige Ergänzung zu den naturwissenschaftlichen Klassifikationen nach Boden- und Standorteinheiten.

Tabelle 5/10

Beispiel für Liste 3, 4 der zentralen Auswertung der MMK – Auszug (nach *Lieberoth* u. a., 1978)

Zentrale Auswertung der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK)

Bezirk Cottbus

LN: 365 Tha

Liste 3, 4: Zusammenfassende Flächenangaben zur Standorteignung für Melioration und industriemäßige Pflanzenproduktion (Kreise, Bezirk, AIV)

Eignungen	Finsterwalde		Herzberg...		Bezirk		AIV Jessen		
(Beurteilungsparameter)	(27,3 Tha) [Tha] [%]		(36,8 Tha) [Tha] [%]		insgesamt [Tha] [%]		(45,9 Tha) [Tha] [%]		
<i>Meliorationen</i>									
– Entsteinung									
Gesamtfläche geeignet	2,0	7	3,0	8	71,0	20	6,9	15	
– Beregnung									
Gesamtfläche geeignet	10,4	38	7,6	21	122,3	34	9,6	21	
Gesamtfläche bedingt geeignet	15,6	57	23,2	63	196,9	54	29,0	63	
– Substratlockerung									
Gesamtfläche geeignet	2,6	10	3,3	9	26,0	7	2,9	6	
Teilflächen (40–80%) geeignet	6,4	23	4,1	11	37,2	10	2,3	5	
<i>Industriemäßige Pflanzenproduktion</i>									
– Kartoffelproduktion									
Gesamtfläche geeignet	15,3	56	22,6	61	185,6	51	19,5	43	
Teilflächen (40–80%) geeignet	10,2	37	6,8	18	112,8	31	9,1	20	
Teilflächen (20–40%) geeignet	1,2	4	3,8	10	21,1	6	1,0	2	
– Zuckerrübenproduktion									
Gesamtfläche geeignet	0,2	1	1,2	3	18,1	5	1,6	4	
Teilflächen (40–80%) geeignet	8,6	31	5,6	15	42,6	12	2,5	5	
Gesamtfläche bedingt geeignet	—	—	0,4	1	12,3	3	9,7	21	

Tabelle 5/11

## Eignungsklassen für die industriemäßige Pflanzenproduktion

Eignungsklasse	Anbaueignung	Kurzcharakteristik
I: ohne Einschränkungen	für alle anspruchsvollen Fruchtarten, insbesondere Zuckerrüben und Weizen, durchgehend geeignet	Zucker-/Weizenstandorte
II: mit geringen Einschränkungen	noch für alle anspruchsvollen Fruchtarten geeignet, Hackfrüchte bereits auf größere Teilflächen eingeschränkt	Weizen-/Hackfruchtstandorte
III: mit mäßigen Einschränkungen	für anspruchsvolle Getreidearten, kaum jedoch für Hackfrüchte geeignet	Weizenstandorte
IV: mit mäßig starken Einschränkungen	anspruchsvolle Getreidearten auf Teilflächen noch möglich, für Kartoffeln und Futterpflanzen geeignet, Zuckerrüben aber bereits ausgeschlossen; auf bestimmten Standorten Dauergrünland	Weizen-/Gerstegrenz- und ertragssichere Grünlandstandorte
V: mit starken Einschränkungen	nur für Kartoffeln und anspruchslose Getreide- und Futterarten geeignet; auf bestimmten Standorten nur Dauergrünland möglich	Kartoffel-/Roggen- und weniger ertragssichere Grünlandstandorte
VI: mit schwerwiegenden Einschränkungen	nur noch anspruchslose Getreide- und Futterarten oder bedingtes Grünland möglich	Problemstandorte

Von größerer Bedeutung sind die Eignungsklassen (EK) zur Beurteilung der Nutzungs- und kombinierten Anbaumöglichkeiten bei industriemäßiger Produktionsweise. Zu ihrer Ausgrenzung werden alle stabilen, produktionswirksamen Eigenschaften der Standortregionaltypen wie Substrat-, Bodenwasser-, Hangneigungs- und Steinigkeitsverhältnisse herangezogen. In Ergänzung zur naturwissenschaftlichen Klassifikation nach Boden- und Standorteinheiten ist in den Eignungsklassen ein einfacher Nenner gefunden worden, der es gestattet, die unterschiedlichsten Standortmerkmale unter dem Gesichtspunkt der landwirtschaftlichen Nutzbarkeit einheitlich zu bewerten. Es werden 6 Eignungsklassen unterschieden (s. Tab. 5/11).

Von Eignungsklasse I bis VI zeigt sich eine zunehmende Einschränkung der Anbaumöglichkeit. Auf dem Ackerland werden als Weiserpflanzen Zuckerrüben, Kartoffeln, Weizen, Wintergerste und Roggen herangezogen. Das Grünland wird ebenfalls in die Bewertung einbezogen. Absolute Grünlandstandorte sind nur in der Eignungsklasse IV bis VI zu finden. Die wichtigste Anwendung finden die Eignungsklassen in Kombination mit der Gliederung nach Standortgruppen bei der Bewertung der Pflanzenproduktionsbetriebe als Ganzes hinsichtlich Anbaueignung und den Möglichkeiten zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit.

### 5.5. Weitere für die Landwirtschaft nutzbare Kartierungsverfahren

Neben den in Abschnitt 5.2. bis 5.4. erläuterten, speziell auf die Landwirtschaft ausgerichteten Verfahren gibt es weitere Kartierungsmethoden für andere Nutzungsziele, die in Teilen jedoch auch für die Beurteilung von Agrarstandorten Bedeutung haben. Im Rahmen dieses Buches kann nur auf wenige von ihnen eingegangen werden.



### 5.5.1. Bodengeologische Kartierungen

Bei allgemeinen geologischen Kartierungen wird die Verwitterungsrinde an der Erdoberfläche weitgehend vernachlässigt. Gerade diese ist es aber, in deren Deckschichten sich die Böden entwickelt haben. Wie in Abschnitt 3.2. erläutert wurde, können die oberflächennahen Schichten sehr unterschiedlich zusammengesetzt sein und nicht zuletzt auch durch Ab- und Auftrag infolge periglaziärer und erosiver Vorgänge stark wechseln. Um besonders Charakter und Aufbau der Deckschichten zu erfassen, werden bodengeologische Spezialkartierungen durchgeführt. Die Darstellung ihrer Ergebnisse ist in TGL 23865 zusammenfassend niedergelegt.

Das Grundprinzip der bodengeologischen Kartierungen besteht darin, neben dem Bodentyp insb. die Verbreitung der Deckschichten bei detaillierter Kennzeichnung des mehrschichtigen Substrataufbaus bis etwa 20 dm u. Fl. zu erfassen. Das wird einerseits durch Wiedergabe der ausgeschiedenen Kartierungseinheiten als Bodenformen erreicht und andererseits, indem man Bodentyp, Substratart und Substratschichtung differenziert darstellt. In der Regel werden die bodensystematischen Einheiten farblich angelegt, das Deckschichtsubstrat durch ein Strukturraster in der jeweiligen Farbe des Bodentyps und das Substrat der liegenden Schichten durch ein schwarzes Signaturraster gekennzeichnet.

Der Maßstab der bodengeologischen Karten ist unterschiedlich. Neben großmaßstäbigen werden vor allem mittelmaßstäbige Karten angefertigt. Von diesen Karten sind nachfolgend einige Beispiele angeführt:

- Bodengeologische Übersichtskarte Blatt Leipzig 1 : 100 000 (Mautschke, Altermann, 1970)
- Bodengeologische Übersichtskarte 1 : 200 000 „Zentrales Thüringer Becken“ (Steinert, Gora, Rau, 1969)
- Bodengeologische Übersichtskarte von Thüringen (Rau, 1974)
- Bodenkarte Halle und Umgebung (Altermann, Mautschke, 1972)
- Bezirk Leipzig, Böden (Schützenmeister u. a., 1972)

sowie bodengeologische Übersichtskarten einzelner Bezirke.

Auf Grund der umfassenden Darstellung der Boden- und Substratverhältnisse können bodengeologische Karten in vielen Zweigen der Volkswirtschaft verwendet werden. In der Landwirtschaft werden sie als Unterlage bei der Erarbeitung von Studien für die Meliorationsvorbereitung und andere Intensivierungsmaßnahmen sowie als Übersichtskarten für Planungszwecke genutzt. Besonders im Rahmen der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung wurden alle bodengeologischen Karten mit herangezogen, so wie andererseits die Ergebnisse der MMK selbst wieder Unterlagen für eine umfassendere Darstellung der bodengeologischen Verhältnisse in der DDR sind.

### 5.5.2. Agrargeographische Kartierungen

Es gibt mehrere Beispiele für agrargeographische Kartierungen verschiedenen Maßstabs, die auf der Grundlage landschaftsökologischer Aufnahmen ebenfalls nutzbare Unterlagen für die Landwirtschaft liefern. Zwei dieser Vorschläge sollen kurz erläutert werden.

#### **Agrarökologische Auswertung landschaftsökologischer Erkundungen**

Zu den wichtigen Aufgaben der angewandten Landschaftsökologie gehört die Erkundung einer der grundlegenden Eigenschaften des Naturraumes, des Ertragspotentials. Die dazu vorgeschlagene Methodik umfaßt drei Arbeitsstufen (Haase, 1967 a; Haase, R. Schmidt, 1973):

- landschaftsökologische Basiserkundung
- agrarökologische Umformung
- agrarökonomische Bewertung

In der landschaftsökologischen Basiserkundung erfolgt eine exakte und umfassende Aufnahme der einzelnen Naturfaktoren ohne spezielle Ausrichtung auf ein bestimmtes Auswertungsziel. Methodisch muß dabei von einer landschaftsökologischen Faktorenanalyse ausgegangen werden, d. h. von einer flächendeckenden Kartierung der einzelnen Partialkomplexe Boden, Relief, Wasserverhältnisse, Klima und Vegetation. Das Resultat schlägt sich dann in einer komplexen Abgrenzung und Kennzeichnung von Ökotope unter Berücksichtigung ihrer ökologischen Varianz (Verschiedenheit) und Persistenz (lat., Beharrungsvermögen, d. h. Widerstandskraft gegen Veränderungen) nieder. Die agrarökologische Umformung der Ergebnisse der landschaftsökologischen Erkundung in agronomisch aussagefähige Angaben erfolgt durch Herausfiltern der die Produktionskraft fördernden und einschränkenden (leistungsbegrenzenden) Boden- und Standorteigenschaften, wobei der Kulturzustand der Fläche einschl. der langfristigen Wirkung von Veränderungen besonders berücksichtigt wird. Methodisch hat sich die Erstellung von drei agrarökologischen Karten mit folgendem Inhalt bewährt.

– Karte I:

enthält leistungsbegrenzende und -fördernde Naturfaktoren

– Karte II:

enthält kulturbedingte Tatbestände als Grundlage für die planmäßige Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit

– Karte III:

enthält potentielle Leistungsfähigkeit der Agrarflächen (Standortleistungstypen)

Die Synthese des Inhalts der drei Karten führt zu landwirtschaftlichen Standortformen, d. s. typisierte Areale gleicher aktueller natürlicher Leistungsfähigkeit, durch die sowohl die Nutzbarkeit als auch die potentielle Ertragserwartung gekennzeichnet werden.

Die agrarökonomische Bewertung der landwirtschaftlichen Standortformen ist das Resultat der Kombination von natur- und kulturbedingtem Potential mit den ökonomischen und technischen Bedingungen der Landwirtschaftsbetriebe auf der Grundlage der Infrastruktur (insb. Flurgliederung, Wegenetz, Kulturartenverhältnis, landeskultureller Zustand), der Produktionsspezialisierung und der ökonomischen Standortbedingungen. Die Synthese aller Ermittlungen führt zu Nutzungsarealen bzw. ökonomischen Nutzflächeneinheiten, d. s. Flurbereiche, die einerseits gleiche Mechanisierungs- und Bewirtschaftungsmöglichkeiten bieten und andererseits bei gleicher Behandlung annähernd gleiche Erträge bringen (Olbertz, Henning, 1960).

### **Potentialeigenschaften von Standorten**

Standorteinheiten können auf der Grundlage landschaftsökologischer Untersuchungen nach ihren Potentialeigenschaften gekennzeichnet und beurteilt werden. Methodische Arbeiten in dieser Richtung werden vor allem innerhalb geographischer Forschungen durchgeführt. Man unterscheidet insb. folgende Teilpotentiale bzw. partielle Naturraumpotentiale (Haase, 1973):

– (Biotisches) Ertragspotential für Landwirtschaft, Forstwirtschaft  
– Bebauungspotential für Industrie, Siedlung, Landbau, Verkehrsbau  
– Wasserpotential

– Geoenergetisches Potential  
– Rohstoffpotential  
– Entsorgungspotential  
– Rekreations-(Erholungs-)potential  
– Biotisches Regulationspotential

Diese Potentiale haben für die Volkswirtschaft große Bedeutung. Ziel landschaftsökologischer Kartierungen ist es daher, sie ermitteln zu helfen. Hierbei steht die Bereitstellung von Entscheidungsunterlagen für die Planung der Standortverteilung gesellschaftlicher Vorhaben unterschiedlichster Nutzungsrichtungen im Vordergrund des Interesses, wobei ökonomischen Erfordernissen ebenso wie landeskulturellen Gesichtspunkten Rechnung zu tragen ist.

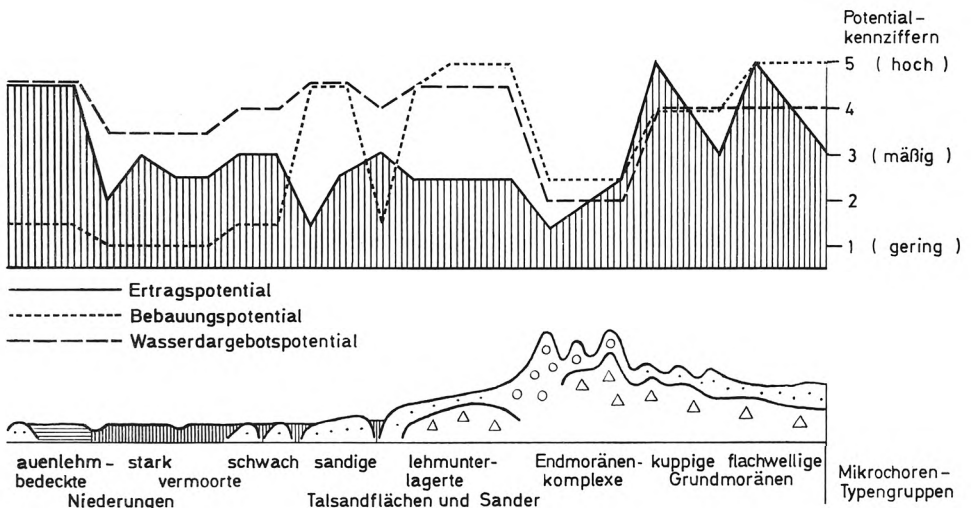


Abb. 5/10

Diagramm der Teilpotentiale von Mikrochoren-Typengruppen im Bezirk Potsdam (nach Barsch, Knothe, 1978)

Entsprechend den heutigen Anforderungen sind bei einer Reihe von Potentialen nicht mehr Einheiten der topischen, sondern der chorischen Dimension die räumliche Bezugsbasis. Besonders geeignet für verallgemeinernde Aussagen zu den Teilpotentialen sind die Mikrochoren-Typen. Unter einem Mikrochoren-Typ versteht man eine chorische Einheit bestimmter Größenordnung, die mehrere benachbarte, in charakteristischer Weise vergesellschaftete Nanochoren (z. B. Standortregionaltypen) umfaßt. Als Beispiel seien im Bezirk Potsdam durchgeführte Untersuchungen wiedergegeben, die vor allem auch das landwirtschaftliche Ertragspotential mit beinhalten (s. Abb. 5/10). Die Ergebnisse basieren auf Mikrochoren-Typengruppen. Die Einschätzung der Teilpotentiale wird mit Hilfe einer 5stufigen Skala (Potentialkennziffern) vorgenommen. Für das Ertragspotential werden die Acker- und Grünlandzahlen trotz der bekannten Mängel zugrunde gelegt, nachdem sie anhand von Ertragsuntersuchungen an Getreide, Kartoffeln und Heu erneut belegt werden konnten. Zur Ansprache des Bebauungspotentials sind Substrat, Grundwasserstand und Böschungsverhältnisse, zur Ermittlung des Wasserdargebotspotentials die Grundwasservorräte herangezogen worden. Diese und weitere Ergebnisse wurden außerdem als Grundlage für die Beurteilung landwirtschaftlich genutzter Standorte auf Karten im Maßstab 1:50 000, insb. hinsichtlich ihrer Eignung für Anbau und Intensivierungsmaßnahmen (Düngung, Technischeinsatz, Meliorationsverfahren), farbige auf die Fläche umgesetzt (Knothe, 1976).

### 5.5.3. Die Forstliche Standortserkundung

Die Forstliche Standortserkundung wurde in den letzten beiden Jahrzehnten auf der gesamten Waldfläche (Staats- und Volkswald) der DDR durchgeführt. Entscheidend für dieses Kartierungsverfahrens war der 4. Entwicklungsabschnitt, der etwa 1960 begann, weil mit ihm die Ausgrenzung und Beurteilung auf der Grundlage von Bodenformen begann. Das Verfahren entspricht in seinen Grundzügen der Bodenformenkartierung auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen, wenn auch im einzelnen bestimmte Abweichungen bestehen und die zusammenfassende Beurteilung verständlicherweise auf die speziellen Erfordernisse der Forstwirtschaft ausgerichtet ist.

Methodisch lassen sich bei der Forstlichen Standortserkundung folgende Arbeitsschritte unterscheiden (Kopp, Schwanecke u. a., 1969): Aufnahme von Boden- und Standortformen (homogene Standorteinheiten); Standorts- und Vegetationsanalyse an repräsentativen Stellen des Standortmosaiks durch Aufnahme der Bodeneigenschaften an Weiserprofilen mit anschließender Laboruntersuchung; Ausgrenzung von Bodenformen (Haupt- und forstliche Lokalbodenform) und – unter Einbeziehung von Relief und Vegetation – von Standortformen

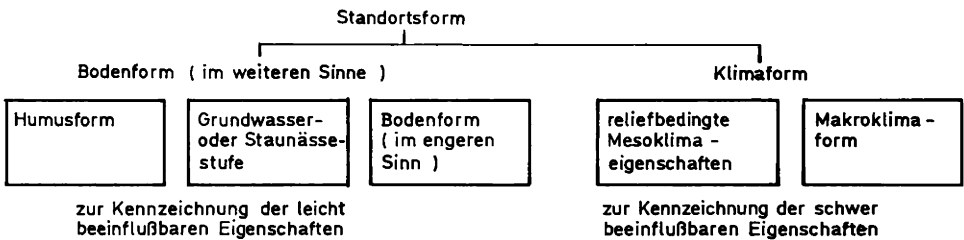
**Beurteilung der Standortformen:** Erarbeitung des standörtlichen Weiserwertes der Vegetation mit Bildung von Standortvegetationstypen; Ermittlung der Standortfruchtbarkeit über die standortspezifische Wuchsleistung; Interpretation der Leistungsunterschiede über Standorteigenschaften, Durchwurzelung, Bestockung und waldbaulich-historische Ursachen

– **Bildung von Mosaiktypen** (heterogene Standorteinheiten): Erarbeitung von mosaikspezifischen Abgrenzungsmerkmalen für die Standortformen mit Ausgrenzung von Mosaiktypen

– **Ausscheidung von Standortgruppen:** Zusammenfassung forstökologisch verwandter Standortformen zu forstlichen Auswerteeinheiten

– **Spezielle Auswertungen:** Beurteilung der Standortgruppen im Hinblick auf Baumartenwahl, Düngung, Melioration und Aufforstungsverfahren sowie ökonomische Bewertung der Waldstandorte

Wichtigste Kartierungseinheit der Forstlichen Standortserkundung ist die Standortform, eine Kombination von Boden- und Klimaform:



Besonderheiten der forstlichen gegenüber den landwirtschaftlichen Standorteinheiten sind einmal die stärkere Berücksichtigung des Humus (Humusform, s. Verteilung und Menge) sowie der Nährkraft und zum anderen die direkte Einbeziehung von Klimateigenschaften. Vergleicht man die Standorteinheiten unmittelbar miteinander, so kann man, wenn auch mit Einschränkungen, etwa folgende Parallelisierung vornehmen (Diemann, 1978b):

Einheiten des Systems		
<i>der landwirtschaftlichen Standorteinheiten</i>		<i>der forstlichen Naturraumtypen</i>
Standortgruppe	↔	Typengruppe des Bodenmosaiks
Standorttyp	↔	Typ des Bodenmosaiks
Standortregionaltyp	↔	Subtyp des Bodenmosaiks

**5.5.4. Bodenkarte der DDR**

Im vergangenen Jahrzehnt wurde in Gemeinschaftsarbeit eines größeren Kreises von Bodengeographen, Bodengeologen und Bodenkundlern unter der Redaktion von G. Haase und R. Schmidt die Bodenkarte der DDR 1:500 000 entwickelt und vorerst im Maßstab 1:750 000 als Karte „Böden“ im Atlas DDR einem größeren Interessentenkreis zugänglich gemacht. Diese Karte ist auf der Grundlage einer Zusammenfassung von heterogenen

Tabelle 5/12

Flächenanteile (Nutzfläche) von Bodentypengesellschaften auf der Grundlage der Bodenkarte der DDR 1:500000 (nach Haase, R. Schmidt, 1975)

Bodentypengesellschaft	Nutzfläche		Bodentypengesellschaft	Nutzfläche	
	a <sup>1</sup> [%]	b <sup>2</sup> [%]		a <sup>1</sup> [%]	b <sup>2</sup> [%]
Gebirgsschutt-Gürtel (V-Standorte)			Moränen-Gürtel (D-Standorte)		
A Rendzinen	1,3	1,2	L Ranker	0,3	0,2
B Braunerden	8,4	5,5	M Braunerden	3,6	3,1
C Rosterden/Podsole	1,1	0,2	N Rosterden	7,6	2,2
D Braunerden-Staugleye	7,0	7,0	O Parabraunerden-Griserden	0,4	0,6
E Staugleye	1,8	0,8	P Fahlerden/Parabraunerden	15,5	17,9
Löß-Gürtel (Lö-Standorte)			R Fahlerden-Staugleye	6,0	4,4
F Rendzinen	0,1	0,1	S Staugleye	5,6	4,6
G Schwarzerden-Griserden	7,2	10,4	T Staugleye-Amphigleye	2,9	4,3
H Fahlerden/Parabraunerden	4,9	6,3	U Rosterden-Ortgleye	4,3	3,2
I Fahlerden/Braunerden- Staugleye	2,2	2,9	Auen und Niederungen (Al-Standorte)		
K Staugleye	1,4	1,9	V Vegas, Halbgleye	5,9	8,3
			W Gleye	6,9	7,6
			X Niedermoore	5,6	7,3

<sup>1</sup> landwirtschaftliche und forstliche

<sup>2</sup> nur landwirtschaftliche

Arealen zu größeren räumlichen Komplexen erstellt worden, d. h. zu mesochorischen Einheiten mit Wiedergabe einer integrierten Form der räumlichen Struktur. Mit ihr wurde das Ziel verfolgt, in umfassender Weise über die in der DDR vorkommenden *Bodengesellschaften* zu informieren und dabei die großräumige Struktur der Bodendecke sichtbar zu machen.

Entsprechend dem Maßstab und den kartographischen Möglichkeiten haben die Kartierungseinheiten auf der o. g. Bodenkarte der DDR eine Mindestgröße von 10 bis 15 km<sup>2</sup>. Es werden insgesamt 138 Kartierungseinheiten unterschieden, deren Inhalt im wesentlichen durch Bodenformengesellschaften bestimmt wird. Diese Bodengesellschaften lassen sich zu 23 Bodentypengesellschaften zusammenfassen (s. Abschn. 4.8.3.). Die Flächenanteile der Bodentypengesellschaften gehen aus Tabelle 5/12 hervor. Eine weitere Aggregation der Gesellschaften ist unter dem Aspekt des regionischen Gesamtcharakters Relief/Sediment möglich, der sich dann in den Standorthauptgruppen/Sedimentationsgürteln widerspiegelt.

Die Darstellung der Kartierungseinheiten auf der Bodenkarte der DDR erfolgt durch Farben, Raster und Symbole. Die Farbabstufung wurde der systematischen Ordnung der Böden angepaßt. Durch Abstufungen in den Farbtönen werden bei gleichen Leitbodenformen unterschiedliche Begleitbodenformen herausgestellt. Mit farbigen und negativen Strich- und Strukturrastern sind weitere Leitbodenformen, bodengenetische Merkmale von Begleitbodenformen, dominierende Substrattypen und räumliche Heterogenitätsgrade gekennzeichnet. Mit dieser Darstellungsform werden auch übergeordnete Gliederungsmerkmale der Bodendecke sichtbar. So ist es z. B. möglich, Gebiete in der regionischen Dimension auf dem Kartenbild zu erkennen. Der Karte wurden eine umfassende Legende in Form einer matrixartigen Tabelle und ein Erläuterungstext beigegeben, die erweiterungsfähig sind.

Mit diesem Kartenwerk existiert ein auf modernsten bodensystematischen und bodengeographischen Erkenntnissen aufbauender Gesamtüberblick über die Böden der DDR, der eine vielseitige Nutzung zu Übersichtszwecken für die verschiedensten Volkswirtschafts-

zweige, so auch für die Land- und Nahrungsgüterwirtschaft, gestattet. Es stellt außerdem eine gute Grundlage für einen internationalen Vergleich der Bodenverhältnisse in der DDR mit denen in anderen europäischen Ländern dar.

## 5.6. Automatisierte Verarbeitung von Standortdaten

### 5.6.1. Grundlagen

Im Komplex aller Maßnahmen zur weiteren Intensivierung und Spezialisierung der Pflanzenproduktion erlangt die effektive Nutzung des Bodens eine immer größere Bedeutung. Damit werden nicht nur an die bodenkundliche Forschung, sondern auch an die Auswertung des anfallenden standortkundlichen Datenmaterials zur Gewinnung umfassender Informationen höhere Anforderungen gestellt. Die bisher angewandten Verfahren und Methoden der Auswertung standortkundlichen Datenmaterials sind in vielen Fällen zu zeitaufwendig und nicht komplex genug. Wertvolle Befunde geraten in Vergessenheit oder liegen auf sogenannten *Datenfriedhöfen*. Standortkundliche Unterlagen für die Planung und Entscheidungsfindung zur qualitativen und quantitativen Beurteilung von Bodeneigenschaften sowie zur Ermittlung der flächenmäßigen Verbreitung standörtlicher Ressourcen müssen künftig kurzfristiger bereitgestellt werden können. Diese Aufgabe kann auch in der Bodenkunde nur mit Hilfe der elektronischen (besser automatisierten) Datenverarbeitung (EDV) gelöst werden. Aus diesem Grunde wird ein (automatisiertes) *Informationssystem* „*Bodenparameter*“ aufgebaut, das sich aus dem Datenspeicher Boden ableitet. Als Kurzbezeichnung wird das Kürzel DABO verwendet.

Der DABO gliedert sich in verschiedene Teilsysteme. Das Teilsystem „*Gemeinden*“ (DABO-GEMDAT) wird bereits voll genutzt. Aus den Teilsystemen „*Profile*“ (DABO-PRODAT) und „*Regionaltypen*“ (DABO-REGDAT; s. Abschn. 5.4.2.) können ebenfalls Daten abgerufen werden; hier geht aber die Einspeicherung sukzessiv weiter.

Zur rationellen Vermittlung von wissenschaftlichen Teilinformationen auf dem Gebiet der Pflanzenproduktion gibt es weitere Datenspeicher bzw. Informationssysteme, die jeweils spezifische Sachverhalte und Fragestellungen zum Inhalt haben (DAWIP, DAVEP, DASKE, EDV-Düngungssystem u. a.). Auch sie schließen Standortparameter mit ein und können daher gleichfalls zur Kennzeichnung und Beurteilung von Böden/Standorten herangezogen werden.

Mit dem Aufbau des DABO wird nunmehr auch im Bereich der Bodenkunde ein Wissenschaftszweig entwickelt, den man als *Informatik* bezeichnet. Unter Informatik ist eine Disziplin zu verstehen, die sich mit den Gesetzmäßigkeiten der wissenschaftlichen Informationstätigkeit befaßt, ihrer Theorie, Methodik und Organisation, um die Aufwendungen für die Lösung wissenschaftlicher Probleme effektiver zu gestalten. Im Rahmen der Informatik werden Struktur und Eigenschaften, nicht der konkrete Inhalt von Fakteninformationen untersucht, wobei besonders auf den Einsatz moderner Rechentechnik orientiert wird. Die Informatik auf dem Gebiet der Bodenkunde (Bodeninformatik) wird durch eine umfassendere und effektivere Vermittlung bodenkundlicher Daten mit Hilfe der EDV wirksam.

Zum Verständnis der weiteren Ausführungen sind nachstehend in der Bodenkunde bisher weniger bekannte Begriffe unter dem Aspekt ihrer edv-bezogenen Verwendung erläutert:

- *Ablochbeleg*: Primärdatenträger mit spezieller Aufbereitung der Daten zum Ablochen
- *Algorithmus*: System mathematischer Regeln, durch die der Ablauf eines Verfahrens für die automatisierte Datenverarbeitung bis in alle Einzelheiten festgelegt ist
- *alphanumerisch*: Darstellung von Informationen in Ziffern, Buchstaben und Sonderzeichen
- *Datei*: Teil eines Datenspeichers mit spezifischem Inhalt; umfaßt eine endliche Folge von Datensätzen gleicher Struktur
- *Datensatz*: Zusammenfassung von Daten, die ein bestimmtes Objekt (z. B. eine Gemeinde, einen Horizont) beschreiben

- **Datenspeicher:** Sammlung mehrerer Dateien, die ein bestimmtes Sachgebiet betreffen, Informationen automatisiert speichern und nach einheitlichen Organisationsprinzipien angelegt sind (wenn diese gekoppelt, d. h. durch ein einheitliches Datenverwaltungssystem koordiniert und über ein Datenzugriffssystem mehreren Nutzern gleichzeitig für beliebige Auswertungen zur Verfügung gestellt werden, spricht man von einer *Datenbank*)
- **Datenträger:** Träger von Informationen: Primärdatenträger sind Karten, Tabellen, Listen, Ablochbelege; Sekundärdatenträger sind Lochkarten, Lochbänder, Magnetbänder u. a.
- **EDVA:** elektronische Datenverarbeitungsanlage (Rechenautomat, Computer)
- **Kürzel:** auf nur wenige Zeichen begrenzte alphanumerische Kennzeichnung von Parametern, Programmen, Sprachen, Dateien u. a.
- **numerisch:** Darstellung von Informationen ausschließlich in Ziffern
- **Parameter, Standort-P.:** Kennwert standörtlichen Sachverhalts
- **Programm:** für die Verarbeitung in einer EDVA formulierter Algorithmus; Unterprogramme sind einfüg- und austauschbare Teile eines Rahmenprogramms
- **Recherche:** Ermittlungen unterschiedlichster Art durch Nutzung eines Datenspeichers bzw. einer Datei
- **Restriktion:** Einschränkung von Parametern in bezug auf die Weiterverarbeitung innerhalb eines Programms
- **Sprache:** künstliche Sprache zur edv-bezogenen Formulierung und Behandlung von Sachverhalten; es gibt maschinenorientierte (Assembler) und problemorientierte Programmiersprachen (z. B. PL/1, ALGOL 60), objektspezifische „Sprachen zur Manipulierung von Datenbeständen“ u. a.
- **Zeichen:** Element aus einer vereinbarten Menge von alphanumerischen oder numerischen Elementen; Darstellung erfolgt durch Schriftzeichen oder – technisch realisiert – durch Lochkombinationen (Lochband), Impulsfolgen (Magnetband)

Bei der automatisierten Datenverarbeitung kann man folgende **Arbeitsstufen** unterscheiden:

**a) Datenbereitstellung**

Arbeitsgänge zur maschinellen Verfügbarkeit von Daten; umfaßt die Datengewinnung (Sammlung der Daten auf Ablochbelegen), die Datenerfassung (Übernahme der Daten vom Ablochbeleg auf maschinenlesbare Datenträger) einschließlich verschiedenster Kontrollen (insb. sachlogische Merkmalskontrolle)

**b) Datenverarbeitung**

Durchführung von Operationen (Such-, Sortier-, Aggregierungsprozesse einschl. statistischer Verrechnungen) mit relativ großen Mengen von Daten bzw. Datensätzen; wird mit Hilfe spezieller Programme bzw. Programmsysteme realisiert

**c) Datenausgabe**

Erstellung auftragsbezogener Drucklisten und/oder maschinenlesbarer Auszüge der eingespeicherten (Primär-) und verarbeiteten (Sekundär-)Daten

Diese Arbeitsstufen spiegeln sich in mehr oder weniger variabler Form in allen nachfolgend erläuterten Datenspeicherprojekten wider.

### **5.6.2. Die Gemeinde-Datei des DABO**

Die Gemeinde-Datei des Informationssystems „Bodenparameter“, in der Kürzelsprache als DABO-GEMDAT, kurz GEMDAT bezeichnet, ist eine arealbezogene Merkmalsdatei. Sie enthält Standortdaten auf der Basis der Gemeinde-/Ortsteilflächen, also administrativer Einheiten, wobei die Daten einer Gemeinde/eines Ortsteils jeweils einen Datensatz bilden. Die GEMDAT umfaßt etwa 17 000 Datensätze, davon 8 000 auf Gemeindeebene. In jedem Datensatz sind maximal 127 Parameter mit 550 Zeichen abgespeichert. Nur die Bodenschätzungsparameter sind auch für Ortsteile erfaßt, alle anderen Parameter liegen ausschließlich für Gemeinden vor.

Das Teilsystem GEMDAT umfaßt neben dem Datenspeicher ein komplexes Programmsystem, das aus einem Verarbeitungsprogramm mit den entsprechenden Auswertalgorithmen, einem Druckprogramm und einem umfangreichen Änderungsdienst besteht.

## **Datenfonds**

Bei den in der GEMDAT abgespeicherten Daten lassen sich zwei Kategorien von Parametern unterscheiden:

- *Bereichsparameter*: Parameter, mit deren Hilfe Gebietsbereiche (Verbreitungsgebiete bestimmter Bodenmerkmale) ausgegrenzt werden können
- *Merkmalsparameter*: Parameter zur Beschreibung des standörtlichen Sachverhalts einer Gemeinde oder eines Ortsteiles, nach denen innerhalb frei wählbarer Gebiete recherchiert werden kann oder durch die sich Gebiete näher charakterisieren lassen.

Fast alle eingespeicherten Parameter haben einen Doppelcharakter, d. h., sie können sowohl Bereichs- als auch Merkmalsparameter sein. Wenn ein Parameter als Gebietsparameter oder als Restriktion verwendet wird, hat er den Charakter eines Bereichsparameters, wenn er der Kennzeichnung dient, den eines Merkmalsparameters. Folgende Parametergruppen sind in der GEMDAT enthalten (*Lieberoth, Schmidt, Adler, 1976*):

- Gebietsparameter nach der administrativen (staatlichen) Struktur: Ortsteile, Gemeinden, Kreise, Bezirke
- Gebietsparameter nach der betrieblichen Struktur: Betriebe der Pflanzenproduktion, ACZ
- Gebietsparameter nach der naturräumlichen Struktur: Naturräumliche Einheiten, geologische Ausgangsgesteine, Klima- und Wasserwirtschaftsgebiete
- Gebietsparameter zur Kennzeichnung der Bodendecke: Bodenregionen und -gesellschaften, NStE, Standort- und Standortregionaltypen
- Spezielle Standortparameter: Relief, Höhenlage, mittlerer Jahresniederschlag und mittlere Jahrestemperatur
- Flächenparameter: Liegenschaftskataster mit maximal 16 Parametern; Flächenangaben der Bodenschätzung für LN, AL und GL
- Bodenschätzungsparameter: mittlere Acker- und Grünlandzahl, Entstehungs- und Bodenarten, Zustands- und Wasserstufen
- Ertragsparameter: Grunderträge von 12 Fruchtarten

Die in die GEMDAT aufgenommenen Informationen entstammen 50 verschiedenen Datenquellen.

## **Datenverarbeitung und Ausdruck der Ergebnisse**

Für die GEMDAT wurde ein problemorientiertes variables Auswertungsprogramm erstellt, um die unterschiedlichsten Fragestellungen eines großen Nutzerkreises abarbeiten zu können. Dazu war die Entwicklung eines spezifischen Algorithmus (d. h. einer Sprache zur Manipulierung bodenkundlicher Datenbestände) notwendig, der einen anwenderfreundlichen Dialog gestattet und auch auf die anderen Teilsysteme des DABO übertragbar ist. Das Projekt wird auf einer EDVA vom Typ ES 1040 (Betriebssystem OS/ES, Kapazität des Hauptspeichers 1024 K Bytes) realisiert.

Für die Nutzung der GEMDAT ist die Kenntnis der möglichen Verarbeitungsgänge wichtig. Unter Verarbeitungsgängen werden alle programmtechnisch berücksichtigten Rechenoperationen (Unterprogramme) verstanden. Folgende Unterprogramme können verwendet werden (*Lieberoth, Adler, I. H. Schmidt, 1977*):

- Die vier Grundrechenarten
- Summation wahlfrei über Koeffizienten reduzierter Parameter
- Umrechnung von relativen in absolute Flächenangaben
- Ermittlung von Anteilen einzelner Teilflächensummen (bezogen auf die Gesamtsumme aller Teilflächen)
- Ermittlung von arithmetischen Mittelwerten, gewogenen arithmetischen Mittelwerten sowie der zugehörigen Standardabweichung, des Variationskoeffizienten und der Varianz
- Häufigkeitsauszählungen mit Ermittlung des Dichtemittels
- Ermittlung von Maxima und Minima



– Ermittlung empirischer Korrelationskoeffizienten und einfacher linearer Regressionen einschließlich Bestimmtheitsmaß

Aus den Verarbeitungsgängen resultieren **Verarbeitungsstufen**. Es werden drei Verarbeitungsstufen unterschieden und die Ergebnisse als **Maßzahl 1 (MZ 1)**, **Maßzahl 2 (MZ 2)** und **Maßzahl 3 (MZ 3)** bezeichnet. Die **MZ 1** ist das Ergebnis der ersten Ver-

Tabelle 5/13

Ausdruck aus der Gemeindedatei des Datenspeichers **Boden (DABO-GEMDAT)**: Beispiel für eine Anfrage zum **Flächenumfang bestimmter NStE (einfacher Nutzungsfall)**

Deckblatt

**AUFTRAG: 117 GEMDAT-DABO FZ MUENCHEBERG, BEREICH BODENKUNDE EBERSWALDE 15. 6. 77**

**WIE GROSS IST DER FLAECHENUMFANG DER NSTE D 1-NORD UND D 1-SUED IM BEZIRK FRANKFURT? AUSDRUCK FUER JEDE GEMEINDE UND FUER DEN BEZIRK INSGESAMT, GEGLIEDERT NACH D 1-NORD UND D 1-SUED.**

	BEREICH	BEREICHS-DEF.	BEREICHSANGABEN
	006 BEZIRK	1	050000 9999999
RESTRIKTIONEN:	002 ZIFFER	NR 11 ( 1),	
	003 GEMTYP	NR 12 ( 99),	
	089 STAEIN	NR 13 (111),	
	089 STAEIN	NR 14 (112)	
MZ 2:	SUMME 2 NR 13 (009 LIAKER),	SUMME 2 NR 14 (009 LIAKER)	

Tabelle I

**117 GEMDAT-DABO FZ MUENCHEBERG, BEREICH BODENKUNDE EBERSWALDE 16. 5. 77**

	089 STAEIN NR 13 111	089 STAEIN NR 14 112
GEMEINDE	009 LIAKER	009 LIAKER
0501010		
0501020		
0501030		
.		
0501190	00022	
.		
0502070		00091
0502080		
0502090		00261
0502100		
0502110		00238
0502120		00329
0502130		00217
.		
0504010	00052	
0504160	00698	

Tabelle II

SUMME 2		SUMME 3			
NR.	ANZ.	WERT	NR.	ANZ.	WERT
13	42	4511			
14	176	18247			

arbeitsstufe, bei der ausschließlich Merkmalsparameter innerhalb eines Datensatzes, also innerhalb einer Gemeinde, verrechnet werden. Die MZ 2 ist das Ergebnis der zweiten Verarbeitungsstufe, bei der ein frei wählbarer Merkmalsparameter über alle Datensätze des Gebietsbereiches verrechnet wird. Die MZ 3 ist das Ergebnis der dritten Verarbeitungsstufe, bei der eine frei wählbare Maßzahl 1 ebenfalls über alle Datensätze des Gebietsbereiches hinweg verrechnet wird.

Der Ausdruck der Ergebnisse erfolgt in Tabellen. Drucklisten werden pro Auftrag erstellt, die nachfolgend anhand eines einfachen Beispiels in Tabelle 5/13 erläutert seien (Lieberoth, Adler, I. Schmidt, 1977):

a) Deckblatt:

Enthält im Kopf die verbale Formulierung des Auftrages, darunter das vereinbarte staatlich begrenzte Gebiet: im vorliegenden Fall der Bezirk Frankfurt/O. = 050000 (Ziffer 9999999 bedeutet ganzer Bezirk); nachfolgend Ausdruck aller vorgegebenen Bedingungen (Restriktionen) zur weiteren Einschränkung des Gebietes und zur Verarbeitung; ZIFFER, GEMTYP (1. und 2. Zeile): nur Gemeinden, nicht Ortsteile verarbeiten; STAEIN (3. und 4. Zeile): nur die Gemeinden berücksichtigen, die zur STAEIN (NStE) NR 13 = D1 Nord und NR 14 (112) = D1 Süd gehören; abschließend unter der jeweiligen Maßzahl (hier MZ2) Aufführung der geforderten Verarbeitungsgänge: Summierung der Flächen, bezogen auf das Ackerland (LIAKER), für STAEIN NR 13 und 14 über alle Datensätze hinweg; anhand dieser Informationen Merkmalsparameter und Verrechnungsergebnisse in Tabelle 1 und 2 erschließbar

b) Tabelle I

Enthält alle geforderten Merkmalsparameter und Verrechnungsergebnisse je Datensatz (Maßzahl 1), geordnet nach aufsteigenden Schlüsselnummern der Gemeinden, im vorliegenden Beispiel die Ackerflächen der Gemeinden, die den STAEIN NR 13 und 14 zugeordnet sind

c) Tabelle II

Enthält die Verrechnungsergebnisse der Verarbeitungsstufen über mehrere Gemeinden (Maßzahlen 2 und 3), d. h. Aggregation innerhalb vorgegebener Gebietsbereiche, im vorliegenden Beispiel Anzahl der einbezogenen Gemeinden und Gesamtflächenumfang in ha je STAEIN; Tabelle II in 5 verschiedenen, standardisierten Formen ausdrückbar

**Nutzung**

Die Nutzung der GEMDAT erfolgt auf der Grundlage des Bausteinprinzips. Kleinster flächenbezogener Baustein ist die *Gemeinde*, für die Daten der Bodenschätzung der Orsteil. Für jede Gemeinde lassen sich zwar unterschiedliche Bodenqualitäten summarisch ausweisen, ihre Lokalisierung und räumliche Verknüpfung innerhalb der Gemeinde ist jedoch

Tabelle 5/14

Recherchetypen der Gemeindedatei des Datenspeichers Boden (nach Lieberoth, Adler, I. H. Schmidt, 1977)

Abruf von Merkmalen	Verarbeitung der Merkmale		
	ohne Flächenberechnungen	mit	mit Ermittlung von Wechselbeziehungen
Ohne Bedingungen	A 1	A 2	A 3
Mit Bedingungen	B 1	B 2	B 3

nicht möglich. Alle zusammenfassenden Daten für Gebiete basieren auf aggregierten Gemeindedaten.

Ein besonderer Vorzug der GEMDAT ist die Möglichkeit der Flächenermittlung. Ein Nachweis verschiedener Nutzungsarten ist ebenso möglich wie die Angabe des Flächenumfanges bestimmter Bodenqualitäten. Die Berechnung aggregierter Daten für größere territorial oder naturräumlich begrenzte Gebiete ist ein wesentliches Hilfsmittel für standortabhängige Planungsvorhaben.

Zur Erleichterung der Nutzung wurde die *Nutzeranleitung* GEMDAT-DABO (FZB Müncheberg, Bereich Bodenkunde Eberswalde, 1976) herausgegeben, die eine Erläuterung des Datenfonds und aller Parameter einschließlich Schlüsselverzeichnis und Angabe der Kürzel, ausführliche Hinweise zur Nutzung sowie Beispiele für den Ausdruck der Resultate enthält. Außerdem wurde ein spezielles Auftragsformular entwickelt.

Um die möglichen Nutzungsformen der GEMDAT aufzuzeigen, wurden sogenannte *Recherchetypen* gebildet. Recherchetypen sind problemorientierte Algorithmen der Nutzung, die sowohl eine inhaltliche Typisierung des Informationsbedarfes darstellen als auch die Hauptformen der Abarbeitungsmöglichkeiten widerspiegeln. Es werden, wie in Tabelle 5/14 aufgezeigt, 6 Recherchetypen unterschieden, die sich zu zwei Haupttypen zusammenfassen lassen:

– *Haupttyp A*, einfache Recherche: Merkmalsabruf ohne Bedingungen, d. s. Recherchen in territorial begrenzten Gebieten, z. B. Gruppen von Gemeinden (z. B. Betriebe), Kreise, Bezirke oder die DDR insgesamt

– *Haupttyp B*, komplexe Recherche: Merkmalsabruf mit Bedingungen, d. s. Recherchen in naturräumlich begrenzten Gebieten auf der Basis von Restriktionen innerhalb territorial begrenzter Gebiete (Recherchen nach Gebietsausgrenzung)

Nachfolgend sind zwei Beispiele für die oben angeführten Recherchetypen gebracht:

– *Recherchetyp A3*: Ermittlung der korrelativen Beziehungen zwischen dem Anteil der Bodenarten sL + L und dem Grundertrag bei Winterweizen sowie Zuckerrüben in den Gemeinden des Bezirkes Schwerin zwecks weiterer Optimierung der Standortverteilung dieser Fruchtarten

– *Recherchetyp B2*: Ermittlung des Umfanges der Ackerflächen innerhalb der 3 Nordbezirke mit 50–65 %, 66–80 % und > 80 % Sandanteil (S+Sl), getrennt nach den natürlichen Standorteinheiten D1 und D2 mit < 5 % Grünlandanteil, als Grundlage für eine Studie zur Deckung des Bedarfs an organischer Substanz

### 5.6.3. Die Profil-Dateien des DABO

Die Profil-Dateien des Informationssystems „Bodenparameter“, in der Kürzelsprache als DABO-PRODAT, kurz PRODAT bezeichnet, sind geländepunktbezogene Merkmalsdateien. Sie enthalten Standortdaten von Bodenformen auf der Basis von Profilen, wobei die Daten eines Horizontes (Horizont-Datei) bzw. einer Tiefenstufe (Tiefenstufen-Datei) jeweils einen Datensatz bilden. In jedem Datensatz können bis zu 155 Parameter abgespeichert werden. Auch das Teilsystem PRODAT enthält ein komplexes Programm, das nicht nur die automatisierte Speicherung der Feld- und Labordaten, sondern auch deren Weiterverarbeitung sowie den Druck- und Änderungsdienst umfaßt.

Wichtigste Voraussetzung für die Entwicklung dieses Projektes war die Standardisierung der Profilaufnahme und der Bodenuntersuchungsmethoden (s. Abschn. 5.1.). Der Datenfonds der PRODAT umfaßt:

– Allgemeine Angaben zum Gesamtprofil: Ort, Betrieb, Koordinaten, Aufnahmezeitpunkt; Boden-, Standort- und Naturräumliche Einheiten; geologische, hydrologische, Relief- und Bodenschätzungsparameter

– *Morphologische Profilmerkmale* für jeden Horizont: Horizontbezeichnung, Tiefenlage des Horizontes, Schichtung, Steingehalt, Gewinnungsklasse; Hydromorphiegrad, Farbe, Feuchte, Gefüge, Festigkeit; Flecken, Bänder, Konkretionen

– *Chemische Analysendaten* für jeden Horizont: Karbonatgehalt, Kohlenstoffgehalt, alle wichtigen Haupt- und Spurenelemente, Gehalt an löslichen Fraktionen; austauschbare Kationen, S-, T-, V- und pH-Wert

– *Physikalische Analysendaten* für jeden Horizont: Kornfraktionsanteile, Körnungsart; Porenvolumen, Hygroskopizität;  $k_f$ -Wert, Saugspannungs-, Feldkapazitäts-, Dichte- und Konsistenzwerte

Da die Anzahl der untersuchten Parameter je nach Untersuchungsziel unterschiedlich sein kann, wurden sog. **Intensitätsstufen** für die Einspeicherung gebildet. Unter Intensitätsstufen wird eine Gruppierung der Profile nach ihrer Merkmalsbesetzung verstanden. In der Intensitätsstufe 1 sind die Profile mit dem kleinsten, in der Stufe 3 mit dem größten Analysenspektrum vertreten. Die Intensitätsstufen haben in erster Linie für die Reduzierung des Rechercheaufwandes Bedeutung. Es wurde damit die Möglichkeit geschaffen, bei Nutzungsaufträgen nur solche Profile in Sortier- und Auswertungsvorgänge einzubeziehen zu müssen, bei denen die gewünschten Merkmale zu erwarten sind.

Von jedem Bodenprofil können die Daten in folgender Form abgerufen werden:

– *Bezugsebene Horizont*: Abruf der Daten nach Horizonten (Horizont-Datei)

– *Bezugsebene Tiefenstufe*: Abruf der Daten nach metrischen Tiefenstufen „0–3 dm“ (meist Ap), „3–6 dm“, „6–10 dm“ und „0–10 dm“ (Tiefenstufen-Datei)

Die Daten für Tiefenstufen werden schon bei der Einspeicherung aus denen der Horizonte automatisiert berechnet und in Tiefenstufen-Datensätzen zusammengestellt. Ein weiterer Vorteil des Teilsystems PRODAT ist die automatisierte Berechnung von Gesamtmengen (Masse pro Horizont und Tiefenstufe). Damit können für Parameter, wie z. B. Humusgehalt, Gehalte an Nährelementen, Speicherwerte für Bodenwasser, nicht nur die prozentualen Gehalte (Konzentrationswerte: Ma.-%, Vol.-%, mg/100 g, ppm, mval/100 g, m/d), sondern auch die absoluten Mengen (z. B. kg/ha und Horizont oder Tiefenstufe) ausgegeben werden. Voraussetzung dafür ist allerdings die Einspeicherung von Dichtewerten (Porenvolumen oder  $\rho_d$  – s. Abschn. 6.4.2.).

Grundsätzlich können auch bei der PRODAT Recherchetypen unterschieden werden. Als Haupttypen kommen folgende in Frage:

– *Einfache Recherche*: Sortierung und Verarbeitung der Daten ausschließlich nach Horizonten oder Tiefenstufen unabhängig vom Verbreitungsgebiet

– *Gebietskennzeichnung*: Sortierung und Verarbeitung der Daten nach Horizonten und Tiefenstufen innerhalb vorgegebener (natürlich oder territorial begrenzter) Gebiete

Mit Hilfe der PRODAT ist erstmalig eine komplexe Auswertung der in den verschiedensten Institutionen vorliegenden Daten von Bodenschürfen möglich. Voraussetzung dafür ist die weitere zentrale Sammlung der Ergebnisse von Profiluntersuchungen. Gerade in bezug auf Profilanalysen gibt es einen unübersehbaren Datenfriedhof, den es mit seinen wertvollen Untersuchungsergebnissen nutzbar zu machen gilt. Über die PRODAT ist eine schnelle und umfassende analytische Kennzeichnung von Bodenformen innerhalb vorgegebener Gebiete – insgesamt und untergliedert nach Horizonten/Tiefenstufen – möglich. Es können Summen, Differenzen, Mittelwerte einschl. Streuung, Maxima und Minima, Häufigkeiten sowie einfache lineare Regressionen ermittelt werden. Die Ergebnisse lassen sich direkt oder in Form von Richtwerten als Eingangsgrößen für andere Projekte nutzen.

Sekundärauswertungen mittels PRODAT werden zu einem höheren ökonomischen Nutzen, insbesondere hinsichtlich der aufwendigen Probenentnahmen und Laboruntersuchungen führen. Ihr Einsatz wird deshalb dazu beitragen, die Anzahl der profilbezogenen Bodenuntersuchungen einzuschränken. Dieses Ziel wird nicht zuletzt auch durch die Nutzung korrelativer Beziehungen, für die es mit einem begrenzten Datenmaterial schon eine Reihe guter Beispiele gibt, erreicht werden können.

#### 5.6.4. Bodenkundliche Parameter in anderen Datenspeichern

Außer dem DABO gibt es im Bereich der Pflanzenproduktionsforschung noch weitere Informationssysteme/Datenspeicher, deren Datenfonds standortbezogene Parameter enthält. Mit jedem dieser EDV-Projekte wird eine spezifische Zielstellung verfolgt, wobei dem Boden/Standort jeweils nur als Randbedingung in unterschiedlicher Weise Rechnung getragen wird.

##### **Datenspeicher „Witterung-Pflanzenproduktion“**

Der Datenspeicher „Witterung-Pflanzenproduktion“ (DAWIP) ist ein EDV-Projekt für meteorologische und phänologische Daten, mit dessen Hilfe sowohl deren automatisierte Speicherung als auch maschinelle Verarbeitung durchgeführt werden kann. Die abgespeicherten Daten stammen von insgesamt 85 Klimastationen, 1400 Niederschlagsmeßstellen und 1300 phänologischen Stationen aus dem Beobachtungsnetz des Meteorologischen Dienstes der DDR und der landwirtschaftlichen Versuchsstationen ab 1967/69. Die Abspeicherung wird in Einzelwerten je Tag vorgenommen, geordnet nach einem zeitlichen (Jahr), räumlichen (Station) und sachlichen (Element) Aspekt.

Im DAWIP sind folgende meteorologischen (Standort-)Elemente abgespeichert (Großmann, Held, Künkel, 1976):

- Niederschlag: Tagessumme
- Lufttemperatur: Tagesmittel, -minimum, -maximum in Erdbodennähe, 13.00-Uhr-Wert
- Relative Luftfeuchte: Tagesmittel, 13.00-Uhr-Wert
- Sättigungsdefizit: 13.00-Uhr-Wert
- Windgeschwindigkeit: Tagesmittel, 13.00-Uhr-Wert
- Dampfdruck: Tagesmittel
- Sonnenscheindauer und Globalstrahlung: Tagessumme
- Schneedecke: Höhe 7.00-Uhr-Wert, Wassergehalt
- Erdbodentemperatur: 1.00-, 7.00-, 13.00-, 19.00-Uhr-Wert jeweils in 5 und 10 cm Tiefe; 13.00-Uhr-Wert auch in 20 und 50 cm Tiefe

Die Verdichtung der Daten wird wie beim DABO durch mathematisch-statistische Maßzahlprogramme erreicht (Großmann, Held, Künkel, 1976):

- *Berechnung der Maßzahl 1*: Verdichtung eines Elements der gleichen Station für ein Jahr oder zwei Folgejahre; Unterteilung in gewünschte Meßzeiträume (Pentaden, Dekaden, Monate, Jahre, Intervalle) möglich
- *Berechnung der Maßzahl 2*: Verdichtung von Maßzahl-1-Werten über Orte oder über mehrere Jahre (Mittelwert- und Zeitreihenbildung)
- *Berechnung des Elementes NEU*: Ermittlung neuer Elemente, wie z. B. potentielle Verdunstung, klimatische Wasserbilanz u. a.

Der DAWIP ist vom standortkundlichen Gesichtspunkt besonders für die Kennzeichnung und Klassifikation landwirtschaftlicher Standorte (Klimarayonierung) sowie für die Kennzeichnung von Bodennutzungstypen einsetzbar. Darüber hinaus wird er vor allem zur Interpretation von Feldversuchsergebnissen, zur Rayonierung von Fruchtarten und zur Ermittlung des Witterungseinflusses auf Intensivierungsmaßnahmen genutzt.

##### **Datenspeicher „Versuchsergebnisse – Pflanzenproduktion“**

Der Datenspeicher „Versuchsergebnisse – Pflanzenproduktion“ (DAVEP) ist ein EDV-Projekt zur primären (DVK1) und sekundären (DVK2) Auswertung von Feldversuchsergebnissen. Bei den sekundären Auswertungen kann er unabhängig von den Pflanzenarten, Analysemethoden, Prüfmerkmalen und ehemaligen Fragestellungen genutzt werden. Das Projekt wird auf einer EDVA vom Typ ESER realisiert.

Folgende Standortparameter werden im Rahmen des DVK 1 von allen Versuchsstandorten

erfaßt, abgespeichert und somit für die Auswertung, insbesondere für standortbezogene Recherchen, verfügbar gehalten (TGL 31221):

– *Versuchslegende I*: Gemeinde-Nr., konstante Faktoren des Versuchsortes (Klimagebiet, Natürliche Standorteinheit, Anbauggebiete nach Sorten u. a.), konstante Faktoren der Versuchsfläche (Höhenlage, Hangneigung, Exposition, Bodenform, Ergebnis der Bodenschätzung, Ergebnis der systematischen Bodenuntersuchung, Grundwasserstand am 1.4., Vernässungsgrad)

– *Versuchsortlegende*: Gemeinde-Nr., Plankoordinaten, Höhenlage, Natürliche Standorteinheit, Kennzeichnung der Böden (unter Berücksichtigung von Bodentyp/-subtyp, Bodenform, Bodenart der Bodenschätzung), Klimagebiet, Phänogegebiet und Anbauzone

Erfassung, Abspeicherung und Datenaufbereitung oben genannter wie auch aller anderen Parameter sind so organisiert, daß die Angaben zur Versuchslegende sowohl für den Ausdruck vollständiger alphanumerischer Versuchsberichte als auch für sekundäre Auswertungen zur Verfügung stehen.

### **Datenspeicher „Schlagbezogene Kennzahlen“**

Der Datenspeicher „Schlagbezogene Kennzahlen“ (DASKE) ist ein EDV-Projekt zur rationalen Gewinnung, Speicherung, Auswertung und zur gezielten Informationsvermittlung schlagbezogener Kennzahlen für die sozialistischen Landwirtschaftsbetriebe.

Grundlage der Datenerfassung bildet die edv-gerechte Schlagkartei. Die Schlagkartei ist nach dem Baukastenprinzip aufgebaut und umfaßt maximal 11 Dokumentationskarten für jeden Schlag: Schlagkarte 1 = Schlagübersicht, 2 = Grunddaten, 3 = Periodische Daten, 4 = Produktionsdaten allgemein, 4.1–4.5 = Produktionsdaten speziell, 5 = Maßnahmen im Produktionsverfahren, 6 = Pflanzenschutzkarte. Unter standörtlichem Aspekt hat vor allem die Schlagkarte 2 – Grunddaten – besondere Bedeutung. Über sie werden folgende Standortdaten erfaßt und in Verbindung mit den Produktionsdaten einer gezielten Auswertung zugänglich gemacht (Kühn u. Autorenkoll., 1979):

– Klimazone  
– Phänozone  
– Hangneigungsflächentyp,  
Anteile bestimmter  
Hangneigungen  
– Standorttyp,  
Substratflächentyp,  
Hydromorphieflächentyp  
und Vernässungsstellen

– Bodenformen  
– Klassenfläche der  
Bodenschätzung,  
Bodenzahlen  
– Bodengruppe DS 79,  
Geologische Herkunft,  
Feinanteil (<6  $\mu\text{m}$ )  
– Mächtigkeit der Ackerkrume

Die standortbezogene Auswertung der Schlagkartei über den DASKE muß in Verbindung mit anderen standortkundlichen Unterlagen erfolgen, insbesondere in Kombination mit DABO-PRODAT, DABO-GEMDAT und DABO-REGDAT (Ergebnisse der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung). Auf diese Weise wird es möglich sein, insbesondere die Fruchtfolge- und Düngungsplanung, die Durchführung von Intensivierungsmaßnahmen sowie ganz allgemein den Leistungsvergleich in der Pflanzenproduktion besser als bisher auf die natürlichen Produktionsbedingungen abstimmen zu können.

### **EDV-gestützte „Düngungsempfehlung DS 79“**

Unter „Düngungsempfehlung DS 79“ (Düngungssystem 1979) ist ein komplexes Programm zu verstehen, mit dessen Hilfe gezielt erhobene Daten über EDV-gestützte Berechnungen in Vorschläge für den optimalen Düngereinsatz umgesetzt werden. Es können schlagbezogene Empfehlungen für > 50 Nutzungs- und Fruchtarten ausgegeben werden.

Das EDV-Programm DS 79 umfaßt zwei Teilprogramme mit folgenden Ausgabeinformationen (Autorenkollektiv):

- *Mineraldüngung* mit schlagbezogenen Angaben zur Makronährelementdüngung (N, P, K, Mg, Ca) und Mikronährelementdüngung (B, Cu, Mo, Mg, Zn) sowie Aussagen zur N-Düngung im Frühjahr und zur Bilanz der organischen Substanz
- *Organische Düngung* mit Angaben zum Anfall an organischen Düngern, zur Strohbilanz, zum schlagbezogenen Einsatz organischer Düngerstoffe und zur Bilanz der organischen Substanz

Aus den o. g. Teilen des DS 79 lassen sich unterschiedliche Berechnungsmöglichkeiten für Düngereinsatz und Anwendung der Empfehlungen ableiten, die als Berechnungstypen bezeichnet werden (TGL 25830):

- Mineralische Düngung (Makro- und Mikronährelementdüngung)
- organische Düngung
- organische und mineralische Düngung
- Mikronährelementdüngung
- Anfall der organischen Dünger
- Zusatzberechnung der N-Düngung im Frühjahr
- Strohbilanz

Für alle Teilprogramme werden die Eingabedaten in speziellen Belegformularen erfaßt. Auf der Grundlage dieser Kenndaten sowie von Produktionsfunktionen und Nährstoffbilanzen werden mit Hilfe von kybernetischen Methoden und spezifischer Bewertungsverfahren optimierte Zielgrößen ermittelt. Das Gesamtprojekt wird auf einer EDVA vom Typ ESER realisiert.

Unter den Eingabedaten zur Berechnung der Düngungsempfehlungen sind für den Bodenkundler insbesondere die standortbezogenen Angaben von Bedeutung, zu denen Phänozone, Klimazone, Bodengruppe des Düngungssystems (s. Abschn. 4.4.2.), Natürliche Standorteinheit, Geologische Herkunft, Humusgehalt und die Ergebnisse der Systematischen Bodenuntersuchung gehören.

Beim Düngungssystem werden unter Berücksichtigung von Phänozone, Klimazone und Bodengruppe auf dem Ackerland insgesamt 52, auf dem Grünland 72 Standorte unterschieden. Die Düngungsvorschläge werden auf der Grundlage dieser Standortdifferenzierung sowie spezieller ackerbaulicher, betrieblicher und ökonomischer Daten erarbeitet.

## **5.7. Komplexe Auswertung für die Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit**

Gewinnung und Auswertung von Standortdaten dürfen nicht nur im Zusammenhang mit Einzelmaßnahmen gesehen, sie müssen auch in den Gesamtkomplex der Maßnahmen zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit eingeordnet werden. Die Standorteigenschaften bilden wesentliche Grundlagen für die Ausgrenzung von Bodennutzungstypen und die Quantifizierung der Bodenfruchtbarkeit über Kennziffern. Die Kenntnis der Bodennutzungstypen und der Bodenfruchtbarkeitskennziffern ist Voraussetzung für die Erarbeitung von Typenlösungen zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit. Eine wesentliche Hilfe wird dabei durch die Auswertung der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) gegeben, durch die fundiertere Aussagen als bisher

- zur Standorteignung,
- zur standortbedingten Begrenzung des Technikeinsatzes und
- zum Einsatzumfang aller Maßnahmen

erhalten werden können.

### **Bodennutzungstypen**

Beim Übergang zu industriemäßigen Verfahren der Pflanzenproduktion in spezialisierten landwirtschaftlichen Betrieben müssen neue Wege zur Reproduktion der Bodenfrucht-

Tabelle 5/15

Übersicht über die spezialisierten Bodennutzungstypen der industriemäßigen Pflanzenproduktion (nach *Kundler*, 1978)

Bodennutzungstyp (BNT)	Anbau- verhältnis [%]	Zielerträge, z. B. bei StG	[dt/ha]
Getreide	100	2	35
Getreide – Raps	75/25	3	46/30
Getreide – Mais	75/25	9	55/110
Kartoffeln – Getreide – Gras	33/33/33	2	300/52/110
Kartoffeln – Getreide	25/75	2	220/37
Zuckerrüben – Getreide – Gras	33/33/33	9	450/58/130
Zuckerrüben – Getreide	25/75	3	380/46

StG = Standortgruppe (s. Abschn. 4.8.4.)

barkeit eingeschlagen werden. Die dafür ausgearbeiteten modernen Lösungen werden als *Rahmenlösungen zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit* bezeichnet. Alle auf diese Zielstellung ausgerichteten Verfahren basieren auf den Bodennutzungstypen der industriemäßigen Pflanzenproduktion. Bodennutzungstypen (BNT) sind die Grundformen der spezialisierten Nutzung des Bodens (s. Tab. 5/15). Die nach einem Bodennutzungstyp einheitlich zu bewirtschaftende Fläche kann je nach Standort und Produktionserfordernissen mehrere Pflanzenproduktionsbetriebe oder auch nur Teile eines Betriebes umfassen. Bestimmungsgründe sind der volkswirtschaftliche Bedarf an pflanzlichen Erzeugnissen, die natürlichen Standortbedingungen, die vorhandenen oder zu errichtenden industriellen Anlagen der Tierproduktion, die erforderlichen Aufbereitungs-, Lagerungs- und Verarbeitungsanlagen für pflanzliche Erzeugnisse sowie das gesellschaftliche Arbeitsvermögen im Territorium.

### **Bodenfruchtbarkeitskennziffern**

Die als Bestimmungsgrund für die Bodennutzungstypen o. g. natürlichen Standortbedingungen werden allgemein über die Standorteinheiten (s. Abschn. 4.8.4.), im speziellen aber über die Bodenfruchtbarkeitskennziffern (BFK) berücksichtigt. Die Standorteinheiten ermöglichen eine Differenzierung der komplexen Verfahren zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit nach den Standortverhältnissen. Durch die Bodenfruchtbarkeitskennziffern werden Bodeneigenschaften und Bodenzustand quantifiziert. Die Kennziffern sind daher Meßgrößen der Bodenfruchtbarkeit. Ihre Kenntnis ist nicht zuletzt auch deshalb notwendig, weil bei jedem Bodennutzungstyp spezifische Anforderungen hinsichtlich der Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit bestehen.

Nach der möglichen zeitlichen Steuerung der Bodenfruchtbarkeit werden drei Gruppen von Bodenfruchtbarkeitskennziffern unterschieden (*Kundler*, 1978):

– *Für die Planung und Projektierung von Meliorationen* (langfristige Steuerung): Ton- und Schluffgehalt in Krume und Unterboden; Rohdichte; Nutzwasserkapazität, Wasserdurchlässigkeit, Luftkapazität, Gehalt an organischer Substanz und pH-Wert im Unterboden; Steingehalt in der Krume; Hangneigung, Heterogenität (Störareale), Besatz mit Flurhindernissen, Schlaggröße und Schlagform

– *Für die Bemessung ackerbaulicher Maßnahmen* (mittelfristige Steuerung): Gehalt an verfügbaren Nährelementen (P, K, Mg und Mikroelemente), pH-Wert, Gehalt an organischer Substanz, Rohdichte und Besatz an bodenbürtigen Schaderregern in der Krume; Mächtigkeit der Ackerkrume



– Für die Bemessung operativer Maßnahmen (kurzfristige Steuerung): Gehalt an anorganischem Stickstoff im Boden; Bodenfeuchtegehalt bei Beregnung, Grundwasserstand bei Grundwasserregulierung

Die Bodenfruchtbarkeitskennziffern müssen in Abhängigkeit von der Zielstellung für verschiedene Tiefenstufen (vgl. auch Abschn. 5.6.3.) ermittelt werden. Außerdem sind nicht nur die Ist-, sondern in zunehmendem Maße auch Sollwerte, differenziert nach Bodennutzungstypen, von Interesse. Da sich die Bodenfruchtbarkeitskennziffern auf heterogene Flächeneinheiten, z. B. Schläge, beziehen, müssen neben den Mittelwerten auch deren Schwankungsbereiche angegeben werden. In ihnen spiegelt sich das Ausmaß der inhaltlichen und räumlichen Heterogenität wider.

Besondere Bedeutung für die weitere Vervollkommnung der Bodenfruchtbarkeitskennziffern hat die Fixierung von Differentialkriterien der Standorteinheiten bezüglich produktionsbeeinträchtigender Störfaktoren. Sie lassen sich aus Eigenschaften der Bodenformen (vgl. Tab. 5/7), der Bodendecke und aus dem Relief ableiten. Dafür einige Beispiele (Lieberoth, 1976):

- kurzer Bearbeitungszeitraum bei tonigen Oberbodensubstraten („Minutenböden“)
- Klutenbildungsgefahr bei lehmigen und tonigen Oberbodensubstraten
- größere Mächtigkeit der Vermullungshorizonte bei Niedermooren
- hoher Steingehalt in der Krume bei Glaziär- und schutthaltigen Sedimenten
- Stauvernässung bis in die Krume bei Vollstaugleyen
- geringes Nährstoff- und Wasserspeichervermögen bei durchgehend sandigen Substraten
- geringe Wasserbeweglichkeit, insb. verzögerte Versickerung, bei tonigen Substraten (Haftvernässung)
- Isolierzonen bezüglich Wassertransport und Gasaustausch durch „verlassene Krumenhorizonte“ (das sind z. B. ehemals vom Dampfpflug erfaßte, heute nicht mehr in die Beackerung einbezogene Teile des Oberbodens), bei Löß-Schwarzerden u. a. Böden
- größere Mächtigkeit wurzelfeindlicher Horizonte im Anschluß an die Krume bei bestimmten Fahlerden und Staugleyen (Auslösung von „Schockreaktionen“)
- spezifische Verdichtungszone unterhalb der Krume bei Staugleyen, Berglehmsubstraten u. a.
- Steinsohlen unterschiedlicher Tiefenlage bei sandigen Glaziärsubstraten
- stärkere räumliche Heterogenität der Bodendecke in Landschaften mit stark wechselnden geologischen Deckschichten
- Durchragungen von Festgesteinen bei Bergsubstraten und Decklößen (flachgründige Böden)
- Durchragungen des sandigen Untergrundes bei tonigen Decksubstraten des Oderbruchs (Schrindstellen)
- verstärktes Auftreten von Sammelwasser, vernäßten Senken und Söllen in bestimmten Landschaften
- stärkeres Zerschneidungsrelief und stärkeres Auftreten von Steilstellen in Landschaften mit unruhigem Relief

Die ständige Präzisierung der Bodenfruchtbarkeitskennziffern bleibt auch in Zukunft eine wichtige Aufgabe. Sie kann nur im Zusammenwirken aller Disziplinen der Bodenfruchtbarkeitsforschung gelöst werden. Dabei wird der Einsatz von Datenspeichern als Rationalisierungsmittel weiter an Bedeutung gewinnen.

## 6. Fruchtbarkeitsbestimmende Eigenschaften und Vorgänge im Boden

### 6.1. Ionenaustausch

Die Bindung bestimmter Stoffe im Boden, insbesondere der Nährelemente und des Wassers, erfolgt an der Oberfläche der festen Bodenteilchen. Deshalb gehören die Böden zu den oberflächenaktiven Systemen. Die Reaktionen gehen vorwiegend an denjenigen Teilchen vor sich, die im Verhältnis zu ihrem Volumen die größte Oberfläche besitzen, d. s. die feinsten Teilchen, die sogenannten *Bodenkolloide* (grch./lat.: feinzerteilte Stoffe). In der physikalischen Chemie wird die Grenze zwischen grobdispersen und kolloiddispersen Stoffen im allgemeinen bei  $0,1 \mu\text{m}$  gezogen, in der Bodenkunde rechnet man bereits alle Teilchen  $< 2 \mu\text{m}$  dazu, also die Kornfraktion Ton (im ausländischen Schrifttum zur Unterscheidung von den eigentlichen Tonmineralen als „physikalischer Ton“ bezeichnet). Zu den Bodenkolloiden gehören im wesentlichen die Tonminerale, feinzerteilte andere Minerale sowie die kolloidalen Sesquioxide und Huminstoffe.

Mit dem kolloiden Charakter des Bodens sind nicht nur die Vorgänge der Nährelementverbindung und -transformation gekoppelt, sondern auch zahlreiche andere spezifische Eigenschaften des Bodens, die in den Abschnitten 6.4. und 6.5. beschrieben werden.

#### 6.1.1. Physikochemische Grundlagen

Die Bodenkolloide haben die Fähigkeit, feste (Ionen), flüssige (Wasser) und gasförmige (z. B. Sauerstoff) Komponenten zu adsorbieren (lat., anlagern). Wenn trockene Kolloidoberflächen Gase (z. B. Luft) anlagern, führt das zu einer schwereren Benetzbarkeit des Bodens. Wassermoleküle werden infolge ihres Dipolcharakters wie auch dampfförmig, Ionen auf Grund ihrer entgegengesetzten Ladung adsorbiert. Die Anlagerung führt zu einer Konzentration des adsorbierten Stoffes im unmittelbaren Bereich der Kolloide. Sie ist durch Haupt- und Nebenvalenzkräfte bedingt, wobei Energie in Form von Adsorptionswärme freigesetzt wird.

#### Adsorption und Desorption

Unter dem Aspekt der Fähigkeit der Bodenkolloide, bestimmte Ionen (grch., wandernde Teilchen) nicht nur festzuhalten, sondern auch gegen andere in äquivalenten Mengen (in gleichen Anteilen bezogen auf die Wertigkeit) abzugeben, also auszutauschen, werden sie *Austauscher* (Sorbenten, Sorptionskomplexe) genannt. Den Vorgang der Anlagerung bezeichnet man als Adsorption, den der Abgabe als Desorption und die Wechselwirkung beider als Austausch.

Adsorption und Desorption beruhen auf folgenden physikochemischen Vorgängen:

##### a) Ionenbildung

Fähigkeit der Atome und Moleküle, in Lösungen positiv (Kationen) oder negativ (Anionen) geladene Teilchen zu bilden

##### b) Ausbildung eines elektrischen Feldes

Fähigkeit der Austauscher, so viele entgegengesetzt geladene Ionen an der Oberfläche zu

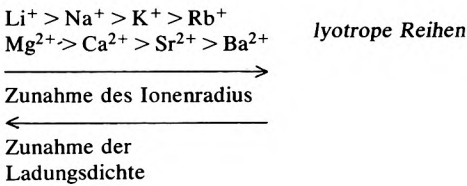
binden, bis sie elektrisch neutral sind; dabei Ausbildung eines elektrischen Feldes, der sog. *elektrischen Doppelschicht*, die sich bei Bodenkolloiden aus der negativ geladenen Oberfläche des Austauschers und den adsorbierten Gegenionen in Form eines „Kationenschwarms“ (höhere Kationenkonzentration) zusammensetzt; Ansammlung der kolloidnächsten, streng lokalisierten und relativ unbeweglichen Kationen (sog. Stern-Schicht) wird als Ionenbelag des Austauschers oder als *Innenlösung* bezeichnet; Haftfestigkeit der adsorbierten Ionen nimmt proportional mit der Entfernung zur Austauschoberfläche ab, sie ist in der umgebenden Bodenlösung, auch *Außenlösung* genannt, in Form einer regellosen Verteilung der Ionen völlig aufgehoben

c) Brownsche Teilchenbewegung

Fähigkeit der Ionen, sich zwischen Außen- und Innenlösung in Abhängigkeit von ihrer Aktivität und ihrem Diffusionsvermögen zu bewegen; Aktivität korreliert mit Wertigkeit und Hydratation; Diffusion ist das Bestreben der Ionen, sich infolge der Wärmebewegung in Flüssigkeiten gleichmäßig auszubreiten; Diffusionsgeschwindigkeit hängt ab von Ionen-durchmesser und Temperatur

d) Hydratation

Die Fähigkeit der elektrisch neutralen Wassermoleküle, infolge ungleichmäßiger Ladungsverteilung zu polarisieren, d. h. einen negativen und einen positiven Ladungsschwerpunkt zu bilden (Dipolcharakter des Wassers), führt zur Anlagerung der Wassermoleküle an die Oberfläche der Kationen als Hydrathülle (s. Abb. 6/1); Hydratation wird beeinflusst von der Ladungsdichte und damit Wertigkeit und Radius der Ionen (Ladungsdichte steigt mit zunehmender Wertigkeit und sinkendem Radius):



Je höher die Ladungsdichte, um so größer die Anzahl der angezogenen Wassermoleküle (gemessen als *Hydrationszahl*) bzw. die *Hydrationsenergie* (gemessen in kJ/Mol)

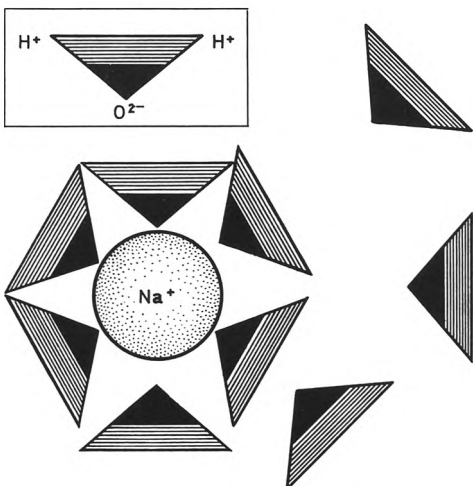
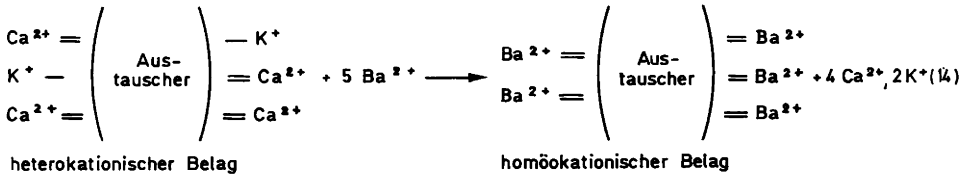


Abb. 6/1  
Schematische Darstellung eines hydratisierten Kaliumions

## Umkehrbarkeit des Austausches

Die Adsorption der Ionen ist i. d. R. reversibel (lat., umkehrbar). Bei der nichtselektiven Adsorption (s. u.) können sie wechselseitig ausgetauscht werden. Durch Gleichgewichtsverschiebungen zwischen Austauscher und Bodenlösung ad- und desorbierte Ionen bezeichnet man als (leicht) *austauschbar*. Der Austausch der Ionen kann für analytische Bestimmungen auch künstlich durch Zugabe von Salzlösungen herbeigeführt werden:



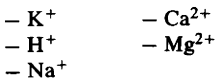
Das Barium verdrängt hierbei alle anderen Kationen am Austauscher, Kalium und Kalzium wechseln in die Außenlösung über. Der Austausch erfolgt in äquivalenten Mengen.

Als nicht bzw. *schwer austauschbar* bezeichnet man diejenigen Ionen, die so fest am Bodenkolloid gebunden sind, daß sie durch Extraktionsmittel bei Raumtemperatur in einem begrenzten Zeitraum nicht herausgelöst werden können. Der Übergang von leicht in schwer austauschbare Ionen ist meist fließend.

Je nach Ladung des Austauschers ist eine Adsorption sowohl von Kationen als auch von Anionen möglich. Da die Bodenkolloide vorwiegend negativ geladen sind, spielt der Kationenaustausch eine größere Rolle.

### 6.1.2. Kationenaustauschkapazität und austauschbare Kationen

Mengenmäßig sind die wichtigsten austauschbaren Kationen im Boden:



Hinzu kommen  $\text{Al}^{3+}$  und  $\text{NH}_4^+$  sowie in kleineren Mengen Kationen des Eisens, des Mangans und der Mikroelemente, wie z. B. Kupfer und Zink. Diese Ionen bilden im wesentlichen den Kationenbelag des Bodens. Die Summe der zuerst genannten 5 Kationen wird als Maß für die Menge der austauschbaren Kationen verwendet und als *Kationenaustauschkapazität* (KAK, Sorptionskapazität) bezeichnet. Die Angabe erfolgt in mval/100 g Boden. Milliäquivalente (mval) sind wie folgt definiert (vgl. Abschn. 6.2.2.):

$$\text{mval} = \frac{\text{Atom- bzw. Molekulargewicht}}{\text{Wertigkeit}} \cdot 10^{-3} \text{ g} \quad (15)$$

So entsprechen z. B. einem mval Magnesium  $\frac{24,3}{2} \cdot 10^{-3} \text{ g} = 12,15 \text{ mg Mg}$ , einem mval Kalium  $\frac{39,1}{1} \cdot 10^{-3} \text{ g} = 39,1 \text{ mg K}$ . Wenn ein Boden eine KAK von 12,5 mval/100 g hat, von der 4% durch Kalium abgesättigt sind, so entspricht das  $0,5 \text{ mval} = 39,1 \cdot 0,5 = 19,55 \text{ mg K}$  je 100 g Boden.

Die Bestimmung der KAK (ältere Bezeichnung *T-Wert*) erfolgt i. d. R. durch Austausch des Kationenbelages mittels einer auf pH 8.2 gepufferten Bariumchlorid-Triäthanolamin-Lösung (Methode *Mehlich*). Das Barium verdrängt alle adsorbierten Kationen in äquivalenter Menge. Durch anschließenden Rücktausch und Bestimmung des Bariums erhält man den Wert für die Kationenaustauschkapazität.

Die Summe der austauschbaren Kationen Na, K, Ca und Mg bezeichnet man als *S-Wert*, den Prozentanteil der Summe dieser Kationen an der KAK als *V-Wert* (Sättigungsgrad):

$$V [\%] = \frac{S \cdot 100}{KAK}. \quad (16)$$

Ein V-Wert von beispielsweise 50% liegt dann vor, wenn die eine Hälfte des Kationenbelages aus Ca-, Mg-, K- und Na-, die andere aus H- und Al-Ionen besteht. Der Kalziumanteil am Kationenbelag der Böden ist meist sehr hoch. In der Ackerkrume liegt er i. d. R. bei 80% des S-Wertes.

Auf Grund der engen Korrelation zwischen V- und pH-Wert kann in gewissen Grenzen vom pH-Wert auf den Sättigungsgrad und umgekehrt geschlossen werden. Diese Beziehungen werden besonders durch den Anteil an organischer Substanz modifiziert. So haben humusreiche Böden bei gleichem pH- meist einen niedrigeren V-Wert als humusarme.

Die Differenz zwischen KAK und S-Wert wird als *H-Wert* bezeichnet. Er drückt den Anteil der H- (und Al-)Ionen am Kationenbelag aus.

### 6.1.3. Ursachen des Kationenaustausches

#### Eigenschaften der Austauscher

Die Kationenaustauschkapazität hängt vom Charakter der einzelnen Substanzen im Boden und bei diesen zunächst von ihrer Menge, dann von ihrer Ladungsart, ihrer spezifischen Oberfläche und von ihrer Ladungsdichte ab.

Die *nichtselektive Adsorption* an unspezifischen Bindungspositionen wird durch rein elektrostatische Kräfte (heteropolare Bindung) bewirkt, wobei folgende Ladungsarten zu unterscheiden sind:

– *permanente Ladung*, auch Schichtladung genannt: von äußeren Bedingungen unabhängig; beruht auf bestimmten Strukturen des Kristallgitters der Tonminerale, daher nur bei Dreischicht-Mineralen; pH-unabhängig, d. h. im gesamten pH-Bereich konstant negativ

– *variable Ladung*, auch pH-abhängige Ladung genannt: von äußeren Bedingungen abhängig, insbesondere von der Art der Außenlösung; beruht bei Tonmineralen und Oxiden auf dem amphoteren (grch., teils wie Säure, teils wie Base sich verhaltend) Charakter funktioneller Gruppen, daher pH-abhängig negativ oder positiv ausgebildet; bei organischen Austauschern wird sie hervorgerufen durch die Fähigkeit, H-Ionen zu dissoziieren

Neben der nichtselektiven gibt es an spezifischen Bindungspositionen die *selektive Adsorption*, die nicht allein durch heteropolare, sondern zusätzlich auch durch homöopolare Bindungen sowie durch Nebervalenzkräfte (z. B. van-der-Waalssche Kräfte, d. s. zwischenmolekulare Bindungskräfte bei elektrisch neutralen Molekülen mit Dipolcharakter) bedingt ist. Diese zusätzlichen Kräfte sind weniger weitreichend als die heteropolaren. Sie kommen nur dann zur Wirkung, wenn sich ein Kation der Oberfläche des Austauschers stärker nähert. Ein charakteristisches Beispiel ist die starke Selektivität einiger Tonminerale für Kalium und Ammonium, die auf spezifischen Bindungspositionen am Austauscher beruht. Kalium- und Ammonium-Ionen können sich nämlich auf Grund ihrer Größe und der relativ hohen Polarisierbarkeit besonders gut in die napfartigen Vertiefungen der Sauerstoff-6er-Ringe der Si-O-Tetraederschichten einpassen (sog. *Stereoselektivität*).

Durch die *spezifische Oberfläche* O (vgl. Gl. (3)) wird vor allem der Umfang des Austausches beeinflusst. O bezieht sich auf alle Grenzflächen der Bodenteilchen gegenüber Wasser und Luft. Man unterscheidet eine äußere und eine innere Oberfläche. Die *äußere Oberfläche* umfaßt die Randflächen der Teilchen, sie ist charakteristisch für alle Austauscherarten. Dreischicht-Mineralen haben, soweit sie aufweitbar sind, zusätzlich in den Schichtpaket-Zwischenräumen eine *innere Oberfläche* (vgl. Abb. 3/16), die z. B. bei Smectiten bis zu 80% der Gesamtoberfläche betragen kann. Die spezifische (innere und äußere) Oberfläche beträgt bei

– Kaoliniten  $0,2 \cdot 10^6 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$   
 – Illiten  $0,6 \cdot 10^6 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$

– Smectiten  $5 \cdot 10^6 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$   
 – Huminstoffen  $6 \cdot 10^6 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$

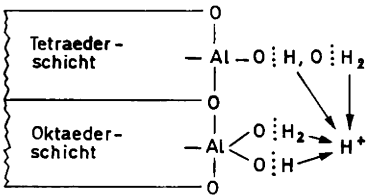
Die Ladungsdichte der Bodenteilchen hängt von ihrer spezifischen Oberfläche und ihrer Austauschkapazität ab. Je kleiner z. B. die spezifische Oberfläche ist, um so größer ist die Ladungsdichte. Deshalb haben Illite mit etwa  $3 \cdot 10^{-7} \text{ mval}/\text{cm}^2$  trotz kleinerem T-Wert eine höhere Ladungsdichte als Smectite mit ca.  $1,3 \cdot 10^{-7} \text{ mval}/\text{cm}^2$ .

### Austauscher im Boden

Der Austausch von Kationen ist an folgende summarisch negativ geladene Bodensubstanzen gebunden:

#### a) Tonminerale

Negativer Ladungsüberschuß auf isomorphem Ersatz (s. Abschn. 3.2.8.) im Inneren der Tonminerale und auf Dissoziation von Wasserstoffionen (genauer: Protonenabgabe) zurückführbar; isomorpher Ersatz Ursache der permanenten Ladung; Sitz der pH-abhängigen Ladung an den Rand-(Bruch-)stellen der Minerale durch Anlagerung von OH- und OH<sub>2</sub>-Liganden über die Valenzabsättigung hinaus auf Grund des Bestrebens randständiger Zentralkationen, ihre Koordinationszahl abzudecken (koordinative Bindung):



Al mit der Koordinationszahl 4 bei tetraedrischer (vgl. Abb. 3 / 13) Anordnung

Al mit der Koordinationszahl 6 bei oktaedrischer Anordnung

Hierbei Polarisierung der angelagerten Liganden durch Hinwendung der O-Atome in Richtung des Zentralkations und damit Lockerung der Bindung innerhalb der Gruppe mit Abspaltung von H- bei steigendem, von OH-Ionen bei sinkendem pH (s. Anionenaustausch); Wasserstoffionen durch andere Kationen in äquivalenten Mengen austauschbar

#### b) Huminstoffe

pH-abhängige negative Ladung auf ihre Fähigkeit, schwache Säuren zu bilden und damit H-Ionen abzugeben, zurückführbar; Dissoziation von Wasserstoffionen durch Carboxyl-(COOH-), phenolische und enolische Hydroxyl-(OH-)Gruppen (vgl. Tab. 3/20); COOH-Gruppen infolge höherer Säurestärke (vergleichbar mit der Essigsäure) an der KAK der organischen Substanz am stärksten beteiligt; mit steigendem pH-Wert steigender Austausch von H-Ionen, KAK-Anstieg daher von pH 3 bis 8 von 50 auf 300 mval/100 g Substanz; Fulvosäuren wegen ihrer zahlreichen reaktiven Gruppen z. T. höhere Kationenaustauschkapazität als Huminsäuren

#### c) Oxide und Oxidhydrate

Bei Oxiden und Oxidhydraten des Fe und Al ebenfalls zusätzliche Anlagerung von OH<sub>2</sub>- und OH-Liganden zur Abdeckung der Koordinationszahl; Ladung stark pH-abhängig, amphoter; Lage des isoelektrischen (Ladungsnull-)Punktes in Böden hoch, daher Abgabe von H<sup>+</sup>-Ionen relativ selten; vor allem von Bedeutung für die Abbindung toxischer Schwermetalle, da z. B. bei Eisen auch unterhalb des isoelektrischen Punktes Adsorption derselben möglich.

Weitere in der Tonfraktion auftretende Minerale wie Quarz und Feldspat zeigen auch eine kleine KAK, die vorwiegend als pH-abhängige Ladung ausgebildet ist.

Bei den Tonmineralen gibt es auf Grund ihres verschiedenartigen Charakters größere

Tabelle 6/1

Schwankungsbereiche der Austauschkapazität für wichtige Bodensubstanzen

Substanzen	mval je 100 g Substanz
Kaolinite	3— 15
Halloysite	5— 10
amorphe Kieselsäure	10— 30
Chlorite	10— 40
Illite	20— 50
Imogilite	30— 40
Allophane	—100
Smectite	80—120
Vermiculite	100—200
Huminstoffe	100/150—300

Unterschiede im Anteil an permanenter und variabler (pH-abhängiger) Ladung. Kaolinite haben einen sehr hohen Anteil an variabler, aber nur einen verschwindend geringen an permanenter Ladung. Smectite und Vermiculite hingegen haben einen geringeren variablen, aber einen hohen permanenten Ladungsanteil und damit eine gute Zugänglichkeit für Zwischenschichtpakatkationen. Illite stehen in der Mitte, sie zeigen außerdem eine stärkere nichtselektive Adsorption. Die aus der permanenten und variablen Ladung resultierende Gesamtaustauschkapazität für Kationen geht aus Tabelle 6/1 hervor.

#### 6.1.4. Theorie des Kationenaustausches

Bei Kontakt von Bodenmaterial mit einer Lösung erfolgt so lange ein Ionenaustausch, bis sich ein Gleichgewicht eingestellt hat (s. Gleichung (17)). Zur Beschreibung dieses Austausches und zu seiner mathematischen Formulierung gibt es zahlreiche Modellansätze. Eine allen Bedingungen gerecht werdende Theorie konnte auf Grund der komplizierten Verhältnisse bisher noch nicht aufgestellt werden. Am bekanntesten sind die *Donnan-* und *Gapon-Gleichung*, die jedoch nur näherungsweise gelten, da sie sich auf „ideale“ Austauscher beziehen.

Allen diesen Theorien ist gemeinsam, daß sie die Beweglichkeit der Kationen zwischen Innen- und Außenlösung auf der Grundlage des Massenwirkungsgesetzes und dabei die Wertigkeit in der für chemische Reaktionen üblichen Form berücksichtigen, wobei die einwertigen Kationen linear, die zweiwertigen mit der Quadratwurzel und die dreiwertigen mit der Kubikwurzel in die Gleichungen eingehen. Außerdem ist nicht die Konzentration der Kationen, sondern deren *Aktivität* (wirksame Konzentration) von Bedeutung. Diese sinkt um so stärker unter 1, je konzentrierter die Lösung (durch gegenseitige „Behinderung“), je höher die Wertigkeit und je schwächer die Hydratation der beteiligten Ionen ist. Die Aktivität kann nur in der Außenlösung direkt gemessen werden, in der Innenlösung muß man sie nur über Mengen (mval/100 g) erfassen. Schließlich werden die Unterschiede in den Anteilen der einzelnen Kationen in der Innen- und Außenlösung auch durch die Selektivität der Austauscher, d. h. durch ihr unterschiedliches Bindungsvermögen gegenüber bestimmten Ionen beeinflusst, was man über sog. *Selektivitätskoeffizienten* berücksichtigt.

Nach der Gleichung von *Gapon* (sowjetischer Physikochemiker) kann der Austausch ein- und zweiwertiger Kationen am Beispiel von K und Ca folgendermaßen formuliert werden:

$$\left(\frac{m_K}{m_{Ca}}\right)_{IL} = k \cdot \left(\frac{a_K}{a_{Ca}}\right)_{AL} \quad (17)$$

m – Menge (mval)

a – Aktivität

k – Selektivitätskoeffizient

IL – Innenlösung (adsorbierte Kationen)

AL – Außenlösung

Es ist anzunehmen, daß die durch diese Gleichung widergespiegelten Verhältnisse durch folgende Faktoren im Boden gestört werden (Schroeder, 1972):

- Strukturänderung bestimmter Tonminerale bei Anwesenheit von K- und  $\text{NH}_4$ -Ionen
- Polyfunktionalität, d. h. unterschiedliche Funktion und Wirkung bestimmter Austausch-er
- Hystereseeffekt, d. h. Hemmung und schleppende Einstellung des Austauschgleichgewichtes mit Bevorzugung bereits adsorbierter Ionen

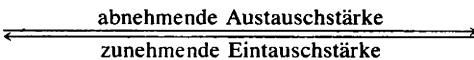
Zur Kennzeichnung der Löslichkeit bestimmter Nährelemente wurden auf der Grundlage der oben erläuterten Ionenaktivitäten sogenannte *Nährelementpotentiale* gebildet. Sie werden für verschiedene Kationen und Anionen spezifisch formuliert. Dabei wird p analog dem pH als negativer Logarithmus der Ionenaktivitäten in Mol/l verwendet (s. z. B. Kalkpotential, Gleichung (21)).

### 6.1.5. Bedeutung des Kationenaustausches

#### Wechselwirkung zwischen Ionenbelag und Bodenlösung

Empirisch lassen sich die Austauschvorgänge im Boden besser beschreiben. Im folgenden werden die Beziehungen zwischen Innen- und Außenlösung dargelegt, soweit sie für die praktische Bodenbeurteilung von Bedeutung sind.

Mit steigendem Angebot eines bestimmten Nährelements in der Bodenlösung steigt bei der nichtselektiven Adsorption i. d. R. auch sein Anteil am Ionenbelag. Trotzdem sind die Anteile zwischen in Lösung befindlichen und adsorbierten Kationen nicht gleich. Bei Verdünnung der Außenlösung z. B. werden mehrwertige und schwach hydratisierte Ionen stärker eingetauscht. Auch bei höherer Ladungsdichte des Austauschers findet eine bevorzugte Adsorption mehrwertiger Kationen statt. In den Schichtpaket-Zwischenräumen der Dreischicht-Minerale werden mehrwertige Kationen vor allem auf Grund des allseitig wirkenden Ladungsausgleiches stärker gebunden und einwertige Kationen an die Randpositionen oder in die Bodenlösung verdrängt. Je leichter ein Kation eingetauscht wurde, um so schwerer ist es auch wieder austauschbar. Höherwertige Kationen haften daher besonders fest an den Austauschern. Für die wichtigsten Kationen ergibt sich als Gesamtergebnis etwa folgende Reihenfolge in der *Haftfestigkeit*:



Die selektive Adsorption kommt besonders bei Dreischicht-Mineralen vor. Die bereits erwähnten K- und  $\text{NH}_4$ -spezifischen Bindungspositionen befinden sich aber nicht allein im Inneren der Schichtpaket-Zwischenräume, sondern auch in den randlich aufgeweiteten Zonen, die vor allem für Illite typisch sind. Die Anzahl solcher spezifischer Austauscherplätze ist meist beschränkt. Sie werden i. d. R. zuerst besetzt, erst danach erfolgt die Adsorption von K- und  $\text{NH}_4$ -Ionen auch an anderen unspezifischen Positionen. Daher ist die selektive Bindung bei geringer K- bzw.  $\text{NH}_4$ -Konzentration in der Bodenlösung auch am stärksten. Die durch die Einbettung der K-Ionen (Stereo-selektivität; s. Abschn. 6.1.3.) hervorgerufene morphologische Änderung der Kolloidoberfläche bewirkt eine Hemmung des Rücktausches, die *K-Fixierung* genannt wird.

Eine selektive Adsorption kann auch für andere Kationen vorliegen. So adsorbieren Vermiculite bevorzugt Mg-, Huminstoffe H-, aber auch Ca-, Mg- sowie Schwermetall-Ionen. Austauschvorgänge vollziehen sich bei jeder Änderung der Nährelementkonzentration in der Bodenlösung. Änderungen aber ergeben sich fortwährend, so z. B. durch Düngung, Nährelementaufnahme, Auswaschung, Bodenfeuchteschwankungen und Niederschläge.



Wechselnde Feuchtigkeitsverhältnisse ziehen immer wechselnde Verfügbarkeit der Nähr-  
elemente nach sich.

**Austauschverhältnisse im Boden**

Der Kationenaustausch ist der wichtigste Vorgang für die Nährelementspeicherung und  
-transformation im Boden. Seine Kenntnis ist daher vor allem für die Bemessung und  
Beurteilung der Düngung – sowohl mit als auch ohne Bewässerung – wichtig. Die adsorbierten Kationen sind weitgehend pflanzenverfügbar, nicht gebundene Nährelemente  
können ausgewaschen werden. Darüber hinaus ist die Kationenadsorption auch für andere  
Bodeneigenschaften von Bedeutung.

Die Kationenaustauschkapazität ist in Abhängigkeit von Tongehalt, Art der Tonminerale  
und Gehalt an organischer Substanz sehr unterschiedlich. In den landwirtschaftlich ge-  
nutzten Böden der DDR reicht sie bis zu 50 mval/100 g Boden, das Gros der Werte liegt  
zwischen 5 und 30 mval. Bei niedrigem Humusgehalt korreliert der T-Wert mit dem Ton-  
gehalt, bei höherem Anteil an organischer Substanz zusätzlich mit diesem, bei Bergsub-  
straten verstärkt auch mit dem pH-Wert. Die Beziehungen zwischen KAK und Tongehalt  
in Form einfacher linearer Regressionen sind in Abbildung 6/2 dargestellt. Der etwas steilere  
Anstieg bei den humosen Horizonten ist auf den Einfluß der organischen Substanz zurück-

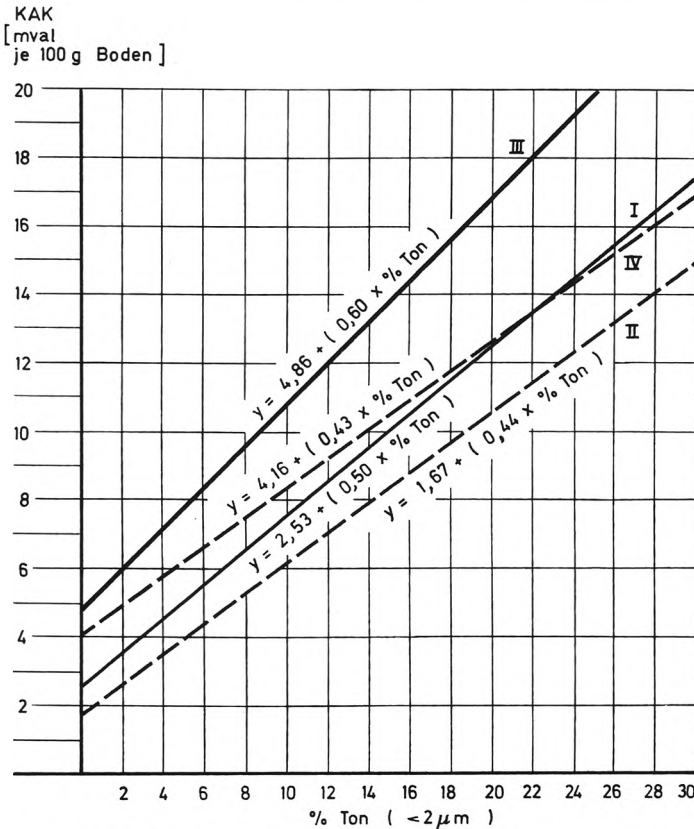


Abb. 6/2  
KAK-Tongehalt-Dia-  
gramm von charakteri-  
stischen Substraten (in  
Anlehnung an Thiere,  
Morgenstern, 1975 a)

- I Tieflandsubstrate ( Ap-Horizonte ; Bt-u. Bg-Horizonte im Jungmoränen -  
gebiet )
- II Tieflandsubstrate ( Bv-, Et- u. Eg-Horizonte ; Bt-u. Bg-Horizonte im  
Altmoränengebiet )
- III Lößsubstrate ( Ap-Horizonte )
- IV Lößsubstrate ( E-u. B-Horizonte )

Tabelle 6/2

Multiplikationsfaktoren zur Berechnung des T-Wertes aus dem Tongehalt für Bodensubstrate in der DDR

Substrate	Faktor*)
alle Substrate mit < 1% organischer Substanz	0,55
Sande mit 1 bis 2% organischer Substanz	1,02
Lehme, Schluffe und Tone mit 1 bis 2% organischer Substanz	0,89

\*) Faktor × Tongehalt [%] = T [mval/100 g Boden]

zuführen. Außerdem läßt sich die Beteiligung von Humus (und Schluff) an der Austauschkapazität auch an dem Beginn der Geraden oberhalb des Nullpunktes zwischen 1,5 und 5 mval/100 g Boden erkennen. Die KAK der feineren Schluffreaktionen liegt unter 15 mval/100 g Substanz.

In den landwirtschaftlich genutzten Böden der DDR kann die KAK bei Substraten mit < 2% organischer Substanz hinreichend abgeschätzt werden, wenn man den Tongehalt mit den in Tabelle 6/2 angegebenen Faktoren multipliziert. Die Tonfraktion des Bodens hat im Mittel eine KAK von ± 50 mval/100 g Ton. Der Anteil der einzelnen Kationen am Ionenbelag der Böden kann in Abhängigkeit vom Substrat und pH-Wert recht unterschiedlich sein. H- und Al-Ionen sind in Ackerböden i. d. R. weniger vorhanden. Bei den aus-

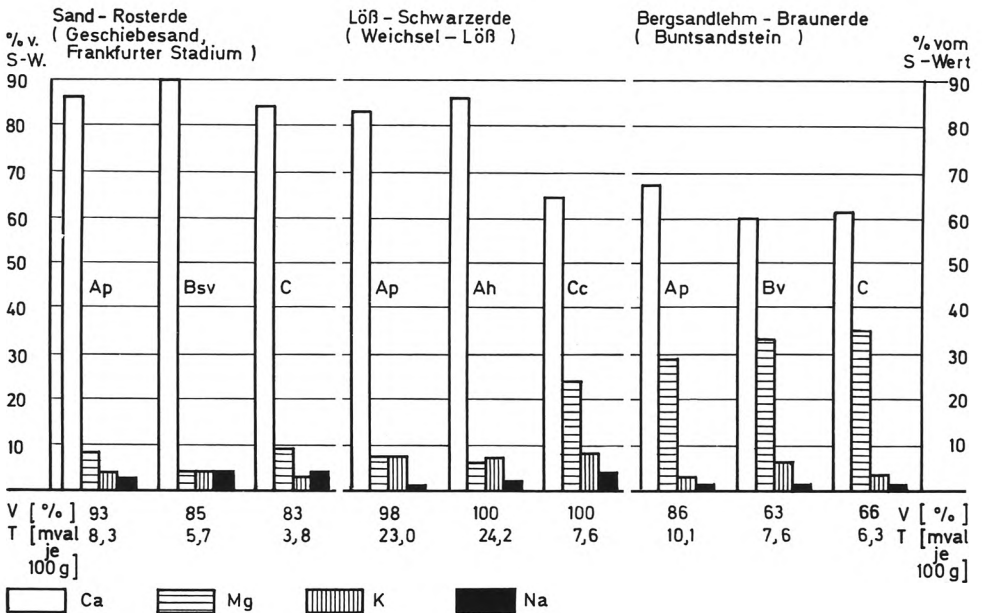


Abb. 6/3

Säulendiagramm der Anteile austauschbarer Kationen am S-Wert von drei verbreiteten Bodenformen auf verschiedenen Substraten

tauschbaren Kationen dominieren immer eindeutig die Ca-Ionen (s. Abb. 6/3). An zweiter Stelle können K und Mg stehen, meist ist es jedoch das Magnesium. Der Anteil der Kaliumionen ist z. B. in Löß- und sandigen Diluvialböden relativ hoch, die Menge der Natriumionen ist hingegen deutlich geringer.

### 6.1.6. Anionenadsorption

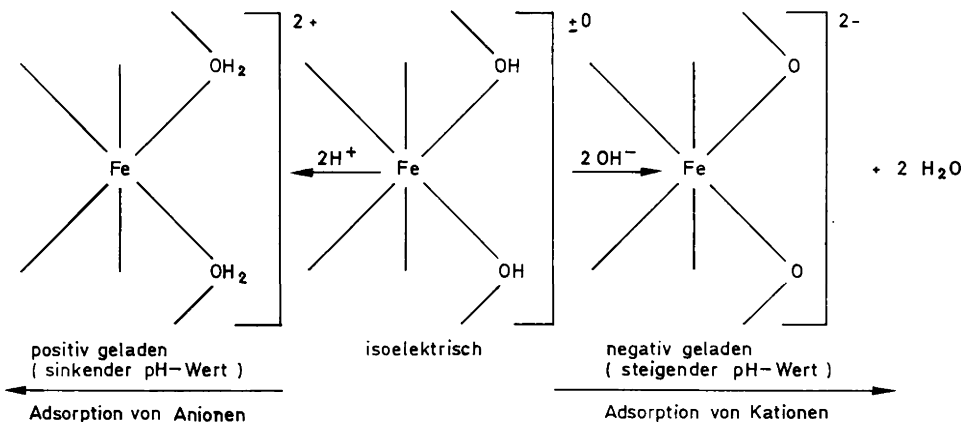
Die Adsorption von Anionen ist deutlich geringer als die von Kationen, da der positive Ladungsanteil der Austauschere nur bis ca. 5 % der Gesamtladung ausmacht. Trotzdem ist sie für bestimmte Nährelemente von großer Bedeutung. Folgende Anionen können adsorbiert werden:

- Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ )
- Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )
- Borat (z. B.  $\text{B}(\text{OH})_4^-$ )
- Molybdat (z. B.  $\text{MoO}_4^{2-}$ )
- Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )
- Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )
- Silikat (z. B.  $\text{SiO}_4^{4-}$ ).

Wenn es sich auch beim Austausch der Anionen wie bei den Kationen grundsätzlich um eine Gleichgewichtsreaktion handelt, ist doch diese hier oft nach einer Seite verschoben. Bei Phosphat hat sie eine bevorzugte Adsorption, bei Nitrat und Chlorid eine bevorzugte Desorption zur Folge, d. h., in dem einen Fall überwiegt die Festlegung, im anderen die Auswaschung.

### Nichtselektive Adsorption

Auch bei der Anionenadsorption wird zwischen nichtselektiver Adsorption an unspezifischen und selektiver an spezifischen Bindungspositionen unterschieden. Die nichtselektive Adsorption ist durch pH-abhängige Ladung bedingt und damit bei den Tonmineralen vorwiegend auf die Randpositionen beschränkt, während Eisen- und Aluminiumoxide/-oxidhydrate sowie Huminstoffe generell nichtselektiv adsorbieren. Die Ladung entsteht hier durch Anlagerung von H-Ionen an die jeweils randständigen OH-Liganden, beim Eisen z. B. in folgender Form (im Anhalt an Scheffer-Schachtschabel, 1976):



Der amphotere Charakter der Austauscher kommt in der Weise zur Wirkung, daß erst unterhalb des isoelektrischen Punktes, also im sauren Bereich, eine stärkere Anionenadsorption stattfindet.

Chlorid und Nitrat werden prinzipiell, Sulfat wird meist nichtselektiv gebunden. Zwischen pH 6 und 7 (oberhalb des isoelektrischen Punktes vieler Austauschere) findet bei diesen Anionen praktisch keine Adsorption statt. Damit kann es zu einer stärkeren Auswaschung kommen.

Auch die einzelnen Tonminerale zeigen Unterschiede in der selektiven Adsorption. Sie nimmt bei den nachstehenden Substanzen nach folgender Reihe ab:

Allophane > Kaolinite > Illite, Smectite

### Selektive Adsorption

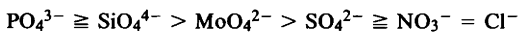
Die selektive Adsorption liegt in erster Linie im Charakter bestimmter Anionen begründet. Sie ist vor allem bei Phosphat, Molybdat, z. T. auch Sulfat, Borat und bestimmten organischen Anionen zu finden. Diese Anionen dringen in die Koordinationshülle (z. B. von Eisen und Aluminium) ein und bilden – nach Verdrängung der OH- und OH<sub>2</sub>-Liganden – mit dem Zentralkation O-Brücken. Auf diese Weise kann z. B. Phosphat sehr fest gebunden werden. In schwach dissoziierter Form wird Phosphat schon im schwach sauren, in stark dissoziierter Form erst im stark sauren Bereich adsorbiert. Bei niedrigem pH-Wert ist die Bindung so stark, daß es zu einer irreversiblen Fällung (P-Fixierung) kommt.

Der pH-Bereich, in dem die Anionen adsorbiert werden, kann anionenbezogen sehr unterschiedlich sein. Die Adsorption von Molybdat hört z. B. bei einem niedrigeren pH-Wert auf als die des Phosphats.

Auch Huminstoffe können im sauren Bereich an NH- und NH<sub>2</sub>-Gruppen H-Ionen anlagern und somit über die positive Ladung der NH<sub>2</sub>- und NH<sub>3</sub>-Gruppen Anionen adsorbieren. Hierbei handelt es sich vermutlich nur dann um selektive Adsorption, wenn metallorganische Komplexe gebildet werden.

### Anionenadsorptionskapazität

Da die Verhältnisse, die den Anionenaustausch betreffen, nicht immer genügend übersehen werden können und außerdem zusätzlich durch Fällungsreaktionen kompliziert werden, kann man nur überschlagsweise eine Anionenaustauschkapazität berechnen. Sie liegt z. B. für PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> unter 2 mval/100 g Boden. Da in bestimmten Fällen die De- gegenüber der Adsorption vermindert ist, erscheint es zweckmäßiger, nur von einer Adsorptionskapazität zu sprechen. Ihr relatives Ausmaß kann durch folgende Reihe wiedergegeben werden:



## 6.2. Azidität und Redoxreaktionen

Fast alle chemischen, physikalischen und biologischen Vorgänge im Boden und in der Folge damit auch das Pflanzenwachstum werden mittel- oder unmittelbar durch die Aziditäts- und Redoxverhältnisse beeinflusst. Die Kenntnis dieser Reaktionen und der zu ihrer Charakterisierung herangezogenen Parameter sind Voraussetzung für das Verständnis zahlreicher Prozesse im Boden.

### 6.2.1. Bodenazidität

Unter Azidität versteht man die Eigenschaft einer Lösung, in verschiedenem Maße sauer zu sein. Streng genommen reagieren Böden nicht nur sauer, sondern auch neutral oder alkalisch (Alkalität). Dominierend ist jedoch in unseren Breiten eine mehr oder weniger starke Versauerung des Solum, so daß der etwas eingengegte Begriff der Bodenazidität im allgemeinen zutreffend ist.

Die Bodenazidität beruht auf der Fähigkeit der Bodenaustauscher (Bodenkolloide), sowohl mit den in der Bodenlösung vorhandenen Alkali- und Erdalkaliumionen als auch – bei stark

saurer Reaktion – mit Aluminiumionen unter Bildung von *Hydroniumionen* ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) zu reagieren. Der Einfachheit halber spricht man statt von  $\text{H}_3\text{O}^+$  nur von H-Ionen. Die Aktivität der Wasserstoffionen, die unter verschiedenen Bedingungen in der Bodenlösung bestimmt werden kann, ist deshalb ein wichtiges Maß für die Azidität des Bodens.

### Formen der Azidität

Die Azidität des Bodens wird durch verschiedene Säuregruppen bestimmt. Die Stärke der Azidität kann man graphisch über sog. *Titrationen* kenntlich machen. Unter Titration versteht man den Vorgang der Neutralisierung einer Lauge durch Zugabe einer Säure und umgekehrt. Je geringer die Aktivität (Konzentration) der H-Ionen ist, um so schwächer ist die Azidität und um so fester die Bindung der Wasserstoffionen an die Bodenkolloide. Die Aktivität der dissoziierten H-Ionen, die durch den pH-Wert gemessen werden kann, bezeichnet man als *aktuelle Azidität*. Der pH-Wert vermittelt somit eine brauchbare Überblicksinformation über die Aziditätsverhältnisse im Boden, ein Maß für die Gesamtazidität ist er indessen nicht. Der Anteil an undissoziiertem, aber noch dissoziierfähigem Wasserstoff, vergleichbar mit der Wasserstoffionenkonzentration schwacher Säuren, wird als *potentielle Azidität* bezeichnet. Erst beide zusammen ergeben die Gesamtazidität eines Bodens.

Die Gesamtazidität kann durch zwei verschiedene Methoden ermittelt werden:

– durch Titration: stufenweise Zugabe einer Lauge zu dem mit einer Salzlösung ( $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ) versetzten Boden bis zum Erreichen des Neutralpunktes; verbrauchte Laugenmenge ist der Gesamtazidität äquivalent

– durch Extraktion: wiederholter Auszug des Bodens mit einer gepufferten Salzlösung (meist auf pH 8,2 eingestellte Bariumchlorid-Lösung); Gesamtmenge der ausgetauschten H-Ionen entspricht der Gesamtazidität (sog. H-Wert, s. Abschn. 6.1.2.)

### Säuregruppen im Boden

Die Bodenazidität wird in besonderem Maße durch die Wechselwirkung  $\text{Al}^{3+} \rightleftharpoons \text{H}^+$  kompliziert. So können desorbierte Al-Ionen mit Wasser reagieren und H-Ionen bilden:



Deshalb wird bei der Bestimmung der potentiellen Azidität auch das austauschbare (dissoziierfähige) Aluminium mit erfaßt. Diesen Teil der potentiellen Azidität bezeichnet man als *Austauschazidität*.

In Abhängigkeit von den Austauschern und vom pH-Wert bestimmen ganz bestimmte Säuregruppen die Bodenazidität:

#### a) An mineralische Austauscher (Tonminerale) gebundene Säuregruppen

Bei Titration unterhalb pH 4 Freisetzung von  $\text{H}^+$  aus Säuregruppen, deren Dissoziation einer mittelstarken Säure entspricht; bei Titration zwischen etwa pH 4 und pH 5 Freisetzung monomerer Al-Ionen als sogenanntes austauschbares Aluminium; bei Titration oberhalb pH 5 Freisetzung auch polymerer Al-Ionen (sog. Hydroxo-Al-Polymere), die als randliche Überzüge auf den Schichtsilikaten relativ fest haften und den Aluminiumsalzen schwacher Säuren entsprechen, sind nur durch gepufferte Salzlösungen austauschbar; bei Titration im Bereich von pH 7 zusätzliche Abspaltung schwacher Säuregruppen  ${}_2\text{HOAl}^-$ ,  $\text{HOAl}^-$  u. a. (amphoterer Charakter des Aluminiums, s. Abschn. 6.1.3.)

#### b) An organische Stoffe gebundene Säuregruppen

Unterhalb pH 7 Vorherrschen von  $\text{COOH}$ - (Carboxyl-) Gruppen, oberhalb pH 7 von phenolischen und alkoholischen  $\text{OH}^-$ -Gruppen; Wasserstoff z. T. durch komplex gebundenes Aluminium und Eisen ersetzt

#### Ungebundene Säuregruppen

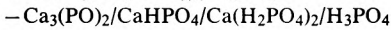
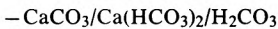
Frei im Boden vorkommende Säuren und deren Salze; nehmen nur einen geringen Anteil ein

## Pufferung

Die Reaktionen der o. g. Säuregruppen lassen sich aus dem Verlauf von *Titrationen* ablesen (s. Abb. 6/4). Solche Kennlinien bezeichnet man auch als Pufferkurven, da sie gleichzeitig das Pufferungsvermögen der betreffenden Böden widerspiegeln.

Unter Pufferung versteht man die Fähigkeit einer Lösung oder Suspension, nach Ionenzufuhr (im vorliegenden Fall H- oder OH-Ionen) den Ablauf der Gleichgewichtsreaktion zu verzögern. Die Pufferung ist im Boden erwünscht, da sonst sowohl die Pflanzen als auch Bodenorganismen auf kurzfristige größere Schwankungen des pH-Wertes sehr empfindlich reagieren würden. So ist beispielsweise nach jedem Düngerstreuen in der Ackerkrume stellenweise mit einer Anhäufung von Düngersalzen zu rechnen, denn eine ganz gleichmäßige Verteilung läßt sich selbst mit besten Streumaschinen nicht erreichen. Die hierdurch ausgelöste pH-Änderung wird durch die Puffersubstanzen des Bodens in Grenzen gehalten. Auch die in der Umgebung von Pflanzenwurzeln durch Ausscheidungen auftretenden stärkeren Säurekonzentrationen werden abgepuffert.

Die Pufferung wird durch ganze bestimmte Substanzgruppen bewirkt, die man *Puffersysteme* nennt. Neben den Bodenaustauschern haben vor allem bestimmte Gemische aus Karbonaten und aus Phosphaten Bedeutung:



Im Boden lassen sich nach der Art der Pufferung drei Bereiche unterscheiden, die etwa den oben unter (a) genannten drei pH-Bereichen entsprechen. Bei gleichem Ausgangs-pH-Wert verläuft die Kennlinie um so flacher, je stärker der Boden gepuffert und je mehr Lauge daher zu seiner Neutralisierung erforderlich ist (vgl. Abb. 6/4). Der Verlauf der Kennlinie kann außerdem in den einzelnen Pufferbereichen unterschiedlich sein, was auf den Charakter der jeweils reagierenden Säuregruppen zurückzuführen ist.

### 6.2.2. pH-Wert

#### Das Wesen des pH-Wertes

Das Wesen des pH-Wertes soll an reinem, d. h. keine anderen Stoffe enthaltendem Wasser erläutert werden. Jedes Molekül Wasser setzt sich aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff zusammen. Ein Teil der Wassermoleküle dissoziiert (lat., spaltet auf) in Hydroniumionen (der Einfachheit halber  $\text{H}^+$ ) und Hydroxylionen ( $\text{OH}^-$ ), was durch folgende Gleichgewichtsreaktionen dargestellt werden kann:

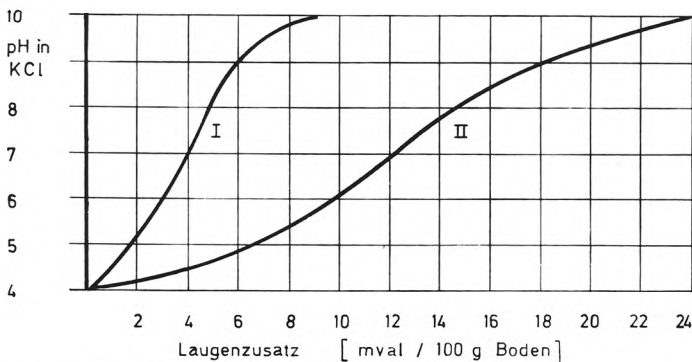
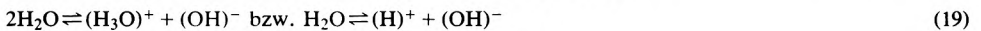


Abb. 6/4  
Idealisierte Titrations-(Puffer-)Kennlinien zweier Körnungsarten nach stufenweisem Laugenzusatz innerhalb von 2 Tagen (nach Scheffer-Schachtschabel, 1976)

I Sand ( mit 0,8 % organischer Substanz )

II lehmiger Schluff ( mit 2,7 % organischer Substanz )

In reinem Wasser kommen H- und OH-Ionen in gleicher Anzahl vor, d. h. im Zahlenverhältnis 1 : 1. Das Masseverhältnis beträgt allerdings 1 : 17, was besagt, daß ein Hydroxylion 17mal schwerer ist als ein Wasserstoffion. Die Masse von 17 OH-Ionen ist der Masse von einem H-Ion äquivalent.

Die absolute Masse eines H- und eines OH-Ions ist für diese Betrachtung unwichtig, wohl aber die relative Atom- bzw. Ionenmasse. Zuerst wurde willkürlich festgesetzt, daß der Wasserstoff die Atommasse 1 haben soll. Später erfolgte eine kleine Änderung, die der Einfachheit halber hier unberücksichtigt bleibt. Da der Sauerstoff 16mal schwerer ist als der Wasserstoff, beträgt die Ionenmasse für OH = 17 (16 + 1). Für diese Masse ist nicht unbedingt eine Maßeinheit wie mg oder g anzugeben, da es sich um Relativzahlen handelt. Man kann aber willkürlich – und das hat sich in der Praxis bewährt – hinter diese Atom-, Molekular- und Ionenmasse „g“ schreiben, muß dann aber eine neue Bezeichnung für diese Maßzahlen finden, da sie im Gegensatz zu den reinen Verhältniszahlen Masseinheiten ausdrücken. Sie heißen relative Atommasse in g bzw. *g-Atom*, relative Molekularmasse in g bzw. *g-Molekül* (oder *Mol*) und Äquivalentmasse in g bzw. *g-Äquivalent* (ein *g-Äquivalent* = 1 000 Milliäquivalente = 1 000 mval).

Es wurde festgestellt, daß 10 Millionen Liter chemisch reinen Wassers bei 20°C 1 *g-Äquivalent* H- und 1 *g-Äquivalent* OH-Ionen enthalten. Auf 1 l Wasser umgerechnet sind das 0,0000001 bzw.  $10^{-7}$  *g-Äquivalente* Wasserstoff- und  $10^{-7}$  *g-Äquivalente* Hydroxylionen. Das Produkt dieser frei neben den Wassermolekülen existierenden Ionen ist konstant. Es wird *Ionenprodukt* des Wassers genannt und folgendermaßen formuliert:

$$10^{-7}(\text{H}^+) \cdot 10^{-7}(\text{OH}^-) = 10^{-14} \text{ (konstant)} \quad (20)$$

Die Konstanz besagt, daß bei Erhöhung des Anteils der H-Ionen der Anteil der OH-Ionen absinken muß und umgekehrt, damit der Wert  $10^{-14}$  erhalten bleibt.

Im Bodenwasser sind gewöhnlich die verschiedensten Stoffe gelöst. Man müßte deshalb besser von *Bodenlösung* sprechen. Die von den gelösten Stoffen abspaltbaren H- und OH-Ionen gehen mit in das Ionenprodukt des Wassers ein. Damit kommt es zu Verschiebungen im H<sup>+</sup>/OH<sup>-</sup>-Verhältnis, das Produkt aber bleibt konstant.

Für die Kennzeichnung der Reaktion genügt es, nur einen der beiden Ionenwerte anzugeben, da sich daraus der andere ableiten läßt. Man wähle dafür die H-Ionen. Das Maß für die Reaktion einer Lösung ist somit die Menge der freien Wasserstoffionen in Grammäquivalenten bzw. – da beim H<sup>+</sup> ein *g-Äquivalent* = 1 g ist – einfach in g, die in 1 l Flüssigkeit enthalten sind. In einem Liter reinen Wassers sind  $10^{-7}$  g H<sup>+</sup> enthalten. Man bezeichnet diese Reaktion als *neutral*, da die gleiche Anzahl an H- und OH-Ionen (bzw. die gleiche Menge an deren *g-Äquivalenten*) vorhanden ist. Steigt der Gehalt über  $10^{-7}$  g, z. B. auf  $10^{-5}$  g, dann ist die Lösung *sauer*, fällt er unter  $10^{-7}$  g, so ist die Lösung *alkalisch* (basisch).

An Stelle des Gesamtausdruckes wird konventionell nur die Hochzahl ohne Grundzahl und Vorzeichen angegeben und als *pH-Wert* (lat., *pondus hydrogenii*; bedeutet etwa Masse der Wasserstoffteilchen) bezeichnet. Mathematisch ausgedrückt, ist der pH-Wert der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration. Er dient als Maß für die Stärke der Azidität. Für Böden werden folgende Stufen des pH-Wertes unterschieden:

8.0 bis 7.1	schwach alkalisch
7.0	neutral
6.9 bis 6.0	schwach sauer
5.9 bis 5.0	mäßig sauer
4.9 bis 4.0	stark sauer
< 4.0	sehr stark sauer

## Bestimmung des pH-Wertes

Die Bestimmung des pH-Wertes kann auf verschiedene Weise erfolgen. Man unterscheidet hierbei:

– *elektrometrische Methoden*: Bestimmung mittels elektrometrischer pH-Meßgeräte; vorherrschend sind Messungen von Potentialdifferenzen beiderseits einer semipermeablen (lat., halbdurchlässigen) Glasmembran (Glaselektrode)

– *kolorimetrische Methoden*: Abschätzung mittels Indikatorpapier oder durch Zusatz von Indikatorlösungen

Für das Meßergebnis ist oftmals von entscheidender Bedeutung nicht die Methode, sondern Art und Menge der verwendeten Lösung, in der das Bodenmaterial suspendiert (lat., aufgeschlämmt) wird. Bei landwirtschaftlich genutzten Böden mißt man i. d. R. in Neutral-salzlösungen (z. B. 0.1 n KCl) bei einem Verhältnis von Boden zu Lösung wie 1:2,5 (TGL 25418/06). Diese Bedingungen sollen den natürlichen am nächsten kommen. In reinem Wasser aufgeschlämmtes Bodenmaterial weist etwas höhere pH-Werte auf. Die Messung in einer Salzlösung hat außerdem den Vorteil, daß der Boden nur einen geringen *Suspensionseffekt* zeigt, worunter die Differenz zwischen dem Meßwert im sedimentierten Bodenmaterial und in der darüber stehenden klaren Lösung verstanden wird.

Einen von der Salzkonzentration unabhängigen Kennwert erhält man, wenn das Verhältnis der Ionenaktivitäten von  $H^+$  zu  $Ca^{2+}$  gebildet wird. Der negative Logarithmus dieses Quotienten gibt das sog. *Kalkpotential* an und ist mit dem pH-Wert auf folgende Weise verknüpft:

$$- \log H/\sqrt{Ca} = pH - 1/2 pCa \quad (21)$$

Durch Anwendung dieses Kennwertes wird die pH-Skala etwas auseinandergezogen.

### 6.2.3. Ursachen der Bodenversauerung

Die Bodenversauerung ist im wesentlichen die Folge des Ersatzes der Alkali- und Erdalkali- durch Wasserstoffionen. Im humiden Klima haben alle Naturböden die Tendenz, allmählich zu versauern. Diese Versauerung wird in erster Linie durch das Sickerwasser verursacht, das während eines großen Teils des Jahres den Boden durchfließt. Bei fortgeschrittener Versauerung (z. B. in Sauerbraunerden, bestimmten hydromorphen Böden) treten unterhalb pH 5 Al-Ionen auf, durch welche die Versauerung weiter verstärkt wird.

Wenn auch unter natürlicher Vegetation in vielen Böden die Versauerung bereits ein be-

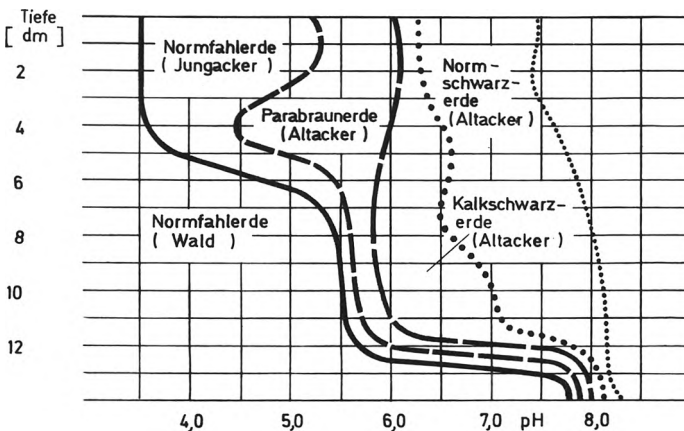


Abb. 6/5  
pH-Wert-Kennlinien von  
einigen Lössbodenfor-  
men



stimmtes Ausmaß erreicht hatte, treffen wir in den landwirtschaftlich genutzten Böden heute unterschiedliche Verhältnisse an. Ehemals saure Böden (z. B. Fahlerden, Abb. 6/5) weisen unter dem Einfluß der Ackerkultur zumindest im Oberboden ein allmähliches Ansteigen, ehemals neutrale bis schwach alkalische Böden (z. B. Schwarzerden) oft noch ein schwaches Absinken des pH-Wertes auf. In der Ackerkrume liegt der pH-Wert zwischen 5 und 7, in den Horizonten darunter je nach Bodentyp niedriger oder höher. Unter Dauergrünland sind die Böden vielfach saurer als unter Acker. Das kann am Bodentyp, an der meist feuchteren Lage und nicht zuletzt auch an einer vernachlässigten Grünlandkultur liegen. Durch sachgemäße Pflege läßt sich hier die Azidität zumindest im Oberboden verringern.

Den wesentlichsten Einfluß auf die Versauerung hat das Sickerwasser, dessen Menge und Auswirkung auf den pH-Wert von folgenden Faktoren bestimmt werden:

- Niederschlagshöhe (genauer: Größe der klimatischen Wasserbilanz (s. Gl.(11))
- Durchlässigkeit des Bodens (Art des Filtergerüsts)
- Konzentration der Alkali- und Erdalkalitionen im Bodenwasser und ihre Beweglichkeit.
- Kohlensäuregehalt des Bodenwassers; je reicher die Bodenluft an  $\text{CO}_2$  (z. B. durch Wurzelatmung, Mikroorganismen-tätigkeit), um so kohlen-säurehaltiger das Bodenwasser und um so aziditätsverstärkender seine Wirkung

Unter den Bedingungen der Bodennutzung und heutigen Umweltbelastung wird die Bodenversauerung durch folgende Faktoren zusätzlich beeinflusst:

- verstärkter Entzug an Alkali- und Erdalkalitionen durch die Pflanze bei steigenden Erträgen
- Zufuhr „physiologisch“ saurer Mineraldünger (s. Abb. 6/6)
- Bildung größerer Sickerwassermengen durch verstärkte Bewässerung, Gülleausbringung
- Bildung von schwefliger Säure, Schwefel- und Salpetersäure in der Umgebung von Industriegebieten (pH-Wert des Regenwassers kann bis auf  $\sim 3$  absinken)

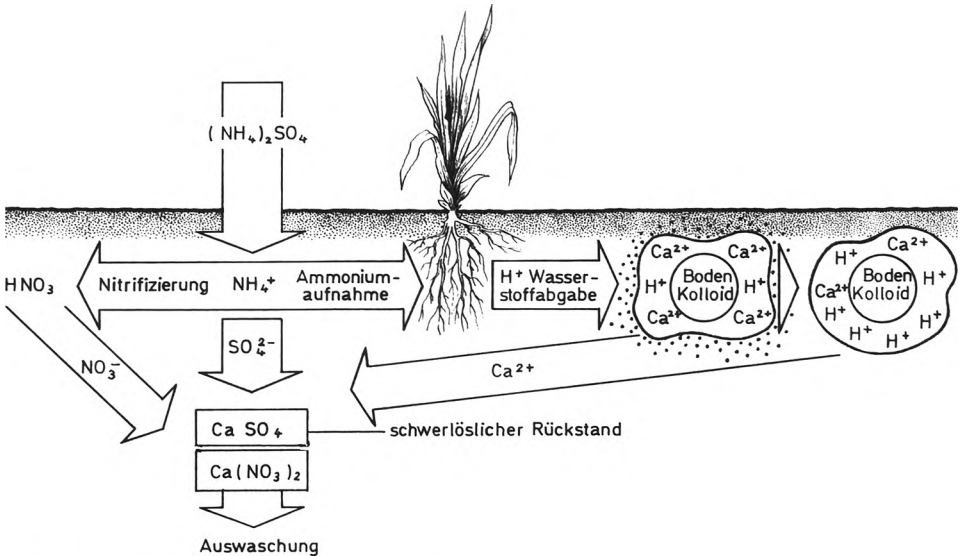


Abb. 6/6

Vereinfachte Darstellung des Vorgangs der Bodenversauerung durch einen physiologisch sauren Mineraldünger (Ammoniumsulfat)

Allen diesen Versauerungstendenzen kann durch Kalkung und andere Düngungsmaßnahmen entgegengewirkt werden.

#### 6.2.4. Kalk als Neutralisator der Bodenazidität

##### Optimale pH-Bereiche

Die einzelnen Pflanzenarten reagieren spezifisch auf die pH-Bereiche. Säureempfindlich sind vor allem Luzerne, Zuckerrüben, Weizen und Gerste, weniger empfindlich z. B. Lupine, Roggen, Kartoffeln und Hafer. Auch die wildwachsenden Pflanzen, insbesondere die Unkräuter, sind mehr oder weniger pH-abhängig. Das nutzt man zur Abschätzung des pH-Wertes im Gelände. In Tabelle 6/3 sind wichtige Zeigerpflanzen für den sauren und neutral-alkalischen Bereich nach Standort und Verbreitungsgebiet innerhalb der DDR zusammengestellt.

Da die Böden auf Grund ihrer Zusammensetzung an bestimmte pH-Bereiche gebunden sind,

Tabelle 6/3

Verbreitete Zeigerpflanzen für verschiedene pH-Bereiche und Substrate auf dem Ackerland (zusammengestellt von *Succow* nach Angaben von *Hilbig, Mahn, Müller, 1969*, sowie *Kaussmann, Kudoke, 1973*)

##### 1. Anzeiger für saure Böden (pH < 6)

Pflanzenart	Verbreitungsgebiet*	
	A	B
1.1. vorwiegend auf sandigen Substraten, stark sauer (pH um und unter 5)		
Bauernsenf ( <i>Teesdalia nudicaulis</i> )		×
Fadenhirse ( <i>Digitaria ischaemum</i> )		×
Grannen-Ruchgras ( <i>Anthoxanthum puelii</i> )		×
Kahles Ferkelkraut ( <i>Hypochoeris glabra</i> )		×
Kleiner Lämmersalat ( <i>Arnoseris minima</i> )		×
Vogelfuß ( <i>Ornithopus perpusillus</i> )		×
Weiches Honiggras ( <i>Holcus mollis</i> )		×
1.2. vorwiegend auf sandig-lehmigen Substraten, mäßig sauer (pH 5 bis 6)		
Ackerhundskamille ( <i>Anthemis arvensis</i> )	×	
Ackerknaul ( <i>Scleranthus anuus</i> )	×	
Acker-Krummhals ( <i>Lycopsis arvensis</i> )	×	
Acker-Spark ( <i>Spergula arvensis</i> )	×	
Feld-Stiefmütterchen ( <i>Viola arvensis</i> )	×	
Hasenklec ( <i>Trifolium arvense</i> )	×	
Hederich ( <i>Raphanus raphanistrum</i> )	×	
Kanadisches Berufskraut ( <i>Conyza canad.</i> )	×	
Kleiner Sauerampfer ( <i>Rumex acetosella</i> )	×	
Rauhe Wicke ( <i>Vicia hirsuta</i> )	×	
Reiherschnabel ( <i>Erodium cicutarium</i> )	×	
Sand-Mohn ( <i>Papaver argemone</i> )	×	
1.3. vorwiegend auf lehmigen Substraten, mäßig bis schwach sauer (pH 5,5 bis 6,5)		
Ackerfrauenmantel ( <i>Aphanes arvensis</i> )	×	
Echte Kamille ( <i>Matricaria chamomilla</i> )	×	
Feld-Ehrenpreis ( <i>Veronica arvensis</i> )	×	
Gemeiner Windhalm ( <i>Apera spica-venti</i> )	×	
Viersamige Wicke ( <i>Vicia tetrasperma</i> )	×	

Tabelle 6/3 Fortsetzung

2. Anzeiger für neutral-alkalische Böden ( $pH > 6$ )

Pflanzenart	Verbreitungsgebiet*)		
	A	C	D
2.1. vorwiegend auf lehmigen und schluffigen (Löß-) Substraten			
Acker-Glockenblume ( <i>Campanula rapunculoides</i> )	×		
Acker-Leimkraut ( <i>Silene noctiflora</i> )	×		
Ackerröte ( <i>Sherardia arvensis</i> )	×		
Feld-Rittersporn ( <i>Consolida regalis</i> )	×		
Glänzender Ehrenpreis ( <i>Veronica polita</i> )		×	
Hundspetersilie ( <i>Acthusa cynapium</i> )	×		
Klatsch-Mohn ( <i>Papaver rhoeas</i> )	×		
Kleine Wolfsmilch ( <i>Euphorbia exigua</i> )		×	
Kleifrüchtiger Leindotter ( <i>Camelina microcarpa</i> )		×	
Knollige Platterbse ( <i>Lathyrus Auberousus</i> )		×	
2.2. vorwiegend auf flachgründigen skelettreichen Bergsubstraten			
Ackerkohl ( <i>Conringia orientalis</i> )			×
Dreihörniges Labkraut ( <i>Galium tricornutum</i> )			×
Möhren-Haftdolden ( <i>Caucalis platycarpus</i> )			×
Sommer-Adonisröschen ( <i>Adonis aestivalis</i> )			×
Venuskamm ( <i>Scandix pecten-veneris</i> )			×

\*) A gesamte DDR

B feuchtere Gebiete (Küstenzone, Ostmecklenburg, Priegnitz, Lausitz)

C trockenere Gebiete (Ostbrandenburg, Uckermark, Vorland des Harzes, Thüringer Becken)

D heute nur noch im Thüringer Becken

muß man einen Kompromiß zwischen dem, was erforderlich, und dem, was möglich ist, eingehen. In Abhängigkeit von Körnungsart und Humusgehalt sind in der Ackerkrume die in Tabelle 6/4 wiedergegebenen pH-Bereiche anzustreben. Auf reinen Sandböden ist ein relativ niedriger pH-Wert zu empfehlen, da diese Standorte schwach gepuffert sind und bei

Tabelle 6/4

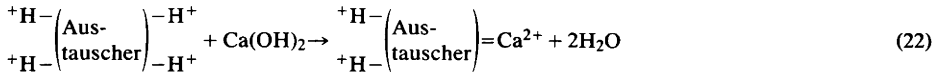
## Optimale pH-Bereiche

Körnungsart	pH-Werte bei einem Gehalt an organischer Substanz von		
	5%	5—15%	> 15%
S, l'S	5,6—5,9	5,2—5,7	4,6—5,1 (Anmoore und Moore)
lS	6,0—6,2		
sL, lU	6,3—6,7	5,8—6,4	
L, UL, uT, IT, sT,	6,5—7,1		
T			

höherem pH-Wert Mangelerscheinungen (z. B. an Mn) auftreten können. Auch auf Moorböden sollte man keinen höheren pH-Wert anstreben, zumal bei diesen keine Aluminiumoxidität auftreten kann. Lehmmige und tonige Böden, die sauer sind, zeigen hingegen bei Anheben des pH-Wertes auf über 5,5 infolge Ausfällung des austauschbaren Aluminiums einen günstigen Effekt.

### Kalkbedarf

Die neutralisierende Wirkung des Kalkes beruht auf der Dissoziation des Kalziums in wässriger Lösung. Die Ca<sup>2+</sup> verdrängen die H<sup>+</sup>-Ionen am Bodenaustauscher, wobei es zur Neutralisierung der freigesetzten H<sup>+</sup> durch Wasserbildung kommt:



Der Anteil der Wasserstoffionen in der Bodenlösung wird also nach einer Kalkung verringert. Wenn auch je nach Art des Kalkdüngers der Ablauf der Reaktion im einzelnen unterschiedlich sein kann, ist doch das wesentliche Ergebnis immer die Abbindung der dissoziierten H-Ionen und damit eine pH-Erhöhung.

Sinkt der pH-Wert unter die in Tabelle 6/4 angegebenen Bereiche, ist eine Kalkung erforderlich. Die zur Erreichung eines bestimmten pH-Wertes notwendige Kalkmenge bezeichnet man als Kalkbedarf. Die Höhe des Kalkbedarfs ist aus der Gesamtazidität des Bodens ableitbar. Die ermittelte Kalkmenge sagt nur etwas über den Boden, jedoch nichts darüber aus, ob für eine bestimmte Pflanzenart eine pH-Verbesserung in diesem Umfange notwendig ist.

Die Bestimmung des Kalkbedarfs kann auf verschiedene Weise erfolgen. Folgende Methoden haben sich besonders bewährt:

#### a) Über Titrationskurven

Versetzung mehrerer gleicher Bodeneinwaagen mit einer Neutralsalzlösung (KCl, CaCl<sub>2</sub>) und gestaffelten Mengen einer Lauge (NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub>); Messung des pH-Wertes nach etwa 2 Tagen; aus den Ergebnissen Ableitung der Titrationskurve für jeden gewünschten pH-Wert, wonach die Berechnung des Kalkbedarfs möglich ist (vgl. Abb. 6/4)

#### b) Über pH-Differenzmessungen

Versetzung des Bodenmaterials mit einer Kalziumacetatlösung von pH 7,5, Austausch der Wasserstoffionen des Bodens durch die Ca-Ionen der Acetatlösung unter Bildung von Essigsäure; Messung des durch die Essigsäure erniedrigten pH-Wertes nach etwa einem Tag; Berechnung der zur Neutralisation notwendigen Kalkmenge aus der pH-Differenz, Umrechnung auf die bei anderen pH-Werten erforderlichen Kalkmengen möglich

#### c) Über Tabellen

Ablesen der zur Erreichung des optimalen pH-Bereiches notwendigen Kalkmenge aus Tabellen, die auf der Grundlage der über (a) bzw. (b) ermittelten Beziehungen zwischen pH-Wert und KAK/Körnungart aufgestellt wurden

Die zu verabreichende Kalkmenge wird zunächst für die Ackerkrume ermittelt. Für eine Unterbodenkalkung sind gesonderte Berechnungen anzustellen. Die Höhe der Kalkung muß so bemessen werden, daß der Boden in den optimalen pH-Bereich gebracht wird. Man spricht in diesem Falle von „Gesundungskalkung“ bzw. *Meliorationskalkung*. Befindet sich der Boden im optimalen Bereich, dann ist in bestimmten Abständen auf Grund der auch weiterhin bestehenden Versauerungstendenzen eine *Ergänzungskalkung* notwendig. Diese periodische Zufuhr wird auch „Erhaltungskalkung“ genannt.

*Überkalkung* wirkt ungünstiger als zu geringe Kalkgaben, sie ist zudem schwieriger zu beseitigen. Sand- und Moorböden reagieren besonders empfindlich. Sind hohe Kalkmengen erforderlich, sollten die Gaben geteilt werden. Bei Sanden darf man i. d. R. nicht über 10 dt/ha, bei Lehmen nicht über 50 dt/ha CaO auf einmal geben.

Auch die Art des Kalkdüngers ist zu variieren. Branntkalke sind auf leichten und Moorböden zu vermeiden. Ungebrannte Kalke (gemahlener Kalkstein, Leunakalk, Dolomit), Löschkalke (z. B. Bunakalk), Hüttenkalke und kalkführende N- und P-Dünger (z. B. Kalkammonsalpeter, Kalkstickstoff, Superphosphat) sind reaktionsträger und daher für diese Standorte besser geeignet.

### 6.2.5. Einfluß des pH-Wertes auf Boden und Pflanze

Vom pH-Wert hängen direkt oder indirekt die verschiedensten Bodenvorgänge und -eigenschaften ab. Der Einfluß erstreckt sich insbesondere auf:

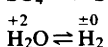
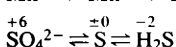
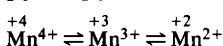
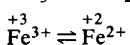
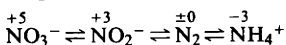
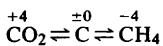
- die chemische Verwitterung: je stärker der pH-Wert vom Neutralpunkt entfernt ist, um so intensiver ist die Verwitterung vieler Minerale
- den Bodenbildungsprozeß: z. B. Podsolierung an stärker saures, Tonverlagerung an schwach saures bis neutrales Milieu gebunden
- die biologische Umsetzung: bei niedrigem pH-Wert Hemmung der Aktivität der meisten Bakterien, Actinomyceten, aber auch der Regenwürmer und anderer Bodentiere (jedoch Förderung des Pilzwachstums); dadurch allgemein Verminderung der biologischen Aktivität, Bildung qualitativ ungünstiger Huminstoffe
- die Redoxreaktion: bei Erhöhung des pH-Wertes Absinken des Redoxpotentials
- die Gefügestabilität: höhere Aggregatstabilität im schwach alkalischen bis neutralen Bereich durch Bildung von Ca-Brücken zwischen den Kolloiden und durch hohe biologische Aktivität, im stark sauren Bereich durch flockende Wirkung des Aluminiums
- die Verschlammungsneigung: bei hohem Gehalt an Ton und niedrigem an organischer Substanz Verschlammungsneigung um so geringer, je höher der pH-Wert ist

Für die Pflanzen ist der pH-Wert von Bedeutung, da die Löslichkeit der Nährelemente und damit ihre Verfügbarkeit in starkem Maße von ihm abhängen. Detaillierte Ausführungen dazu werden in den Abschnitten 6.3.4. bis 6.3.8. gemacht.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß innerhalb der in Tabelle 6/4 angegebenen optimalen pH-Bereiche alle Bodeneigenschaften weitgehend günstig ausgebildet sind und die Nährelementversorgung bei entsprechendem Angebot ohne Störung verläuft. Alle anspruchsvollen Fruchtarten gedeihen unter diesen Bedingungen optimal, vorausgesetzt, daß Düngung und Wasserversorgung ausreichend sind und keine sonstigen Störfaktoren wie Luftmangel, verdichtete Zonen u. a. auftreten.

### 6.2.6. Redoxreaktionen

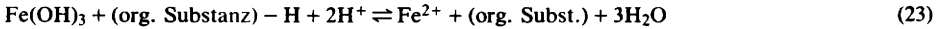
Auch im Boden werden zahlreiche Vorgänge von Redoxreaktionen (ausführlicher: Reduktions-Oxidations-Reaktionen) bestimmt. Davon sind insbesondere die Elemente Kohlenstoff, Stickstoff, Eisen, Mangan und Schwefel betroffen:



Die über den chemischen Symbolen stehenden Ziffern sind die Oxidationszahlen (elektrische Ladung, die den Atomen nach bestimmten Regeln zugeschrieben wird)

## Reduktion und Oxidation

Redoxreaktionen sind durch Elektronenübergänge miteinander gekoppelte Vorgänge der Reduktion und Oxidation. Die Reduktion eines Stoffes ist stets mit der Oxidation eines anderen verbunden. Im folgenden Beispiel wird ein Redoxsystem detaillierter dargestellt:



d. h., die Eisen(III)verbindung wird (z. B. durch mikrobielle oder fermentative Vorgänge im Boden) reduziert, die organische Substanz hingegen oxidiert. Umfassender ausgedrückt bedeutet also:

– *Oxidation*: Abgabe von Elektronen ( $e^-$ ), meist in Form einer Sauerstoffaufnahme oder Wasserstoffabgabe

– *Reduktion*: Aufnahme von Elektronen, meist in Form einer Wasserstoffaufnahme oder Sauerstoffabgabe

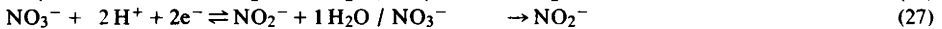
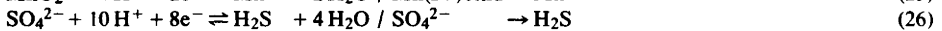
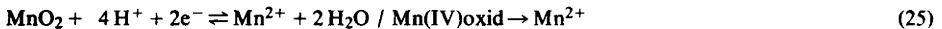
Das Prinzip der Redoxreaktion läßt sich auch über nachstehende Elektronengleichung verdeutlichen:



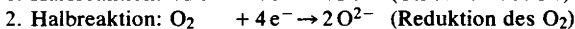
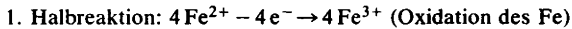
Ox = oxidierte Stufe  
der Verbindung

Red = reduzierte Stufe  
der Verbindung

Dafür seien einige Beispiele anhand sog. Halbreaktionen angeführt:



Durch Darstellung zweier miteinander gekoppelter Halbreaktionen läßt sich die Redoxreaktion vollständig wiedergeben, wie am Beispiel der Oxidation des Eisens gezeigt werden soll:



Verbindungen, die leicht Elektronen aufnehmen (wobei sie selbst reduziert werden), bezeichnet man als *Oxidationsmittel*, solche, die leicht Elektronen abgeben (und dabei oxidiert werden), als *Reduktionsmittel*.

## Redoxpotential

Der Übergang von Elektronen ist mit einer Energietransformation verbunden. Diese Energie ist als elektrisches Potential in mV bzw. V meßbar. Zur Kennzeichnung der Intensität von Oxidations- und Reduktionsprozessen zieht man das sog. Redoxpotential (E) heran. E wird auf das Potential des Wasserstoffs bezogen und in Lösungen daher als Potentialdifferenz meist zwischen einer Wasserstoff-(Bezugs-)Elektrode und einer Platinelektrode gemessen.

Die Quantifizierung des Redoxpotentials kann auf der Grundlage der *Nernstschen* Gleichung vorgenommen werden:

$$E[\text{mV}] = E^0 + \frac{59}{n} \cdot \lg \frac{a_{\text{ox}}}{a_{\text{red}}} \quad (30)$$

$E^0$  = Standardpotential

59 = Konstante

a = Aktivität (der oxidierten und reduzierten Stufe) in Mol/l

n = Anzahl der an der Reaktion beteiligten Elektronen

Ist die Aktivität beider Partner eines Redoxsystems  $\frac{a_{\text{ox}}}{a_{\text{red}}} = 1$ , so entspricht das Potential zwischen Wasserstoff und diesem Redoxpaar unter standardisierten Bedingungen (1 at, 25°C) dem Standardpotential ( $E^\circ$ ). Zum Beispiel für reines Wasser



ist  $E^\circ = +1229 \text{ mV}$ . Im Gegensatz dazu sind Standardpotentiale der einzelnen Partner von Redoxpaaren im Boden schwer zu quantifizieren, da eine Vielzahl von Faktoren einwirken.

Durch das Standardpotential wird das Oxidations- bzw. Reduktionsvermögen eines Redoxsystems angegeben. Oxidierte Stoffe wirken potentialerhöhend, reduzierte potentialerniedrigend. Je höher  $E^\circ$  eines Oxidationsmittels ist, um so höher ist auch seine oxidierende Wirkung. Umgekehrt ist ein Reduktionsmittel um so stärker, je niedriger  $E^\circ$  ist. Im Boden entspricht das Redoxpotential der Summe aller Einzelpotentiale.

Die Beziehungen, die bei einem bestimmten Element zwischen den verschiedenen Oxidations-/Reduktionsstufen bestehen, kann man in Form eines E-pH-Diagramms darstellen (s. Abb. 6/7). Da alle Redoxreaktionen in Lösung vor sich gehen, beziehen sich die jeweiligen Stabilitätsdiagramme auf das des Wassers. Sie werden durch die Zersetzung des Wassers in gasförmigen Sauerstoff und Wasserstoff und damit durch deren Stabilitätsfelder begrenzt.

Wie aus Abbildung 6/7 weiter hervorgeht, ist das Redoxpotential stark pH-abhängig. Es ändert sich unter definierten Bedingungen um etwa 50 bis 60 mV je pH-Einheit, das heißt, bei Erhöhung des pH verringert, bei Erniedrigung erhöht sich das Potential um diesen Betrag.

### Redoxreaktionen im Boden

Hohes Redoxpotential im Boden weist auf Sauerstoffreichtum, niedriges auf -mangel hin. Bei Sauerstoffarmut kommt es zur Anreicherung reduzierter Substanzen mit einem nied-

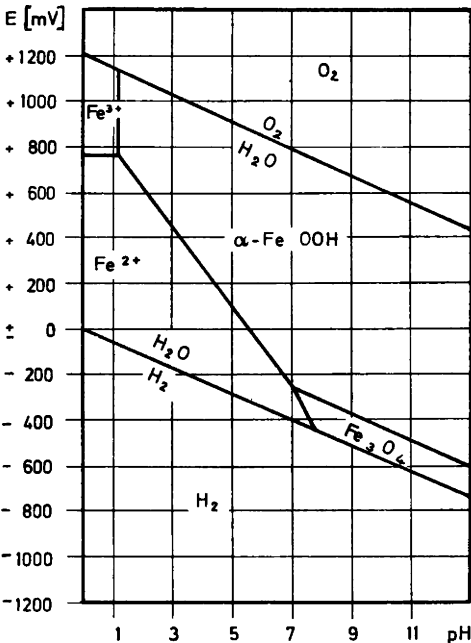


Abb. 6/7  
E-pH-Diagramm von Eisenverbindungen innerhalb des Stabilitätsfeldes des Wassers bei 100 kPa, 25°C und Ionenaktivitäten von  $10^{-5} \text{ Mol/l}$  (nach Brümmer, 1976)

rigen Potential. So wird z. B. bei Wassersättigung des Bodens die Sauerstoffdiffusion aus der Atmosphäre fast völlig unterbunden, was zu reduzierenden Verhältnissen führt. Die in diesem Milieu vorherrschenden anaeroben Mikroorganismen sind an der Reduktion zahlreicher Verbindungen maßgebend beteiligt, wobei die im Boden vorhandene abbaufähige organische Substanz als *Elektronendonator* (lat., Elektronenspender) dient (vgl. Gl. 23) und im Verlauf der Reduktionsvorgänge immer wasserstoffärmer wird. Die als *Elektronenakzeptoren* (lat., Elektronenempfänger) wirkenden Oxidationsstufen der einzelnen Verbindungen nehmen dabei eine unterschiedliche Anzahl von Elektronen auf (vgl. Gl. 25 bis 29).

Es hängt jeweils von der Höhe des Redoxpotentials im Boden ab, in welcher Reihenfolge die jeweiligen Verbindungen reduziert werden. Auf diese Weise ergibt sich eine *Kettenreaktion*, die vom höheren zum jeweils niederen Potential fortschreitet. Bei einem pH-Wert von  $\pm 6$  ergibt sich etwa folgender Reaktionsablauf (*Brümmer, 1974*):

- Beginn der Nitratreduktion ab etwa + 550 mV
- Beginn der Manganreduktion ab etwa + 450 mV
- Beginn der Eisenreduktion ab etwa + 220 mV
- Beginn der Schwefelreduktion ab etwa + 10 mV

Die Reduktion der (zunächst amorphen) Eisen(III)- zu Eisen(II)-Verbindungen beginnt z. B. erst dann, wenn in der Bodenlösung kein Sauerstoff und auch kein Nitrat mehr vorhanden ist.

Länger anhaltende Vernässung des Bodens führt deshalb zu einem immer stärkeren Abfall des Redoxpotentials, wenn kein Sauerstoff weiter zugeführt wird. Sauerstoffreiches Grundwasser hat höhere E-Werte. Wie die Redoxpotentiale in hydromorphen Lössböden verlaufen, ist in Abbildung 6/8 dargestellt. Der Löß-Staugley hat im stauvernäßten Oberboden, der Löß-Gley im grundnassen Unterboden den niedrigsten mV-Wert. Je nach Ver-

Löß - Staugley, Wasserstufe S 3

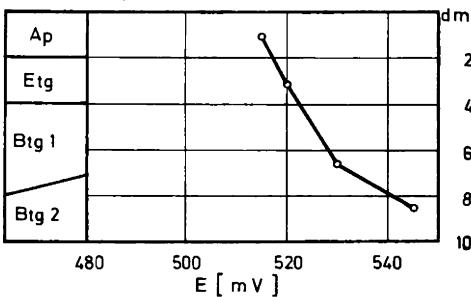
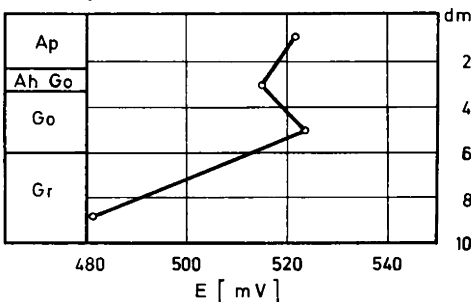


Abb. 6/8

Redoxpotential-Diagramm zweier, nur wenig voneinander entfernt liegender Böden aus Würmlöß; gemessen am 3. 6. 1967 bei Altgeringswalde, Kreis Rochlitz (nach *Schikora, 1970*)

Löß - Gley, Wasserstufe G 3





nässungsintensität zeigt der E-Wert auch innerhalb des Jahresrhythmus Schwankungen. Die niedrigsten Potentiale treten in Perioden mit stärkerer Wassersättigung auf, z. B. im Frühjahr. Stau- und Grundgleye sowie Moore unterliegen auf diese Weise meist größeren Schwankungen im Redoxpotential als die anhydromorphen Böden.

Eine weitere Variation wird durch den pH-Wert verursacht. Durchlüftete saure Böden haben höhere, durchlüftete neutrale hingegen niedrigere Potentiale. Mit zunehmender Reduktion kann der pH-Wert teilweise sogar angehoben, mit zunehmender Oxidation hingegen erniedrigt werden.

Die Intensität der Redoxreaktionen wird, wie oben beschrieben, in besonderem Maße durch den Gehalt an abbaufähiger organischer Substanz bestimmt. So sinkt das Redoxpotential in humusreichen Horizonten schneller ab als in humusärmeren. Auf diese Weise kommt es im Ah-Horizont von Podsolen zur Reduktion und damit Lösung, im humusärmeren Unterboden hingegen zur Oxidation und damit Wiederausfällung des Eisens.

### 6.3. Nährelemente im Boden

Das Angebot an Nährelementen im Boden für die Pflanze hängt vom Gehalt und von der Transformation (Umsatz) derselben sowie von den Faktoren ab, die ihren Antransport zur Pflanzenwurzel beeinflussen. Der Nährelementvorrat eines Bodens ergibt sich aus der Differenz von nativem (lat., natürlich im Sinne von ursprünglich im Mineralgitter enthalten) Gehalt zuzüglich der Zugänge aus Atmo- und Hydrosphäre sowie durch Düngung und Pflanzenrückstände und den Abgängen durch Auswaschung, gasförmiges Entweichen sowie Pflanzenentzug.

Alle Stoffe, die von der Pflanze für ihr Wachstum benötigt werden, faßt man unter dem Begriff lebensnotwendige Stoffe, kurz *Nährstoffe*, zusammen. *Nährelemente* sind die wirksamen Bestandteile derselben. Sie können über Wurzeln und Blätter in die Pflanze gelangen. Im Rahmen der Bodenkunde interessiert nur die Zufuhr über die Wurzeln und da vor allem ihre Transformation (vgl. Tab. 1/1).

Die Nährelemente werden in *Makro-* und *Mikronährelemente* gegliedert, je nach der Größenordnung des im Boden vorhandenen Vorrates (s. Tab. 6/5). Eine andere Gruppierung ist die nach *Haupt-* und *Spurenelementen*, durch welche die Menge, in der sie von der Pflanze benötigt werden, zum Ausdruck gebracht wird.

#### 6.3.1. Transformation der Nährelemente

Alle den Pflanzen zugänglichen Nährelemente werden als (pflanzen-)verfügbar bezeichnet. Bei der Freisetzung von Nährelementen aus dem Mineralgitter spricht man von *Verwitterung*, aus der organischen Substanz von *Mineralisierung*. Der Übergang vom Bodenkolloid in die Bodenlösung wird allgemein *Mobilisierung*, der umgekehrte Vorgang *Immobilisierung* genannt. Die im Bodenkolloid ablaufenden Teilvorgänge nennt man *Freisetzung* (Nachlieferung) und *Festlegung* (Fixierung), die an der Grenzfläche Bodenkolloid/Bodenlösung erfolgenden *Desorption* und *Adsorption* (s. Abschn. 6.1.1.). Die analytische Erfassung dieser Teilvorgänge ist sehr schwierig.

#### Bindungsformen und Transformationsparameter

Die Nährelemente entstammen einmal dem Bodensubstrat selbst (nativer Anteil), zum anderen werden sie über Niederschläge, Grundwasser, Pflanzenrückstände, Düngung und durch Bindung aus der Luft dem Boden zugeführt. Sie können in folgenden **B i n d u n g s - f o r m e n** vorliegen:

– *gelöst*: als Salze in mehr oder weniger dissoziierter oder komplexgebundener Form im Bodenwasser; sehr leicht verfügbar

## Überblick über die wichtigsten im Boden vorkommenden Nährelemente einschließlich Mengen- und Konzentrationsangaben

Symbol	Bezeichnung	Bedeutung für die Pflanze	Stellung im periodischen System	ionar wirksame Form	Gesamtgehalt* je 100 g Boden	Häufige Konzentration* je 1 l Bo.-lösung
<b>Makroelemente</b>						
K	Kalium	H	A	k	bis 3,0 g	> 5 mg
P	Phosphor	H	N	a	bis 0,1 g	< 1 mg
N	Stickstoff	H	N	k, a	bis 0,3 g	> 3 mg
S	Schwefel	H	N	k	bis 0,1 g	> 5 mg
Ca	Kalzium	H	E	k	bis 1,5 g	> 10 mg
Mg	Magnesium	H	E	k	bis 0,5 g	> 5 mg
Fe	Eisen	S	M	k	bis 5,0 g	< 1 mg
Mn	Mangan	S	M	k	bis 0,4 g	> 0,1 mg
<b>Mikroelemente</b>						
Zn	Zink	S	M	k	bis 30,0 mg	} < 0,1 mg
Cu	Kupfer	S	M	k	bis 10,0 mg	
Mo	Molybdän	S	M	a	bis 0,5 mg	
B	Bor	S	N	a	bis 10,0 mg	
Erläuterung		H Haupt-Spurenelement	N Nicht-Alkali-Erdalkali-Metall	k kationisch a anionisch	mg/l = ppm (parts per million: engl., Teile je Million); häufig für Gehalt an Mikroelementen üblich, dann aber bedeutet ppm = mg/kg = 10 <sup>-4</sup> %	

\* Bezieht sich nur auf verbreitete Böden; kalkhaltige Böden haben z. B. einen höheren Gesamtgehalt an Ca, Niedermoores an N und eisenreiche Grundgleye einen höheren Gehalt an Fe in der Bodenlösung

- **adsorbiert:** als Kationen oder Anionen in leicht oder schwer austauschbarer Form an den mineralischen und organischen Austauschern; unterschiedlich verfügbar
- **organisch gebunden:** als Bestandteile der organischen Substanz; unterschiedlich verfügbar
- **mineralisch gebunden:** als Bestandteile kristalliner Substanzen in Form von Gitterbausteinen oder eingebaut bzw. eingeschlossen (okkludiert) in amorphe mineralische Substanzen; kaum verfügbar

Der Anteil an mineralisch und organisch gebundenen Nährelementen überwiegt bei weitem. Nur bis etwa 2 % des Nährelementgehaltes liegt in adsorbierter und gelöster Form vor. Stickstoff, Phosphor, Schwefel sowie verschiedene Mikronährelemente kommen überwiegend in organischer, alle anderen vorherrschend in mineralischer Bindung vor.

Die einzelnen Bindungsformen können als charakteristische *Nährelementzustände* angesehen werden. Zwischen den Bindungsformen bestehen spezifische Gleichgewichte, bei deren Verschiebung die betroffenen Nährelemente den Zustand wechseln können. Den Übergang von einer Bindungsform in die andere bezeichnet man auch als *Umsatz*. Der Umsatz hängt vom jeweiligen verfügbaren Nährelementvorrat, von der Bindungsfestigkeit (Mobilisierungsgrad) des betreffenden Nährelements, vom Löslichkeitsgefälle (Potentialdifferenz) und von der Geschwindigkeit des jeweiligen Prozesses ab. Er macht das eigentliche Wesen der Nährelementtransformation im Boden aus.

Man hat versucht, das Transformationsvermögen des Bodens in einem einzigen Kennwert zusammenzufassen, leider bisher nur mit geringem Erfolg. Abgesehen davon, daß die Verhältnisse bei jedem Nährelement anders sind, lassen sich jedoch folgende vier Komplexparameter für eine Gesamtbeurteilung heranziehen (Ulrich, 1968; Laves, 1974):

- **Intensität (I):** Nährelementangebot in der Bodenlösung, meßbar als Konzentration in der Gleichgewichts-Bodenlösung, gewonnen durch Extraktion mit Wasser oder bodenlösungsähnlichen Flüssigkeiten (z. B. 0,01 m CaCl<sub>2</sub>-Lösung); Angabe als Nährelementkonzentration bzw. als Verhältnis der Ionenaktivitäten, dessen negativer dekadischer Logarithmus das sog. Nährstoffpotential ist
- **Quantität (Q):** adsorbierte Nährelementmenge, die relativ schnell in die Gleichgewichts-Bodenlösung (Intensität) übergehen kann: wird als Maß für den pflanzenverfügbaren Nährelementvorrat verwendet; ermittelbar mit Hilfe nährelementspezifischer Austauschmethoden
- **Kinetik:** Geschwindigkeit der Nachlieferung verfügbarer Nährelemente in die Bodenlösung; meßbar durch wiederholte Extraktion oder durch kontinuierliche Perkolation in Abhängigkeit von der Zeit
- **Pufferkapazität:** Fähigkeit zur Aufrechterhaltung (Stabilisierung) der Konzentration eines Nährelementes, d. h. seines Spiegels in der Bodenlösung; Konzentrationsänderungen werden durch Entzug (Nährelementaufnahme und -auswaschung), Zufuhr (Düngung, Verwitterung, Mineralisierung) sowie Änderungen im Bodenwassergehalt bewirkt; umfaßt gleichermaßen Intensität und Quantität (sog. Quantität-/Intensität-Beziehung)

### **Verfügbarkeit**

Verfügbarkeit ist i. w. S. ein Sammelbegriff für Quantität, Intensität, Kinetik und Pufferkapazität eines bestimmten Nährelements. Durch sie wird das Transformationsvermögen unter dem Aspekt des Nährelementangebots gekennzeichnet. Die Verfügbarkeit hängt deshalb nicht allein von der Bindungsform bzw. dem Nährelementszustand ab, sondern auch von der Bindungsfestigkeit und anderen Faktoren. Verfügbarkeit i. e. S. bezieht sich auf die mobilen Fraktionen und den mobilisierbaren Vorrat (je nach Nährelement als austausch-, aktivier- oder reduzierbar bezeichnet).

In Anlehnung an die Bindungsformen (aber nicht allein von diesen bestimmt) werden folgende Verfügbarkeitsstufen der Nährelemente, die mögliche Mobilisierungsraten widerspiegeln, unterschieden (s. Tab. 6/6):

- *nicht verfügbar*: Nährelemente in fester mineralischer oder organischer Bindung; kaum mobilisierbar; z. B.: Mg als Mineralgitterbaustein, P im Fluorapatit, K im Feldspat, N in heterozyklischer Bindung, alle Nährelemente im inerten Teil des Humusvorrats
- *schwer verfügbar*: Nährelemente noch in stärkerer mineralischer oder organischer Bindung; durch elementspezifische Lösungsvorgänge oder mikrobiellen Angriff im Verlauf einer oder mehrerer Vegetationsperioden mobilisierbar; z. B.: Amid-N, in den Schichtpaket-Zwischenräumen illitischer Tonminerale lokalisiertes (schwer austauschbares) K, alle Nährelemente im weniger schwer zersetzbaren Teil des Humusvorrats
- *leicht verfügbar*: Nährelemente in schwacher mineralischer oder organischer Bindung; relativ schnell mobilisierbar; z. B.: reduzierbares Fe, komplexgebundene Schwermetalle, bei pH-Änderung lösbares P, an der äußeren Oberfläche der Tonminerale sowie in den Schichtpaket-Zwischenräumen smectitischer Minerale lokalisiertes (leicht austauschbares) K, alle Nährelemente in besonders leicht zersetzbaren organischen Stoffen
- *sehr leicht verfügbar*: alle Nährelemente in wasserlöslicher Form

Zwischen diesen Verfügbarkeitsstufen gibt es fließende Übergänge, d. h., sie widerspiegeln nur eine relative Stabilität.

Tabelle 6/6

Verfügbarkeitsstufen der Nährelemente im Boden

Abnahme der Bindungsfestigkeit, Zunahme der Verfügbarkeit

nicht verfügbar	schwer verfügbar	leicht verfügbar	sehr leicht verfügbar
im Mineralgitter	in Schichtpaket-Zwischenräumen wenig aufgeweiteter Tonminerale	in Schichtpaket-Zwischenräumen aufgeweiteter Tonminerale, an der äußeren Oberfläche der Bodenaustauscher	in der Bodenlösung
im inerten Humus, in schwer zersetzbaren organischen Verbindungen	in weniger schwer zersetzbaren organischen Verbindungen	in leicht zersetzbaren organischen Verbindungen	
in einigen Oxiden, Hydroxiden und unlöslichen Salzen	in schwer löslichen Salzen	in reduzierbaren und komplexierbaren anorganischen Verbindungen sowie leicht löslichen Salzen	
immobile, kaum verwitterbare, kaum mineralisierbare Fraktion	schwer austauschbare (nachlieferbare), träge mineralisierbare Fraktion	leicht austauschbare, schnell mineralisierbare Fraktion	wasserlösliche Fraktion
	mobilisierbare (aktivierbare) Fraktion		
<b>Mobilisierung</b>			
Verwitterung, Mineralisierung, Freisetzung, Nachlieferung, Desorption, Austausch, Lösung			
<b>Immobilisierung</b>			
Festlegung, Fixierung, Adsorption, Eintauch, Fällung			

### **Bestimmung der verfügbaren Nährelemente**

Die Bestimmung der verfügbaren Nährelemente kann prinzipiell auf sehr verschiedene Weise erfolgen, von denen nachfolgend die wichtigsten angeführt sind:

#### **a) Bodenanalyse**

Extraktion mittels unterschiedlichster chemischer Reagenzien je nach Nährelement, seiner Bindungsform und Verfügbarkeitsstufe; schnell und einfach durchführbar Ergebnisse liegen vor der Vegetationsperiode vor, Extraktionsbedingungen entsprechen aber nicht voll den Verhältnissen im Boden

#### **b) Pflanzenanalyse**

Veraschung mit anschließender Bestimmung des Gehaltes der aufgenommenen Nährelemente von ganzen (meist jungen) Pflanzen oder Pflanzenteilen, Entnahme derselben zu bestimmten Zeitpunkten aus Gefäßversuchen oder Feldbeständen; schnell durchführbar, Ergebnisse liegen aber erst nach Ablauf einer bestimmten Wachstumszeit vor.

#### **c) Feldversuch**

Mittels gezielter Düngungsversuche Ermittlung der Beziehungen zwischen angebotener Nährelementmenge und Ertrag; Durchführung mit hohem Aufwand verbunden, Ergebnisse liegen erst am Ende der Vegetationsperiode vor, spiegeln aber relativ genau die (gewesene) Verfügbarkeit wider

#### **d) Gefäßversuch**

Verfolgung des gleichen Ziels wie bei (c); Komplex der Wachstumsfaktoren besser kontrollierbar, dafür liegen aber von den Feldbedingungen abweichende Verhältnisse vor, leichter als Feldversuch durchführbar, Ergebnisse sind diesem jedoch ähnlich

In den nächsten Abschnitten wird nur auf die durch Bodenanalysen ermittelbare Verfügbarkeit eingegangen. Von allen landwirtschaftlich genutzten Böden der DDR werden turnusmäßig chemische Serienuntersuchungen vorgenommen. Die Durchführung dieser Systematischen Bodenuntersuchung einschl. Kontrolle des Nährelementzustandes obliegt dem Agrochemischen Untersuchungs- und Beratungsdienst (ACUB). Die Analysen erstrecken sich auf laktatlösliches K und P, kalziumchloridlösliches Mg, pH (Kalkzustand) und in besonderen Fällen auch auf Mikronährelemente. Die Proben für die Untersuchung werden aus dem Ap- bzw. Aw-Horizont entnommen, in bestimmten Fällen zusätzlich aus dem Unterboden. Eine Übersicht über die Grenzwertbereiche für die wichtigsten Nährelemente wird in Tabelle 6/7 gegeben.

Die Ergebnisse werden den sozialistischen Landwirtschaftsbetrieben nährelementbezogen für die einzelnen Schläge in Form von *Noten* bzw. als *Kalkzustand/Versorgungsstufe* (VSt) oder *Düngungsgruppe* mitgeteilt (s. Tab. 6/8). Die Noten werden nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Note} = \% \text{ der Fläche mit VSt } 1 + 0,5\% \text{ der Fläche mit VSt } 2 \quad (32)$$

In Tabelle 6/9 sind die Ergebnisse des 5. Turnus (1970 bis 1973) der Systematischen Bodenuntersuchung im Vergleich zum 3. (1961 bis 1965) und zum 4. Turnus (1966 bis 1969) zusammengestellt.

Eine weitere Auswertung der Nährelementbestimmung erfolgt durch Übernahme der Daten in die Schlagkartei der Betriebe und in die Düngungskartei der Agrochemischen Zentren. Dort werden sie als wichtige Eingangsparameter für den DASKE und für die Berechnung der optimalen Düngung über das EDV-Programm „Düngungsempfehlungen“ (s. Abschn. 5.6.4.) verwendet.

### **6.3.2. Antransport der Nährelemente zur Pflanze**

Die Pflanze nimmt die Nährelemente in erster Linie direkt aus der Bodenlösung auf. Die Bodenlösung (Außenlösung) steht ihrerseits mit der Innenlösung der Austauschler (s. Abschn. 6.1.1.) und den nicht gelösten Salzen im Gleichgewicht. Die Nährelemente werden

Tabelle 6/7

Grenzwertbereiche für den Gehalt wichtiger Makro- und Mikroelemente (Versorgungsstufen) im Ap-/Aw-Horizont auf der Grundlage der Systematischen Bodenuntersuchung in der DDR (nach Autorenkoll., 1973)

Nährelement (Extraktions- mittel)	Ver- sorgungs- stufe	Körnungsarten S	1'S, IS		sL (IU)		L (UL)		IT, uT, T		Moor
			1.	2.	3.	4.	5.	6.			
mg/100 g Boden											
K <sup>1</sup> (Ca-Laktat) <sup>2</sup>	III	< 4	< 6	< 8	< 10	< 12	< 9				
	II	4—8	6—10	8—12	10—15	12—20	9—15				
	I	> 8	> 10	> 12	> 15	> 20	> 15				
P <sup>3</sup> (Ca-Laktat) <sup>2</sup>	III		< 3,5								
	II		3,5—7								
	I		> 7								
Mg (CaCl <sub>2</sub> )	III	< 2,5	< 3,5	< 6,0	< 6,0	< 2,5					
	II	2,5—5,0	3,5—7,0	6,0—12,0	6,0—12,0	2,5—5,0					
	I	> 5,0	> 7,0	> 12,0	> 12,0	> 5,0					
pH <sup>4</sup> (KCl)	III	< 5,0	< 5,3	< 5,8	< 5,8	< 6,0	< 3,6				
	II	5,0—5,5	5,3—5,8	5,8—6,4	5,8—6,4	6,0—6,5	3,6—4,2				
	I	> 5,5	> 5,8	> 6,4	> 6,4	> 6,5	> 4,2				

Tabelle 6/7 Fortsetzung

Grenzwertbereiche für den Gehalt wichtiger Makro- und Mikroelemente (Versorgungsstufen) im Ap-/Aw-Horizont auf der Grundlage der Systematischen Bodenuntersuchung in der DDR (nach Autorenkoll., 1973)

Nährelement (Extraktions- mittel)	Ver- sorgungs- stufe	Körnungsarten S	I <sup>1</sup> S, IS Düngungsstufen des Düngungssystems (s. Tab 4/4)	sL (IU)	L (UL)	IT, uT, T	Moor
mg/kg Boden (ppm)							
Mn (MgSO <sub>4</sub> + Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> )	III	< 4	< 6	< 10			n. b.
	II	4—8	6—12	10—20			n. b.
Zn (NH <sub>4</sub> CO <sub>3</sub> + Chelapl.)	I	> 8	> 12	> 20			n. b.
	III	< 1,0		< 1,5			n. b.
II		1,0—2,5		1,5—3,0			n. b.
	I	> 2,5		> 3,0			n. b.
Cu (HNO <sub>3</sub> )	III	< 1,5	< 2,0	< 4,0			< 5,0
	II	1,5—3,5	2,0—4,5	4,0—8,0			5,0—10,0
I		> 3,5	> 4,5	> 8,0			> 10,0
	III	< 0,15	< 0,20	< 0,35			
B (siedendes H <sub>2</sub> O)	II	0,15—0,25	0,20—0,30	0,25—0,40			0,35—0,60
	I	> 0,25	> 0,30	> 0,40			> 0,60

<sup>1</sup> K nur für Ackerland, alle anderen Nährelemente für Acker- und Grünland; bei Bodengruppe 3 und 4 Lößböden nicht mit eingeschlossen, für diese entsprechen Werte < 7, 7... 11, > 11 mg

<sup>2</sup> DL-Methode

<sup>3</sup> außer Böden aus Muschelkalk

<sup>4</sup> pH-Wert bei Mineralböden nur für Material mit < 4% organische Substanz

Tabelle 6/8

Noten, Versorgungsstufen (VSt) und Düngungsgruppen als Beurteilungsergebnis der Systematischen Bodenuntersuchung in der DDR

Note	Versorgungsstufe	Gehalt	Düngungsgruppe	Farbgebung auf Karten
0— 20	III	niedrig	V	rot
21— 40	II	mittel	IV	rosa
41— 60			III	gelb
61— 80	I	hoch	II	grün
81—100			I	blau

Tabelle 6/9

Ergebnisse der Systematischen Bodenuntersuchung (Nährelementversorgung und Kalkzustand) vom 5. im Vergleich zum 4. und 3. Turnus (nach Witter, 1966; Witter, Kolbe, 1974)

Element	3. Turnus	4. Turnus	5. Turnus			
	Note	Note	VSt I %	VSt II %	VSt III %	Note
<i>Ackerland</i>						
Kalium	50	63	58	34	8	75
Magnesium	57	45	29	52	19	55
Phosphor	37	43	22	63	15	54
Kalk	46	60	53	34	13	70
<i>Grünland</i>						
Kalium	40	56	58	26	16	71
Magnesium	89	n. b.	78	19	3	88
Phosphor	21	32	21	48	31	45
Kalk	43	81	74	20	6	84

von der Pflanze zu bestimmten Zeiten in bestimmten Mengen benötigt. Deshalb hängt eine ausreichende Versorgung der Pflanzen nicht allein von der Quantität und Intensität, sondern auch von der Kinetik ab. Der kinetische Aspekt hat für den Antransport zur Pflanzenwurzel eine um so größere Bedeutung, je weniger Nährelementangebot in der Bodenlösung und Nährelementbedarf der Pflanze übereinstimmen.

Der Antransport der Nährelemente zur Pflanze und ihre Aufnahme können auf folgende Weise vor sich gehen:

— *durch Diffusion* (s. auch Abschn. 6.1.1.), wenn infolge zu geringen Angebots eines bestimmten Nährelements die Konzentration desselben in der Wurzelumgebung absinkt und damit ein Gefälle (Konzentrationsgradient) entsteht, das eine Bewegung dieses Nährelements zur Wurzel hin auslöst; trifft für solche Elemente zu, die in geringeren Mengen in der Bodenlösung vorhanden sind (z. B. P, Mn, B z. T.)

— *durch Massenfluß*, wenn infolge Transpiration der Wassergehalt in der Wurzelumgebung absinkt und damit ein Gefälle (Wasserpotentialgradient) entsteht, das eine Bewegung der Bodenlösung zur Wurzel hin auslöst; trifft sowohl für solche Elemente zu, die in größeren Mengen in der Bodenlösung vorhanden sind (z. B. N, Ca) als auch für Mikroelemente (z. B. Mo, B z. T.)

— *durch Wurzelinterzeption*, wenn das Nährelement durch unmittelbaren Kontakt mit der Wurzel ohne Wirkung von Massenfluß oder Diffusion aufgenommen wird; spielt eine untergeordnete Rolle, kommt vor allem bei bestimmten Mikronährelementen vor (z. B. Cu)



Die Konzentration der Mikroelemente ist oft so gering, daß es durch Massenfluß und Diffusion nur dann zu einem ausreichenden Angebot in der Bodenlösung kommt, wenn eine bestimmte Konzentration an aufnehmbaren Ionen durch Reduktion und Komplexbildung aufrecht erhalten wird. Die Reduktion kann unter anaeroben Bedingungen, z. B. bei schwer löslichen Eisen- und Manganverbindungen durch mikrobiell ausgeschiedene Stoffe, erfolgen. Andere Elemente bilden mit niedermolekularen organischen Verbindungen, die von Wurzeln und Mikroorganismen ausgeschieden werden, Komplexe, die ebenfalls eine Löslichkeitserhöhung zur Folge haben.

Die von der Pflanze aufgenommene Nährelementmenge hängt auch von der Anzahl der Wurzeln ab. Je verzweigter das Wurzelnetz ist, um so geringer ist die mittlere Transportentfernung zur Wurzel. Pfahlwurzler erschließen zusätzlich den Unterboden. Das Entwicklungsstadium der Pflanze spielt ebenfalls eine Rolle. Junge Pflanzen wie auch junge Pflanzenorgane nehmen Nährelemente verstärkt auf, daher sind sie reicher an diesen als ältere. Schließlich wird die Nährelementaufnahme, vor allem wegen des Massenflusses, durch die Stärke des Assimilationsstroms beeinflusst. Je größer die aufgenommene Wassermenge ist, um so mehr können auch Nährelemente passiv mit transportiert werden. Unsere Kulturpflanzen verbrauchen ca. 200 bis 600 kg Wasser je Kilo erzeugter Trockenmasse. So benötigt z. B. Silomais bei einem Grünmasseertrag von 400 bis 500 dt/ha etwa 200 l/m<sup>2</sup>.

### 6.3.3. Nährelementauswaschung

Verluste an Nährelementen können durch Auswaschung und gasförmiges Entweichen entstehen. In diesem Abschnitt werden die Auswaschungsverluste zusammenfassend behandelt. Der Entzug durch die Pflanze ist ein produktiver Abgang und daher nicht als Verlust zu bezeichnen.

Der Umfang der Nährelementauswaschung geht aus Abbildung 6/9 hervor. Er wird im wesentlichen von folgenden Faktoren bestimmt:

– *Austauschkapazität* in Abhängigkeit von Substrat (Körnungsart, Schichtwechsel) und Humusgehalt

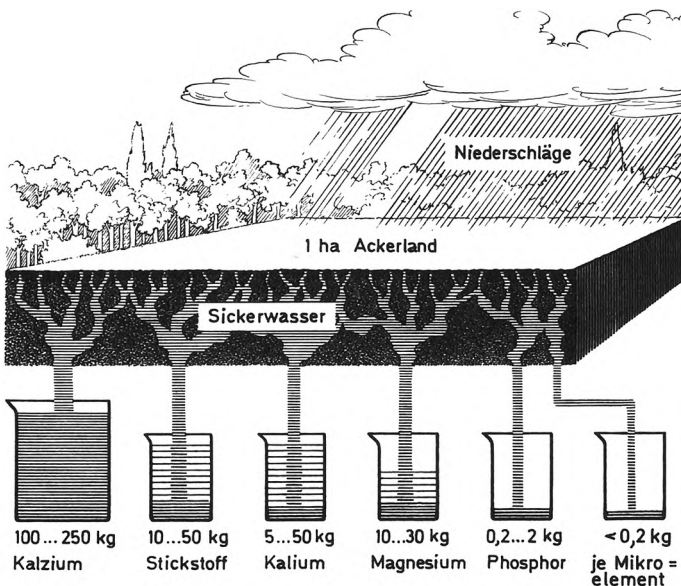


Abb. 6/9 Vereinfachte Darstellung der Auswaschungsverluste wichtiger Nährelemente mit Angabe der Schwankungsbereiche (nach verschiedenen Autoren)

- *Durchlässigkeit* in Abhängigkeit von Substrat und Gefüge
- *Nährelementkonzentration* in der Bodenlösung (besonders im Sickerwasser) in Abhängigkeit von Bodenform, Düngung und Bewässerung
- *Sickerwassermenge* und *-geschwindigkeit* in Abhängigkeit vom Klima (Witterung), Durchlässigkeit und Bewässerung
- *Durchwurzelung* des Bodens in Abhängigkeit von Fruchtart und Pflanzenbestand

Die Auswaschungsverluste sind um so größer, je geringer die KAK, je durchlässiger der Boden, je höher die Nährelementkonzentration in der Bodenlösung, je größer die Sickerwassermenge und je geringer die Durchwurzelung ist. Dementsprechend kann die Auswaschung in den verschiedenen Bodenformen recht unterschiedlich sein. Sandböden müssen nicht unbedingt die höchsten Verluste zeigen. Löß- und Lehmböden können bei gleicher Sickerwassermenge infolge höherer Nährelementkonzentration ebenfalls recht große Auswaschungsverluste bei Ca, Mg und N aufweisen (s. Tab. 6/10). Die mittleren Konzentrationswerte sind für die in Tabelle 6/10 angegebenen Bodenformen in Tabelle 6/11 angeführt. Daraus geht die allgemein bekannte Tatsache hervor, daß Kalzium die höchste Konzentration in den Sickerwässern hat. Magnesium zeigt in Lössen und Tonen, Kalium nur in Sanden einen relativ hohen Wert.

Tabelle 6/10

Mittlere jährliche Auswaschungsverluste verschiedener Bodenformen bis 10/14 dm u. Fl. in kg/ha nach Messungen im Unterdrucklysimeter (nach *Weise*, 1977)

Bodenform	Versuchsstation Ort (Kreis)	Anzahl der Meß- jahre*)	Auswaschungsverluste [kg/ha]				
			Ca	Mg	K	NO <sub>3</sub> —N	NH <sub>4</sub> —N
Sand-Rosterde	Eberswalde	9	118	8,5	20,7	10,6	2,5
Sandtieflerhm- Fahlerde	Eberswalde	9	75	5,6	6,8	3,9	1,6
Salmtieflerhm- Fahlerde	Neubrandenburg	6	20	5,6	1,0	0,6	0,5
Salmtieflerhm- Braunstaugley	Greifswald	6	49	10,2	1,9	5,5	2,0
Lehm-Staugley	Neubrandenburg	6	107	14,3	3,0	10,0	1,3
Löß-Braunstaugley	Geithain	6	65	20,0	4,4	6,8	2,5
Deckauenlehm-Gley	Seelow	6	117	12,4	5,4	12,3	2,6
Auenton-Amphigley	Bad Freienwalde	6	73	11,0	2,3	3,9	0,7

\*) 1967 bzw. 1970 bis 1975

Tabelle 6/11

Auf Körnungsarten bezogene mittlere jährliche Sickerwasserkonzentrationen der wichtigsten Nährelemente in mg/l (nach *Weise*, 1977)

Substrat- gruppe	Nährelementkonzentration in mg/l (ppm)				
	Ca	Mg	K	NO <sub>3</sub> —N	NH <sub>4</sub> —N
Sande	43	4,5	8,5	4,0	1,5
Lehme	68	9,5	1,5	4,0	1,0
LöÙe	62	21,5	3,0	3,5	1,5
Tone	113	14,5	4,0	7,0	1,5

Nährelemente  
[kg / ha · Jahr]

Sickerwasser  
[l/m<sup>2</sup> · Jahr]

Abb. 6/10  
Mittlere Auswaschungsverluste in benachbarten, aber unterschiedlichen Bodenformen unter sonst gleichen Standortbedingungen bei Eberswalde nach etwa 10jährigen Messungen im Unterdrucklysimeter bis 10 dm Tiefe (nach Weise, 1977)

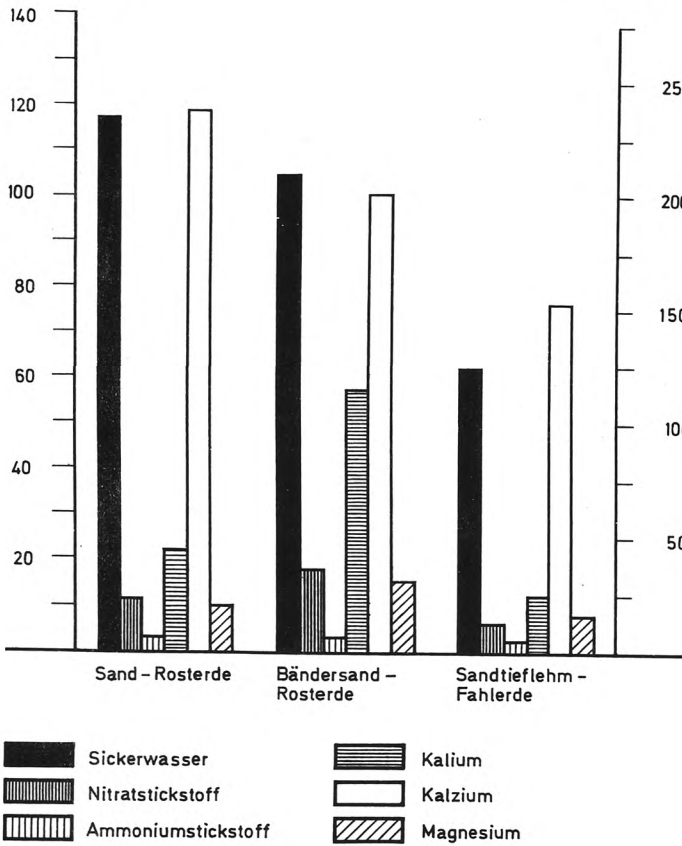


Tabelle 6/12

Mittlere jährliche Sickerwassermengen in l/m<sup>2</sup> mit prozentalem Anteil am Niederschlag (nach Weise, 1977)

Bodenform*)	1. Quartal		2. Quartal		3. Quartal		4. Quartal		Jahr	
	[l/m <sup>2</sup> ]	[%]	[l/m <sup>2</sup> ]	[%]	[l/m <sup>2</sup> ]	[%]	[l/m <sup>2</sup> ]	[%]	[l/m <sup>2</sup> ]	[%]
Sand-Rosterde	70	70	69	44	25	18	69	49	233	44
Sandtieflehm-Fahlerde	64	64	29	19	5	4	26	19	124	23
Salmtieflehm-Fahlerde	21	28	8	5	0	0	19	14	48	9
Salmtieflehm-Braunstaugley	98	93	52	35	1	1	18	12	169	35
Lehm-Staugley	86	102	43	26	13	9	27	18	169	31
Löß-Braunstaugley	38	41	51	24	3	2	26	16	118	18
Deckauenlehm-Gley	54	96	60	40	8	6	26	21	148	32
Auenton-Amphigley	14	18	20	13	4	3	14	10	52	10

\*) Versuchsstandorte s. Tabelle 6/10

Neben der Konzentration beeinflusst vor allem die Sickerwassermenge die Höhe der Auswaschungsverluste. In Abbildung 6/10 wird dargestellt, wie sich Sickerwassermenge und Nährelementverluste an einem Ort, aber bei unterschiedlichen Bodenformen zueinander verhalten. Die Tieflehm-Fahlerde weist infolge der stauenden Wirkung des Lehmkörpers eine geringere Sickerwassermenge und damit auch die geringsten Verluste bei allen Nährelementen auf.

Welche jährlichen Sickerwassermengen zu erwarten sind, wird für die in Tabelle 6/10 angegebenen Bodenformen in Tabelle 6/12 dargestellt. Erwartungsgemäß sind bei sandigen Böden i. d. R. die höchsten, bei tonigen die niedrigsten Werte zu verzeichnen. In Abhängigkeit vom Substratwechsel wird diese allgemeine Regel z. T. jedoch abgewandelt. Der Umfang der Versickerung ist auch in den einzelnen Quartalen verschieden. Insgesamt gesehen sind etwa folgende Tendenzen zu erkennen (Weise, 1977):

	absolute Mengen (mm)	relative Mengen (in % der Quartals- niederschläge)
Sande, Lehme, Löße:	I > IV > II > III	I > IV > II > III
Tone:	III > I > IV > II	I > II > IV > III

Hier ist deutlich zu erkennen, daß ein typischer Jahresrhythmus vorliegt, bei dem das 3. Quartal immer an letzter Stelle steht.

Bezieht man die ausgewaschenen Nährelemente auf die mittlere jährliche Düngung in den o. g. Versuchen (80 kg N, 80 kg K, 35 kg Mg und 375 kg Ca je ha), dann ergeben sich Verluste bei

- N von 10 bis 25%
- K von 15 bis 35%
- Mg von 20 bis 25%
- Ca von 10 bis 30%

der eingebrachten Dünger-Nährelemente.

#### 6.3.4. Kalium

Kalium (K) ist nativ im Boden vorwiegend in Silikaten lokalisiert. Besonders reich an K sind Feldspäte, Glimmer und Leuzit. Von den Tonmineralen enthalten die Illite sowie der weniger verbreitete Vermiculit und der ebenfalls seltenere Glaukonit viel K. Der Gesamtgehalt korreliert ziemlich eng mit dem Tongehalt. Er steigt in den (Laves, 1974)

- Glaziärsubstraten von etwa 1 % K bei < 5 % Ton bis etwa 1,9 % K bei > 30 % Ton
- Lößsubstraten von etwa 1,6 % K bei < 10 % Ton bis 2,6 % K bei > 30 % Ton

Der Kaliumgehalt der Tonfraktion kann auch mittelbar aus der Tonmineralzusammensetzung abgeleitet werden. Man geht davon aus, daß die Illite etwa 5 %, die sekundären Chlorite etwa 2,5 % und die Smectite etwa 0,8 % K enthalten. Die organische Substanz des Bodens hat einen vergleichsweise geringen Kaliumgehalt.

Über die Düngung werden z. Z. in der DDR dem Boden etwa 150 kg K/ha LN zugeführt, wovon fast die Hälfte aus organischen Düngern stammt. Durch Gülle können örtlich wesentlich größere Mengen in den Boden gelangen.

#### Bindungsformen und ihre Bestimmung

Die jeweiligen Mengen des in verschiedenen Formen gebundenen K hängen weitestgehend von dem Gleichgewicht ab, wie es in Abschnitt 6.1. für den Kationenaustausch und in Abschnitt 6.3.1. anhand der Verfügbarkeitsstufen beschrieben wurde. Dieses Gleichgewicht ist dynamisch reversibel (grch., lat.: beweglich und umkehrbar). Zwischen den einzelnen Bindungsformen gibt es daher Übergänge. Das an der äußeren Oberfläche der Tonminerale nichtselektiv gebundene K (sog. *planares Kalium*) ist ebenso leicht wie das innerhalb smectitischer Schichtpaket-Zwischenräume lokalisierte austauschbar. Organi-

sche Austauscher adsorbieren Kalium ausschließlich nichtselektiv. Das schwer austauschbare Kalium ist in K-spezifischen Bindungspositionen an den Randzonen und im Inneren der Schichtpaket-Zwischenräume besonders von Illiten selektiv adsorbiert, wobei andere, sog. Konkurrenzionen (z. B.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) verdrängt werden.

Wenn die Menge der selektiv adsorbierten K-Ionen einen gewissen Schwellenwert überschreitet, kontrahieren (lat.; sich zusammenziehen) die Schichtpakete. In der Folge kommt es zu einer gehemmten Rückdiffusion, man spricht auch von *K-Fixierung*. Erst bei stärkerer Verschiebung des Gleichgewichts in Richtung Außenlösung, z. B. bei Verringerung der  $\text{K}^+$ -Konzentration in der Bodenlösung infolge Aufnahme durch die Pflanze, kann auch fixiertes K wieder freigesetzt werden. Man spricht in diesem Fall von schwer austauschbarem (früher von nachlieferbarem) K. Die Dreischicht-Minerale, insbesondere Illit, üben somit eine Pufferfunktion gegenüber K aus. Je nach Gleichgewichtslage zwischen den verschiedenen Bindungsformen wird K gebunden oder freigesetzt, was man i. e.S. als Transformationsvermögen des Bodens für Kalium bezeichnen kann. Infolge der selektiven Bindung erfolgt die Adsorption allerdings leichter als die Desorption.

Der Nachweis, daß mehr K von der Pflanze aufgenommen wird, als dem leicht austauschbaren entspricht, konnte in Gefäßversuchen erbracht werden. So wurde z. B. bei einem Röt-Ton mit einem Gehalt von umgerechnet 2 110 kg/ha leicht austauschbarem plus gelöstem Kalium (d. s. 1,47% des Gesamt-K) ermittelt, daß durch 5malige Roggenbepflanzung insgesamt 4719 kg K/ha (das sind 3,28% des Gesamt-K) entzogen wurden. Der Anteil an schwer austauschbarem K, das nachgeliefert werden konnte, betrug somit 2609 kg/ha bzw. 1,81%. Diese Größenordnung trifft auch für andere Böden zu.

Die **B e s t i m m u n g** der einzelnen Bindungsformen des Kaliums erfolgt mit Hilfe folgender analytischer Methoden:

– *Nicht austauschbares K über Gesamt-K*: durch Aufschluß mittels  $\text{HF} + \text{H}_2\text{SO}_4$  (TGL 25418/18)

– *fixierbares K*: durch Versetzen des Bodenmaterials mit einer KCl-Lösung bekannter K-Menge, anschl. Extraktion mit  $\text{NH}_4$ -azetat; Differenz zum zugegebenen K entspricht der fixierten Menge (sog. nasse Fixierung, TGL 25418/08)

– *schwer austauschbares K*: durch HCl-Extraktion und Abzug des leicht austauschbaren K (TGL 25418/08); ältere Bezeichnung nachlieferbares K

– *leicht austauschbares K*: durch Extraktion mit Neutralsalzlösungen und Abzug des sehr leicht austauschbaren K; Gesamtmenge mittels  $\text{NH}_4$ -azetat (Azetat-Methode, TGL 25418/19), Teilmenge mittels verschiedener Laktatlösungen (Laktat-Methode) erfassbar

– *sehr leicht austauschbares K*: durch Wasserextraktion

Bei den **L a k t a t - M e t h o d e n** können verschiedene Extraktionsmittel verwendet werden. Am bekanntesten sind:

– die *DL-Methode* (Doppellaktat-Methode): Extraktion mit einer Lösung aus Ca-Laktat plus HCl (TGL 25418/07, 08) – im gleichen Auszug auch Bestimmung des verfügbaren P

– die *AL-Methode* (Ammoniumlaktat-Methode): Extraktion mittels einer Lösung aus  $\text{NH}_4$ -laktat plus Essigsäure

In der DDR wird z. Z. vorwiegend die DL-Methode angewendet.

### **Kaliumfixierung und Kaliumbereitstellung**

Der schwer austauschbare K-Vorrat im Boden ist unter zwei Aspekten zu sehen, dem seiner Auffüllung (Fixierung) und dem seiner Entleerung (Bereitstellung). Wie hoch dieser Vorrat im allgemeinen ist, geht aus Tabelle 6/13 hervor. Bezogen auf den Gesamtkaliumgehalt der Tonfraktion sinkt der relative Anteil des schwer austauschbaren K (Differenz zwischen salzsäure- und azetatlöslichem Kalium) vom Sand zum lehmigen Ton kontinuierlich ab. Je mehr also ein Boden Ton enthält, um so weniger ist von seinem Gesamtverrat austauschbar (und um so mehr kann fixiert werden).

Zwischen Kaliumfixierung und Kaliumbereitstellung besteht ein von komplizierten Vorgängen abhängiges Gleichgewicht. Diese Vorgänge werden durch ganz bestimmte Faktoren beeinflusst. Die Kaliumfixierung ist um so stärker,

- je höher der Gehalt an Ton und bei diesem der Anteil an K-fixierenden Mineralen ist (Korrelationskoeffizient Tongehalt – Gehalt an fixierbarem K beträgt bei den Böden der DDR etwa + 0,80),
- je weniger die Tonminerale an K gesättigt sind, insb. an schwer austauschbarem, bei höheren K-Gehalten auch an leicht austauschbarem, und
- je höher die Konzentration an K in der Bodenlösung ist und je länger die Gleichgewichtseinstellung dauert

In humosen Horizonten kann die Fixierung dadurch verringert werden, daß größere organische Kationen und aus organischen Substanzen freigesetzte  $\text{NH}_4$ -Ionen die Kontraktion der Schichtpakete behindern.

Die Kaliumbereitstellung als der Fixierung entgegengesetzter Vorgang hängt teils von den gleichen, teils von entgegengesetzten Bedingungen ab. Sie ist um so stärker:

- je höher der Gehalt an Illiten (Korrelationskoeffizient Illitgehalt/Gehalt an schwer austauschbarem K für die Böden der DDR etwa + 0,70) und bei diesem – gleiche Schichtladung vorausgesetzt – der Anteil an trioktaedrischen Formen (s. Abschn. 3.2.8.) ist,
- je höher die Tonminerale an schwer austauschbarem K gesättigt sind (Korrelationskoeffizient Tongehalt/Gehalt an schwer austauschbarem K für die Böden der DDR etwa + 0,50),

Tabelle 6/13

Anteile analytisch ermittelter Kaliumfraktionen in den Glaziärsubstraten der DDR (nach *Laves*, 1974)

Körnungsart	K-Anteil der Tonfraktion in % des Gesamt-K der Feinerde	Anteile des auf die Tonfraktion entfallenden K-Gehaltes der Feinerde in % des Gesamtgehaltes an K				leicht austauschbares K (b) in % des gesamt-austauschbaren K (c)
		Laktat-Methode a	Azetat-Methode b	Salzsäure-Methode c	schwer austauschbares K (c – b)	
S	6	4,5	8,2	24	15,8	34
l'S	12	2,9	5,9	20	14,1	30
IS	16	2,1	4,8	18	13,2	27
sL	22	1,1	2,7	15	12,3	18
L	27	0,7	1,8	13	11,2	14
IT	45	1,0	1,6	11	9,4	15

Tabelle 6/14

Grenzwerte des potentiell verfügbaren K-Vorrates in mg/100 g Boden (nach *Laves*, 1974)

Kaliumvorrat	salzsäurelösliches K [mg/100 g Boden]	auf den Ton entfallendes Gesamt-K [mg/100 g Boden]	Illit + Al-Chlorit [g/100 g Boden]
gering	< 20	< 100	< 3
mittel	20–40	100–250	3–6
hoch	> 40	> 250	> 6

- je jünger das fixierte K ist (als Residualkalium oder Restdüngerkalium bezeichnetes fixiertes Dünger-K wird z. B. leichter abgegeben als natives),
- je stärker der Boden an leicht austauschbarem K verarmt und je geringer die K-Konzentration in der Bodenlösung ist.

Die beste Kennzeichnung des K-Bereitstellungsvermögens ist durch Bestimmung des oben bereits angeführten *salzsäurelöslichen Kaliums* möglich. Zwischen dieser Fraktion und der K-Aufnahme durch die Pflanze konnten recht enge Beziehungen festgestellt werden. Da der Gehalt an HCl-löslichem K zudem mit dem auf den Tonanteil entfallenden Kaliumgehalt korreliert, werden beide Parameter zur Gruppierung der Böden nach dem potentiell verfügbaren K-Vorrat herangezogen (s. Tab. 6/14).

Nach dieser Einstufung können die Bodensubstrate in der DDR wie folgt eingeschätzt werden (Laves, 1978):

- *gering*: sandige Glaziär- sowie sandige und lehmsandige Auensubstrate
- *mittel*: sandige Berg-, lehmsandige Glaziär- und Sandlöß- sowie sandlehmige und lehm-schluffige Auensubstrate
- *hoch*: alle übrigen Substrate

Aufnahme und Abgabe von K ist bei den Illiten, wie bereits erläutert, in gewissem Umfang auch mit einer Kontraktion bzw. Aufweitung der Schichtpakete verbunden. Im Zuge der Verwitterung läuft diese Gleichgewichtsreaktion bevorzugt in Richtung Aufweitung ab, da das native Kalium mit der Zeit durch hydratisierte Konkurrenzionen aus den Schichtpaket-Zwischenräumen verdrängt wird und so der zunächst nicht aufgeweitete Illit allmählich in den aufgeweiteten übergeht. Gleichzeitig erhöht sich damit einerseits die KAK und verringert sich andererseits der Kaliumgehalt der Tonminerale. Als Maß für diesen Vorgang wird die *relative Kaliumverarmung* (KV) herangezogen:

$$KV[\text{mg/mval}] = \frac{\text{salzsäurelösliches K}[\text{mg}/100 \text{ g}]}{\text{KAK des Tones} [\text{mval}/100 \text{ g}]} \quad (33)$$

Je kleiner dieser Wert ist, um so stärker sind Kaliumverarmung und Aufweitung fortgeschritten. In den Böden der DDR schwankt KV von 10 bis 2 mg K/mval.

### Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit des Kaliums hängt nicht allein vom potentiellen Vorrat und seinen Bindungsformen im Boden ab, sondern auch vom Gehalt an Konkurrenzionen in der Bodenlösung, vom Feuchtegehalt im Hinblick auf den Antransport zur Pflanze und vom Konzentrationsgefälle in der Umgebung der Wurzeln. Die Pflanze ist außerdem in der Lage, mittels spezieller Freisetzungsmechanismen schwer austauschbares K im unmittelbaren Wurzelbereich verfügbar zu machen, so daß es schneller in die Pflanze gelangt als leicht austauschbares K außerhalb dieser Zone.

Ein Einblick in die Nachlieferungsgeschwindigkeit des K in die Bodenlösung wird durch den Gehalt an *wasserlöslichem K* (K-Intensität) vermittelt. Bezieht man den Gehalt des wasserlöslichen K auf den des azetatlöslichen, so ist eine eindeutige negative Korrelation zum Tonanteil des Bodens bzw. zu seiner KAK festzustellen. Bei Böden mit einer KAK von 2 mval/100 g liegt der Anteil im Mittel über 60 %, von 5 mval im Mittel bei  $\pm 15$  %, von 10 mval im Mittel bei  $\pm 5$  % und von  $> 20$  mval im Mittel unter 1 %. Wenn danach auch der Anteil an löslichem K in tonarmen Böden, insb. nach einer Düngung, relativ hoch sein kann, sind diese Substrate dennoch nur durch ein geringes Bereitstellungsvermögen gekennzeichnet, da sie diese hohe K-Intensität nicht über die gesamte Vegetationsperiode durchhalten können.

Neben dem wasserlöslichen kann auch das *azetatlösliche*, weniger jedoch das *laktatlösliche* K als weiterer Verfügbarkeitsparameter (K-Quantität) herangezogen werden. In Abbildung 6/11 sind diese mobilen K-Fraktionen in Prozent des schwer austauschbaren K für einige Bodenformen dargestellt. In Tabelle 6/13 werden die austauschbaren Fraktionen

körnungsartenbezogen angegeben. Danach verringert sich der Anteil des azetatlöslichen am salzsäurelöslichen K mit steigendem Tongehalt. Das leicht austauschbare macht beim Sand etwa ein Drittel, beim lehmigen Ton nur noch ein Siebtel des gesamtaustauschbaren K aus. Entsprechend diesen Werten müßte die Verfügbarkeit mit steigendem Tongehalt infolge stärkerer Bindung des K zurückgehen. Die tatsächlichen Verhältnisse liegen aber etwas anders. Da mit steigendem Tongehalt i. d. R. auch mehr Wasser gespeichert wird, verbessern sich gleichzeitig die transportbeeinflussenden Eigenschaften, die einer intensiven K-Bindung entgegenwirken. Lehmige und tonige Böden fixieren also nicht nur stärker, sie vermögen auch, allerdings entsprechende Feuchtigkeitsverhältnisse vorausgesetzt, genügende Mengen aus dem K-Vorrat nachzuliefern.

Weitere Kennwerte für den Vorrat an verfügbarem Kalium werden erhalten, wenn man das azetatlösliche K auf die KAK der Tonfraktion oder auf den Tongehalt selbst bezieht. So

**Sand - Rosterde**

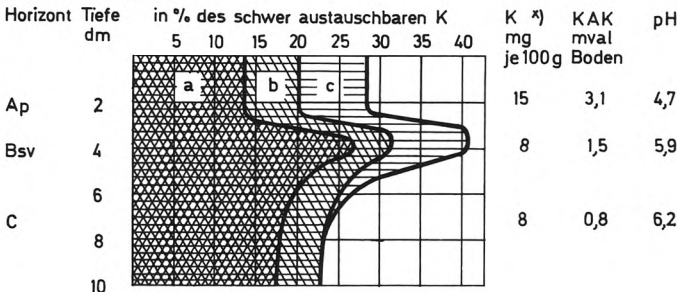
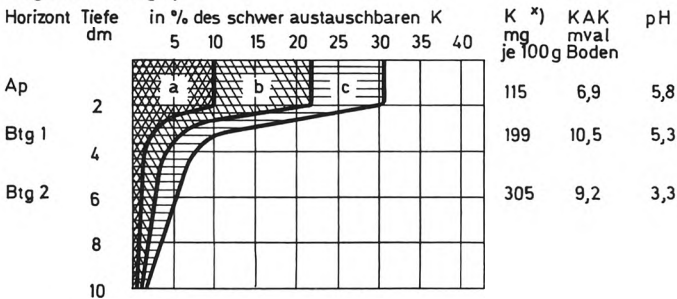
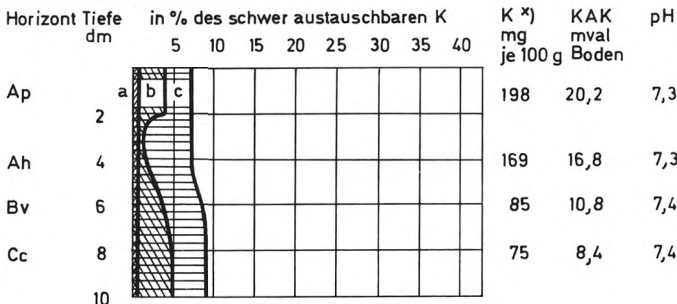


Abb. 6/11  
Schematische Darstellung des Anteils der mobilen K-Fractionen am schwer austauschbaren Kalium bei drei charakteristischen Bodenformen (nach Daten von Markert, 1968)

**Berglehm - Staugley**



**Löß - Schwarzerde**



a wasserlösliches K  
b lactatlösliches K  
c azetatlösliches K

<sup>\*)</sup> schwer austauschbares K  
(mittels NH<sub>4</sub> - azetat nach  
thermischer Behandlung extrahierbar)



wird beispielsweise als ein Maß für den Anteil an leicht verfügbarem K die **Kaliumsättigung (KS)** herangezogen:

$$KS [\%] = \frac{\text{azetatlösliches K [mval/100 g]}}{\text{KAK des Tones [mval/100 g]}} \cdot 100 \quad (34)$$

Auch die Kaliumsättigung sinkt mit zunehmendem Tongehalt. Die maximale (allerdings nur theoretisch mögliche) KS kann bei den Tonmineralen bis zu 40 % ausmachen. Tatsächlich werden aber nur Werte zwischen 2 und 12 % im Boden erreicht.

Setzt man das azetatlösliche K unmittelbar in Beziehung zum Tongehalt, so ergeben sich auch in diesem Falle sinkende Werte vom tonarmen zum tonreichen Material (s. Tab. 6/15). Die Korrelation zwischen Ton und azetatlöslichem K kann zur Beurteilung einer rationellen K-Düngung hinsichtlich der Verfügbarkeit des Kaliums herangezogen werden. So gibt es bestimmte **Optimalbereiche**, in denen auf illitreichen Böden in Abhängigkeit von der Körnungsart eine **K-Vorratsdüngung** nach der Ernte besonders zu empfehlen ist, weil dann die K-Fixierung so schwach ist, daß auch fixiertes Düngerkalium immer noch in weitgehend verfügbarer Form verbleibt (Scheffer-Schachtschabel, 1976):

- > 0,8 (~ 1,2) mg K/g Ton bei IS
- ~ 0,8 mg K/g Ton bei sL und IU
- < 0,8 (~ 0,5) mg K/g Ton bei L, UL und T

### 6.3.5. Phosphor

Phosphor (P) kommt nativ im Boden vor allem im Apatit, in kleineren Mengen aber auch in Silikaten vor. Durch bodenspezifische Vorgänge wird ein Teil dieses P in die organische Form überführt, der ein bis zwei Drittel des Gesamtvorrates ausmachen kann (s. Abb. 6/12). Ein anderer Teil sowie das über Mineraldünger zugeführte P liegen in Form von Ca-, Al- oder Fe-phosphaten vor. Der Gehalt an adsorbiertem und löslichem P ist vergleichsweise sehr gering.

#### Bindungsformen

Das **organisch gebundene P** im Boden ist vorwiegend an Phytate und an Huminstoffe gebunden. Entsprechend dem geringeren P-Gehalt ist das C/P<sub>org</sub>- wesentlich weiter als das C/N-Verhältnis, in der Ackerkrume sächsischer Lößböden beispielsweise zwischen 50 und 90.

Beim **anorganisch gebundenen P** dominieren folgende Verbindungen:

– **Kalziumphosphate**: entweder als schwer löslicher Hydroxyl- bzw. Fluorapatit Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>-OH,F (isomorphe Mischung beider ebenfalls verbreitet) oder als löslicheres sekundäres Ca-Phosphat ausgebildet; Löslichkeit steigt mit sinkendem pH

Tabelle 6/15

Auf den Tonanteil bezogener Gehalt an azetatlöslichem Kalium bei verschiedenen Körnungsarten in mg/g Ton (nach Laves, 1974)

Körnungsart	azetatlösliches K in mg/g Ton	
	jungpleistozäne Glaziärsubstrate	Lößsubstrate
S	2,5	—
IS	1,1	1,4
sL, IU	0,5	0,8
L, UL	0,4	0,5

– Eisen- und Aluminiumphosphate: als Strengit und Variszit  $\text{Fe, AlPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (isomorphe Mischung beider = Barrandit), als Taranakit und Vivianit (Moorböden) ausgebildet; Löslichkeit steigt mit zunehmendem pH

Die Verteilung des P im Profil kann recht unterschiedlich sein. In der Ackerkrume ist der Gehalt am höchsten, da das restliche Düngerphosphat infolge seiner geringen Beweglichkeit

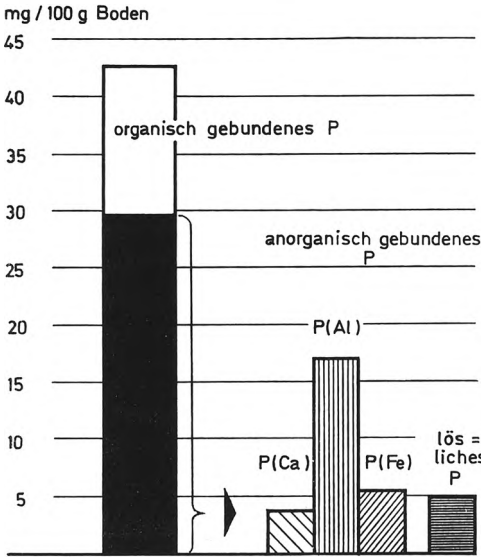


Abb. 6/12  
Säulendiagramm der Bindungsformen des Phosphors in der Krume einer Tieflehm-Fahlerde (Thyrower Dauerversuch) nach 30jähriger Düngung mit NPKCa + Stallung (nach Ebert, Schnieder, 1971)

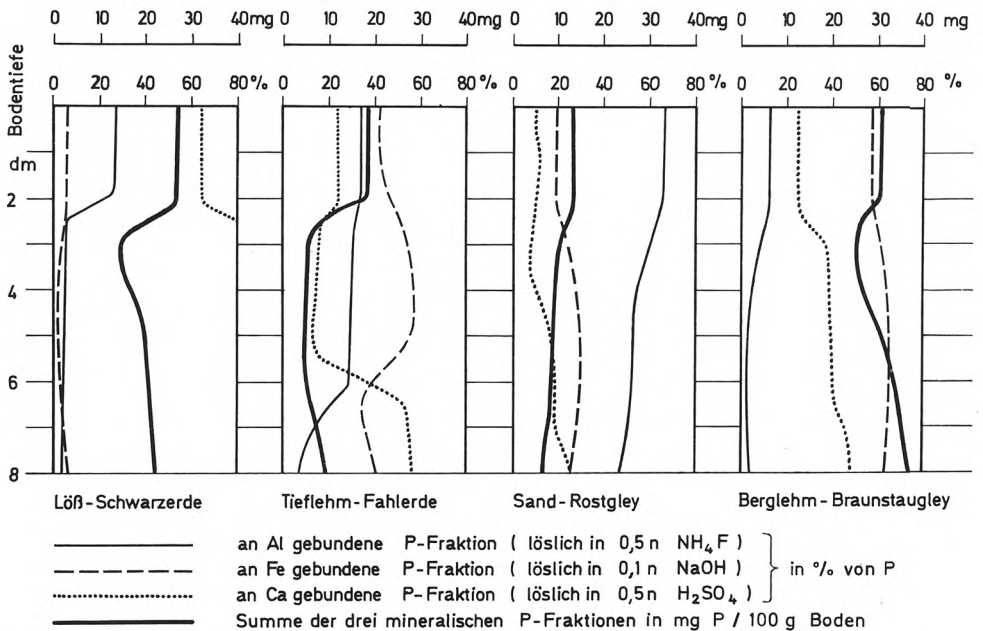


Abb. 6/13  
Diagramm der Verteilung anorganischer Phosphorfraktionen in einigen verbreiteten Bodenformen (in Anlehnung an Markert, Kundler, 1969)

Tabelle 6/16

Grenzwerte für das P-Bindungsvermögen im Boden (nach *Markert, Kundler, 1970*)

P-Bindung	Anfangs- potential [mg P/l]*)	Pufferung [mg P/kg]*)	Schlußfolgerungen für die P-Düngung
sehr stark	< 0,01	> 5	erst zur Aussaat (Granulate)
mäßig	0,05—0,10	< 5	wiederholt u. intensiv möglich
gering	> 0,10	verschieden	in beliebiger Weise möglich

\*) ppm

meist dort verbleibt. Die Verteilung der einzelnen P-Fractionen im übrigen Profil wird durch die Bodenform und ihre Eigenschaften wie Körnungsart, Adsorptionskapazität, pH, Redoxpotential und organischer Stoffumsatz bestimmt. Al-Phosphate sind z. B. in allen sorptionsschwachen Böden deutlich vertreten (besonders in der Krume), während z. B. in den Staugleyen und Schwarzerden die Ca-Phosphate dominieren (s. Abb. 6/13).

P wird als Phosphatanion der Orthophosphorsäure gelöst und von den Bodenaustauschern adsorbiert, z. T. relativ fest, also in Form einer Fixierung. Die Adsorption des Phosphatanions ist selektiv, sie erfolgt im Austausch mit den OH- bzw. OH<sub>2</sub>-Gruppen, die vorwiegend als Liganden an Tonminerale und Oxide gebunden sind (s. Abschn. 6.1.6.). Die Stärke der Adsorption hängt daher sowohl vom pH-Wert als auch von der Anzahl der genannten Gruppen, die mit der spezifischen Oberfläche korreliert, ab. Je höher der Tongehalt ist, um so mehr kann im allgemeinen P gebunden (fixiert) werden. Bt-Horizonte texturdifferenzierter Böden fixieren daher besonders stark. Wenn man als Parameter die Intensität (ausgedrückt als P-Potential) und die Pufferkapazität heranzieht (s. Abschnitt 6.3.1.), lassen sich zur Charakterisierung des P-Bindungsvermögens die drei in Tabelle 6/16 wiedergegebenen Gruppen bilden.

Die Stärke der Desorption hängt ebenfalls vom pH, von der Art des Austauschers und anderen Faktoren ab. Bei Kalkzufuhr z. B. kann P im Austausch gegen OH-Ionen desorbiert werden.

### Verfügbarkeit

Beim Phosphor ist die Verfügbarkeit eng mit der Löslichkeit gekoppelt. Die Lösung des P aber ist ein recht komplizierter Vorgang, der von zahlreichen Faktoren beeinflusst wird, wie z. B. vom

– pH-Wert: bei Erhöhung sowohl Begünstigung der Desorption als auch Freisetzung von organischem P über eine intensivere biologische Aktivität

– Redoxpotential: bei Erniedrigung Reduktion der drei- zu zweiwertigen Fe-Verbindungen, dabei Freisetzung des an sie gebundenen P

– Gehalt an Huminstoffen: bei höherem Gehalt Blockierung sowohl der P-Adsorption als auch der Bildung von Ca-Phosphaten als Folge selektiver Ca-Bindung an Huminstoffe (Konkurrenzwirkung)

– Gehalt an organischen Säuren: bei höherem Gehalt verstärkte Komplexbindung und damit Lösung von P

– Tongehalt: je geringer der Tongehalt, um so geringer die P-Fixierung, insb. bei Fe- und Ca-Armut des Bodens

– Bodenfeuchtegehalt: bei höherer Bodenfeuchte Begünstigung der Löslichkeit und der Diffusion (vorherrschende Art der Aufnahme durch die Pflanze)

Der Grad der P-Verfügbarkeit kann durch Extraktionsmittel unterschiedlicher Stärke bestimmt werden. Das laktatlösliche P widerspiegelt am besten den verfügbaren

Anteil. Im Mittel zahlreicher Untersuchungen an Löß- und Sandböden wurden, wenn auch mit hoher Streuung, folgende Relativwerte gefunden (Scheffer-Schachtschabel, 1976):

AL-Methode	>	DL-Methode	>	Natrium- bikarbonat- Auszug	>	Wasser-Auszug
100%		63%		33%		15%

Nach der DL-(Doppellaktat-)Methode, die in der DDR allgemein angewendet wird, rechnet man Böden mit  $< 4$  zu den schlecht, Böden mit  $> 7$  mg/100 g Boden zu den gut versorgten Standorten. Beim wasserlöslichen P spielt das Volumenverhältnis Boden:Wasser eine entscheidende Rolle. Für die Kennzeichnung der Intensität hat sich als günstigstes Verhältnis ein solches von etwa 1:60 herausgestellt. Auch durch Einsatz von Isotopen kann das verfügbare P ermittelt werden. Man setzt hierbei radioaktives  $^{32}\text{P}$  einer Bodensuspension zu und bestimmt nach Gleichgewichtseinstellung mit dem normalen Isotop  $^{31}\text{P}$  des Bodens den reaktionsfähigen, d. h. *isotopisch austauschbaren* (sog. labilen) Phosphor.

### 6.3.6. Stickstoff

Stickstoff (N) unterscheidet sich von den anderen Nährelementen im Boden vor allem dadurch, daß er nativ nur in geringsten Mengen vorkommt. Durch Niederschläge und auch durch Saatgut gelangen bis zu 20 kg N je Hektar und Jahr in den Boden. Durch Mikroorganismen können über 50 kg N je Hektar und Jahr dem Boden zugeführt werden. Die mittlere jährliche Stickstoffdüngung beträgt heute weit über 100 kg/ha.

Stickstoff liegt im Boden vorwiegend organisch gebunden vor und ist deshalb intensiv in den biologischen Stoffumsatz einbezogen. Anorganisch gebundener N kann in verschiedenen Formen vorkommen, von denen Nitrat und Ammonium die wichtigsten sind. Stickstoff ist das einzige Nährelement, das sowohl kationisch ( $\text{NH}_4^+$ ) als auch anionisch ( $\text{NO}_3^-$ ) adsorbiert wird. Der Antransport dieser Ionen zur Pflanzenwurzel erfolgt fast ausschließlich durch Massenfluß.

#### Organisch gebundener Stickstoff

Über 95 % des N sind organisch gebunden, davon etwa ein Viertel heterozyklisch, und damit schwer zugänglich. Organischer N gelangt über Pflanzenrückstände und organische Dünger in den Boden. Hinzu kommt die Luftstickstoffbindung durch Mikroorganismen.

Der Gehalt an Gesamtstickstoff im Boden wird im Kjeldahl-Aufschluß (mit Phenol-Schwefelsäure, s. TGL 25418/03) bestimmt. Je höher der Stickstoffgehalt einer Substanz ist, um so enger ist auch ihr C/N-Verhältnis. Das C/N-Verhältnis im Boden gilt gleichzeitig als Qualitätsmaß für die organische Bodensubstanz. Nachfolgend sind einige wichtige C/N-Verhältnisse angeführt:

Weizen- u. Roggenstroh	75 bis 100	Grünmasse	10 bis 20
Hafer- u. Gerstenstroh	55 bis 70	Ackerkrumen	9 bis 13
Torf	30 bis 50	Unterböden	6 bis 9
Stalldung	15 bis 25	Gülle	3 bis 8

Je weiter das C/N-Verhältnis eines in den Boden eingebrachten organischen Stoffes ist, um so stärker wird bei der Zersetzung durch Mikroorganismen löslicher (z. B. Dünger-) Stickstoff festgelegt. Damit können Bakterien zu Konkurrenten der Pflanze werden (s. Abschn. 3.3.5.). Aus all dem läßt sich ableiten, daß die Verfügbarkeit des N im Boden eng mit der Dynamik der organischen Substanz verknüpft ist. Daher wird auch im Zusammenhang mit dem Nährhumus als ständig fließender N-Quelle von der „alten Kraft“ des Bodens gesprochen. Stickstoff kann durch bestimmte Mikroorganismen unmittelbar aus dem gasförmigen Zustand, d. h. aus der Bodenluft, in Körpereiweiß überführt werden. Man unterscheidet folgende Luftstickstoffbinder:

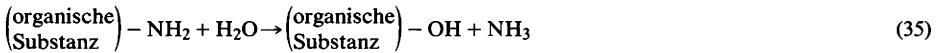
– *freilebende N-Binder*: insb. Azotobakter und Azotomonas (aerob) sowie verschiedene Clostridium-Arten (anaerob); kaum Ansprüche an den pH-Wert, daher verbreiteter; N-Zuführung bis zu 50 kg/ha und Jahr

– *symbiotische N-Binder*: sog. Knöllchenbakterien (Rhizobien), deren Arten jeweils spezifiziert mit bestimmten Leguminosenwurzeln eine Symbiose (grch., Zusammenleben verschiedenartiger Organismen zum beiderseitigen Nutzen) eingehen können; über diese Symbionten N-Zuführung bei reinem Leguminosenanbau bis zu maximal 300 kg/ha und Jahr

**Umsatz und Verfügbarkeit**

Die Verfügbarkeit des N im Boden wird von der Mineralisierung und von der Festlegung in der organischen Substanz bestimmt. Die N-Mineralisierung läuft etwa nach folgendem Schema ab (s. auch Abb. 6/14):

a) Ammonifizierung:



b) Nitrifizierung:



Diese Umsetzungsvorgänge werden durch spezifische Bakterien bewirkt. Am bekanntesten sind die aerob lebenden Nitrosomonas (Nitritbakterien), welche die Reaktion bewirken, die in Gleichung (37), und die aeroben Nitrobakter (Nitratbakterien), welche die Reaktion bewirken, die in Gleichung (38) dargestellt ist. Durch Ammonifizierung und Nitrifizierung wird organisch gebundener Stickstoff in anorganischen überführt und verfügbar gemacht. Gleichzeitig geht er damit aber auch in Formen über, die leichter der Auswaschung unterliegen. Daher kann unter bestimmten Bedingungen eine zu starke Nitrifizierung unerwünscht sein. Es wurden deshalb bereits Versuche mit sog. *Nitrifiziden* (Nitrifikationsinhibitoren) durchgeführt, die man den mineralischen Düngern beimischt. Sie bewirken eine Verzögerung der Nitrifikation durch Hemmung der nitrifizierenden Bakterien.

Der umgekehrte Vorgang der Nitrifizierung ist die *Nitratreduzierung* ( $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NH}_4^+$ ). Größere Bedeutung im Boden hat die *Denitrifizierung*, die insbesondere durch anaerobe Bedingungen, Feuchtigkeit und Wärme begünstigt wird. Bei diesem ebenfalls reduktiven, sowohl biochemisch als auch rein chemisch ablaufenden Vorgang wird  $\text{NO}_3^-$

- A Ammonifizierung
- B Ammoniaklösung in Wasser
- C Ammoniakfreisetzung
- D Nitrifizierung
- E Nitratreduzierung
- F Denitrifizierung
- G chemische Nitritzerersetzung
- H Nitritreduzierung

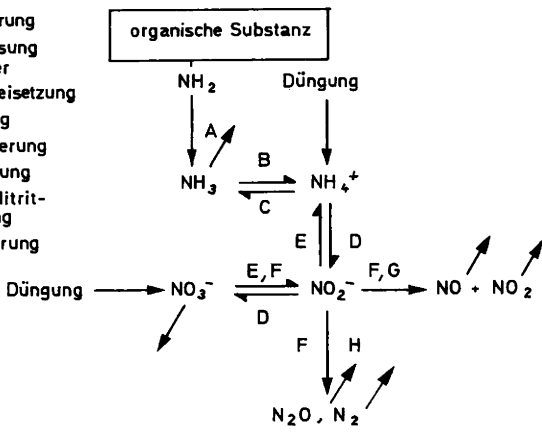


Abb. 6/14  
Schema der Stickstoffumsetzungsvorgänge im Boden

über die Zwischenstufe  $\text{NO}_2^-$  abgebaut und in verschiedenen Formen gasförmig freigesetzt. Besonders mineralische Nitratdünger können auf diese Weise umgesetzt werden. Der Verlust kann bis zu einem Fünftel des eingebrachten Düngers betragen. Die Denitrifizierung geht vor allem unter Sauerstoffmangel bei Vorhandensein von H-Donatoren (organische Substanzen, organische Wurzelausscheidungen) vor sich und ist daher auf das Innere von Aggregaten und auf die Rhizosphäre konzentriert.

N kann ebenfalls als Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) gasförmig entweichen, wenn eine hohe  $\text{NH}_4^+$ -Konzentration in der Bodenlösung (z. B. nach Zufuhr von Ammonium- und Amiddüngern) örtlich mit einem hohen pH-Wert zusammentrifft und diese Reaktion unter trockenen Bedingungen in Oberflächennähe abläuft.

Da  $\text{NH}_4^+$ - und  $\text{K}^+$ -Ionen auf Grund ihres ähnlichen Ionenradius sich gegenseitig ersetzen können, muß auch beim Ammonium-N mit einer Fixierung gerechnet werden. Die Größenordnung der Fixierkapazität liegt etwa zwischen 3 und 6 mval/100 g Ton, so daß in der Ackerkrume lehmiger Substrate theoretisch bis zu mehreren Hundert Kilogramm N je Hektar fixiert sein können.

Der verfügbare anorganische Stickstoff wird analytisch nach Extraktion mittels Kaliumaluminiumsulfat bestimmt (TGL 25418/03). Dieser leicht lösliche Ammonium- und Nitratstickstoff spiegelt aber nur den Zustand im Boden zur Zeit der Probenentnahme wider. Er ist daher mehr ein Intensitäts- als Quantitätsparameter. Der leicht verfügbare Teil des organisch gebundenen N ist wesentlich schwerer zu erfassen. Hier können nur biologische Methoden ein wirkliches Bild vermitteln.

### 6.3.7. Weitere Makronährelemente

#### Schwefel

Schwefel (S) kommt nativ im Boden vorwiegend als Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), untergeordnet auch als Sulfide (z. B. in einigen Magmatiten) vor. Gips-Rendzinen, Moorböden sowie bestimmte Kippsubstrate haben einen relativ hohen Gehalt an S. Ein beträchtlicher Teil liegt organisch gebunden vor (> 60%). Schwefel gelangt über Grundwasser, Niederschlag, Luftadsorption und Düngung in den Boden. Aus der Atmosphäre nehmen die Böden Schwefel einmal über die Niederschläge (pH-Wert kann bis 3 absinken) auf, zum anderen vermögen sie schwefelhaltige Gase direkt zu absorbieren. Eine derartige Zufuhr spielt vor allem in der Umgebung von Industriestandorten eine größere Rolle, da dort viel S immittiert (lat., in die Nachbarschaft abgegeben wird).

Nach Umformung der Schwefelverbindungen im Sulfat wird dieses relativ leicht ausgewaschen, da die Adsorptionskapazität für  $\text{SO}_4^{2-}$  nur gering ist (s. Abschn. 6.1.6.). Zu Schädigungen der Pflanze kommt es nur, wenn Sulfide in stärkerem Maße angereichert sind. Gips ist unschädlich. Der Bedarf der Pflanzen an Schwefel wird aus dem Bodenvorrat reichlich abgedeckt.

#### Kalzium

Kalzium (Ca) kommt nativ im Boden als Bestandteil vieler Minerale (Kalzit, Dolomit, Gips, Plagioklase, Augite, Hornblenden u. a.) vor, die alle leicht verwittern. Durch Düngung wird dem Boden ebenfalls reichlich Ca zugeführt. Am Austausch werden Ca-Ionen bevorzugt gebunden (s. Abschn. 6.1.). Alle Kalziumsalze sind ausreichend löslich. Daher steht Ca in Ackerböden den Pflanzen meist in ausreichender Menge zur Verfügung. Die Aufnahme durch die Pflanze erfolgt vorwiegend durch Massenfluß. Mangelsymptome sind nur selten zu beobachten wie z. B. Herzfäule bei Blumenkohl und Sellerie sowie Chloroseerscheinungen. Von größerer Bedeutung ist die indirekte Wirkung des Kalziums im Boden, insbesondere über die Aufrechterhaltung eines optimalen pH-Wertes (s. Abschn. 6.2.4.).

#### Magnesium

Magnesium (Mg) ist nativ in verschiedenen Mineralen enthalten, in leicht verwitterbarer Form besonders im Dolomit, Magnesit und in einigen Silikaten (z. B. Olivin, Hornblende,

Biotit, Chlorit), in schwer zugänglicher Form in den Tonmineralen. Durch Düngung können erhebliche Mengen zugeführt werden.

Mg wird schwächer als Ca am Austauscher gebunden, i. d. R. macht es 5 bis 20 % des S-Wertes aus. Die Auswaschung ist relativ hoch. Sandböden sind infolge ihrer geringen KAK vielfach stärker an Magnesium verarmt. Auch bei bestimmten Bergsubstraten (aus den geologischen Stufen Oberer und Mittlerer Muschelkalk, Mittlerer und Unterer Buntsandstein, Rotliegendes) kann Magnesium zum Minimumfaktor werden.

Das austauschbare Mg ist nur bei genügend Feuchtigkeit *pflanzenverfügbar*, weil Massenfluß und Diffusion die Aufnahme entscheidend bestimmen. Durch die antagonistische Wirkung anderer Ionen ( $H^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ) kann die Verfügbarkeit ebenfalls eingeschränkt, durch  $NO_3^-$  hingegen gefördert werden. Höherer pH-Wert begünstigt die Verfügbarkeit. Der Magnesiumentzug durch die Pflanze erreicht bei dem heutigen hohen Ertragsniveau etwa die Höhe des P-Entzuges. Bei ungenügendem Angebot treten Mangelsymptome, z. B. in Form von Chlorosen und Nekrosen der Blätter, auf.

Das *verfügbare Magnesium* wird nach Extraktion mit  $CaCl_2$  bestimmt (s. TGL 25418/09), wobei wasserlösliches und leicht austauschbares erfaßt werden. Ein Kennwert für die Verfügbarkeit ist auch das Ca/Mg-Verhältnis, das in der Bodenlösung  $< 7$  sein muß, wenn optimale Erträge erreicht werden sollen. Bei einem Verhältnis von  $> 7$  wird die Aufnahme durch die antagonistische Wirkung des Ca gehemmt.

### Eisen

Eisen (Fe) kommt nativ in verschiedenen Mineralen, z. B. in Silikaten, aber auch in Sulfiden, Karbonaten, Phosphaten, Oxiden und Hydroxiden vor. Im Solum bildet es fein verteilte Hüllen um die Bodenkörner (Verbraunung) oder kommt konkretionär, besonders in hydromorphen Böden, vor (s. Abschn. 3.2.7. und 3.4.2.). Die dreiwertige Oxidform dominiert. In der Bodenlösung tritt Eisen sowohl als  $Fe^{2+}$  als auch in organischen Komplexen gebunden auf. Unter reduzierenden Bedingungen herrscht die zweiwertige Form vor (s. Abschn. 6.2.6.). Lösliche Verbindungen von Cu, Mn und P verringern die Verfügbarkeit.

Im allgemeinen wird der Bedarf der Pflanze durch den im Boden vorhandenen Vorrat gedeckt. Eisenmangel tritt nur auf, wenn durch zu geringe Löslichkeit der Oxide die Intensität zu stark absinkt. Das kann substratspezifisch durch Karbonatreichtum und nutzungsspezifisch bei Obstkulturen, die einen hohen Bedarf an Fe haben, vorkommen. Auch Torfe sind oft eisenarm.

Die löslichen Formen des Eisens werden mittels Dithionit, Oxalat oder Komplexon extrahiert (s. TGL 25418/20). Ihre Bestimmung hat jedoch weniger Bedeutung für die Kennzeichnung der Pflanzenverfügbarkeit als vielmehr für die Beurteilung von Bodenentwicklung und Meliorationsbedürftigkeit.

### Mangan

Mangan (Mn) ist im Boden nativ in Basalt, Diabas, Augiten und Hornblenden, aber auch in Karbonaten enthalten. Außerdem kommt es konzentriert in den Fe-Mn-Konkretionen vor. Als Oxid ist Mn wenig löslich. In der Bodenlösung und am Austauscher dominiert zweiwertiges Mn, entweder als freies Ion oder in organischen Komplexen gebunden. Letztere Bindungsform überwiegt, besonders im Bereich der Rhizosphäre. Daneben tritt auch vierwertiges Mn auf, das bei niedrigem Redoxpotential und pH-Wert in größeren Mengen zu  $Mn^{2+}$  reduziert wird. Dreiwertiges Mangan ist relativ instabil.

Zur Kennzeichnung der Verfügbarkeit wird das *aktivierbare Mn* herangezogen, das sich aus dem austausch- und leicht reduzierbaren zusammensetzt. Es wird durch Extraktion mit  $MgSO_4$ , dem ein Reduktionsmittel zugesetzt wird, ermittelt (TGL 25418/14).

Die *Verfügbarkeit*, insbesondere der Gehalt an aktivierbarem Mn, wird von folgenden Faktoren bestimmt:

– *Redoxpotential*: bei Erniedrigung Anstieg des Anteils an austauschbarem Mn

– **Feuchtegehalt:** bei höherer Feuchtigkeit Begünstigung sowohl der Diffusion (macht den größten Teil der Transportrate aus) als auch reduzierender Bedingungen und damit Löslichkeitserhöhung

– **Gehalt an antagonistischen Ionen:** durch P-Verbindungen Verringerung der Löslichkeit

– **pH-Wert:** in sauren Böden hohe, in neutralen bis alkalischen und in leichten Böden (nach Kalkung) geringe Löslichkeit

Manganmangel kann häufiger auftreten. Bei Böden auf Glaziär- und Auensubstraten ist er besonders oberhalb pH 6 zu beobachten, u. a. auch dann, wenn der pH-Wert durch Aufkalkung übermäßig erhöht wurde. In Böden mit hohen Tongehalten und in karbonathaltigen Substraten wird der Mn-Mangel durch deren Reichtum an Gesamtangan abgeschwächt. Mangelerscheinungen können zuweilen bei Hafer (Dörrfleckenkrankheit) und an jungem Kartoffelkraut (sommersprossige Fleckung) auftreten, wenn sie auf Anmooren, Mooren, aufgekalkten Sandböden, aber auch auf (Muschelkalk)-Rendzinen und anderen leicht austrocknenden Standorten angebaut werden.

### 6.3.8. Mikronährelemente

Die nachfolgenden Elemente unterscheiden sich von den in den vorangehenden Abschnitten beschriebenen durch ihren relativ geringen Gehalt im Boden. In bezug auf die Pflanze sind sie zugleich Spurenelemente, zu denen allerdings auch Eisen und Mangan gehören. Nach der Verfügbarkeit lassen sich besonders *Eisen, Mangan, Kupfer* und *Zink* miteinander vergleichen. Dabei zeigt sich hinsichtlich der Höhe des Anteils der mobilen Fraktionen am Gesamtgehalt folgende *R a n g o r d n u n g* (Schlichting, Elgala, 1975):

$Mn > Zn > Cu > Fe$   
Oberboden > Unterboden  
saure Reaktion > neutrale Reaktion

Enge Beziehungen bestehen bei allen vier Elementen zwischen immobilem Anteil und Tongehalt, bei Zn und Cu zusätzlich zwischen Gesamtgehalt und Tongehalt.

#### **Zink**

Zink (Zn) ist durch isomorphen Ersatz von Mg und Fe in Silikaten sowie als Sulfid z. B. im Biotit, in Augiten und Hornblenden nativ im Boden enthalten. Es kann von Sesquioxiden okkludiert werden, aber auch in der organischen Substanz eingebaut sein. Das austauschbare Zn macht etwa ein Zehntel des Gesamtgehaltes an Zink aus. In der Bodenlösung kann es als einfaches  $Zn^{2+}$  (nur saures Milieu), als  $Zn(OH)^+$  und an organische Komplexe gebunden (Anteil bis zu 50 %) vorkommen.

Die Bestimmung des *verfügbaren Zn* erfolgt nach Extraktion mittels verdünnter HCl oder einem Gemisch von  $NH_4$ -Karbonat plus Chelaplex (TGL 25418/16). Die Verfügbarkeit des Zn hängt besonders vom pH-Wert ab. Mit sinkendem pH-Wert steigt die Löslichkeit. Als Antagonisten drücken P, z. T. auch Cu, die Verfügbarkeit herab. Tonreiche Böden adsorbieren Zn verstärkt. Zn-Mangel zeigt sich bei der Pflanze u. a. in einer Störung der Wuchsstoffsynthese. Arm an Zn sind vor allem kalkhaltige Böden sowie Moore mit geringem Zersetigungsgrad des Torfes.

#### **Kupfer**

Kupfer (Cu) kommt nativ im Boden als Sulfid in basischen Gesteinen und durch isomorphen Ersatz von Mg und Fe in Silikaten vor. Ein großer Teil des Cu ist organisch gebunden. Daher ist Cu im Humushorizont meist stärker angereichert, zusätzlich auch deshalb, weil es kaum verlagert wird. Die Adsorption erfolgt als  $Cu^{2+}$  vorwiegend an organischen und Sesquioxid-Austauschern. In der Bodenlösung treten neben  $Cu^{2+}$  (saures, oxidierendes Milieu) auch in organischen Komplexen gebundenes Kupfer sowie die kationischen Komplexe  $CuCl^+$



und  $\text{Cu}(\text{OH})^+$  auf. Der mobile Anteil an löslichem und austauschbarem Cu ist, insgesamt gesehen, jedoch verschwindend gering.

Die Bestimmung des *verfügbaren Cu* erfolgt nach Extraktion mit verdünnter Salpetersäure (s. TGL 25418/13). Die Verfügbarkeit des Cu hängt weniger als bei den anderen Mikronährelementen vom pH-Wert ab. Bei höherem pH-Wert kann es stärker eingetauscht, aber auch ausgefällt werden. Der Feuchtegehalt des Bodens hat ebenfalls wenig Einfluß, da der größere Teil über Interzeption durch die Pflanze aufgenommen wird. Bei niedrigem Gesamtkupfergehalt wirkt N als Antagonist und drückt die Verfügbarkeit weiter herab. Mangelerscheinungen zeigen sich vor allem auf tonarmen Böden und auf Mooren. So deuten Weißspitzigkeit bei Sommerweizen und verringerte Halmstabilität bei Getreide auf Cu-Mangel hin.

## **Bor**

Bor (B) ist das einzige Nichtmetall unter den Mikronährelementen. Nativ kommt es im Boden z. B. im Turmalin, in Glimmern und in marinen Sedimenten vor. Im Meereswasser ist Bor angereichert. Von dort aus kann es in Form von Borsäure nach Windverfrachtung über Niederschläge auch in den Boden gelangen. Bei Verwitterung borhaltiger Minerale entsteht ebenfalls Borsäure, die wie ihre Salze temperaturabhängig wasserlöslich ist.

Im sauren Bereich liegt B undissoziiert als Orthoborsäure  $\text{H}_3\text{BO}_3 \triangleq \text{B}(\text{OH})_3$  (vergleichbar mit der Orthophosphorsäure) vor, die im neutralen Bereich stärker dissoziiert, wobei sich  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  bildet. Die Adsorption der Borationen, die selektiv erfolgt, geht daher vorwiegend im neutral-alkalischen Bereich vor sich. Als Austauscher sind vor allem organische Kolloide, Illit und Vermiculit sowie Sesquioxide beteiligt. Oberhalb pH 6 ist der Borrücktausch gehemmt und damit die Verfügbarkeit reduziert. Die starke Kopplung des B an die organische Substanz, vor allem im Austausch mit alkoholischen OH-Gruppen, ist der Grund für die *biologische Akkumulation* des Bors im Boden. Deshalb sind Humushorizonte oft reich an Bor, wie überhaupt die Verteilung im Profil an die Humusverteilung gebunden ist. Aus dem gleichen Grunde zeigen auch Moore höhere B-Gehalte. Mit abnehmendem pH-Wert spielt die Adsorption von Borationen nur eine untergeordnete Rolle, da das B vornehmlich als wasserlösliche Borsäure vorliegt, für die allerdings erhöhte Auswaschungsgefahr, besonders in tonarmen Böden, besteht.

Die Bestimmung des *verfügbaren B* erfolgt nach Extraktion mit siedendem Wasser im Rückfluß (TGL 25418/12). Bormangel kann im sauren und im alkalischen Bereich auftreten. Auch bei Trockenheit sind Bormangelerscheinungen zu beobachten, da der Antransport zur Pflanzenwurzel zum größeren Teil durch Massenfluß, zum kleineren durch Diffusion, jedoch kaum durch Interzeption erfolgt. Infolge einer engen Korrelation zwischen dem Gesamtgehalt an Bor und dem Gesamtgehalt an Ton sind vor allem leichte Böden an Bor verarmt. Mangelerscheinungen treten z. B. in Form der Herz- und Trockenfäule bei Rüben sowie der Gelbspitzigkeit bei Luzerne auf.

## **Molybdän**

Molybdän (Mo) kommt nativ im Boden durch isomorphen Ersatz von Fe und Al in Silikaten vor. Auch Schiefer sind reich an Mo. In der Bodenlösung tritt es bei schwach saurer bis alkalischer Reaktion als  $\text{MoO}_4^{2-}$ , bei saurer als  $\text{HMoO}_4^-$  auf. Die Adsorption dieser Molybdationen unterliegt ähnlichen Gesetzmäßigkeiten wie die der Phosphationen (s. Abschn. 6.3.5.). Besonders in eisenreichen Böden kommt es zu einer stärkeren Fixierung.

Die Bestimmung des *verfügbaren Mo* erfolgt nach Extraktion mittels  $\text{NH}_4$ -Oxalat (TGL 25418/15). Beim Molybdän sind die Beziehungen zwischen Verfügbarkeit und pH-Wert umgekehrt wie bei Zn, Cu und Mn. Mit steigendem pH-Wert nimmt die Verfügbarkeit und Auswaschungsneigung des Mo zu. Bei Trockenheit wird die Verfügbarkeit sehr stark herabgesetzt, da der Antransport zur Pflanzenwurzel fast ausschließlich durch Massenfluß erfolgt. In dieser Hinsicht ist es mit dem N vergleichbar. Begünstigt wird die Aufnahme durch höheren P-Gehalt im Boden. Mangelerscheinungen können besonders auf

sauren Böden auftreten. Sie zeigen sich z. B. an Verkrümmungen von Pflanzenteilen bei Blumenkohl und Futterleguminosen als Folge einer beeinträchtigten Eiweißsynthese.

## 6.4. Bodengefüge und mechanische Eigenschaften

Unter Bodengefüge versteht man die räumliche Anordnung der festen Bodenbestandteile. Aus ihrer Lagerungsweise, d. h. Form, Größe und spezifischen Verteilung ergibt sich die Gliederung des Hohlraumvolumens im Boden, auch *Porensystem* genannt. Das Porenvolumen ist mit wechselnden Anteilen von Wasser und Luft gefüllt. Damit hat das Bodengefüge direkt und indirekt großen Einfluß auf viele fruchtbarkeitsbestimmende Bodeneigenschaften wie Wasser-, Luft- und Wärmeregime, organischen Stoffumsatz, Durchwurzelbarkeit sowie eine Reihe mechanischer Eigenschaften, die sich in der technologischen Eignung des Bodens widerspiegeln.

*Bodengefüge* und *Bodenstruktur* werden oft im gleichen Sinne verwendet, obwohl sie nicht völlig identisch sind. So versteht man das Bodengefüge meist als umfassenden bodenkundlichen Begriff für die Lagerungsverhältnisse der Bodenmasse, während mit Bodenstruktur vorwiegend der ackerbauliche Aspekt, insbes. der Wandel des Bodengefüges im Bearbeitungshorizont, angesprochen wird.

### 6.4.1. Gefügeformen

Nach der visuellen Erkennbarkeit unterscheidet man Gefügeformen niederer und höherer Ordnung. Während das Mikro-(Fein-)gefüge nur unter dem Mikroskop beobachtet werden kann, ist das Makro-(Grob-)gefüge mit bloßem Auge sichtbar.

#### Mikrogefüge

Das Mikrogefüge, auch Elementargefüge genannt, spiegelt den Feinbau des Bodengefüges wider. Es wird in erster Linie zur detaillierten Kennzeichnung von Horizonten herangezogen. Zur Untersuchung werden sog. *Dünnschliffe* von Bodenproben, die mit Kunstharz getränkt sind, hergestellt. Auf Grund der Verteilung und Mengenverhältnisse der Gefügeelemente niederer Ordnung, d. s. *Gefügeskelett* (gröbere Mineralkörner, wie Schluff- und Sandpartikel) und *Gefügeplasma* (kolloidale Festsubstanz), werden folgende Grundformen (s. auch Abb. 6/15) unterschieden:

– *granulares Mikrogefüge*: Gefügeskelett dominiert eindeutig, Gefügeplasma fehlt ganz oder bildet nur dünne Hüllen um die Mineralkörner; z. B. in sandigen Bsv- und C-Horizonten

– *plasmatisches Mikrogefüge*: Gefügeplasma dominiert eindeutig, nur wenige Mineralkörner sind eingestreut; z. B. in stark tonigen Horizonten, in Teilbereichen des Bt-Horizontes

– *intertextisches Mikrogefüge*: Gefügeplasma (Humus, Sesquioxide) bildet Brücken zwischen den weitgehend hüllenfreien Mineralkörnern; z. B. in lehmsandigen B- und in Et-Horizonten

– *agglomeratisches Mikrogefüge*: Gefügeplasma (Ton, Humus, Sesquioxide) bildet Anhäufungen zwischen den weitgehend hüllenfreien Mineralkörnern ohne Brückenbildung; z. B. in sandigen bis lehmsandigen und stärker schluffhaltigen A<sub>h</sub>- und Bv-Horizonten

– *porphyrisches Mikrogefüge*: Mineralkörner sind in eine dichte plasmatische Grundmasse eingebettet; z. B. in lehmigen und schlufflehmigen B- sowie karbonathaltigen C-Horizonten

Zwischen diesen Grundformen gibt es zahlreiche Übergänge. Von der Ausbildung der Mikrogefügeformen hängt zu einem wesentlichen Teil die Formenmannigfaltigkeit des *Porensystems* im Mikrobereich ab. Nach der Art der Poren unterscheidet man Kornzwischenräume, Fugen, Spalten, Höhlungen. Die Begrenzung der Poren kann geradlinig

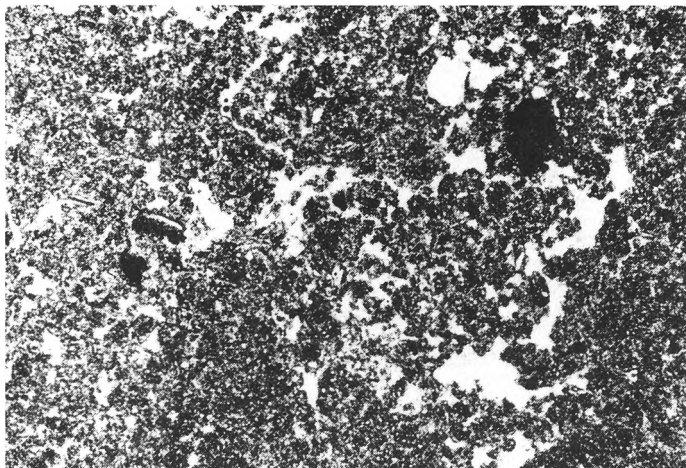
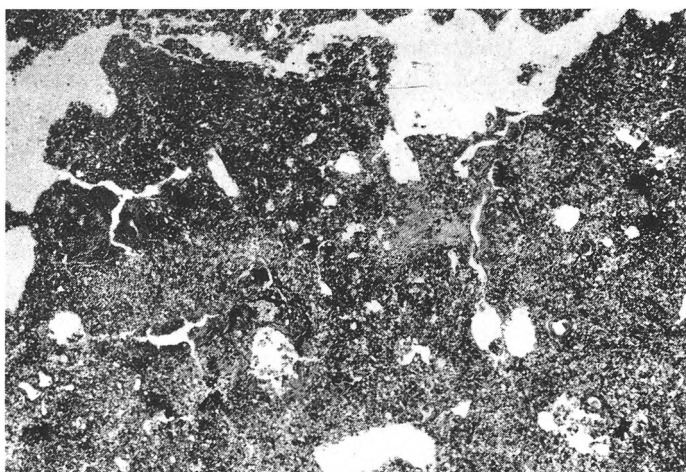


Abb. 6/15  
 Mikro-Gefügeformen in  
 einer Löß-Parabraun-  
 erde;  
 11fache Vergrößerung  
 (Aufn. Laves)  
 a intertextisch-agglome-  
 ratisch (Ap-Horizont)



b porphyrisch-plasma-  
 tisch (Bt-Horizont)

oder gebogen, glatt- oder rauhwandig sein. Über eine solche Porenkennzeichnung lassen sich bereits Rückschlüsse auf die Intensität der Wasserbindung, auf Verdichtungen und Durchwurzelbarkeit ziehen, wenn auch mehr qualitativ als quantitativ.

### **Makrogefüge**

Das Makrogefüge widerspiegelt die räumliche Grobanordnung der Bodenmasse. Es kann ungliedert und gegliedert sein. Beim ungliederten Gefüge liegen die Bodenteilchen lose nebeneinander oder bilden eine kompakte Masse. Beim gegliederten Gefüge lassen sich Gefügeelemente höherer Ordnung, sogenannte **Gefügekörper**, erkennen, die durch ein charakteristisches Porensystem gegliederte Verbände bilden. Die Gefügekörper können auf verschiedene Weise entstanden, verschieden geformt sein und unterschiedliche Größe sowie Feinporung aufweisen. Je nach dem Vorgang, der die endgültige Gestalt dominierend beeinflusst, kann man drei Arten von Gefügekörpern unterscheiden:

– *Aggregate im engeren Sinne*: infolge Zusammenschlusses von Bodenteilchen entstandene Gefügekörper

– *Segregate*: durch Aufteilung der Bodenmasse infolge Absonderung entstandene Gefügekörper (Begrenzungsflächen sind Spiegelbilder der sie umgebenden Begrenzungsflächen anderer Segregate)

– *Fragmente*: durch mechanische Vorgänge infolge Bruchstückelung entstandene Gefügekörper

In Verbindung mit dem Begriff Struktur hat sich als Sammelbezeichnung für alle drei Gefügekörperarten nach wie vor auch der Begriff *Aggregat* erhalten. Die Bezeichnung *Aggregat* muß deshalb im weiteren Sinne noch als Synonym für Gefügekörper angesehen werden, besonders unter ackerbaulichem Aspekt.

Entsprechend der Ausbildung der ungliederten Bodenmasse und der o. g. Gefügekörper werden folgende *Makro-Gefügeformen* unterschieden (TGL 24 300/11):

a) Ungegliedertes Gefüge

*Ek* Einzelkorngefüge: Mineralkörner liegen einzeln und lose nebeneinander; z. B. in humusarmen Sanden (s. Abb. 6/16a)

*Ko* Kohärentgefüge (Massivgefüge): Mineralkörner bilden eine zusammenhaftende Masse, die durch kolloidale Substanzen gleichmäßig zusammengehalten wird; z. B. in wassergesättigten Tonen (s. Abb. 6/16b)

*Ve* Verkittungsgefüge (Hüllengefüge, Sonderform von *Ko*): Mineralkörner sind von feinkolloidalen Hüllen umgeben und an den Berührungsstellen miteinander verbunden; z. B. in Orthorizonten

b) Gegliedertes Gefüge

Aufbaugefüge

*Kg* Koagulatgefüge: Bodenteilchen ballen sich durch Koagulation zu Mikroaggregaten zusammen ( $d \leq 5$  mm); z. B. in humosen Horizonten

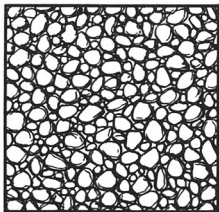
*Kr* Krümelgefüge: Bodenteilchen bilden rundliche, porenreiche Aggregate mit etwa gleichen Achsenlängen ( $d > 5$  bis 20 mm) und rauher Oberfläche; meist relativ stabil; fast nur in humosen Horizonten (s. Abb. 6/16c)

*Schw* Schwammgefüge (Sonderform von *Kr*): besonders wasserbeständiges, von Wurmlösung durchsetztes Krümelgefüge (s. Abb. 6/17)

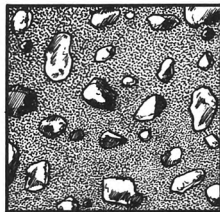
Absonderungsgefüge

*Po* Polyedergefüge: durch unregelmäßig geformte Flächen begrenzte Segregate mit

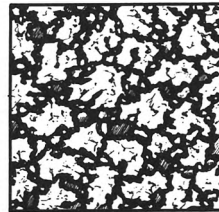
Einzelkorngefüge



Kohärentgefüge



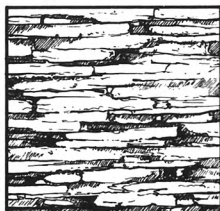
Krümelgefüge



Polyeder-/Prismengefüge



Plattengefüge



Bröckelgefüge



Abb. 6/16

Schematische Darstellung charakteristischer Makro-Gefügeformen

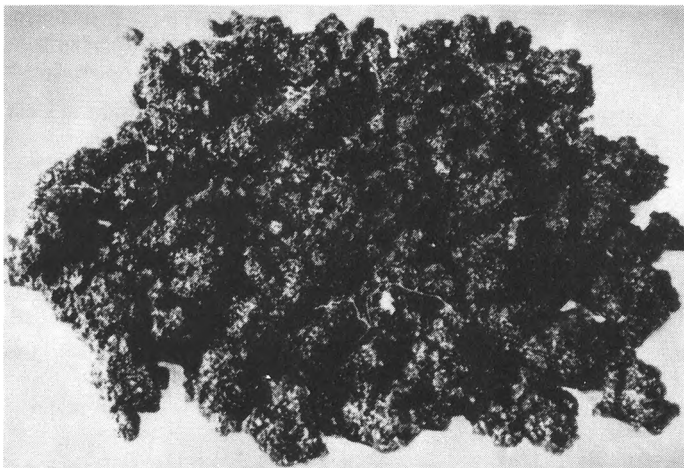


Abb. 6/17  
Schwammgefüge in der  
Ackerkrume (Aufn.  
Stallings)

überwiegend scharfen Kanten und etwa gleichen Achsenlängen; Unterteilung in kPo (Korngefüge) mit  $d \leq 5$  mm, mPo mit  $d > 5$  bis 20 mm und gPo mit  $d > 20$  mm; z. B. in Bt-Horizonten (s. Abb. 6/18)

- Pr** Prismengefüge: von meist rauen Seitenflächen begrenzte, senkrecht im Boden stehende Segregate mit einer langen senkrechten und zwei kürzeren waagerechten Achsen; z. B. in Bt- und Bg-Horizonten (s. Abb. 6/16d)
- La** Lamellengefüge: horizontal orientierte, plattige Segregate, deren senkrechte Achse bedeutend kleiner ist als die beiden anderen; Unterteilung in kLa mit  $d \leq 3$  mm, mLa mit  $d > 3$  bis 10 mm und gLa mit  $d > 10$  bis 20 mm Stärke; z. B. in Et-, Eg-Horizonten und Pflugsohlen (s. Abb. 6/16e)
- Pl** Plattengefüge (Sonderform von La): Lamellen  $> 20$  mm stark; z. B. in Cc-Horizonten

#### Fragmentgefüge

- Br** Bröckelgefüge: unregelmäßig geformte, stumpfkantige, meist porenarme und mäßig stabile Fragmente mit etwa gleichen Achsenlängen ( $d > 5 - 20$  mm); nur in Bearbeitungshorizonten (s. Abb. 6/16f)
- Kl** Klumpengefüge (Sonderform von Br): Fragmente mit  $d > 20$  mm – Kluten sind Klumpen mit  $d > 30$  mm; nur in Bearbeitungshorizonten

Zwischen den einzelnen Gefügeformen gibt es Übergänge. Wenn zwei verschiedenartige Gefügekörper, z. B. krümelige und bröckelige, nebeneinander vorkommen, spricht man von *Mischgefüge*. Lassen sich bestimmte Gefügekörper in andere zerlegen (z. B. Prismen in Polyeder, Bröckel in Koagulate), wird von *Interferenzgefüge* gesprochen. Der Ausprägungsgrad der Gefügekörper (z. B. schwach = Kr', mäßig = Kr, stark =  $\overline{\text{Kr}}$ ), Art und Intensität der Feinporung sowie Art und Dicke der die Aggregate umgebenden Häutchen können ebenfalls zur Kennzeichnung herangezogen werden.

Die Gefügeformen haben sich meist substrat- und horizontspezifisch herausgebildet. Ihre Beurteilung wird an der Profilwand vorgenommen. Die Bedeutung der Gefügeformen liegt darin, daß man bereits von ihnen auf bestimmte Bodeneigenschaften, die laboranalytisch sonst nur mit hohem Aufwand erfaßbar sind, schließen kann.

#### 6.4.2. Das Porensystem

Alle mit Wasser und Luft gefüllten Hohlräume des Bodens, ihre Gestalt und die Form ihrer Vernetzung faßt man zum Porensystem zusammen.



Abb. 6/18  
Polyedergefüge im Tonhäutchenhorizont  
einer Löß-Parabraunerde

### Porenvolumen

Das Porenvolumen (PV) wird definiert als das Volumen aller Hohlräume des Bodens ( $V_p$ ) in Prozent des Gesamtvolumens (V):

$$PV [\%] = \frac{V_p}{V} \cdot 100 \quad (39)$$

oder als Differenz zwischen Gesamtvolumen und Volumen der Festsubstanz ( $V_p = V - V_s$ ) in % des gesamten Hohlraumvolumens.

Grundlage für die Bestimmung des Porenvolumens ist die Dichte ( $\rho$ ). Sie ergibt sich aus dem Verhältnis von Masse (m) zu Volumen (V):

$$\rho [g/cm^3] = \frac{m}{V} \quad (40)$$

Unter *Reindichte* ( $\rho_s$ ) versteht man die Dichte der Festsubstanz ( $m_s/V_s$ ), sie wird auch *Trockensubstanzdichte* genannt.

Die *Rohdichte* eines Bodens ist die Dichte der Gesamtmasse einschließlich des Porenvolumens, bezogen auf das Gesamtvolumen. Sie wird auch als *Lagerungsdichte* oder *Volumengewicht* bezeichnet (Ausführungen zur Standarddichte s. Abschn. 6.4.5.). Wenn auch zwischen Rohdichte im ungestörten und gestörten Zustand unterschieden werden muß, soll nachfolgend nur die Rohdichte im ungestörten Zustand interessieren. Weiterhin ist zwischen *Trockenrohndichte* ( $\rho_d$ ) und *Feuchtrohdichte* ( $\rho_m$ ) zu unterscheiden (TGL 31222/03):

$$\rho_d \text{ (Dichte des bei } 105^\circ\text{C getrockneten Bodens)} = \frac{m_s}{V} \quad (41)$$

$$\rho_m \text{ (Dichte des feuchten Bodens)} = \frac{m_m}{V} \quad (42)$$

$m_m$  Feuchtmasse,  $m_s$  Trockenmasse, V Gesamtvolumen

Die Rohdichte wird entweder direkt bestimmt, z. B. durch Wägen von Bodenproben in Stechzylindern (s. Abb. 6/19) bekannten Volumens, oder rechnerisch auf der Grundlage korrelativer Beziehungen (Mehrfachregressionen) zu bestimmten Kornfraktionen ermittelt.

Das Porenvolumen (PV) läßt sich aus der Rohdichte nach folgender Formel ableiten:

$$PV [\%] = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}\right) \cdot 100 \quad (43)$$

Weitere Kennwerte für das Porenvolumen sind die Porosität und die Porenzahl (s. Abb. 6/20). Die Porosität ( $n$ ) kann wie folgt abgeleitet werden:

$$n [\text{cm}^3/\text{cm}^3] = \frac{V - V_s}{V} = \frac{V_p}{V} \quad (44)$$

oder

$$n [\text{cm}^3/\text{cm}^3] = 1 - \frac{V_s}{V} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \quad (45)$$

Die Porosität drückt den auf 1 bezogenen Anteil des Porenraumes aus. Sie ist inhaltlich identisch mit dem Porenvolumen (z. B.  $n 0,4 \triangleq PV 40\%$ ), hat aber gegenüber diesem keine bestimmte Dimension.

Die Porenzahl ( $e$ ) ergibt sich aus dem Verhältnis von Porenvolumen zu Volumen der Festsubstanz:

$$e [\text{cm}^3/\text{cm}^3] = \frac{V_p}{V_s} = \frac{V \cdot \rho_s}{m_s} - 1 = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad (46)$$

Die Porenzahl ist aber nicht nur mit der Rohdichte verknüpft, sondern auch mit der Porosität:

$$e = \frac{n}{1 - n} \quad (47)$$

Während  $n$  stets  $< 1$  ist, kann  $e \leq 1$  sein. In der Regel liegt es zwischen 0,4 und 4,0 (entspricht einem PV von  $\sim 30$  bis  $80\%$ ).

In den Böden liegen die Werte für die Dichte in ganz bestimmten Bereichen. Die Reindichte beträgt in mineralischen Substraten 2,6 bis 2,7, bei organischem Material ist sie  $< 1,5$ . Wenn man für Mineralböden einen konstanten Wert von 2,65 annimmt, so besteht gemäß Gleichung (40) eine feste Beziehung zwischen Porenvolumen und Trockenrohddichte, indem eine

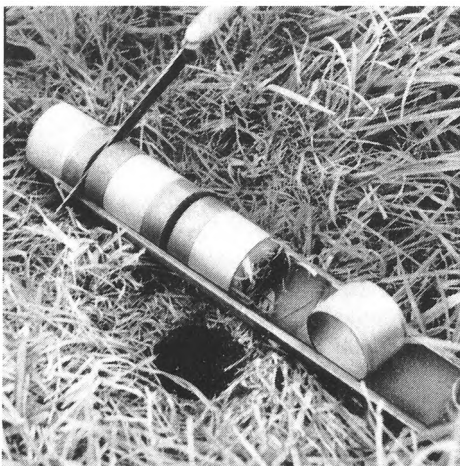


Abb. 6/19  
Entnahme von Bodenproben in ungestörter Lagerung mittels Stechzylindern von  $100 \text{ cm}^3$  Inhalt (Entnahmegert nach Rataj-Lieberoth)

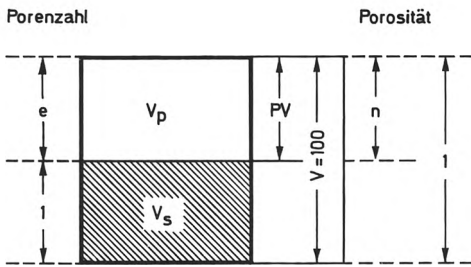


Abb. 6/20

Schematische Darstellung der Beziehungen zwischen Porenvolumen, Porenzahl und Porosität

$e$  — Porenzahl

$n$  — Porosität

$V$  — Volumen [%]

$V_s$  — Volumen der Trockensubstanz [ $\text{cm}^3$ ]

$V_p$  — Volumen der Poren [ $\text{cm}^3$ ]

$PV$  — Porenvolumen [%]

$\rho_d$  von 1,05 einem  $PV$  von ca. 60 %

$\rho_d$  von 1,35 einem  $PV$  von ca. 50 %

$\rho_d$  von 1,60 einem  $PV$  von ca. 40 %

$\rho_d$  von 1,85 einem  $PV$  von ca. 35 %

entspricht.  $\rho_d$  von 1,6 besagt, daß ein  $\text{cm}^3$  Boden 1,6 g bzw.  $1 \text{ m}^3 = 1,6 \text{ t}$  wiegt.

Die Trockenrohddichte liegt in Mineralböden zwischen 1,0 und 1,9, in Moorböden  $< 0,5$ , das Porenvolumen entsprechend zwischen  $\sim 30$  und 60% bzw. um 80%. Böden mit  $\rho_d \leq 1,65$  bzw.  $PV = 38\%$  gelten als verdichtet. Die Optimalwerte für das Pflanzenwachstum liegen zwischen  $\rho_d = 1,35 - 1,55$  bzw.  $PV = 50 - 42\%$ , wobei es bodenformen- und substratspezifische Unterschiede gibt. Löß-Schwarzerden beispielsweise liegen bei  $\rho_d = 1,40$ , Löß-Staugleye bei  $\rho_d = 1,55$ . Sinkt das Porenvolumen unter 38 %, treten i. d. R. Ertragsminderungen ein, da die  $\text{CO}_2$ -Freisetzung behindert, die Luftdurchlässigkeit vermindert und die Durchwurzelung gehemmt wird.

### Porenarten und Porengrößen

Bei den Bodenporen können je nach Auftreten und Entstehung folgende Porenarten unterschieden werden (Ehwald, 1975/76):

- Packungslücken zwischen den Bodenkörnern bzw. Gefügekörpern
- Röhren, welche die kohärente Bodenmasse bzw. die Gefügekörper durchsetzen
- Spalten, Risse, Fugen zwischen den Gefügekörpern
- Sonstige Hohlräume

Entsprechend ihrem mittleren Äquivalentdurchmesser kann man die Bodenporen nach folgenden Größenklassen unterteilen:

- **Grobporen:**  $d > 10 \mu\text{m}$ ; weitere Differenzierung in schnell dränende Poren mit  $d > 50 \mu\text{m}$  (Wasser versickert rasch, meist luftgefüllt) und langsam dränende Poren mit  $d = 10 - 50 \mu\text{m}$  (Wasser versickert langsamer)
- **Mittelporen:**  $d 0,2 - 10 \mu\text{m}$ ; dienen vorzugsweise der Wasserbewegung; Wasser wird gegen die Schwerkraft festgehalten, ist aber den Wurzeln noch zugänglich
- **Feinporen:**  $d < 0,2 \mu\text{m}$ ; Wasser wird mit  $> 15 \text{ at}$  festgehalten, damit ist es i. d. R. unzugänglich für Pflanzen; Wasserbewegung kaum möglich

Die Gliederung der Porengrößen erfolgt also im wesentlichen nach der **Wasserbeweglichkeit**. Je kleiner der Porendurchmesser ist, desto größer sind die Wasserbindungskräfte (Saugspannung) und dementsprechend weniger beweglich ist das Bodenwasser. Deshalb kann die Messung des Porendurchmessers über die Saugspannung vorgenommen werden. Auf diesem Sachverhalt aufbauend läßt sich der Äquivalentdurchmesser auch als der Durchmesser von Poren mit gleichstarker Wasserbindung definieren (s. Abschn. 6.5.3.).

### Porengrößenverteilung

Das Porensystem im Boden ist abhängig von Körnungsart, Horizont, biologischer Erschließung, Bearbeitungszustand und Feuchtegehalt. Entscheidend ist nicht nur das Ge-



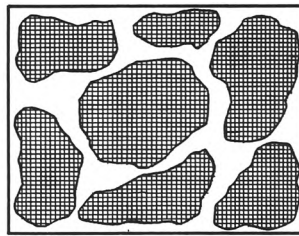
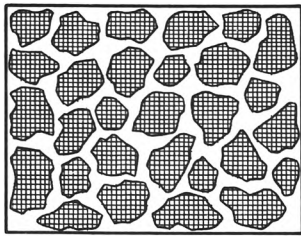


Abb. 6/21  
Schematische Darstellung zweier Substrate mit gleichem (Gesamt-) Porenvolumen, aber unterschiedlicher Porengrößenverteilung

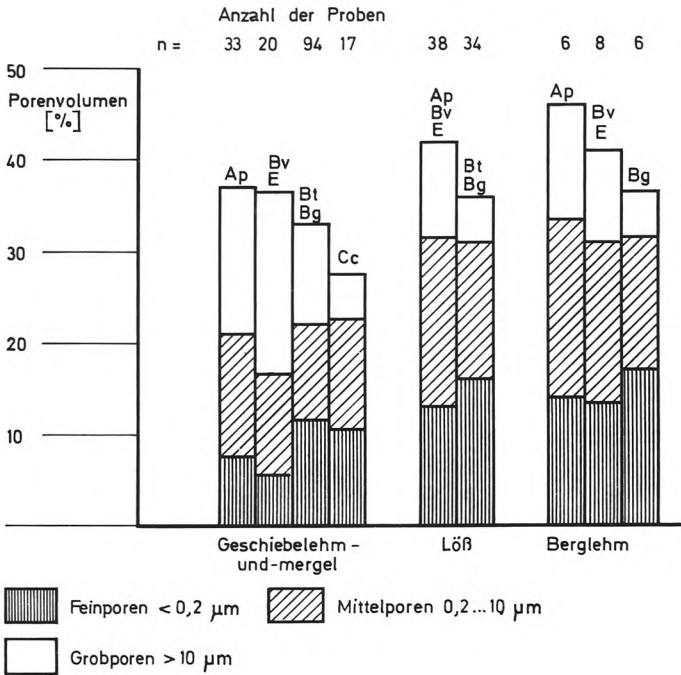


Abb. 6/22  
Säulendiagramm von Porenvolumen und Porengrößenverteilung charakteristischer Horizonte verbreiteter Substrate (nach Angaben von *Thiere*, 1975)

samtporenvolumen, sondern auch die Porengrößenverteilung (s. Abb. 6/21). Sandige Substrate haben oft ein geringeres PV, trotzdem überwiegen die Grobporen. Tonige Substrate zeigen recht unterschiedliche Gesamtporenvolumina, in jedem Fall aber dominieren die Feinporen. Lehmige und schluffige Substrate weisen i. d. R. eine gleichmäßige Porengrößenverteilung auf, die horizontbedingten Unterschiede sind gefügeabhängig (s. Abb. 6/22). Ungegliedertes Gefüge hat ein geringeres PV als Gliedergefüge.

Organische Substanz, Durchwurzelung und Bodenfauna wirken erhöhend auf das Porenvolumen. Ackerkrumen mit Krümel- oder Bröckelgefüge haben ein höheres PV und eine günstigere Porengrößenverteilung als verschlämmte, verdichtete oder unsachgemäß bearbeitete Horizonte. Das Porenvolumen ist als *ertragsbegrenzendes Kriterium* nur dann verwendbar, wenn die Luftkapazität (entspricht bei normaler Befeuchtung den schnell drainierenden Grobporen) berücksichtigt wird. Sinkt das Volumen dieser Grobporen unter 10 %, ist mit Ertragseinbußen zu rechnen. Nimmt ihr Anteil einen zu hohen Wert ein, muß das infolge zu geringer Wasserbindung ebenfalls als ungünstig eingeschätzt werden. Sandige Böden kann man daher durch Einbringen von Sperrschichten verschiedenster Art oder durch Einmischen kolloidreicher Stoffe verbessern.

Für die Beurteilung der Poren ist außerdem ihre Verteilung in der Bodenmasse von Bedeutung. Konzentriert sich das PV auf wenige Risse und Spalten, so sind solche Böden auch bei höherem Porenvolumen ungünstig zu bewerten. Man spricht in solchen Fällen von Anisotropie (grch., ungleichartig nach allen Richtungen des Raumes) des Porensystems. Außerdem spielt die längsaxiale Anordnung der Poren eine Rolle. Vorwiegend senkrecht stehende Mittelporen sind beispielsweise günstiger zu bewerten als waagrecht verlaufende. Schließlich ist auch die Porenkontinuität, d. h. die Durchgängigkeit der Poren, von Bedeutung.

Zusammenfassend lassen sich bei Substraten und Horizonten folgende Tendenzen für den Umfang des Porenvolumens aufzeigen (im Anhalt an *Thiere*, 1975):

Löß, Berglehm > (Ap)	Löß, Berglehm > (Bv, Et)	Glaziär- substrate > (Ap, Bv, Et)	Löß > (Bt, Bg, Cc)	Glaziär- substrate > (Bt, Bg)	Glaziär- substrate (Cc)
----------------------------	--------------------------------	---	--------------------------	-------------------------------------	-------------------------------

Die Porengrößenklassen korrelieren mit den Substraten, so daß sie näherungsweise über Regressionsgleichungen (mit den Einflußgrößen Ton-, zum Teil auch Schluff-, Sand- und Humusgehalt) berechnet werden können. Allerdings ist die Bestimmtheit recht unterschiedlich. Die engsten Beziehungen zum Tongehalt bestehen beim Feinporenvolumen ( $B > 0,60$ ). Dann folgt das Mittelporenvolumen, während beim Grobporenvolumen große Schwankungen im Bestimmtheitsmaß auftreten.

#### 6.4.3. Gefügemetamorphose

##### Verbindende und aufteilende Vorgänge

Das heutige Gefüge hat sich im Verlauf der Bodenentwicklung allmählich herausgebildet. Trotzdem kann man es nicht als stabil bezeichnen, da sich immer wieder Veränderungen vollziehen, die vor allem auf jahreszeitliche und nutzungsbedingte Einflüsse zurückzuführen sind. Organischer Stoffumsatz, Bodenfrost, Unterschiede in der Bodenfeuchte, Durchwurzelung und Auflast sowie die laufende Bodenbearbeitung bedingen eine fortwährende Veränderung des Bodengefüges, die man als Gefügemetamorphose (grch., Gestaltswandel) bezeichnen kann. Die wesentlichsten Vorgänge der Gefügemetamorphose sind (im Anhalt an *Ehwald*, 1975/76):

- a) Verbindende Vorgänge, Zusammenschluß von Bodenteilchen durch:
  - Aggregation* (lat., Anhäufung) infolge Koagulation, Meniskenbindung, Verkittung und Verklebung; ausgelöst durch Kräfte, die vorwiegend den Bodenteilchen selbst innewohnen;
  - Dichtlagerung* infolge Sackung, Einlagerung, Quellung und mechanischen Druck (Verdichtung); ausgelöst durch Kräfte, die sowohl aus der Umgebung wirken als auch den Bodenteilchen selbst innewohnen
- b) Aufteilende Vorgänge, Zergliederung der Bodenmasse durch:
  - Segregation* (lat.: Absonderung) infolge Peptisation, Schrumpfung, Kristallisationsdruck des Eises (s. Abschn. 6.6.4.) und biotischer Lockerung; ausgelöst durch Kräfte, die sowohl den Teilchen selbst innewohnen als auch aus ihrer Umgebung wirken;
  - Fragmentation* (lat.: Bruchstückelung) infolge mechanischer Zerteilung (Bodenbearbeitung); ausgelöst durch Kräfte, die von außerhalb wirken

Diese Vorgänge der Gefügemetamorphose wirken in der unterschiedlichsten Weise mit- und gegeneinander. Vom Gleichgewicht der Kräfte hängt die jeweilige Stabilität des Bodengefüges ab. In der Ackerkrume ist die Stabilität von besonderer Bedeutung. Dort kommen nur wenige Gefügeformen vor, nämlich Krümel-, Bröckel-, Klumpen- und Einzelkorngefüge. Ziel einer hohen Ackerkultur muß es sein, ein Krümel-, zumindest aber ein Bröckelgefüge zu schaffen und zu erhalten, das eine günstige Hohlraumverteilung aufweist und dessen Aggregate wasserbeständig sind.

Nachfolgend sind die wichtigsten die Gefügebildung und -metamorphose bedingenden Teilvorgänge entsprechend den ihnen zugrunde liegenden physikalischen, chemischen und biologischen Grundprozessen erläutert.

### **Koagulation und Peptisation**

Zwischen den Bodenteilchen wirken sowohl Anziehungs- als auch Abstoßungskräfte:

– *Anziehung*: ausgelöst durch nur auf kurze Entfernung wirkende Van-der-Waalsche (Massenanziehungs-)Kräfte zwischen den Molekülen, durch elektrostatische (Coulombsche) Kräfte zwischen entgegengesetzt geladenen Teilchen, durch Bildkräfte sich gegenseitig durchdringender diffuser Grenzschichten und durch Grenzflächenkräfte von Wassermensiken

– *Abstoßung*: ausgelöst durch elektrostatische Kräfte zwischen gleichgeladenen Teilchen, durch osmotische Kräfte im Bereich der Innenlösung der Austausch (Hydratation) und durch Reibungskräfte in Suspensionen

Wenn sich die Teilchen im Zuge der Brownschen Wärmebewegung auf weniger als 15 Å ( $1 \text{ Å} = 10^{-7} \text{ mm}$ ) nähern, kommt es zur Zusammenballung, d. h. zur Koagulation (lat., Ausflockung). Die koagulierten Kolloide bilden Mikroaggregate (*Gelzustand*), bei Austrocknung auch kohärente Massen. Überwiegt die Abstoßung, dann verbleiben die Kolloide im feinzerteilten (dispersen) Zustand, d. h. im *Solzustand*. Werden Koagulate wieder zerteilt, spricht man von *Peptisation* (lat., Wiederauflösung).

Die Ausflockung wird durch verschiedene Faktoren im Boden bestimmt. So begünstigt eine geringe Stärke der elektrischen Doppelschicht die Koagulation. Da mehrwertige Ionen weniger hydratisiert sind, wirken sie stark flockend (z. B.  $\text{Ca}^{2+}$ ), einwertige hingegen stark peptisierend (z. B.  $\text{Na}^+$ ). Al- und Fe-Ionen fördern ebenfalls die Flockung. Je nach Art der Kolloide (Linear- oder Sphärokolloide) und ihrem Aufbau (Parallel- oder Winkelanlagerung) weisen die Koagulate eine unterschiedliche Stabilität auf. Am günstigsten sind Linear-kolloide mit Winkelanlagerung (Kartenhaus-Struktur). Kationenbelegung und Kolloidcharakter bedingen somit vielfältige Unterschiede in der Gefügestabilität.

### **Quellung und Schrumpfung**

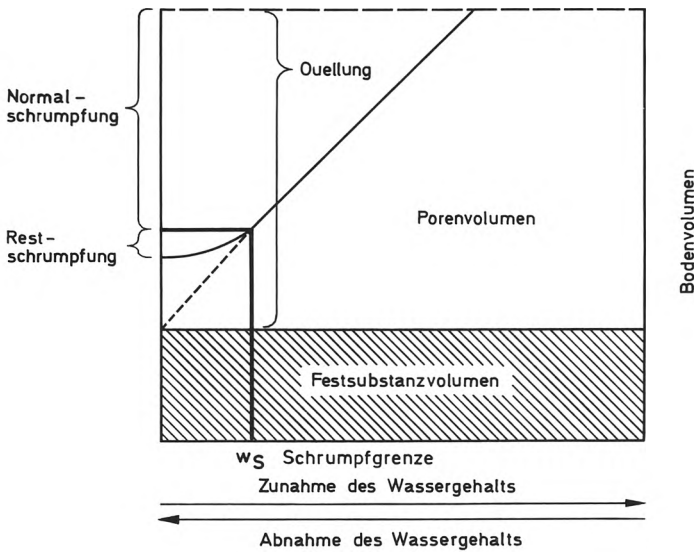
Unter Quellung versteht man das Verhalten bestimmter Körper, unter Wasseraufnahme ihr Volumen zu vergrößern. Sie ist eine Vorstufe der Dispergierung. Schrumpfung ist der umgekehrte Vorgang. Infolge Wasserentzugs rücken die im gequollenen Zustand durch Wasserhüllen voneinander getrennten Bodenteilchen wieder zusammen.

Die Quellung ist insb. durch die Hydratation, aber auch durch abstoßende (elektrostatische) Kräfte und durch die Aufweitbarkeit bestimmter Tonminerale bedingt. Wird dabei die Volumenausdehnung behindert, kann die durch Hydratation freiwerdende Energie in mechanische Arbeit umgewandelt werden, d. h., es tritt ein Quellungsdruck auf.

Die Schrumpfung verläuft zunächst proportional dem sinkenden Wassergehalt (*Normalschrumpfung*), tritt dann jedoch deutlich hinter dem Wasserverlust zurück (*Restschrumpfung*). Die Restschrumpfung beruht darauf, daß das Boden- und Porenvolumen allmählich konstant bleibt, während der Boden immer noch Wasser abgibt (s. Abb. 6/23), da den Kolloiden infolge unmittelbarer Berührung keine weitere Annäherung möglich ist.

Quellung und Schrumpfung der Böden sind vornehmlich an die Restschrumpfung gebunden. Den Umfang im einzelnen bestimmen Kolloidgehalt, Tonmineralzusammensetzung, Kationenbelegung und Wassergehalt. Je größer der Kolloidgehalt im Boden ist, um so mehr muß mit Quellungs- und Schrumpferscheinungen gerechnet werden. Tone quellen und schrumpfen am stärksten, Lehme weniger und Sande gar nicht. Auch die organischen Kolloide besitzen eine hohe Quellfähigkeit. Moore und Anmoore zeigen deshalb eine intensive Quellung und Schrumpfung. In Sandböden bewirkt Humus eine Erhöhung, in Tonböden dagegen eine Erniedrigung der Quellfähigkeit. Das Quellen der Tonminerale hängt mit ihrer Aufweitbarkeit zusammen, man spricht auch vom *innerkristallinen Quel-*

Abb. 6/23  
Kennlinie der Normal-  
und Restschumpfung



lungsvermögen (s. Abschn. 3.2.8.). Einwertige Ionen erhöhen, mehrwertige erniedrigen den Quellungsdruck. Zunehmende Ionenkonzentration in der Bodenlösung setzt die Quellung ebenfalls herab.

Über die Auflast der überlagernden Bodenmasse und den Scherwiderstand des Bodens kommt der Quellungsdruck unmittelbar zur Wirkung. Quellung und Schumpfung haben daher einen wesentlichen Einfluß auf die Gefügebildung. Quellung erhöht außerdem das Gesamtporenvolumen, was sich im einzelnen nur im Bereich der Fein- und Mittelporen auswirkt. Schumpfung hingegen führt zur Verminderung des Porenvolumens, wobei durch *Rißbildung* das Grobporenvolumen vergrößert werden kann. Die Risse entstehen an Stellen geringster Zugfestigkeit, zuerst daher an Stellen höherer Feuchtigkeit. Bei Quellung schließen sich diese Risse, um bei erneutem Schumpfen an den alten Schwächezonen wieder aufzureißen. Bei schneller Austrocknung entstehen vor allem kleine, flache Risse, die z. B. für ausgetrocknete Verschlammungskrusten charakteristisch sind. Bei langsamer, intensiver Austrocknung bilden sich hingegen größere Risse, die um so tiefer sind, je stärker das Material vorher gequollen war und je kolloidreicher der Boden ist.

In den tieferen Horizonten führen Quellung und Schumpfung zur Bildung der verschiedensten Segregate. Im Oberflächenbereich hingegen kommt es zur Fragmentbildung, insbesondere zur Entstehung von Klumpen. Eine besondere Form der Auswirkung von Quellungs-/Schumpfungsvorgängen ist der sog. *Selbstmulcheffekt*, der auf ton- und zugleich humusreichen Böden, wie sie stellenweise in der Wische und im Thüringer Becken vorkommen, zu einer intensiven, durchgehenden Krümelung an der Oberfläche führen kann. Quellung und Schumpfung bewirken bei Ton- und Moorböden außerdem eine Hebung und Senkung der Landoberfläche.

Quellung und Schumpfung beeinflussen auch das Wasserregime der Böden. In kolloidreichen Substraten führt Quellung zu einer erhöhten Wasserbindung, bei Schließung der Schwundrisse auch zu einer verringerten Wasserdurchlässigkeit. Geschrumpfte Böden verhalten sich umgekehrt. Schumpfrisse sind bevorzugte Sickerwasserbahnen, die ein tiefes, wenn auch mehr oder weniger ungleichmäßiges Eindringen der Niederschläge begünstigen.

Eine besondere Form des Teilchenzusammenhalts wird durch Grenzflächenkräfte von *Wassermenisken* verursacht. Er beruht auf dem Auftreten erheblicher Zugkräfte im Bereich der gekrümmten Grenzfläche Wasser/Luft. Diese Form der Anziehung zwischen

Bodenteilchen ist in kolloidreichen Böden besonders stark und mit eine der Ursachen für ihr Schrumpfungsvermögen. Der Zusammenhalt feuchter Sande kann ebenfalls auf einen Zusammenhalt durch Menisken zurückgeführt werden.

### **Verdichtung und Lockerung**

Verdichtung bedeutet Abnahme des Porenvolumens bzw. Zunahme der Rohdichte (und damit meist auch der Festigkeit), Lockerung ist der entgegengesetzte Vorgang. Verdichtungen können entstehen durch (s. Schetter-Schachtschabel, 1976):

– *Sackung*: bewirkt durch Eigendruck der überlagernden Bodenmasse als Folge der Schwerkraft, durch mechanischen Druck infolge unsachgemäßen Befahrens und unsachgemäßer Bearbeitung, durch Quellung/Schrumpfung, durch Humusschwund (z. B. in Moorböden)

– *Einlagerung* (Porenverstopfung): bewirkt durch Einspülung (Mikroerosion) feinkolloidaler Bodenbestandteile, durch Ausfällung von Karbonaten, Sesquioxiden oder anderer Substanzen in Poren und Rissen sowie durch Pressungen (Porenverschmierung)

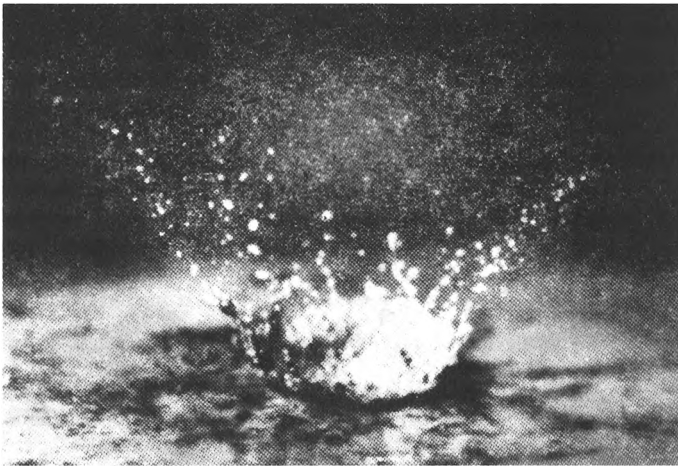


Abb. 6/24  
„Trommelfeuerwirkung“ eines Regentropfens  
a während des Aufschlages



b kurz nach dem Aufschlag

Sackungs- wie Einlagerungsverdichtungen führen insbesondere zur Abnahme des Porenvolumens, wodurch der relative Anteil der Mittel- und Feinporen ansteigt. Nach der Tiefenlage der Verdichtungen kann man folgende Arten unterscheiden:

a) Oberflächenverdichtung

Vor allem bei kolloid- und/oder schluffreichen Substraten mit labilem Gefüge; verursacht durch Verschlämmungen, meist infolge von Starkregen („Trommelfeuer“ der Regentropfen – s. Abb. 6/24), Befahrens und übermäßiger mechanischer Zerkleinerung (z. B. „Toteggen“); führt zum Zerfall der Aggregate sowie durch nachfolgende Austrocknung zur Verkrustung; unterbricht insbesondere den Gasaustausch und behindert das Eindringen der Niederschläge; nur geringmächtig ausgebildet (wenige Zentimeter)

b) Krumenverdichtung

Erstreckt sich auf die ganze Krume bzw. auf größere Partien derselben; verursacht durch Bodenbearbeitung im nassen Zustand (Porenverschmierung), Befahren und Einspülung; behindert die Gas- und Wasserzirkulation sowie die Wurzel ausbreitung, verringert die nutzbare Feldkapazität

c) Pflugsohlenverdichtung

An der Basis der Krume ausgebildet, nur wenige Zentimeter mächtig; verursacht durch Druckeinwirkung von Pflugscharen und Rädern, wenn sie ständig in einer bestimmten Tiefe wirken, und zusätzlich durch Einspülung möglich; verzögert Gas- und Wasserzirkulation, behindert Wurzelwachstum, insbesondere von Wurzelfrüchten (s. Abb. 6/25); erkennbar an der Ausbildung eines Lamellengefüges

d) Unterbodenverdichtung (genauer: Verdichtungen unterhalb der Krume)

Meist mächtiger ausgebildet; überwiegend pedogen bedingt; verursacht durch Sackungen und Einlagerungen verschiedenster Art; Bodendruck von Maschinen einschließlich Erntemaschinen kann aber auch bis 4 (6) dm Tiefe wirken; behindert Gasaustausch, Wasserbewegung, Wurzelwachstum, verringert nutzbare Feldkapazität; erkennbar an der Ausbildung eines Kohärent-, Prismen-, Lamellen- oder Plattengefüges; intensive Unterbodenverdichtungen kommen vor allem in Et-, Eg-, Bg-, Bs- und teilweise auch in Go-Horizonten vor.

Verdichtungen lassen sich über das Bodengefüge, das Wurzelbild (Ausbreitungsform, Tiefgang), den Eindringwiderstand bzw. die Festigkeit (Messer, Sonden) und Spatenproben (Aufbruchprobe, Görbingsche Spatendiagnose) beurteilen. Messungen können anhand des Porenvolumens und der Porengrößenverteilung vorgenommen werden, besser jedoch ist der Nachweis über Durchdringungswiderstand und Scherfestigkeit (s. Abschn. 6.4.5.). Auch Wasserdurchlässigkeitsbestimmungen lassen Rückschlüsse zu.

Verdichtungen beeinträchtigen das **Wurzelwachstum**, unmittelbar über eine höhere Festigkeit des Bodenmaterials, mittelbar über ein geringeres Porenvolumen und den damit ver-

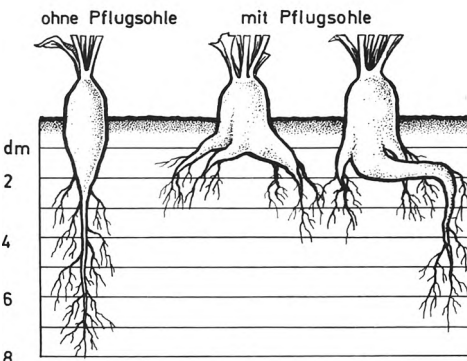


Abb. 6/25

Schematische Darstellung der Auswirkung einer Pflugsohlenverdichtung auf die Wurzelentwicklung von Zuckerrüben

bundenen ungünstigen Bodeneigenschaften. Die Wurzelmasse korreliert im allgemeinen mit dem Porenvolumen bzw. der Rohdichte. Je größer  $\rho_d$ , um so geringer ist die Gesamtmasse an Wurzeln, wobei die Feinwurzeln überwiegen. Die Pflanze kann auf diese Weise eine schwächere Durchwurzelung etwas kompensieren. Je feiner nämlich die Wurzeln sind, um so größer ist ihre Oberfläche und um so höher dementsprechend ihr Aufnahmevermögen bzw. ihre Leistung.

Lockerung des Bodens kann naturbedingt durch Kristallisationsdruck des Eises, durch Aggregation, durch die aufteilende Wirkung von Pflanzenwurzeln und durch das Wühlen von Bodentieren hervorgerufen werden. Sie läßt sich aber auch über Bodenbearbeitung, Zufuhr lockernder Stoffe und Meliorationen erreichen. Durch Pflügen, Eggen, Grubbern u. a. Arbeitsgänge wird nicht nur eine Auflockerung der Ackerkrume, sondern gleichzeitig eine Aufteilung von Klumpen bzw. Kluten bewirkt. Diese Zerstückelung ist auch im Hinblick auf die Siebfähigkeit von Bedeutung, die besonders bei der industriemäßigen Kartoffel- und Zuckerrübenenernte eine Rolle spielt. Ein Boden ist um so siebfähiger, je weniger er Kluten aufweist. Kluten sind Klumpen mit einem Äquivalentdurchmesser von  $> 30$  mm. Lockernde und gleichzeitig die Aggregatbildung beeinflussende Stoffe sind organische Dünger, Wurzelrückstände, Kalk und Bodenverbesserungsmittel (BVM).

Schließlich kann eine Lockerung des Bodens auch über *kombinierte Unterbodenmelioration* erfolgen. Die verschiedenen Verfahren, bei denen insbesondere Tieflockerung und Anwendung von Kalk gefügebessernd wirken, müssen substrat- und bodentypenspezifisch angewendet werden. Gefügemeliorationen lohnen sich besonders auf Staubleysen, auf Böden mit lehmigen, schluffigen und tonigen Unterböden sowie mit verdichteten Zwischenhorizonten (Et, E<sub>g</sub>).

Entscheidend für die Beurteilung aller Lockerungsmaßnahmen ist die Dauer ihrer Wirkung. In der Krume sind zwar in dieser Hinsicht bestimmte Grenzen gesetzt, doch läßt sich dort der Lockerungseffekt durch periodische Wiederholung lockernder Maßnahmen in dem erforderlichen Umfang aufrechterhalten. Im Unterboden ist eine länger anhaltende Lockerung nur dann zu erreichen, wenn es gelingt, die mechanisch wirkenden Maßnahmen durch gefügestabilisierende zu ergänzen.

### **Verkittung und Verklebung**

Verkittung, Verklebung und Wurzelverflechtung führen nicht nur zur Bildung von Aggregaten, sie bewirken auch deren Stabilisierung.

Unter *Verkittung* faßt man alle Vorgänge zusammen, die auf einen Zusammenhalt von Bodenbestandteilen durch anorganische Stoffe zurückzuführen sind. So werden gröbere Bodenkörner durch feinkolloidale Tonsubstanzen verkittet. Durch  $\text{CaCO}_3$  wird das Gefüge in Cc-Horizonten stabilisiert. Sesquioxide verstärken den Zusammenhalt in Bs- und Go-Horizonten, was dort allerdings zu stärkeren Verdichtungen führen kann (Ortstein- bzw. Raseneisensteinbildung).

Unter *Verklebung* versteht man alle Vorgänge, die auf einen Zusammenhalt der Aggregate durch organische Stoffe zurückzuführen sind. Sie ist eng mit dem organischen Stoffumsatz, mit der biologischen Aktivität im Boden verbunden und bleibt daher vorwiegend auf die Humushorizonte beschränkt. Die Verklebung wird vor allem durch mikrobielle Schleimstoffe (Polysaccharide, Polyuronide) bewirkt, die infolge raschen Abbaues jedoch immer wieder ergänzt werden müssen. Eine ähnliche Wirkung haben Huminstoffe, die mit den Tonkolloiden organomineralische Verbindungen (s. Abschn. 3.3.5.) bilden können, wobei der Zusammenhalt bei organischen Linearkolloiden besonders stark ist. Die Mischung mineralischer und organischer Bestandteile im Darm von Bodentieren hat ebenfalls die Ausscheidung stabiler Bodenaggregate zur Folge.

An dieser Stelle sei auf den Begriff *Lebendverbauung* hingewiesen, unter dem man die Verklebung der Bodenaggregate durch Pilzmycel, Bakterienkolonien und Haarwürzelchen versteht. Vielfach wird auch noch der Begriff *Bodengare* verwendet. Er ist etwa identisch

mit Schwammgefüge und entspricht einem Strukturzustand der Krume mit für das Pflanzenwachstum besonders optimalen physikalischen und biologischen Eigenschaften.

### Strukturstabilität

Unter den Bedingungen des Ackerbaues kann Strukturstabilität (hier besserer Begriff als Gefügestabilität) zusammenfassend als die Aufrechterhaltung der Bodenstruktur bei Einwirkung von äußeren Kräften definiert werden. Der Begriff Strukturstabilität bezieht sich nicht nur auf Aggregate, sondern auf alle Bodenstrukturen.

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die Teilvorgänge der Strukturstabilität erläutert wurden, soll in diesem Abschnitt eine zusammenfassende Darstellung derselben gegeben und kurz auf die Bestimmung der Strukturstabilität eingegangen werden.

Die Strukturstabilität widerspiegelt das Beharrungsvermögen der einzelnen Bodenteilchen, für sich allein oder in Verbänden (Aggregate, Segregate, Fragmente) bei Einwirkung von Kräften am Ort zu verbleiben und nicht verlagert bzw. verschoben zu werden. Folgende Kräfte können von außen auf die Bodenteilchen einwirken (in Anlehnung an Hartge, 1975):

- *Gewicht*: wirksam über die Erdanziehungskraft; im Schwerpunkt der Teilchen ansetzend und zum Erdmittelpunkt gerichtet
- *Auflast, Druck*: wirksam über höher liegende Bodenteilchen und bodenfremde Körper (z. B. Maschinen); i. d. R. abwärts gerichtet
- *Schub, Zug* und *Schlagen*: wirksam über Geräte und Maschinen; je nach Angriffspunkt unterschiedlich gerichtet
- *Strömungsdruck*: wirksam als Flächenkraft auf den dem strömenden Medium (Wasser, Wind) dargebotenen Querschnitt; je nach Angriffspunkt unterschiedlich gerichtet

Alle vier Kräfte wirken auf eine Lageveränderung zwischen den benachbarten Teilchen hin, womit in vielen Fällen eine Verringerung des Porenvolumens (Erhöhung der Lagerungsdichte) verbunden ist. Als weitere, den Teilchen selbst innewohnende Kräfte kommen *Kohäsion* und *Adhäsion* hinzu, die beide in erster Linie zur Lagestabilität beitragen. Nicht zu unterschätzen sind hierbei die *Meniskenkräfte* (s. Abschn. 6.5.3.), die als eine besondere Form der Kohäsion anzusehen sind.

Die Lage eines bestimmten Bodenteilchens ist um so stabiler, je größer die an seinen Berührungsflächen vorhandenen Scherwiderstände (s. Abschn. 6.4.5.) gegenüber den an diesen Stellen auftretenden Schubkräften sind. Der Scherwiderstand an den Berührungsflächen (man rechnet mit 5 bis 9 Berührungspunkten zu den umgebenden Nachbarparteilchen) ist von der Reibung abhängig, die als Haft-, Gleit- oder Rollreibung auftreten kann. Meist kommen an einem Bodenteilchen bei Beanspruchung alle Reibungsarten gleichzeitig vor. Haften dominiert an den Berührungsflächen um so mehr, je größer der Scherwiderstand, Gleiten um so mehr, je kleiner der Scherwiderstand ist. Die Rollreibung steht dazwischen, bei ihr wirken auch noch andere Faktoren mit. Danach ist eine Bodenstruktur um so stabiler, je größer die Haftreibung zwischen den Bodenteilchen ist und je eher bei starker Beanspruchung Rollen statt Gleiten auftritt.

Da die Behinderung von Gleit-(und Dreh-) Bewegungen mit der Anzahl der Berührungspunkte je Teilchen steigt, sind dichtere Packungen, d. h. Bodenstrukturen mit relativ kleinem Porenvolumen, stabiler als locker gelagerte. Andererseits wissen wir aber, daß auch sog. „lockere“ Aufbauegefügeformen (z. B. Schwammgefüge) durch eine relativ hohe Strukturstabilität gekennzeichnet sind. Das ist insofern kein Widerspruch, als sich diese Lockerheit vorwiegend auf die Hohlräume zwischen den Gefügekörpern bezieht und dieses Porenvolumen nur zu einem relativ kleinen Teil mit der Gesamtoberfläche des Bodens in Kontakt steht. Im Inneren der einzelnen Aggregate ist die Packung der Bodenkörner wesentlich dichter und damit die Anzahl der Berührungspunkte auch größer. Außerdem wird die Berührungsfläche durch Kitt- und Klebesubstanzen sowie durch Humuspartikel zusätzlich erhöht und das Porenvolumen damit weiter verringert. Deshalb trifft die Beziehung



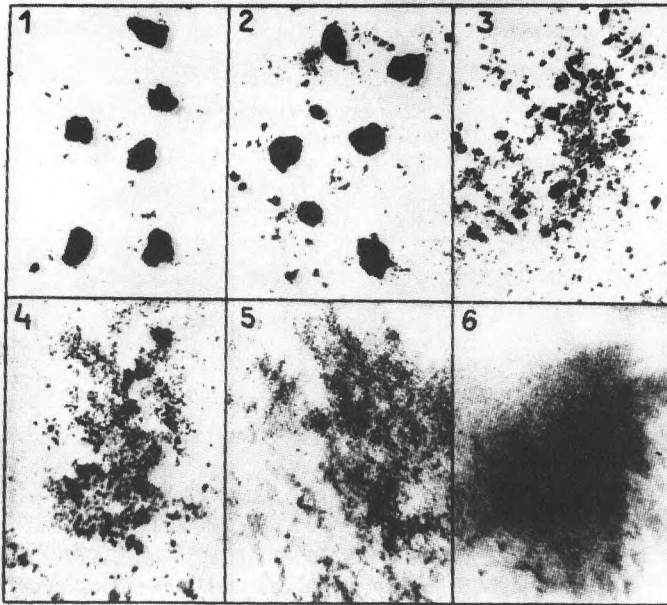


Abb. 6/26  
 Verschlammungsbilder bei der Ermittlung der Aggregatstabilität nach der Schalenmethode (Sekera-Brunner)

- 1 nicht oder nur in große Bruchstücke zerfallend
- 2 in vorwiegend große und wenige kleine Bruchstücke zerfallend
- 3 in gleich viele große und kleine Bruchstücke zerfallend
- 4 in vorwiegend kleine und wenige große Bruchstücke zerfallend
- 5 weitgehend zerfallend
- 6 vollständig zerfallend (verfließen dabei)

hohe Lagerungsdichte / hohe Strukturstabilität auch und gerade für das Innere der Aggregate zu wie überhaupt für alle Gefügekörper, durch die die Bodenmasse diskontinuierlich gegliedert ist.

Die Stabilität einer Struktur sagt nichts darüber aus, ob es sich, z. B. im Hinblick auf das Wasser- und Luftregime, um eine günstige oder ungünstige Struktur handelt. Eine stabile Struktur kann, muß aber nicht optimal sein. Unabhängig davon hat sie jedoch heute unter den Bedingungen einer industriemäßigen Pflanzenproduktion besonders bezüglich der Befahrbarkeit und des Widerstandes gegen Bodenverdichtungen durch Raddruck eine große Bedeutung.

Die Bestimmung der Strukturstabilität ist schwierig und hängt besonders vom Verfahren ab.

Als Maß für die Stabilität wurde bisher vor allem die Widerstandsfähigkeit gegen Wassereinwirkung herangezogen. Die Bestimmung kann durch Siebung unter Wasser (Naßsiebmethode), durch Behandlung mit einem Wasserstrom konstanter Geschwindigkeit (Spülmethode) oder bei Wasserüberschuß

Tabelle 6/17

Über Naßsiebung (Schallwäscher-Methode) ermittelte Anteile wasserbeständiger Aggregate mit  $d > 1 \text{ mm}$  in unmittelbar benachbarten, verschieden genutzten Löß-Fahlerden/Parabraunerden (nach Kullmann, Lieberoth, Klimes-Szmik, 1964)

Nutzung	Humushorizont	Zwischenhorizont
	(Ap bzw. Ah) 0 bis 2,5 dm Tiefe [%]	(Et) 2,5 bis 4,5 dm Tiefe [%]
Wald	40	46
Jungacker	29	35
Altacker	48	44

Tabelle 6/18

Aggregatstabilität in einigen Oberbodenhorizonten nach zwei Methoden mit unterschiedlicher mechanischer Beanspruchung

Bodenform	Horizont	Körnungsart	Humusgehalt [%]	Aggregatstabilität nach Trockensiebung <sup>2)</sup> [% d. Feinbo.]	dem Ver- schlammungs- bild <sup>1)</sup> Note
Sand-Braunerde	Ap	l'S	1,6	3	4
Bergsandlehm-Braunerde (Granit)	Ap	IS	2,1	20	4
Sandlöß-Braunerde	Ap	IS	1,4	24	4
Sandlöß-Braungley	Aw	IS	5,1	32	4
Sand-Humusgley	Ap	S	8,3	37	4
Auenlehm-Halb-amphigley	Ap	L	2,0	57	2
Löß-Parabraunerde	Aw	lU	1,9	66	3
Lehm-Vegagley	Ap	sL	3,0	73	4
Auenton-Amphigley	Ap	uT	3,4	83	1

<sup>1)</sup> Schalenmethode nach Sekera/Brunner (vgl. Abb. 6/26)

<sup>2)</sup> Methode nach Zeller/Flunt, modif. von Kullmann (1960)

(Schalenmethode) vorgenommen werden. Die Schalenmethode nach *Sekera-Brunner* ist ein einfaches Schätzverfahren, bei dem die Stabilität in einer Petrischale bei unbewegtem Wasser nach dem Ver-  
schlammungsbild beurteilt wird (s. Abb. 6/26).

Die angeführten Methoden haben den Nachteil, daß die Messungen unter Einwirkung eines Wasserstromes bzw. unter Wasserüberschuß erfolgen. Dadurch werden vor allem die Meniskenkräfte aufgehoben, was zu einer Verfälschung der im Boden vorliegenden Verhältnisse führen kann. Nur unter etwa gleichen Bedingungen (gleiche Körnungsart, gleicher Bodentyp, gleicher Horizont) kommt man zu brauchbaren Ergebnissen, wie das Beispiel in Tabelle 6/17 zeigt. Die Schalenmethode nach *Sekera-Brunner* ist etwas schonender, sie hat vor allem als Schnelltest Bedeutung.

Unter ungleichen Bedingungen sollten möglichst Methoden angewendet werden, bei denen die Messung im trockenen Zustand (*Trockensiebmethoden*) oder indirekt über andere Parameter (z. B. Konsistenzkennwerte) erfolgt. In Tabelle 6/18 sind Strukturstabilitäts-  
werte sehr unterschiedlicher Böden zusammengestellt, sie wurden nach Befeuchtung und Rücktrocknung durch Trockensiebung ermittelt. Die Schalenmethode nach *Sekera/Brunner* ist zum Vergleich angeführt. Während die Noten nach der Schalenmethode eine nur wenig erklärbare Streuung aufweisen, zeigen die durch Trockensiebung erhaltenen Werte eine plausible Beziehung zum Substrat.

### Bodenverbesserungsmittel

Wird das Bodengefüge durch die landwirtschaftliche Nutzung besonders beansprucht, können synthetische Stoffe eingesetzt werden. Man bezeichnet solche Produkte als Bodenverbesserungsmittel (BVM) oder synthetische Stabilisatoren. Durch sie kann das Gefüge stabilisiert werden, wenn auch meist nur vorübergehend, d. h. für eine Vegetationsperiode. Die Wirkungen der BVM sind sehr vielfältig, wie aus der nachfolgenden Aufstellung hervorgeht (*Kullmann, 1972*):

a) Linearpolymere (Polyelektrolyte)

Chemische Zusammensetzung: Polyakrylate (Verdickung AN), Mischpolymerisate (Co-8),

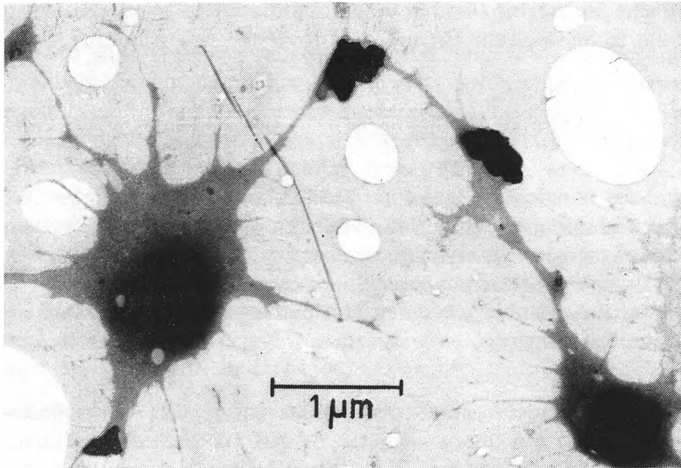


Abb. 6/27  
Elektronenmikroskopische Aufnahme eines mit Tonkolloiden vernetzten Linearpolymers; 21 000fache Vergrößerung (Aufn. Beutelspacher)

nichtigene Polyvinylalkohole; Wirkung (mittelbar): beruht auf der Mehrfachadsorption an Tonkolloiden (s. Abb. 6/27); stabilisieren Bodengefüge, verringern Verkrustungsneigung, erhöhen z. T. Adsorptionskapazität, setzen innerkristalline Quellung herab (Polyvinylalkohol)

**b) Netzmittel (Hydrophobierungsmittel)**

Chemische Zusammensetzung: Fettalkohole bestimmter Molekülgröße (PC-Alkohol KV, Oxydat FO-22), Amine, Alkyl-Silikonate; Wirkung (mittelbar): beruht auf der Bildung monomolekularer Oberflächenfilme, wodurch die Benetzbarkeit der Bodenteilchen herabgesetzt wird (Hydrophobierung); schränken Quellung und Wasserbewegung ein, verhindern Verschlammung, fördern Infiltration

**c) Emulsionen (Flüssigmulchmittel)**

Chemische Zusammensetzung: Bitumen-, Latex- und Ölemulsionen einschließlich Mischungen derselben (Flexobit), Polyäthylen-Dispersionen; Wirkung (unmittelbar und mittelbar): beruht bei oberflächiger Ausbringung auf der Ausbildung grobporiger Deckschichten und auf dem Zusammenhalt der Bodenteilchen über Wassermenisken (Hydrophobierungseffekt); fixieren Gefügestand an der Oberfläche (damit auch Deflationsschutz), verhindern Verschlammung, verringern Evaporation, verbessern Wärmedesorption

**d) Schaumkunststoffe (stabile Gasdispersionen)**

Chemische Zusammensetzung: Harnstoffharze (Piatherm, Piasol), Polystyrole, Polyurethane; Wirkung (unmittelbar): beruht auf der polydispersen offen- oder/und geschlossenzelligen Struktur der eingebrachten Mittel, die indifferent in das Bodengefüge eingebaut und relativ beständig sind; erhöhen Wasserspeicherung, verringern kapillare Wasserbewegung (Harnstoffharze) bzw. lockern den Boden und verbessern damit die Wasserleitfähigkeit (Polystyrol)

**6.4.4. Konsistenz**

In Abhängigkeit von Körnungsart, Beschaffenheit der Festsubstanz, Gefüge sowie Poren- und Wassergehalt weist das Bodenmaterial bestimmte mechanische Eigenschaften auf, von

denen Konsistenz und statische Festigkeit für den Ackerbau die wichtigsten sind. Ihre Kenntnis ist besonders für die technologische Eignung des Bodens von Bedeutung.

### Konsistenzverhalten der Böden

Unter Konsistenz des Bodens versteht man die Eigenschaften, die er infolge der Wirkung von Kohäsion und Adhäsion hat:

– *Kohäsion* (lat., Zusammenhalt): Anziehung zwischen Molekülen/Teilchen gleicher Art bzw. des gleichen Körpers; im Boden z. B. zwischen den Molekülen innerhalb der einzelnen Bodenteilchen oder des Bodenwassers, im weiteren Sinne aber auch zwischen den Teilchen innerhalb der Bodenaggregate sowie zwischen denen der festen und flüssigen Phase

– *Adhäsion* (lat., Aneinanderhalt): Anziehung zwischen Teilchen unterschiedlicher Art; im Boden z. B. zwischen Bodenteilchen/-aggregaten und fremden Körpern wie Bearbeitungsgeräten, Fahrzeugreifen u. a.

Die Konsistenz kommt vor allem im Widerstand des Bodenmaterials gegen Formveränderungen zum Ausdruck. Sie ist daher ein übergeordneter Begriff für Festigkeit, Härte, Plastizität, Viskosität, Haftfähigkeit und andere. Wenn die Verformung reversibel ist, handelt es sich um *elastische*, wenn sie irreversibel ist, um *plastische* Bodenkörper. Plastische Verformungen werden durch Kornumlagerungen herbeigeführt, die von der inneren Reibung, der Lagerungsdichte und dem Wassergehalt (insbes. von den Wasserhüllen um die Bodenteilchen) abhängen. Überschreitet bei festen (starrten) Bodenkörpern die Verformung ein bestimmtes Maß, so brechen sie auseinander. Die dafür erforderliche Kraft wird über die Festigkeit gemessen.

Überschreitet der Wassergehalt bei plastischen Körpern ein bestimmtes Maß, so sind sie nicht mehr formbar, d. h., sie beginnen zu fließen. Die dafür aufzuwendende Kraft liegt wesentlich unter der für Verformungen notwendigen, was insb. auf eine geringere innere Reibung zurückzuführen ist. Von dieser inneren Reibung wird die Viskosität (lat., Zähflüssigkeit) unterschiedlich befeuchteten Bodenmaterials bestimmt, die folgende Abstufung zeigt:

plastische Körper > Bodenbrei > Bodensuspension > Bodenwasser

Die Verhältnisse im Boden sind relativ kompliziert. Je nach Art der Festschubstanz und dem Wassergehalt verhält sich das Bodenmaterial wie ein starrer, plastischer oder flüssiger Körper. Kolloidarmes Material besitzt im trockenen Zustand keine Formbeständigkeit (es weist nur elastische Eigenschaften auf). Im feuchten Zustand zeigt es eine schwache Formbeständigkeit, vorwiegend infolge von Meniskenkräften. Kolloidreiches Material hat im trockenen wie feuchten Zustand Formbeständigkeit, es dominieren deutlich die plastischen Eigenschaften. Im nassen Zustand sinkt aber auch hier die Formbeständigkeit rasch gegen Null je flüssiger der Bodenbrei wird.

Die Konsistenz wird in erster Linie durch Körnung und Wassergehalt, ferner durch den Gehalt an organischer Substanz, den Kationenbelag und das Gefüge bestimmt.

Der große Einfluß der Bodenfeuchte läßt sich folgendermaßen erklären. Im lufttrockenen Zustand ist nur fest gebundenes Adsorptionswasser vorhanden. Die Bodenteilchen können nahe aneinanderrücken. Dabei werden bei kolloidreichem Material starke Bindungskräfte wirksam, die zu einer hohen Festigkeit führen. Bei kolloidarmem Material sind diese Kräfte wegen der geringen Berührungsfläche zwischen den einzelnen Teilchen wesentlich geringer, so daß es im trockenen Zustand zum Zerrieseln kommt. Mit zunehmender Feuchtigkeit wird bei kolloidreichem Material die unmittelbare Bindung zwischen den Teilchen lockerer, der Zusammenhalt beruht dann vorwiegend auf Kapillar- und Meniskenkräften. Bei weiterer Erhöhung des Wassergehaltes umgeben sich die Bodenteilchen mit stärkeren Wasserfilmen, wodurch auch die Kapillarkräfte verringert und die abstoßenden Kräfte zwischen den Teilchen wirksam werden. Die Wasserfilme bilden für die nunmehr beweglichen Teilchen das Gleitmittel. Die Folge sind bei kolloidreichem Material zunächst Verformungen und bei allen Substraten schließlich Fließerscheinungen.

### Konsistenzbereiche

Bei den kolloidreichen Substraten lassen sich die vier in Tabelle 6/19 dargestellten Konsistenzbereiche unterscheiden, die jeweils durch charakteristische Eigenschaften gekennzeichnet sind. Bei kolloidarmen Substraten fällt der plastische Bereich weg, so daß sie durch Konsistenzigenschaften nur teilweise charakterisiert werden können. Bestimmte Substrate, wie feinsand- und schluffreiches Material, weisen noch ein zusätzliches Merkmal auf, das *Thixotropie* (grch., Wechselfestigkeit) genannt wird. Man versteht darunter den durch Erschütterung ausgelösten plötzlichen Übergang einer Bodenmasse vom plastischen in den flüssigen Zustand mit anschließendem wieder ebenso schneller Versteifung. Das kann an Hängen und Böschungen zu plötzlichem Massenversatz führen.

Die vier Konsistenzbereiche lassen sich durch folgende charakteristische Grenzparameter voneinander abgrenzen, wobei der Wassergehalt eine dominierende Rolle spielt (s. auch TGL 31 222/01 und 11 459):

– *Haftgrenze*: Wassergehalt, bei dem Gefügekörper gerade beginnen zusammenzuhaften

Wassergehalt ( W )		niedrig <span style="float:right">→ hoch</span>			
Konsistenzbereiche	fest	halbfest	plastisch		flüssig
Eigenschaften	hart - spröde	weich - bröcklig	zähplastisch	weich-plastisch (klebend)	dickflüssig   dünnflüssig
Merkmale	zerbricht bei Druckanwendung, bruchlose Verformung nicht möglich	zerbröckelt bei Druckanwendung, Fragmente haften beim Zusammendrücken aneinander	bruchlos verformbar, hohe Verdichtungsneigung (Verformung unter Volumenschwund), Zerbröckelung nicht möglich klebt nicht   klebt		fließt ohne Druckanwendung zusammen fließt breiartig   fließt wie eine Suspension
Beurteilung nach der	Druckfestigkeit ( Härte ) Elastizität	Bindigkeit	Plastizität , Klebefähigkeit		Fließfähigkeit
Bearbeitbarkeit, Befahrbarkeit	großer Widerstand ( hoher Zugkraftbedarf ), Klutenbildung	optimal, keine Klutenbildung	Klutenbildung möglichst nicht bearbeiten und befahren ( beginnender Schlupf ) nicht bearbeiten und befahren ( hoher Zugkraftbedarf und Schlupf ), verschmiert, klebt an Geräten		nicht bearbeitbar und befahrbar

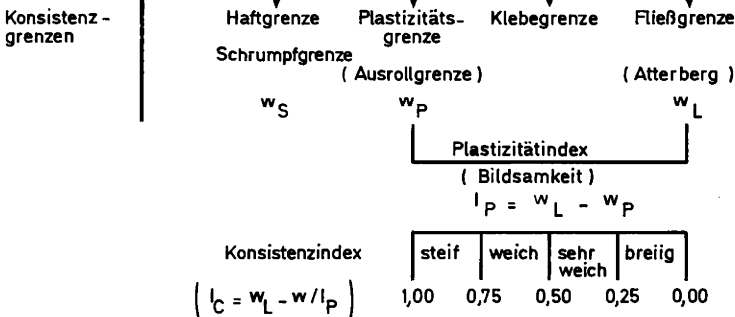


Tabelle 6/19  
Konsistenzbereiche bindiger Böden in Abhängigkeit vom Wassergehalt

Tabelle 6/20

Wassergehalt an der Fließ- und Plastizitätsgrenze einschließlich Plastizitätsindex für ausgewählte bindige Substrate in M.-% (nach Messungen von *Kretschmer*, *Menning* sowie *Krause*)

Substrat	Körnungsart	Anzahl n	Fließgrenze $w_L$		Plastizitätsgrenze $w_P$		Plastizitätsindex $I_P$	
			$\bar{x}$	Bereich	$\bar{x}$	Bereich	$\bar{x}$	Bereich
Glaziärsubstrate	sL	15	18	16—22	13	10—16	5	5—6
	L	18	23	19—29	11	8—17	12	11—12
	IT	6	32	30—37	12	11—14	20	19—22
Löbe	IU	20	26	21—30	20	15—23	6	6—7
	UL	33	29	26—33	18	13—23	11	10—13
Auensubstrate	L	5	34	27—41	23	18—28	11	9—13
	IT	7	53	46—59	38	34—42	15	12—17

– **Schrumpfgrenze** ( $w_S$ ): Wassergehalt, bei dem die Volumenverminderung durch Austrocknung abgeschlossen ist; Grenzzustand zwischen halbfester und fester Konsistenz bei quellfähigem Material; etwa identisch mit Haftgrenze

– **Plastizitätsgrenze** ( $w_P$ ), auch **Ausrollgrenze** genannt: Wassergehalt, bei dem eine 3 bis 4 cm starke Rolle des Materials nicht mehr in 1 bis 2 cm große Bröckel zerfällt; liegt zwischen 10 und 40 M.-% Feuchtegehalt, verlagert sich zu höherem Wassergehalt mit steigendem Tonanteil, bei gleichem Tonanteil mit steigendem Humus-, Fein- und Mittelschluffgehalt; mittlerer Grenzwert für die Bearbeitbarkeit

– **Klebgrenze**: Wassergehalt, bei dem das Kleben des Bodens an einem Metallstab gerade beginnt; Grenzzustand von dominierender Kohäsion zu dominierender Adhäsion; äußerster Grenzwert für die Bearbeitbarkeit

– **Fließgrenze/Atterberg** ( $w_L$ ): Wassergehalt, bei dem im Apparat nach Casagrande eine durch einen Bodenbrei gezogene Furche nach 25 Schlägen gerade zusammenfließt; Grenzzustand vom Überwiegen der Wirkung der Oberflächenspannung der Bodenteilchen zum Überwiegen der Wirkung der Schwerkraft auf die Bodenteilchen

Schließlich gibt es noch Indizes, die zusammenfassender Art sind. Der Plastizitätsindex ( $I_P$ ) z. B. bringt die Differenz im Wassergehalt zwischen Plastizitäts- und Fließgrenze (s. Tab. 6/20) zum Ausdruck:

$$I_P = w_L - w_P \quad (48)$$

Der Konsistenzindex ( $I_C$ ) ist ein Maß für die augenblickliche Konsistenz des naturfeuchten Bodenmaterials (Steifegrad):

$$I_C = \frac{w_L - w}{I_P} \quad (49)$$

$w$  = natürlicher Wassergehalt (Augenblicksfeuchte)

Gibt man den Wassergehalt in M.-% an, dann weist der Plastizitätsindex (s. Tab. 6/20) folgende Werte auf:

S, I'S, U: < 1

sL, L, UL: > 10 bis 30

IS, IU: 1 bis 10

IT, uT, sT, T: > 30

Der Konsistenzindex schwankt je nach Zustand von 0 bis > 1,0. Im einzelnen gilt:

$I_C = 0$ , wenn  $w \cong w_L$

$I_C = 1$ , wenn  $w \cong w_P$

Ziel des Ackerbaues unter industriemäßigen Produktionsbedingungen muß es sein, den Boden so zu behandeln, daß die Plastizitätsgrenze möglichst nach oben verschoben und damit der Bereich der halbfesten Konsistenz erweitert wird. Das ist allerdings nur in beschränktem Umfang möglich. In jedem Fall muß über einen schlagkräftigen Schleppereinsatz gewährleistet werden, daß die Bearbeitung zum optimalen Zeitpunkt, d. h. im Bereich der halbfesten Konsistenz, erfolgt.

#### 6.4.5. Festigkeitseigenschaften

Die Festigkeitseigenschaften des Bodens sind materialbedingt, d. h., sie hängen von der Körnungsort, dem Humus- und Kalkgehalt, aber auch von der Gefügeausbildung, der Rohdichte (Lagerungsdichte) sowie vom jeweiligen Feuchtegehalt des Bodens ab. Sie stehen in enger Wechselbeziehung zu den Konsistenzseigenschaften. Je nach Art der Beanspruchung wird zwischen Druck-, Schub-, Zug- und Biegungseigenschaften unterschieden, durch die, zusammen mit der Auflast (Gewicht) der Bodenmasse und dem ihnen entgegenwirkenden Reibungswiderstand, bestimmte Festigkeitseigenschaften des Bodenmaterials zur Wirkung kommen.

#### Verdichtbarkeit

Die Härte des Bodens spiegelt sich in seiner *Druckfestigkeit* wider. Man versteht darunter den Widerstand gegen die Verringerung des Porenvolumens unter dem Einfluß einer senkrechten Belastung. Ähnliche Wirkung können auch (waagerechte) Schubkräfte haben. Die Neigung des Bodens, durch Druck- und Schubkräfte seine Lagerungsdichte zu erhöhen, bezeichnet man als Verdichtbarkeit (*Kompressibilität*). Die damit zusammenhängenden negativen Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit wurden bereits in Abschnitt 6.4.3. besprochen. Die Verdichtbarkeit kann allerdings auch eine positive Eigenschaft sein, wenn es darum geht, den Boden als Baugrund für bestimmte Meliorationsvorhaben zu beurteilen (Standfestigkeit, Tragverhalten).

Das Verdichten (Zusammendrücken) der Bodenaggregate ist sowohl mit einer plastischen als auch elastischen Verformung verbunden, wobei letztere allgemein zurücktritt. Der

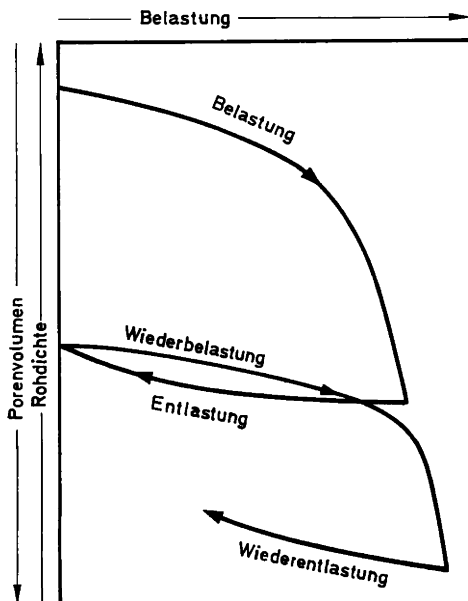


Abb. 6/28

Idealisiertes Druck-Verdichtungs-Diagramm kolloidreicher Substrate (in Anlehnung an Schubert, 1968)

Widerstand des Bodens gegen Verdichtungen ist im festen Konsistenzbereich am größten, er wird mit zunehmendem Wassergehalt geringer. Sandige Substrate setzen sich unter Druckbelastung nur wenig, meist aber recht schnell, tonige hingegen wesentlich mehr, dafür aber langsamer. Das bedingt die stärkere Verdichtbarkeit toniger und auch lehmiger Substrate, ganz besonders im plastischen Bereich. Sie dürfen daher in diesem Zustand nicht bearbeitet bzw. befahren werden.

Je größer das Porenvolumen ist, um so stärker ist die relative Verdichtung durch Belastung. Auf Grund der plastischen Verformbarkeit kolloidreicher Substrate geht die Verdichtung nach der Entlastung zunächst nur teilweise wieder zurück. Der Rückgang ist um so geringer, je biotisch träger der Boden ist. Eine erneute Belastung führt zu einem weiteren Schwund des Porenvolumens (s. Abb. 6/28).

Die Verdichtbarkeit eines Materials kann auch über die *Standarddichte* ( $\rho_{d,s}$ ), früher Proctordichte genannt, ermittelt werden. Die Bestimmung erfolgt mit Hilfe eines standardisierten Verfahrens (TGL 11 462/09). Die Standarddichte entspricht der unter diesen Bedingungen erreichbaren (höchsten) Trockenrohdichte, wobei die Proben während der Untersuchung bei einer optimalen Feuchte gehalten werden müssen. Die höchsten Werte werden im Bereich der Plastizitätsgrenze (Wassergehalt  $\sim 10$  bis  $15$  M.-%) erreicht. Sie schwanken bei Bodensubstraten zwischen  $1,5$  und  $2,0$  g/cm<sup>3</sup>. Das entspricht einem *Verdichtungsgrad*

$$I_s = \frac{\rho_d}{\rho_{d,s}} \quad (50)$$

von etwa  $0,7$  bis  $0,9$ .

### **Reibung und Scherfestigkeit**

Ein wesentlicher Kennwert des Bodens, von dem auf viele Festigkeitseigenschaften geschlossen werden kann, ist der Reibungswiderstand. Unter Reibung versteht man den Widerstand, der beim Bewegen eines Körpers überwunden werden muß. Sie ist somit eine hemmende, der Bewegung entgegengesetzte Kraft, die an den sich berührenden Flächen von Körpern auftritt. Sie beruht auf Ko- und Adhäsion und ist vom Gewicht der Körper, von der Rauheit ihrer Oberfläche (aber nicht von der Größe der Auflagefläche) und von der Stärke der von außen einwirkenden Kräfte abhängig. Sie äußert sich in solchen Eigenschaften wie Rollwiderstand, Gleitfähigkeit, Haftfestigkeit u. a. Im Boden tritt die Reibung sowohl zwischen den einzelnen Bodenteilchen bzw. -aggregaten („innere“ Reibung) als auch zwischen diesen und Fremdkörpern („äußere“ Reibung) auf. Präziser jedoch läßt sich die Reibung nach dem *Bewegungszustand* beschreiben:

#### **a) Rollreibung**

Tritt auf, wenn sich gekrümmte Flächen berühren (z. B. kugelförmige Teilchen); hat bei der Bearbeitung und beim Verschütten von sandigen und kiesigen Substraten Bedeutung; ist um so geringer, je runder die Mineralkörner, je kleiner die Korngröße, je gleichmäßiger die Körnung (d. h. je kleiner  $U - s$ . Gleichung (1)) und je geringer die Rohdichte ist

#### **b) Gleitreibung**

Tritt auf, wenn Körper aneinander vorbeigleiten; hängt ab vom Gewicht (Druck) und der Oberflächenbeschaffenheit (Rauheit, Form) der gleitenden Körper (Bodenteilchen/-aggregate, Metallteile, Gummi) und von der Konsistenz des Materials; zwischen den Bodenteilchen nimmt sie mit zunehmendem Wassergehalt ab, weil die Wasserfilme als Schmiermittel dienen; zwischen Bodenmaterial und Bearbeitungsgeräten/Maschinen (Reifen) erreicht sie im zähplastischen Bereich ein Maximum, im weichplastischen ein Minimum

#### **c) Haftreibung**

Tritt im Grenzbereich zwischen dem Ruhezustand und gerade beginnender Gleitbewegung auf; zwischen den Bodenteilchen (Druckfestigkeit) ist sie sowohl bei geringer Feuchte besonders groß, da sich die dünnen Wasserfilme wie eine zähe Flüssigkeit verhalten



Abb. 6/29  
 Scherfestigkeits-Kennlinien von Sanden (rolliges Material) und Tonen (bindiges Material) in Abhängigkeit von Normalspannung, Haftfestigkeit und Rohdichte

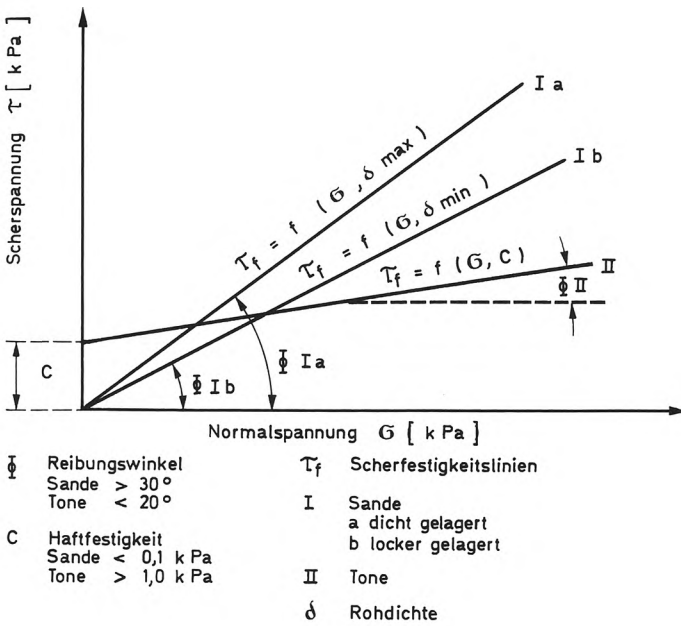
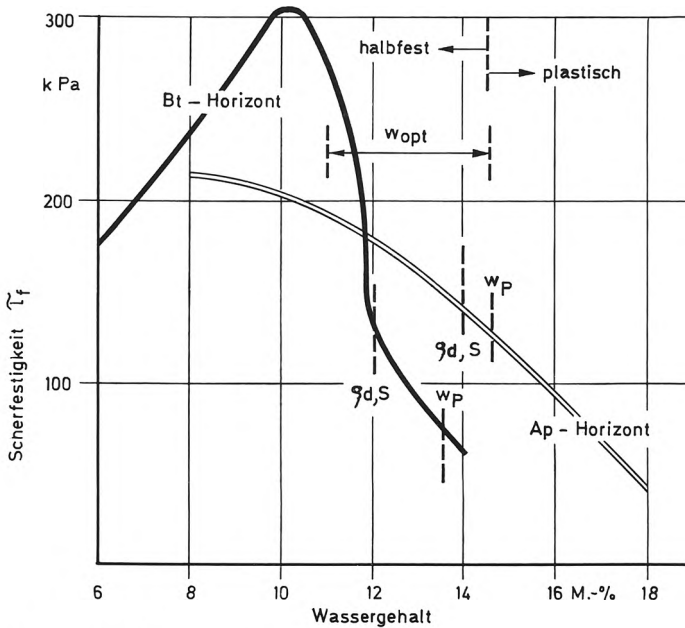


Abb. 6/30  
 Kennlinien der maximalen Scherfestigkeit im Ap- und Bt-Horizont einer Sande-Parabraunerde bei steigendem Wassergehalt unter Berücksichtigung von Standarddichte, optimalem Wassergehalt und Plastizitätsgrenze (nach Kretschmer, 1977)



$w_{opt}$  optimaler Wassergehalt entspr. der Standardverdichtung  
 $\rho_{d,S}$  Standarddichte  
 $w_p$  Plastizitätsgrenze

(Meniskenkräfte), als auch bei Belastung; zwischen Bodenmaterial und Geräten/Maschinen (Haftfestigkeit) erreicht sie im weich-plastischen Bereich ein Maximum und nimmt bei sinkendem wie steigendem Wassergehalt wieder ab.

Die **Scherfestigkeit** (Scherwiderstand,  $\tau_f$ ) dient als Maß für den inneren Widerstand eines Substrats, den es bei äußerer Krafteinwirkung der Verschiebung und Trennung seiner festen Bestandteile entgegensetzt. Sie hängt besonders von den verschiedenen Reibungsformen ab, die ihrerseits eine enge Korrelation zum Struktur- und Konsistenzzustand zeigen. Die Scherfestigkeit ist eine Funktion der Normalspannung ( $\sigma$ ) – nicht zu verwechseln mit dem gleichen Symbol für Saugspannung – auf dem untersuchten Flächenelement (s. Abb. 6/29). Sie läßt sich auch als der größte Widerstand gegen die Scherspannung bei einer bestimmten Normalspannung definieren (Mohrsche Kreise). Wird dieser Grenzwert überschritten, bricht oder gleitet das Bodenmaterial. Die Bestimmung der Scherfestigkeit kann mit verschiedenartigen Geräten erfolgen, von denen die **Ringschergäte** am bekanntesten sind.

Die Scherfestigkeit wird vor allem vom Kolloid- und Wassergehalt beeinflusst. In kolloidreichen Böden liegt sie bei niedriger Normalspannung höher, bei hoher Normalspannung niedriger als in kolloidarmen Böden. Der Wassergehalt wirkt sich vor allem über die Wasserfilme aus, durch die bei bindigen Substraten mit steigender Feuchte die Gleitreibung verringert wird. Die Scherfestigkeit nimmt daher in ton- und schluffreichem Material mit steigendem Wassergehalt von  $> 100$  auf  $< 100$  kPa ab.

Zwischen **Lagerungsdichte** und Scherfestigkeit bestehen ebenfalls enge Beziehungen. Je größer die Rohdichte, um so höher ist auch die Scherfestigkeit (vgl. Abb. 6/29). Bei gleichem Wassergehalt ist die Korrelation um so enger, je mehr der Boden Ton und Schluff enthält. Deshalb können Verdichtungen, die z. B. durch Bearbeitung und Befahrung entstehen, ebenso über die Scherfestigkeit wie über das Porenvolumen gemessen werden.

Für eine optimale Bodenbearbeitung sollte der Wert der Scherfestigkeit hoch liegen. Je größer er aber ist, um so höher ist andererseits auch der Zugkraftbedarf. Die Beziehungen zwischen Scherfestigkeit und Bodenfeuchte unter Berücksichtigung von Standarddichte, dem ihr entsprechenden optimalen Wassergehalt und der Plastizitätsgrenze gehen aus Abbildung 6/30 hervor. Die weitgehende Koinzidenz (lat., das Zusammentreffen) von deutlich verringerter Scherfestigkeit, stärkerer Verdichtbarkeit und plastischer Konsistenz läßt die Plastizitätsgrenze zur Kennzeichnung des Grenzwassergehaltes der technologisch wirksamen Vernässung besonders geeignet erscheinen (s. Abschn. 6.5.8.).

Von Reibung und Scherfestigkeit werden eine ganze Reihe weiterer mechanischer Eigenschaften des Bodens mitbestimmt wie **Befahrbarkeit**, **Bearbeitbarkeit**, **Treibverhalten**, **Zugwiderstand**, **Tragverhalten**, **Standfestigkeit**, **Verdichtbarkeit** und **Eindringwiderstand**. Im einzelnen handelt es sich bei diesen um Kennwerte zur Charakterisierung spezifischer Wechselbeziehungen zwischen dem Boden einerseits und bestimmten Maschinen, Geräten, Werkzeugen und Baugewerken andererseits. Dabei haben Form der Fremdkörper und Art ihrer Einwirkung (Berührung) einen wesentlichen Einfluß auf die Größe der genannten Parameter.

### **Eindringwiderstand**

Der Eindringwiderstand spielt als Meßgröße für die Beurteilung der technologischen Eignung und der Durchwurzelbarkeit des Bodens eine besondere Rolle, weil er einfacher als andere Kennwerte (z. B. Trockenrohddichte, Scherfestigkeit) zu bestimmen ist. Er wird mit Hilfe von Sonden (Metallstäbe mit kegelförmiger Spitze), die senkrecht oder waagrecht in den Boden eingetrieben werden, Penetrometern und anderen Geräten erfaßt. Dabei wird der Boden wie beim Einsatz von Bodenwerkzeugen gradlinig durchstoßen.

Unter Modellbedingungen konnte ermittelt werden, daß der Eindringwiderstand zunimmt (Hofmann, Ermisch, Kreische, 1976):

- bei gleichem Wassergehalt mit steigender Rohddichte,
- bei gleicher Rohddichte mit sinkendem Wassergehalt sowie

– bei gleichem Wassergehalt und gleicher Rohdichte mit steigendem Ton- und Schluffgehalt.

Welche Beziehungen zwischen dem mittels einer Handbodensonde gemessenen Eindringwiderstand und den Horizonten in Böden auf Glaziärsubstraten besteht, geht aus Ta-

Tabelle 6/21

Gruppierung der Horizonte nach dem mit einer Handbodensonde gemessenen Eindringwiderstand im Bereich des Jungmoränengebietes (nach *Thiere*, 1968)

Skalenteile der geeichten Handbodensonde	Eindringwiderstand [MPa*]	Beispiele
≤ 10	≤ 17	frisch gepflügter Ap; loser Sand
> 10—20	> 17— 35	abgesetzter Ap in sandigem bis lehm-sandigem Material
> 20—40	> 35— 70	Et; feuchter Bt, Bg
> 40—60	> 70—105	mäßig feuchter Bt, Bg; lehmsandige Bänder
> 60—80	> 105—140	trockener Bt, Bg
> 80	> 140	Ortstein (Bs); Geschiebemergel (Cc); sehr stark ausgetrockneter Bt, Bg

\*) Megapascal bei einer Stabspitze mit  $d = 4 \text{ mm}$ , Federkonstante = 1,8 MPa

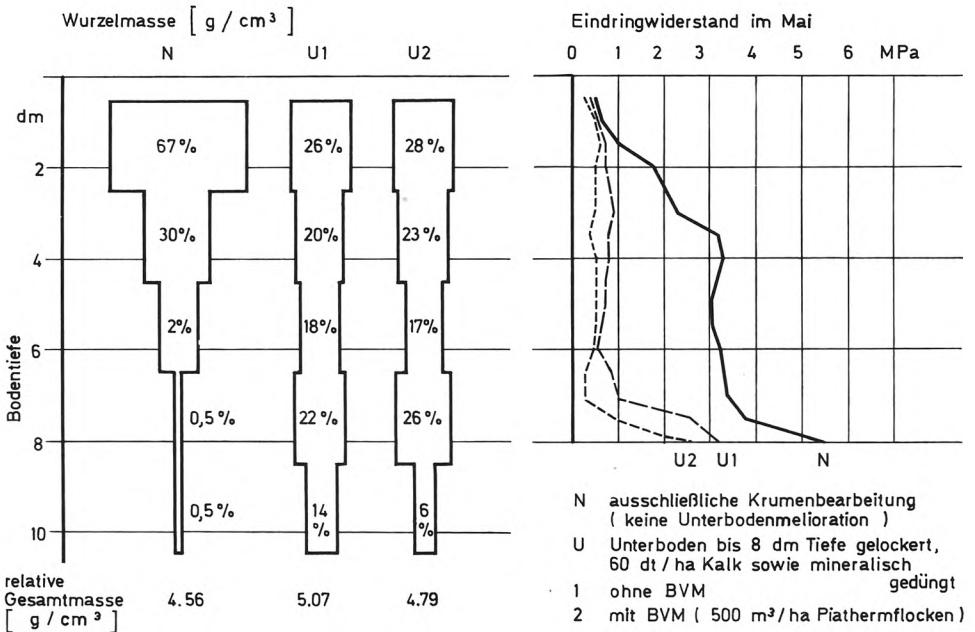


Abb. 6/31

Diagramm des Eindringwiderstandes unter Mais bei differenzierter Unterbodenmelioration in einer Tieflehm-Fahlerde (Bt-Horizont ab 6 dm u. Fl.) mit Angabe der Wurzelmasse (nach *Kleu*, *M. Frielinghaus*, 1975)

belle 6/21 hervor. Auch danach zeichnet sich ganz deutlich der bedeutende Einfluß des Bodenfeuchtegehaltes ab.

Das Eindringen von Wurzeln verläuft *nicht gradlinig*, da sie zwar Bodenaggregate beiseite schieben können, sich meist aber bei ihrem Vorwärtsdringen den vorhandenen Hohlräumen anpassen. Der Eindringwiderstand gegenüber Wurzeln ist daher nicht nur von bestimmten Festigkeitseigenschaften, sondern zusätzlich von Größe und Gestalt des Porensystems abhängig. Trotzdem bestehen auch zwischen dem mittels Metallwerkzeugen gemessenen Eindringwiderstand und der Wurzelausbreitung im Boden bestimmte Beziehungen (s. Abb. 6/31).

## 6.5. Bodenwasser- und Bodenluftregime

Unter Bodenwasser- und -luftregime werden alle Vorgänge im Boden zusammengefaßt, die sich auf Menge, Verteilung, Zustand, Bindung und Bewegung von Wasser und Luft beziehen. Das Bodenwasserregime ist ein Teil des umfassenderen Landschaftswasserhaushaltes. Das Bodenluftregime umfaßt die Diffusionsvorgänge in der Atmosphäre im Grenzbereich zur Lithosphäre.

*Bodenwasser* ist die flüssige Phase des Bodens. Man versteht darunter das in den Bodenporen befindliche Wasser, das sich sowohl frei bewegen kann als auch  $\pm$  fest gebunden bzw. in seiner Beweglichkeit gehemmt ist. Es wird bestimmt durch Trocknung der Proben auf 105 °C bis zur Massenkonstanz. Der Begriff *Bodenfeuchte* wird synonym mit Bodenwasser gebraucht. Strenggenommen müßte man von Bodenlösung statt von Bodenwasser sprechen; unter dem in diesem Abschnitt behandelten Aspekt ist das aber nicht notwendig.

*Bodenluft* ist die gasförmige Phase des Bodens. Sie verhält sich zum Bodenwasser komplementär, d. h., durch das Luftvolumen wird das Wasservolumen zum Gesamtporenvolumen ergänzt. Auf Grund dieser Wechselbeziehung werden Bodenwasser und Bodenluft in einem Abschnitt behandelt.

Fast alle Vorgänge im Boden werden durch dessen Wasser- und Luftregime beeinflusst. Bodenbildung wie Pflanzenwachstum sind ohne Wasser nicht denkbar. Ohne Luft könnte keine Pflanzenwurzel atmen, kein Bodenlebewesen existieren. Bodenwasser und Bodenluft bestimmen auch und gerade in einer industriemäßig betriebenen Pflanzenproduktion zu einem wesentlichen Teil die Fruchtbarkeit des Bodens. Sowohl Ertragshöhe als auch Ertragssicherheit sind in steigendem Maße von diesen Faktoren abhängig. Deshalb ist die Kenntnis aller mit dem Wasser- und Luftregime des Bodens verbundenen Vorgänge für die Bodenbeurteilung so wichtig.

### 6.5.1. Wasserzufuhr und Wasserverlust

Die Wasserzufuhr zum Boden erfolgt einmal aus der Atmosphäre durch Niederschläge (Regen, Schnee, Hagel, Nebel, Tau) oder in Dampfform (Luftfeuchte), zum anderen über Oberflächen- und Grundwasserzufluß (s. Abb. 6/32). Rund zwei Drittel der Fläche der DDR haben einen Jahresniederschlag von  $< 600 \text{ l/m}^2$  (entspricht mm), ein Fünftel von 600 bis  $700 \text{ l/m}^2$ . Der Rest liegt darüber. Durch Nebel und hohe Luftfeuchtigkeit kann in manchen Gebieten die Wasserzufuhr wirksam erhöht werden (z. B. in Küstennähe, Tälern, Kesseln). Neben der Gesamtmenge der Niederschläge ist besonders deren Verteilung wichtig (vgl. Tab. 3/30). Im Mittel ist damit zu rechnen, daß in der DDR 22 % auf das Frühjahr, 36 % auf den Sommer, 24 % auf den Herbst und 18 % auf den Winter entfallen.

Die bedarfsgerechte Wasserversorgung der Nutzpflanzen entwickelt sich im Rahmen der weiteren Erhöhung und Stabilisierung der Erträge zum dominierenden Intensivierungsfaktor. Dabei gewinnt die künstliche Wasserzufuhr immer mehr an Bedeutung. 1978 waren in der DDR etwa 0,77 Mio ha LN mit Bewässerungsanlagen erschlossen, darunter 0,39 Mio zur Beregnung.

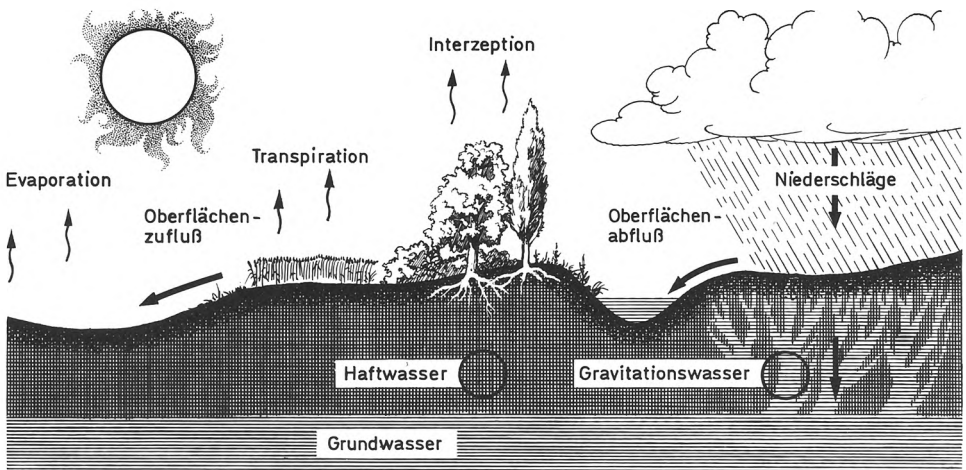


Abb. 6/32  
Schematische Darstellung des Wasserkreislaufes in der Natur

Wasserverluste können auf verschiedenste Weise entstehen (vgl. Abb. 6/32). Bei bewachsenen Böden wird ein Teil ( $< 10\%$ ) der Niederschläge von der Vegetationsdecke aufgefangen und wieder verdunstet (*Interzeption*). Ferner geht eine mehr oder weniger große Menge durch *Oberflächenabfluß* (im Mittel  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{3}$  der Niederschläge) verloren. Sie ist um so größer, je hängiger das Gelände, je weniger der Boden bewachsen, je verdichteter seine Oberfläche und je intensiver der Niederschlag ist. Bei gefrorenem Boden kann schon bei relativ geringer Hangneigung ein bedeutender Teil der Schneeschmelze oberflächlich abfließen.

Das restliche Niederschlagswasser sickert in den Boden ein. Der gegen die Schwerkraft festgehaltene Teil wird als *Haftwasser*, der versickernde als *Gravitationswasser* (Sink- und Sickerwasser) bezeichnet. Das Gravitationswasser sammelt sich über schwer durchlässigen Schichten. Liegen diese tief, spricht man von Grundwasser, liegen sie hoch, von Stauwasser.

Verluste beim Haftwasser können produktiv über die Pflanzenverdunstung (*Transpiration*) und unproduktiv durch Bodenverdunstung (*Evaporation*) eintreten. Die Evaporation kann verringert werden durch Schaffung einer geringmächtigen Lockerzone an der Bodenoberfläche (z. B. durch Eggen), aber auch durch Mulchen, Aufbringen von Bitumenfilmen und nicht zuletzt durch eine geschlossene Pflanzendecke. Die Verdunstung einer bewachsenen Bodenfläche nennt man *Evapotranspiration*. Sie wird von Strahlungsbilanz, Witterung (Temperatur, Luftfeuchte, Windstärke), Pflanzenbestand, Exposition, Beschaffenheit der Bodenoberfläche und Bodengefüge bestimmt. Wird die Verdunstung eines ganzen Einzugsgebietes betrachtet, spricht man von Gebietsverdunstung. Wichtig ist die Unterscheidung zwischen *potentieller* (PET) und *aktueller* (AET) Evapotranspiration. Während PET die mögliche Evapotranspiration ist (ermittelt z. B. über die sog. Kesselverdunstung, d. h. die Verdunstung von  $3 \text{ m}^2$  großen wassergefüllten Verdunstungskesseln innerhalb eines Grasbestandes), versteht man unter AET die tatsächlich auftretende Evapotranspiration. In der Regel ist  $AET < PET$ . Wie weit die aktuelle Evapotranspiration an die potentielle heranreicht, hängt von der Nachlieferung des Wassers zur Bodenoberfläche ab, die ihrerseits wieder vom Bodenwasservorrat, von den Potentialdifferenzen und Leitfähigkeiten in Boden und Pflanze bestimmt wird. In der DDR liegt AET in den landwirtschaftlich genutzten Gebieten zwischen  $380$  und  $480 \text{ l/m}^2$ , d. s. etwa  $70$  bis  $90\%$  von PET bzw. ein Dreiertel der Niederschläge.

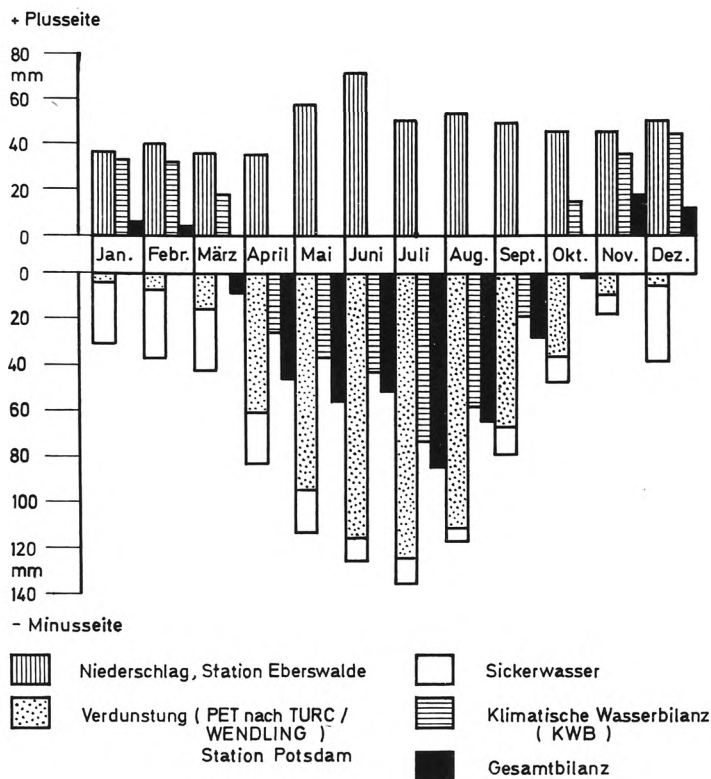


Abb. 6/33  
Säulendiagramm der monatlichen Wasserbilanz einer Bändersand-Rosterde unter Feldgras im 10jährigen Mittel 1966–1975 (nach Daten von Weise, 1977)

Der im Boden verbleibende Wasservorrat ergibt sich aus der Bilanz aller Zu- und Abgänge, d. h. aus der Differenz aller Zufuhren und Verluste als zeitabhängige Akkumulationsgröße. Man kann den Vorrat als Änderung des Wassergehalts im Boden ( $\Delta BW$ ) für die Verhältnisse in der DDR folgendermaßen formulieren:

$$\Delta BW [l/m^2] = ((N - I) + (Z_o + Z_i)) - ((E + T) + (A_o + A_i)) \quad (51)$$

N – Niederschlag

$Z_o$  – Oberflächenzufluß

E – Evaporation

$A_o$  – Oberflächenabfluß

I – Interzeption

$Z_i$  – Grundwasserzufluß

T – Transpiration

$A_i$  – Abfluß ins Grundwasser

Da die Niederschläge, die während der Vegetationsperiode fallen, i. d. R. für die Versorgung der Pflanzen nicht ausreichen, ist für die Bodenfruchtbarkeit der aus den Niederschlägen des Vorjahres und der Wintermonate mit resultierende Vorrat von entscheidender Bedeutung. Welchen Schwankungen die Wasservorräte unterliegen, geht aus Abbildung 6/33 hervor. Die dort für jeden Monat angeführten Bilanzsäulen geben allerdings nicht den gesamten Vorrat, sondern nur das jeweilige Resultat aus den monatlichen Zu- und Abgängen wieder.

### 6.5.2. Beurteilung der Wasserverhältnisse im Boden

Die Beurteilung der Wasserverhältnisse im Gelände erfolgt nach der aktuellen Bodenfeuchte und nach den Erscheinungsformen des Bodenwassers. Während über die aktuelle Bodenfeuchte das Substrat eines bestimmten Bodens schicht-, horizont- oder tiefenstu-

Benennung	Merkmale
trocken	Material fühlt sich trocken an und staubt; wird bei Befeuchtung deutlich dunkler
frisch	Material fühlt sich frisch an und staubt nicht mehr; wird bei Befeuchtung nicht dunkler, bei Trocknung aber heller
feucht	Material fühlt sich deutlich feucht an; bei Berührung mit Papier wird dasselbe feucht; läßt sich zusammendrücken, gibt aber noch kein Wasser ab
naß	Material benetzt beim Zusammendrücken die Hand, gibt Wasser tropfenweise ab und schmiert
sehr naß	Material gibt von selbst Wasser ab; aus der Profilwand sickert Wasser heraus

fenweise nach dem Wassergehalt beurteilt wird, kann über die Erscheinungsformen das Verhalten des Bodenwassers näher charakterisiert werden. Die *Hydromorphiegrade* (vgl. Tab. 3/32) lassen sich nur dann zur Kennzeichnung der aktuellen Wasserverhältnisse heranziehen, wenn sie tatsächlich die augenblicklichen Gegebenheiten und nicht reliktsche Merkmale widerspiegeln.

#### Aktuelle Bodenfeuchte

Die Ansprache der aktuellen Bodenfeuchte kann einmal mit Hilfe der in Tabelle 6/22 angegebenen Stufen erfolgen. Neben dieser Form läßt sie sich auch über die Vegetation erfassen. Die nachstehend angeführten Zeigergruppen geben Hinweise insbesondere auf die ökologisch wirksame Vernässung grundwasserferner Ackerstandorte (TGL 24 300/09):

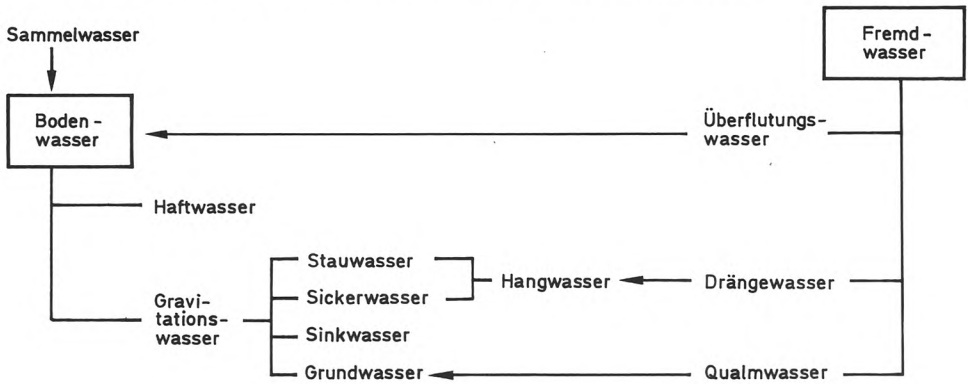
- *Zweizahn-Gruppe*: Zweizahn, Sumpfkresse, Wasser-Land-Knöterich, Knick-Fuchschwanz, Flutender Schwaden u. a.; Anzeiger nur für starke Oberflächenvernässung
- *Ampfer-Gruppe* (Tiefwurzler): Krauser und Stumpfblättriger Ampfer, Huflattich, Ackerminze, Sumpfstiel u. a.; Anzeiger für starke bis mäßige Vernässung im gesamten Boden
- *Krötenbinsen-Gruppe* (Flachwurzler): Krötenbinse, Ruhrkraut, Mastkraut, Mäuseschwanz, Kleiner Wegerich, Pfeffer-Knöterich, Niederliegendes Johanniskraut u. a.; Anzeiger nur für starke Vernässung im gesamten Boden und für schwache Oberflächenvernässung

#### Erscheinungsformen des Bodenwassers

Für die Bodenbeurteilung haben sowohl Boden- als auch Fremdwasser Bedeutung, da sie gleichermaßen zur Vernässung führen können. Nach dem Verhalten im Boden werden beim Bodenwasser folgende Erscheinungsformen unterschieden, die zur Übersicht auch in Tabelle 6/23 zusammengestellt sind:

- a) Haftwasser (s. Abb. 6/34)  
infolge der Saugspannung (negatives Matrixpotential) entgegen der Schwerkraft festgehaltenes Bodenwasser
- b) Gravitationswasser  
unter dem Einfluß der Schwerkraft frei bewegliches Bodenwasser
  - *Sinkwasser*: bewegt sich in größeren Schwundrissen und Gängen rasch abwärts
  - *Sickerwasser*: das übrige, sich langsamer abwärts bewegende Wasser

Übersicht über die Erscheinungsformen des Wassers in und auf dem Boden



- **Grundwasser** (vgl. Abb. 6/41): füllt die Hohlräume des Bodens/Untergrundes über einem Grundwasserträger zusammenhängend aus; steht unter positivem hydrostatischem Druck
- **Stauwasser**: Sonderform des Grundwassers im oberflächennahen Bodenbereich; durch Behinderung des Abflusses und der Versickerung von Niederschlägen meist nur zeitweilig auftretendes, mehr oder weniger stagnierendes Wasser; Staukörper muß oberhalb 15 dm u. Fl. beginnen
- **Hangwasser**: sich am Hang abwärts bewegendes Wasser

Unter **Fremdwasser** versteht man das in einem bestimmten Geländeabschnitt von außerhalb ober- und unterirdisch zufließende Wasser. Im einzelnen wird unterschieden:

- **Überflutungswasser**: bei Hochwasser zeitweilig über Flur stehendes Wasser in Überschwemmungsgebieten
- **Drängwasser**: durch den Untergrund eindringendes Wasser an Unterhängen und Talrändern
- **Qualmwasser**: durch Kommunikation mit benachbarten Oberflächengewässern unter Druck stehendes und zutage tretendes Drängwasser

Das **Sammelwasser** (s. Abb. 6/35) nimmt eine gewisse Übergangstellung ein, steht aber dem Bodenwasser sehr nahe. Bei ihm handelt es sich um eine lokale, zeitweilig über Flur stehende Ansammlung von Niederschlagswasser, das mit dem Bodenwasser bereits in unmittelbarem Kontakt steht.

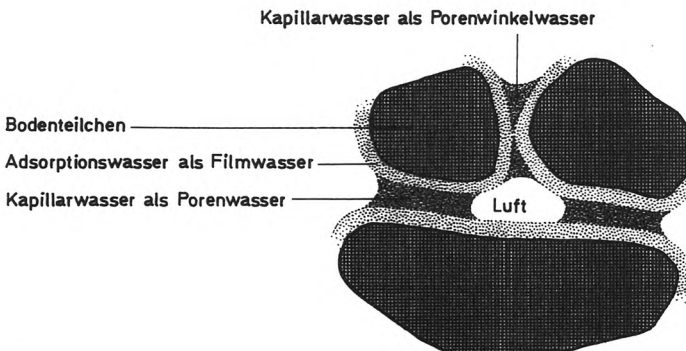


Abb. 6/34  
Schematische Darstellung der verschiedenen Bindungsarten des Haftwassers





Abb. 6/35  
Sammelwasser in einer flachen Senke; Altkosenow, Kr. Anklam

Die verschiedenen Erscheinungsformen des Bodenwassers sind vor allem im Hinblick auf die damit verbundene zeitweilige Überfeuchtung der Böden von Bedeutung. Es sind zu unterscheiden:

- **Bodennässe**: hoher Wassergehalt im Boden, der sich auf die Pflanzenproduktion nachteilig auswirken kann; im einzelnen wird zwischen Grund-, Stau- und Haftnässe unterschieden
- **Vernässung**: Nässe im oder Wasser auf dem Boden mit nachteiliger Wirkung für die Pflanzenproduktion (ökologisch und technologisch wirksame Vernässung s. Abschn. 6.5.8.)

Die Wasserverhältnisse am Standort werden nach dem Vorherrschen bestimmter Erscheinungsformen des Bodenwassers beurteilt. Dabei lassen sich nach Intensität und Tiefe des Auftretens, insgesamt also nach der Wirksamkeit jeweils bestimmte *Stufen* unterscheiden. Ihr Einfluß auf die Bodennutzung ist sowohl ökologisch als auch technologisch zu sehen. Nachfolgend sind standortbezogen die wichtigsten Erscheinungsformen, ihre Stufen und Merkmale, kurzgefaßt wiedergegeben (im Anhalt an TGL 24 300/09):

a) Durchlässige Grundwasserstandorte (Sand- und Torfsubstrate)

- G 1** grundwasserbeeinflußt: Grundwasser im Frühjahr > 8 bis 15 dm, im Sommer < 25 dm u. Fl.; Grünlandwasserstufe (Bodenschätzung) 3 –; Vererdung > 1,5 dm mächtig; meist Halbgleye und stark entwässerte Moore
- G 2** grundwasserbestimmt: Grundwasser im Frühjahr > 4 bis 8 dm, im Sommer < 12 dm u. Fl.; Grünlandwasserstufe 2 + und 2 –; Vererdung > 1,5 dm mächtig; meist Vollgleye und mäßig entwässerte Moore
- G 3** stark grundwasserbestimmt: Grundwasser im Frühjahr > 0 bis 4 dm, im Sommer < 5 dm u. Fl.; Grünlandwasserstufe 3 + und 4 +; Vererdung < 1,5 dm mächtig; nur Vollgleye und kaum entwässerte Moore
- G 4** versumpft: Grundwasser im Frühjahr über Flur, im Sommer < 2 dm u. Fl.; Grünlandwasserstufe 5 +; keine Vererdung; meist nicht entwässerte Moore

b) Schwer durchlässige Grundwasserstandorte (Kopplung von Grundwasser mit Stau-/Haftnässe)

- A 1 Unterbodenstau mit tief anstehendem Grundwasser; Kopplung von G1/2 mit H2/S2; meist Halbamphigleye und stark entwässerte Moore
- A 2 mäßiger Oberbodenstau mit tief anstehendem Grundwasser; Kopplung von G1/2 mit H3/S3; meist Vollamphigleye und mäßig/stark entwässerte Moore
- A 3 starker Oberbodenstau mit tief anstehendem Grundwasser; Kopplung von G1/2 mit intensiver Ausprägung von H3/S3; Vollamphigleye und mäßig/stark entwässerte Moore
- A 4 Oberbodenstau mit hoch anstehendem Grundwasser: Kopplung von G3 mit H3/S3; nur Vollamphigleye und kaum entwässerte Moore; nur als Grünland nutzbar

c) Standorte mit Staunässe

- S 1 staunässebeeinflußt: Staunässe auf Unterboden/Untergrund beschränkt; noch keine Vernässung; meist anhydromorphe Böden mit zeitweiliger Untergrundnässe
- S 2 staunässebestimmt: Staunässe intensiv und anhaltend im Unterboden, selten, d. h. nur zeitweilig im Oberboden; kurzzeitige technologisch und ökologisch wirksame Vernässung möglich; meist Halbstaugleye, seltener Vollstaugleye
- S 3 stark staunässebestimmt: Staunässe intensiv und anhaltend im Gesamtboden; länger andauernde technologisch und ökologisch wirksame Vernässung; nur Vollstaugleye

d) Standorte mit Haftnässe

- H 0 haftnässebeeinflußt: stark oberflächenwassergeprägt; kurzzeitige technologisch wirksame Vernässung möglich; nur anhydromorphe Böden
- H 1 stark haftnässebeeinflußt: Haftnässe im Unterboden/Untergrund; kurzzeitige technologisch, aber keine ökologisch wirksame Vernässung; meist anhydromorphe Böden
- H 2 haftnässebestimmt: stärkere Haftnässe mit vorwiegender Beschränkung auf den Unterboden; technologisch stark, ökologisch mäßig wirksame Vernässung; meist Halbstaugleye, seltener Vollstaugleye
- H 3 stark haftnässebestimmt: intensive und anhaltende Haftnässe im Gesamtboden; öfters länger andauernde technologisch und ökologisch stark wirksame Vernässung; nur Staugleye

e) Sammelwasserstandorte

- Sa1 sammelwasserbeeinflußt: kurzzeitige Oberbodenvernässung möglich; anhydromorphe Böden, oft mit kolluvialer Decke
- Sa2 sammelwasserbestimmt: länger andauernde Oberbodenvernässung möglich (meist im Frühjahr, seltener im Sommer); oft mit H2/S2 gekoppelt; meist Halbgleye mit kolluvialer Decke
- Sa3 stark sammelwasserbestimmt; lang andauernde Oberbodenvernässung vom Frühjahr bis in den Sommer möglich; oft mit H3/S3 oder A3/4 gekoppelt; Halbgleye, meist mit kolluvialer Decke

Außer den angeführten Gruppen werden noch Standorte mit *Drängewässer* und mit *Überflutungswasser* unterschieden.

### 6.5.3. Wasserbindung im Boden

#### Bindungskräfte und Bindungsarten

Speicherung, Bewegung und Pflanzenverfügbarkeit des Bodenwassers hängen von Art und Intensität der Bindung desselben ab. Dabei kommen spezifische Kräfte und Energieformen zur Wirkung, die unter den jeweils herrschenden Bedingungen im Boden ganz bestimmte Vorgänge zur Folge haben:

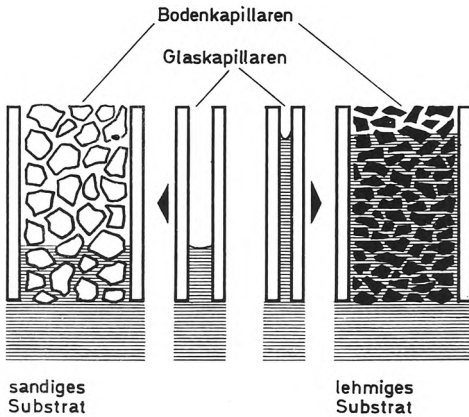


Abb. 6/36

Schematische Darstellung der unterschiedlichen Steighöhen des Wassers in Glaskapillaren und den ihnen entsprechenden Bodenporen unterschiedlicher Substrate

a) extrapedologische (von außen auf den Boden einwirkende) Kräfte:

**Schwerkraft** (Gravitationsenergie): verursacht abwärts gerichtete Wasserbewegung (z. B. Sink- und Sickerwasser);

**Strahlung**(energie): verursacht aufwärts gerichteten Wasserstrom (Transpiration, Evaporation) sowie die Wasserbewegung infolge Temperaturgradienten;

b) intrapedologische (dem Boden selbst innewohnende) Kräfte: **Kapillarkräfte** (Meniskenkräfte): gehen von den gekrümmten Grenzflächen Wasser/Luft in den Bodenporen aus; je feiner die Kapillaren und je kleiner die Porenwinkel sind, um so stärker ist der Meniskus gekrümmt und um so größer ist die von ihm ausgehende Kraft (Saugspannung) bzw. der in seinem Bereich auftretende Unterdruck

**Adsorptionskräfte**: beruhen auf *Van-der-Waals*'schen Kräften über kurze Entfernung, auf elektrostatischen Kräften über größere Entfernung (vgl. auch Hydratation, Abschn. 6.1.1.)

**Osmotische Kräfte**: gehen von den im Bodenwasser gelösten Stoffen aus (Diffusion, s. Abschn. 6.3.2.)

Entsprechend den oben erläuterten Bindungskräften werden beim Haftwasser zwei Bindungsarten unterschieden (vgl. Abb. 6/34).

Das Kapillarwasser wird allein durch Meniskenkräfte gebunden. Unter einem *Meniskus* versteht man eine halbkreisförmige, nach innen (konkav) gekrümmte, gespannte Oberfläche des Wassers in einer von Festsubstanz begrenzten Pore bestimmten Durchmessers, die man als Kapillare (lat., Haarröhrchen) bezeichnet (s. Abb. 6/36). Man unterscheidet Poren- und Porenwinkelwasser. Das Kapillarwasser kann außerdem nach der Art des Sitzes in hängendes, aufsitzendes und gestütztes (unmittelbar über dem Grundwasser) aufgeteilt werden. Da der Dampfdruck unmittelbar über den Kapillaren, genauer Menisken, relativ niedrig ist, wird dorthin aus der Umgebung Wasserdampf angezogen und damit in den Menisken gleichzeitig die Spannung verringert. Diese Erscheinung bezeichnet man als *Kapillarkondensation*.

Das **Adsorptionswasser** ist das durch Adsorptionskräfte festgehaltene Wasser. Die unmittelbar auf der Oberfläche der Bodenkolloide gebundenen Wassermoleküle haben eine wesentlich höhere Dichte und Viskosität sowie einen niedrigeren Gefrierpunkt und Dampfdruck als alles übrige Wasser im Boden. Die Menge des Adsorptionswassers hängt vor allem vom Anteil an Kolloiden, deren Art und der relativen Luftfeuchte im Boden ab.

### Saugspannung

Zwischen Kapillar- und Adsorptionswasser gibt es keine scharfe Grenze. Das ist auch nicht verwunderlich, da alle o.g. Kräfte nebeneinander wirken. Deshalb hat es sich als zweck-

mäßig erwiesen, nicht die Kräfte selbst, sondern ihre Wirkungen, d. h. die von ihnen abhängigen Bindungsintensitäten zur Kennzeichnung des Bodenwassers heranzuziehen. Für das Verständnis dieser Betrachtungsweise ist die Erläuterung folgender Begriffe erforderlich (TGL 31222/01):

– **Tensiometerdruck (p)**: mittels Tensiometer (mit einem Manometer versehene poröse Keramikzelle) und ähnlicher Apparate bestimmbarer Druck des Bodenwassers relativ zum atmosphärischen Druck (Druck einer im Gleichgewicht mit dem Bodenwasser stehenden Wassersäule):

$$p \text{ [kPa]} = p^m + p^a \quad (52)$$

$p^a$  pneumatischer Druck: durch Einwirkung eines zum Atmosphärendruck zusätzlichen Gasdruckes verursachte Druckänderung im Bodenwasser, z. B. in Druckmembranapparaten

$p^m$  Matrixdruck: entspricht oberhalb des Grundwassers  $p$ , wenn  $p^a = 0$ ; immer negativ

**Saugspannung, Tension ( $\sigma$ )**: entspricht zahlenmäßig  $p$ , jedoch mit umgekehrten Vorzeichen (hat also positive Werte); wird nur zur Kennzeichnung der Bindungsintensität im ungesättigten Feuchtebereich verwendet:

$$\sigma \text{ [kPa]} = -p \quad (53)$$

**pF-Wert**: positiver dekadischer Logarithmus der Druckhöhe:

$$pF = \lg |h_p| = \lg(\sigma \cdot 10,2) \quad (54)$$

$h_p$  von  $p$  abgeleitetes Längenmaß; Druckhöhe in cm Wassersäule = cm WS ( $h_p = p/g_n$ ,  $g_n$  Normalwert der Fallbeschleunigung)

Die zwischen cm WS, at, pF und kPa (Kilopascal) bestehenden Beziehungen sind aus Tabelle 6/24 ersichtlich.

Im Boden schwankt der pF-Wert von etwa 0 bis ~ 6. Die Messung erfolgt unterhalb pF 3 mittels Tensiometer (im Feld und Labor möglich) oder Kapillarimeter (nur im Labor möglich), zwischen pF 3 und pF 4,2 mittels Druckmembran-Apparaten und über pF 4,2 durch Wassergehaltsermittlung an einer mit einem bestimmten Dampfdruck im Gleichgewicht stehenden Probe.

Die Saugspannung ist um so größer, je stärker das Wasser im Boden gebunden ist. Das Adsorptionswasser beispielsweise wird mit  $pF > 4,7$ , das Kapillarwasser mit  $pF 4,7$  bis 2,5 festgehalten. Die Pflanzen können nur Wasser nutzen, das eine Saugspannung von weniger als etwa pF 4,2 aufweist. Aus der pF-Skala lassen sich also bestimmte Kennwerte zur Kennzeichnung des Wasserregimes im Boden ableiten, die vor allem ökologisch von Bedeutung sind (s. Abschn. 6.5.6.).

Tabelle 6/24  
Beziehungen zwischen den verschiedenen Einheiten der Saugspannung

cm WS	at	pF	kPa*)
0,1	0,0001	–1,0	0,01 · 0,981
1	0,001	±0,0	0,1 · 0,981
10	0,01	+1,0	1 · 0,981
50	0,05	+1,7	5 · 0,981
300	0,3	+2,5	30 · 0,981
1 000	1	+3,0	100 · 0,981
15 000	15	+4,2	1 500 · 0,981
50 000	50	+4,7	5 000 · 0,981
100 000	100	+5,0	10 000 · 0,981

\*) 1 kPa = 1000 Pa = 1 J/kg

Setzt man die Saugspannung in Beziehung zum Wassergehalt des Bodens, so ergeben sich charakteristische Kurven für die verschiedenen Substrate, Horizonte, Böden usw., die man als Saugspannungskurven bzw. Wasserretentionskurven (Retention: lat., Zurückbehaltung) bezeichnet. Aus Abbildung 6/37 geht hervor, wie sich die Körnungsarten im einzelnen verhalten. Der Beginn der Kurven an der Ordinate ist in etwa dem Porenvolumen der jeweiligen Körnungsart gleichzusetzen. Sande haben im Bereich zwischen  $pF$  1,8/2,5 und 4,2 den flachsten, Lehme und Löße hingegen den steilsten Kurvenverlauf, woraus man die Unterschiede im Anteil an nutzbarem Bodenwasser ableiten kann. Dieser Anteil ist im allgemeinen im Löß und Lehm am höchsten, im Sand am niedrigsten. Ton und Torf nehmen eine Mittelstellung ein. Der Anteil an fest gebundenem (totem) Wasser erreicht

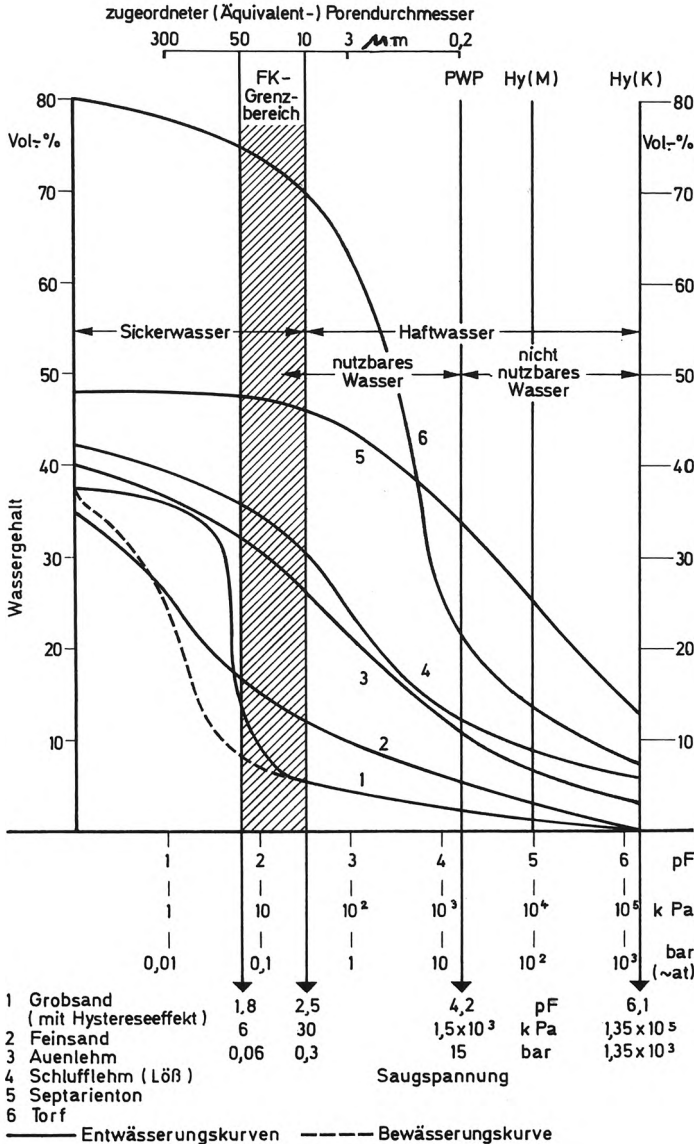


Abb. 6/37  
Idealisierte Saugspannungs- (Retentions-) Kennlinien der wichtigsten Körnungsarten (nach Daten von Clausnitzer, Lieberoth, v. d. Waybrink, Weise, Vetterlein)

im Ton und Torf die höchsten Werte. Je vollständiger ein Ton gequollen ist, um so steiler steigt die Kurve im unteren Teil an.

Zwischen Saugspannung und Porengröße besteht eine klare negative Korrelation. Je größer der pF-Wert ist, um so kleiner ist der ihm entsprechende Porendurchmesser. Der Äquivalent-Porendurchmesser ( $d_p$ ) läßt sich nach folgender Gleichung berechnen (TGL 31222/05):

$$d_p [\mu\text{m}] = \frac{0,292}{\sigma} \cdot 10^3 \quad (55)$$

$\sigma$  gemessener Saugspannungswert in kPa  
 0,292 Oberflächenspannung des Wassers ( $4 \cdot \sigma_w$ )

Als Beispiel sei die Berechnung der Porengröße bei pF 2,5 ( $\approx 30$  kPa) angeführt:

$$d_p = \frac{0,292}{30} \cdot 10^3 = 10 \mu\text{m} \quad (56)$$

Mit Hilfe der Gleichung (55) und den bei bestimmten Saugspannungswerten ermittelten Werten des Wassergehalts in Vol.-% lassen sich die Anteile für die einzelnen Porengrößenklassen ermitteln. Das sei am Beispiel des Schlufflehms (Löß) aus Abbildung 6/37 in Tabelle 6/25 demonstriert.

Die Saugspannungskurve zeigt insb. bei sandigem Material einen unterschiedlichen Verlauf, je nachdem, ob sie während eines Ent- oder eines Bewässerungsvorganges aufgenommen wird. Normalerweise werden Retentionskurven bei Entwässerung aufgenommen. Die Bewässerungskurve verläuft unterhalb der Entwässerungskurve (s. Beispiel Grobsand in Abb. 6/37), d. h., den gleichen Saugspannungswerten entsprechen niedrigere Wassergehalte. Diese Erscheinung bezeichnet man als Saugspannungs-Hysterese. Allgemein versteht man darunter die Abhängigkeit eines Prozeßzustandes von der Vorgeschichte dieses Prozesses. Ursachen des unterschiedlichen Kurvenverlaufes sind die Diskontinuität der Bodenporen und die unterschiedlichen Benetzungswinkel bei Be- und Entwässerung. Substrate mit kontinuierlicher Zu- bzw. Abnahme der Korngröße zeigen nur einen geringfügigen Hystereseeffekt.

Auf Grund der Beziehung Körnungsart/Konsistenz zum Wassergehalt besteht auch eine solche zum pF-Wert. Bei einem Wassergehalt, der der Plastizitätsgrenze entspricht, steigt

Tabelle 6/25

Berechnung des Anteils der einzelnen Porengrößenklassen am Gesamtporenvolumen aus den Saugspannungswerten

Schlufflehm (vgl. Abb. 6/37): PV = 42 %

ermitteltes Wasservolumen bei kPa	%	zugeordneter $d_p$ $\mu\text{m}$
6	36	50
30	31	10
1 500	12	0,2

Porengrößenklasse $\mu\text{m}$		Porenanteil [Vol.-%]
$\geq 50$	Grobporen (schnell drä.)	$42 - 36 = 6$
$< 50 - 10$	Grobporen (langsam Drä.)	$36 - 31 = 5$
$< 10 - 0,2$	Mittelporen	$31 - 12 = 19$
$< 0,2$	Feinporen	12

z. B. der pF-Wert linear mit dem Tonanteil. Wird ein Tongehalt um 30 % erreicht, liegt der entsprechende pF-Wert bei etwa 4,2. Mit weiterer Erhöhung des Tongehaltes bleibt dann aber der pF-Wert weitgehend konstant. Dieser markante Schnitt bei etwa 30 % Ton im Bereich der Plastizitätsgrenze war einer der Gründe, die Grenze zwischen den Körnungsarten L, UL auf der einen und sT, IT, uT auf der anderen Seite bei einem Tongehalt von 30 % zu ziehen (s. Abschn. 2.3.1.).

#### 6.5.4. Bodenwasserpotential

##### Grundkonzept

Für ein tieferes Verständnis der Wasserbindung und -bewegung im Boden hat sich in jüngster Zeit das Potentialkonzept durchgesetzt, d. h. die Betrachtung aller damit zusammenhängenden Erscheinungen unter dem Aspekt der durch sie verrichtbaren Arbeit. Unter Bodenwasserpotential versteht man die Arbeit, die zum Transport einer Einheitsmenge Wasser (ausgedrückt als Masse oder Volumen) von einem Bezugspunkt (z. B. freie Wasseroberfläche, Grundwasseroberfläche, Wasseroberfläche in einem Bezugsgefäß) zu einem gegebenen Punkt im Boden aufgewendet werden muß. Das Potential drückt somit die *Differenz im Energiezustand* des Bodenwassers unter ganz bestimmten Bedingungen aus, wobei der Energiezustand des freien, nicht an die Bodenkolloide gebundenen Wassers als Bezugsbasis dient und gleich Null gesetzt wird. Das Bodenwasser bewegt sich immer von Stellen höheren zu Stellen niederen Potentials, und dabei wird Energie abgegeben (vgl. Abschn. 6.6.1.).

Das Bodenwasserpotential ( $\Psi$ ) wird primär als pro Masseinheit geleistete Arbeit definiert:

$$\Psi[\text{J/kg}] = g \cdot h \quad (57)$$

g Fallbeschleunigung    h Höhe

Häufiger jedoch wählt man das Volumen als Bezugsgröße, wobei das Potential als *Druck* gemessen wird:

$$\Psi[\text{kPa}] = g \cdot h \cdot \rho \quad (58)$$

$\rho$  Dichte

Manchmal zieht man auch das Gewicht als Bezugsbasis heran, in diesen Fällen wird das Potential des Bodenwassers als *Länge* (Höhe der Drucksäule) in cm WS gemessen.

##### Gesamtpotential und Teilpotentiale

Das Gesamt- bzw. Totalpotential ( $\Psi_t$ ) des Bodens setzt sich aus verschiedenen Teilpotentialen zusammen (TGL 31222/01). Am wichtigsten sind:

– *Gravitationspotential* ( $\Psi_g$ ): entspricht der Arbeit, die geleistet werden muß, um eine bestimmte Wassermenge gegen die Schwerkraft auf eine bestimmte Höhe anzuheben; je nach Lage des Bezugspunktes positiv oder negativ

– *Matrixdruckpotential* ( $\Psi_{p,m}$ , früher Kapillarpotential): entspricht der Arbeit, die geleistet werden muß, um eine bestimmte Wassermenge auf gleicher Höhe (also bei gleichbleibendem  $\Psi_g$ ) und ohne Berücksichtigung osmotischer Kräfte von der Bodenmatrix (d. i. die Festsubstanz einschl. der in sie eingebetteten Poren) eine bestimmte Entfernung wegzutransportieren; stets negativ („Saugdruck“); unter natürlichen Bedingungen (pneumatisches Potential  $\Psi_{p,a} = 0$ ) ist das Matrixpotential gleich dem Tensiometerdruckpotential ( $\Psi_p$ )

– *osmotisches Potential* ( $\Psi_o$ , auch Lösungspotential genannt): entspricht der Arbeit, die ausschließlich gegen osmotische Kräfte geleistet werden muß

Die Summe von  $\Psi_g$  und  $\Psi_{p,m}$  ergibt das hydraulische Potential  $\Psi_p^*$ , das angenähert dem Totalpotential entspricht. Das Gesamtpotential kann negativ oder positiv sein, je nach Überwiegen von  $\Psi_{p,m}$  oder  $\Psi_g$ .

Das Matrixpotential entspricht numerisch (zahlenmäßig) der Saugspannung, jedoch mit

umgekehrtem Vorzeichen. Damit kann Potential in Bindungsintensität und Bindungsintensität in Potential des Bodenwassers nach folgender Gleichung umgerechnet werden:

$$p[\text{Pa}] = \Psi_p[\text{J/kg}] \cdot \rho_w[\text{kg/m}^3] \quad (59)$$

Die praktische Bedeutung des Potentialkonzepts liegt darin, daß sich alle Bewegungsvorgänge des Bodenwassers durch eine thermodynamische Betrachtungsweise einheitlich erklären lassen.

Die Anwendung des Potentialkonzepts sei an einem Beispiel vereinfacht dargestellt. Es wird dabei von der Annahme ausgegangen, daß sich in einem Boden aus einheitlichem Substrat mit gleichem Gefüge und Porensystem das vorhandene Wasser im Gleichgewichtszustand befindet, so z. B. im Kapillarsaumbereich oberhalb eines Grundwasserspiegels. Gleichgewichtszustand bedeutet in diesem Fall, daß keine Wasserbewegung stattfindet, also an allen Orten die Summe von Gravitations- und Matrixpotential  $\Psi_g + (-\Psi_{pm})$  den gleichen Wert für das hydraulische Potential  $\Psi_p^*$  ergibt. Trocknet der Boden, z. B. infolge einer Warmwetterperiode, von oben her aus, so tritt eine Störung dieses Gleichgewichts ein. Bei gleichbleibendem  $\Psi_g$  wird der Saugdruck im oberen Teil des Profils größer, d. h. der Wert von  $\Psi_{pm}$  kleiner gegenüber dem bisherigen Zustand. Damit sinkt auch  $\Psi_p^*$  ab. Die Folge ist eine Potentialdifferenz innerhalb des Profils, die das System vom höheren zum niedrigeren Potential auszugleichen sucht – mit anderen Worten, das Wasser beginnt, sich aufwärts zu bewegen.

Ein Gleichgewichtszustand des Wasserpotentials liegt jedoch im Boden nur selten vor. Immer wieder ändert sich an vielen Stellen der Wassergehalt, so daß es zu einem ständigen Wechsel in der Bewegungsrichtung kommt. Das Wasser bewegt sich jeweils auf die Bodenzonen zu, die das niedrigste Potential aufweisen. Dieser Potentialgradient ist daher der energetische „Antrieb“ der Bodenwasserbewegung.

### 6.5.5. Bewegung des Bodenwassers

#### Fließformel nach Darcy

Zur mathematischen Beschreibung der Bewegung des Bodenwassers in der flüssigen Phase wird die sogenannte Fließformel für filterartige Stoffe nach Darcy herangezogen (TGL 3122/01):

$$q[\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}] = -K \nabla H \quad (60)$$

In dieser Flux-Form der Darcy-Gleichung bedeutet:

$q$  Flux des Bodenwassers (Durchfluß- bzw. Transportrate): durch einen bestimmten Flächenausschnitt in einer bestimmten Zeiteinheit transportiertes Wasservolumen  
*negatives Vorzeichen:* Potentialdifferenz ist negativ, da sich Wasser stets vom höheren zum niedrigeren Potential bewegt

$K$  Leitfähigkeitskoeffizient

$H$  hydraulische Druckhöhe ( $\Delta h + h_p$ ): algebraische Summe von Gravitationshöhe (Höhendifferenz =  $\Delta h$ ) und Druckhöhe ( $h_p$ ) an einem bestimmten Punkt

$\nabla$  (nabla) Operationszeichen in der Vektoranalysis, in diesem Falle für die Behandlung von Gradienten

Durch den Leitfähigkeitskoeffizienten  $K$  wird berücksichtigt, daß beim Boden eine Behinderung des Fließens eintritt, weil – im Gegensatz zum Fließvorgang in einem freien Wasserlauf – nur das Porensystem wasserzugänglich ist. Während das Wasser die Poren durchströmt, müssen erhebliche Wandreibungskräfte überwunden werden.

Da –  $\nabla H$  dem hydraulischen Gefälle (Druckhöhengradient)  $i$  entspricht, d. h. der infinitesimalen Änderung der hydraulischen Druckhöhe entlang des Strömungsweges (vereinfacht: Druckhöhe zu Filterlänge =  $h/l$ ), läßt sich die Darcy-Gleichung auch in der Filterschwindigkeits-Form angeben:

$$v_f[\text{m/d, mm/d}] = K \cdot i \quad (61)$$



Hierin bedeutet  $v_f$  die Fließ-(Filter-)geschwindigkeit des Bodenwassers nach Austritt aus einem durchströmten Bodenbereich. Gemäß Gleichung (61) entspricht die Fließgeschwindigkeit dem Produkt aus Leitfähigkeitskoeffizient und hydraulischem Gefälle. Diese Form der Darcy-Gleichung wird vor allem auch in der Meliorationspraxis verwendet.

Nach der Fließformel von Darcy wird der Wassertransport als Funktion des hydraulischen Gefälles, d. h. als Funktion von Druckunterschieden im Bodenwasser beschrieben. Es ist jedoch auch möglich, die Wasserbewegung als Funktion von Feuchteunterschieden darzustellen. Hierzu muß die hydraulische Leitfähigkeit (K) durch die Diffusivität (D) ersetzt werden:

$$D [\text{cm}^2/\text{d}] = \frac{K}{C_\theta} \quad (62)$$

In dieser Formel ist die spezifische Flüssigkeitskapazität  $C_\theta$  der Ausdruck für die Neigung der Tangente an die Saugspannungskurve  $\frac{d\theta}{dp^m}$ . Verwendet man die Darcy-Gleichung für die horizontale Wasserbewegung in der Form

$$v_f = K \cdot \frac{dp^m}{dz}, \quad (63)$$

$p^m$  Matrixdruck

so folgt durch Ersatz von K gemäß Gleichung (62), aufgelöst nach K, und gemäß o. g. Definition für  $C_\theta$  die Diffusivitäts-Form der Darcy-Gleichung:

$$v_f = D \cdot \frac{d}{dz} = D \cdot \text{grad} \quad (64)$$

grad – Gradient.

Sie bringt die Fließgeschwindigkeit als Funktion von Bodenfeuchtegradienten zum Ausdruck.

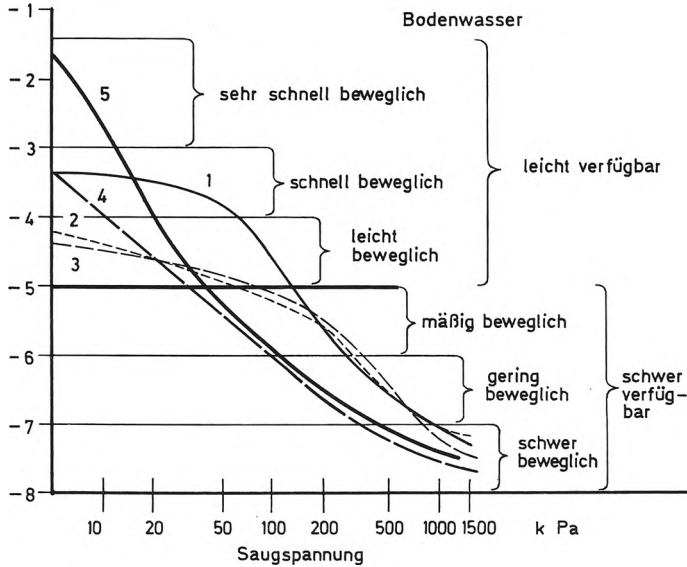
### Bewegung im ungesättigten Bereich

Gleichung (61) gilt zunächst grundsätzlich für die Ermittlung der Wasserbewegung im Boden. Im speziellen ist K jedoch ein wichtiger Kennwert für die Beweglichkeit des Bodenwassers im ungesättigten Bereich, d. h. bei nicht vollständiger Füllung der Poren, wie es z. B. für den kapillaren Wassertransport, aber auch für die Perkolation charakteristisch ist. K ist somit das mathematische Symbol für die hydraulische und kapillare Leitfähigkeit mit der Dimension m/d (Meter pro Tag) bzw.  $\text{m}^2/\text{Pa} \cdot \text{d}$ .

Die hydraulische Leitfähigkeit wird vor allem vom Bodengefüge, dem dränbaren Porenvolumen, der Porenkontinuität und von den temperaturabhängigen Viskositätsänderungen des Wassers bestimmt. Bei 5°C z. B. erreicht K nur noch ca. zwei Drittel des Wertes, den es bei 20°C aufweist.

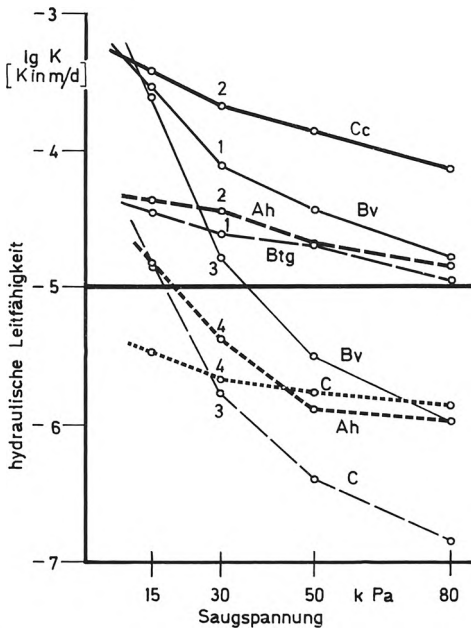
Die hydraulische Leitfähigkeit nimmt auch mit sinkendem Wassergehalt ab, weil dann die Wasserbewegung auf immer feinere Poren (Abnahme des leitenden Porenquerschnittes) beschränkt bleibt. Daher besteht eine deutliche Beziehung zwischen der hydraulischen Leitfähigkeit und der Saugspannung. Aus Abbildung 6/38 geht hervor, wie sich bei verschiedenen Substraten eine zunehmende Entwässerung auf den K-Wert auswirkt. Je mehr Poren entleert werden, um so rascher sinkt die Leitfähigkeit. Bei grobporenreichen Substraten (Sande) ist das schon bei relativ niedrigen Saugspannungswerten, bei grobporenarmen (Lehme, Schlufflehme und Tone) erst bei höheren Saugspannungswerten zu beobachten. Feinsande und Schlufflehme (Löbe) zeigen die höchsten Leitfähigkeitswerte. Bei fortschreitender Entwässerung werden diese allerdings nur noch beim Schlufflehm aufrecht erhalten. Das bedingt auch deren hohe Fruchtbarkeit. Aus den Leitfähigkeitswerten lassen sich Stufen der Wasserbeweglichkeit ableiten (s. Abb. 6/38), die den aktuellen leitenden Porendurchmesser besser als die Saugspannungswerte widerspiegeln. Bei einem

hydraulische  
Leitfähigkeit  
lg K  
[K in m/d]



- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| 1 Löß           | 4 Geschiebesand |
| 2 Geschiebelehm | 5 Staubsand     |
| 3 Tertiärton    |                 |

Abb. 6/38  
Kennlinien der hydraulischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Saugspannung bei verschiedenen Substraten mit Unterteilung in Wasserbeweglichkeitsstufen (nach Vetterlein, 1969)



- |                   |                            |     |                  |  |
|-------------------|----------------------------|-----|------------------|--|
|                   | Horizont in 3...4 dm Tiefe |     | ~9...13 dm Tiefe |  |
| Tieflehm-Fahlerde | 1 Bv                       | Btg |                  |  |
| Löß-Schwarzerde   | 2 Ah                       | Cc  |                  |  |
| Sand-Rosterde     | 3 Bv                       | C   |                  |  |
| Kolluvialton      | 4 Ah                       | C   |                  |  |

Abb. 6/39  
Horizontbezogene Kennlinien der hydraulischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Saugspannung (nach Vetterlein, 1976)

pF-Wert von 3 (~ 1 at) zeigen K-Werte > 0,1 m/d eine schnelle, < 0,001 m/d eine sehr langsame Beweglichkeit an. Den Wert, bei dem die Bewegung infolge Trockenheit nahezu aufhört, bezeichnet man als *Kapillarrißpunkt*.

Vergleicht man die hydraulische Leitfähigkeit der Bodenformen Sand-Rosterde (sR), Sandtieflehm-Fahlerde (s/IF), Löß-Schwarzerde (öT) und Kolluvialton (et) miteinander (s. Abb. 6/39), so nehmen die K-Werte horizontbezogen in folgender Reihe ab (Vetterlein, 1976):

Cc (öT) > Ah (öT) > Ap, Bs, Et (sR, s/IF) > Bt (s/IF), Ah (et)

Die eigentliche Ursache für diese Differenzierung sind Unterschiede im Gefüge und in der Körnungsart. Nach Abbildung 6/39 lassen sich bei  $\lg K - 5$  zwei Gruppen von Kurven trennen. Die Horizonte bzw. Böden, die oberhalb dieser Linie liegen (öT, s/IF), zeigen eine relativ hohe Beweglichkeit, diejenigen, die sich unterhalb der Linie befinden, eine relativ geringe Beweglichkeit.

Die Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit erfolgt auf verschiedene Weise. Einmal kann sie indirekt aus der Änderung der Bodenfeuchte im Profil (oder an Bodensäulen im Labor) und den dazugehörigen Änderungen in der Saugspannung abgeleitet werden. Im Bereich geringer Saugspannung wird diese mittels Tensiometer gemessen. Zum anderen sind auch direkte Messungen möglich (Vetterlein, 1968 b, TGL 31222/05):

- an Stechzylindern nach dem *Durchflußverfahren*; hohe Saugspannungswerte mittels Doppelmembran-Verfahren, niedrige mittels Doppelplatten-Verfahren
- an Stechzylindern nach dem *Abflußverfahren* durch Messung mittels Druckplatten- oder Druckmembran-Apparaturen

### **Bewegung im gesättigten Bereich**

Bei Wasserbewegung im gesättigten Bereich, d. h., bei zusammenhängender, vollständiger Füllung der Poren, gilt die Beziehung  $K_{\max} = k_f$ . Die Berechnung des  $k_f$ -Wertes, der auch als *Durchlässigkeits(bei)wert* bezeichnet wird, ergibt sich ebenfalls aus Gleichung (61):

$$k_f [\text{m/d}] = \frac{v_f}{i} \quad (65)$$

Die Bestimmung des  $K_f$ -Wertes läßt sich aus dieser Gleichung in einfacher Weise ableiten, indem man an wassergesättigten Stechzylinderproben ein bestimmtes hydraulisches Gefälle  $i$  erzeugt und die hierdurch bewirkte Durchflußrate (Flux) mißt. Hat das hydraulische Gefälle den Wert 1, dann ist der gemessene Flux gleich dem  $k_f$ -Wert.

Nach Gleichung (65) läßt sich bei bekanntem  $k_f$ -Wert und bekanntem hydraulischem Gefälle  $i$  auch die Fließgeschwindigkeit  $v_f$  berechnen. In einem Grundwassersand beispielsweise, dessen  $k_f$ -Wert 10 m/d betragen soll, würde bei einem Gefälle von 1 : 250 das Grundwasser 4 cm, bei einem Gefälle von 1 : 50 hingegen 20 cm pro Tag fließen.

Gleichung (65) hat Gültigkeit für die Bewegung geschlossener Grund- und Stauwasserkörper sowie für die Bewegung des Sickerwassers bei vollständiger Porenfüllung. Der  $k_f$ -Wert kann somit zur Kennzeichnung der Wasserbeweglichkeit in allen gesättigten Bereichen herangezogen werden. Er wird besonders vom Porendurchmesser (insb. vom Grobporenanteil) und der Porenkontinuität bestimmt. In kolloidarmen Böden hängt er deshalb vorwiegend von Körnung und Rohdichte, in kolloidreichen vorwiegend vom Gefüge ab. Der  $k_f$ -Wert ist damit für sandige Böden ein Substratkennwert, für lehmige und tonige mehr ein Kennwert für die Gefügeausbildung. Er wird u. a. zur Ermittlung des Dränabstandes verwendet. Werte > 10 m/d (z. B. in Grobsanden) deuten auf eine sehr schnelle, Werte < 0,01 m/d (z. B. in Tonen, Mudden) auf eine sehr langsame Wasserbewegung hin. In der Meliorationspraxis gelten Böden mit  $k_f$ -Werten < 0,1 m/d als schwer durchlässig. Die gesättigte Leitfähigkeit ist stets größer als die entsprechende ungesättigte, da bei vollem Wassergehalt der leitende Porenquerschnitt den höchstmöglichen Wert des betreffenden Substrats bedingt.

Die Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes bei voller Sättigung wird durch sehr verschiedene Verfahren vorgenommen, von denen die wichtigsten nachstehend aufgeführt sind:

– im Gelände: mittels Pumpversuch-Verfahrens (TGL 23864), Bohrloch-Methode (Meliorationen, Projekt 27/02) oder Versickerungsverfahren

– im Labor: mittels Durchflußverfahrens an gesättigten Stechzylinderproben oder mittels Vakuumkapillarimeters an Stechzylinder bzw. Schollenproben (Meliorationen, Projekt 27/03); Proben möglichst bei Wassersättigung entsprechend der Feldkapazität entnehmen; je nach Fragestellung ist zu entscheiden, ob Probenentnahme horizontal oder vertikal erfolgt (im Oberboden „vertikale“, im Unterboden hingegen „horizontale“ Leitfähigkeit oft höher)

Da die Messungen im Gelände wie im Labor sehr aufwendig sind, wird in jüngster Zeit immer mehr dazu übergegangen, den  $k_f$ -Wert auf der Grundlage korrelativer Beziehungen zu anderen bodenphysikalischen Parametern durch Berechnung zu ermitteln. Von den zahlreichen Verfahren, die es bereits gibt, werden vor allem diejenigen bevorzugt, die mit nur einem Parameter auskommen. Als besonders geeignet hat sich die Ableitung des  $k_f$ -Wertes aus dem Gehalt an Teilchen  $< 20 \mu\text{m}$ , also an Abschlämmbarem (A), oder aus der Trockenrohddichte ( $\rho_d$ ) erwiesen, wobei die Beziehungen nicht linear sind (Vetterlein, Clausnitzer, 1976; Ehwald, Krüger, 1976; Meliorationen, Projekt 27/04):

– Glaziärsubstrate

sandiges Material (bei  $A > 1\%$ ):  $\lg k_f + 2 = 3,5 - 1,65 \lg A$  (66)

lehmiges Material (bei  $A = 20 - 50\%$ ):  $\lg k_f + 2 = 1,830 - 0,023 A$  (67)

– Lößsubstrate (bei  $\rho_d = 1,0 - 1,7 \text{ g/cm}^3$ ):  $\lg k_f = 5,42 - 4,4 \rho_d$  (68)

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß man im Boden von stationären (zeitlich konstanten) Strömungen spricht, wenn das abfließende durch zufließendes Wasser in gleicher Menge ergänzt wird. Das trifft vor allem für Grund- und Stauwasserbewegungen, aber auch für Sickerwasserwellen nach Starkregen zu. In der Mehrzahl der Fälle handelt es sich jedoch um ungesättigte Wasserbewegungen im Boden, wobei durch zunehmende Austrocknung der Wassernachschub auch zu den Stellen höheren Potentials immer geringer wird und diese deshalb immer wasserärmer werden. Damit werden die Potentialdifferenzen ebenfalls kleiner, die Ausgleichsströmungen des Bodenwassers langsamer. In solchen Fällen spricht man von instationären Strömungen, zu deren Charakterisierung die Änderung des Wassergehalts im flüssigkeitsdurchströmten Bodenvolumen in Abhängigkeit von der Zeit herangezogen wird. Zur Berechnung instationärer Fließvorgänge kann u. a. die Diffusivitäts-Form der Darcy-Gleichung (s. Gl. 64) herangezogen werden.

## Infiltration und Perkolat

Unter Infiltration versteht man das Eindringen von Niederschlagswasser in den Boden. Entscheidend für die Menge ist die Aufnahmefähigkeit der Oberflächenzone. Das maximal mögliche Wasservolumen, das unter den Bedingungen des Atmosphärendruckes durch die Bodenoberfläche eindringt, wird als Infiltrationsrate ( $I$  in  $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$ ) bezeichnet. Unter den Bedingungen

Regenmenge  $>$  Infiltrationsrate

kommt es zum Oberflächenabfluß mit all seinen nachteiligen Auswirkungen (Wasserverlust, Erosion usw.). Die Infiltrationsrate sollte daher möglichst groß sein. Als günstig erweisen sich in dieser Hinsicht:

– hohes Volumen an Grobporen (keine Verkrustung)

– geringe Auffüllung mit Wasser (Boden darf aber nicht so trocken sein, daß eine verminderte Benetzbarkeit vorliegt)

– hohe Stabilität des Bodengefüges

Mit der Dauer einer Wasserzuführung (Niederschlag, Beregnung) nimmt die Infiltrationsrate allmählich ab, da die Poren immer stärker aufgefüllt und im oberflächennahen Bereich auch verschlammte werden.

Unter Perkolat versteht man die auf die Schwerkraft zurückzuführende Abwärts-

bewegung des Wassers innerhalb des Bodenprofils. Sie umfaßt die Bewegungen des Sink- und Sickerwassers, die besonders von der Durchlässigkeit des Bodens bestimmt werden. Die Durchlässigkeit steht in enger Beziehung zum Porensystem (s. Abschn. 6.4.2.). Hohe Durchlässigkeit ist meist durch Körnung, biotische Faktoren (Wurzelröhren, Grabgänge von Bodentieren) und größere Schwundrisse, mäßige durch Körnung und Gefüge, geringe fast nur durch das Gefüge bedingt. In allen Fällen ist die Porenkontinuität einer der entscheidenden Faktoren.

Die Perkolation läßt sich am deutlichsten nach dem Eindringen von Niederschlagswasser in einen zuvor trockenen Boden beschreiben. In Abbildung 6/40 ist der gesamte Durchsickerungsbereich veranschaulicht. Die *Sättigungszone* (Wassergehalt entspricht der vollen Porenfüllung) bildet sich nur bei starker Wasserzufuhr aus. Sie ist i. d. R. geringmächtig. Nach einer *Übergangszzone* folgt dann die mächtigere *Transportzone* (Wassergehalt  $\cong$  Feldkapazität), in der die eigentliche Ableitung des Wassers vor sich geht. Nach unten wird der Durchsickerungsbereich gegenüber dem die ursprüngliche Feuchte noch aufweisenden Profilteil durch die *Befeuchtungszone* abgeschlossen, wobei die untere Grenze durch die sog. Sicker-(Durchfeuchtungs-)Front scharf markiert ist. Die Befeuchtungszone dringt um so tiefer, je mehr Gravitationswasser nachgeliefert wird und je feuchter der Boden vorher war. Die Transportzone dehnt sich dabei solange nach unten aus, wie durch den Wassernachschub von oben die Feldkapazität überschritten wird. Bei nachlassenden Niederschlägen und bei starker Evapotranspiration kommt die Sickerfront bald zum Stehen. Ein Durchsickern bis zum Grundwasser tritt nur nach langen Durchfeuchtungsperioden (z. B. im Winter/zeitiges Frühjahr oder nach ausgedehnten Regenfällen) ein. Trifft die Sickerfront innerhalb des Bodens auf Schichten oder Horizonte mit geringer Wasserdurchlässigkeit (Staukörper), wird das weitere Vordringen gehemmt. Es kommt zur

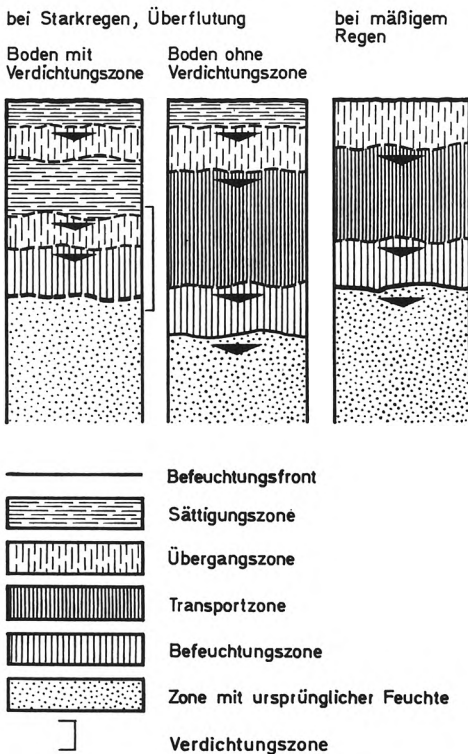


Abb. 6/40  
Schematische Darstellung des Befeuchtungsverlaufs im Boden nach Wasserzufuhr von oben am Beispiel eines durchgehend lehmigen Substrats

Ausbildung einer Stauzone. Innerhalb solcher Zonen sind alle Poren mit Wasser gefüllt (Grundwasser oder Stauwasser).

Da Infiltration und Perkolation mit bestimmten Bodeneigenschaften wie Körnungsart, Porenvolumen, Grobporenanteil u. a. korrelieren, ist auf der Grundlage dieser Eigenschaften eine Gruppierung der Böden (z. B. von Bodenformen, von Substrattypen oder anderen Bodeneinheiten) nach ihrem Perkulationsverhalten möglich. Derart gebildete „Versickerungsgruppen“ haben sich für praktische Zwecke als nützlich erwiesen.

### Grundwasserbewegung und Kapillaraufstieg

Grundwasser (Definition s. Abschn. 6.5.2.) ist Wasser, das die Poren des Bodens und/oder des Untergrundes über einer schwerdurchlässigen Schicht zusammenhängend ausfüllt. Folgende Bereiche lassen sich unterscheiden (s. Abb. 6/41):

- Grundwasserträger: schwer bis undurchlässiger Bereich, über dem sich Grundwasser sammelt
- Grundwassersohle: Oberfläche des Grundwasserträgers bzw. unterer Grenzsäum des Grundwassers
- Grundwasserleiter: Bereich, in dem sich das Grundwasser befindet
- Grundwasseroberfläche: oberer Grenzsäum des Grundwassers mit einem Gleichgewicht zwischen hydrostatischem und atmosphärischem Druck (in Schürfen und Bodenlöchern als Grundwasserspiegel bezeichnet)
- Kapillarsaum: Saum oberhalb der Grundwasseroberfläche mit gestütztem Kapillarwasser; geht von einem „geschlossenen“ Kapillarbereich im unteren Teil in einen offenen im oberen Teil (Grobporen bereits teilweise mit Luft gefüllt) über.

In Anlehnung an den Inhalt dieser Begriffe beim Grundwasser werden auch beim Stauwasser (Definition s. Abschn. 6.5.2.) bestimmte Bereiche unterschieden. Der schwer durchlässige Bereich, der den Stau bewirkt, heißt *Staukörper*. Hierbei handelt es sich um verdichtete (groporenarme) Schichten oder Horizonte. Der darüber mit Stauwasser gefüllte Bereich wird *Stauzone* genannt. Den Übergang von Staukörper zu Stauzone bezeichnet man als *Stausohle*. Stauwasser bildet sich i. d. R. nur vorübergehend. In bezug auf seine Bewegung unterscheidet es sich nicht vom Grundwasser, solange das Porenvolumen vollständig mit Wasser gefüllt ist. Je nach Gefälle bewegt es sich meist nur geringfügig, Hang(stau-)wasser hingegen stärker.

Lokal vorkommendes Grundwasser wird als „schwebend“ bezeichnet. In geschichteten Substraten kann Grundwasser *stockwerkartig* auftreten (vgl. Abb. 6/41). Grundwasser in tieferen Stockwerken wird *abgeschirmt* genannt. Außerdem ist zwischen gespanntem und ungespanntem Grundwasser zu unterscheiden. *Gespanntes* Grundwasser steht unter Druck, weil auch die den Grundwasserleiter begrenzende Deckschicht undurchlässig ist und da-

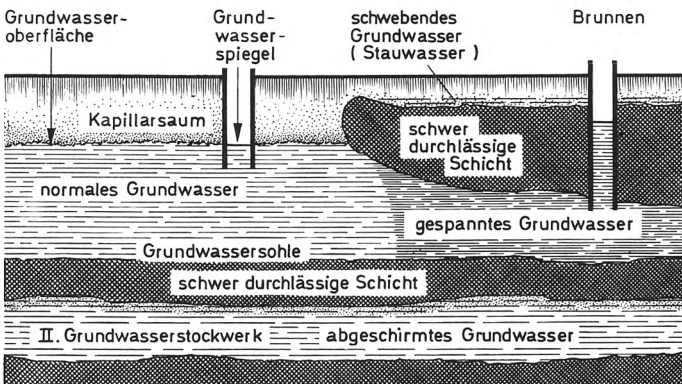


Abb. 6/41  
Schematischer Geländeschnitt durch grundwasserführende Substrate

durch eine Ausgleichsmöglichkeit fehlt. Der Austritt solchen *Druckwassers* führt z. B. zur Bildung von Kalktuffen, Quellmooren oder Raseneisenstein (Ocker). Druckwasser stammt i. d. R. aus tieferen Grundwasserstockwerken.

Für die Bodenbildung und das Pflanzenwachstum ist nur das oberste Grundwasserstockwerk von Bedeutung. Dieses Grundwasser ist meist ungespannt, d. h., es unterliegt nur der Schwerkraft. Seine Bewegung kann durch die *Darcy-Gleichung* beschrieben werden. Entscheidender Parameter ist der  $k_f$ -Wert. Die Geschwindigkeit des Grundwassers kann sehr unterschiedlich sein. Sie reicht von Bruchteilen eines mm/d bis zu mehreren m/d.

Die Grundwasseroberfläche schwankt innerhalb eines Jahres im Mittel um 5 bis 10 dm. Höchststand tritt in Mitteleuropa fast immer im Frühjahr ein. Der Kapillarsaum ist um so mächtiger, je mehr Mittelporen der Boden enthält. In Schluffen und Lößen kann die Mächtigkeit des Kapillarsaumes bis über 2 m betragen. Grobsande hingegen haben nur wenige Dezimeter mächtige Säume.

Der *Kapillaraufstieg* ist der der Perkolation entgegengesetzte Vorgang. In Grundwasserböden kommt er durch die naturgemäß zwischen Oberflächenbereich des Bodens und Grundwasserkörper bestehende Potentialdifferenz zustande. In der durch Austrocknung weniger feuchten Oberflächenzone, in der der Wassergehalt im Gleichgewicht mit der relativen Luftfeuchte der Atmosphäre steht, sinkt das Matrixpotential unter den Wert, den es im Gleichgewicht mit der Grundwasseroberfläche hat. Ausgelöst durch diesen Gradienten bewegt sich das Kapillarwasser aufwärts. Der Kapillaraufstieg spielt aber nicht nur in Verbindung mit dem Grundwasser, sondern auch in grundwasserfernen Böden eine Rolle, wenn ein entsprechendes Potentialgefälle wirksam wird.

Der Kapillaraufstieg ist stark von Körnungsart, Porengröße und Porenkontinuität abhängig. Er kann für den stationären Zustand aus der *Darcy-Gleichung* berechnet werden, wenn die Beziehungen zwischen Wasserspannung und -leitfähigkeit des Substrates bekannt sind (s. Tab. 6/26).

Die Höhe des Grundwasserstandes und die kapillare Nachlieferbarkeit des Wassers sind entscheidende Größen für die Wasserversorgung der Pflanzen. Auf sandigen Grundwasserstandorten werden sehr hohe Grünmasseerträge bei einem Grundwasserstand um etwa 4 dm u. Fl. erzielt. Mit absinkender Grundwasseroberfläche ist der Ertragsabfall bei Grobsanden stärker als bei Feinsanden, was auf deren geringmächtigen Kapillarsaum zurückzuführen ist (s. Abb. 6/42). Bei kolloidreicheren Substraten sind auch tiefere Grundwasserstände noch als optimal anzusehen, weil die Transporthöhe wesentlich größer ist.

Tabelle 6/26

Kapillare Nachlieferungsraten verschiedener Körnungsarten bei unterschiedlichen Aufstiegshöhen des Grundwassers in mm/d (berechnet); Wasserspannung an der Untergrenze der Durchwurzelungszone pF 3, Grundwasser oberhalb 20 dm u. Fl (nach *Renger, Strebel, Giesel, 1974*)

Körnungsarten	bei einer Aufstiegshöhe über GW0*) von				
	2 dm	4 dm	6 dm	8 dm	10 dm
Schlufflehm	20,0	20,0	5,8	2,7	1,5
lehmiger Sand	20,0	10,0	4,0	2,2	1,3
Feinsand	20,0	9,0	4,3	2,0	1,1
Mittelsand	20,0	7,0	1,3	0,3	0,2
sandiger Lehm	11,0	2,5	1,0	0,6	0,3
schluffiger Ton	3,5	1,2	0,6	0,4	0,3
Lehm	4,0	1,1	0,4	0,2	0,2

\*) Grundwasseroberfläche

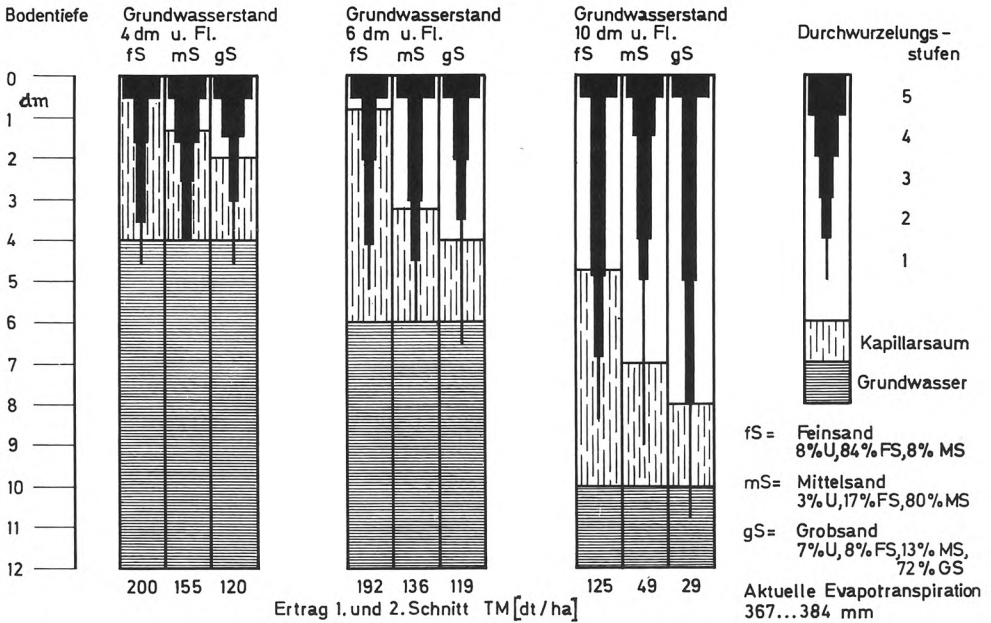


Abb. 6/42

Profilbezogenes Wurzelmasse-Diagramm von Klee grasbeständen in Abhängigkeit von Körnungsart und Grundwasserstand nach Freiland-Lysimeterversuchen 1974 in der Havelniederung mit eingefülltem Material (nach Tiehatter, 1976)

Bei tonigen Substraten muß allerdings eine Einschränkung gemacht werden. Auf Grund der äußerst geringen Geschwindigkeit der Wasserbewegung kommt die Transporthöhe nicht voll zur Wirkung. Bei ihnen dürfen daher die Grundwasserstände nicht zu stark absinken, wenn die Pflanzen optimal versorgt werden sollen. Auch Moorböden haben ein gutes kapillares Nachliefervermögen. Bei 200 kg N/ha bringen alle Moor-Bodenformen mit einem Grundwasserstand von 5 bis 7 dm u. Fl. etwa die gleichen Trockenmasse-Erträge. Erst bei tiefer anstehendem Grundwasser gibt es unter sonst gleichen Bedingungen größere Ertragsdifferenzen zwischen den einzelnen Bodenformen.

Zwischen Pflanze und Grundwasserstand bestehen noch Beziehungen besonderer Art. Ist das Frühjahr relativ trocken, dringen die Wurzeln von Anfang an tief in den Boden ein, so daß die Pflanze bei einem niedrigen Grundwasserstand im Sommer noch genügend Wasser erhält. Ist das Frühjahr aber feucht, so entwickeln sich nur kurze Wurzeln. Beim sommerlichen Absinken des Grundwassers vermögen die Wurzeln dann meist nicht nachzufolgen und es kann zu Trockenschäden kommen.

### Entwässerung zur Beseitigung von Bodennässe

Wenn ein Boden extrem wassergesättigt ist, muß er für die landwirtschaftliche Nutzung entwässert werden, da sonst die notwendige Durchlüftung im Wurzelbereich nicht gewährleistet ist. Entwässerung bedeutet Abführung überschüssiger Bodenfeuchte unter Nutzung der Schwerkraft. Die Entwässerung erfolgt sowohl durch Absenkung des Grundwasserstandes als auch durch Beseitigung von Stau- und Haftnässe. Folgende Verfahren können angewendet werden:

- Grundwasserregulierung
- Dränung, insb. Tonrohr-, Plastrohr- (einschl. Sickerschlitzz-) und Maulwurfdränung oder kombinierte Verfahren



Der Entwässerung, insb. der Dränung, sind bestimmte Grenzen gesetzt. Sie lohnt sich nur dann, wenn nach Abführung der überschüssigen Feuchte im Wurzelbereich das Grobporenvolumen ausreicht, Niederschlagswasser genügend rasch abzuleiten. Im einzelnen hängt das vom Umfang des überschüssigen Wassers, von der Dauer und Tiefe der Vernässung und vor allem von der Wasserdurchlässigkeit ( $k_f$ -Wert) ab.

Ein Boden ist also nur dann für die Dränung geeignet, wenn

- ein genügend hoher Grobporenanteil (dränbares Porenvolumen) vorliegt und
- die zur Erzielung eines ausreichenden Dräneffektes notwendige Drän-(Graben-)Entfernung ein wirtschaftlich vertretbares Minimum nicht unterschreitet.

Je geringer die Durchlässigkeit ist, desto enger muß die Dränentfernung bemessen werden. Der  $k_f$ -Wert wird maßgeblich vom o. g. *dränbaren Porenvolumen* (dPV) bestimmt:

$$dpV [\%] = PV - FK \quad (69)$$

Böden, die ein so geringes dPV haben, daß der  $k_f$ -Wert unter 0,1 m/d sinkt, gelten nicht mehr als dränwürdig. Auf derartigen Böden ist Dränung in Kombination mit Unterbodenmelioration oder eine Unterbodenmelioration allein zweckmäßiger.

Da die Vernässung meist nur in bestimmten Jahreszeiten auftritt, ist bei dem heutigen Intensivierungsniveau in der Landwirtschaft Entwässerung und Unterbodenmelioration oft mit einer Bewässerung (als Beregnung, Überstau, Einstau) gekoppelt. Von diesen kombinierten Verfahren haben in der DDR die kombinierte Dränung/Beregnung, die wechselseitige Grundwasserregulierung (GWR), die unterirdisch wechselseitige Wasserregulierung (UWWR) bei Staunässe und die Verfahrenskombination (VK) mit Beregnung Bedeutung.

### **Bewegung in der dampfförmigen Phase**

Da der Boden i. d. R. eine relative Luftfeuchte von  $> 95\%$  aufweist, spielt auch die Bewegung des Bodenwassers in Dampfform eine Rolle (s. auch Abschn. 6.5.3. und 6.6.4.). Die Bewegung des Wasserdampfes erfolgt ebenfalls von Stellen hohen zu Stellen niedrigen Dampfdruckes. Im Prinzip gelten ähnliche Gesetzmäßigkeiten wie bei der Wasserbewegung in der flüssigen Phase. Allerdings sei darauf hingewiesen, daß die dampfförmige Wasserbewegung im Unterschied zur flüssigen keinen Massenfluß, sondern einen Diffusionsprozeß darstellt.

Wasserdampfbewegungen werden vor allem durch *Temperaturdifferenzen* ausgelöst, nachts z. B. zur Bodenoberfläche hin, tags in entgegengesetzter Richtung. Der Wasserdampf wandert dabei von wärmeren zu kälteren Stellen und kondensiert in den Kapillaren, wenn der Sättigungsdampfdruck überschritten wird.

Neben der Kapillarkondensation findet eine dampfförmige Wasserbewegung auch zwischen Stellen unterschiedlicher Bodenfeuchte statt. Zonen mit stärkerer Austrocknung ziehen Wasserdampf an. Dieser Sog spielt vor allem im oberflächennahen Bereich des Bodens eine Rolle, wo infolge des meist geringeren Wasserdampfdruckes in der angrenzenden Atmosphäre und vielfach verzögerten kapillaren Wassernachschubs aus tieferen Bodenzonen (besonders in Sandböden) durch Evapotranspiration eine stärkere Austrocknung erfolgt.

Da mit sinkender Bodenfeuchte die Wasserleitfähigkeit und damit die Nachlieferung von flüssigem Wasser zur Pflanzenwurzel stark zurückgeht und am permanenten Welkepunkt schließlich ganz zum Erliegen kommt, reagiert die Pflanze in diesem Bereich mit einem sprunghaften Abfall der Transpiration. Bei derart geringen Bodenfeuchtegehalten überwiegt dann die dampfförmige Bewegung gegenüber der flüssigen. Sie reicht aber keinesfalls zu einer normalen Wasserversorgung der Pflanzen aus.

### **6.5.6. Verfügbarkeit des Bodenwassers**

Die Wasserversorgung der Pflanze hängt von einer ganzen Reihe von Faktoren ab. Neben bodenbedingten Eigenschaften wie Wassergehalt und Wasserbeweglichkeit spielen auch

Transportentfernung zur Pflanzenwurzel und damit die Durchwurzelung des Bodens, das Wasserentzugsvermögen der Pflanze und schließlich der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre (über Transpiration und Evaporation) eine Rolle.

### **Kennzeichnung des Speichervermögens**

Ein entscheidender bodenhydrologischer Kennwert ist das Speichervermögen für pflanzennutzbares Bodenwasser. Im wesentlichen handelt es sich dabei um die in den Mittelporen speicherbare Bodenfeuchte, die sich aus der Größe bestimmter Bodenparameter ableiten läßt. Folgende speziellen Parameter können dafür herangezogen werden (TGL 31222/01; Bestimmung nach TGL 31222/04):

#### **a) Kennwerte für das Speichervermögen**

In Volumenprozent angegebene Kenngrößen für das Wasserspeichervermögen von Bodensäulen/Bodenproben unter natürlichen oder künstlichen Bedingungen

**FK** Feldkapazität: Wasserspeichervermögen des Bodens unter Feldbedingungen (ökologische Größe); entspricht etwa dem maximalen Haftwassergehalt nach Abfluß des Sinkwassers; liegt im Frühjahr meist höher als im Sommer; gilt nur für durchlässige Böden ohne Grund- und Stauwasser; wird bestimmt nach starker Wasserzufuhr (z. B. nach länger anhaltenden Niederschlägen oder nach künstlicher Befeuchtung) bei Verhinderung der Verdunstung (durch Abdecken) innerhalb von 2 bis 3 Tagen, wenn das gesamte Profil mit Wasser gesättigt ist und sich ein ausgeglichenes hydraulisches Potential eingestellt hat; ein solches Potential stellt sich nach Abfluß des Sinkwassers in Sandböden rasch ( $pF$  etwa  $1,8 \triangleq 6$  kPa), in Tonböden wesentlich langsamer ( $pF$  etwa  $2,7 \triangleq 50$  kPa) oder gar nicht ein; kann auch berechnet werden:

$$\text{bei } A < 22\%: \quad FK [\text{Vol.}\%] = 3,4 + 0,85A\% \quad (70)$$

$$\text{bei } A = 22-60\%: \quad FK [\text{Vol.}\%] = 11,0 + 0,52A\% \quad (71)$$

A Abschlämbbare Teilchen ( $d < 20 \mu m$ )

**FF** Frühjahrsfeuchte: Feuchtegehalt bei Vegetationsbeginn im Frühjahr unter Feldbedingungen (ökologische Größe); wird ebenfalls nach Abfluß des Sinkwassers bei Verdunstungsschutz bestimmt, schließt aber vorhandenes Grund- und Stauwasser mit ein; liegt je nach Standort- und Witterungsbedingungen in der Nähe der FK, kann aber mehr als diese schwanken und sollte daher als Mittel oder Bereich aus Messungen mehrerer Jahre angegeben werden; kann auch aus dem Gehalt an Abschlämbbaren Teilchen (A) berechnet werden:  $\lg FF [\text{Vol.}\%] = 0,74 + 0,47 \lg A\%$  (außer Löss-Böden)

**FÄ** Feuchteäquivalent, früher minimale WK: im Labor ermittelter Äquivalentwert für FK; wird bestimmt durch Absaugen mittels Kapillarimeter oder Druckmembranapparat bei  $pF$  1,8 (Sande und Torfe), 2,1 (Lehmsande), 2,5 (Lehme und Schlufflehme) bzw. 2,7 (Tone)

**WK (G)** Wasserkapazität im Gefäß: für die Einstellung des Wassergehaltes in Gefäßversuchen ermittelter Vergleichswert; einfach bestimmbar, gegenüber FK aber meist zu hoch

#### **b) Kennwerte für das nicht nutzbare („tote“) Wasser**

In Volumen- oder Masseprozent angegebene Kenngrößen für den intensiver gebundenen Anteil des Haftwassers

**PWP** Permanenter Welkepunkt: Feuchtegehalt im dicht durchwurzelten und gegen Evaporation geschützten Versuchsgefäß bei irreversiblen Welken junger, unverholzter Testpflanzen (z. B. Sonnenblumen, Kiefern); liegt bei Sonnenblumen bei etwa  $pF$  4,2, bei anderen Pflanzen etwas variierend; entspricht etwa der Summe von Adsorptionswasser plus in Feinporen gehaltenem Kapillarwasser

ÄWP Äquivalentwelkepunkt: im Labor ermittelter Äquivalentwert für PWP; wird im Druckmembranapparat nach Gleichgewichtseinstellung bei pF  $4,2 \approx 1500$  kPa bestimmt; kann berechnet werden aus der Hygroskopizität (Hy):

$$\text{ÄWP [M.-\%]} = 2,1 \cdot (\text{Hy(M)}) \quad (72)$$

oder aus dem Tongehalt (T%):

$$\text{ÄWP [M.-\%]} = 0,253 + 0,521T\% \quad (73)$$

$$\text{ÄWP [Vol.-\%]} = 1,23 + 0,74T\% \quad (74)$$

Hy Hygroskopizität: im Labor auf einfache Weise zu bestimmender Wert für den untersten Grenzwassergehalt des Bodens; nach 2 Methoden meßbar:

Hy (M), Hygroskopizität nach *Mitscherlich*: Wassergehalt einer lufttrockenen Probe im Dampfspannungsgleichgewicht mit 10%iger  $\text{H}_2\text{SO}_4$  oder gesättigter  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -Lösung (entspricht 95% relativer Luftfeuchte); liegt etwa bei pF  $5 \approx 10^4$  kPa; kann auch aus dem Tongehalt (T%) berechnet werden:

$$\text{Hy(M) [M.-\%]} = 0,177 + 0,237T\% \quad (75)$$

Hy(K), Hygroskopizität nach *Kuron*: Wassergehalt im Dampfspannungsgleichgewicht mit 50%iger  $\text{H}_2\text{SO}_4$  oder kristallinem  $\text{CaCl}_2$  (entspricht 35% relativer Luftfeuchte), liegt bei pF  $6,1 \approx 1,35 \cdot 10^5$  kPa; kann auch aus Hy(M) berechnet werden:

$$\text{Hy(K) [M.-\%]} = \frac{\text{Hy(M)}}{2,1} \quad (76)$$

Auf der Grundlage der o. g. Grenzwerte läßt sich die Kapazität für das nutzbare Bodenwasser (Nutzwasserkapazität) wie folgt berechnen:

$$n\text{FK (nutzbare Feldkapazität)} = \text{FK} - \text{PWP} \approx \text{FK} - \text{ÄWP} \quad (77)$$

$$n\text{FF (nutzbare Frühjahrsfeuchte)} = \text{FF} - \text{PWP} \approx \text{FF} - \text{ÄWP} \quad (78)$$

$$n\text{FÄ (nutzbares Feuchteäquivalent)} = \text{FÄ} - \text{PWP} \approx \text{FÄ} - \text{ÄWP} \quad (79)$$

Die auf diese Weise ermittelbare Speicherkapazität für das nutzbare Bodenwasser ist in Abhängigkeit von Körnungsort, Humusgehalt, Gefüge und Porenverteilung in den verschiedenen Böden recht unterschiedlich (s. Tab. 6/27). Aus den Werten für die einzelnen Schichten oder Horizonte läßt sich die Menge für bestimmte Tiefenstufen des Bodens berechnen. Man spricht in diesem Zusammenhang von *Schichtwassermenge* und versteht darunter das Wasservolumen in  $l/m^2$  (mm) für eine bestimmte Tiefenstufe in dm. Meist werden die Tiefenstufen

– 0 bis 5 dm und > 5 bis 10 dm oder  
– 0 bis 3 dm, > 3 bis 6 dm und > 6 bis 10 dm,

zusammenfassend auch 0 bis 10 dm zugrunde gelegt. In Tabelle 6/28 ist die nFK bis 1 m Tiefe für charakteristische Bodenformen zusammengestellt.

Eine Zusammenstellung wichtiger Kennwerte des Wasserspeichervermögens verbreiteter Böden und horizontbezogener Substratgruppen liegt mit dem „Katalog zur hydrologischen Kennzeichnung von Bodenformen im Jungpleistozän der DDR“ (*Weise, 1978 a*) vor. In diesem Katalog werden 18 Bodenformen charakterisiert nach:

– *bodenphysikalischen* bzw. *-hydrologischen Konstanten*: Horizont, Tongehalt, Fein- und Mittelschluffgehalt, Trockenrohdichte, Gesamtporenvolumen, dränbares Porenvolumen, Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität und permanenter Welkepunkt (für verschiedene Tiefenstufen bis 1 m Tiefe)

– *dynamischen bodenhydrologischen Kennwerten*: mittlerer maximaler Bodenwassergehalt, mittlere Vernässungsdauer im Frühjahr, Summe der Bodentrockentage in der Vegetationsperiode, Sickerwassermenge pro Jahr (für die Tiefenstufen 0–5 und 5–10 dm)

Außerdem sind die bodenhydrologischen Konstanten auch horizontbezogen für die Körnungsarten Sand bis Lehm zusammengestellt. Der Katalog dient sowohl der Kennzeichnung

Tabelle 6/27

Mittelwerte bodenhydrologischer Konstanten für verbreitete Substrat- und Horizontgruppen in Vol.-% (in Anlehnung an *Thiere, Morgenstern, 1975 b*)

Substratgruppen	Horizonte	FK (pF 2,2) [Vol.-%]	PWP [Vol.-%]	nFK [Vol.-%]	[% der FK]	LK (dPV) [Vol.-%]
Jungpleistozäne	Ap	21	8	13	~ 65	16
Glaziärsubstrate	Bv, Et, Eg	14	4	10	~ 70	22
	Bt, Bg	23	11	12	~ 50	11
	Cc	23	11	12	~ 55	5
	Ap	29	8	21	~ 70	11
Altleistozäne	Bv, Et, Eg	28	10	18	~ 65	9
	Bt, Bg	25	14	11	~ 45	6
Lößsubstrate	Ap, Bv, Et, Eg	33	13	20	~ 60	10
	Bt, Bg	32	16	16	~ 50	4
Bergsubstrate	Ap	34	14	20	~ 60	12
	Bv, Et, Eg	32	14	18	~ 55	13
	Bg	32	17	15	~ 45	4

Tabelle 6/28

Nutzbare Feldkapazität (nFK) für charakteristische Bodenformen bis 1 m Tiefe in l/m<sup>2</sup> (nach Angaben von *Krause, 1973; Weise, 1977; Unger, 1972, u. a.*)

Bodenformen	[l/m <sup>2</sup> ]	Bodenformen	[l/m <sup>2</sup> ]
<u>Glaziärsubstrate</u>		<u>Bergsubstrate</u>	
Sand-Rosterden, grob- bis mittelsandig lehmunterlagert	45— 70 55— 85	Schutten-Ranker/Braunerden Bergton-/Schuttlehm-Ranker/ Rendzinen/Braunerden/ Staugleye	60— 85 85—125
mittel- bis feinsandig oder mit Bändern	70— 95	Bergsalm-Braunerden/Braun- staugleye	135—155
Sand-Braunerden mit und ohne Bänder	80—115	Berglehm-Braunerden/Braun- staugleye,	
Sandtieflehm-Fahlerden	115—135	paläozoische Gesteine	125—150
Salm-Braunerden/Staugleye	125—155	andere Gesteine	180—210
Sandtieflehm-Staugleye/ Braunstaugleye	145—160	<u>Auensubstrate</u>	
Salmtieflehm-Fahlerden/ Staugleye	155—180	Deckaunton-Gleye	60—100
Lehm-Parabraunerden/ Staugleye	170—190	Auenton-Gleye/Amphigleye Deckaunenlehm-Gleye/ Amphigleye	80—120
<u>Lößsubstrate</u>		geringmächtige Decken	80—120
Berglöß-Fahlerden/Braun- staugleye/Staugleye	130—180	mächtigere Decken	120—180
Löß-Fahlerden/Braun- staugleye/Staugleye	160—190	Auenton-Humusgleye und Auenlehmkerf-Amphigleye	180—200
Löß-Schwarzerden		Lehm-/Schluff-Vega	180—205

des Bodenwasserregimes verbreiteter Bodenformen zur weiteren Präzisierung der Bodenfruchtbarkeitskennziffern als auch der weiteren Einsparung aufwendiger bodenhydrologischer Untersuchungen.

### **Ausschöpfung des Bodenwassers durch die Pflanze**

Die tatsächliche Ausschöpfung des Bodenwassers durch die Pflanze wird vom Wassertransport im System Boden → Pflanze → Atmosphäre bestimmt. Die Wasseraufnahme aus dem Boden erfolgt auf Grund der Potentialdifferenz zwischen Pflanzenwurzel und dem sie umgebenden Boden. Dieses Gefälle wird seitens der Pflanze durch Stoffwechsel und Transpiration ständig aufrechterhalten. Dabei spielt der *Verdunstungsanspruch der Atmosphäre* eine besondere Rolle. Er wird im wesentlichen von der Differenz zwischen dem tatsächlichen Dampfdruck und dem gesättigten Dampfdruck in der bodennahen Luftschicht und damit von Strahlung, Temperatur, Luftfeuchte und Luftbewegung in dieser Zone bestimmt.

Setzt man die potentielle Evapotranspiration (PET) ins Verhältnis zu den Niederschlägen (N), so resultiert daraus die sog. klimatische Wasserbilanz (vgl. Gl. (11)). Diese Bilanz ist für unser Klimagebiet während der Vegetationsperiode negativ, d. h., der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre kann während dieser Zeit nicht durch die Niederschläge ausgeglichen werden (vgl. Abb. 6/33). Für den Bereich der Klimastation Potsdam ergibt das ein mittleres tägliches Defizit von  $-0,7 \text{ l/m}^2$  im April und September, von  $-1,2 \text{ l/m}^2$  im Mai und von  $-2,3 \text{ l/m}^2$  im Juli/August. Schon allein daraus resultiert für eine Reihe von Fruchtarten ein beträchtlicher Zusatzwasserbedarf, wenn Höchstserträge erzielt werden sollen.

Das im Boden vorhandene nutzbare Wasser ist nur dann auch *pflanzenverfügbar*, wenn es der Pflanze so schnell zuströmt, daß keine Verminderung der Transpiration durch Schließen der Spaltöffnungen eintreten kann. Je höher der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre, je größer die Transportentfernung des Bodenwassers zur Pflanzenwurzel und je geringer die Transportgeschwindigkeit des Wassers im Boden sind, um so weniger kann der Bedarf der Pflanzen an Bodenwasser gedeckt und damit die volle Ausschöpfung desselben gewährleistet werden.

Der konzentrische Zufluß des Wassers zur Pflanzenwurzel hängt vor allem von dessen Beweglichkeit und Bindungsintensität im Boden ab. Zuerst nehmen die Wurzeln das am leichtesten bewegliche Bodenwasser aus ihrer unmittelbaren Umgebung auf. Dazu kann unter bestimmten Umständen das langsam bewegliche Sickerwasser mit gehören. Je stärker die Bodenfeuchte um die Pflanzenwurzel absinkt, um so mehr verlangsamt sich der weitere Wassernachschub und um so begrenzter wird damit auch die ausschöpfbare Zone für die Wurzeln. Da in sandigen Substraten die Leitfähigkeit mit abnehmendem Wassergehalt rasch, in schluffigen, lehmigen und tonigen hingegen langsamer absinkt, tritt eine Hemmung der Wassernachlieferung in (grob- und mittel-) sandigen Böden wesentlich früher als in anderen ein.

Eine geringe Wasserbeweglichkeit kann die Pflanze durch ein dichtes oder verzweigtes *Wurzelnetz* in bestimmten Grenzen kompensieren. Die Wurzeln wachsen dann gewissermaßen dem Wasser nach. Pflanzen mit dichten oder tiefgehenden Wurzeln vermögen deshalb das Bodenwasser besser auszunutzen. Bei schwacher Durchwurzelung und geringer Wasserbeweglichkeit wird ein Teil der nutzbaren Bodenfeuchte nicht ausgeschöpft.

Da die Durchwurzelungsintensität mit zunehmender Bodentiefe geringer wird (vgl. Abb. 3/19 und 6/31), geht auch der Ausschöpfungsgrad des Bodenwassers in der gleichen Richtung zurück. Bei der Auswertung 3- bis 10jähriger Bodenfeuchtemessungen an 17 Meßstellen in der DDR konnte ermittelt werden, daß die Pflanzen aus Tiefenstufen zu je 5 dm ihren Wasservorrat in folgenden Anteilen deckten (Weise, Wendling, 1975):

- 0 bis 5 dm : 55 %  $\approx 1,2 \text{ mm/d}$
- 5 bis 10 dm : 27 %  $\approx 0,6 \text{ mm/d}$
- 10 bis 15 dm : 18 %  $\approx 0,4 \text{ mm/d}$

Der Wassergehalt im oberen Teil des Bodens ist also von großer Wichtigkeit für das Pflanzenwachstum.

Da an den gleichen 17 Standorten zwischen der ausgeschöpften Bodenfeuchte und der nutzbaren Feldkapazität im Bereich 50 bis 100 % nFK eine positive Korrelation besteht, kann die nutzbare Feldkapazität als Schätzwert für den Ausschöpfungsgrad nicht zu stark geschichteter Böden ohne weiteres herangezogen werden.

Der Ausschöpfungsgrad des nutzbaren Bodenwassers kann auch aus der Differenz von Frühjahrsfeuchte und minimaler Bodenfeuchte nach weitgehender sommerlicher Austrocknung erschlossen werden. Dabei müssen Niederschlag und Versickerung mit berücksichtigt werden. Die Ausschöpfung des nutzbaren Bodenwassers war um so intensiver, je geringer die Differenz zwischen Restfeuchte und Permanentem Welkepunkt im Sommer ist und je tiefer die Austrocknungszone reicht. Hier gibt es zwischen den verschiedenen Böden und in den verschiedenen Jahren nicht zuletzt auch in Abhängigkeit von Fruchtart und Witterung recht beträchtliche Unterschiede.

### 6.5.7. Bodenluft und Gasaustausch

Zwischen Bodenluft und -wasser bestehen antagonistische Beziehungen, d. h., mit abnehmender Feuchte steigt der Luftgehalt und umgekehrt. Bei mittlerer Durchfeuchtung des Bodens sind die Grobporen mit Luft, die Mittel- und Feinporen mit Wasser gefüllt. Bei stärkerer Durchfeuchtung kann die Bodenluft auch weitgehend aus den großen Hohlräumen, bei Grund- und Staunässe sogar gänzlich verdrängt werden (s. Abb. 6/43). Bei völliger Austrocknung hingegen entspricht das Luftvolumen weitgehend dem Porenvolumen (PV). Der Luftgehalt des Bodens bei einer Wassersättigung entsprechend der Feldkapazität (FK) wird als *Luftkapazität* (LK) bezeichnet (vgl. auch Gleichung (69)):

$$LK[\text{Vol.}\%] = PV - FK \quad (80)$$

In diesem Fall sind nur die Grobporen ( $d > 10 \mu\text{m}$ ) mit Luft gefüllt. Die Luftkapazität schwankt zwischen 5 (tonige Substrate) und 35 (sandige Substrate) Vol.-%.

Im allgemeinen enthalten die Böden aber mehr Luft als ihrer LK entspricht. Der tatsächliche Luftgehalt wird außer vom Wassergehalt insbesondere von Körnungsart, Gefüge und damit von Porenvolumen und Porengrößenverteilung bestimmt.

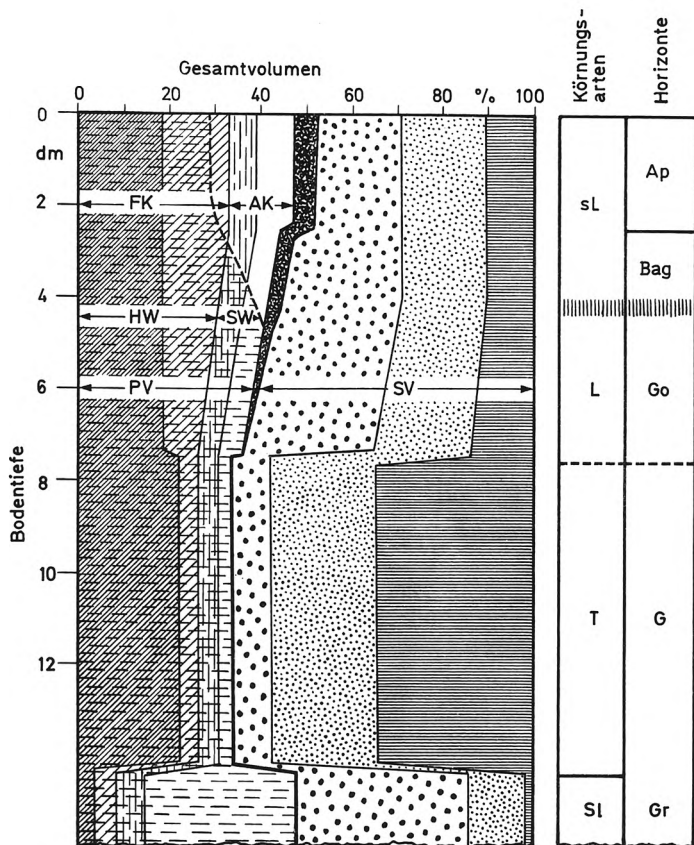
### Zusammensetzung der Bodenluft

Die Zusammensetzung der Bodenluft geht aus Tabelle 6/29 hervor. Wesentliche Abweichungen gegenüber der atmosphärischen Luft sind vor allem beim Kohlendioxid vorhanden. Infolge der Tätigkeit der Bodenlebewesen (Bodenatmung) und infolge der Wurzelatmung wird ständig  $\text{CO}_2$  produziert, das bei gehemmtem Gasaustausch im Boden relativ angereichert wird. Die  $\text{CO}_2$ -Produktion weist jahreszeitliche Schwankungen auf. Wenn durch Verkrustung der Oberfläche der Kohlendioxidgehalt auf  $> 5$  Vol.-% ansteigt bzw. der Sauerstoffgehalt auf  $< 10$  Vol.-% absinkt, können toxische Schäden eintreten. Der Wasserdampfgehalt der Bodenluft ist i. d. R. höher als in der Atmosphäre ( $> 95\%$ ). Auf diese Weise können erhebliche Mengen an Bodenfeuchtigkeit in Dampfform bewegt werden (s. Abschn. 6.5.5.).

### Gasaustausch

Die Durchlüftung des Bodens, genauer der Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Boden, wird weniger durch meteorologische Faktoren als vielmehr durch Diffusion bestimmt. Die unterschiedlichen Partialdrücke von  $\text{CO}_2$  und  $\text{O}_2$  zwischen Atmosphäre und Boden bedingen einen Diffusionsstrom des Kohlendioxids vom Boden zur Atmosphäre und des Sauerstoffs in umgekehrter Richtung. Das Ausmaß dieses Gasaustauschs, d. h. seine Geschwindigkeit, hängt im wesentlichen von folgenden Bodenfaktoren ab:

Abb. 6/43  
Schematische Darstellung der Volumenverteilung von Luft, Wasser und Festsubstanz bei einem Auenlehmkerf-Amphigley mit Haftnässe im Spätfrühjahr ab 4 dm u. Fl.



<b>Poren</b>	<b>Festsubstanz</b>	
<math>< 0,2 \mu\text{m}</math>	Sand	FK Feldkapazität
<math>0,2 \dots 10 \mu\text{m}</math>	Schluff	AK Luftkapazität (dPV)
<math>10 \dots 50 \mu\text{m}</math>	Ton	PV Porenvolumen
<math>> 50 \mu\text{m}</math>	Humus	SV Festsubstanzvolumen
Wassergehalt		HW Haftwasser
		SW Stauwasser (Haftnässe)

Tabelle 6/29

Mittlere Zusammensetzung der Bodenluft und der atmosphärischen Luft ohne Berücksichtigung des Wasserdampfgehaltes

Bestandteil	Bodenluft	atmosphärische Luft
Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) [Vol.-%]	20,6 (18,0 bis 21,0)	20,9
Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) [Vol.-%]	0,25 (0,4 bis 1,6)	0,03
Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) [Vol.-%]	79,0	79,1

- *Zustand der Bodenoberfläche*: Verkrustung hemmt, aufgelockerte Oberflächenschicht fördert den Gasaustausch
- *Anteil der Grobporen*: zu geringer Anteil verzögert den Gasaustausch
- *Kontinuität der Porung*: diskontinuierliche Porenführung hemmt den Gasaustausch
- *Wasserfüllung der Poren*: Übersättigung des Bodens kann Gasaustausch völlig blockieren

Alle diese Faktoren weisen eine enge Beziehung zur Körnungsart, zum Humusgehalt, zur Gefügeform und zum Strukturzustand auf. Eine hohe Ackerkultur bietet die beste Garantie für eine optimale Durchlüftung.

#### 6.5.8. Bodenfeuchtegang mit Grenzwerten des Wasser- und Luftgehaltes

Wechselnde Wasserzufuhr und wechselnder Wasserabgang bedingen an den verschiedenen Standorten eine spezifische jahreszeitliche Dynamik der Bodenfeuchte. Es lassen sich Extremwerte nach der trockenen wie nach der nassen Seite abgrenzen, die als Kenngrößen für Austrocknungs- und Vernässungsgefährdung herangezogen werden. Solche Grenzwerte, die den Wasser- und den Luftgehalt gleichermaßen kennzeichnen, sind zur Beurteilung der Böden hinsichtlich ihrer pflanzenbaulichen und technologischen Eignung unentbehrlich geworden.

#### Jahreszeitliche Dynamik der Bodenfeuchte

Für die nutzbare Bodenfeuchte wird durch das Speichervermögen der mögliche, nicht aber der tatsächliche Wassergehalt gekennzeichnet. Je nach Niederschlag, Evapotranspiration und Versickerung ändert sich ständig der Bodenfeuchtegehalt, d. h., er unterliegt einer jahreszeitlichen Dynamik. Schon die Frühjahrsfeuchte ist kein Kapazitätswert mehr, sondern eine standortspezifische Kenngröße für den Bodenwassergehalt im Frühjahr in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften und Witterung.

Der Bodenfeuchteverlauf wurde bisher vorwiegend über *Messungen* bestimmt. In Abbildung 6/44 und 6/45 sind zwei Möglichkeiten der graphischen Darstellung der Meßergebnisse in Abhängigkeit von der Zeit wiedergegeben. Die *Chronoisoplethen*, Linien gleicher Wassermengen in einem zweiparametrischen Diagramm (Bodentiefe/Zeit), spiegeln den Bodenfeuchteverlauf für jeden Tiefenbereich im einzelnen wider, die *Ganglinien* vermitteln einen summarischen Überblick über die Änderung des Wasservorrates in bestimmten Tiefenstufen.

Die Messung der Bodenfeuchte ist relativ aufwendig, auch wenn sie heute nicht mehr gravimetrisch (lat., grch.: durch Gewichtsanalyse), sondern auf Grund der korrelativen Beziehungen zu bestimmten physikalischen Bodeneigenschaften (elektrische Leitfähigkeit, Bremsung von schnellen Neutronen, Schwächung von  $\gamma$ -Strahlen) vorwiegend mittels moderner Methoden durchgeführt wird. Man ist daher jetzt bestrebt, den Bodenfeuchtegang und den nutzbaren Wasservorrat auf der Basis von *Modellen* rechnerisch zu ermitteln. Es gibt bestimmte Richtungen in der Modellbildung:

– *Bilanzmodelle*: Berechnung des Bodenfeuchteverlaufs auf der Grundlage der Wasserhaushaltsgleichung unter Einbeziehung bodenhydrologischer Kennwerte; Beispiele: (Einschicht-) R-Modell nach *Weise-Wendling*, 1974; Mehrschichtmodelle nach *Koitzsch*, 1977 und nach *Bohne-Manning*, 1976

– *Transportmodelle*: Berechnung des nutzbaren Wasservorrats auf der Grundlage von Transportgleichungen (Leitfähigkeit, Diffusivität); Beispiele für gemischte Bilanz-/Transport-Modelle: Modell zur Berechnung der maximalen Wasserausschöpfung aus der nicht durchwurzelten Zone nach *Bartsch-Bohne*, 1975, Modell für die vertikale Wasserbewegung zur Ermittlung des aktuellen Wassergehaltes und Gravitationswasserabflusses nach *Glugla*, 1969



Der mittels R-Modell berechnete Bodenfeuchtegang ist in Abbildung 6/45 den tatsächlich gemessenen Werten gegenübergestellt. Die Abweichungen sind nur gering. Die Berechnung, die auf einer EDVA durchgeführt wird, geht von den Eingangsgrößen Niederschlag, potentielle Evapotranspiration (PET) und mittlerer maximaler (Anfangs-) Bodenwassergehalt aus. Wesentliches Charakteristikum des Modells ist die Einbeziehung eines von FK bzw. nFK, Hydromorphieverhältnissen und Bodenwassergehalt abhängigen Reduktions-(R-)Faktors, durch welchen PET zur AET (aktuelle Evapotranspiration) reduziert wird. Wie aus berechneter und gemessener Ganglinie in Abbildung 6/45 hervorgeht, nähern sich beide an. Das R-Modell ist zunächst anwendbar für grundwasserferne, schneefreie Böden in ebener Lage mit Grasvegetation, bezogen auf die Tiefenstufen 0 bis 5 und 0 bis 10 dm.

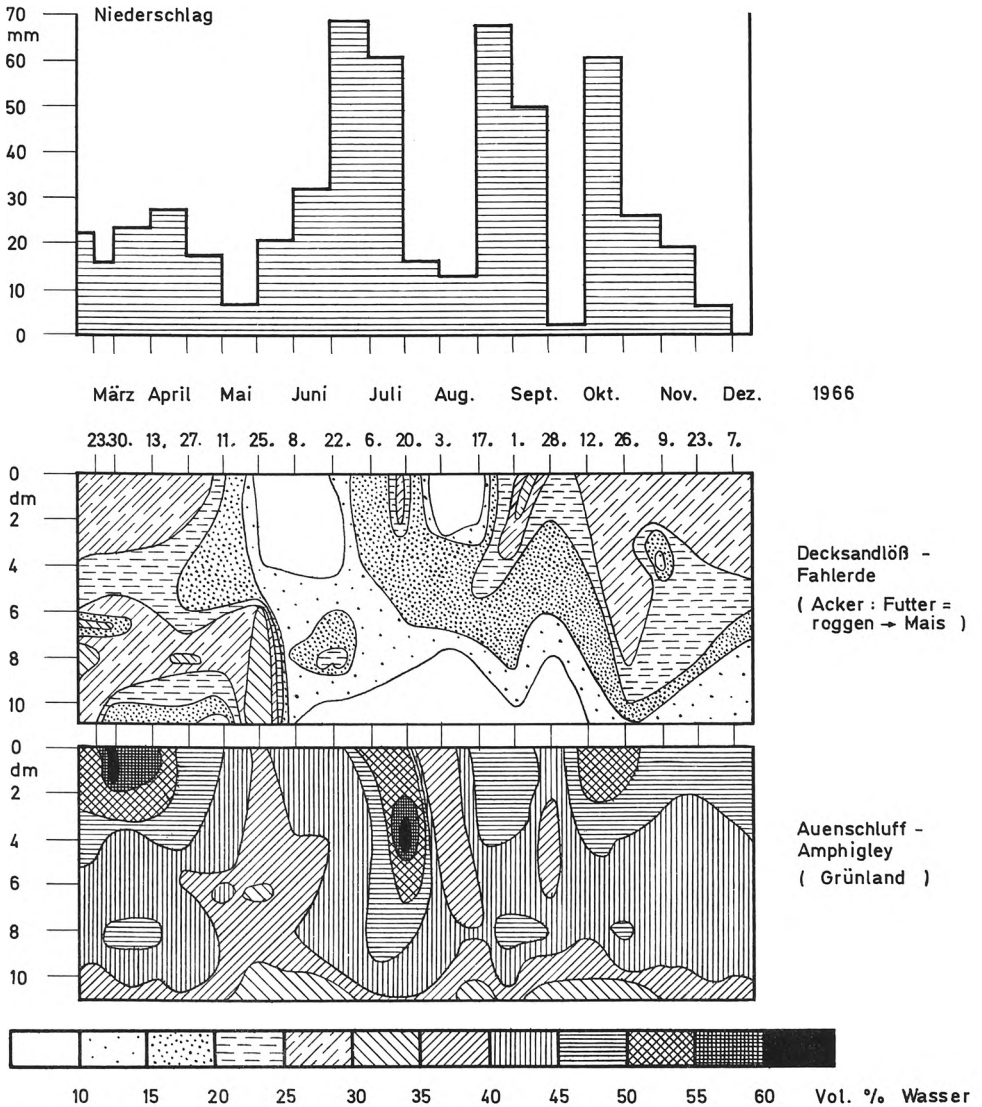


Abb. 6/44

Schematische Darstellung der Veränderung des Wassergehaltes zweier Bodenformen in Abhängigkeit von Bodentiefe und Zeit (Chronisoplethen der Bodenfeuchte) im Flußgebiet der Döllnitz, Kr. Oschatz (nach Hubrich, 1970)

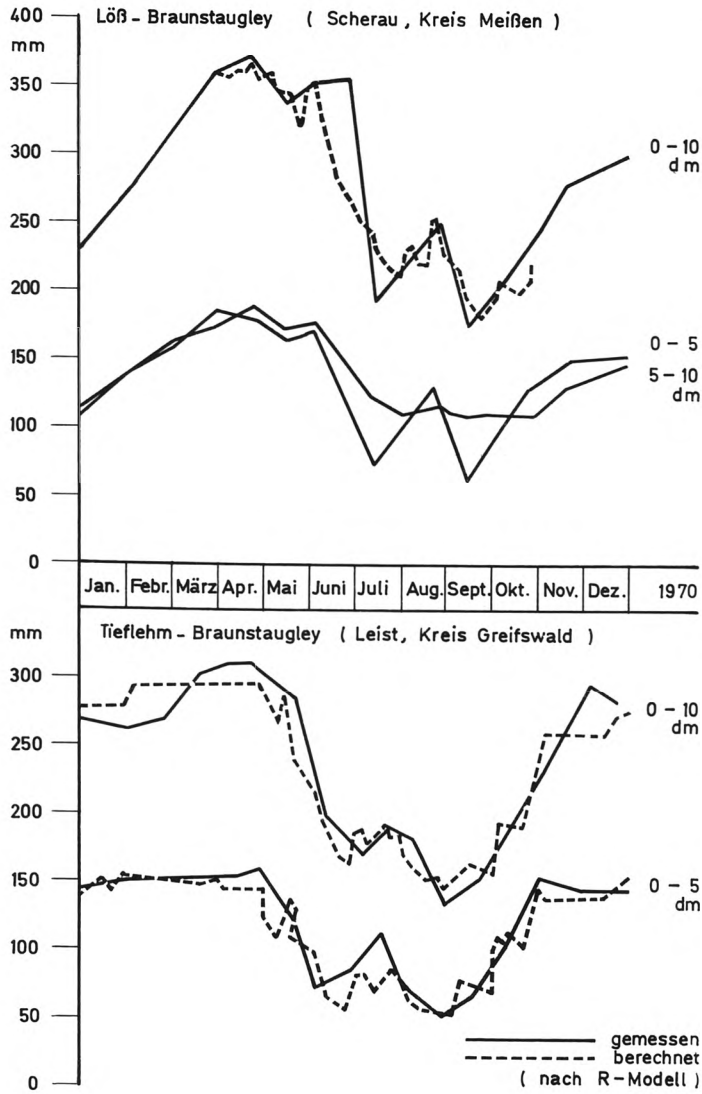


Abb. 6/45  
Gemessene und berechnete Kennlinien des Bodenfeuchteganges zweier Bodenformen für verschiedene Tiefenstufen (nach Clausnitzer, 1973a und Weise, 1977)

Gesicherte Kenntnis über die Dynamik der Bodenfeuchte ist einmal wichtig für die Einrichtung von Bodennutzungstypen, insb. für die Beurteilung der Anbau- und der technologischen Eignung der Böden, zum anderen ist sie unbedingte Voraussetzung für die Planung meliorativer Maßnahmen. Das betrifft nicht nur langfristige Vorhaben der Entwässerung und Unterbodenmelioration, sondern auch kurzfristig zu steuernde Hydromeliorationen wie z. B. die Beregnung. Von besonderer Bedeutung sind in all diesen Fällen genauere Angaben über Austrocknungs- und Vernässungsgefährdung der Böden.

**Austrocknungsgefährdung**

Austrocknungsgefährdung besteht nach einer Übereinkunft in solchen Perioden, in denen der Wassergehalt des Bodens unter 50 % der nutzbaren Feldkapazität absinkt. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Trockenphasen und bezeichnet Tage mit < 50 % nFK

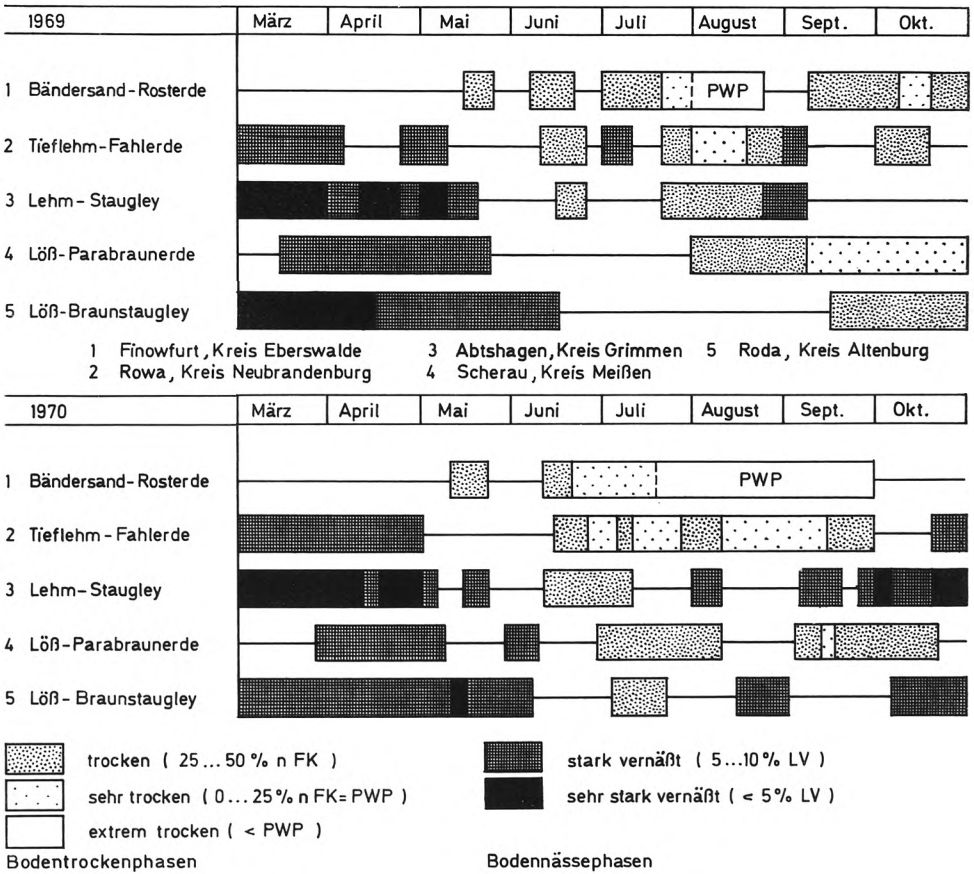


Abb. 6/46

Balkendiagramm der Bodennässe- und Bodentrockenphasen einiger charakteristischer Bodenformen 1969 und 1970, jeweils März bis Oktober, in der Tiefenstufe 0–5 dm (nach Weise, 1977 und Clausnitzer, 1973a)

Tabelle 6/30

Unter- bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeit kritischer Grenzwassergehalte in einer Löß-Fahlerde; Baldenhain, Kr. Gera-Land (nach Werner, Unger, 1977)

Monat	Unterschreitung 50% nFK (Trockenphasen)  % aller Jahre	Unterschreitung 10% LV (ökologische Vernässung)  % aller Jahre	Überschreitung WV <sub>P</sub> (technologische Vernässung)  % aller Jahre
März	—	35	91
April	—	20	63
Mai	12	< 15	30
Juni	46	< 15	15
Juli	70	< 15	15
August	76	< 15	< 10
September	87	< 15	< 10

als *Bodentrockentage*. Die Anzahl der Bodentrockentage ( $n_{\text{BTT}}$ ) kann nicht nur über Messungen bestimmt, sondern auch rechnerisch ermittelt werden. Beziehungen bestehen in den Monaten April bis September insb. zur nFK ( $l/m^2$ ) in der Tiefenstufe 0 bis 5 dm (Weise, Wendling, 1975):

$$n_{\text{BTT}} = 127,8 - 0,83 n_{\text{FK}} \quad (81)$$

Weitere Korrelationen ergeben sich zur klimatischen Wasserbilanz.

Tage, in denen die Bodenfeuchte zwischen 25 und 50 % der nFK liegt, werden als trocken (in Abb. 6/46 = 1), solche, in denen sie unter 25 % der nFK absinkt, als sehr trocken (= 2), und diejenigen, in denen sie unter den Permanenten Welkepunkt absinkt, als extrem trocken (= 3) bezeichnet.

In Abbildung 6/46 sind die Trockenphasen von 6 verschiedenen Bodenformen aus den Jahren 1969 und 1970 wiedergegeben. Die zunächst nur allgemein bekannten Unterschiede im Bodenfeuchtegang dieser Böden werden durch eine solche Darstellung nicht nur besser veranschaulicht, sondern auch quantitativ belegt. Als ein weiteres Beispiel ist in Tabelle 6/30 die Häufigkeit der Trockenphasen für eine Löß-Fahlerde aus dem Thüringer Raum angegeben.

### Vernässungsgefährdung

Längere Zeit andauernde Bodennässe mit schädigender Wirkung auf die Pflanzenproduktion bezeichnet man als Vernässung. Vernässungsgefährdung besteht im allgemeinen dann, wenn ein bestimmter kritischer Bodenwassergehalt überschritten wird. Welcher Grenzwert zugrunde zu legen ist, hängt von den beiden Hauptwirkungen der Bodennässe ab (Menning, 1977, TGL 24300/09):

– *ökologisch wirksame Vernässung*: Nässe wirkt sich ungünstig auf das Pflanzenwachstum durch Luftmangel bzw. geringen Sauerstoff-Partialdruck aus; tritt ein bei Unterschreitung des Luftvolumens (LV) von etwa 5 bis 10 %

– *technologisch wirksame Vernässung*: Nässe wirkt sich ungünstig auf die technologische Eignung durch erhebliche Beeinträchtigung der Befahr- und Bearbeitbarkeit aus; tritt ein bei Überschreitung des Wassergehalts entsprechend der Plastizitätsgrenze bzw. äquivalenter Parameter

Entscheidend für beide Vernässungswirkungen sind neben dem tatsächlichen Wassergehalt vor allem die Körnungsart sowie vom Bodengefüge abhängige Eigenschaften, insb. die Lagerungsdichte (Trockenrohddichte). Mittels der Trockenrohddichte ( $\rho_d$ ) kann der Wassergehalt an der Plastizitätsgrenze ( $w_p$ ) in Wasservolumenprozent (WV<sub>P</sub>) umgerechnet werden:

$$\text{WV}_P[\%] = w_p \cdot \rho_d \cdot 100 \quad (82)$$

Danach wächst WV<sub>P</sub> bei gleichbleibendem  $w_p$  mit Zunahme von  $\rho_d$  – mit anderen Worten: der zur Realisierung des plastischen Zustands notwendige Wasseranteil am Bodenvolumen steigt mit abnehmendem Porenvolumen. Unter der Voraussetzung eines gleichbleibenden Wertes für  $w_p$  kann daher die technologisch wirksame Vernässung bei Böden mit hohem Porenvolumen schon bei niedrigerem Wasservolumen eintreten als in solchen mit geringem PV. In den Böden der DDR schwankt die Plastizitätsgrenze zwischen 15 und 50 Vol.-% Wasser (vgl. Tab. 6/20).

Die Beziehungen zwischen ökologisch wirksamer Vernässung und Lagerungsdichte sind genau umgekehrt, d. h., die für die Unterschreitung des Luftvolumens von 5 bis 10 % notwendige Wassermenge erhöht sich mit zunehmendem Porenvolumen. Die ökologisch wirksame Vernässung beginnt etwa bei 20 bis 40 Vol.-% bzw. 10 bis 25 M.-% Wasser.

Die beiden o. g. Hauptwirkungen der Bodennässe lassen sich aus bestimmten Bodenkennwerten ableiten. Bei lehmigen und tonigen Substraten ist einer dieser Kennwerte das Luft-

volumen an der Plastizitätsgrenze ( $LV_P$ ), das auf folgende Weise berechnet werden kann:

$$LV_P[\%] = PV - WV_P \quad (83)$$

Entsprechend dieser Gleichung lassen sich 3 Möglichkeiten der Kombination von technologisch und ökologisch wirksamer Vernässung unterscheiden (Menning, 1977):

–  $LV_P > 10\%$ : technologisch wirksame Vernässung tritt schon bei geringer Bodenfeuchte ein, erst bei höherem Wassergehalt auch ökologisch wirksame Vernässung möglich; trifft zu bei niedrigem  $w_P$  und großem PV; charakteristisch z. B. für Oberböden und anhydromorphe Unterböden

–  $LV_P < 5\%$ : ökologisch wirksame Vernässung tritt schon bei geringer Bodenfeuchte ein, erst bei höherem Wassergehalt auch technologisch wirksame Vernässung möglich; trifft zu, wenn  $w_P$  erst bei nahezu vollständiger Wasserfüllung des PV erreicht wird; charakteristisch z. B. für hydromorphe Unterböden

–  $LV_P$  5 bis 10%: technologisch und ökologisch wirksame Vernässung treten bei etwa gleicher Bodenfeuchte ein

Eine 4. Möglichkeit besteht noch darin, daß  $WV_P \geq PV$  ist. In diesem Sonderfall gibt es so lange nur eine ökologisch wirksame Vernässung, wie nicht durch Quellung und der damit verbundenen Volumenzunahme auch eine technologisch wirksame Vernässung möglich wird. Hiervon sind z. B. bestimmte hydromorphe Tonsubstrate betroffen.

Böden mit regelmäßig auftretender ökologisch wirksamer Vernässung sind i. d. R. durch Hydromorphiemerkmale gekennzeichnet und dadurch am Profil bereits erkennbar. Die hydromorphe „Zeichnung“ dieser Böden ist auf die mit dem zeitweiligen Luftmangel gekoppelten charakteristischen Redoxprozesse zurückzuführen. Allerdings muß nicht jeder hydromorph gezeichnete Boden ökologisch wirksame Vernässung aufweisen, insb. dann nicht, wenn das heutige Wasserregime verändert ist und die Hydromorphiemerkmale reliktschen Charakter haben. Böden, die vorwiegend nur technologisch wirksame Vernässung zeigen, sind i. d. R. nicht hydromorph gezeichnet, da bei ihnen zwischen Eintritt der technologisch und der ökologisch wirksamen Vernässung ein Luftvolumen bis zu 30% verbleiben kann ( $LV_P > 10\%$ ). Phasen mit ökologisch wirksamer Vernässung auf der Grundlage  $LV_P < 10\%$  sind in Abbildung 6/46 eingetragen. Tage, in denen das Luftvolumen zwischen 5 und 10% liegt, werden als stark vernäßt (in Abb. 6/46 = 4), solche, in denen es

Tabelle 6/31

Mittlere Anzahl der Tage mit technologisch wirksamer Vernässung bei Bodenformen im Jungmoränengebiet nach Messungen in den Jahren 1968 bis 1973 (nach Bohne, 1977)

Bodenform	Körnungsart der Ackerkrume	Monate					
		Januar + Februar	März	April	Mai	Oktober	November + Dezember
Salmtieflehm-							
Fahlerde	IS	4	0	0	0	0	0
Salm-Staugley	1'S	20	12	10	0	0	0
Lehm-Rendzina	IS	22	13	10	2	0	0
Lehm-							
Parabraunerde	IS	48	25	20	5	3	34
Lehm-Staugley	1'S	48	28	16	4	8	33
Sand-Gley	S	47	26	24	9	7	29

unter 5 % absinkt, als sehr stark vernäßt (= 5) bezeichnet. Die Eintrittswahrscheinlichkeiten von ökologisch und technologisch wirksamer Vernässung für eine Löß-Fahlerde aus dem Thüringer Raum gehen aus Tabelle 6/30 hervor.

Als weiterer Kennwert zur Ermittlung der technologisch wirksamen Vernässung kann die Saugspannung herangezogen werden. Sinkt z. B. die gemessene Saugspannung eines Bodens unter die an der Plastizitätsgrenze ermittelte, liegt technologisch wirksame Vernässung vor.

Für *nichtbindige Böden*, die keinen plastischen Zustand erreichen, aber bei hoher Bodenfeuchte doch eine eingeschränkte Befahrbarkeit aufweisen, müssen andere Parameter zur Kennzeichnung der technologisch wirksamen Vernässung herangezogen werden. Wenn angenommen wird, daß erst bei voller Wassersättigung des Porenvolumens die mechanischen Eigenschaften solcher Böden unzureichend sind, kann der Lufteintrittspunkt als Grenzwert verwendet werden. Man versteht darunter den Saugspannungswert, der angelegt werden muß, um bei einem wassergesättigten Substrat gerade die Entwässerung einzuleiten, so daß sich die größten Poren mit Luft zu füllen beginnen. Der Lufteintrittspunkt kann gemessen oder berechnet werden. Bei den nichtbindigen Substraten liegt er im Bereich 1 bis 5, im Mittel um 2,5 kPa. Als Ersatzparameter kann  $w_{opt}$  (s. Abschn. 6.4.5.) herangezogen werden. Aus Tabelle 6/31 geht das Ausmaß der technologisch wirksamen Vernässung für einige Bodenformen hervor.

## 6.6. Energieumsatz im Boden

### 6.6.1. Energieformen

Der Energieumsatz umfaßt alle Arbeitsvorgänge im Boden. Dementsprechend handelt es sich nicht nur um die Transformation thermischer Energie, sondern auch anderer Energieformen. Im Boden spielen folgende Energieformen eine Rolle:

- *thermische Energie*: ruft Temperaturänderungen durch Wärmetransport hervor; Quellen sind Strahlungsenergie, mechanische Energie sowie Wärmeenergie aus dem Erdinneren
- *mechanische Energie*: tritt als potentielle Energie (Ruheenergie) und als kinetische Energie (Bewegungsenergie) auf, z. B. bei Verlagerungsprozessen infolge Wasserbewegung oder durch Quellungsdruck; Quellen sind die den Bodenkolloiden innewohnende Energie und die Gravitationsenergie

Als eine Form der Bindungsenergie hat im Boden vor allem die *chemische Energie* Bedeutung. Sie ist ein Teil der mechanischen Energie und äußert sich im Ablauf von chemischen Reaktionen.

Alle Energieformen sind ineinander umwandelbar. Sie unterscheiden sich nur darin, daß sie an bestimmte Arbeitsvorgänge bzw. Mechanismen (z. B. kinetische Energie als Energie der Bewegung) gebunden sind. Der Energiefluß wird einmal durch Kräfte angeregt, die den Boden als offenes System von außen treffen (sog. extrapedologische Kräfte), wie z. B. Strahlungsenergie, Gravitationsenergie, Energie des aufschlagenden Regentropfens sowie thermische Energie aus dem Erdinneren, und dabei seinen Energiegehalt erhöhen. Energiefluß wird zum anderen aber auch durch intrapedologische Kräfte ausgelöst, die dem Boden als oberflächenaktives System innewohnen. Bei allen Vorgängen wird Arbeit verrichtet und dabei Energie abgegeben oder gebunden. Im Boden laufen also ständig Energieumwandlungsprozesse ab. Ein Merkmal dieses inneren Energieumsatzes ist seine Bindung an ein *Energiegefälle* in dem Sinne, daß die Angleichung immer vom höheren zum niedrigeren Niveau erfolgt, z. B. von höherer zu tieferer Temperatur unter Aufnahme von Energie oder vom höheren zum niedrigeren Potential unter Freisetzung von Energie (z. B. Bodenwasserpotential, Redoxpotential).

Während die Bedeutung der chemischen und mechanischen Energie in früheren Abschnitten unter anderen übergeordneten Gesichtspunkten bereits erläutert wurde, sollen im folgenden die thermische Energie und die von ihr bestimmten Umsetzungsvorgänge behandelt werden.

## 6.6.2. Wärmebilanz an der Grenze Atmosphäre/Pedosphäre

Die Wärmebilanz an der Grenze Atmosphäre/Pedosphäre wird maßgebend vom Strahlungsumsatz an der Bodenoberfläche, von der Verdunstungsintensität des Bodens einschl. Vegetation (Evapotranspiration), vom Wärmeaustausch Boden/oberflächennahe Luftschicht und von den wärmephysikalischen Bodeneigenschaften bestimmt.

### Strahlungsumsatz an der Bodenoberfläche

Die im Boden vorhandene thermische Energie ergibt sich im wesentlichen aus der Differenz von Wärmezufuhr und -verlust zwischen Pedo- und Atmosphäre. Am Tage ist meist die Zufuhr größer, nachts der Verlust. Im Winter liegt die Wärmezufuhr wesentlich unter der des Sommers. Der Temperaturverlauf innerhalb der einzelnen Jahre ist im großen und ganzen ähnlich.

Die Sonnenstrahlung ist die Hauptenergiequelle für den Boden. Die Einstrahlungsenergie der Sonne in die Atmosphäre beträgt etwa  $8 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{min}$  (Solarkonstante) bei senkrechtem Einfall. Diese Menge erreicht aber nicht die Erdoberfläche, da ein Teil der Strahlung von der Atmosphäre und den Wolken in den Weltraum zurückgestrahlt wird (42%). Ein weiterer Teil der direkten Sonnenstrahlung wird in der Atmosphäre zerstreut, ein anderer von den Fremdbeimengungen der Luft und vom Wasserdampf absorbiert sowie in langwellige Strahlung umgeformt. Die Strahlungsschwächung (Extinktion) ist um so größer, je länger der Weg der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre ist.

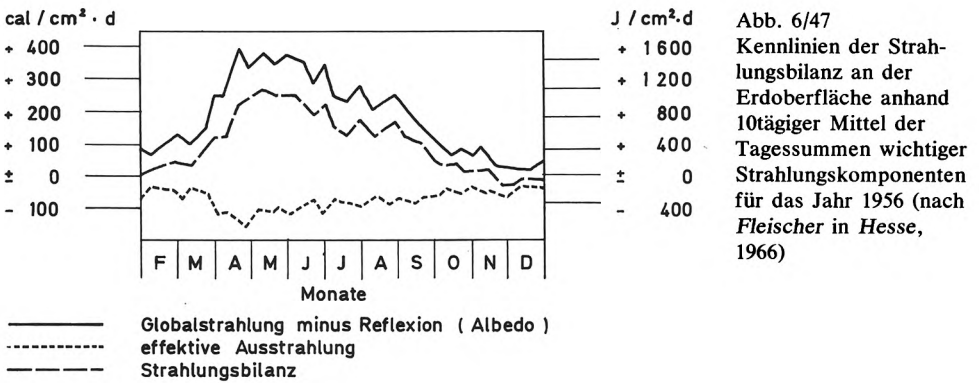
Der Strahlungsumsatz an der Bodenoberfläche vollzieht sich im Bereich der kurzwelligen und der langwelligen Strahlung. Der kurzwellige Strahlungsfluß (280 bis 3000 nm) ist vorwiegend zum Boden gerichtet. Die kurzwellige Strahlung setzt sich aus der direkten Sonnenstrahlung und der diffusen Himmelsstrahlung zusammen (gemeinsam auch als *Globalstrahlung* bezeichnet). Die in den Boden eindringende Energie der Globalstrahlung wird von der Strahlungsdichte, die vom Einfallswinkel abhängt und dem Ausmaß des an der Erdoberfläche reflektierten Teiles (*Albedo*) bestimmt. Je schräger der Einfallswinkel ist, um so geringer ist auch die Wärmezufuhr, z. B. auf der nördlichen und südlichen Halbkugel geringer als am Äquator, im Winter geringer als im Sommer, in unseren Breiten auf ebenen Flächen geringer als an südexponierten Hängen. Die Albedo wird ebenfalls vom Einfallswinkel, von der Art der Strahlen sowie von den Eigenschaften der Bodenoberfläche (s. Tab. 6/32) beeinflusst. Je dunkler, feuchter und rauher sie ist, um so mehr Strahlung wird absorbiert („verschluckt“).

Der langwellige Strahlungsfluß (3000 bis 15000 nm) verläuft vorwiegend vom Boden zur Atmosphäre, da die *langwellige Ausstrahlung* immer größer als die langwellige Einstrahlung (atmosphärische Gegenstrahlung) ist. Die Intensität der Ausstrahlung hängt vor allem von der Temperatur ab. Die *atmosphärische Gegenstrahlung* entsteht durch Umformung kurzwelliger Sonnenstrahlung. Ihr Eindringen in den Boden wird von Intensität und Reflexion (heller Sand 11 %, Kies 8 %, Blätter und Wasser 4 %, Wiese 2 %, Schnee 0,4 %) an der Bodenoberfläche bestimmt. Ein- und Ausstrahlung vollziehen sich Tag und Nacht. In unseren Breiten schwankt die mittlere Tagessumme der Globalstrahlung bei durch-

Tabelle 6/32

Albedo einiger Oberflächenarten im Bereich 400 bis 800 nm in % der Globalstrahlung

Art der Erdoberfläche	Albedo [%]	Art der Erdoberfläche	Albedo [%]
freie Wasserfläche	~ 5	heller trockener Sand	~ 40
dunkler Acker	~ 10	Altschnee	> 40
gepflügter Acker	~ 15	Neuschnee	> 70
Stoppelacker	~ 20	heller Kalkstein	> 50



schnittlicher Bewölkung etwa zwischen 400 (Dezember) und 2000 (Juli)  $J/cm^2$ , wovon die Himmelsstrahlung etwa 400 bis 800  $J/cm^2$  ausmacht. Die effektive Ausstrahlung liegt zwischen 200 und 1000  $J/cm^2$ . Ein Überblick über die Strahlungsbilanz insgesamt wird in Abbildung 6/47 vermittelt. Von der im Grenzbereich Atmo-/Pedo-/Hydrosphäre verbleibenden Strahlungsenergie wird unter den Bedingungen in Mitteleuropa im Jahresmittel bis zu 50% in der Biomasse (organische Substanz) gespeichert.

### Wärmeaustausch an der Bodenoberfläche

Durch Wasser kann dem Boden ebenfalls Wärmeenergie zugeführt wie auch entzogen werden. So kommt es schon an der Bodenoberfläche bei jeder Kondensation zur Freisetzung eines, wenn auch relativ kleinen Energiebetrages. Ein größerer Wärmeverlust (etwa 80%) tritt durch Verdunstung ein. Mit jedem Gramm kondensierenden oder verdunstenden Wassers werden dem Boden 2,26 kJ entzogen. Das ist die Wärmemenge, die beim Übergang des Wassers vom gasförmigen in den flüssigen Zustand und umgekehrt verbraucht wird. Niederschläge beeinflussen in besonderem Maße den Wärmeumsatz im Boden. Jeder Regen, der wärmer als der Boden ist, bedeutet Wärmezufuhr, kalte Niederschläge Wärmeentzug.

Die Bodenoberfläche gibt auch durch echte Wärmeleitung, vor allem aber durch *turbulenten Massenaustausch*, Wärme an die Atmosphäre ab. Der turbulente Massenaustausch wird von all den Faktoren beeinflusst, die auch den Gasaustausch (s. Abschn. 6.5.7.) bestimmen.

Schließlich können im Boden durch bestimmte biochemische Vorgänge, die mit der Lebenstätigkeit der Mikroorganismen zusammenhängen, und andere exotherme (grch., wärmeabgebende) Reaktionen (z. B. Adsorption, Hydratation) geringe Mengen an Wärmeenergie frei werden. Alle übrigen Wärmequellen sind für den Boden von untergeordneter Bedeutung.

### 6.6.3. Wärmeumsatz im Boden

Der Wärmeumsatz im Boden wird im wesentlichen von der Strahlungsbilanz an der Erdoberfläche bestimmt. Da die Wärmeenergie eindeutig durch die *Temperatur* meßbar ist, wird sie als charakteristische Größe für den Wärmeumsatz herangezogen.

Von der Temperatur hängen die verschiedensten Vorgänge und Prozesse im Boden ab. So sind z. B. Verwitterung, Nährelementtransformation und Humusumsatz temperaturabhängig. Vor allem wird die Intensität vieler Vorgänge von der Höhe der Temperatur beeinflusst.

Die Bodentemperatur hat aber auch eine große Bedeutung für das Wachstum der Pflanzen, insbesondere für deren Wachstumsgeschwindigkeit. Die Keimung der Samen beispiels-



weise kann schon durch geringfügige Änderung der Bodentemperatur gefördert oder gehemmt werden. Auch in späteren Stadien der Pflanzenentwicklung hat die Temperatur an der Bodenoberfläche großen Einfluß auf die Intensität und Quantität des Zuwachses an Pflanzenmasse sowie auf den Reifeprozess und bestimmt dadurch in entscheidendem Maße den Ertrag mit.

**Thermophysikalische Kennwerte**

Die Wärmeleitung des Bodens wird durch folgende Kennwerte charakterisiert:

– **Wärmekapazität (C):** Produkt aus spezifischer Wärme und Dichte eines bestimmten Stoffes bezogen auf ein Grad Temperaturdifferenz; Angabe in J bzw. cal je cm<sup>3</sup> · °C (spezifische Wärme ist die Wärmemenge eines bestimmten Stoffes, die zur Anhebung der Temperatur um 1 °C zugeführt werden muß)

– **Wärmeleitfähigkeit (λ):** die in der Zeiteinheit durch einen Würfel von 1 cm Kantenlänge fließende Wärmemenge bei einem Temperaturgradienten von 1 °C/cm; Angabe in J bzw. cal je cm · sec · °C; analoger Wert zur hydraulischen Leitfähigkeit

– **Temperaturleitfähigkeit (a),** auch thermische Diffusivität genannt: die sich in der Zeiteinheit ändernde Temperatur bei einem Temperaturgradienten von 1 °C/cm; zeigt die Geschwindigkeit des Ausgleichs von Temperaturdifferenzen an; entspricht dem Quotienten aus Wärmeleitfähigkeit und -kapazität:

$$a [\text{cm}^2/\text{sec}] = \frac{\lambda}{C} \tag{84}$$

Die Wärmeleitung (Wärmeflux) in einem bestimmten Boden wird im wesentlichen von seiner Temperaturleitfähigkeit und dem jeweils herrschenden Temperaturgefälle bestimmt.

Die spezifische Wärme und die Wärmekapazität ist für einige im Boden vorkommenden Substanzen in Tabelle 6/33 angegeben. Aus diesen Daten geht hervor, daß die spezifische Wärme der Festsubstanz je Volumeneinheit annähernd gleich groß ist. Stärkere Unterschiede bestehen nur gegenüber den Bestandteilen in anderer Aggregatform, also gegenüber Wasser und Luft.

Die Wärmekapazität eines bestimmten Bodenvolumens ergibt sich aus der Summe der spezifischen Wärme der einzelnen Bestandteile multipliziert mit ihrer Masse. Die Wärmekapazität der Bodenluft kann wegen ihres außerordentlich kleinen Wertes vernachlässigt werden. Deshalb entspricht die Wärmekapazität eines trockenen Bodens derjenigen seiner festen Bestandteile, eines zunehmend feuchten Bodens jedoch der des Wassers. Unterschiede in der Wärmekapazität der Böden sind somit in erster Linie durch Unterschiede im Wassergehalt bedingt.

Tabelle 6/33

Spezifische Wärme und Wärmekapazität für einige charakteristische Substanzen

Substanz	spezifische Wärme (c) [J/g · °C]*)	Wärmekapazität (C) (c · d) [J/cm <sup>3</sup> · °C]*)
Kalk	0,80	2,34
Sand	0,84	2,18
Ton	0,96	2,51
Luft	1,00	0,001
Torf	2,01	2,72
Eis	2,14	1,88
Wasser	4,19	4,19

\*) 1 J = 4,1868 cal

Tabelle 6/34

Anstieg der Wärmekapazität bei zunehmendem Wassergehalt in einem lehmigen Substrat (berechnet)

Wärmekapazität [J/cm <sup>3</sup> · °C]	Wassergehalt [Vol.-%]	Sättigung der Feldkapazität [%]	Wasserfüllung des Porenraumes [%]
1,13	0	0	0
1,34	5	17	10
1,55	10	33	20
1,76	15	50	30
1,97	20	67	40
2,18	25	83	50
2,39	30	106	60

Der Anstieg der Wärmekapazität mit der Feuchtigkeit geht für einen Lehm aus Tabelle 6/34 hervor. Man erkennt, daß ein bis zur Feldkapazität gesättigter Lehm die doppelte Energiemenge zu seiner Erwärmung benötigt als ein trockener. Leidet ein derartiger Boden unter Staunässe und erreicht dabei einen Wassergehalt von 50 Vol.-%, steigt seine Wärmekapazität sogar auf 3,22 J/cm<sup>3</sup> · °C an.

Die Wärmeleitfähigkeit beträgt bei der Festsubstanz  $0,5 \text{ bis } 8 \cdot 10^{-2}$ , beim Bodenwasser um  $0,6 \cdot 10^{-2}$ , beim Eis um  $2 \cdot 10^{-2}$  und bei der Bodenluft um  $0,25 \cdot 10^{-2}$  J/cm · °C. Luft ist somit ein ausgesprochen schlechter, Wasser ein besserer, die Festsubstanz der beste Wärmeleiter. Da es bei der Festsubstanz kaum Schwankungen gibt, wird die Wärmeleitfähigkeit im Boden vor allem vom jeweiligen Anteil an Wasser bestimmt. In einem Sand beispielsweise (Temperatur 20°C, Porenvolumen 45%) steigt die Wärmeleitfähigkeit bei einem Wassergehalt von 0 bis 20 M.-% von  $0,2 \text{ bis } 2,4 \cdot 10^{-2}$  J/cm · sec · °C an, wobei die Zunahme bei den ersten Feuchteprozenten am stärksten ist. Das kann darauf zurückgeführt werden, daß sich das Wasser zunächst an den Berührungsstellen der Bodenkörner sammelt und dadurch die Brücken zwischen diesen verstärkt. Mit steigendem Feuchtegehalt kommt dann der Brückenbildung im Verhältnis zur Zunahme des Wassergehaltes immer weniger Bedeutung zu, infolgedessen wird auch die relative Zunahme immer geringer.

Die Temperaturleitfähigkeit gibt an, wie schnell sich die Temperatur im Boden ausbreitet. Sie wirkt sich vor allem bezüglich der Entfernung aus, auf die eine Temperaturveränderung weitergegeben wird, z. B. bis zu welcher Bodentiefe eine Temperaturwelle vordringt. Nasse Böden haben gemäß Gleichung (84) eine größere Temperaturleitfähigkeit als trockene, da sich mit steigendem Wassergehalt die Wärmeleitfähigkeit stärker erhöht als die Wärmekapazität. Die Eindringtiefe der Temperatur (das ist die Tiefe, bis zu der noch ein Hundertstel der Oberflächentemperatur gelangt) ist demnach unterschiedlich. In einem nassen Sand beträgt sie 7,6 dm, in einem trockenen Sand etwa 2,4 dm.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß für indirekte Messungen der Bodenfeuchte auch die Änderung der Wärmekapazität, der Wärmeleitfähigkeit oder der Temperaturleitfähigkeit herangezogen wird.

### Erwärmbarkeit der Böden

Bestrahlt die Sonne mit gleicher Intensität Böden, die sich nur im Wassergehalt unterscheiden, dann erwärmen sich ausgesprochen trockene Böden in Oberflächennähe schnell, da sie eine geringe Wärmekapazität aufweisen, leiten die Wärme aber sehr langsam nach unten weiter, weil ihre Wärmeleitfähigkeit infolge des hohen Luftgehaltes gering ist. Die Luft umschließt hier weitgehend die einzelnen Bodenteilchen und wirkt somit als Isolator.

Die überschüssige Wärmeenergie dieser Zone wird teilweise wieder an die Atmosphäre abgegeben. Je grobkörniger das Substrat ist, um so langsamer erfolgt die Wärmeübertragung, weil die Berührungsfläche zwischen den Bodenteilchen kleiner als in feinkörnigen ist. Schon eine geringe Befeuchtung erhöht die Wärmeleitfähigkeit erheblich. Die Wärme dringt tiefer in den Boden ein und verteilt sich besser. Dadurch wird die Ackerkrume etwas weniger stark als bei trockenem Boden erwärmt. Mit weiterem Anstieg des Wassergehaltes wird die Wärmeableitung immer stärker und die Energie auf einen immer größeren Bodenraum verteilt. Das hat eine immer geringere Temperaturerhöhung in den oberen Bodenschichten zur Folge. Da mit steigendem Wassergehalt auch die Wärmekapazität zunimmt, erwärmt sich der Boden immer schwerer. Unter sehr nassen Verhältnissen wird dann die Erwärmung fast ausschließlich durch die hohe Wärmekapazität sowie die unter solchen Bedingungen besonders stark in Erscheinung tretende energiezehrende Verdunstung bestimmt.

In gleichem Maße, wie sich nasse Böden langsam erwärmen, kühlen sie sich auch verhältnismäßig langsam ab. Das Wasser wirkt also *abkühlend* auf den Boden und gleicht den Temperaturverlauf in ihm aus. Temperaturschwankungen sind bei feuchten Böden aber nur in der Oberflächenschicht geringer als bei trockenen. In den tieferen Zonen liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt, weil die Eindringtiefe der Temperatur in nassen Böden größer ist.

Da die Wasserkapazität und damit auch der Wassergehalt des Bodens maßgeblich von Substrat und Bodentyp abhängen, zeigen bestimmte Böden ein bestimmtes Verhalten gegenüber Temperatureinwirkungen. So erwärmen sich Tone und Torfe meist sehr langsam („*kalte*“ Substrate), Sande dagegen schneller („*hitze*“ Substrate). Staubleite, Grundgleite und Amphigleye zeigen im Frühjahr eine langsame, im Sommer oft eine schnelle Erwärmung. Man nennt sie daher auch *wechselwarme* Böden. Sandige Substrate durchfrieren schneller als tonige und organogene, tauen aber auch rasch wieder auf.

Die Erwärmung des Bodens kann künstlich durch Flüssigmulchen, insb. mit Bitumenemulsionen, verbessert werden. Durch den dunkelgefärbten Emulsionsfilm, den man nur streifenförmig aufzubringen braucht, wird die Albedo bis zu 50 % vermindert und damit die Bodentemperatur besonders im oberflächennahen Bereich erhöht, z. B. an strahlungsintensiven Tagen 3 bis 4 cm unter der Mulchlage bis zu 9 °C. Die Temperaturbeeinflussung durch Flüssigmulchen kann sich in Sanden bis 8 dm Tiefe auswirken.

### **Temperaturverlauf im Boden**

In unseren Breiten kann die Bodentemperatur in Abhängigkeit von den oben besprochenen Faktoren sehr unterschiedlich sein. Außerdem wird die Temperatur des Bodens auch über Strahlungsabschirmung durch die Vegetation und andere Bodenbedeckungsarten beeinflusst. Schon beim Tagesgang der Temperatur ergeben sich oft große Unterschiede (s. Abb. 6/48).

Aus den Kurven in Abbildung 6/48 läßt sich folgendes ableiten: Die Temperaturschwankungen sind an der Bodenoberfläche am größten und werden mit zunehmender Bodentiefe erheblich kleiner. In 5 dm Tiefe ist der Tagestemperaturgang bei diesem Standort bereits völlig ausgeglichen. Unter dem Schirm des Waldes sind die Temperaturschwankungen in allen Bodentiefen wesentlich geringer als im unbeschränkten Boden. Im übertragenen Sinne gilt das auch für Grünland und für Ackerböden mit Pflanzendecke. Der jahreszeitliche Temperaturgang des Waldbodens bleibt außerdem hinter dem unbeschränkten Flächen beträchtlich zurück.

Wird der Temperaturverlauf im Boden graphisch so dargestellt, daß man Linien gleicher Temperaturen (Isothermen) in ein Koordinatensystem einträgt, auf dessen Abszisse die Zeit und auf dessen Ordinate die Bodentiefe angegeben ist, erhält man Isoplethen. Als Beispiel sind in Abbildung 6/49 die *Chronoisoplethen* für einen Boden unter Kartoffeln wiedergegeben.

Innerhalb des Jahreszyklus treten gleichfalls große Schwankungen der Bodentemperaturen auf. In Abbildung 6/50 ist die klassische langjährige Beobachtungsreihe von Ka-

Ackerboden ( unbedeckt )

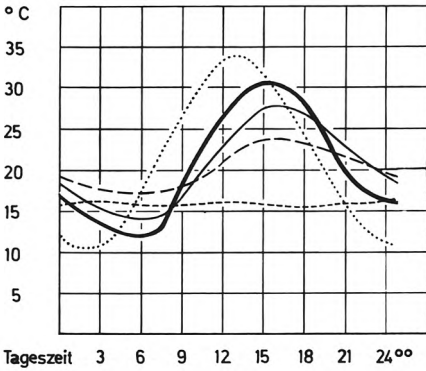
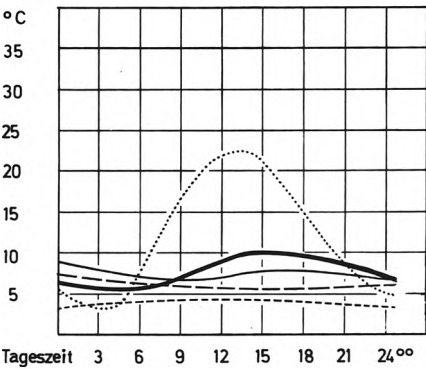


Abb. 6/48  
 Kennlinien des täglichen Temperaturganges benachbarter Sandböden unter Acker und Wald bei Eberswalde; wolkenloser Himmel Ende Mai 1956, Temperatur 2 m über Flur 20°C (nach Daten von Lützke, 1958)

Waldboden ( Kiefer - Buchenmischbestand )



- ..... unmittelbar an der Bodenoberfläche
- in 0,5 dm Tiefe
- in 1 dm Tiefe
- - - - in 2 dm Tiefe
- · - · in 5 dm Tiefe

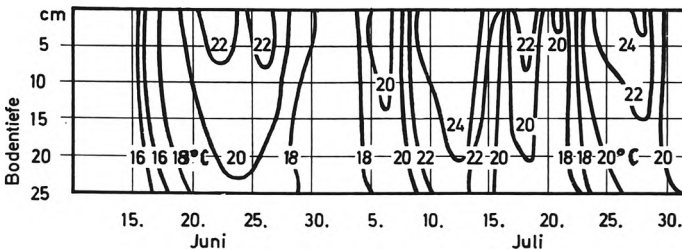
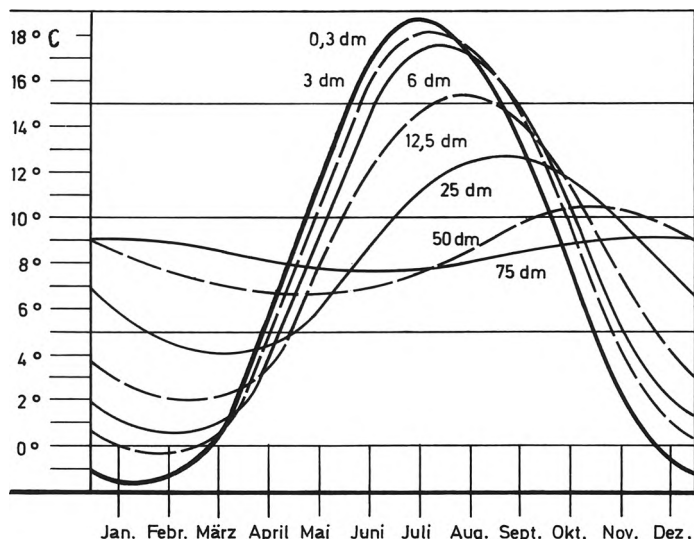


Abb. 6/49  
 Veränderung der Temperatur in Abhängigkeit von Bodentiefe und Zeit (Chronoisoplethen der Temperatur) unter Kartoffeln (nach Hesse, 1966)

liningrad dargestellt. Die Kurven erscheinen so regelmäßig, als seien sie theoretisch konstruiert. Mit wachsender Bodentiefe nehmen die Jahresschwankungen deutlich ab, außerdem tritt in der größten Tiefe eine Verzögerung des Temperaturmaximums um fast ein halbes Jahr gegenüber der Zone an der Bodenoberfläche ein.

Abb. 6/50  
 Kennlinien des jährlichen Temperaturganges in einem Boden bei Kaliningrad (nach Schmidt, Leyst in Geiger 1961)



#### 6.6.4. Bodenfrost

##### Der Gefrierprozeß im Boden

Der Gefrierpunkt des reinen nicht gespannten Bodenwassers liegt bei 0°C. Mit steigender Bindungsintensität tritt eine Gefrierpunkterniedrigung ein. So gefriert das Bodenwasser unter einer Saugspannung von pF 4,7 erst bei -0,4°C, der am stärksten gebundene Teil des Adsorptionswassers bei noch wesentlich niedrigeren Temperaturen. Da die gleiche Wassermenge in einem Boden um so stärker gebunden ist, je höher der Gehalt an Kolloidteilchen ist, gefriert bei gleichem Feuchtegehalt das Wasser in einem tonigen Substrat später als in einem lehmigen und in diesem wiederum später als in einem sandigen (Tab. 6/35). Und schließlich wird der Gefrierpunkt der Bodenlösung auch bei wachsendem Salzgehalt erniedrigt.

Der Vorgang des Gefrierens geht im Boden etwa folgendermaßen vor sich: Zunächst bilden sich beim Eindringen des Frostes in der obersten Bodenzone Eiskristalle an den

Tabelle 6/35

Gefrierpunkterniedrigung in Substraten mit unterschiedlichem Kolloidgehalt und damit unterschiedlicher Bindungsintensität (insb. gegenüber Adsorptionswasser) in Abhängigkeit vom Wassergehalt

Wassergehalt [%]	Gefrierpunkterniedrigung im	
	sandigen Lehm [°C]	tonigen Lehm [°C]
30	-0,1	- 0,2
20	-0,2	- 0,6
10	-0,3	- 2,9
5	-0,7	- 4,6
3	-1,1	- 6,7
2	-1,5	- 8,5
1	-2,2	-10,2

Wänden der größeren nichtkapillaren Hohlräume. Anschließend wird das Wasser aus den kleineren Hohlräumen sowie aus den Aggregaten nachgesaugt und gefriert an der Oberfläche der bereits vorhandenen Eisnadeln. Allmählich dringt der Frost tiefer in den Boden ein. Ist im Bereich der Frostschicht das vorhandene flüssige Wasser entsprechend seiner Bindungsstärke gänzlich in Eis umgewandelt, wird weiteres Wasser durch Kapillarhub in flüssiger Form und infolge des niedrigeren Dampfdruckes des Eises auch dampfförmig aus den tieferen Bodenschichten nachgesaugt. Dadurch kann der Wassergehalt beispielsweise in einem Boden aus Lehm bei zunächst 25 M.-% auf über 30 M.-% in der gefrorenen Ackerkrume ansteigen, in der darunterliegenden frostfreien Zone hingegen auf 20 M.-% und weniger absinken. Durch Eisbildung kann also das in den oberen Bodenzonen vorhandene Wasser vor dem Versickern bewahrt und außerdem aus dem Vorrat der unteren Zone ergänzt werden. Deshalb enthält die Ackerkrume im Frühjahr nach niederschlagsarmen Wintern relativ viel Feuchtigkeit, während die nichtgefrorene Zone im Unterboden relativ trocken ist.

Die *Volumenzunahme* um  $\pm 10\%$  beim Übergang von Wasser zu Eis während des Gefrierprozesses wirkt sich nur bei voller Wassersättigung des Bodens aus, da dann das entstehende Eis nicht in luftgefüllte Poren ausweichen kann. Hierbei kann ein Druck von mehreren 100 at entstehen. Entscheidender ist jedoch der beim Wachstum der Eiskristalle entstehende *Kristallisationsdruck*, der auch schon in wasserungesättigten Böden voll zur Wirkung kommt. Kristalle üben nämlich einen spezifischen Druck aus, wenn ihre regelmäßige Ausbildung behindert wird. Der Kristallisationsdruck verursacht im wesentlichen sowohl das Auffrieren des Bodens, was als *Frosthub* bezeichnet wird, als auch den Zerfall der Kluten. Er ist um so stärker, je größer die Eiskristalle sind (z. B. in schluffreichen Substraten) und je tiefer die Temperatur absinkt.

Je feinkörniger das Bodenmaterial ist, um so mehr Wasser wird zur Frostschicht transportiert. In solchen Böden bilden sich bei hoher Wassersättigung und geringer Eindringgeschwindigkeit des Frostes vorwiegend waagerechte Eisblätter und Eislinsen, man spricht auch von *geschichtetem Bodeneis*. Eisblätter können während des Winters besonders gut an den Wänden von Ziegeleigruben beobachtet werden. Die oberflächenparallele Schichtung des Eises verläuft senkrecht zur Richtung der Wärmeableitung. Ihre Ausbildung setzt sich so lange fort, bis entweder die Wassernachlieferung aufhört oder die beim Gefrierprozess abgegebene Wärme nicht mehr abgestrahlt werden kann.

In grobkörnigen Substraten, die meist weniger durchfeuchtet sind, dringt der Frost schneller ein. Es bilden sich keine Eislinsen und Eisblätter, sondern gleichmäßig verteilte kleine Eiskristallhüllen um die Bodenteilchen. In diesem Fall spricht man von *homogenem oder massivem Bodeneis*. Auch Tonsubstrate können in bestimmten Fällen massiv gefrieren, wenn nämlich die Temperatur sehr rasch absinkt oder wenn sie wenig durchfeuchtet sind. In Oberflächennähe findet man bei Tonen schließlich auch nadelförmige Eiskristalle.

### **Wirkung des Bodenfrostes**

Das *Auffrieren* des Bodens ist in ungesättigten Böden vorwiegend auf den Kristallisationsdruck, in mit Wasser gesättigten Böden auch auf den Ausdehnungsdruck des Eises zurückzuführen. Besonders gefährdet sind gleichkörnige Substrate ab 10% und ungleichkörnige ab 3% der Kornfraktionen  $< 0,02$  mm. Der Frosthub ist auch die Ursache für das Emporwandern von Steinen und das Abreißen von Pflanzenwurzeln. Häufiger Frostwechsel führt daher zum Auffrieren der Wintersaaten. Moore sind neben den feinkörnigen mineralischen Substraten besonders gefährdet.

Die schädigende Wirkung der Spätfröste kann man, je nach Wärmevorrat, durch Lockerung oder Verdichtung der oberflächennahen Bodenzone herabsetzen. Im zeitigen Frühjahr erschöpft sich bei verdichteter Oberflächennähe der ohnehin zunächst nur geringe Wärmevorrat infolge nächtlicher Ausstrahlung verhältnismäßig rasch, der Standort ist somit frostgefährdeter. In einer gelockerten Oberflächennähe ist die Wärmeausstrahlung infolge des höheren Luftgehaltes verlangsamt, hier be-

steht daher geringere Frostgefahr. Im späten Frühjahr ist es umgekehrt. Zu dieser Zeit verfügt der Boden bereits über einen höheren Wärmeverrat. Ist die Oberflächzone verdichtet, so kann bei Spätfrösten ein Teil dieser Wärme schneller zur Bodenoberfläche strömen und somit die Frostgefahr vermindern. Eine gelockerte Oberflächzone hingegen leitet die Wärme langsamer ab, der Standort ist daher frostgefährdeter. Kompliziert werden diese Verhältnisse weiterhin noch durch unterschiedlichen Bodenwassergehalt.

Das Auftauen des Bodens ist ein Vorgang, der nicht nur im Frühjahr, sondern dem allgemeinen Witterungsverlauf entsprechend auch schon während des Winters stattfinden kann. Die Schneedecke übt einen großen Einfluß auf die Tauvorgänge im Boden aus. Ein bereits vor dem Schneefall gefrorener Boden kann teilweise unter der Schneedecke wieder auftauen. Schneit es jedoch, bevor der Frost stärker in den Boden eingedrungen ist, hängt es von der Stärke der Schneeschicht ab, ob überhaupt bzw. in welchem Maße der Boden noch durchfriert. Ist keine Schneedecke vorhanden, dringt der Frost gewöhnlich tief in den Boden ein. Er taut dann meist erst im Frühjahr auf, es sei denn, daß bereits während des Winters wärmere Perioden auftreten. Wiederholtes Gefrieren und Auftauen des schneefreien Bodens führt während der Tauperioden zu unerwünschten Wasserverlusten infolge starker Evaporation aus der mit Feuchtigkeit angereicherten Oberflächzone.

Für die Auffüllung des Wasservorrates ist von Bedeutung, inwieweit der Boden zur Zeit der Schneeschmelze bereits aufgetaut ist. Im frostfreien Boden kann das Schmelzwasser gut einsickern, bei noch gefrorenem Boden fließt dagegen ein Teil oberflächlich ab und geht damit verloren. Gleichzeitig wird das Bodengefüge an der Oberfläche durch Verschlammung und Ausspülung zerstört. Es ist also günstig, wenn der Boden unter dem schmelzenden Schnee möglichst schnell frostfrei wird. Die Geschwindigkeit des Auftauvorganges wird von den gleichen Bodenfaktoren beeinflusst wie der Gefriervorgang.

Der Bodenfrost hat bei bestimmten Substraten einen nicht unerheblichen Einfluß auf die Gefügebildung. In tieferen Bodenhorizonten werden bei lehmigen und tonigen Substraten durch Frosteinwirkung Quellung sowie Schrumpfung und damit auch die Ausbildung der Gefügekörper mitbestimmt. Die durch Frost bedingte Aggregatbildung in der Krume, insbesondere in ihrem oberflächennahen Bereich, bezeichnet man als Frostgare, die durch Vorgänge verschiedenster Art verursacht wird. Der Zerfall von Schollen ist zu einem Teil auf die Wirkung des Kristallisationsdruckes zurückzuführen. Die Ausbildung eines Feinaggregatgefüges an der Oberfläche toniger Substrate wird durch die entwässernde Wirkung größerer Eiskristalle (insb. in Form von Nadeln und Linsen) hervorgerufen, in deren unmittelbarer Umgebung es infolge eines Austrocknungseffektes zu einer Aggregation durch Schrumpfung kommt. Die auf diese Weise entstandenen Gefügekörper sind insofern labil, als sie beim Auftauen der Eiskristalle durch Wasserübersättigung wieder zerstört (verschlamm) werden können. Nur bei schneller Versickerung des Tauwassers oder vorheriger Sublimierung der Eiskristalle bleiben die feinen Aggregate erhalten.

# Literaturauswahl

A. bedeutet „Albrecht-Thaer-Archiv“ (bis 1971) bzw. „Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde (ab 1972).

## Zum Hauptabschnitt 1 sowie das Gesamtgebiet betreffend

- Ehwald, E.: Zum Begriff und Wesen der Bodenfruchtbarkeit. Sitz.-Ber. Dt. Akad. Landwirtsch.-Wiss. Berlin 12 (1963), H. 14
- Fiedler, H.-J.; Reissig, H.: Lehrbuch der Bodenkunde. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag, 1964
- Groschoff, K.; Kundler, P.; Sachse, R. und Spaar, D.: Thesen zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit beim Übergang zur industriemäßigen Pflanzenproduktion. A. 19 (1975), S. 315
- Honecker, E.: Bericht des Zentralkomitees der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands an den IX. Parteitag der SED. Berlin: Dietz Verlag, 1976
- Kundler, P.: Grundlagen der Ausarbeitung komplexer Verfahren für die Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit. A. 20 (1976), S. 825
- Lieberoth, I.: Über das Wesen der Bodenfruchtbarkeit. Hamburg, Verhandlg. Int. Bodenkundl. Gesellsch., Komm. II u. IV, II (1958), S. 50
- Lieberoth, I.: Bodenkunde — Bodenfruchtbarkeit. 2. Aufl., Berlin: VEB Dt. Landw.-Verlag, 1969
- Marx, K.: Das Kapital. Bd. III. In: Marx/Engels Werke, Bd. 25, Berlin: Dietz Verlag, 1964
- Müller, P. u. Autorenkoll.: Grundlagen der Pflanzenproduktion. Lehrbuch für Agraringenieurschulen. Berlin: VEB Dt. Landw.-Verlag, 1971
- Scheffer, F.: Das Transformationsvermögen der Böden als Grundlage zu ihrer Bewertung. Landw. Forsch. (1963) So.-H. 17, S. 49
- Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. 9. Aufl. Stuttgart: F. Enke Verlag, 1976
- Scheffer, F.; Lieberoth, I.: Was versteht man unter Bodenfruchtbarkeit, -ertragsfähigkeit und -ertragsleistung? Dt. Landwirtsch. 8 (1957), S. 272
- Sindermann, H.: Direktive des IX. Parteitages der SED zum Fünfjahrplan für die Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR in den Jahren 1976—1980. Berlin: Dietz Verlag, 1976
- Spaar, D.; Kundler, P. u. Autorenkoll.: Empfehlungen zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit und Erzielung einer hohen Ackerkultur beim Übergang zur industriemäßigen Pflanzenproduktion in den KAP, LPG und VEG Pflanzenproduktion. 2. Aufl. agrabuch Landw.-Ausstellung der DDR, 1976
- Werner, K.: Grundsätze der Wiedernutzbarmachung von Braunkohlenkippen unter den volkswirtschaftlichen Bedingungen der DDR. Halle, Diss. B, 1973
- Werner, K.: Probleme der Rekultivierung der vom Bergbau hinterlassenen Flächen. Plenarvortrag 10. wiss. Tag. Bodenkdl. Gesell. der DDR. Cottbus, 1978

## Zu den Hauptabschnitten 2 und 3

- Altermann, M. u. Fiedler, H.-J.: Substrat- und Bodenwechsel am nördlichen Lößbrand des Schwarzerdegebietes der DDR. Hercynia N. F. 12 (1975), S. 130
- Altermann, M.; Haase, G.; Lieberoth, I.; Ruske, R.: Lithologie, Genese und Verbreitung der Löß- und Schuttsedimente im Vorland der skandinavischen Vereisungen. Schriftenr. Geol. Wiss. H. 9 (1978), S. 231
- Altermann, M.; Rabitzsch, K.: Zur Gliederung und Dokumentation der wichtigsten Lockersedimente der Mittelgebirge. Z. angew. Geol. 23 (1977), S. 130
- Altermann, M.; Ruske, R.: Beitrag zur Lithologie, Gliederung und Verbreitung des Gebirgsschuttes. Geologie 19 (1970), S. 895
- Ansorge, H.: Einfluß einer langjährigen Stroh- und Stallmistdüngung auf Ertrag und Humusgehalt des Bodens. A. 13 (1969), S. 1033



- Arens, K.; Haubold, W.; Oehme, W.-D.; Wünsche, M.: Bentonitmelioration auf Kippsanden zur Schaffung landwirtschaftlicher Nutzflächen. Referatensammlung VI. Int. Symp. Wiedernutzbar-machung devastierter Territorien, Donezk (UdSSR), 1976
- Asmus, F.: Zur Reproduktion der organischen Substanz des Bodens bei industriemäßiger Pflanzen- und Tierproduktion. Vortrag 8. wiss. Tagung Bodenkundl. Gesell. der DDR, Magdeburg, 1976
- Assmann, W.; Vogler, E.; Werner K.: Empfehlungen für die Rekultivierung von Kulturbodenkippen des Braunkohlenbergbaues. Wiss.-techn. Inf. f. d. Meliorationswesen. So.-H. 1 (1963)
- Barthel, H.; Schubert, A.; Wünsche, M.: Zur Wiederurbarmachung der Halde Espenhain. Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden 14 (1965), S. 105
- Breuning, W.; Schnieder, E.: Über die Wirkung der mineralischen und organischen Düngung in einem Thyrower Dauerdüngungsversuch. A. 16 (1972), S. 665
- Buhtz, E. u. Autorenkoll.: Ackerbauliche Aspekte, technische Lösungen und Verfahren zur Strohdüngung. Fortschrittsber. f. d. Land- u. Nahrungsgüterwirtschaft 13 (1975), H. 7
- Burricher, E.: Beiträge zur Beurteilung von Böden auf Grund fluoreszenzmikroskopischer Untersuchungen ihrer Mikroflora. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkde. 63 (1953), S. 154
- Cepek, A. G.: Zum Stand der Stratigraphie der Weichsel-Kaltzeit in der DDR. Wiss. Z. Univ. Greifswald, math.-naturwiss. R., 21 (1972), S. 11
- Cepek, A. G.: Information über den Stand der stratigraphischen Gliederung des Quartärs in der Deutschen Demokratischen Republik. IUGS-UNESCO-Projekt „Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere“, Report Nr. 2, Prague 1975, S. 67
- Cepek, A. G. u. Autorenkoll.: Zum Stand der Gliederung des Saale-Komplexes im mittleren Teil der DDR. Z. geol. Wiss. 3 (1975), S. 1049
- Cronewitz, E.; Dörter, K.; Lieberoth, I.; Pretzschel, M.: Standortkundliche Beurteilung der wichtigsten Auenböden der DDR als Grundlage für acker- und pflanzenbauliche sowie meliorative Maßnahmen. A. 18 (1974), S. 121
- Czerney, P.: Stadtkomposte – Herstellung, Anwendung und Nutzen. Dresden, Institut für Kommunalwirtschaft, 1973
- Diemann, R.: Genese und Ausbildung periglaziärer Decken im Jungmoränengebiet der DDR. Wiss. Z. Univ. Halle 26 (1977), S. 105 [1977b]
- Diemann, R.: Ausbildung und Entstehung des Substrattyps Tieflehm im nördlichen Jungmoränengebiet der DDR. A. 21 (1977), S. 17 [1977a]
- Domke, K.: Charakterisierung „freier“ und „gebundener“ Grauhuminsäuren und Braunhuminsäuren mittels chemischer und physikalischer Methoden. A. 16 (1972), S. 423
- Dunger, W.: Tiere im Boden. Wittenberg/Lutherst.: A. Ziemsen Verlag, 1964
- Dunger, W.: Unbekanntes Leben im Boden. Leipzig-Jena-Berlin: Uraniaverlag, 1970
- Ehwald, E.; Lieberoth, I.; Schwanecke, W.: Zur Systematik der Böden der DDR besonders im Hinblick auf die Bodenkartierung. Sitz.-Ber. Dt. Akad. Landw.-Wiss. Berlin 15 (1966), H. 18
- Ehwald, E.: Zur Problematik der optimalen Höhe des Humusvorrates. Moskau, Transact. 10<sup>th</sup> Intern. Congress Soil Sc. II (1974), S. 91
- Ehwald, E.: Studienmaterial für die Vorlesung „Bodenkunde“. Berlin, Humboldt-Univ., Studienjahr 1975/76
- Eich, D. u. Autorenkollektiv: Verfahren der Düngestoffproduktion. agrabuch, Landw.-ausstellung der DDR, 1978
- Eissmann, L.: Das Quartär der Leipziger Tieflandbucht und angrenzender Gebiete um Saale und Elbe. Schriftenr. geol. Wiss. Nr. 2 (1975)
- Fink, J.; Haase, G.; Ruske, R.: Bemerkungen zur Lößkarte von Europa 1:2,5 Mio. Peterm. Geogr. Mitt. 121 (1977), S. 81
- Flegel, R.: Verbreitung der Bodenerosion in der Deutschen Demokratischen Republik. Bodenkde. u. Bodenkultur H. 6 (1958)
- Franz, H.: Die Bodenfauna der Erde, Textband. Wiesbaden: Steiner Verlag GmbH, 1975
- Freytag, H. E.: Sedimentationserscheinungen bei der Redispersierung koagulierter Huminsäure-Suspensionen. A. 19 (1975), S. 163
- German, R.: Sedimente und Formen der glazialen Serie. Eiszeitalter u. Gegenwart 23/24 (1973), S. 5
- Greilich, G.: Über die Steuerung der Mineralisierung und Humifizierung organischer Substanzen mit Hilfe von Eisensulfat als Wirkagens. A. 15 (1971), S. 249
- Greilich, J.; Kleinhempel, D.: Über den Einfluß von Eisenverbindungen bei der Umsetzung von Stroh im alkalischen Medium. A. 16 (1972), S. 587
- Gripp, K.: Untermoräne – Grundmoräne – Grundmoränenlandschaft. Eiszeitalter u. Gegenwart 25 (1974), S. 5

- Haase, G.; Lieberoth, I.; Ruske, R. u. a.: Sedimente und Paläoböden im Lößgebiet. In: Periglazial-Löß-Paläolithikum im Jungpleistozän der DDR. Gotha/Leipzig: VEB H. Haack 1970, S. 99
- Händel, D.: Zur Genese des Auelehmes in den nordwestsächsischen Flußauen. *Geologie* 13 (1964), S. 1 144
- Händel, D.; Schützenmeister, W.; Walter, H.: Die Aufgaben der Geologie bei der Nachnutzung von Bergbauflächen im Raum Leipzig-Borna. *Z. geol. Wiss.* 2 (1974), S. 1003
- Hannemann, M.; Kopp, D.: Lithochemische Untersuchungen zur stratigraphischen Gliederung pleistozäner Sedimente. *Z. angew. Geologie* 18 (1972), S. 392
- Hartwig, R.: Ausbildung und Genese der periglaziären Perstruktionsserie im Jungmoränengebiet der DDR. Greifswald, Diss. A, 1978
- Heinrich, W.-D. u. Autorenkoll.: Die quartäre Wirbeltierstätte bei Malchin. Teil I. *Wiss. Z. d. Humboldt-Univ. Berlin, math.-naturwiss. R.*, 24 (1975), Nr. 5
- Herz, K. u. a.: Faktoren und Wirkungen bodenerosiver Vorgänge unter den gegenwärtigen Bedingungen der Pflanzenproduktion. Vortr. Sekt. „Landeskultur u. Naturschutz“/„Ackerbau u. Melioration“, AdL der DDR, Okt. 1978
- Igel, H.: Über die Humifizierung und Mineralisierung organischer Substanzen in größeren Bodentiefen. *A. 16* (1972), S. 581
- Igel, H.; Freytag, H. E.: Untersuchungen über Änderung der Huminstoffspektren nach Tiefenlockerung des Bodens unter besonderer Berücksichtigung der „Differenzspektren“. *A. 18* (1974), S. 715
- Illner, K.: Die landwirtschaftliche Rekultivierung von Kippen nach der Grundmelioration. Veröff. Inst. Landschaftspflege, Humboldt-Univ. Berlin, 1967, S. 28
- Illner, K.; Kawelke, Ch.; Raasch, H.; Wünsche, M.: Über einheitliche Verfahren der Bodenuntersuchung für die Kartierung von Kipprohböden. Veröff. Inst. Landschaftspflege, Humboldt-Univ. Berlin, 1968/I
- Just, G.: Eine Feldmethode zur Ansprache des Schluff- und Tongehaltes von Bodenproben. *A. 17* (1973), S. 255
- Kaš, V.: Mikroorganismen im Boden. Wittenberg/Lutherst.: A. Ziemsen Verlag 1966
- Kleinhempel, D.: Ein Beitrag zur Theorie des Huminstoffzustandes. *A. 14* (1970), S. 3
- Kliewe, H.: Zum Litorinamaximum aus südbaltischer Sicht. *Wiss. Z. Univ. Jena, math.-naturwiss. R.* 14 (1965), H. 4
- Kliewe, H.; Janke, W.: Verlauf und System der Marginalzonen der letzten Vereisung auf dem Territorium der DDR. *Wiss. Z. Univ. Greifswald, math.-nat. R.*, 21 (1972) 1, S. 31
- Köhnlein, H.; Vetter, H.: Ernterückstände und Wurzelbild. Berlin u. Hamburg: Verlag P. Parey, 1953
- Köster, E.: Granulometrische und morphometrische Meßmethoden. Stuttgart: F. Enke Verlag, 1964
- Kolbe, G.; Stumpe, H.: Die Wirkung verschiedener gelagerter Stallmiste auf Pflanzenertrag und Bodeneigenschaften. *A. 11* (1967), S. 947
- Kolbe, G.; Stumpe, H.: Neunzig Jahre „Ewiger Roggenbau“. *A. 13* (1969), S. 933
- Kononova, M. M.: Die organische Bodensubstanz. Moskau: Verlag Akademie Wiss. der UdSSR, 1963 (russ.)
- Kopp, D.: Die Bodenformen in den Wäldern des Nordostdeutschen Tieflandes. Tharandt, Habilitationsschrift, 1967
- Kopp, D.: Kryogene Perstruktion und ihre Beziehung zur Bodenbildung im Moränengebiet. In: Periglazial-Löß-Paläolithikum. Gotha/Leipzig: VEB H. Haack, 1970, S. 269 [1970b]
- Kopp, D.: Der Humusvorrat der Waldböden im Tiefland der DDR. *A. 22* (1978), S. 501
- Kopp, D. unter Mitarb. von Schwanecke, W. u. a.: Ergebnisse der forstlichen Standortserkundung in der DDR. Bd. I: Die Waldstandorte des Tieflandes, 1. u. 2. Lieferung. Potsdam: VEB Forstprojektierung, 1969 u. 1973
- Kopp, D.: Periglaziäre Umlagerungs-(Perstruktions-)zonen im nordmitteleuropäischen Tiefland und ihre bodengenetische Deutung. In: Beiträge zur Bodensystematik unter besonderer Berücksichtigung reliktscher und rezenter Merkmale. Tag.-Ber. Dt. Akad. Landw.-Wiss. Berlin Nr. 102 (1970), S. 55 [1970a]
- Kopp, D.; Hürtig, H.: Zur Weiterentwicklung der Standortsgliederung im norddeutschen Tiefland. *Archiv Forstw.* 9 (1960), S. 387
- Kühn, G.; Lange, I.: Der Einfluß einer Gülledüngung im Vergleich zu anderen organischen Düngemitteln. *A. 13* (1969), S. 1 109 [1969a]
- Kühn, G.; Lange, I.: Der Einfluß einer langjährigen Strohdüngung auf Bodenfruchtbarkeit und Ertrag. *A. 13* (1969), S. 1 117 [1969b]

- Kugler, H.: Die Entwicklung der geomorphologischen Karten des Atlas DDR als Beitrag zur Strukturforchung und Ressourcenerkundung in der Deutschen Demokratischen Republik. Geogr. Ber. 14 (1969), S. 242
- Kugler, H.: Geomorphologische Erkundung und agrarische Landnutzung. Geogr. Ber. 80 (1976), S. 190
- Kundler, P.; Koriath, H.; Kolbe, G.: Zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit beim Übergang zur industriemäßigen Pflanzenproduktion und Kritik falscher Auffassungen. A. 19 (1975), S. 233
- Kvasov, D. D.: Postulate einer Eiszeit-Theorie. Eiszeitalter u. Gegenwart 22 (1971), S. 178
- Laves, D.: Beitrag zur mikromorphologischen, chemischen und mineralogischen Kennzeichnung von korndifferenzierten Böden unter besonderer Berücksichtigung der Ton- und Tonmineralanalyse. Eberswalde, Diss., 1969
- Lembke, H.; Altermann, M.; Markuse, G.; Nitz, B. u. a.: Die periglaziäre Facies im Alt- und Jungmoränengebiet nördlich des Lößgürtels. In: Periglazial-Löß-Paläolithikum. Gotha/Leipzig: VEB H. Haack, 1970, S. 213
- Lieberoth, I.: Beobachtungen im nordsächsischen Lößgebiet. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 131 (1959), S. 141
- Lieberoth, I.: Über den Einfluß der Ackerkultur auf die Bodenentwicklung im sächsischen Lößgebiet. A. 6 (1962), S. 1
- Lieberoth, I.: Bodenbildung aus Löß während des Pleistozäns und Holozäns in Sachsen. Leipzig, Habilitationsschrift, 1964 [1964a]
- Lieberoth, I.: Untersuchungen zur Gliederung der Schwarzerden in der Deutschen Demokratischen Republik. Bukarest, Ber. VIII. Int. Bodenkd. Kongr., V (1964), S. 299 [1964b]
- Lieberoth, I.: Primärbeziehungen zwischen quartärer Deckschicht, Bodenentwicklung und Bodenfruchtbarkeit in bezug auf die Nutzung der natürlichen Ressource Boden. Vortrag Berg- u. Hüttenmänn. Tag, Freiberg, 1975
- Lieberoth, I.; Dunkelgod, P.: Ein Beitrag zum Einfluß der natürlichen Standortfaktorenkomplexe Boden und Klima auf den Ertrag von Getreide. Tag.-Ber. Akad. Landw.-Wiss. der DDR Nr. 139 (1975), S. 165
- Lieberoth, I. u. Autorenkoll.: Exkursion II (Umgebung von Berlin). Tag.-Ber. Dt. Akad. Landw.-Wiss. Berlin Nr. 102 (1970), S. 301
- Lorenz, W.-D.; Wünsche, M.: Zum Kulturwert der Deckgebirgsschichten im Bereich der Braunkohlentagebaue der DDR. Bergbautechnik 19 (1969), S. 471
- Marcinek, J.; Nitz, B.: Das Tiefland der Deutschen Demokratischen Republik. Gotha/Leipzig: VEB Hermann Haack, 1973
- Markgraf, G.; Borchmann, W.: Funktionen des Bodens bei der Sicherung einer optimalen Nährstoffversorgung der Pflanzen unter industriemäßigen Produktionsbedingungen. A. 20 (1976), S. 825
- Morgenstern, H.; Thiere, J.: Gliederung und Kennzeichnung von Böden mit Staunässemerkmalen. Eberswalde, Diss. B., 1970
- Müller, G.: Bodenbiologie. Jena: G. Fischer-Verlag, 1965
- Müller G.: Ermittlung bodenmikrobiologischer Aktivitätsparameter. V. Mitt., Zbl. Bakt. Abt. II, 128 (1973), S. 805
- Müller, G.: Stand und Entwicklung der bodenbiologischen Forschung sowie die Nutzung ihrer Ergebnisse in der DDR. A. 18 (1974), S. 657
- Müller, G.; Förster, I.: Ein Beitrag zur Dynamik der Nährstofffreisetzung aus primären Mineralien durch mikroskopische Bodenpilze. A. 8 (1964), S. 153
- Mundel, G.: Untersuchungen zur Entstehung des Havelländischen Luches und seiner Veränderungen durch Meliorationsmaßnahmen mit besonderer Berücksichtigung der Torfmineralisation. Paulinenaue, Diss., 1969
- Quartärkomitee der DDR (Herausg.): Probleme der weichsel-spätglazialen Vegetationsentwicklung in Mittel- und Nordeuropa. Vorträge Frankfurt/O. März 1969. Frankfurt/O.: Selbstverlag, 1970
- Rau, D.: Böden. In: Geologie von Thüringen. Kap. 7. Gotha/Leipzig: VEB Hermann Haack, 1974
- Rauhe, K.: Der Einfluß des Futterbaues sowie der organischen und mineralischen Düngung auf den C- und N-Gehalt des Bodens im Fruchtfolgeversuch Seehausen. A. 13 (1969), S. 455
- Rawald, W.: Über die bodenenzymatische Aktivität als Komponente der bodenbiologischen Aktivität ... Zbl. Bakteriolog., II. Abt., 125 (1970), S. 363
- Rawald, W.; Klein, W.: Übersicht über die Humusverhältnisse im Oberboden der wichtigsten Bodenformen der DDR. Manuskript, Eberswalde, 1970
- Reuter, G.: Rostocker Dauerversuche zur Humusbildung im Boden. Moskau, Transact. 10<sup>th</sup> Intern. Congress Soil Sc. II (1974), S. 105 [1974a]

- Reuter, G.: Bildung und Entwicklung von Böden unter dem Einfluß von Kulturmaßnahmen. Z. geol. Wiss. 2 (1974), S. 991 [1974b]
- Reuter, G.: Experimentelle Bodenbildung auf Sand und Geschiebemergel. In: Erfahrungen u. Probleme ... Univ. Rostock, 1976, S. 77
- Richter, G.: Bodenerosion. Bad Godesberg: Selbstverlag 1965
- Richter, H.: Naturräumliche Strukturmodelle. Peterm. Geogr. Ber. 112 (1968), S. 9
- Richter, H.; Haase, G.; Lieberoth, I.; Ruske, R. (Herausg.): Periglazial-Löß-Paläolithikum im Jungpleistozän der DDR. Gotha/ Leipzig: VEB Hermann Haack, 1970
- Richter, H.; Ruske, R.; Schwanecke, W.: Die periglaziäre Facies im lößfreien Hügelland und im Mittelgebirge. In: Periglazial-Löß-Paläolithikum im Jungpleistozän der DDR. Gotha/Leipzig: VEB H. Haack, 1970, S. 57
- Rotsche, J.: Die Schwermineralzusammensetzung periglazialer Deckschichten des Thüringer Buntsandsteingebietes in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial. Chemie d. Erde 32 (1974), S. 259
- Runge, M.: Westberliner Böden anthropogener Litho- oder Pedogenese. Berlin-W., Diss., 1975
- Scharpenseel, H. W.: Messung der natürlichen C-14 Konzentration in der organischen Substanz von rezenten Böden. Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkd. 133 (1972), S. 241
- Scheffer, F.; Fölster, H.; Meyer, B.: Zur Diagnostik und Systematik von Dreischicht-Tonmineralen in Böden und pedogenen Sedimenten. Chemie der Erde 21 (1961), S. 210
- Schilling, W.; Wiefel, H.: Jungpleistozäne Periglazialbildungen und ihre regionale Differenzierung in einigen Teilen Thüringens und des Harzes. Geologie 11 (1962), S. 428
- Schlüter, H.: Hochmoorgesellschaften im Thüringer Wald. Mitt. Flor.-soziol. Arbeitsgem. N. F., H. 14 (1969), S. 346
- Schmidt, R.; Diemann, R.: Richtlinie für die mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung. Akad. Landw.-Wiss. der DDR, Inst. Bodenkd. Eberswalde, Selbstverlag 1974
- Schmidt, W.; Illner, K.: Bodenformen landwirtschaftlich genutzter Niedermoore. Mel.- u. Landwirtschaftsbau 10 (1976), S. 166
- Schneider, F.: Wirkung unterschiedlich gerotteter Stadtkomposte auf die Pflanzenerträge bei periodischer Anwendung als organischer Dünger. A. 18 (1974), S. 747
- Schnieder, E.: Über die Auswirkung des meliorativen Tiefpflügens auf Ertragsleistung und Humushaushalt im Dauerversuch Thyrow. A. 15 (1971), S. 435
- Schnieder, E.: Der Humusgehalt im Boden des Thyrower Bodenfruchtbarkeitsversuches. A. 16 (1972), S. 165
- Schnieder, E.: Einfluß der mineralischen und organischen Düngung auf den Humushaushalt und die Erträge in den Thyrower Dauerversuchen. Vortrag wiss. Jahrestag. Sektion Pflanzenproduktion der Humboldt-Univ., Berlin 1975
- Schroeder, D.: Bodenkunde in Stichworten. 2. Aufl. Kiel: Verlag Ferdinand Hirt, 1972
- Schubert, K.: Bodenmechanik. 2. Lehrbrief., II. Ausg. Berlin: VEB Verlag Technik, 1968
- Schwanecke, W.: Die periglaziären Umlagerungszonen im Hügelland und Mittelgebirge der DDR und ihre bodenkundliche Bedeutung. Tag.-Ber. Dt. Akad. Landw.-Wiss. Berlin Nr. 102 (1970), S. 83
- Schwanecke, W.; Kopp, D.: Land- und Forstwirtschaftliche Klimagliederung der DDR. In: Planungsatlas der Landw. u. Nahrungsgüterw. der DDR, 1970, Karte 2.2.
- Steinbrenner, K.; Mundstock, I.: Untersuchungen zum Humusstoffabbau durch Nokardien. A. 19 (1975), S. 243
- Stohr, G.: Über Untersuchungen zur Bakterienbesatzdichte in Böden von Düngungsversuchen. A. 16 (1972), S. 13
- Stroppe, H. u. Autorenkoll.: Physik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1974
- Stumpe, H.; Kolbe, G.: Die Wirkung von Stallmist und Mineraldüngung auf Pflanzenertrag und Bodeneigenschaften. A. 12 (1968), S. 79
- Succow, M.: Die Talmoore des nordostdeutschen Flachlandes, ein Beitrag zur Charakterisierung des Moortyps „Niedermoor“. Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch. 11 (1971), S. 133
- Succow, M.: Vorschlag einer systematischen Neugliederung der mineralbodenbeeinflußten wachsenden Moorvegetation Mitteleuropas unter Ausklammerung des Gebirgsraumes. Feddes Repertorium 85 (1974), S. 57
- Succow, M.: Die Moortypen der DDR und ihre Bewertung für die Humuswirtschaft. Z. angew. Geol. 26 (1980), S. 193
- Thiere, J.: Vergleichende Untersuchungen an Wald- und Ackerböden des Jungmoränengebietes der DDR. Eberswalde, Diss., 1968
- Thiere, J.: Vergleichende Untersuchungen an Wald- und Ackerböden des Jungmoränengebietes der DDR. A. 13 (1969), S. 787

- Thiere, J.; Laves, D.: Untersuchungen zur Entstehung der Fählerden, Braunerden und Staugleye im nordostdeutschen Jungmoränengebiet. A. 12 (1968), S. 659
- Thiere, J.; Morgenstern, H.: Zur Typisierung der Hydromorphiemerkmale stauvernäßer Böden. A. 14 (1970), S. 413
- Törne, E. v.: Experimentelle Motivation systemökologischer Deutungen von zootischen Aggregationen im Boden. Pedobiologia 14 (1974), S. 324
- Vetterlein, E.: Wasserbewegung und Bodeneigenschaften. Eberswalde, 1970 [Manuskript]
- Wabersich, R.: Der Bernburger Dauerdüngungsversuch. 1. und 2. Mitt. A. 11 (1967), S. 661 u. 899
- Werner, D.: Zur Beurteilung der Erodierbarkeit verschiedener Böden am Beispiel der Sand-Braunerde und Tonmergel-Rendzina. A. 12 (1968), S. 569
- Werner, D.: Zur Beurteilung der Erodierbarkeit verschiedener Böden am Beispiel von Sandlöß-Staugley und Ton-Ranker. A. 13 (1969), S. 247
- Werner, K.: 1973 [s. Lit. Hauptabschn. 1]
- Werner, K. u. Autorenkoll.: Verfahren zur landwirtschaftlichen Rekultivierung von Kippen des Braunkohlenbergbaues. Akad. Landw.-Wiss. der DDR, Inst. Landschaftsforsch. u. Naturschutz Halle, 1974
- Wiefel, H.: Jungtertiäre Bodenrelikte und Zersatzbildungen im ostthüringisch-vogtländischen Schiefergebirge. Ber. Geol. Gesell. DDR 10 (1965), S. 611
- Witthauer, J.; Klöcking, R.: Bindungsarten des Stickstoffs in Huminsäuren. 1. und 2. Mitt. A. 15 (1971), S. 577 u. 633
- Woldstedt/Duphorn: Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter. Stuttgart: K. F. Koehler Verlag 1974
- Wünsche, M.: Die Bewertung der Abraumsstrate für die Wiederurbarmachung im Braunkohlenrevier südlich von Leipzig. N. Bergbautechnik 6 (1976), S. 383
- Wünsche, M.; Lorenz, W.-D.; Schubert, A.: Die Bodenformen der Kippen und Halden im Braunkohlengebiet südlich von Leipzig. Veröff. z. Landschaftspflege u. -planung, Humboldt-Univ. Berlin 1969/I
- Wünsche, M.; Nebe, W.: Zur Kenntnis präenomaner Böden auf osterzgebirgischen Graugneisen. Geologie 14 (1965), S. 851
- Wünsche, M. u. Autorenkoll.: Aufbau, Entwicklung, Gliederung und räumliche Verteilung der Böden im Raum Hetzdorf, Kreis Freiberg/Sa. Mitt. VEB Geol. Erkundung Süd, Freiberg, Nr. 164 (1962), S. 53
- , Klimakunde des Deutschen Reiches. Tabellenband. Berlin, 1938

#### **Zu den Hauptabschnitten 4 und 5**

- Adler, G.; Lieberoth, I.: Schnelle Verfügbarkeit von Standortdaten und rationelle Ausgrenzung von Bodengebieten mit Hilfe der Gemeindedatei des Datenspeichers Boden. Vortrag 8. wiss. Tagung der Bodenkdl. Gesellsch. der DDR, Magdeburg, 1976
- Adler, G.; Lieberoth, I.: Sachlogische und programmtechnische Konzeption des Datenspeichers „Boden“-Gemeindedatei. rechentechn.-datenverarb. 15 (1978), H. 10, S. 33
- Altermann, M.: Zur Kennzeichnung der Schwarzstaugleye der Köthener Ebene. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 65
- Altermann, M.: Substrate und Böden des industriellen Ballungsgebietes Halle-Merseburg-Bitterfeld (Kreisgebiete) und die Bedeutung bodengeologischer Kartierungsarbeiten für verschiedene Zweige der Volkswirtschaft. Ber. dt. Ges. geol. Wiss., A, Geol. Paläont., 16 (1971), S. 651
- Altermann, M.; Mania, D.: Zur Datierung von Böden im mitteldeutschen Trockengebiet mit Hilfe quartärgeologischer und urgeschichtlicher Befunde. A. 12 (1968), S. 539
- Altermann, M.; Mautschke, J.: Zur Kenntnis und Verbreitung der Böden der Umgebung von Halle. A. 16 (1972), S. 871
- Altermann, M. u. Autorenkoll.: Beitrag zum Inhalt und zur Darstellung von Bodenkarten. A. 14 (1970), S. 425
- Asmus, F.; Dunkelgod, P.: Erläuterungen zur Bodenkarte in der LPG Typ 1 Vichel, Kreis Neuruppin (mit Bodenkarte). Inst. Bodenkde. Eberswalde, 1965 [Manuskript]
- Asmus, F.; Thiere, J.: Kennzeichnung anhydromorpher Bodenformen des Nordostdeutschen Jungmoränengebietes. A. 11 (1967), S. 375
- Bätz, G.; Franko, J.: Inhalt und Aufbau eines Datenspeichers „Versuchsergebnisse-Pflanzenproduktion“ in der DDR. Internat. Z. Landw. 19 (1975), S. 538

- Barsch, H.: Zur Kennzeichnung der natürlichen Ausstattung von Agrarstandorten in den mittleren und nördlichen Bezirken der DDR. Geogr. Ber. 56 (1970), S. 208 [1970a]
- Barsch, H.: Zur Kennzeichnung der Schwarzgrundgleye auf den Auenterrassen des Brandenburg-Potsdamer Havelgebietes. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 59 [1970b]
- Barsch, H.: Zur Kennzeichnung der Erdhülle und ihrer räumlichen Gliederung in der landschaftskundlichen Terminologie. Peterm. Geogr. Mitt. 119 (1975), S. 81 [1975a]
- Barsch, H.: Naturraumtypen der Täler und Niederungen des Tieflands der DDR. Hercynia N. F. 12 (1975), S. 418 [1975b]
- Barsch, H.: Möglichkeiten der Erfassung des Beziehungsgefüges von Bodenmerkmalen im Rahmen der quantitativen Kennzeichnung von Geosystemen. Wiss. Z. Päd. Hochsch. Potsdam 21 (1977), S. 437
- Barsch, H.; Knothe, D.: Ableitung von Potentialeigenschaften chorischer Naturräume aus geökologischen Untersuchungen. Wiss. Abh. Geogr. Gesell. der DDR 14 (1978), S. 9
- Cronewitz, E.; Dörter, K.; Lieberoth, I.; Pretzschel, M.: 1974 (s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3)
- Diemann, R.: Grundlage der Rahmenlegende der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung im nördlichen Tiefland der DDR. A. 22 (1978), S. 471 [1978a]
- Diemann, R.: Standorteinheiten der forstlichen Standortserkundung des Tieflandes und der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung. Wiss. Z. Päd. Hochsch. Potsdam 22 (1978), S. 343 [1978b]
- Diemann, R.: Genetische Beziehungen zwischen Böden und periglaziären Decken im nördlichen Jungmoränengebiet der DDR. Z. geol. Wiss. 2 (1974), S. 715
- Ehwald, E.: Zur Systematik der Schweren Böden. Wiss. Z. Univ. Jena, math.-naturwiss. R., 14 (1965), S. 19
- Ehwald, E.: Zur Systematik der Böden der DDR unter Berücksichtigung rezenter und reliktscher Merkmale. Tag.-Ber. Dt. Akad. Land.-Wiss. Berlin 102 (1970), S. 9
- Ehwald, E.; Krüger, W.; Benkenstein, H.: Verfahren zur Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit in skeletthaltigen Böden. A. 22 (1978), S. 3
- Ehwald, E.; Sjang, Sch-Dchin: Zur Frage der Pelosole (Bodenbildung auf Keupermergeln des Thüringer Beckens). A. 8 (1964), S. 419
- Enzmann, J.; Schnurrbusch, G.: Ursachen eines unzureichenden Meliorationseffektes von Rohrdrainagen in einem primären Pseudogley. Wiss. Z. Univ. Jena, math.-naturwiss. R. 14 (1965), S. 105
- FAO-Unesco: Soil map of the world 1:500 000. Volume I, Legend. Unesco-Paris, 1974
- Fiedler, F.: Methoden der Bodenanalyse. Bd. 1: Feldmethoden. Dresden: Verlag Th. Steinkopff, 1973
- Fischer, G.; Winterstein, H. u. a.: Die Reliefverhältnisse im Bezirk Erfurt. Rat des Bezirkes Erfurt, Abt. Land- und Nahrungsgüterwirtschaft, Selbstverlag 1976
- Fridland, V. M.: Die Struktur der Bodendecke und die Methoden der kartographischen Darstellung der Böden. Tag.-Ber. Akad. Landw.-Wiss. Berlin Nr. 102 (1970), S. 195
- Fridland, V. M.: Über die Struktur der Bodendecke (russ.). Moskau: Verlag Mysl', 1972
- Frielinghaus, M.: Zur Verbesserung der technologischen Eignung heterogener Moränenstandorte durch ausgleichende Bodenmelioration. Vortrag 8. wiss. Tag. Bodenkdl. Gesell. der DDR, Magdeburg, 1976
- Frielinghaus, M.; Spitzl, M.: Wirkung der Tieflockerung und Tiefdüngung auf die Durchwurzelung des Unterbodens einer Tieflehm-Fahlerde. A. 20 (1976), S. 369
- Gebhard, E.; Illner, K.: Über die Porösität von Niedermoortorfen. A. 20 (1976), S. 259
- Görlitz, H.; Asmus, F.; Lange, H.; Specht, G.: EDV-Programme „Organische Düngung“ zur Berechnung von fruchtarten- und schlagbezogenen Düngungsempfehlungen. A. 17 (1973), S. 884
- Gora, A.: Einfluß der Tieflockerung und Tiefkalkung ... azidischer Staugleyformen ... A. 15 (1971), S. 107
- Grossmann, K.; Held, J.; Künkel, K.: Das EDV-Projekt Datenspeicher „Witterung-Pflanzenproduktion“ (DAWIP). A. 20 (1976), S. 333
- Haase, G.: Bemerkungen zur Methodik einer großmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung auf der Grundlage landschaftsökologischer Erkundungen. Wiss. Z. Univ. Halle 16 (1967), S. 669 [1967a]
- Haase, G.: Zur Methodik großmaßstäbiger landschaftsökologischer und naturräumlicher Erkundung. Wiss. Abh. Geogr. Gesell. der DDR 5 (1967), S. 35 [1967b]
- Haase, G.: Pedon und Pedotop. In: Landschaftsforschung. Peterm. Geogr. Mitt., Erg.-H. 271 (1968), S. 57

- Haase, G.: Die Gliederung der Pedosphäre in regionalgeographischer Sicht. Dresden, Habil-Schrift, 1970
- Haase, G.: Der Inhalt mittelmaßstäbiger Bodenkarten und seine Darstellungsmöglichkeiten. *Peterm. Geogr. Mitt.* 115 (1971), S. 225
- Haase, G.: Bemerkungen zu Zielstellung und Inhalt eines Forschungsprogramms zur Thematik „Geoökologische Grundlagen der Planung komplexer landeskultureller Maßnahmen“. *Geogr. Gesell. der DDR, Fachsekt. Physische Geographie, Mitt.-Bl. Nr. 2* (1973)
- Haase, G.: Zur inhaltlichen Generalisierung bei der Gestaltung mittelmaßstäbiger Bodenkarten — dargestellt am Beispiel der Bodenkarte der DDR 1:500000. *Studio Geographica Brno* 54 (1975), S. 45
- Haase, G.; Schmidt, R.: Die Struktur der Bodendecke und ihre Kennzeichnung. *A.* 14 (1970), S. 399
- Haase, G.; Schmidt, R.: Bodenregionen in der DDR. *A.* 15 (1971), S. 885
- Haase, G.; Schmidt, R.: Zur Ermittlung des Ertragspotentials landwirtschaftlich genutzter Flächen auf der Grundlage geoökologischer Erkundungen. *Biologie Krajiny Bratislava* 11 (1973), S. 93
- Haase, G.; Schmidt, R.: Struktur und Gliederung der Bodendecke der DDR. *Peterm. Geogr. Mitt.* 119 (1975), S. 279
- Haeckel, E.: Karten für die Leitung und Planung in sozialistischen Pflanzenproduktionsbetrieben. Halle, Diss. A, 1977
- Hagemann, O.; Ansorge, H.; Jauert, R.; Görlitz, H.: Berücksichtigung von Standort und erreichtem Düngungsniveau bei der Berechnung der optimalen Stickstoffdüngung zu Getreide im Modell für Düngungssysteme. *A.* 16 (1972), S. 123
- Herz, K.: Strukturprinzipien der Landschaftssphäre. *Geogr. Ber.* 71 (1974), S. 100
- Herz, K. u. Autorenkoll.: Einführung in die Landschaftsanalyse. *Lehrmat. z. Ausbild. v. Diplomlehrern Geogr. Dresden: Selbstverlag* 1975
- Herzog, R.; Bosse, O.: Auswirkung differenzierter Pflugtiefen in der Fruchtfolge auf einige Bodeneigenschaften und die Erträge eines Tieflehm-Staugleys. *A.* 20 (1976), S. 281
- Hoffmann, H.; Voigtländer, U.: Möglichkeiten der Nutzung von Luftbildern für die Meliorationsvorbereitung. *A.* 20 (1976), S. 201
- Hubrich, H.: Zur Typenbildung in der topischen Dimension. *Peterm. Geogr. Mitt.* 118 (1974), S. 167
- Hubrich, H.; Thomas, M.: Typisierung und Klassifizierung von Bodenformen nach hydrologischen Merkmalen. *A.* 17 (1973), S. 795
- Jäger, K.-D.; Hrabowski, K.: Zur Strukturanalyse von Anforderungen der Gesellschaft an den Naturraum, dargestellt am Beispiel des Bebauungspotentials. *Peterm. Geogr. Mitt.* 120 (1976), S. 29
- Kasch, W.; Flegel, R.: Landwirtschaftliche Bedeutung, Erfassung und Kennzeichnung der Reliefverhältnisse. *Feldw.* 16 (1975), S. 38
- Kirchner, A.: Ein Beitrag zur Klassifizierung von Niedermoorstandorten in den drei Nordbezirken der DDR unter für die Melioration bedeutungsvollen hydrologischen Gesichtspunkten. Rostock, Diss. A, 1972
- Kirchner, A.: Einfluß der mineralischen Umgebung auf die geohydrologischen Verhältnisse in Niedermoorstandorten. *A.* 19 (1975), S. 605
- Knothe, D.: Die Erfassung und Bestimmung naturräumlicher Einheiten sowie die Bestimmung ihres landwirtschaftlichen Nutzungspotentials in den Kreisen Potsdam-Land, Wittstock und Neuruppin. Potsdam, Diss. A, 1976
- Kopp, D.: Widerspiegelung des Grundwassers und der Staunässe in der Klassifikation der Bodenformen und Bodenmosaiken am Beispiel der Waldböden des Tieflandes der DDR. In: *Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration*. Berlin, *Bodenkd. Gesell. der DDR*, 1970, S. 113
- Kopp, D.: Ergebnisse der forstlichen Standortserkundung in der DDR. Bd. III: Standortsmosaik. Potsdam: VEB Forstprojektierung 1973
- Kopp, D.: Kartierung von Naturraumtypen auf der Grundlage der forstlichen Standortserkundung. *Peterm. Geogr. Mitt.* 119 (1975), S. 96
- Kopp, D.: Fruchtbarkeitskennziffern als Kennziffern für die Waldbodenfruchtbarkeit und ihre Veränderungen. *A.* 15 (1971), S. 267
- Kopp, D.; Hurttig, H.: 1960 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Kopp, D. unter Mitarb. von Schwanecke, W. u. a.: 1969 u. 1973 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Kretschmer, H.: Zur Verbesserung von Aussagemöglichkeiten der Standortserkundung über mechanische Bodeneigenschaften. *A.* 20 (1976), S. 141
- Kubiena, L.: *Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas*. Stuttgart: Verlag F. Enke, 1950
- Kugler, H.: Relief und Boden. *Hall. Jb. Geowiss.* 1 (1977), S. 45

- Kühn, G. u. Autorenkoll.: Einheitliche, EDV-Gerechte Schlagkartei mit Normativkarten. agrabuch, Empfehlungen für die Praxis, 3. Aufl., Markkleeberg, 1979
- Kundler, P.: Waldbodentypen der Deutschen Demokratischen Republik. Radebeul: Neumann Verlag, 1965
- Kundler, P.: 50 Jahre Agrarforschung in Müncheberg und die weitere Entwicklung der Bodenfruchtbarkeitsforschung. Tag.-Ber. Akad. Landw.-Wiss. DDR 166 (1978), S. 7
- Kundler, P.; Lieberoth, I.; Schmidt, R.; Ewert, H. G.; Ansorge, H.: Gliederung der landwirtschaftlich genutzten Standorte nach Eignungsgebieten, Standortgruppen und Bodengruppen. A. 21 (1977), S. 359
- Kunze, A.: Über die Wirkung organischer Tiefdüngung auf Sandböden. A. 4 (1960), S. 527
- Laves, D.; Thiere, J.: Mikromorphologische, chemische und mineralogische Untersuchungen zur Entstehung körnungsdifferenzierter Böden im Jungmoränengebiet der DDR. A. 14 (1970), S. 691
- Lehmann, E.: Regionale Geographie und naturräumliche Gliederung. Wiss. Abh. Geogr. Gesell. der DDR 5 (1967), S. 1
- Lewke, K.: Einfluß der Ackerzahl, Bodenart und Zustandsstufe auf die Erträge in Mecklenburg. Rostock, Diss., 1961
- Lieberoth, I.: Zur Unterscheidung von Parabraunerden und Fahlerden aus Weichsellöß in Sachsen. A. 8 (1964), S. 487
- Lieberoth, I.: Die Bodenformen der landwirtschaftlich genutzten Standorte in der Deutschen Demokratischen Republik. Sitz.-Ber. Dt. Akad. Landwirtsch.-Wiss. Berlin 15 (1966) H. 18, S. 56
- Lieberoth, I.: Richtlinie zur Beschreibung landwirtschaftlich genutzter Standorte unter Verwendung eines Formulars. In: Kennzeichnung und Beschreibung landwirtschaftlich genutzter Standorte in der Deutschen Demokratischen Republik. Teil B. Dt. Akad. Landwirtsch.-Wiss. Berlin, Inst. Bodenkde. Eberswalde, 1967 (Auszug mit Farbtafeln)
- Lieberoth, I.: Wichtige Bodenformen in den Mittel- und Nordbezirken der Deutschen Demokratischen Republik und das Problem ihrer landwirtschaftlichen Kennzeichnung. Sitz.-Ber. Dt. Akad. Landw.-Wiss. Berlin 18 (1969), H. 2
- Lieberoth, I.: Die Bodenformen der landwirtschaftlich genutzten Standorte und die wichtigsten Merkmale zu ihrer Ansprache und Gliederung. Tag.-Ber. Dt. Akad. Landw.-Wiss. Berlin 102 (1970), S. 33
- Lieberoth, I.: Die Klassifizierung der Substrate als Grundlage für eine bessere agronomische Beurteilung der Böden der DDR. Zagreb, Festschrift 70. Geburtstag Prof. M. Gračanin, 1971, S. 225
- Lieberoth, I.: Stand und Entwicklung der bodenkundlichen Forschung sowie die Nutzung ihrer Ergebnisse in der DDR auf dem Gebiet der Boden- und Standortklassifikation sowie -kartierung. A. 18 (1974), S. 681
- Lieberoth, I.: Zur Auswertung der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) für die Planung von Meliorationen. Tag.-Ber. Akad. Landw.-Wiss. DDR 180 (1979), S. 63
- Lieberoth, I.: Beitrag der Standortkunde zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit. A. 20 (1976), S. 855
- Lieberoth, I. u. a.: Zentrale Auswertung der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung des Bezirkes Cottbus. AdL der DDR, FZB Müncheberg, Bereich Bodenkde. Eberswalde, 1978 [Manuskript]
- Lieberoth, I.; Adler, G.; Schmidt, I. H.: Die Nutzung der Gemeindedatei des Datenspeichers Boden in der Landwirtschaft. A. 21 (1977), S. 689
- Lieberoth, I.; Cronewitz, E.; Dunkelgod, P.; Gondek, H.: Zur Bewertung der Bodeneigenschaften auf der Basis von Bodenprofilaten. Moskau, Transact. 10<sup>th</sup> Intern. Congr. Soil Sc. V (1974), S. 46
- Lieberoth, I.; Cronewitz, E.; Gondek, H.: Hauptbodenformenliste mit Bestimmungsschlüssel für die landwirtschaftlich genutzten Standorte der DDR. Akad. Landw.-Wiss. der DDR, Institut für Bodenkunde Eberswalde, 1971/1973
- Lieberoth, I.; Dunkelgod, P.: Ein Beitrag zum Einfluß der natürlichen Standortfaktorenkomplexe Boden und Klima auf den Ertrag von Getreide. Tag.-Ber. Akad. Landw.-Wiss. der DDR Nr. 139 (1975), S. 165
- Lieberoth, I.; Dunkelgod, P.; Thiere, J.; Tabellenwerk zur Auswertungsrichtlinie 1978. AdL der DDR, FZB Müncheberg, Bereich Bodenkde. Eberswalde, 1978 [Manuskript]
- Lieberoth, I.; Schmidt, I.; Adler, G.: Einführung in die Gemeindedatei des Datenspeichers Boden (Nutzeranleitung). Akad. Landw.-Wiss. der DDR, FZB Müncheberg, Bereich Bodenkde. Eberswalde, Selbstverlag 1976



- Lieberoth, I. u. Autorenkoll.: Bildung, Kennzeichnung und Benennung der Hauptbodenformen. In: Kennzeichnung und Beschreibung landwirtschaftlich genutzter Standorte in der Deutschen Demokratischen Republik. Teil A. Dt. Akad. Landw.-Wiss. Berlin, Inst. Bodenkde. Eberswalde, 1967
- Lieberoth, I. u. Autorenkoll.: Standortkundliche und landwirtschaftliche Vorbereitung großflächiger Meliorationen im Bezirk Magdeburg. A. 17 (1973), S. 867
- Lindner, K.; Rogasik, H.; Lindner, H.: Zur Wirkung von Stauschichten auf die Wasserspeicherung leichter Sandböden und den Ertrag. A. 19 (1975), S. 695
- Mannsfeld, K.: Zur Kennzeichnung von Gebietseinheiten nach ihren Potentialeigenschaften. Peterm. Geogr. Mitt. 122 (1978), S. 17
- Markgraf, G.: Untersuchungen an einigen Bodenprofilen im Lößgebiet der Magdeburger Börde. Berlin, Diss., 1963
- Meuche, H.-F.: Organisation und Aufbau komplexer automatischer Informationsverarbeitungssysteme. Berlin: VEB Verlag Technik 1970
- Menning, P.; Reuter, G.: Standortuntersuchung. In: Meliorationstaschenbuch — Projektierung. Kap. 2. Berlin: VEB Dt. Landwirtschaftsverlag, 1978
- Michailov, I. S.: Die Anwendung mathematischer Methoden für die Klassifikation der Böden in ausländischen Untersuchungen. Bodenkde. (russ.) Nr. 10 (1973), S. 3
- Michlich, G.: Homogenität, Inhomogenität und Gleichheit von Bodenkörpern. Z. Pflanzenern. u. Bodenkde. 139 (1976), S. 597
- Morgenstern, H.: Bodenformen und ihre Eigenschaften im nördlichen Teil des Mittelsächsischen Lößlehmhügellandes. A. 11 (1967), S. 801
- Morgenstern, H.; Thiere, J.: Zur Systematik der Böden mit Staunässemerkmalen in der DDR. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 99
- Morgenstern, H.: Zur Kenntnis und Systematik der Böden der DDR, 3. Mitt. A. 13 (1969), S. 531
- Mundel, G.: Untersuchungen zur Torfmineralisation in Niedermooren. A. 20 (1976), S. 669
- Neef, E.: Topologische und chorologische Arbeitsweisen in der Landschaftsforschung. Peterm. Geogr. Mitt. 107 (1963), S. 249
- Neef, E. u. Autorenkoll.: Beiträge zur Klärung der Terminologie in der Landschaftsforschung. Akad. Wiss. der DDR, Geogr. Inst. Leipzig, 1973
- Neumeister, H.: Die Struktur von Mikrochoren und Pedochoren. Peterm. Geogr. Mitt. 119 (1975), S. 89
- Olberts, M.: Standortkundliche Grundlagen und Normative zur Vorbereitung von Meliorationsmaßnahmen in der DDR. A. 20 (1976), S. 13
- Olbertz, M.; Henning, H.: Die Durchführung der Flurneuordnung in sozialistischen Großbetrieben. Dt. Landwirtschaft 11 (1960), S. 270
- Paulin, G.: Kleines Lexikon der Rechentechnik und Datenverarbeitung. 4. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik, 1971
- Petersen, A.: Die neue Rostocker Grünlandschätzung. Abh. Dt. Akad. Wiss., Kl. Gesellschaftswiss. Nr. 1, 1952
- Pretzschel, A.; Cronewitz, E.; Lieberoth, I.: Zur Bildung von Auswerteeinheiten bei hydromorphen Auenböden. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 77
- Pretzschel, M.; Rudolf, G.; Altermann, M.; Mautschke, J.: Zur Kennzeichnung der Böden sowie Durchführung von Maßnahmen der Melioration und Flurneugestaltung auf landwirtschaftlich genutzten Standorten der Unterharzhochfläche. Wiss. Z. Univ. Halle 26 (1977), S. 39
- Rapke, S.; Maaß, G.: Beziehungen zwischen wichtigen Bodenmerkmalen und dem Ertrag. In: Erfahrungen u. Probleme ... Univ. Rostock, 1976, S. 73
- Rataj, R.; Lieberoth, I.: Über die Entnahme von Bodenproben in natürlicher Lagerung. Z. Pflanzenernähr., Düng. Bodenkde. 122 (1957), S. 52
- Rau, D.: Verbreitung und Ausbildungsformen „schwerer“ Böden im Thüringer Becken. Wiss. Z. Univ. Jena, math.-naturwiss. R. 14 (1965), S. 37 [1965a]
- Rau, D.: Untersuchungen zur Morphologie und Genese der Lößböden im Thüringer Becken. Abh. Zentr. Geol. Inst. Berlin H. 4, 1965 [1965b]
- Rau, D.: Untersuchungen an rezenten und fossilen Lößböden in Thüringen. Geol. 18 (1969), S. 691
- Rau, D.: 1974 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Reinhold, A.; Asmus, F.: Die Anwendung großmaßstäblicher Luftbilder zur Grünlandbonitierung unter besonderer Berücksichtigung des sowjetischen Spektrozonalfilms. Z. Landeskultur 9 (1968), S. 3

- Reuter, B.: Sediment und Boden im Lößhügelland unter besonderer Berücksichtigung der Schwarzerde-Gebiete. Halle, Diss. A, 1970
- Reuter, G.: Anwendung genetisch-morphologischer Horizontbezeichnungen. Wiss. Abh. Dt. Akad. Landw.-Wiss. Berlin Nr. 37 (1958), S. 268
- Reuter, G.: Eutrophe Pseudogleye auf Würm-Geschiebemergel. Madison, Transact. 7<sup>th</sup> Congr. Soil Sc. 4 (1960), S. 212
- Reuter, G.: Tendenzen der Bodenentwicklung im Küstenbezirk Mecklenburgs. Wiss. Abh. Dt. Akad. Landw.-Wiss. Berlin Nr. 49, 1962
- Reuter, G.: Gelände- und Laborpraktikum der Bodenkunde. Berlin: VEB Dt. Landwirtschaftsverlag, 1976
- Richter, H.: Naturräumliche Ordnung. Geogr. Gesell. DDR, Wiss. Abh. 5 (1967), S. 129
- Richter, H.: 1968 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Roth, H. A.: Untersuchungen über die Beziehungen zwischen den von der Bodenschätzung erfaßten natürlichen Ertragsbedingungen und den Ernteerträgen des Ackerlandes. Wiss. Abh. Dt. Akad. Landw.-Wiss. Berlin Nr. 19, 1956
- Salistschew, K. A.: Einführung in die Kartographie. Gotha: VEB H. Haack, 1967
- Schikora, Th.: Beitrag zur chemischen Kennzeichnung rezenter und fossiler Staunässeböden im Löß. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 161
- Schilling, D.; Bannorth, H.; Schlicht, H.: Natürliche Standorteinheiten der landwirtschaftlichen Produktion in der DDR. Landwirtschaftsrat der DDR, Selbstverlag 1965
- Schilling, W.: Quartärforschung und Bodenkunde. Peterm. Geogr. Mitt. 113 (1969), S. 25
- Schilling, W.; Wiefel, H.: 1962 [s. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Schlichting, E.: Bodengesellschaften als Grundlage der Landschaftsplanung. Mitt. Dt. Bodenkundl. Gesell. 16 (1972), S. 30
- Schmiedel, H.: Beiträge zur Kenntnis der lößähnlichen Lehmböden im sächsischen Elbsandsteingebiet. Jb. Staatl. Mus. Mineral. Geol. Dresden 1959, S. 52
- Schmidt, I.: Physiotopegefüge und ihre Interpretation für Meliorationen, dargestellt am Beispiel des Oberlausitzer Berglandes. Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz 49 (1975), Nr. 2
- Schmidt, I.: Untersuchungen zum Flächenwasserhaushalt mit Beurteilung von Zu- und Abflußpositionen im Jungpleistozän der DDR. Akad. Landw.-Wiss., Inst. Bodenkde. Eberswalde, 1975 [Manuskript]
- Schmidt, R.: Standortkundliche Aufgaben für die Homogenisierung von Bodenflächen zur Großflächenbewirtschaftung. Geogr. Ber. 52/53 (1969), S. 204
- Schmidt, R.: Ergebnisse und Fortschritte in der Erforschung der Struktur der Bodendecke für die Charakterisierung heterogener Standorteinheiten. A. 15 (1971), S. 5
- Schmidt, R.: Standörtliche Heterogenität und Großflächennutzung in der Deutschen Demokratischen Republik. Wiss. Abh. Geogr. Gesell. der DDR 9 (1972), S. 195
- Schmidt, R.: Bodengeographische und geoökologische Grundlagen für die Beurteilung der Agrarstandorte der DDR unter den Bedingungen der sozialistischen Intensivierung der Landwirtschaft. Dresden, Diss. B, 1973
- Schmidt, R.: Grundlagen der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung. A. 19 (1975), S. 533
- Schmidt, R.: Der Beitrag der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung für die Entwicklung der industriemäßigen Pflanzenproduktion in der DDR. Tag.-Ber. Akad. Landw.-Wiss. DDR 166 (1978), S. 77
- Schmidt, R.: Prinzipien der Standortgliederung der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung der DDR. A. 22 (1978), S. 459
- Schmidt, R.; Diemann, R.: 1974 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Schmidt, R.; Haase, G.: Die Struktur der Bodendecke und ihr Einfluß auf Bodenfruchtbarkeit, Melioration und Landeskultur. Votr. Sekt. „Landeskultur u. Naturschutz“, „Ackerbau u. Melioration“, AdL der DDR, Okt., 1978
- Schmidt, R.; Kugler, H.; Richter, H.; Ewert, H.-G.: Flächengrößen der natürlichen Ressourcen der Landwirtschaft der DDR. A. 22 (1978), S. 275
- Schmidt, R.; Morgenstern, H.: Die staunassen Böden der sächsischen Oberlausitz und ihre Meliorationsbedürftigkeit. Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz 47 (1972), S. 57
- Schmidt, R.; Thiere, J.: Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung, Nutzung zur Meliorationsvorbereitung. Wiss.-techn. Inf. Mel.-wesen, H. 51, 1977
- Schmidt, W.; Illner, K.: 1976 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]

- Schützenmeister, W. u. Autorenkoll.: Bezirk Leipzig, Böden 1 : 200 000. Bezirksplankomm. Leipzig, Büro f. Territorialplanung, 1972
- Schwanecke, W.: Für die Bodensystematik wichtige Ergebnisse der forstlichen Standorterkundung im Hügelland und Mittelgebirge der Deutschen Demokratischen Republik. Sitz.-Ber. Dt. Akad. Landw.-Wiss. Berlin 16 (1966), H. 18, S. 79
- Schwanecke, W.: Richtlinie für die Bildung und Kartierung der Standorteinheiten im Hügelland und Mittelgebirge der DDR. VEB Forstprojektierung Potsdam, 1970 [Manuskript]
- Schwanecke, W.: Die forstlichen Mosaiktypen im Mittelgebirge/Hügelland. VEB Forstprojektierung Potsdam, 1977 [Manuskript]
- Simonson, R. W.; Gardner, D. R.: Concept and Funktions of the Pedon. Madison, Transact. 7<sup>th</sup> Int. Congr. Soil Sc. V (1960), S. 127
- Smukalski, M.: Beziehung zwischen Bodenfruchtbarkeitskennziffern (BFK) und Intensivierungsverfahren der Pflanzenproduktion als eine Grundlage für die Programmierung der Bodenfruchtbarkeit. Tag.-Ber. Akad. Landw.-Wiss. DDR 166 (1978), S. 67
- Steinert, P.; Gora, A.; Rau, D.: Profilaufbau und Leistungseigenschaften von Bodenformengruppen des Strukturgebietes „Zentrales Thüringer Becken“ sowie Vorschläge zu ihrer Melioration. Arb. Inst. Meliorationswesen und Grünland Jena, 3. Folge (1969), S. 21
- Succow, M.: Schätzverfahren zur Kennzeichnung des Flächenwasserhaushalts im Tiefland der DDR für die Meliorationspraxis. Vortrag 8. wiss. Tag. Bodenkdl. Gesell. der DDR, Magdeburg 1976
- Succow, M.: Gliederung der Moorstandorte im Rahmen der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung der DDR. A. 23 (1979), S. 65
- Thiere, J.: 1969 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Thiere, J.: Ergebnisse geländebodenkundlicher Untersuchungen an Staugley-Toposequenzen im Jungmoränengebiet der DDR. A. 14 (1970), S. 701
- Thiere, J.: Zu einigen allgemeinen Problemen der Entwicklung und Systematik landwirtschaftlich genutzter Böden. Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, math.-nat. R., 21 (1972), S. 288
- Thiere, J.: Zur Nutzung mittelmaßstäbiger landwirtschaftlicher Standortkartierungen für die Intensivierung der Pflanzenproduktion. A. 19 (1975), S. 757
- Thiere, J.; Dunkelgod, P.: Richtlinie zur Auswertung und Nutzung der mittelmaßstäbigen Standortkartierung als Voraussetzung für verbesserte Flächennachweise für Meliorationen und ackerbauliche Maßnahmen. Akad. Landw.-Wiss. der DDR, Inst. Bodenkde. Eberswalde, 1974 [Manuskript]
- Thiere, J.; Laves, D.: 1968 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Thiere, J.; Morgenstern, H.: Ergebnisse vergleichender morphologischer und bodenphysikalischer Untersuchungen von Böden in Staugleygesellschaften auf Moränen-, Löß- und Bergsubstraten. A. 19 (1975), S. 325
- Thomas, M.: Jahresgang der Bodenfeuchte einiger Bodenformen, charakterisiert durch das Auftreten bestimmter Kennwerte. Wiss. Z. Univ. Halle 24 (1975) 2, S. 39
- Thomas, M.; Haase, G.: Versuch einer Klassifikation von Bodenfeuchteregime-Typen. A. 11 (1967), S. 1003 u. 12 (1968), S. 3
- Töpfer, F.: Die Kartennutzung. Vermessungstechnik 20 (1972), S. 376 u. S. 435
- Wünsche, M.; Lorenz, W.-D.; Öhme, W.-D.; Haubold, W.: Die Bodenformen der Kippen und Halden im Niederlausitzer Braunkohlenrevier. Mitt. VEB GFE Halle, BT Freiberg, Nr. 15, 1972
- Wünsche, M.; Lorenz, W.-D.; Schubert, A.: 1969 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Autorenkollektiv: Der Datenspeicher Versuchsergebnisse — Pflanzenproduktion (DAVEP). Akad. Landw.-Wiss. der DDR u. VEB Saat- u. Pflanzgut Quedlinburg, 1975
- Autorenkollektiv: Düngungsempfehlungen DS 79. Herausg.: Akad. Landw.-Wiss. der DDR u. VEB Agrochemiehandel, Selbstverlag
- ..Arbeitsrichtlinie zur Durchführung der Standortkundlichen Ergänzung der Bodenschätzung (mit Erläuterungen und Hinweisen). 2. Aufl. Akad. Landw.-Wiss. der DDR, Inst. Bodenkde. Eberswalde, 1971

### **Zum Hauptabschnitt 6**

- Bartsch, H.-J.; Bohne, K.: Ein Beitrag zur Berechnung der maximalen Wasserausschöpfung des nicht durchwurzelten Bodenraums mit Hilfe eines Analogrechners. A. 19 (1975), S. 79
- Benkenstein, H.; Krüger, W.: Zur Erhöhung der Bodentemperatur durch Flüssigmulchen mit synthetischen Bodenverbesserungsmitteln. A. 15 (1971), S. 207
- Benkenstein, H.; Krüger, W.: Untersuchungen über korrelative Beziehungen zwischen Korngrößenzusammensetzung und einigen anderen Kennwerten von Oderbruchböden. A. 21 (1977), S. 9

- Benkenstein, H.; Lindner, H.: Scherfestigkeit, innere Reibung und Reibung Boden — Metall verschiedener Bodenarten in Abhängigkeit vom Wassergehalt. A. 13 (1969), S. 351
- Bergmann, W.; Witter, B.: Ein Überblick zur Magnesium-Versorgung der Ackerböden der DDR. In: „Magnesium — Stoffwechsel“. Wiss. Beiträge Fr.-Schiller-Univ. Jena, 1976, S. 9
- Birecki, M.; Kullmann, A.; Revut, I. B.; Rode, A. A.: Untersuchungsmethoden des Bodenstrukturzustandes. Berlin: VEB Dt. Landw.-Verlag, 1968
- Bohne, K.: Zum Bodenfeuchteverlauf einer grundwasserbeeinflussten Staugley-Catena. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 35
- Bohne, K.: Methoden zur Beurteilung der technologisch wirkenden Nässe mit Hilfe von bodenhydrologischen Daten. A. 21 (1977), S. 301
- Bohne, K.; Menning, P.: Beurteilung der Hydromeliorationsbedürftigkeit auf der Grundlage der Wasserbilanz und der morphologischen Kennzeichnung der Bodendecke. A. 20 (1976), S. 159
- Bohne, K.; Stüdemann, O.: Ein Beitrag zur Bestimmung der Bewässerungsbedürftigkeit. A. 17 (1973), S. 29
- Brümmer, G.: In: Scheffer/Schachtschabel: 1976 [s. Lit. Hauptabschn. 1]
- Brümmer, G.: Redoxpotentiale und Redoxprozesse von Mangan-, Eisen- und Schwefelverbindungen in hydromorphen Böden und Sedimenten. Geoderma 12 (1974), S. 207
- Clausnitzer, J.: Kennzeichnung des Wasserregimes von landwirtschaftlich genutzten Standorten auf Sedimenten im nordwestsächsischen Lößgebiet. Eberswalde, Diss. A, 1973 [1973a]
- Clausnitzer, J.: Zusammenhang zwischen der Wasserdurchlässigkeit und anderen Bodenparametern in Lößböden. A. 17 (1973), S. 179 [1973b]
- Clausnitzer, J.: Die Hysterese der Wasserretentionskurve in Sandböden. A. 22 (1978), S. 79
- Di Gleria, J.; Klimes-Szmik, A.; Dvoracek, W.: Bodenphysik und Bodenkolloidik. Jena: VEB Fischer-Verlag, 1962
- Ebert, K.; Schnieder, E.: P-Bindungsformen und P-Verfügbarkeit im statischen Nährstoffmangelversuch Thyrow bei Berlin. A. 15 (1971), S. 719
- Ehwald, E.: Zur Quantifizierung des Transformations- und Speichervermögens des Bodens. Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, math.-nat. R., 23 (1974), S. 697
- Ehwald, E.: 1975/76 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Ehwald, E.: Zur Bedeutung und Problematik der Leitfähigkeit des Bodens für Wasser. A. 21 (1977), S. 1
- Ehwald, E.; Krüger, W.: Zusammenhänge zwischen Wasserdurchlässigkeit und anderen Bodenparametern in Lehm- und Tieflehmböden. A. 20 (1976), S. 89
- Gätke, Cl.-R.: Zum Problem der qualitativen Beurteilung der Lagerungsdichte der Böden. A. 11 (1967), S. 1131
- Garbučev, I.; Gaučeva, A.; Klevzov, A.: Bestimmung des verfügbaren P im Boden nach der Beziehung zwischen Intensitätsfaktor, Kinetikfaktor und Quantitätsfaktor. A. 16 (1972), S. 341
- Geiger, R.: Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig: Verlag Fr. Vieweg u. Sohn, 1961
- Glugla, G.: Berechnungsverfahren zur Ermittlung des aktuellen Wassergehalts und Gravitationsabflusses im Boden. A. 13 (1969), S. 371
- Gora, A.: Wasserregulierung und Wasserspeicherung durch Bodengefügemelioration auf Sand- und Bergton-Staugleyen in Thüringen. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 203
- Haass, J.; Martin, B.: Der Einfluß eines spezifischen Raddruckes von 1,2 und 2,0 kp/cm<sup>2</sup> sowie von Pflegemaßnahmen auf Wachstum und Ertrag der Luzerne. A. 19 (1975), S. 711
- Hagemann, O.: Das P-Festlegungsvermögen der Böden und seine Abhängigkeit von einigen Bodeneigenschaften. A. 15 (1971), S. 177
- Hartge, K.-H.: Die Strukturstabilität in Böden. Mitt. Eidgen. Anst. forstl. Versuchsw. 51 (1975), S. 225
- Heinze, G.: Erste Ergebnisse zur Quantifizierung der Bodendruckwirkung. A. 15 (1971), S. 345
- Hesse, W.: Grundlagen der Meteorologie für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwirtschaft. Leipzig: Akad. Verlagsgesellsch. Geest u. Portig K.-G., 1966
- Hilbig, W.; Mahn, E.-G.: Die Kartierung von Ackerunkräutern als Grundlage für den gezielten Einsatz von Herbiziden. SYS-Reporter Nr. 3 (1973)
- Hilbig, W.; Mahn, E.-G.; Müller, G.: Verbreitung von Ackerunkräutern im südlichen Teil der DDR. Wiss. Z. Univ. Halle 18 (1969), S. 211

- Hofmann, B.; Ermich, D.; Kreische, E.: Beziehungen zwischen Lagerungsdichte des Bodens und dem Eindringwiderstand bei verschiedener Bodenfeuchte auf ausgewählten Standorten unter Modellbedingungen. Vortrag Bodenkdl. Gesell. der DDR, Tag. Komm. I, V und VI, Berlin, 1976
- Hubrich, H.: Bodenformen und Bodenwasser im Flußgebiet der Döllnitz. Wiss. Veröff. Geogr. Inst. d. DAW Nr. 27/28 (1970), S. 399
- Igel, H.; Frielinghaus, M.; Frielinghaus, M.: Über eine Methode zur Messung der relativen Wurzelleistung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen in verschiedenen Bodentiefen nach meliorativen Maßnahmen. A. 17 (1973), S. 195
- Illner, K.: Über den Profilaufbau und die Wasserdurchlässigkeit flachgründiger Niedermoore. Vortrag 9. wiss. Tagung Bodenkdl. Gesell. der DDR, Frankfurt/O., 1977
- Kaussmann, B.; Kudoke, J.: Die ökologisch-soziologischen Artengruppen der Ackerunkrautvegetation für den Norden der DDR. Feddes Repertorium 84 (1973), S. 589
- Kézdi, A.: Bodenmechanik. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1964
- Khoa, L. v.; Schild, R.; Borchmann, W.: Erste Ergebnisse zum Einfluß der Bodenfeuchte auf die Manganverfügbarkeit. Vortrag 9. wiss. Tag. Bodenkdl. Gesell. der DDR, Frankfurt/O., 1977
- Kirchner, A.: Zum Auftreten von Druckwasser in Niedermooren. A. 19 (1975), S. 613
- Kleu, B.; Frielinghaus, M.: Beeinflussung der Erträge, der physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften durch Unterbodenverbesserung. A. 19 (1975), S. 191
- Koitzsch, R.: On the Determination of capillary conductivity and diffusivity of soil in situ. Wageningen, Symposium on water in the unsaturated zone, 196
- Koitzsch, R.: Schätzung der Bodenfeuchte aus meteorologischen Daten, Boden- und Pflanzenparametern mit einem Mehrschichtenmodell. Z. Meteorol. 27 (1977), S. 302
- Krause, W.: Kennzeichnung des Wasserregimes von landwirtschaftlich genutzten tonreichen Auenböden. Eberswalde, Diss. A, 1973
- Kretschmer, H.: Die Verteilung des heißwasserlöslichen Bors und des  $\text{CaCl}_2$ -löslichen Magnesiums in Böden des nordostdeutschen Flachlands. A. 12 (1968), S. 33
- Kretschmer, H.: Kriterien für das technologische Verhalten des Bodens in Abhängigkeit vom Wassergehalt. A. 21 (1977), S. 293
- Krüger, W.: Über den Einfluß unterschiedlicher Bodenverdichtung auf einige bodenphysikalische Eigenschaften und des Pflanzenwachstums. A. 14 (1970), S. 613
- Kullmann, A.; Lieberoth, I.; Klimes-Szmik, A.: Über die Veränderungen im wasserbeständigen Krümelanteil unter dem Einfluß der Ackerkultur an Hand eines Profilvergleiches. A. 8 (1964), S. 61
- Kullmann, A.: Synthetische Bodenverbesserungsmittel. Berlin: VEB Dt. Landw.-verlag, 1972
- Kullmann, A.: Über Wasserstabilitätsbestimmungen mit einem Schallwäscher. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkd. 89 (1960), S. 114
- Kundler, P.: Ausnutzung, Festlegung und Verluste von Düngemittelstickstoff. A. 14 (1970), S. 191
- Kundler, P.: Die Steigerung der Bodenfruchtbarkeit als Teil der Intensivierung und des Übergangs zu industriemäßigen Produktionsmethoden in der Landwirtschaft der DDR. A. 16 (1972), S. 571
- Kundler, P.; Kappes, R.: Entwicklungsstand, Aufgaben und Probleme der Bewässerung in der DDR. A. 21 (1977), S. 269
- Kundler, P. u. Autorenkoll.: Mineraldüngung. Berlin: VEB Dt. Landw.verlag, 1970
- Kundler, P. u. Autorenkoll.: Hauptverfahren der Melioration in der DDR im nächsten Jahrzehnt. A. 20 (1976), S. 1
- Kunz, R.: Bodenphysikalische Eigenschaften meliorationsbedürftiger Standortformen im Jungpleistozän der DDR. Rostock, Diss. A, 1973
- Laves, D.: Beitrag zur mikromorphologischen, chemischen und mineralogischen Kennzeichnung von korndifferenzierten Böden unter besonderer Berücksichtigung der Ton- und Tonmineralanalyse. Eberswalde, Diss., 1969
- Laves, D.: Kalium-Bereitstellungsvermögen und Kalium-Speicherfähigkeit der Böden der DDR. Eberswalde, Diss. B, 1974
- Laves, D.: Zur Kaliumtransformation im Boden. A. 22 (1978), S. 521
- Lehfeldt, J.; Kullmann, A. u. a.: Wirkprinzipien und Anwendungsverfahren von Bodenverbesserungsmitteln zur Verbesserung physikalischer Bodeneigenschaften. A. 16 (1972), S. 281
- Leue, P.: Entwässerungseffekt auf tonreichen hydromorphen Auenböden. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 47
- Leue, P.; Scholz, A.: Effektive Nutzung und rationeller Betrieb von Grundwasserregulierungsanlagen. A. 20 (1976), S. 59

- Lieberoth, I.: Aufgaben der bodenkundlichen Forschung in der DDR zur landwirtschaftlichen Charakterisierung und Beurteilung hydromorpher Böden. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 7
- Lieberoth, I.: 1974 [s. Lit. Hauptabschn. 4 u. 5]
- Lindner, H.: Die Scherfestigkeit des Bodens und ihre Beziehung zur Textur, Lagerungsdichte, Porengrößenverteilung und Bodenfeuchte. A. 11 (1967), S. 1141
- Lindner, H.; Kunze, A.; Schwarz, K.: Stand und Entwicklung der bodenkundlichen Forschung auf den Gebieten Bodenphysik, Bodenbearbeitung und Bodenmelioration sowie die Nutzung ihrer Ergebnisse in der DDR. A. 18 (1974), S. 669
- Lütze, R.: Vergleichende Untersuchungen der Temperaturverhältnisse auf freiem Felde, in Waldbeständen und auf Waldlichtungen. Eberswalde, Diss., 1958
- Markert, S.: Der Einfluß der Sorptionskapazität auf die Verteilung des Kaliums in Ackerbodenprofilen der DDR. A. 12 (1968), S. 463
- Markert, S.; Kundler, P.: Untersuchungen über Beziehungen zwischen der Verteilung mineralischer P-Fractionen und dem Bodentyp. A. 13 (1969), S. 645
- Markert, S.; Kundler, P.: Über die Auswirkung von P-Potentialen und des Pufferungsvermögens typischer Bodenformen auf die Bindung von Phosphatzusätzen. A. 14 (1970), S. 529
- Menning, P.: Zur hydrologischen Gliederung der grundvernässungsfreien hydromorphen Böden des Bezirkes Rostock. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 133
- Menning, P.: Zur Beziehung zwischen Porosität und Vernässung in bindigen Böden. A. 21 (1977), S. 285
- Möller, O.; Boesler, H.; Leue, P.: Hydromelioration Entwässerung. Berlin: VEB Dt. Landw.-verlag, 1974
- Renger, M.; Strelbe, O.; Gisel, W.: Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten. 4. Bericht: Grundwasserneubildung. Z. Kulturtechn. u. Flurbereinigung 15 (1974), S. 353
- Reuter, G.; Menning, P.: Zur hydrologischen Differenzierung hydromorpher Böden des Tieflandes der DDR. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 125
- Reuter, G.; Schreiber, E.: Makromorphologische Gefügeinterferenzen im Boden. A. 13 (1969), S. 771
- Richter, B.; Fiedler, H. J.: Zum Mikronährstoffgehalt bodenbildender Gesteine im Mittelgebirge und Mittelgebirgsvorland. A. 20 (1976), S. 621
- Richter, D.: Beitrag zur Dynamik und Transformation des Kaliums in landwirtschaftlichen Kulturböden. Halle, Diss. B, 1972
- Richter, D.; Kerschberger, M.: Auswertung langjähriger P-Steigerungsversuche zur Ermittlung des für hohe Pflanzenerträge erforderlichen P-Gehaltes im Boden. A. 16 (1972), S. 903
- Richter, D.; Kerschberger, M.: Pflanzenverfügbares P und K in Ackerböden als Grundlage für die Düngerbemessung. Tag.-Ber. Akad. Landw.-Wiss. DDR 166 (1978), S. 295
- Römer, W.; Schilling, G.: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Phosphatwanderung von der Bodenfeuchte. Vortrag 9. wiss. Tag. Bodenkdl. Gesell. der DDR, Frankfurt/O., 1977
- Schachtschabel, P.: Beziehungen zwischen dem Phosphorgehalt in Böden und jungen Haferpflanzen. Z. Pflanzenern. u. Bodenkd. 135 (1973), S. 31
- Scheffer, F.; Kloke, A.; Lieberoth, I.: Die Phosphorsäureaufnahme junger Roggenpflanzen aus P<sup>32</sup>-haltigem organischem Material. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 122 (1957), S. 223
- Schikora, T.: Chemische Untersuchungen an Löß-Staugleyen unter besonderer Berücksichtigung der Unterscheidung rezenter und reliktscher Bodenmerkmale. Eberswalde, Diss. A, 1970
- Schilling, G.; Beer, K.-H.: Untersuchungen über die Charakterisierung des pflanzenverfügbaren Mangans in verschiedenen Böden und seine Dynamik. A. 11 (1967), S. 263
- Schlichting, E.; Elgala, A. M.: Schwermetallverteilung und Tongehalte in Böden. Z. Pflanzenern. u. Bodenkd. 137 (1975), S. 563
- Schnurrbusch, G.: Über den Bodenfeuchteverlauf eines nordwestsächsischen Staugleys unter dem Einfluß einer Dränung bei Ackernutzung. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 193
- Schroeder, D.: 1972 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Schubert, K.: Bodenmechanik. 2. Lehrbrief, II. Ausg. Berlin: VEB Verlag Technik, 1968

- Schwarz, K.; Igel, H.; Lindner, H.; Leue, P.: Aufgaben und Probleme bei der Verbesserung der Wasserversorgung und der technologischen Bodeneignung in der industriemäßigen Pflanzenproduktion. A. 20 (1976), S. 865
- Spaar, D.; Kundler, P.: 1976 [s. Lit. Hauptabschn. 1]
- Thiere, J.: 1968 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Thiere, J.: Untersuchungen über Korrelationen zwischen Bodensubstrat und Porosität. A. 19 (1975), S. 3
- Thiere, J.; Morgenstern, H.: Zur Berechnung der Austauschkapazität mit Hilfe einfacher und multipler Regressionen. A. 19 (1975), S. 15 [1975a]
- Thiere, J.; Morgenstern, H.: 1975 b [s. Lit. Hauptabschn. 4 u. 5]
- Thihatmer, J.: Methoden der  $k_f$ -Wertbestimmung und ihre Anwendung im Meliorationswesen. Fürstenwalde, Ing.-Arbeit, 1972
- Thihatmer, J.: Ein Beitrag zur Ermittlung von Grundlagen für die Steuerung des Grundwasserstandes von Talsandgebieten. Eberswalde, Diss. A, 1976
- Thihatmer, J.: Beziehungen zwischen Grundwasserstand und Verdunstung auf verschiedenen Sandsubstraten. A. 21 (1977), S. 759
- Thihatmer, J.: Ermittlung und Quantifizierung von Ertragsfaktoren auf Grundwassersanden. A. 22 (1978), S. 495
- Thihatmer, J.: Beziehungen zwischen Grundwasserstand und Pflanzendecke auf verschiedenen Sandsubstraten. A. 22 (1978), S. 397
- Thomas, M.: Die Klassifikation der Durchlässigkeit von Böden mit Hilfe quantitativ zu fassender Bodenmerkmale. Wiss. Z. Univ. Halle 24 (1975), S. 105
- Ulrich, B.: Das System Boden — Pflanze in ökologischer Sicht. Gött. Bodenkdl. Ber. 1 (1968), S. 33
- Unger, B.: Untersuchungsergebnisse zum pflanzenverfügbaren Bodenwasser verbreiteter Substrate als Grundlage für die Regulierung des Bodenwasserhaushalts der landwirtschaftlich genutzten Fläche im Bezirk Gera. Tautenhain, Diss. A (gemeinsam mit Krautwurst, F.), 1972
- Vetterlein, E.: Ein Doppel-Membran-Apparat zur Bestimmung der kapillaren Leitfähigkeit von Bodenproben. A. 8 (1964), S. 37
- Vetterlein, E.: Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur auf die kapillare Leitfähigkeit und Wasserbindung in Böden. A. 12 (1968), S. 385 [1968a]
- Vetterlein, E.: Zur Anwendung der Doppel-Membran- und Doppel-Platten-Methoden für Messungen der kapillaren Leitfähigkeit von Bodenproben. A. 12 (1968), S. 983 [1968b]
- Vetterlein, E.: Bodenhydrologische Grundlagenuntersuchungen über den aufwärtsgerichteten Wassertransport in grundwassernahen Böden. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 15
- Vetterlein, E.: Einfluß der Bodenstruktur auf die hydraulische Leitfähigkeit in 4 Böden auf typischen Substraten. Vortrag Bodenkdl. Gesell. der DDR, Tag. Komm. I, V u. VI, Berlin 1976
- Vetterlein, E.; Clausnitzer, J.: Verfahren der Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes ( $k_f$ -Wert) in Sandböden. A. 25 (1976), S. 747
- Vetterlein, E. u. Autorenkoll.: Kennzeichnung des Wasserregimes wichtiger landwirtschaftlich genutzter Bodenformen. Eberswalde, 1969 [Manuskript]
- Vetterlein, E.: 1970 [s. Lit. Hauptabschn. 2 u. 3]
- Waydbrink, W. v. d.: Naturwissenschaftliche Grundlagen für die Meliorationsplanung, optimale Nutzung und Kennzeichnung von Standortleistungstypen auf den Niedermooren. Wiss.-techn. Informationen Meliorationswesen H. 15 (1972)
- Weise, K.: Vorläufige Ergebnisse von stationären Bodenfeuchtigkeitsmessungen auf Staunässeböden im Norden der DDR. In: Mineralische Grundwasser- und Staunässeböden, ihre Kennzeichnung, Gliederung und Melioration. Berlin, Bodenkdl. Gesell. der DDR, 1970, S. 31
- Weise, K.: N-, K-, Ca- und Mg-Auswaschungsverluste aus sandigen Böden. A. 15 (1971), S. 97
- Weise, K.: N-, K-, Ca- und Mg-Auswaschungsverluste aus verschiedenartigen Ackerböden. A. 16 (1972), S. 319
- Weise, K.: Kennzeichnung des Feuchteregimes von Bodenformen durch Berechnung aus Boden- und Witterungsdaten mit Hilfe eines Einschichtmodells. A. 20 (1976), S. 149 [1976a]
- Weise, K.: Hydrologische Kennzeichnung von Bodenformen im Jungpleistozän der DDR. A. 20 (1976), S. 737 [1976b]
- Weise, K.: Methodik und Ergebnisse der bodenhydrologischen Kennzeichnung von landwirtschaftlich genutzten Bodenformen mit Folgerungen für die Intensivierung der Pflanzenproduktion, insb. für die Melioration. Eberswalde, Diss. B, 1977

- Weise, K.: Ergebnisse von mehrjährigen Sickerwassermengen auf unterschiedlichen Standorten. A. 22 (1978), S. 285 [1978b]
- Weise, K.; Wendling, U.: Zur Berechnung des Bodenfeuchteverlaufes aus meteorologischen und bodenphysikalischen Größen. A. 18 (1974), S. 145
- Weise, K.; Wendling, U.: Bodenkundliche und meteorologische Parameter zur Einschätzung der Beregnungsbedürftigkeit grundwasserferner Böden. A. 19 (1975), S. 27
- Weise, K.: Katalog zur hydrologischen Kennzeichnung von Bodenformen im Jungpleistozän der DDR, AdL, FZB Müncheberg, Bereich Bodenkde. Eberswalde 1978 [Selbstverlag] [1978a]
- Werner, D.: Morphologische Untersuchungen zur Stabilität von Bodenlockerstrukturen. A. 22 (1978), S. 483
- Werner, D.; Unger, H.: Zur Meliorationsbedürftigkeit verdichteter Löß- und Lehmböden. A. 21 (1977), S. 553
- Wienckowski-Krause, W.: Ermittlung von bodenhydrologischen Kennwerten aus korrelativen Beziehungen. A. 22 (1978), S. 337
- Witter, B.: Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen des III. Turnus der systematischen Bodenuntersuchung. Dt. Landw. 17 (1966), S. 581
- Witter, B.; Kolbe, G.: Durchführung und Ergebnisse der systematischen Bodenuntersuchung in der Deutschen Demokratischen Republik. Int. Z. Landw. 18 (1974), S. 269
- Autorenkollektiv: Erster zusammenfassender Bericht über zur Zeit verfügbare diagnostische Kenn-daten zur Beurteilung des Ernährungszustandes verschiedener Kulturpflanzen mit Mikronährstoffen... AdL der DDR, Inst. Pflanzenern. Jena 1973 [Manuskript]
- Autorenkollektiv: Mikronährstoffe VEB Agrochemie und Zwischenprodukte, Cunnersdorf 1975, Ber. f. d. Landw. Nr. 5

### **Standards**

#### *Bauwesen*

- TGL 11459: Baugrundmechanik; Formelzeichen  
11462: Baugrundmechanik; Prüfung an Lockergesteinsproben im Laboratorium; Bl. 03, Bestimmung der Konsistenzgrenzen

#### *Geologie*

- TGL 23864: Hydrogeologie; Pumpversuche  
23865: Geologie; Darstellung bodengeologischer Einheiten  
25234: Geologie; Stratigraphie; Bl. 04, Stratigraphische Skala

#### *Landwirtschaft*

- TGL 20286: Meliorationen; Dränanlagen; Bl. 01, Grundsätze für die Projektierung  
24300: Standortaufnahme von Böden. Bl. 1–16 [s. S. 239]  
25418: Chemische Bodenuntersuchung; Bl. 1–20 [s. S. 242]  
25830: Bodenfruchtbarkeit; Düngungsempfehlungen für die mineralische und organische Düngung  
26157: Wiedernutzbarmachung von Kippen und Halden; Bl. 02, Grundmelioration nach dem Domsdorfer- und Koyné-Verfahren  
28587: Meliorationen; Bodenwasserregulierung durch Tieflockerung, Kalkung und Rohrdränung; Bl. 01, Vorbereitung der Projektierung  
28758: Verfahren der Pflanzenproduktion; Schlagkartei  
28759: Verfahren der Pflanzenproduktion; Bodenbearbeitung; Bl. 02, Entsteinung des Bearbeitungshorizontes  
29834: Meliorationen; Berechnung der Moorsackung  
31221: Landwirtschaftliches Versuchswesen; Datenspeicher  
31222: Physikalische Bodenuntersuchung; Bl. 01–05 [s. S. 243]
- Arbeitsblatt: Meliorationen; Richtlinie zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes  $k_f$ -Wert; Projekt 27/01-27/05



# Sachwortverzeichnis

*Halbfett gedruckte Seitenangaben* verweisen auf die wichtigsten Informationen,  
*kursiv gedruckte auf Abbildungen.*

- Ablationsmoräne 47  
Abflußposition 215  
Abraums substrate 137  
Absonderungsgefüge 343  
Abteilung (Boden) 156  
Ackerkultur 130  
Ackerschätzung **244–246**  
Ackerzahl 244  
Actinomyceten 93  
Adhäsion 354, **358**  
Adsorption 295, 302, 315, 373  
Aggregate 341  
Aggregation 348  
Aggregatstabilität 355, 356  
Agrarstandorte 235, 237  
A-Horizonte 151  
Albedo 401  
Albit 59  
Algen 94  
Allophan 81  
Anbaueignung 271  
Anorthit 59  
Al-Standorte 213, **220**, 222  
Aluminiumphosphate 332  
Alumosilikate 59  
Ammonifizierung 335  
Ammoniumlaktat-Methode 327  
Amorphe Tonsubstanzen 81  
Amphigley 160, **197**  
Anhydromorphe Böden 158, **169**  
Anionen 301ff.  
Anmoore 202  
Anmoorgley 160, 201  
Anmoorstaugleye 159, **195**  
Anthropogene Böden 134  
Äquivalentdurchmesser 346  
Äquivalentwelkepunkt 389  
Arenosols **162**, 178, 180  
Aride Gebiete 115  
Aschhorizont 121, 154, 181  
Asseln 92  
Auen 54  
Auenböden 256  
Auenlehme 73  
Auenlehmerf 151  
Auensalme 73  
Auensedimente **73**, 173  
Auenstandorte 226  
Auensubstrate 146  
Auentone 73  
Aufbaugesüge 343  
Ausrollgrenze 360  
Ausrollprobe 28  
Austauschkapazität 297  
Austrocknungseffekt 409  
Austrocknungsgefährdung 396  
Auswaschungsverluste 323 bis 325, 326  
Azidität 302  
  
Bakterien **93**, 97  
Bänderfahlerden 120  
Bänderhorizont 154  
Bänder-Rosterde 180  
Barrandit 332  
Basisschutt 50, 51  
Basissediment 50  
Befeuchtungszone 383  
Begleitbodenformen 206  
Beidellit 81  
Beregnung 263  
Berglehm 72  
Berglehm-Braunerde 165, 178  
Berglöß 151, 220  
Bergsand 72  
Bergsubstrate 146  
Bergton 151  
Beutelproben 242  
B-Horizonte 154  
Bilanzmodelle 394  
Biotit 59  
Biozönos 99  
Birnessit 77  
Bleichhorizont 122  
Bleichstaugleye 193  
Blöcke 23  
Boden 11ff.  
Bodenanalyse 319  
Bodenanalytik 12  
Bodenareale 140  
Bodenart 22  
Bodenazidität 302  
Bodenbeurteilung 13  
Bodenbildung 39, **115**  
Bodenbonitierung 243  
Bodenbonitur 13  
Bodendecke 11, **21**, 22, 140, 141  
Bodeneis 408  
Bodenentwicklung 39  
Bodenfeuchte 366  
Bodenfeuchtegang 395, 396  
Bodenfeuchteverlauf 394  
Bodenform 21  
Bodenformengruppen 164, **165**, 237, 259  
Bodenformeninventar 224  
Bodenformenkartierungen 523  
Bodenfrost **407**  
Bodenfruchtbarkeit 13, 16  
Bodenfruchtbarkeitskennziffern 290  
Bodengefüge 340  
Bodengenetik 13  
Bodengeographie 13  
Bodengeologische Karten 275  
Bodengesellschaften 216  
Bodengliederungskarte 249  
Bodeninformatik 13  
Bodenkarte (DDR) 278, 279  
Bodenkartierung 12, **252**  
Bodenkolloide 292  
Plastische Bodenkörper 358  
Bodenkultivierung 130  
Bodenkunde 12  
Bodenlösung 19, 305  
Bodenluft 19, 366, 392  
Bodenmächtigkeit 20  
Bodenmetabolik 13  
Bodenmorphologie 12  
Bodenmosaik 206  
Bodennäse **371**, 397, 398  
Bodennutzungstypen **115**, 290  
Bodennutzungsverordnung 17  
Bodenorganismen 90–103  
Bodenproben 239  
Bodenprofil 20, 21  
Bodenprovinzen 234  
Bodenregionen **231**, 233  
Bodenschätzung 243, 248

- Bodensequenzen 211  
 Bodenskelett 22  
 Bodenstruktur 340  
 Bodensubstrat 21, 145  
 Bodensystematik 13, 151, 157, 158  
 Bodentemperatur 402, 405  
 Bodentextur 22  
 Bodentrockenphasen 397  
 Bodentypen 40, 155  
 Bodentypengesellschaft 216  
 Bodenuntersuchung, systematische 322  
 Bodenverbesserungsmittel 356  
 Bodenversauerung 307  
 Bodenwasser 115, 119–123, 366, 369, 391  
 Bodenwasserpotential 377  
 Bodenzahl 244  
 Böhlener Verfahren 138  
 Bor 339  
 Braunerde 158, 178  
 Braungleye 189  
 Braunhorizont 154  
 Braunhuminsäuren 106  
 Braunlehm 73  
 Braunlöb 69  
 Braunmatrix 122, 123  
 Braunschwarzerden 174, 177  
 Braunstaugleye 187  
 Bröckelgefüge 344  
 Buntverwitterung 73  
  
 Cambisols 163, 178  
 Catena 124, 208, 211  
 Chelate 121  
 Chernozems 162, 173, 174  
 Chlorit 81  
 Chronisoplethen 394, 395, 405, 406  
 C/N-Verhältnis 104, 334  
 Coulombsche Kräfte 349  
  
 DABO-GEMDAT 243, 280, 281  
 DABO-PRODAT 243, 280, 285  
 DABO-REGDAT 268, 280  
 Darcy-Gleichung 378, 379  
 DASKE 288  
 Datenverarbeitung 280ff.  
 Dauerdüngungsversuche 112  
 Dauerhumus 86, 87  
 DAVEP 287  
 DAWIP 287  
 Deckauenlehm 150  
 Decklehme 32  
 Decklehm-Vega 172  
  
 Deckmoräne 47  
 Deckschluffe 32  
 Deckschmelzwassersande 48  
 Deckschutt 50  
 Decksediment 50  
 Decktone 32  
 Deckzone, periglaziäre 66, 67  
 Deflation 125  
 Degradierung 132  
 Denitrifizierung 335  
 Denudation 125  
 Desorption 315  
 Dichte 344  
 Dichtlagerung 348  
 Diffusion 322  
 Diffusivität 379  
 Dokumentationsblatt A 265, 266  
 Domsdorfer Verfahren 138  
 Doppellaktat-Methode 327, 334  
 Drängewasser 370  
 Dränung 386  
 Dreischicht-Mineralen 79, 80  
 Druckfestigkeit 361  
 Druckwasser 385  
 Drumlin 47  
 DS 79 167  
 D-Standorte 212, 219, 221, 225  
 Dünen 54  
 Düngungsempfehlung DS 79 288  
 Düngungsgruppe 322  
 Düngungssystem 167  
 Dünnschliffe 340  
 Durchflußverfahren 381, 382  
 Durchlässigkeits(bei)wert 381, 382  
 Durchsickerungsbereich 383  
  
 Edaphon 91, 94, 98  
 EDV 280  
 E-Horizonte 154  
 Eignung 269ff.  
 Eignungsgebiete 234, 227, 237  
 Eindringwiderstand 364, 365  
 Einzelkornggefüge 342  
 Eisen 337  
 Eisenoxidformen 76  
 Eiszeit 40, 41  
 Elektronenakzeptoren 314  
 Elektronendonator 314  
 Endmoräne 47  
 Energieformen 400  
 Entsteinung 263  
 Entwässerung 262, 263, 286  
 Erdfen 202  
 Erdfußgesteine 61  
 Erosion 125–129, 270  
  
 Erwärmbarkeit der Böden 404  
 Evaporation 117, 367  
 Evapotranspiration 117, 367  
 Exposition 124  
 Extrapedologische Kräfte 373, 400  
  
 Fahlerde 70, 159, 182  
 Fahlhorizont 120, 154, 183  
 FAO-Klassifikation 162  
 Felston 150  
 Fen 161, 202  
 Ferrihydrid 77  
 Festigkeitseigenschaften 361  
 Feuchteäquivalent 388  
 Feuchtrohdichte 344  
 Findlinge 47  
 Fingerprobe 28  
 Flächentypen 212  
 Flächenwasserhaushalt 214  
 Flachmoor 56, 202  
 Flechten 94  
 Fließlöb 71  
 Fluorapatit 331  
 Flurkarten 252  
 Flurmelioration 263  
 Flüssigmulchmittel 357, 405  
 Fluvisols 163, 172, 188, 191, 197  
 Forstliche Standortserkundung 277  
 Fragmentation 348  
 Fragmentgefüge 344  
 Franzmeyer-Quotient 179  
 Frostgefahr 409  
 Frosthüb 408  
 Feinboden 22  
 Feinporen 346  
 Feldkapazität 388, 390  
 Felslehm-Rendzina 171  
 Fulvosäure 105  
 Furchenerosion 125  
  
 Gasaustausch 392  
 Gebietstypen 231  
 Gebirgslöb 70  
 Gefrierprozeß 407  
 Gefügeausbildung 409  
 Gefügeformen 340  
 Gefügekörper 341  
 Gefügemetamorphose 348  
 Gefügeplasma 340  
 Gefügestabilität 349  
 Gefügestil 209, 224  
 Gefügeumbildungshorizont 154  
 Geländeschnitte 238  
 Gelzustand 349  
 GEMDAT 18

- Geogene Moore 56, 57  
 Geosphäre 144  
 Geothit 76  
 Geschiebedecksand 66, 67  
 Geschiebemergel 64  
 Gesteine 60  
 Gesteinsschutt 72  
 Gesteinsunterlagerte  
   Substrate 32  
 Gesundheitskalkung 310  
 Gewässer Moore 57  
 Gewinnungsklassen 34, 35  
 G-Horizonte 154  
 Glazial 42  
 Glaziärsubstrate 146  
 Gleitreibung 362  
 Gleyic Podzols 189, 191  
 Gleylöß 71  
 Gleypodsole 191  
 Gleysols 160, 163, 198, 201  
 Gliederungsrahmen 235  
 Glimmer, -schiefer 59, 62,  
   82  
 Gneis 62  
 Grabenerosion 125, 126  
 Graphen 211  
 Grauhuminsäuren 106  
 Graumatrix 112, 123  
 Gravitationspotential 377  
 Gravitationswasser 367, 369  
 Greyzems 163, 183, 187  
 Griserden 183, 185  
 Grisstaugleye 188  
 Grundgley 160, 198, 199  
 Gründigkeit 20  
 Grünlandschätzung 245–247  
 Grundmoräne 47  
 Grundwasser 370, 384  
 Grundwasservergleichung 121  
 Grus 23, 30  
 Gyttja 55  
  
 Haftgleye 194  
 Haftgrenze 359  
 Haftnässe 399  
 Haftreibung 362  
 Haftvergleichung 121  
 Haftwasser 367, 369  
 Halbamphigleye 188  
 Halbgrundgleye 187  
 Halbhydromorphe Böden 186  
 Halbstaugleye 187, 188  
 Halden 135  
 Halloysit 81  
 Hämatid 77  
 Hanggefüge 208  
 Hangneigung 268  
 Hangneigungsflächentyp 272,  
   214  
 Hangneigungsgruppen 124,  
   214, 250  
 Hangneigungskarte 251  
 Hauptelemente 315  
 Heterogenität 21, 207, 208,  
   267  
 Histosols 163, 202  
 Hochmoore 56  
 Holozän 40, 41, 52  
 Horizonte 20, 151ff.  
 Horizontprofil 21  
 Hortisol 134  
 Hüllengefüge 343  
 Humide Gebiete 115  
 Humifizierung 40, 104  
 Huminstoffe 86, 104–107, 296  
 Humus 85–90, 108–115  
 Humusamphigley 160, 198  
 Humusgley 160, 201, 202  
 Humushorizont 154  
 Humusspiegel 112  
 Humusstaugleye 159, 193–195  
 Humusvorrat 110–112  
 Hydratation 293  
 Hydraulische Leitfähigkeit  
   380  
 Hydromorphe Mineralböden  
   159  
 Hydromorpher Bleichhorizont  
   154  
 Hydromorphie 156  
 Hydromorphieflächentypen  
   214  
 Hydromorphiegrade 121, 122,  
   369  
 Hydrophobierungseffekt 357  
 Hydrosequenzen 211  
 Hydroxylapatit 331  
 Hygroskopizität 389  
  
 Illimerisierung 120  
 Illit 79, 80, 296  
 Immissionshorizont 154  
 Immobilisierung 315, 318  
 Imogolit 81  
 Inceptisols 158  
 Indexmineral-Methode 85  
 Infiltration 382  
 Infiltrationsrate 382  
 Informatik 280  
 Innerkristalline Quellung 349  
 Inselkarten 252  
 Intensitätsparameter 317  
 Interferenzgefüge 344  
 Interglazial 43  
 Interstadial 45  
 Interzeption 367  
 Intrapedologische Kräfte 373,  
   400  
 Ionen 292, 305  
 Isomorpher Ersatz 79  
 Isotroper Ersatz 79  
  
 Kalium 326ff.  
 Kaliumsättigung 331  
 Kalkbedarf 310  
 Kalkbraunerden 179  
 Kalkmoor 56  
 Kalkpotential 306  
 Kalkschwarzerden 175  
 Kalkzustand 322  
 Kaltzeit 42  
 Kalzium 336  
 Kames 47  
 Kaolinit 79, 81, 297  
 Kapillaraufstieg 385  
 Kapillarwasser 373  
 Karbonatauswaschung 40, 119  
 Karbonat-C-Horizont 120, 155  
 Karbonatverkitung 49  
 Kartenhaus-Struktur 349  
 Kartierungen 275  
 Kartierungseinheiten 252  
 Kationen 294ff.  
 Kerfe 32  
 Kessel Moore 57  
 K<sub>f</sub>-Wert 381  
 Kies 23, 28, 30  
 Kinetikparameter 317  
 Kippen 135  
 Kippsubstrate 138  
 Klassifikation (Boden) 157ff.  
 Klebgrenze 360  
 Klimagebiete (DDR) 117, 118  
 Klumpengefüge 344  
 Kluten 344, 353  
 Knöllchenbakterien 335  
 Koagulatgefüge 343  
 Koagulation 349  
 Kohärentgefüge 343  
 Kohäsion 354, 358  
 Kohleschluff 151  
 Kolluviallehm 150  
 Kolluvialprofile 130  
 Kolluvialsubstrate 146  
 Kompost 88  
 Kompressibilität 361  
 Konsistenz 357  
 Kornfraktionen 22, 23  
 Korngrößen 23  
 Korngruppe, wirksame 34  
 Körnungsart 22–26, 30, 35,  
   320, 381  
 Koyne-Verfahren 138  
 Kristallisationsdruck 408, 409  
 Krotowinen 175  
 Krümelgefüge 343  
 Krümeldegradierung 132, 175

- Krumenverdichtung 352  
 Krumenzustand 134  
 Kryoklastzone 176, 177  
 Kryoturbation 50, 56, 66  
 K-Standorte 228  
 Kultivierungsindex 131  
 Kultosole 162  
 Kupfer 338
- Lamellenfleckenzone 70, 71,  
 185  
 Lamellengefüge 343  
 Landschaft 48, 145  
 Lebendverbauung 353  
 Lehm 147  
 Lehmsubstrate 31  
 Leitbodenformen 206  
 Lepidokrokit 76  
 Lessivierung 40, 120  
 Lithosphäre 58  
 Lithostratigraphische  
 Einheiten 50  
 Lokalbodenform 164  
 Löß 48, 49, 67–72  
 Löß-Braunstaugley 165  
 Lößgürtel 48, 234  
 Lößkindel 120  
 Lößpakete 195  
 Löß-Parabraunerde 184  
 Löß-Schwarzerde 174, 175,  
 176  
 Löß-Standorte 213, 219, 222,  
 228  
 Löß-Staugley 258  
 Lößsubstrate 146  
 Lößtieflehm 151  
 Luftkapazität 392  
 Luvisols 163, 183, 188, 192,  
 193, 197
- Maghemit 76  
 Magmatik 61  
 Magnesium 336  
 Makrogefüge 341, 342  
 Makroklima 117  
 Makronährelemente 315  
 Mangan 337  
 Manganit 77  
 Manganoxide 77  
 Marmorierungshorizont 123,  
 154, 155  
 Massenfluß 322  
 Massivgefüge 343  
 Matrixdruck 374  
 Matrixdruckpotential 377  
 Melioration 85, 270  
 Meliorationsbedürftigkeit 261,  
 262, 264  
 Meliorationskalkung 310
- Meniskenkräfte 354  
 Meniskus 373  
 Mensur 210  
 Merkmalskarten 252  
 Merkmalsparameter 282  
 Mesoklima 117  
 Mesoreliefformen 123  
 Metamorphite 62  
 Mikrogefüge 340  
 Mikroklima 117  
 Mikronährelemente 315, 338  
 Milben 91, 92  
 Mineralböden 21, 169  
 Minerale 58  
 Mineralisierung 40, 114, 315  
 Minimumareale 230  
 Mischgefüge 344  
 Mischhorizonte 155  
 Mittelmaßstäbige Landwirt-  
 schaftliche Standortkartie-  
 rung 220, 264, 289  
 Mittelschutt 50, 51  
 Mittersediment 50  
 MMK 264  
 Mn-Hydroxid 77  
 Mobilisierung 315  
 Mollisols 158  
 Molybdän 339  
 Moore 55–58, 192, 202–205  
 Moräne 46  
 Moränengürtel 234  
 Mosaiktypen 278  
 Mo-Standorte 220, 221  
 Mudde 36, 55, 149, 202, 205  
 Mulm(fen) 202  
 Muskovit 59
- Nacheiszeit 40, 41, 52  
 Nährelementauswaschung 323  
 Nährelemente 315, 316  
 Nährhumus 83, 87  
 Nährstoffe 315  
 Nährstoffpotential 317  
 Nanochore 220  
 Naßgleye 201  
 Natürliche Standorteinheit  
 217  
 Naturraum 145  
 Menatoden 91  
 Netzmittel 357  
 Nichthuminstoffe 86  
 Niedermoorböden 161  
 Niedermoore 202  
 Niederschlagswerte (DDR)  
 116  
 Nitratreduzierung 335  
 Nitrifizierung 335  
 Nitrobakter 335  
 N-Mineralisierung 335
- Nontronit 81  
 NStE 217  
 Nutzwasserkapazität 389
- Oberboden 20, 151  
 Oberflächenabfluß 367  
 Oberflächenverdichtung 352  
 Ökosystem 145  
 Oktaeder 78  
 Ombrogene Moore 56, 57  
 Organische Böden 21, 161  
 Organische Substanz 85, 110  
 Organogene Substrate 146,  
 148  
 Organomineralische Verbin-  
 dungen 107  
 Orterde 181  
 Ortgleye 191  
 Orthoklas 59  
 Orthogesteine 62  
 Orthhorizonte 121  
 Ortstaugley 188  
 Ortstein 121, 181, 353  
 Oser 48  
 Osmotische Kräfte 373  
 Osmotisches Potential 377  
 Oxidation 312
- Parabraunerden 183, 184  
 Paragesteine 62  
 Partialkomplex 145  
 Pedochore 143, 144, 206, 216  
 Pedogenese 39  
 Pedohydrologische Einheiten  
 168  
 Pedohydrotop, -typ 166  
 Pedologie 12  
 Pedon 140, 141  
 Pedoregion 143, 144  
 Pedosphäre 11  
 Pedotope 143, 144, 164, 166  
 Peptisation 349  
 Perkolation 382  
 Perstruktion 66  
 Pflanzenanalyse 319  
 Pflugsohlenverdichtung 352  
 Phaeozems 162, 173, 187, 191,  
 193  
 Phosphor 331 ff.  
 pH-Wert 304, 305, 309  
 Phyllite 62  
 Phyllo-Silikate 77  
 Pilze 94  
 Pilzmycel 93  
 Plaggenesch 134  
 Planosols 163, 192  
 Plastizitätsindex 360  
 Plastosole-74, 159  
 Plattengefüge 208, 344

- Podsole 159, **180**  
 Podsolierung 40, **121**  
 Podzols 163, **180**  
 Podzoluvisols 163, 182  
 Polyedergefüge 343  
 Porengröße 376  
 Porengrößenverteilung 346, 347  
 Porensystem 340, 344  
 Porenvolumen 346, 347, 362  
 Porenwinkelwasser 373  
 Porenzahl 345, 346  
 Porosität 345, 346  
 Postglazial 52  
 Potentialgradient 378  
 Primärminerale 59  
 Prismengefüge 343  
 Proctordichte 362  
 Profil-Daten 285  
 Protozoen 91  
 Pseudogley 159  
 Pufferkapazität 317  
 Pufferung 304  
 Pumpversuch-Verfahren 382  
 Pyrolusit 77
- Qualmwasser 370  
 Quantitätsparameter 317  
 Quarz 59, 61  
 Quarzit 62  
 Quellung 349  
 Quellschubdruck 350
- Rädertierchen 91  
 Rahmenkarten 252  
 Ranker 158, 162, **169**  
 Raseneisenstein 121, 353  
 Redoxpotential **312**, 314  
 Redoxreaktionen 311  
 Reduktion 312  
 Reduktionshorizont 122  
 Regenwürmer 92  
 Regosols 162, 169  
 Reibung 362  
 Reindichte 344  
 Rekultivierung 135, 139  
 Rekultivierungsfläche 18  
 Relief 123  
 Reliktgley 134, **200**  
 Rendzina 158, **170**  
 Residualkalium 329  
 Restkarbonat 120, **170**  
 Retrogradierung 132  
 Rhizosphäre 95, 98  
 Ried 161, 202  
 Rigol-B-Horizont 154  
 Rigolerde 159, 165  
 Rigosol 134  
 Ribbildung 350
- Röhrdichte 344, 382  
 Rollreibung 362  
 Rostabsatzhorizont 122, 155  
 Rosterden **180**, 181  
 Rostfahlerde 183  
 Rostgleye 189  
 Roströhren 199  
 Rotlehm 73  
 Ruderalsubstrate 137
- Sackung 351  
 Salmtieflehm-Braunstaugley 186, 258  
 Salmtieflehm-Fahlerde 182  
 Salm-Vegagley 165  
 Sammelwasser 370, 371  
 Sand, Sande 23, 64, 65, 147  
 Sanddeckkultur 205  
 Sander 48  
 Sand-Gley **200**  
 Sandlehm 150  
 Sandlöß 49, **67**  
 Sand-Ortgley 190  
 Sandrigolranker 134  
 Sand-Rosterde 258  
 Sandsubstrate 31  
 Sandtieflehm 150  
 Sandtieflehm-Fahlerde 165  
 Sättigungsgrad 295  
 Sättigungszone 383  
 Satzendoräne 47  
 Sauerbraunerde 179  
 Saugspannung 373, 374, **400**  
 Saugspannungs-Hysterese 376  
 Scherfestigkeit 363, 364  
 Scherflächen-Gefüge 64  
 Schichtpaket-Zwischenraum 78, 80, **298**  
 Schicht-Silikat 59, 77  
 Schichttypen 52  
 Schichtwassermenge 389  
 „Schimmel“-Karbonat 120  
 Schlagkartei 288  
 Schluff 23, 147  
 Schluffsubstrate 31  
 Schmelzwasserbildungen 48  
 Schnecken 92  
 Schollenproben 242  
 Schrumpfgrenze 360  
 Schutt 72  
 Schuttdecken 49, 50  
 Schuttlehm 150  
 Schuttlehm-Braunerde 51  
 Schwammgefüge 342, 343, 354  
 Schwarzerde 108, 158, **173**  
 Schwarzgleye **191**, 192  
 Schwarzkultur 205  
 Schwarzstaugleye 187
- Schwefel 336  
 Sedimentationsgürtel 234  
 Sedimente 62, **63**, 64  
 Sedimentgesteine 59  
 Sedimentite 63  
 Seentypen 48  
 Segregation 348  
 Selbstmulcheffekt 350  
 Senkengefüge 208  
 Serpentin 81  
 Sesquioxide 121  
 Sesquioxid-Orthorizont 154  
 Sickerwasser 307, 324–326, 369  
 Siderit 121  
 Sinkwasser 369  
 Skelettarten 28  
 Skelettsubstrate 30, 147  
 Smectit 79, 80, 83, 296  
 Solarkonstante 401  
 Solifluktion 72, 125  
 Solzustand 349  
 Spatenproben 352  
 Speichervermögen **388**  
 Springschwänze 91, 92  
 Spurenelemente 315  
 Stadial 45  
 Standarddichte 362  
 Standort 145, 217  
 Standortaufnahme **239**, **240**  
 Standorteinheiten 268, 372, 278  
 Standortgruppen **225**, **227**, 228, 237  
 Standorthauptgruppen 219  
 Standortkarten 268  
 Standortkartierung 252  
 Standortleistungstypen 264  
 Standortregionaltyp 206, **220**, 265  
 Standortstypen 217, **220**, 237  
 Staublehm 71  
 Stauchendoräne 47  
 Staugleye 74, 159, 187, 192 bis 196  
 Staugleypodsole 188  
 Staukörper 384  
 Staunässe 194  
 Staunässevergleyung **121**  
 Stauwasser 370, 384  
 Stauzone 384  
 Stechzylinder 345  
 Steine 23, 28–30  
 Steinigkeit 250  
 Steinsohle 66  
 Stickstoff 334ff.  
 Stockwerkgleye 201  
 Strahlenpilze 93  
 Strahlungsumsatz 401

- Strengit 332  
 Strömungsdruck 354  
 Strukturstabilität 354, 355  
 Substrate 30–32, 147–150  
 Substratflächentypen 212  
 Substratprofil 21  
 Substratschichtung 148  
 Substrattypen 148, 152  
 Subtyp (Boden) 156  
 Suspensionseffekt 306
- Talsand 48  
 Tausendfüßler 92  
 Temperatur 116, 405, 407  
 Temperaturleitfähigkeit 403  
 Tensiometerdruck 374  
 Territorium 145  
 Tetraeder 78  
 Texturdifferenzierung 120  
 Thixotropie 359  
 T-Horizonte 155  
 Tiefengesteine 61  
 Tiefenstufen 148, 260  
 Tieflehme 32  
 Tieflehm-Fahlerde 64  
 Tiefzone 32  
 Titrationskurven 304  
 Ton 23, 148  
 Tondurchschlammung 40, 120  
 Tonhäutchenhorizont 120, 154, 183  
 Ton-Humuskomplexe 107  
 Tonminerale 77, 78, 83, 84, 296  
 Tonschiefer 62  
 Tonsubstrate 31  
 Ton-Vegagley 258  
 Tonverlagerung 120  
 Toposequenz 211  
 Torf 36, 149, 151  
 Torfbröckelhorizont 155  
 Torfhorizonte 155  
 Torfstandorte 213  
 Torfsubstrate 149  
 Toteisblöcke 46  
 Transformationsparameter 315
- Transformationsvermögen 14  
 Transportmodelle 394  
 Treibgefährdung 35  
 Trockenphasen 396  
 Trockenrohddichte 344, 382  
 Turbation 40
- Überflutungsmoore 57  
 Überflutungswasser 370  
 Übergangshorizonte 155  
 Übergangssubtyp 156  
 Übergangstypen 157  
 Überkalkung 310  
 Ungleichkörnigkeitsgrad 33, 34  
 Unterboden 20, 151  
 Unterbodenhorizonte 154  
 Unterbodenverdichtung 352  
 Untergrund 20, 151  
 Urstromtäler 46
- Van-der-Waalsche Kräfte 349  
 Varietäten (Boden) 157  
 Variszit 332  
 Vega 73, 158, 172  
 Vegagley 191  
 Verbreitungsstufen 169  
 Verdichtbarkeit 361  
 Verdichtung 351  
 Vererdungshorizont 155  
 Verfügbare Nährelemente 319  
 Vergleyung 121  
 Verkittung 353  
 Verkittungsgefüge 343  
 Verklebung 353  
 Verlandungsmoore 57  
 Vermiculit 81  
 Vermullung 132  
 Vermullungshorizont 155  
 Vernässung 371, 398, 399  
 Vernässungsgefährdung 398  
 Verockerung 199  
 Versorgungsstufen 320, 322  
 Versuchslegende 288  
 Versumpfungsmoore 56, 57  
 Verteilungsmuster 209, 210
- Verwesung 102  
 Verwitterung 39, 40, 74, 315  
 Vicosol 134  
 Viviamit 121, 332  
 Vollamphigleye 192  
 Vollgrundgleye 192  
 Vollhydromorphe Böden 192  
 Vollstaugleye 192, 193  
 Volumenproben 242  
 V-Standorte 213, 219, 223, 228
- Wärmebilanz 401  
 Wärmekapazität 403  
 Wärmeumsatz im Boden 402  
 Warmzeit 43  
 Wasserbeweglichkeit (Stufen) 379, 380  
 Wasserbilanz, klimatische 117, 391  
 Wasserbindung 372  
 Wasserdampfbewegungen 387  
 Wasserkreislauf 367  
 Wassermerisken 350  
 Wasserretentionskurven 375  
 Wasservorrat 409  
 Wasserzufuhr 366  
 Wechsellagerungs-Mineralen 81  
 Weichsel-Kaltzeit 45, 50, 69  
 Welkepunkt, permanenter 388  
 Wiederurbarmachung 135  
 Windkanter 66  
 Windsedimente 68  
 Wirtschaftskataster 18  
 Wurzelfilzhorizont 154  
 Wurzelinterzeption 322  
 Wurzelmasse-Diagramm 386
- Zeigergruppen 369  
 Zeigerpflanzen 308  
 Zersetzungsgrad der Torfe 37  
 Zink 338  
 Zuflußposition 215  
 Zuordnungsrahmen 236, 237  
 Zuschußwasser 216  
 Zwischenhorizonte 154

## Abbildungsnachweis

Graphische Darstellung

Entwurf: Autor

Ausführung: H. E. Boche