

GÖTTINGER
BODENKUNDLICHE
BERICHTE

67

César A. DELGADILLO FUKUSAKI

**Räumliche Verteilung von Bodenphysi-
kalischen Parametern in einer Plateau-
landschaft mit wechselfeuchten Böden
und ihre Wirkung auf die Wasserdynamik**

ISSN 0340 - 4153

1981

Im Selbstverlag der Anstalten für
Bodenkunde der Universität Göttingen

Herausgeber: B. Meyer und B. Ulrich

Schriftleitung: P. Hugenroth

Bestellungen über:

Institut für Bodenkunde, Göttingen, von Siebold-Str. 4

Institut für Bodenkunde und Waldernährung
Göttingen, Büsgenweg 2

oder den Buchhandel.

GÖTTINGER
BODENKUNDLICHE
BERICHTE

67

1981

César A. DELGADILLO FUKUSAKI

Räumliche Verteilung von Bodenphysikalischen Parametern in einer Plateaulandschaft mit wechselfeuchten Böden und ihre Wirkung auf die Wasserdynamik

Göttinger Bodenkundliche Berichte 67, 1-136

1981

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	1
2.	METHODEN	3
2.1.	Kartierung	3
2.2.	Meteorologische und hydrologische Messungen im Gelände	3
2.21.	Meteorologische Messungen	3
2.22.	Hydrologische Messungen	4
2.3.	Laboruntersuchungen	7
2.31.	Analysenprofile	7
2.32.	pF - Kurve	7
2.33.	Hydraulische Leitfähigkeit	11
2.34.	Übrige Labormethoden	13
2.4.	Vergleich der Leitfähigkeit nach Verdunstungs- und Durchflußmethode	15
3.	GEOLOGIE, SCHICHTUNGS- UND BODENVERHÄLTNISSE IM UNTERSUCHUNGSGEBIET	19
3.1.	Geologie	19
3.2.	Schichtungsverhältnisse im bodenbildenden Substrat	20
3.3.	Bodenkarte Spanbeck- Holzerode-Katlenburg	36
3.31.	Die Legende	36
3.32.	Profildarstellung	41
3.33.	Bodenverbreitung	59
4.	BEZIEHUNG ZWISCHEN BODENPHYSIKALISCHEN PARAMETERN, SCHICHTUNGSVERHÄLTNISSEN UND HYDROMORPHIEGRAD	62
4.1.	Bodenphysikalische Parameter und ihre wechselseitigen Beziehungen	62
4.2.	Horizont- bzw. Schichtabhängigkeit bodenphysikalischer Parameter	64
4.3.	Saugspannungs- Wassergehalts- Charakteristik im Feld	72
4.4.	Beziehung zwischen Hydromorphie-Grad und Schichtungsverhältnissen	76
5.	UNTERSUCHUNGEN ZUM AKTUELLEN FEUCHTEGANG	82
5.1.	Bestandesniederschlag und Interzeption	82
5.2.	Bodenfeuchtegang 1977-79 in tiefgründigem Löß	85

5.21.	Parabraunerde - Pseudogley - Serie	85
5.22.	Wald - Freiland - Vergleich	97
5.23.	Einfluß des Mikroreliefs	100
5.3.	Bodenfeuchtegang 1977-79 in Böden mit geringer Lößüberdeckung	102
5.4.	Bilanzmäßiger Nachweiß lateraler Flüsse	108
6.	ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION	110
7.	LITERATURVERZEICHNIS	118
	ANHANG	123

Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 1 Vegetation der Meßpunkte
- Tab. 2 Mittelwerte der Diffusivität (D) bei Saugspannung 50, 100, 330, 1000 und 3000 cm WS für einige Horizont-Proben aus F2 und F5
- Tab. 3 Legende zur Bodenkarte Spanbeck, Holzerode und Katlenburg
- Tab. 4 Farbabstufungen der 4 unterschiedenen Hydromorphie-Stufen, bezogen auf Lössmaterial, im Oberboden (Bv, Al, Sw)
- Tab. 5 Einige mittlere bodenphysikalische Parameter gemessen in Profilen der Bodeneinheiten 2-16
- Tab. 6 Zuordnung der Beispiels-Profile zu den Kartiereinheiten
- Tab. 7 PEARSON Korrelations-Koeffizienten und Streuungen der korrelierenden bodenphysikalischen Parameter
- Tab. 8 Mittelwerte und Streuung bodenphysikalischer Parameter der Horizonte sowie lehmiger und toniger Fließerde
- Tab. 9 Signifikanz (auf 0.05 Niveau) der Unterschiede zwischen Parametern folgender Horizont- und Schichtpaare (F = Fließerde).
- Tab. 10 Absolute und prozentuale Verteilung der Legende-Einheiten 9-12 (zunehmende Hydromorphie) für verschiedene Typen der Schichtung (bis 2 m Tiefe) im Gebiet der Detailkarte E
- Tab. 11 Absolute und prozentuale Verteilung der Bodeneinheiten 3-6 (zunehmende Hydromorphie) auf verschiedenen Schichtungstypen im Gebiet der Detailkartierung W
- Tab. 12 Daten eines C-Horizonts der Volpriehausener Wechselfolge (Sandstein mit dünner Tonschicht)
- Tab. 13 Regressionsgleichungen zwischen Nf, Nb und I
- Tab. 14 Prozentualer Anteil des Bestandesniederschlages Nb am Freilandniederschlag Nf in den Jahren 1977-79
- Tab. 15 Altersabhängigkeit des Bestandesniederschlages Nb (in % vom Nf) von unterschiedlich alten Fichten-Beständen
- Tab. 16 Bilanz von 2 Niederschlagsperioden

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1 Übersicht über Lage der Meßpunkte, Profile und der Detailkartierung, Holzerode
- Abb. 2 pF-Kurve von F2 und F5 (je 2 Horizonte) nach Aufsättigung mit und ohne Vakuum
- Abb. 3 Anlage zur Aufsättigung von Zylinderproben von oben nach unten
- Abb. 4 pF-Kurve von 4 Horizonten nach Aufsättigung von unten (durchgezogene Linie) bzw. von oben
- Abb. 5 Hydraulische Leitfähigkeit einiger Horizonte von F5 nach Durchflußmethode und Verdunstungsmethode
- Abb. 6 Hydraulische Leitfähigkeit einiger Horizonte von F2 nach Durchflußmethode und Verdunstungsmethode
- Abb. 7 Geologische Schichtenfolge im Querschnitt sowie als Karte des Untersuchungsgebietes
- Abb. 8 Detailkarte E: Kontourschichtung, Lößmächtigkeit
- Abb. 9 Detailkarte E: Bodenverbreitung und Lage der Querschnitte
- Abb. 10 Stratigraphische Querschnitte im Gebiet der Detailkarte E
- Abb. 11 Detailkarte W: Kontourschichtung, Schichtenverbreitung
- Abb. 12 Detailkarte W: Bodenverbreitung und Lage der Querschnitte
- Abb. 13 Stratigraphische Querschnitte in Detailkarte W
- Abb. 14 Stratigraphische Querschnitte in Detailkarte W
- Abb. 15 Mittlere pF-Kurve der Horizonte bzw. Schichten
- Abb. 16 Mittlere hydraulische Leitfähigkeit der Horizonte und Schichten als Funktion der Saugspannung
- Abb. 17 Vergleich der Wassergehalts-Saugspannungs-Charakteristiken im Feld und im Labor von 3 Horizonten in Profil F1

- Abb. 18 Vergleich der Wassergehalts-Saugspannungs-Charakteristiken in Feld und im Labor von 4 Horizonten in Profil F2
- Abb. 19 Bestandesniederschlag als Funktion vom Freilandniederschlag
- Abb. 20 Saugspannungs-Isoplethen 1977 der Meßstellen F1-3
- Abb. 21 Saugspannungs-Isoplethen 1978 der Meßstellen F1-3
- Abb. 22 Saugspannungs-Isoplethen 1979 der Meßstellen F1 u. 3
- Abb. 23 Tiefenfunktion der Saugspannung in Parabraunerde F3 im Desorptionsgang mit nachfolgender Wiederauf-sättigung
- Abb. 24 Tiefenfunktion der Saugspannung in Pseudogley F2 im Desorptionsgang mit nachfolgender Wiederauf-sättigung
- Abb. 25 Aktuelle Luftkapazität in zwei Perioden 1977 (Mai und Juli) für Parabraunerde (F3) bis Pseudogley (F2)
- Abb. 26 Aktuelle Luftkapazität in zwei Perioden 1978 für Parabraunerde (F3) bis Pseudogley (F2)
- Abb. 27 Saugspannungs-Isoplethen 1978 der Meßstellen F11 u. 12
- Abb. 28 Saugspannungs-Isoplethen 1979 der Meßstellen F11 u. 12
- Abb. 29 Schichtenverlauf am Hang der Meßstellen F7-10
- Abb. 30 Saugspannungs-Isoplethen 1978 der Meßstellen F7-10
- Abb. 31 Saugspannungs-Isoplethen 1979 der Meßstellen F7-10

1 Einleitung

Die Bodengesellschaften der mitteldeutschen Sandstein-Plateaus sind häufig durch einen hohen Anteil von Pseudogleyen gekennzeichnet. Hydromorphe und nichthydromorphe Böden, aber auch der Hydromorphiegrad der Pseudogleye, variieren oft kleinräumig. Als Ursachen dieses kleinräumigen Wechsels kommen in Betracht die Art, Verbreitung und Tiefenlage verdichteter Zonen (tonige Schichten des Sandsteins, insbesondere im sm1, Fließerden, Bt-Horizonte im LÖB) sowie Reliefeinflüsse. Im Rahmen dieser Arbeit sollten in einem Beispielsgebiet folgende drei Problemkreise untersucht werden:

- a) Welche Beziehung besteht zwischen dem Bodenmosaik und der kleinräumigen Variabilität des Ausgangsgesteins bzw. dem ebenfalls kleinräumigen Wechsel der Schichtungsverhältnisse von Fließerden, Hangsedimenten und LÖB? Welche Schichten oder pedogenen Horizonte kommen als Stauzonen in Betracht?
- b) Wie eng ist die Beziehung zwischen der horizontalen Verbreitung der beobachtbaren Hydromorphie-Merkmale und den bodenphysikalischen Parametern, insbesondere der möglichen Stauzonen?
- c) Wie ist das heutige Bodenfeuchteregime der Pseudogleye, und welche Beziehung besteht zu den Hydromorphie-Merkmalen einerseits und dem Charakter der Stauzonen andererseits?

Diesen Problembereichen gemeinsam ist die Hintergrundfrage nach der Bedeutung lateraler Wasserflüsse in einer relativ ebenen Plateau-Lage. Lassen sich in einer solchen Situation die (während einer Kartierung angesprochenen) Hydromorphie-Merkmale allein mit dem vertikalen Aufbau des Bodens erklären, oder spielt die laterale Umverteilung von Niederschlägen eine prägende Rolle. Diese Frage hat nicht zuletzt für ökosystemare Ansätze bei der Bearbeitung von Landschaftsausschnitten eine wesentliche Bedeutung, insbesondere auch bei der Auswahl von repräsentativen Beobachtungs- bzw. Meßpunkten.

Als Untersuchungsgebiet wurde eine Fläche 15 km nordöstlich von Göttingen ausgewählt; sie wird bestockt von Buchen und

Fichten verschiedener Altersstadien. Den Untergrund bilden hauptsächlich Schichten des sm1; Fließerden und Löß stellen die 1 bis 2 m mächtige Deckschicht. Seit 1977 wurden einmal eine Bodenkartierung des Gesamtgebietes sowie eine Teilkartierung eines ebenen Plateauareals mit starkem, kleinräumigem Bodenwechsel vorgenommen (3). Hieraus ergab sich eine Übersicht über die stratigraphischen Verhältnisse sowie über die Beziehung zwischen diesen und den Hydromorphie-Merkmalen (4.4).

Auf der Grundlage der Bodenkartierung wurden 19 Profile ausgewählt für eine eingehende Erfassung aller bodenphysikalischer Parameter. Ihre Beziehung untereinander sowie mit den Schichtungsverhältnissen und pedogenen Einflüssen werden in 4.1 - 4.3 besprochen.

Schließlich wurden im Zeitraum 1977-79 die zeitlichen Änderungen der Wasserspannung und Wassergehalte aus einer Reihe von Standorten unterschiedlicher Bodenhydromorphie und Schichtungsverhältnisse verfolgt. Ergebnisse und Konsequenzen aus diesen Untersuchungen werden in 5 dargestellt.

2 Methoden

2.1 Kartierung

Die Bodenkartierung erfaßte ein Waldgebiet von 560 ha, zugehörig dem Genossenschaftsfort Spanbeck und den staatlichen Forstämtern Radolfshausen und Katlenburg. Als Grundlage wurden die topographischen Karten der deutschen Grundkarte (1974), Maßstab 1:5000, benutzt. Dieser Arbeit liegt eine Verkleinerung der Bodenkarte im Maßstab 1:10000 bei. Für die Anfertigung der Bodenkarte konnte auf Ausschnittkartierungen zurückgegriffen werden, welche in den Jahren 1976-79 von Studenten der Forstwissenschaft im Rahmen von Kartierübungen durchgeführt wurden. Kartiert wurde mit 1 m Bohrstock und einer Netzweite von 50 mal 50 m bei heterogener, von 100 mal 100 m bei relativ homogener Bodenvergesellschaftung.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden alle Teilkartierungen überprüft, einige konnten mit leichten Änderungen unter Anpassung der Legenden übernommen, andere mußten wiederholt werden. Außerdem mußten im ganzen Bereich größerer Lössmächtigkeit eine Zusatzkartierung bis 2 m Tiefe vorgenommen werden, und zwar mit einer variablen Beobachtungsdichte (im Mittel 200 mal 200 m). Zur Überprüfung der Bohrprofile wurden etwa 40 Probilgruben angelegt.

Eine Detailkartierung mit Netzweite 20 mal 20 m - zum Teil 20 mal 10 m - wurde im Bereich größter Häufung von Pseudogleyen auf etwa 12,4 ha durchgeführt, und zwar je nach Lössmächtigkeit bis auf 1 bzw. 2,5 m Tiefe (s. Abb.1). Maßstab der Originalkarte war 1:1000. Sie ist verkleinert in Abb. 9 und 12 wiedergegeben.

2.2 Meteorologische und hydrologische Messungen im Gelände

2.21 Meteorologische Messung

Eine kleine Freifläche in einem sehr offenen Fichten-Jungbestand (Abb. 1) wurde ausgewählt für die Messung von

Temperatur und relativer Luftfeuchte (Thermohygrograph) sowie des Freilandniederschlages (Regenschreiber sowie 2 Totalisatoren von 100 cm^2 bzw. 200 cm^2 Öffnungsweite und einer Edelstahlrinne von 4 m Länge). Als Freilandniederschlag erscheint das Mittel aus Totalisatoren und Rinne. Die Daten wurden zweimal wöchentlich erfaßt.

Zur Bestimmung des Bestandesniederschlages wurden 400 cm lange Edelstahlrinnen an den Beobachtungspunkten F1, F2 und F4 aufgestellt (Abb. 1). In F1 befinden sich 4 Rinnen (1977 und 78 nur 2 Rinnen), in F2 2 Rinnen und in F4 1 Rinne doppelter Länge. Die Auffangfläche je Rinne beträgt etwa $0,6 \text{ m}^2$. Sie mußte für jede Rinne genau vermessen werden.

2.22 Hydrologische Messungen

Gemessen wurde das Matrixpotential und seine zeitliche Änderung mit Quecksilber-Tensiometern. Tensiometerfelder wurden an verschiedenen Beobachtungspunkten (s. Abb.1) eingerichtet. Die Tiefenstufen waren in F1 und F2 20, 40, 60, 80, 100, 150 und 200 cm mit je 4 Wiederholungen, in F3 25, 50, 75, 100, 150 und 200 cm mit der gleichen Zahl von Wiederholungen. Diese drei Meßpunkte repräsentieren jeweils Parabraunerde (F3), Pseudogley (F2) und Pseudogley-Parabraunerde (F1) bei großer Lössmächtigkeit in ebener Lage.

Um Effekte des Mikroreliefs auf das Bodenfeuchteregime zu verfolgen, wurden in eine kleine Geländemulde in der Nähe von Meßpunkt F1 4 Tensiometerfelder eingerichtet (Gesamtfläche 5 mal 10 m). Feld I und II befanden sich an Stellen geringer Erhebung, Feld III und IV an der Tiefstelle der Depression. Die Lössmächtigkeit betrug hier über 80 cm, die Meßtiefen einheitlich 20, 40, 60 und 80 cm. An den Meßstellen 11 und 12, 40 m voneinander entfernt, sollten die Unterschiede zwischen Pseudogley (F12) und Parabraunerde (F11) überprüft werden. Tensiometer wurden an jeder Stelle mit 2 Wiederholungen in 20, 40, 60, 80 und 100 cm, im zweiten Jahr auch in 150 cm Tiefe gesetzt.

Die Beobachtungspunkte F7/10 (Abb. 1) am Nordhang des Butterberges repräsentieren Standorte mit geringer Lössüberlagerung

über toniger, dichter Fließerde. In der Hangsequenz variiert die Hangneigung von 8/10 % (F8/7) bis 3 % (F8/9) und 0,8 % (F9/10). F10 liegt bei gleicher Hangneigung wie F9 weiter vom Hangfuß entfernt. Die Meßtiefen wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt: Bei einer Lössmächtigkeit unter 30 cm (F7 und F10) wurde nur 1 Tensiometer in den Löß an die Grenze zum darunter liegenden Ton gesetzt, um so das an dieser Grenzschicht eventuell hangparallel fließende Wasser feststellen zu können. Bei einer Lössmächtigkeit über 30 cm (F8 und F9) wurden je 1 Tensiometer mitten in den Löß und ein weiteres wie oben beschrieben an die Grenzschicht gesetzt. Die übrigen Meßtiefen waren für alle Punkte gleich, nämlich 60 und 80 cm, in F7 und F10 im zweiten Meßjahr auch noch 100 und 150 cm.

Zu verschiedenen Zeitpunkten wurden an den Meßstellen F1/3 gravimetrische Wassergehaltsbestimmungen durchgeführt. Die Probenahme erfolgte 10cm-weise mit einem Bohrer bis 1 m bzw. 2 m Tiefe. Wegen der Streuung der einzelnen Werte wurde mit 10 Wiederholungen gearbeitet. Wassergehaltsbestimmungen mit der Neutronensonde wurden im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls durchgeführt, aber nicht ausgewertet, da die vertikale Inhomogenität der Böden eine horizontweise Eichung erfordert hätte. Eine Eichung über die parallelen gravimetrischen Wasserbestimmungen erwies sich wegen der Streuung der Werte als wenig befriedigend.

Zur Beurteilung der meßtechnischen Besonderheiten der einzelnen Meßpunkte sind in Tab. 1 Angaben über die Vegetation aufgeführt. Die Erfassung des Bestandes-Niederschlages in F2 brachte Probleme mit sich wegen des starken Graswuchses zwischen den niedrigen und wegen Wildsäung sehr schlanken Fichten. Hier wurde der Bedeckungsgrad mit Gras simuliert durch eine flächenweise entsprechende Abdeckung der Rinne mit Nylon-Netzen und toten bzw. lebenden, aber zur Vermeidung von Stammablauf umgeknickten Grashalmen.

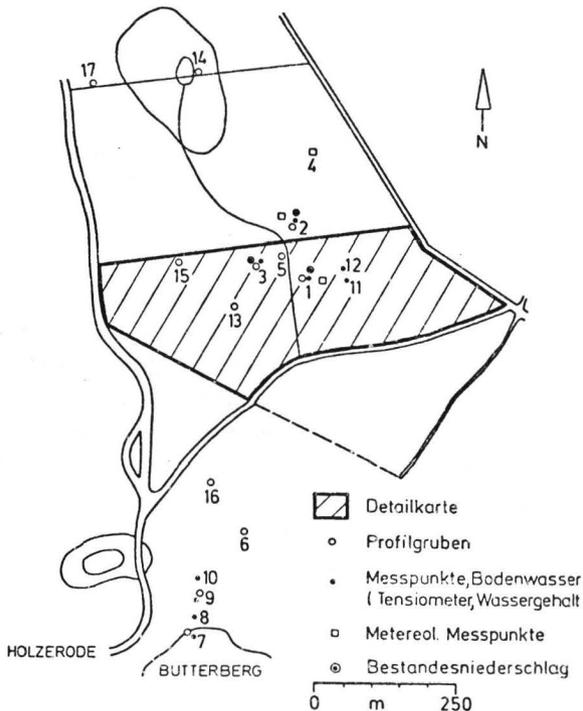
Tab. 1: Vegetation der Meßpunkte (s. Abb. 1)

	Baumschicht	Alter	Zustand	Krautschicht
F1	Fichte	14	dicht	fehlt
F2	"	11	sehr offen	grassreich
F3	"	11	halb offen	schwach
F4	"	32	sehr dicht	fehlt

F 7-9	"	11	halb offen	grassreich
F 10	"	11	sehr offen	Grass vorherrschend

F 11,12	"	14	dicht	fast fehlend

Abb. 1: Übersicht über Lage der Meßpunkte, Profile und der Detailkartierung, Holzzerode.



2.3 Laboruntersuchungen

2.31 Analysenprofile

Für die vorliegende Arbeit wurden 19 Profile untersucht. Im Bereich Holzerode sind sie mit F, im Bereich Spanbeck mit S gekennzeichnet und durchnummeriert. In jedem Profil wurden normalerweise jeweils 4 Proben, in einigen 6 Proben pro Horizont für die Bestimmung der pF-Kurve und für die Bestimmung der ungesättigten Leitfähigkeit gewonnen (250 cm³ Stechzylinder).

In den Profilen F2 und F5 wurden zur Bestimmung der Diffusivität nach der Verdunstungsmethode (ARYA) je Horizont 4 Proben in Stechzylindern mit 500 cm³ Volumen bei 10 cm Zylinderlänge entnommen.

Die ausgewählten Profile repräsentieren Typen unterschiedlich starker Pseudogley-Ausprägung von Braunerde bzw. Parabraunerde bis zum typischen Pseudogley bei unterschiedlicher Lössmächtigkeit und verschiedenartiger Unterlagerung von Fließerden (Profilbeschreibungen s. 3.3).

2.32 pF-Kurve

Die pF-Kurve wurde im Labor anhand von vorher aufgesättigten Proben bestimmt, und zwar bis 330 cm WS (mit Zwischenstufen von 5, 50, 100, 330 cm WS) durch Entwässerung über keramische Platten, bei 1, 5 und 15 bar in Drucktöpfen nach RICHARD (1965). Im ersteren Fall wurden ungestörte, im letzteren Fall gestörte Proben verwandt. Der notwendige Übergang in der Methodik erwies sich als nicht unproblematisch; insbesondere der Wert bei 1 bar zeigte oft unbefriedigende negative oder positive Verschiebungen, welche darauf hindeuten, daß die Wassergehalt-Saugspannung-Charakteristik in diesem Saugspannungsbereich noch entscheidend vom Gefüge mitbestimmt wird. Der 1 bar-Wert wurde deshalb weitgehend vernachlässigt.

Ein weiteres Problem liegt in der Aufsättigungsmethodik. In der in dieser Arbeit regelmäßig angewandten Methodik erfolgt die Aufsättigung nach vorheriger Entlüftung von unten her im Gleichgewicht mit den Luftdruckbedingungen des Labors.

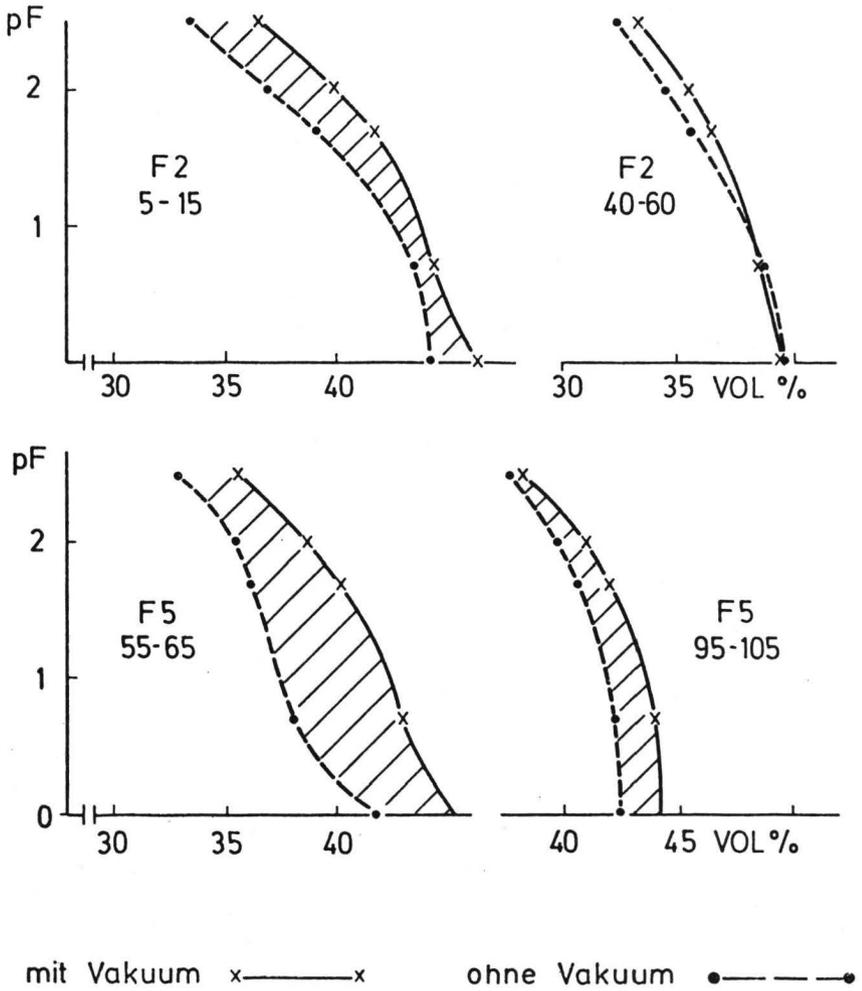
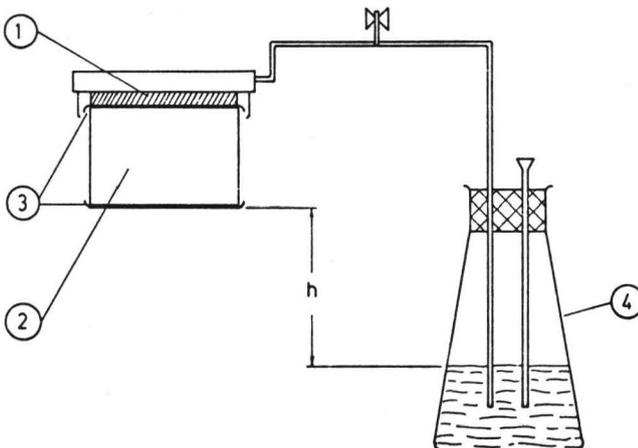


Abb. 2: pF-Kurven von F2 und F5 (je 2 Horizonte) nach Aufsättigung mit und ohne Vakuum

Eine Aufsättigung unter Vakuum, um die Vollständigkeit der Sättigung sicherzustellen, erwies sich als nicht zweckmäßig, da dann der Vorgang zu schnell verläuft, wobei es zu Störungen des Probengefüges kommt. Die dabei auftretende Verschiebung in der Porenverteilung spiegelt die realen Verhältnisse nicht wieder (siehe Abb. 2, F2: Pseudogley, F5: Parabraunerde).

Parallel zu dieser serienmäßigen Bestimmung der Labor-pF-Kurve wurde an den Meßstellen F1/3 die Beziehung zwischen Wassergehalt und Saugspannung (Feld/pF-Kurve) während verschiedener Sättigungszeitpunkte gemessen. Zwischen beiden pF-Kurven kann es zu mehr oder minder großen Abweichen kommen (siehe 4.3), welche durch unterschiedliche Vollständigkeit der Aufsättigung verursacht wird. Um die Aufsättigung unter natürlichen Feldbedingungen zu simulieren, wurde außerdem im Labor der Versuch unternommen, durch Aufsättigung von oben her die Aufsättigungs-Bedingungen denen des Feldes anzugleichen. Abb. 3 zeigt die benutzte Anlage, bei der die Wasserzufuhr über ein Druckgefälle von 8,5 cm und eine Keramikplatte erfolgte.

Abb. 3: Anlage zur Aufsättigung von Zylinderproben von oben nach unten (1: Keramikplatte, 3: Filterpapier, 2: Bodenprobe, 4: Mariotte'sche Flasche)



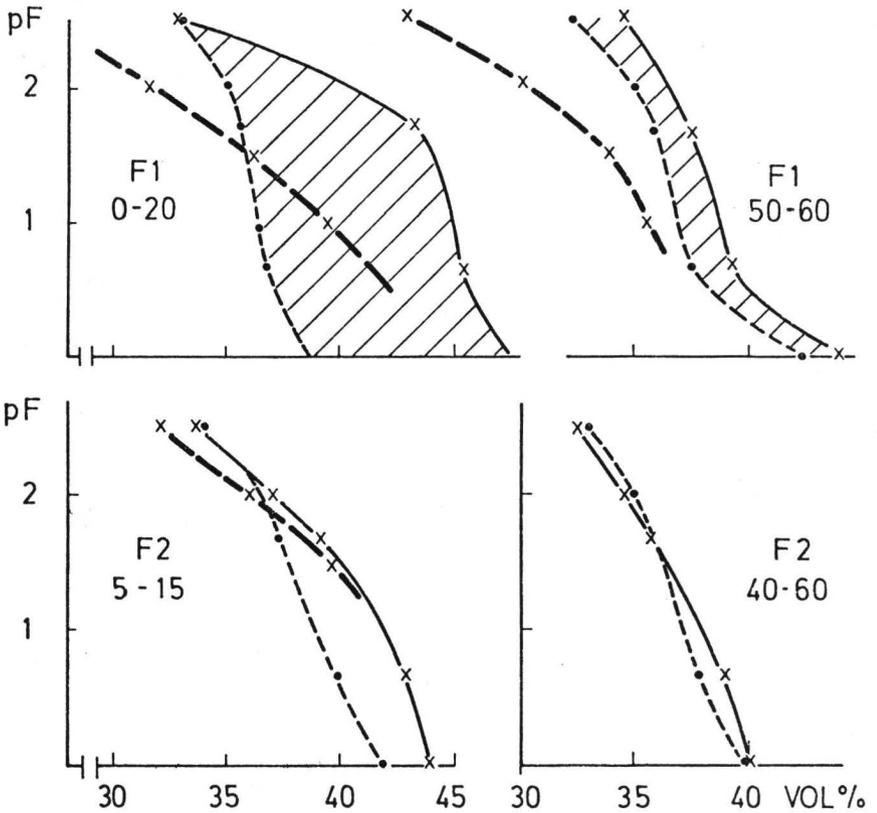


Abb. 4: pF-Kurven von 4 Horizonten nach Aufsättigung von unten (durchgezogene Linie) bzw. von oben (gestrichelte Linie). Dick gestrichelt ist die Feld-pF-Kurve (in F2, 40-60 cm, identisch mit den anderen beiden).

Die in Abb. 4 aufgeführten Ergebnisse zeigen einerseits, daß der so erzielte Kurvenverlauf zwar durchaus dem der Feld-pF-Kurve besser angenähert, aber mit ihm doch nicht identisch ist. Dies läßt sich wohl auch schon deshalb nicht erwarten, weil ja die Aufsättigungsbedingungen nicht ganz gleich sind. Deshalb wurden auch für die weiteren Betrachtungen die Werte der Standard-Aufsättigung zugrunde gelegt. Andererseits zeigt sich, daß auch hier - wie bei der Feld-pF-Kurve - der Effekt deutlich hervortritt, daß die Abweichung von den Standard-Kurven in den Pseudogleyen vernachlässigbar ist (siehe 4.3).

2.33 Hydraulische Leitfähigkeit

Die gesättigte Leitfähigkeit wurde an der für die pF-Bestimmung vorgesehenen Stechzylindern nach Aufsättigung vor der Entwässerung bestimmt. Gemessen wurde mit einem Haubenpermeameter nach der "falling head"-Methode (KLUTE, 1965). Dabei gilt:

$$K_f = [2.3 \alpha \cdot L/A (T_2 - T_1)] (\text{Log } H_1 - \text{Log } H_2)$$

H1 und H2 sind die Höhen der Wassersäule entsprechend Zeit T1 und T2 (HILLEL, 1971).

Zur Bestimmung der ungesättigten Leitfähigkeit wurden eine Verdunstungsmethode und eine Durchflußmethode angewandt.

Verdunstungsmethode:

Die Verdunstungsmethode nach ARYA (1975) bestimmt die Diffusivität (D) des Bodenwassers in Abhängigkeit vom Wassergehalt. Bei der Messung wird ein vorher aufgesättigter Bodenzylinder an einer Seite mit trockener, warmer Luft überblasen, so daß Wasser aus der Säule verdunsten kann. Die Abnahme des Wassergehalts in der Säule wird über eine Waage verfolgt. Anschließend wird die Bodensäule in Scheiben zerlegt und deren Wassergehalt bestimmt. Die Diffusivität wird dann berechnet nach:

$$D(\theta_x) = \frac{1}{2} t \left(\frac{dx}{d\theta} \right) \theta_x \int_{\theta_x}^{\theta_i} x d\theta$$

wobei folgende Voraussetzungen erfüllt sein müssen:

$$\theta = \theta_i \quad x > 0 \quad , \quad t = 0$$

$$\theta = \theta_0 \quad x = 0 \quad , \quad t > 0$$

Die Leitfähigkeit (K) kann anschließend aus D mit Hilfe der pF-Kurve bestimmt werden:

$$D(\theta) = K(\theta) \frac{\delta\psi}{\delta\theta} = \frac{K}{C}$$

wobei $\frac{\delta\psi}{\delta\theta}$ die Steigung der pF-Kurve bei dem jeweiligen θ ist.

Die Verdunstungsmethode erlaubt eine einfache und schnelle Bestimmung der Diffusivität ohne größeren apparativem Aufwand. Die Anwendung ist jedoch beschränkt auf Böden mit gleichmäßiger Porenverteilung (OPARA NADI, 1979) ohne Skelett oder größere Wurzeln, welche die Zerlegung der Säule in Scheiben besonders am oberen Ende stören, wo sehr feine Scheiben abzutrennen sind, um einen ausreichend genauen Kurvenverlauf des Wassergehalts in der Säule zu erhalten. Eine Schwierigkeit bei der Bestimmung von D bereitet auch die graphische Integration (s. auch KIRKHAM u.a., 1972). Einzelheiten der Methode sind bei EHLERS, 1976, und OPARA NADI, 1979, beschrieben.

Für die vorliegende Arbeit wurden 10 cm lange Zylinder mit 500 cm³ Inhalt verwendet. Die Verdunstungszeit betrug bei allen Proben 20 Minuten. Bestimmt wurde nach dieser Methode die Diffusivität aller Horizonte der Profile 2 und 5.

Durchflußmethode:

Zur Bestimmung der ungesättigten Leitfähigkeit wurde hauptsächlich die Durchflußmethode angewandt, da sie eher die für Versickerung und Stauwirkung interessanten Daten im Saugspannungsbereich unterhalb der Feldkapazität liefert. Bei

dieser Methode wird die Flußrate durch ungestörte Bodenproben in Abhängigkeit vom Wassergehalt und einem vorgegebenem Potentialgradienten bestimmt.

Die verwandte Apparatur entsprach der von BENECKE (1979), welche eine Abwandlung eines Vorschlages von HENZELER u.a. (1969) darstellt. Wassergehalt und Potentialgradient bleiben hierbei während der Messung konstant. Der Gradient wird über 2 Tensiometer in der Probe direkt gemessen. Die Berechnung von K_u ergibt sich nach folgender Gleichung:

$$K_u = (q/F \cdot t) \frac{\Delta Z}{\Delta \theta} \text{ cm/Tag}$$

Zu beachten:

$$\Delta \theta = (\psi_u + G_u) - (\psi_o + G_o)$$

$$\Delta Z = Z_o - Z_u$$

ψ_u und G_u sind das Matrixpotential und das Gravitationspotential am Unterende, ψ_o und G_o entsprechend am Oberende der Probe. ΔZ ist die Probenhöhe. Eine ausführliche Beschreibung der Methode und der Apparatur gibt OPARA NADI (1979).

Für die vorliegende Arbeit sind Leitfähigkeiten bei Wassersättigungsgraden entsprechend 20, 50 und 100 cm WS an allen untersuchten Horizonten bestimmt worden.

2.34 Übrige Labormethoden

Texturanalyse:

Die Texturanalyse erfolgte nach der Pipett-Methode (KÖHN, 1928), nachdem die Bodenproben auf 2 mm gesiebt waren. Dispergiert wurde mit Na-Hexametaphosphat. Nach Abschlämmen der Fraktion $< 20 \mu$ wurden Grobschluff und die Sandfraktionen durch Sieben getrennt.

Spezifische Dichte:

Mit Pyknometer und Xylol wurde die spezifische Dichte an allen Proben nach SCHLICHTING und BLUME (1966) bzw. BLAKE (1965) bestimmt.

Chemische Analysen:

Folgende chemischen Analysen wurden durchgeführt: Kohlenstoff durch trockene Veraschung in der Wösthoff-Apparatur, Stickstoff und Phosphor in einem modifizierten Kjeldahl-Aufschluß, pH elektrometrisch in 0,01 M CaCl_2 bei einem Verhältnis Boden:Lösung von 1:2.5. Die austauschbaren Kationen Na, K, Ca, Mg und Mn durch atomare Absorptionsspektrometrie, Al und Fe kolorimetrisch mit Aluminon bzw. Phenantrolin nach Austausch mit 1 M NH_4Cl beim pH des Bodens. Die Summe aller austauschbaren Kationen ergab die effektive Austauschkapazität nach ULRICH (1966).

2.4 Vergleich der Leitfähigkeit nach Verdunstungs- und Durchflußmethode

Die Verdunstungsmethode nach ARYA (1975) war ursprünglich mit herangezogen, um die Leitfähigkeit-Charakteristik in den Bereich höherer Saugspannung ausdehnen zu können. Da dieser Bereich jedoch für die Fragestellung dieser Arbeit weniger interessant war, wurden nur 2 Profile (F2 + 5) untersucht. Da diese Ergebnisse später nicht wieder auftauchen, sollen sie an dieser Stelle kurz abgehandelt werden.

Für die wurzelreichen Oberboden-Horizonte ließen sich die Voraussetzungen für die Anwendung der Verdunstungsmethode, nämlich Linearität zwischen Verdunstung und der Quadratwurzel der Zeit sowie unveränderter Ausgangswassergehalt an der Zylinderbasis, nicht erfüllen. Für die übrigen Proben sind die Diffusivitätswerte in Tab. 2 aufgeführt. Die

Tab. 2: Mittelwerte der Diffusivität (D) bei Saugspannung 50, 100, 330, 1000, 3000 cm WS für einige Horizontproben aus F2 und F5

Tiefen	D (cm ² /min.)				
	50	100	330	1000	3000 cm WS
F2					
30-35	-	-	0.1786	0.1042	0.0334
50-55	-	-	0.1678	0.0495	0.0248
110-120	-	0.2263	0.1430	0.1008	0.0364
F5					
55-60	0.3888	0.2233	0.1029	0.0570	0.0380
95-100	-	-	0.2438	0.1299	0.0452
125-130	-	0.1705	0.1480	0.1153	0.0602

Meßwiederholungen zeigen eine geringe Streuung. Eine Überlappung der Vertrauensbereiche (95 %) findet sich nur im untersten Fließerde-Horizont von F2. Werte für den Bereich niedriger Spannung waren nur in 3 Horizonten errechenbar, ohne daß die von OPARA NADI (1979) vorgeschlagene Beziehung zur

Steilheit der Gradienten der pF -Kurve zur Erklärung herangezogen werden könnte. Die Tiefenfunktion der Diffusivität scheint sonst recht eng mit dem Gehalt an Mittelporen entsprechend dem Saugspannungsbereich pF 2.5 - 4.2 zu variieren.

Abb. 5 und 6 stellen die Ergebnisse der beiden Methoden gegenüber. Relativ gute Übereinstimmung im Falle überlappender Saugspannungsbereiche bzw. relativ guten Anschluß der beiden Kurven gibt es in F5 und den beiden unteren Horizonten von F2, während die stärkste Abweichung im Falle von F2, 40 - 60 cm registriert wird.

Hinsichtlich der Gradienten besteht gute Übereinstimmung mit Ausnahme der beiden untersten Horizonte von F2, bei denen die Verdunstungsmethode steilere Gradienten besitzt. Auf einen Versuch, diese Abweichungen zu erklären, soll hier verzichtet werden. Auf die Unsicherheiten der Verdunstungsmethode und die Begrenzung in ihrer Anwendbarkeit haben bereits KLUTE (1965), KIRKHAM und POWERS (1972) sowie OPARA NADI (1979) hingewiesen.

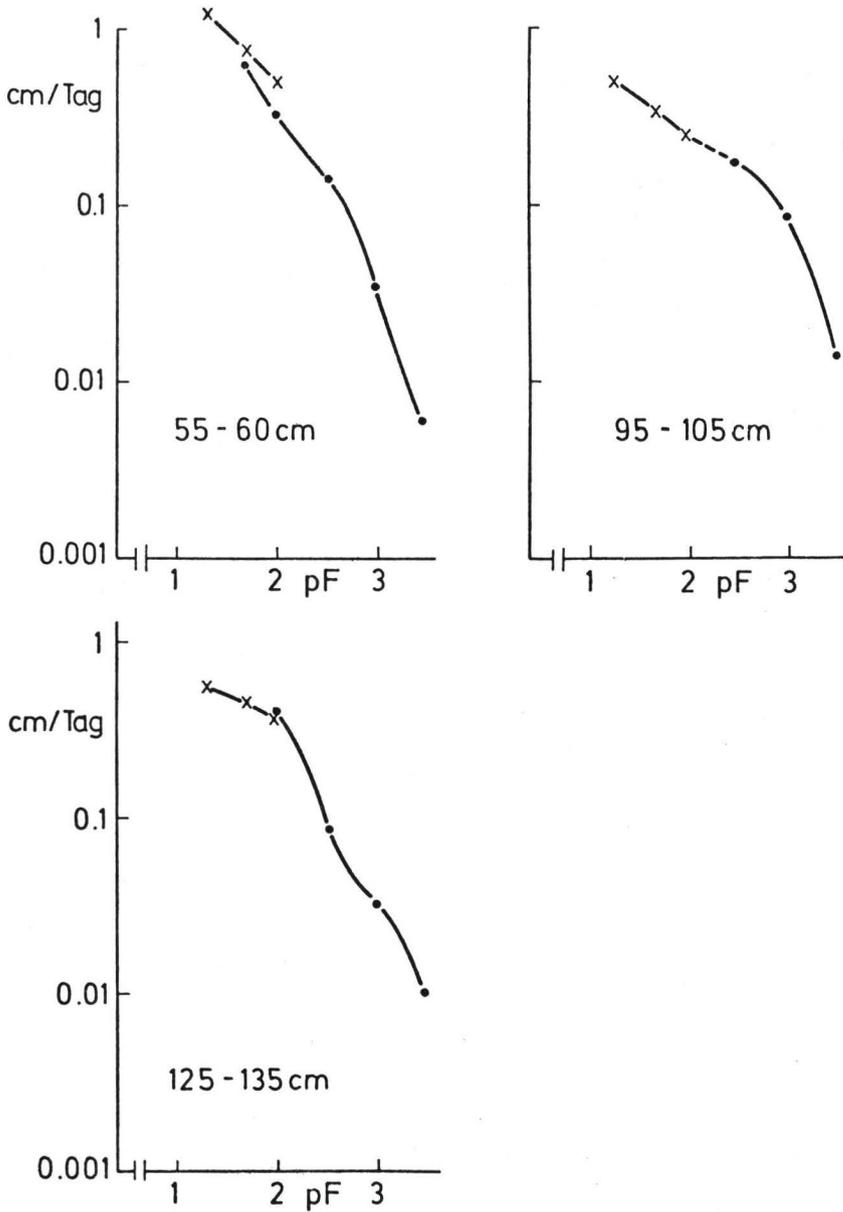


Abb. 5: Hydraulische Leitfähigkeit einiger Horizonte von F5 nach Durchflußmethode (Kreuze) und Verdunstungsmethode (Punkte)

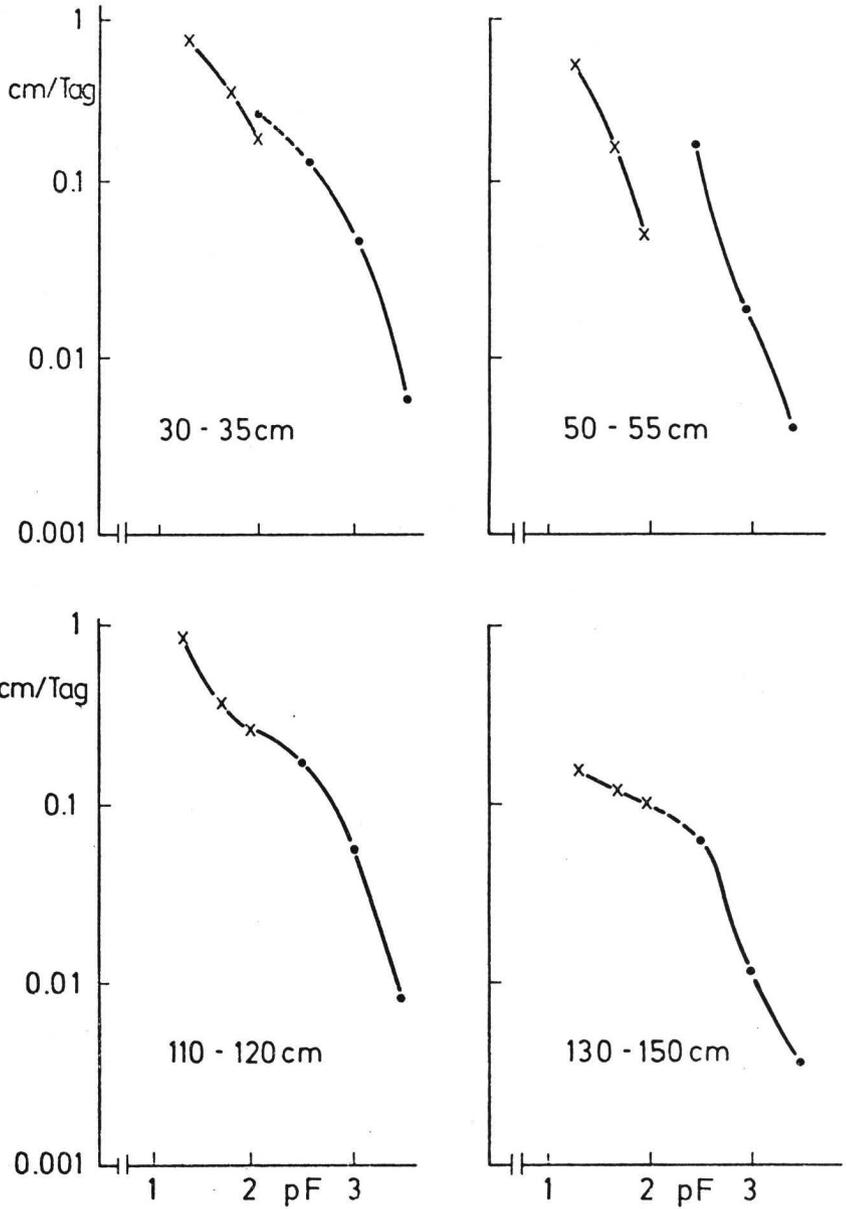


Abb. 6: Hydraulische Leitfähigkeit einiger Horizonte von F 2 nach Durchflußmethode (Kreuze) und Verdunstungsmethode (Punkte)

3 Geologie, Schichtungs- und Bodenverhältnisse im Untersuchungsgebiet

3.1 Geologie

Im untersuchten und kartierten Waldgebiet steht im wesentlichen der obere Teil des sm1 an. Nur in der südwestlichen Randzone ragen Ausläufer des sm2 (Bausandstein) in das Kartengebiet hinein. Die sm1-Folge wurde von REXHÄUSER (1957) und FIGGE (1959) eingehender untersucht und kartiert. Die von ihnen beobachtete Schichtenfolge ist wie folgt:

sm 2	Bausandstein
sm 1e	tonige Zwischenschicht, etwa 7 m bunter (weißgrau - rotbrauner) Ton
sm 1c	mürber, heller bis roter Sandstein, etwa 7 m
sm 1b+a	Wechselfolge feinschichtiger Sand- und Tonsteine (>70 m)

In dieser Folge fehlt der in E und SE Göttingen noch vorhandene Porensandstein (sm1d). Mit der Sollinger Gliederung von BOIGK (1956) lassen sich die genannten Schichten wie folgt korrelieren:

sm 1e	Hardegseiner Ton
(sm 1d)	Detfurther Ton und Wechselfolge
sm 1c	Detfurther Sandstein
sm 1b	Hauptgervillienlager
sm 1a	Volpriehausener Wechselfolge

sm 1b und a wurden von REXHÄUSER (1957) und FIGGE (1959) undifferenziert in ihren Karten ausgewiesen. Sie stellen das flächenmäßig überwiegende Ausgangsgestein im Gebiet der Bodenkarte. Dabei wechselt die mittlere Zusammensetzung aus Ton- und Sandsteinschichten sowie die Mächtigkeit insbesondere der letzteren. Im Plateaubereich korreliert dieser Wechsel mit Änderungen im Mesorelief: Dickere Sandsteinbänke

bilden flache Kuppen mit meist geringerer Überdeckung von periglazialen Decksedimenten.

Folge 1c war im Kartiergebiet nicht erkennbar. Auch von FIGGE wurde dieser rote Sandstein erst weiter westlich entlang den Flanken des den sm 2 durchschneidenden Beverbach-Tales gefunden und kartiert. Dagegen tritt - weniger reliefgestaltend als mit deutlicher Wirkung auf die Bodenverbreitung - die tonige Zwischenschicht sm 1e als von SE nach NW durchlaufendes Band in Erscheinung. Dieser Übergangsbereich zum sm 2 wird in Abb. 7 wiedergegeben. Gegenüber der Karte von FIGGE (1959) besteht eine grundsätzliche Abweichung östlich Spanbeck, insofern als der von ihm dargestellte Ausfall der tonigen Zwischenschicht nicht bestätigt werden kann.

Der Übergang von sm 1e zu sm 2 ist mit durchaus unterschiedlich starkem Reliefanstieg verbunden. Im Bereich der tonigen Zwischenschicht finden sich Auslieger des sm 2 bzw. Block- bzw. Geröllfelder als deren Abtragungsreste. Sie bilden die Kuppen im Gebiet des Butterberges. Hierin bedarf die Karte von REXHÄUSER (1957) einer Korrektur (Abb. 7).

3.2 Schichtungsverhältnisse im bodenbildenden Substrat

Das Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist hauptsächlich durch jungquartäre Prozesse der Abtragung, Hangsedimentation (Solifluktion und fluviiale Umlagerung) und Löss- Sedimentation geprägt worden. Mehrfach-Schichtungen sind die Regel, und zwar beobachtet man ziemlich durchgängig die Folge

- Löss
- löshaltige Fließerde
- lösarmer (-freie) Fließerde

Über eine entsprechende charakteristische Folge bei den Fließerden berichten SCHILLING und WIEFEL (1962) im Harz und in Thüringen (Basis- und Hauptfolge) sowie SEMMEL (1966) aus Hessen (Basisschutt und Mittelschutt) und STAHR (1979) aus dem Südschwarzwald. SCHÖNHALS (1956) in Hessen und ROHDENBURG (1965a) in Südniedersachsen kennzeichnen die

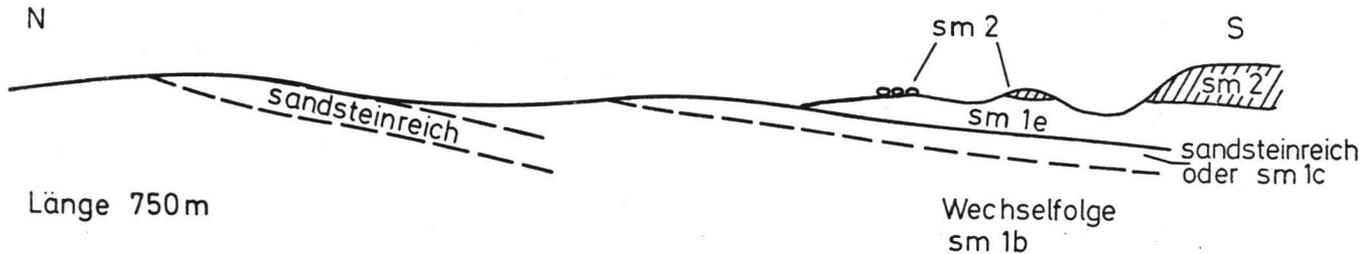
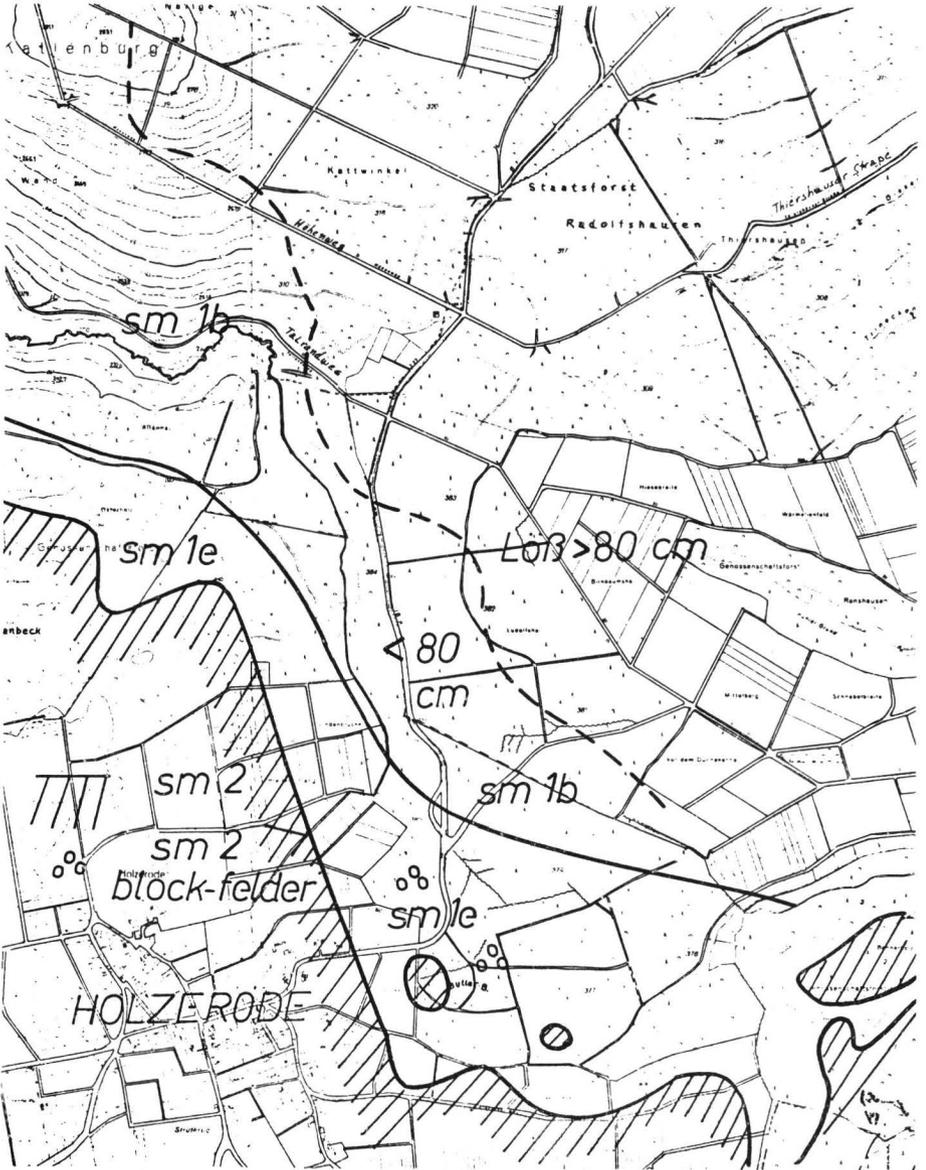


Abb. 7: Geologische Schichtenfolge im Querschnitt sowie als Karte (siehe umseitig) des Untersuchungsgebietes



Folge als autochthone Fließerde, allochthone Fließerde, LÖß, womit hinsichtlich der Fließerden eine unterschiedliche Bewegungsentfernung angedeutet wird. Die unterschiedliche Begriffswahl spiegelt hauptsächlich wohl die Tatsache wieder, daß erstere Autoren vorwiegend Abtragungsräume, letztere dagegen Lokalitäten mit vorwiegender Akkumulation bearbeitet haben. ROHDENBURG (1965a) wie auch BARTELS (1966, 1967) konnten allerdings auch zeigen, daß die vollständige Folge von Fließerden vielfältiger sein kann, durch Erosions-Diskordanzen gegliedert ist und auch deshalb einem entsprechend vielfältigeren Wechsel von Solifluktion, fluvialem Abtrag (und Auftrag) und Lösssedimentation entspricht.

Für den unmittelbaren Vergleich zum Untersuchungsgebiet sind die Beobachtungen ROHDENBURGS (1965b) aus dem Göttinger Stadtgebiet interessant, da hier über der autochthonen Fließerde ein Lösspaket z.T. unter der allochthonen Fließerde, z.T. in sie eingearbeitet auftritt. Es handelt sich um einen braunen, verlehnten Löss, welcher spätestens im Paudorfer Interstadial (Lohner Bodenkomplex) entstanden sein kann und später umgelagert wurde. ROHDENBURG stellt deshalb die allochthone (lösshaltige) Fließerde in den basalen Teil des Jungwürms, mit dessen Naßbodenfolge sie in Beziehung gesetzt werden kann. Die autochthone Fließerde (Basisfolge) könnte eine vorlaufende jungwürmzeitliche, aber auch eine mittelwürmzeitliche Solifluktion darstellen. Wie auch SEMMEL (1966) betont, ist eine Gleichaltrigkeit an allen Standorten keineswegs vorauszusetzen.

Zur Darstellung der Schichtungsfolge im Untersuchungsgebiet soll eine Detailkartierung im zentralen Kartenteil nordöstlich von Holzerode vorgestellt werden. Das etwa 12.4 ha große Gebiet der Detailkartierung (20 x 20 m Netz-Kartierung) überlagert die Grenze (siehe auch Abb. 1) zwischen geringerer (<60(8) cm) Lössmächtigkeit im Westen und größerer (> 80 cm) Lössmächtigkeit im Osten. Ersteres Gebiet wurde auf 1 m Tiefe, letzteres auf 2 (2.50) m Tiefe abgebohrt. Die Ergebnisse werden dargestellt auf jeweils 2 getrennten Karten sowie in einigen Boden-Querschnitten.

Detailkartierung E (mächtige LÖB-Decke):

Abb. 8 zeigt die Kontourschichtung des sehr flachen, nach E geneigten Hanges, die Mächtigkeit der oberen LÖBdecke bzw. den südlichen Bereich, indem das Ausgangsgestein, die sandig-tonige Wechselfolge sm 1b,a in etwa 150 cm Tiefe angetroffen wird. Die Bodenverbreitung ist in Abb. 9 zusammen mit der Lage der Querschnitte aufgeführt.

Diese Querschnitte (Abb. 10) verdeutlichen die in der Kartierung gefundene Schichtenfolge:

- (a) LÖB, skelettfrei, nur vereinzelt Kies, mit Parabraunerde-Pseudogley-Bodengesellschaft.
- (b) Fließerde I (oder Hangsediment), aus überwiegend LÖB mit Beimengung von Sandsteinstückchen und/oder auflagernder Steinsohle bzw. auch seitlich in eine Steinsohle auslaufend. Die pedogene Überprägung entspricht weitgehend derjenigen der hangenden LÖBdecke (Bt oder Sd). Nur an einer Stelle wurde eine liegende, gelbliche LÖBschicht erbohrt (Eo, Abb. 10), welche anscheinend den AusgangslÖB darstellt, der in dieser Phase umgelagert wurde. Unterhalb von aus Sandstein gebildeten flachen Kuppen (z.B. in der NW-Ecke) kann diese Schicht stärkere Sandbeimengung besitzen.
- (c) Spülsand, teils flächenhaft, teils in kleinen Linsen vorkommend und örtlich wechselnd sowohl in der Mächtigkeit (1 - 30 cm) als auch in der Körnigkeit (mS, fS, 1'fS) und Färbung (rotbraun bis gebleicht).
- (d) Fließerde II, stets löshaltig bis löbreich mit Skelett- und Feinsandbeimischung sowie Tongehalten von 15 - 35 %. Diese Fließerde erscheint stets dichtgelagert und hydromorph überprägt mit starker bis dominanter Graufärbung.
- (e,f) Fließerde III (e) oder Wechselfolge (f). Als Fließerde stets löbfrei bzw. mit unbedeutender LÖBbeimengung und deshalb in den vorwiegend rotbraunen Farben des Ausgangsgesteins. Eine Aufgliederung von Fließerde und Wechselfolge konnte in Abb. 10 nicht vorgenommen werden, da

diese Schicht nur in einigen Bohrlöchern - insbesondere im Bereich der Delle im Süden - in ausreichender Mächtigkeit erbohrt wurde.

Hingewiesen sei hier auf die Beschreibungen (s. 3.32) folgender Profile (Lage s. Abb. 9) mit den Schichtfolgen:

F1 (A-C): (a) - (c) - (d)
 F2 : (a) - (b) - (d)
 F3 : (a) - (b) - (d) - (e)
 F5 : (a) - (e)

Die genannte (a-f) Schichtfolge erscheint zwar auch im sehr ebenen Nordteil des Kartenausschnittes (Abb. 8) selten vollständig in den einzelnen Bohrlöchern, da einzelne Schichten (insbesondere (b) und (c)) eine eher linsenförmige Verbreitung besitzen. Aus den Querschnitten E und F (Abb. 10) ergibt sich doch eine stratigraphisch regelmäßige Sequenz. Recht durchgehend ist hier die Fließerde II (d) vertreten. Dagegen wurde diese anscheinend im südlichen Dellenbereich stärker erodiert.

Regional läßt sich in der Fließerde III unschwer die autochthone Fließerde ROHDENBURG'S (1965b) wiedererkennen. Die lösvermischte Fließerde II wäre dementsprechend mit einer der allochthonen Fließerden aus dem basalen Jungwürm gleichzusetzen. Interessant ist nun, daß diese Fließerde stets dominant grau gefärbt ist. Zwei Erklärungen bieten sich an, nämlich einmal die einer holozänen Überprägung als Sd-Horizont auf Grund der Dichte und Undurchlässigkeit dieser Schicht, zum anderen die, daß sich in dieser Fließerde ein jungwürmzeitlicher Naßboden ausgebildet hat, der sekundär die Funktion eines Sd-Horizontes übernimmt. Für die letztere Erklärung spricht einmal die z.T. (s. F1) sehr scharfe farbliche Begrenzung zum Hangenden, sei dies nun ein roter Spülsand oder die als Bt₂-Horizont ausgebildete Fließerde I. Die Grau-Färbung der Fließerde II scheint zu bestehen unabhängig davon, ob im holozänen Gesamtprofil eine stauende Rückwirkung ins Profil besteht oder nicht (s. Diskussion), und sie ist sehr viel durchgehender als normalerweise

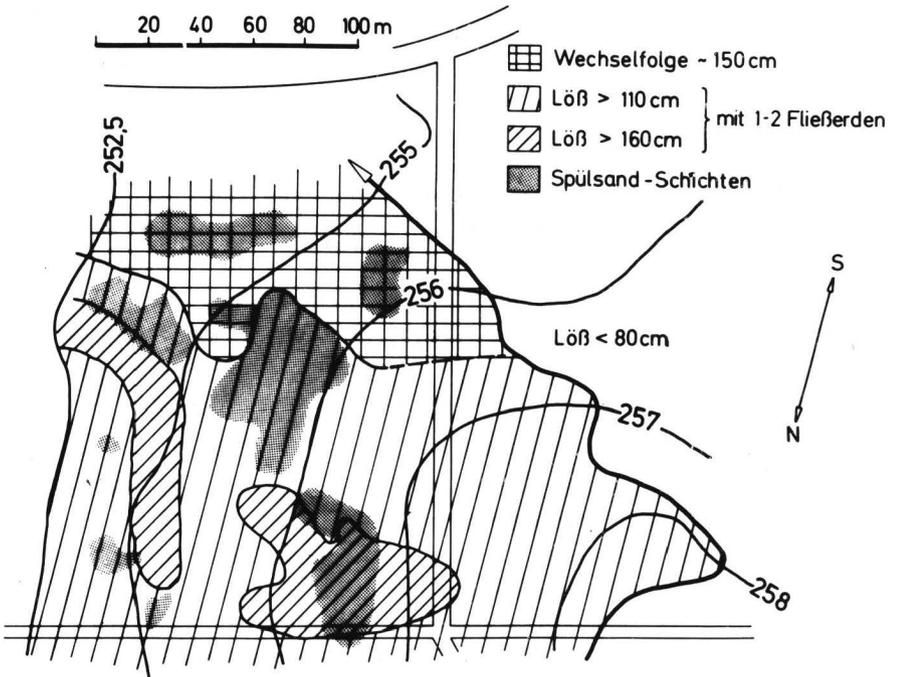


Abb.8:Detailkarte E:Kontourschichtung,Lößmächtigkeit

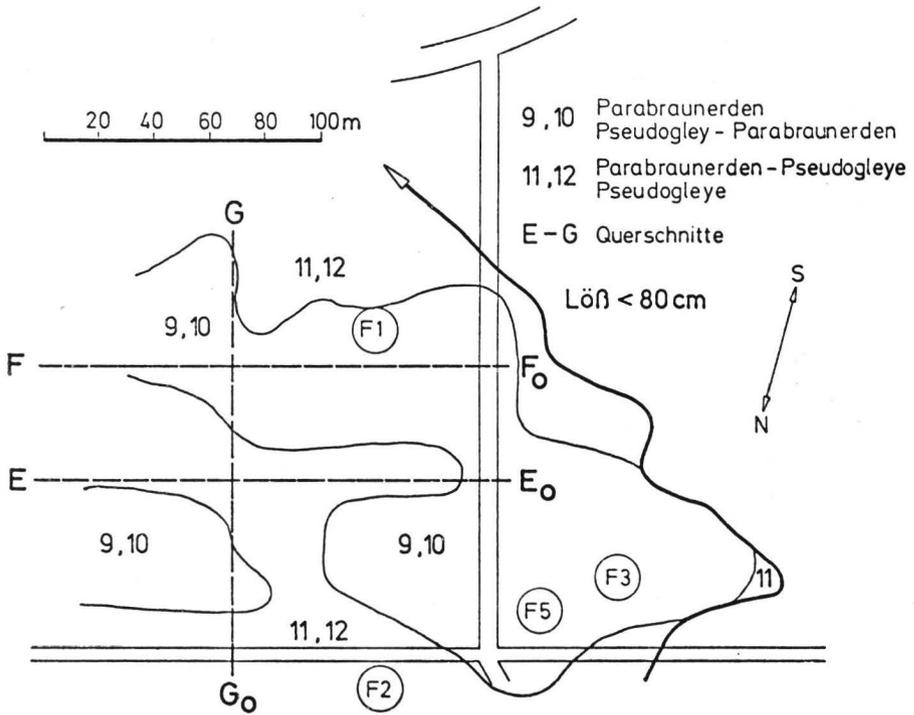


Abb. 9: Detailkarte E: Bodenverbreitung und Lage der Querschnitte (Abb. 10)

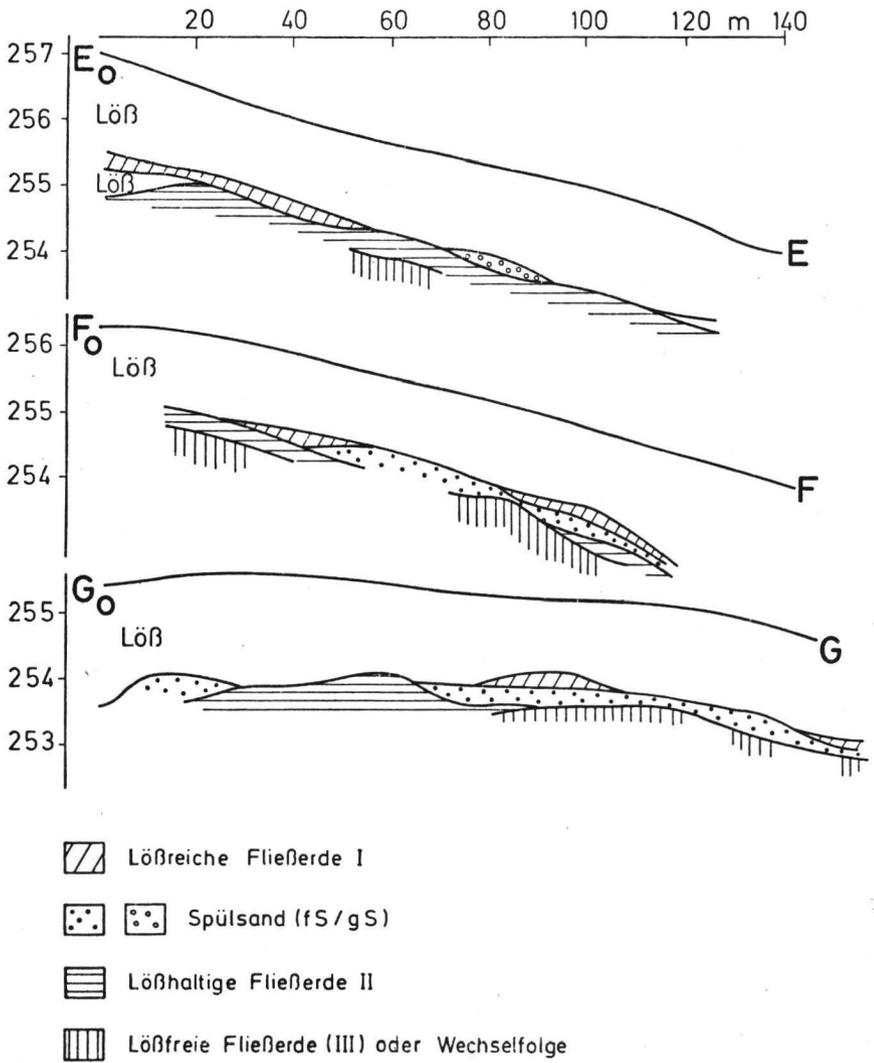


Abb. 10: Stratigraphische Querschnitte im Gebiet der Detailkarte E (zur Lage s. Abb. 9)

in einem tiefliegenden Sd-Horizont, wie er z.B. auch aus einer autochthonen Fließerde III entstanden sein kann.

Demgegenüber variiert die Färbung des im Hangenden folgenden Spülsandes lokal von rot zu weißgrau, z.T. in Abhängigkeit von der Art seiner Wasserführung, z.T. anscheinend auch je nach Färbung der Sandsteinbänke, welche als Materiallieferant angesehen werden müssen. Auf jeden Fall repräsentiert (c) eine Phase fluvialen Abtrags. Dies mag ebenfalls gelten für das darauf folgende Hangsediment I, obwohl dies nicht so eindeutig ist. Da diese Schicht voll in die Bodenentwicklung des Holozänbodens einbezogen ist, dürfte eine jungwürmzeitliche Bodenentwicklung in ihm nicht oder nur schwach abgelaufen sein.

Detailkartierung W (geringmächtige Lössdecke)

Abb. 11 zeigt das annähernde Relief dieses westlich an die Detailkartierung E angrenzenden Gebiets. Das Plateau senkt sich von einer flachen Kuppe im Norden, die durch eine Sandsteinbank verursacht wird, auf einen zentralen Plateausattel. Von ihm aus fällt die Oberfläche nach Westen zunächst langsam und dann, jenseits des Kartenausschnittes, schneller zu einem Taleinschnitt ab. Im SE beginnt ebenfalls eine nach E gerichtete Delle.

Mit Ausnahme des NE-Zipfels des Kartenausschnittes liegt die Mächtigkeit der oberen Lössschicht hier unterhalb 80 cm, meist überschreitet sie 50 cm nicht. Wie die Karte von Abb. 11 zeigt, steht in etwa 1/3 der Fläche das Ausgangsgestein die Wechselfolge sm 1b, oberhalb von 80 cm an. Sie hat eine eher tonige Zusammensetzung, mit Ausnahme des eher sandigen südöstlichen Dellenbereichs sowie der auslaufenden Sandsteinbank im Norden.

Trotz der generell geringeren Tiefe des anstehenden Gesteins beobachtet man jedoch keine deutliche Vereinfachung der Schichtenfolge. Dies zeigen die 4 Querschnitte A, B, C und D in Abb. 13 und 14 (zur Lage siehe Abb. 12). Die Verkürzung

der Schichtenfolge geht in erster Linie auf Kosten der obersten Lößlage. Darunter folgt eine Schichtsequenz, die sich grundsätzlich mit der vorher aufgeführten parallelisieren läßt. Dabei erlaubt einerseits die geringere Tiefenlage eine deutlichere Trennung der autochthonen Fließerde III (e) von der anstehenden Wechselfolge (f). Andererseits lassen sich die beiden oberen Fließerden I und II (b und d) nicht mehr so deutlich morphologisch auseinanderhalten, da sie beide viel unmittelbarer in die holozäne Bodenbildung einbezogen worden sind, d.h. auch die Fließerde I in der Regel deutlich bis sehr stark hydromorph überformt worden ist.

Folgt man der stratigraphischen Darstellung in den Abb. 13 und 14, so hat die Fließerde II (d) nur eine sehr begrenzte Verbreitung, während die obere Fließerde/Hangsediment I (b) sehr großräumig vorhanden ist. Diese Deutung läßt sich jedoch in Frage stellen. Sie wird im wesentlichen gestützt durch die Tatsache, daß die verbreitete lößreiche Fließerde vom Spülsand unterlagert wird, wo dieser auftritt (Verbreitung s. Abb. 11). Ob jedoch dieser Spülsand so eindeutig einer bestimmten Phase zuzuordnen ist, kann nicht mit Sicherheit behauptet werden. Immerhin beobachtet man ihn, wenn auch in sehr dünner Lage, auch eingeschlossen in die untere Fließerde III (s. Querschnitt B, 160 m). Andererseits tritt die bekannte stratigraphische Folge Fließerde II - Spülsand - Fließerde I zumindest an 2 Lokalitäten (Querschnitte D, 140-260 m, u. C, 60-80 m) in typischer Weise auf.

Trifft die obige Interpretation zu, würde dies bedeuten, daß die Fließerde II von einer sehr viel stärkeren Ausräumung betroffen worden ist als im Gebiet der Detailkartierung E, allerdings vergleichbar zu der dort im südöstlichen Teil beobachteten.

Die Fließerde I findet sich in beiden Detailkarten in diskontinuierlicher Verbreitung und dünnt örtlich zu Steinsohlen aus. Insbesondere gilt dies für den angehobenen Kuppenrand (Querschnitt D, 40-160 m). Entsprechend der stärkeren Ent-

blößung von (e) und (f) ist in der Regel hier mehr Sandsteinmaterial in die Fließerde I eingemischt als in der Detailkarte E.

Der Spülsand hat in der westlichen Detailkarte eine recht weite Verbreitung. Ganz offensichtlich ist hier die Abhängigkeit seiner Verbreitung vom Austreten sandigen Ausgangsgesteins, d.h. seine Verbreitung im Hangfußbereich der nördlichen Kuppe sowie zum Bereich der südlichen Delle hin. Von hier aus kann eine entsprechende Verbreitung bis in die östliche Detailkarte verfolgt werden. Der Spülsand tritt sowohl in einer mittelsandigen, dann meist gebleichten, wie in einer feinsandigen, grauen oder roten Form auf und ist stellenweise auch geschichtet (fS über mS).

Es scheint demnach so, daß die oben angedeutete Korrelation zu den Ergebnissen von ROHDENBURG (1965b) aufrechterhalten werden kann, wonach die vorgefundene Schichtenfolge im wesentlichen dem basalen Jungwürm zuzuordnen ist. Deren Abtragungsvorgänge werden von einer starken Lösssedimentation abgeschlossen. Nicht zu beantworten ist dagegen die Frage, inwieweit die heutige Mächtigkeit des obersten Lösspakets die damalige Sedimentmächtigkeit repräsentiert bzw. in welchem Umfang frühholozäne (jungtundrenzeitliche) oder mittelalterliche Abtragung mitgewirkt haben.

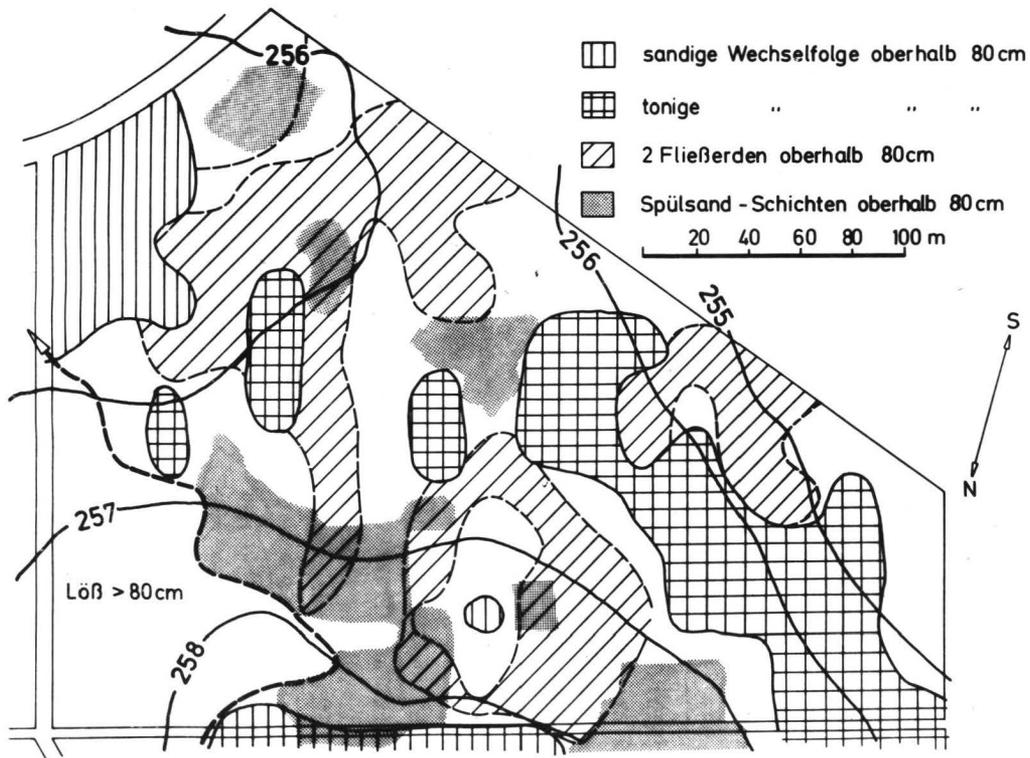


Abb. 11: Detailkarte W: Kontourschichtung, Schichtenverbreitung

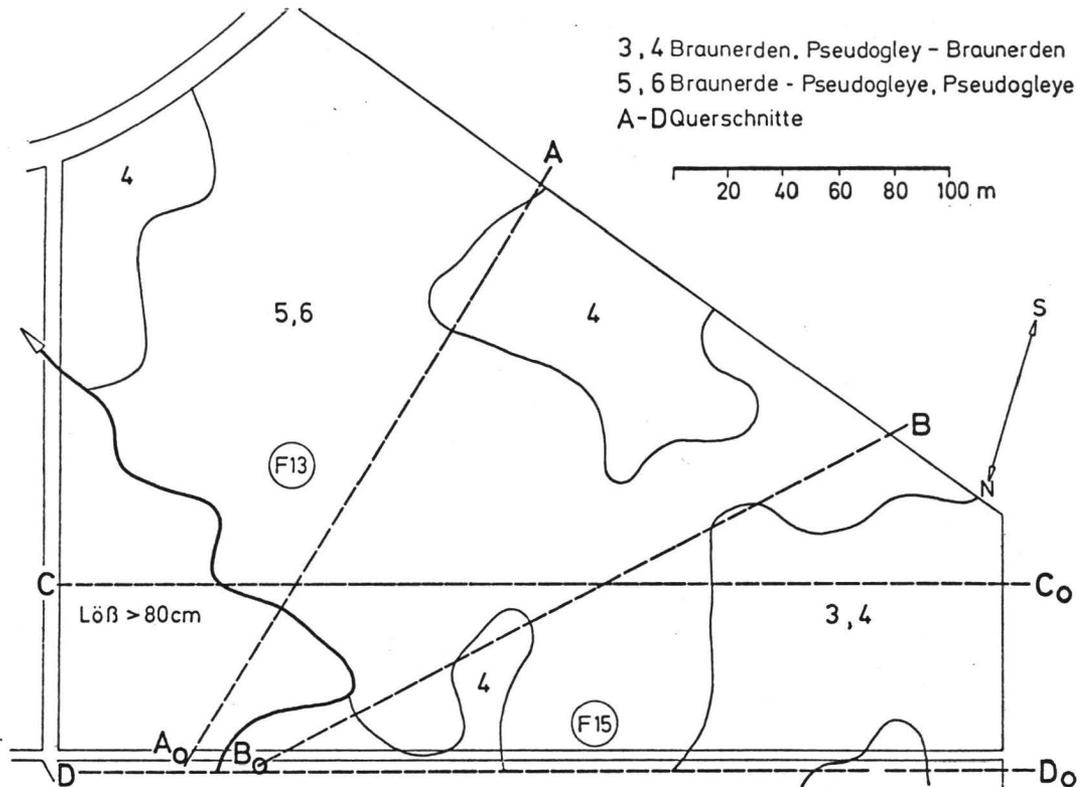


Abb. 12: Detailkarte W: Bodenverbreitung und Lage der Querschnitte
 (s. Abb. 13, 14)

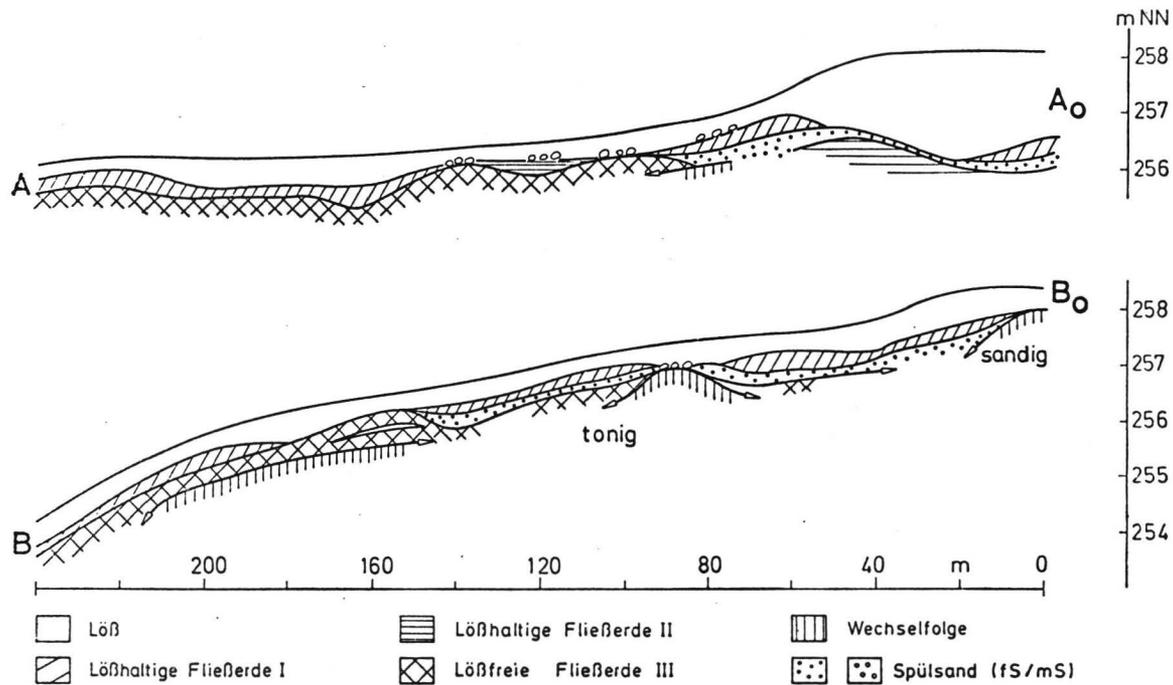


Abb.13: Stratigraphische Querschnitte in Detailkarte W(zur Lage s.Abb.12)

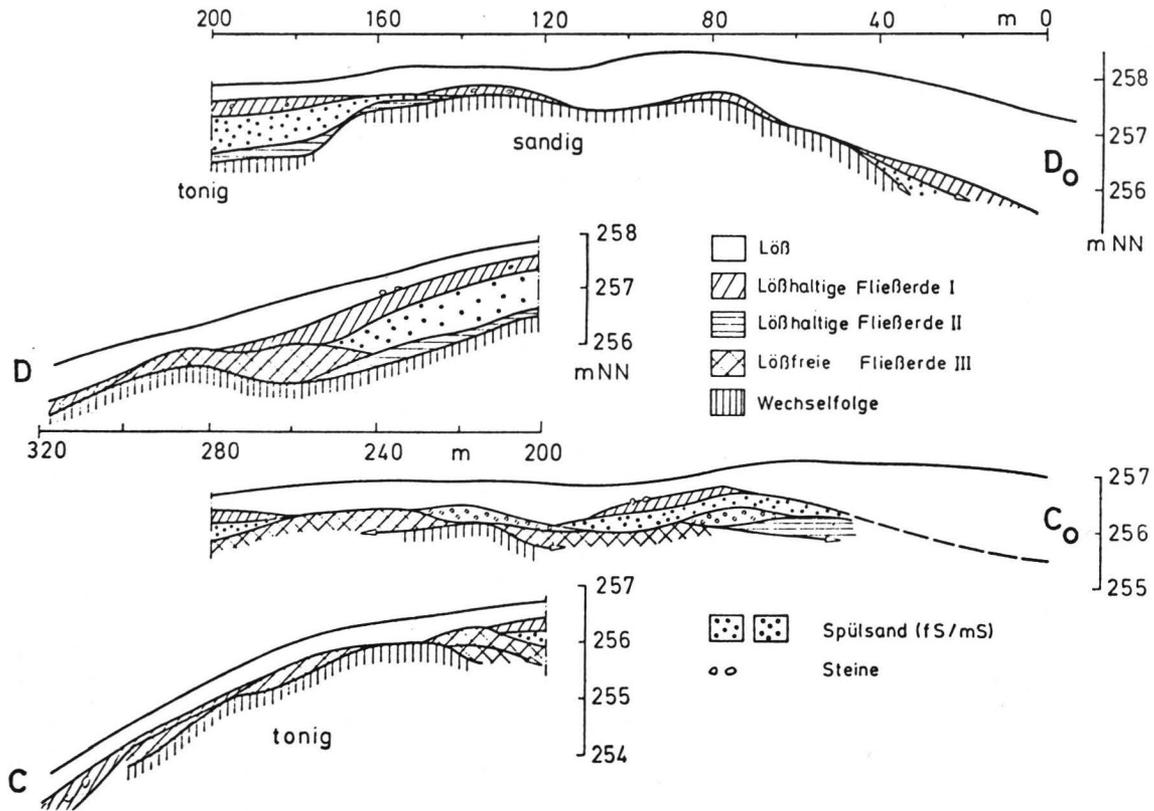


Abb.14: Stratigraphische Querschnitte in Detailkarte W (zur Lage s. Abb.12)

3.3 Bodenkarte Spanbeck - Holzerode - Katlenburg

3.31 Die Legende

Für die Darstellung der Bodenvergesellschaftung wurde eine Legende benutzt, in die Bodentypen und Schichtungsverhältnisse einfließen (Tab. 3). Dementsprechend taucht die Serie vom nicht hydromorph-geprägten Boden zum hydromorphen Endglied - in einer vierfachen Abstufung - viermal auf, und zwar

- in Tonstein mit geringmächtiger Lößdecke (Kartiereinheiten 13 - 16),
- in Löß über Tonstein (3a - 6a),
- in Löß über lehmiger Fließerde bzw. Wechselfolge (3 - 6), sowie
- in tiefgründigem Löß.

Abgesehen von dieser vierfachen Folge sind noch gesondert ausgeschieden

- Braunerde aus Sandstein (1), beschränkt in ihrem Vorkommen auf Kuppenlagen des sm 2,
- die flachgründige Braunerde in kolluvialem, steinigem Hangsediment (2), begrenzt auf die steilen Hanglagen des Beverbachs,
- die tiefgründige Braunerde (8) aus lößreichem Hangkolluvium, sowie
- die Auenböden (17) im Talbereich.

Auffällig für eine Bodenkarte eines Waldgebietes ist sicher die mangelnde Berücksichtigung der Podsoligkeitsstufen und der Humusformen. Dies liegt abgesehen vom thematischen Schwerpunkt hauptsächlich darin begründet, daß gerade der zentrale Kartenbereich als stark windwurfgeschädigtes Gebiet in jüngerer Zeit aufgeforstet worden ist. Der Windwurf hat zu einer starken Störung der Ah (Aeh, Ahe)-Horizonte geführt, und die Humusformen waren durch partiellen Abbau der F-Lagen und durch Graswurzelverfilzung nicht mehr in typischer Weise ansprechbar (s. jedoch Profilbeschreibungen, 3.32).

Eine zentrale Bedeutung in der Kartenlegende kommt der vierstufigen Untergliederung der vier Bodenmaterial-Serien auf Grund ihrer Hydromorphie-Merkmale zu. Diese Abstufung erfolgte im wesentlichen auf Grund morphologischer Kriterien, jedoch durchaus subjektiv. Die morphologischen Kriterien waren

- der Ausbleichungsgrad der Al-, Bv-, Sw-Horizonte, und
- das Auftreten von Fe-Mn-Konkretionen.

Für Löß-Material gelten in etwa die in Tab. 4 wiedergegebenen Farbabstufungen des Oberbodens für die 4 Hydromorphie-Stufen. Größere Eisen-Mangan-Konkretionen treten insbesondere in den Stufen 3 und 4 auf. Mit der Hydromorphie-Abstufung geht in der Regel eine Verflachung des Wurzelsystems einher (OJOUEDERIE, 1980), sowie eine zunehmende Marmorierung des Sd 1 - Horizontes. Dagegen variiert die Färbung der Sd-Horizonte sehr stark mit dem Ausgangsmaterial.

Mittelalterliche Nutzung hat insbesondere die weniger vernästen Böden z.T. stark geprägt. Die Parabraunerden und Braunerden des nördlichen Plateaubereichs (Katlenburger Forstgebiet) sind im Al/Bt1-Bereich stark kolluvial gestört. Verbunden mit noch verbreiteten Wölbäckern bestehen hier die oberen 30 - 70 cm durchweg aus kolluvial umgelagertem Material. Soweit der Löß tiefgründiger ist, folgt darunter der Bt1 oder Bt2. Trotzdem wurden letztere Böden noch als Parabraunerden ausgeschieden. Auch im Fall der Braunerden erfolgte keine Differenzierung. Die Horizontbezeichnung M ist ebenfalls nicht verwandt worden, da das Material in jedem Fall braunerdeartig geprägt ist, einen braunerdeartigen Verwitterungszustand besitzt und eine Unterscheidung nach prä- und postsedimentärer Verwitterung nicht machbar ist.

In Tab. 5 wurden einige bodenphysikalische Parameter aufgeführt; sie lassen sich, da es sich z.T. um Einzelprofile handelt, nur bedingt zur Charakterisierung der Bodeneinheiten heranziehen. Immerhin zeigen sie deutliche Verschiebungen der nutzbaren Wasserkapazität, der Luftkapazität wie der hydraulischen Leitfähigkeit innerhalb der Serien zunehmender

Hydromorphie. Unberücksichtigt bleiben hierbei die Durchwurzelungstiefe (nutzbare Wasserkapazität), der durchschnittliche Sättigungsgrad (Luftkapazität) sowie die für das reale Wasserregime ausschlaggebende hydraulische Leitfähigkeit des eigentlichen Staukörpers, welcher innerhalb wie unterhalb der betrachteten Tiefenstufen liegen mag.

Bodenchemisch läßt sich eine getrennte Charakterisierung der Bodeneinheiten nicht durchführen. Als Waldböden sind sie alle heute stark versauert (pH 3.3 - 3.7 im Ah, pH 3.7 - 4.1 im Unterboden). Schwankungen im pH wie im C-Gehalt (2 - 4 %) und C/N-Verhältnis (20 - 30) hängen im Oberboden stark vom Bestand ab, während im Unterboden die Materialkomponente stärker durchschlägt. Dies gilt insbesondere für die Al-Sättigung des Austauschers, welche im Oberboden (0 - 10 cm) um 60 % (46 - 76 %), im Unterboden (50 cm) von 7 bis 77 % schwankt. Nur für den letzteren Wert beobachtet man eine Hydromorphie-Abhängigkeit, und zwar im tiefgründigem Lößmaterial: von der Parabraunerde zum Pseudogley sinkt hier die Al-Sättigung von 57 auf 32 %.

Tab. 3: Legende zur Bodenkarte Spanbeck, Holzerode, Katlenburg

1	Mittelgründige Braunerde	aus Sandstein
2	Flachgründige Braunerde	aus steinigem Kolluvialem Hangsediment über Ton-Sandstein-Wechselfolge
3	Mittelgründige Braunerde	aus Löß, 30-60(80)cm, oft kolluvialer Herkunft, über Ton-Sandstein-Wechselfolge, örtlich mit zwischengelagertem Bt2f oder Fließerde
3a	wie 3	wie 3, aber über Ton
4	Mittelgründige Pseudogley-Braunerde	wie 3
4a	wie 4	wie 3a
5	Mittelgründiger Braunerde-Pseudogley	aus Löß, 20-40 cm, über Fließerde u. Ton-Sandstein-Wechselfolge
5a	wie 5	wie 5, aber über Ton bzw. Tonfließerde
6	flachgründiger Pseudogley	wie 5
6a	wie 6	wie 5a
8	Tiefgründige Braunerde	aus Löß-Hangkolluvium (>80 cm)
9	Tiefgründige Parabraunerde	aus Löß (>80 cm), örtlich mit kolluvialer Störung im Al/Bt1-Bereich, über Sandstein oder Ton-Sandstein-Wechselfolge
10	Tiefgründige Pseudogley-Parabraunerde	aus Löß (>80 cm), örtlich kolluvial gestört (s.9), über Fließerde und/oder Ton-Sandstein-Wechselfolge
11	Mittelgründiger Parabraunerde-Pseudogley	wie 10
12	Mittelgründiger Pseudogley	wie 10
13	Mittelgründige Pelosol-Braunerde	aus Löß bzw. lößreichem Hangsediment (<30 cm), über Ton oder Ton-Fließerde
14	Pseudovergleyte Pelosol-Braunerde	wie 13
15	Flachgründiger Pelosol-Pseudogley	wie 13
16	Flachgründiger Pseudogley	wie 13
17	Auenböden	aus Löß-Kolluvium

Tab. 4: Farbabstufungen der 4 unterschiedenen Hydromorphie-Stufen, bezogen auf LÖßmaterial, im Oberboden (Bv, Al, Sw).

Hydromorphie- stufe	Kartiereinheiten	MUNSELL- Einheiten (feucht)
1	3, 3a, 9, 13	7.5 YR 7-6/6-5
2	4, 4a, 10, 14	7.5 YR 7/3-6/4
3	5, 5a, 11, 15	7.5 YR 7/2-6/3
4	6, 6a, 12, 16	10 YR 7/1-8.2 2.5 Y 7/2

Tab. 5: Einige mittlere bodenphysikalische Parameter gemessen in Profilen der Bodeneinheiten 2-16.

Kartier Einheiten	nutzbare WK mm		mittlere Luft- kapazität (pF 2.0) Vol %	Ku50 cm/Tag niedrigster Ø Wert in	
	0-50 cm	50-100 cm		0-50 cm	50-100 cm
2	73	-	16.9	0.238	-
3	111	211	14.2	3.228	0.008
5	83	139	10.8	0.882	0.019
6	90	136	6.5	0.209	0.087
9	117	191	10.9	1.462	0.476
10	101	188	8.1	1.273	0.246
11	90	161	9.4	0.786	0.019
12	95	178	8.8	0.345	0.262
13	67	108	7.9	0.094	0.031
16	75	119	8.1	0.279	0.086

3.32 Profildarstellung

Im folgenden werden die Beispielsprofile beschrieben, deren Horizonte auch im einzelnen näher untersucht wurden.

Tab. 6 gibt eine Übersicht über die Zuordnung der Profile zu den Kartiereinheiten.

Tab. 6: Zuordnung der Beispiels-Profile zu den Kartiereinheiten.

<u>Profil-Nummern</u>	<u>Kartiereinheiten</u>
F17	2
F16, Spanbeck 7	3
Spanbeck 8	5
F13, F15	6
F5, F3, F1C	9
F14, F1A	10
F1B, Spanbeck 4	11
F2	12
F7	13
F9, F6, Spanbeck 3	16

F 17

Kolluviale Braunerde

Zu Kartiereinheit: 2

Humusform: Mullartiger Moder

Vegetation: Fichte

Lage: Oberhang

0-10	Ah	grau-braun (5YR 5-6/3 tr.), 1'U, skeletthaltig (20%)
10-40	Bv	braun (5YR 6/3 tr.), 1'U, skelettreich (40%, Kies-Geröll), fein bis mittel subpolyedrisch, starke Durchwurzelung.
40-55	IIBv	rötlich braun (5YR 5/4 tr.), slU, skelettreich (20%, Kies) fein, subpolyedrisch geschlossen, schwach durchwurzelt.
55-65	IIIBv	schwach graufleckige, rotbraune (2.5YR 4/6 tr.) Fließerde, stL mit 70% Sandstein-Skelett (Kies-Geröll), geschlossen subpolyedrisch, dicht.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Bv	1.247	2.633	28.85	1.039	0.233	0.120
IIBv	1.513	2.710	3.57	0.310	0.238	0.166

F 16

Schwach pseudovergleyte Podsol-Braunerde

Zu Kartiereinheit: 3

Humusform: Moder

Vegetation: Fichte, Lärche

Lage: Plateau

0-2	Ahe	hell gelbgrau mit unregelmäßiger Bleichung, slU, kohärent bis plattig, Durchwurzelung stark.
2-40	Bv	hell (10YR 8/3 tr.), slU, mittel bis grobplattig, nach unten kohärent, kies- und geröllhaltig, mittlere Durchwurzelung.
40-55	SBv	fleckig grau bis hell braun, ulS, skelettreiche (50%) Steinsohle, Gefüge fein subpolyedrisch, schwach durchwurzelt, 1-2% Mangan-Konkretionen.
55-65	IICv1	sandig-tonige, feinplattige Wechselfolge, rotbraun.
65-75	IICv2	hellgraue Sandsteinbank, f-mS, locker, Einzelkorngefüge.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Bv	1.431	2.584	28.90	2.371	0.419	0.193

Spanbeck 8

Podsoliger Braunerde-Pseudogley

Zu Kartiereinheit: 5

Humusform: Moder

Vegetation: Fichten-Neuanpflanzung (nach Windwurf)

Lage: Plateaurand

0-8	Ahe	
8-40	BvSw	hell gelbgrau (10YR 7/2 tr.) mit Mangan- konkretionen, 1U, plattig-kohärent, dicht, mäßig-stark durchwurzelt.
40-50	SwSd	stark fleckiger (rotbraun/gelbgrau) Über- gangshorizont.
50-90	IISd	rotbraune Fließerde, oben fleckig, t'L, skelettreich (30-50%), dicht.
90-100		Steinsohle.
100-120	IIIC	rotbrauner \bar{I} fs.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
BvSw	1.505	2.622	24.509	3.837	0.882	0.268
SwSd	1.728	2.682	1.799	0.128	0.019	0.012
IISd	-	2.672	-	-	-	-

F 15

Pseudogley

Zu Kartiereinheit: 6

Humusform: feinhumusreicher Moder (gestört)

Vegetation: Fichte-Jungwuchs

Lage: Plateau

0-10	Aeh	unregelmäßig blaß grau, l'U, kohärent bis plattig
10-35	Sw	weißgrau, 10YR 8/2, uL, kohärent bis plattig, mit Mangankonkretionen, zungenförmiger Übergang zu
35-60	IISd1	weißgrau-braun-marmoriert, slU, dichtes, geschlossenes subpolyedrisches Gefüge (Fließerde). Schwache Durchwurzelung.
60-80	IIIS	weißgrauer, rostfleckiger Spülsand (l'm-fS) mit wechselnder Mächtigkeit.
80-100	IVSd	rotbraune, z.T. graufleckige Fließerde aus Wechselfolge, steinig, mit kleinräumig wechselnder Textur (sL-stL).

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Aeh	1.542	2.609	39.557	0.204	0.107	0.069
Sw	1.546	2.659	31.423	0.433	0.182	0.132
IISd1	1.588	2.663	2.245	0.215	0.166	0.083
IIIS	1.721	2.657	6.488	1.350	0.843	0.124
IVSd	1.821	2.681	13.438	1.144	0.533	0.183

F 13

Pseudogley

Zu Kartiereinheit: 6

Humusform: feinhumusreicher Moder

Vegetation: Fichte-Jungwuchs (offene Stelle)

Lage: Plateau (Sattel)

0-25	Sw	weißgrau (2.5Y 7/2 f.) mit feiner Rostfleckung und Mangankonkretionen, 1U, kohärent-plattig.
25-50	IISd	stark marmoriert rotbraun (2.5YR 4/4 f.), graubraun (5YR 5/3 f.) bis grau (5YR 6/2 f.), manganfleckig, uL, dicht, geschlossen grob-polyedrisch, mäßig-schwach durchwurzelt, schwach skeletthaltig.
50-70	IIISd	rote, graufleckige Fließerde, manganfleckig, mit eingearbeiteter Steinsohle, Skeletthalt 30%.
70-100	IIIC	rote (2.5YR 4/4 f.) Fließerde mit grauen Struktureinheiten, t'L, skeletthaltig, au Material der Wechselfolge, dicht, geschlossen polyedrisch.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Sw	1.689	2.619	2.995	0.304	0.279	0.153
IISd	-	-	-	-	-	-
IIISd	1.683	2.697	0.956	0.356	0.145	0.079
IIIC	1.687	2.717	0.326	0.043	0.029	0.019

F 3

Schwach podsolige Parabraunerde

Zu Kartiereinheit: 9

Humusform: Moder

Vegetation: Fichten-Jungwuchs

Lage: Plateau (schwache Hangneigung)

0-3	Aeh	graubraun (10YR 5/3 f.), 1U, offen plattig bis kohärent.
3-40	Al	braungelb (10YR 6/6 f.-10YR 7/3 tr.), 1'U-1U, lockeres Kohärentgefüge, stark durchwurzelt.
40-50	AlBt	als zungenförmiger Übergang, 1U, heterogen braun (7.5YR 5/4 f.) bis blaß braungelb (10YR 6/4 f.), schwach Fe-Mn-fleckig, kohärent bis schwach subpolyedrisch.
50-80	Bt1	braun (7.5YR 5-4/4 f.-7.5YR 6/4-6 tr.), oben noch mit zungenförmigen Eingriffen des hellen Al, uL, prismatisch bis geschlossen grobpolyedrisch, wenig durchwurzelt.
80-100	IIBt2	braun wie Bt1, feinfleckig, uL, mit schwacher Feinsandkomponente und etwa 10% angewittertem Sandsteinskelett, geschlossen grobpolyedrisches Gefüge. Untere 5cm. graufleckig und reich an Manganflecken.
100-130	IIIS	großfleckig grüngrau (5Y 6/2 f.) und graubraun (10YR 5/3 f.) mit rotbraunen (5YR 5/6 f.) Feinflecken, s1U mit 30% Sandstein-Skelett, dicht, plattig-kohärent.
>130	IVC	grau gebleichter Sandstein, plattig.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Ahe	1.155	2.548	79.800	1.560	0.687	0.411
Al	1.381	2.605	45.200	1.156	0.845	0.371
AlBt	1.468	2.655	24.954	0.605	0.501	0.402
Bt1	1.564	2.653	3.770	0.152	0.129	0.115
IIBt2	1.631	2.657	0.936	0.170	0.150	0.095
IIIS	1.704	2.679	0.333	0.043	0.032	0.023
IVC	1.653	2.689	-	0.174	0.109	0.066

F 5

Schwach podsolige Parabraunerde

Zu Kartiereinheit: 9

Humusform: Moder

Vegetation: Lärche

Lage: Plateau

0-7	Aeh	graubraun, 1'U.
7-33	Al	gelbbraun (7.5YR 7/5 f.), 1U, plattig bis kohärent, stark durchwurzelt.
33-40	AlBt	welliger Übergangshorizont.
40-70	Bt1	braun (7.5YR 5/6 f.), unregelmäßiges Einwaschungsgefüge, geschlossen prismatisch bis grob polyedrisch, mäßig durchwurzelt.
70-100	Bt2	braun, uL, mittel bis grob polyedrisch.
100-140	Bt3	gelbbraun (10YR 5/6 f.), uL, wie Bt2 aber mit schwächerem Einwaschungsgefüge.
140-170	IICv	rotbraun, slU, skeletthaltig (10-30%)
>170	IIQ	weißgrauer Sandstein, vergrust aber in dichter Einzelkornlagerung.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Aeh	1.157	2.573	39.574	4.617	1.832	0.765
Al	1.199	2.656	18.889	1.573	0.779	0.521
AlBt	1.479	-	13.425	-	-	-
Bt1	1.540	2.644	14.459	1.224	0.766	0.499
Bt2	1.531	2.644	7.278	0.508	0.331	0.247
Bt3	1.635	2.657	9.047	0.561	0.454	0.367
IICv	-	2.676	-	-	-	-

F 7

Pelosol - Braunerde

Zu Kartiereinheit: 13

Humusform: Mullartiger Moder (mit Grasswurzelfilz)

Vegetation: Fichten-Jungwuchs

Lage: Oberhang

0-2	Ah	schwarzgrau
2-20	Bv	blaß braungelb, sL, lockeres subpolyedrisches Gefüge, stark durchwurzelt.
20-50	IIP1	rotbraun (5YR 5/4 f) mit vereinzelt grauen Strukturelementen, stL, skeletthaltig, mäßig offenes, entwickeltes Polyedergefüge.
50		Spülsandschicht, 1-2 cm, braun
50-70	IIIP2	grüngraue (7.5GY 6/1) Fließerde, utL, geschlossen polyedrisch bis plattig, dicht, mit vereinzelt Spülsandlinsen und Tonsteinskelett.
70-90	IIIP3	gemischt rotgraue Fließerde, sonst wie P2 mit Ausnahme eines höheren Anteils an Tonsteinskelett.
> 90	Cv	Tonstein, plattig, rot-grau

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Bv	1.454	2.629	53.986	0.954	0.169	0.023
IIP1	1.748	2.697	3.869	0.037	0.019	0.009
IIIP2	1.716	2.746	0.388	0.011	0.008	0.006
IIIP3	1.753	2.749	0.388	0.065	0.054	0.028

F 9

Pseudogley

Zu Kartiereinheit: 16

Humusform: feinhumusreicher Moder

Vegetation: Fichten-Jungwuchs (sehr offen)

Lage: Hangfuß

0-6	Ahe	dunkel- bis hellgrau mit stark gebleichten Mineralkörnern
6-25	Sw	hellgrau (10YR 7/1 f.), suL - t'L, subpolyedrisch dicht.
25-60	IISd1	grüngrau (2.5 GY 6/1 f) mit diffuser braungelber (10 YR 7/4-6f) Fleckung, lT, skeletthaltig, grobpolyedrisch, geschlossen, dicht.
60-80	IIISd2	ähnlich wie Sd1, aber skelettreicher, mit kleinen Spülsandlinsen, Gefüge stark plattig.
> 80	IVCv	plattiger Tonstein, grau.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Sw	1.298	2.564	47.089	3.248	0.524	0.021
IISd1	1.407	2.689	0.127	0.074	0.018	0.008
IIISd2	1.383	2.675	0.126	0.043	0.006	0.004

F 6

Pseudogley

Zu Kartiereinheit: 16

Humusform: feinhumusreicher Moder

Vegetation: Fichten-Jungwuchs

Lage: Plateau (eben)

0-12	Aeh	grau (7.5 YR 6/2 f), braunfleckig, uL, plattig, stark durchwurzelt.
12-30	Sw	weißgrau, braunfleckig mit Mangankonkretionen, uL, kohärent-subpolyedrisch.
30-45	IISwSd1	stark marmorierter (Grau-braun-fleckig), uL mit eingearbeiteter Steinsohle aus manganfleckigen Sandstein-Skelett, dicht.
45-58	IIISd1	marmoriert grau (7.5 YR 7/2 f), braungrau (5 YR 6/3 f) bis rotbraun, utL, skeletthaltig, dicht, geschlossen polyedrisch.
58-75	IIISd2	wie Sd1, aber mit zunehmender Rotfärbung
> 75	C	rote tonige Fließerde, utL, skeletthaltig

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Aeh	1.495	2.563	33.481	2.156	0.455	0.131
Sw	1.605	2.621	25.585	2.042	0.188	0.059
IISwSd1	1.666	2.650	18.353	1.039	0.074	0.061
IIISd1	1.650	2.693	2.893	0.129	0.081	0.062
IIISd2	1.653	2.713	2.477	0.328	0.228	0.136
C	1.629	2.749	0.292	0.065	0.031	0.024

Spanbeck 3 Pseudogley

Zu Kartiereinheit: 16

Humusform: Moder

Vegetation: Hainbuchen, Birken

Lage: Plateau

0-2	Ah	dunkelgrau, locker
2-12	AhSw	grau - hellgrau, lU, plattig-hohärent, stark durchwurzelt.
12-35	Sw	weißgrau mit starker Fe-Mn-Fleckung, lU, plattig-kohärent
35-55	SwSd	zungenförmiger Übergang, weißgrau bis grauorange (5 YR 6/3 tr.), stark manganfleckig, uL, plattig bis polyedrisch, dicht.
55-90	IISd1	unregelmäßig gemischte grau-rote Fließerde mit starker rostbrauner und schwarzbrauner (Mn) Fleckung, uL - utL, skelethaltig, geschlossen grob-polyedrisches Gefüge.
90		Steinsohle (Sandstein-Skelett)
90-130	IIISd2	graue, in Flecken rote, tonreiche (tL) Fließerde mit Rostfleckung, sehr dicht, nach unten Übergang zu rotem Ton.
> 130	IVC	Sandstein, rot-weißgrau.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
AhSw	1.170	-	-	2.903	0.786	0.274
Sw	1.621	2.597	-	2.903	0.786	0.274
IISd1	1.795	2.679	-	0.183	0.152	0.042

F 2

Pseudogley

Zu Kartiereinheit: 12

Humusform: feinhumusreicher Moder (gestört)

Vegetation: Fichten-Jungwuchs

Lage: Plateau (flache Senke)

0-7	Ahe	z.T. gestört
7-30	Sw	weißgrau (10 YR 8/1 tr., 6/1 f) mit feiner Rostfleckung und großen Fe-Mn-Konkretionen, $\bar{I}U$, plattig-kohärent, dicht; Stark zungenförmiger Übergang zu:
30-75	Sd1	stark marmoriert, weißgrau (10 YR 8/2 tr.), grau orange (7.5 YR 7/3 tr.) und Braun- bis Rostfleckung, mit typischer Leitbahnen-Ausbildung, uL, dicht prismatisch bis geschlossen polyedrisch.
75-95	Sd2	wie Sd1, mit abgeschwächten Leitbahnen, uL, geschlossen grob polyedrisch.
105-125	IISd3	stark großfleckig, marmoriert, uL mit 10% Sandsteinskelett und 15% Feinsand.
125-175	IIISd4	braungelb (10 YR 6/6 tr.) mit hellgrauen (10 YR 7/1 tr.-6/1 f) Strukturflächen, stL, skeletthaltige Fließerde, sehr dicht.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Ahe	1.273	2.508	67.798	5.562	2.894	1.331
Sw	1.468	2.639	50.597	1.441	0.376	0.125
Sd1	1.510	2.652	47.500	0.613	0.314	0.167
Sd2	1.622	2.653	2.707	0.446	0.157	0.048
IISd3	1.593	2.644	9.831	0.871	0.366	0.258
IIISd4	1.720	2.703	2.868	0.151	0.116	0.097

F 1 Parabraunerde bis Parabraunerde-Pseudogley

Zu Kartiereinheit: 9(F1C), 10(F1A), 11(F1B)

Humusform: feinhumusreicher Moder (gestört)

Vegetation: Fichten-Jungwuchs

Lage: Plateau

F 1 C podsolige Parabraunerde

0-7	Ahe	(stark gestört durch Windwurf)
7-30	Al	gelbbraun (7.5 YR 7/5-4 tr., 7.5 YR 7-6/6 f), l'U, plattig bis kohärent, stark durchwur- zelt, mit zungenförmigem Übergang zu:
30-55	Bt1	braun, unregelmäßig (5 YR 6/4 - 4/4 f), IU, prismatisch bis geschlossen subpoly- edrisches Einwaschungsgefüge, mäßig durchwurzelt.
55-100	Bt2	wie Bt1, aber stärker rostfleckig, schwa- ches Lamellengefüge.
100-117	IIC	rotbrauner feiner Spülsand, lfs, dicht gelagert.
> 117	IIIC	olivgraue (7.5 Y 6/2 tr.) skelettfreie Fließerde, suL.

F 1 A Pseudogley-Parabraunerde

0-6	Ahe	grau gelbbraun fleckig (10 YR 6/2 - 4/2 - 4/4), l'U, Plattengefüge.
7-40	Al	graugelb (7.5 YR 6/4), feinfleckig, l'U, plattig bis kohärent.
40-60	SBt1	weißgrau (7.5 YR 8/2 f) bis rotbraun (5 YR 4/4 f) stark fleckig, l'U, pris- matisch-grobpolyedrisch.
60-100	SBt2	graubraun (5 YR 6/3 - 5/3 f), weißgrau bis rotbraun fleckig.
100-117	IIC	rotbrauner feiner Spülsand, lfs, dicht gelagert
> 117	IIIC	olivgraue (7.5 Y 6/2 tr.) skelettfreie Fließerde, suL.

F 1 B Parabraunerde- Pseudogley

0-7	Ahe	gelbgrau (10 YR 7/2 - 6/1 - 2 f), rostfleckig
7-40	AlSw	orangebraun (7.5 YR 7/2 - 10 YR 8/2 f), rostfleckig, l'U, plattig bis kohärent
40-65	AB	wie AlSw, aber mit graduellem Übergang zu SBt
65-80	SBt	Ausbildung wie in F 1 A
100-117	IIC	rotbrauner feiner Spülsand, lfs. dicht gelagert
> 117	IIIC	olivgraue (7.5 Y 6/2 tr.) skelettfreie Fließerde, suL.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
F 1 C						
Al	1.360	2.605	25.252	3.772	1.710	0.606
Bt1	1.471	2.626	13.265	1.997	1.018	0.509
Bt2	1.524	2.621	0.888	0.262	0.161	0.096
IIC	1.657	2.651	9.346	3.023	1.561	0.507
IIIC	1.661	2.653	0.593	0.069	0.056	0.045

F 1 A

Ahe	1.373	-	28.900	3.760	1.801	0.598
Al	1.531	2.595	17.000	1.857	1.162	0.529
SBt1	1.569	2.648	6.450	0.782	0.459	0.259
SBt2	1.561	2.629	0.900	0.099	0.059	0.028
IIC	1.526	-	-	-	-	-
IIIC	1.655	2.667	0.125	0.091	0.071	0.058

F 1 B

Ahe	1.263	-	39.092	-	-	-
AlSw	1.471	-	25.290	-	-	-
AB	1.531	-	11.985	-	-	-
SBt	1.501	-	11.848	-	-	-
IIC	-	-	-	-	-	-
IIIC	1.655	-	2.974	-	-	-

Spanbeck 4

Parabraunerde - Pseudogley

Zu Kartiereinheit: 11

Humusform: Moder

Vegetation: Hainbuche, Birke

Lage: Plateaurand, Hangdelle

0-4	Ah	schwarzgrau, locker
4-30	AlSw	grauorange (7.5 YR 7/3 tr.-6/3 f), 1U, plattig-kohärent, dicht
30-45	AB	zungenförmiger Übergangshorizont
45-65	BtSd1	orangebraun, heterogen (5 YR 6/3 tr.- 6/6 f) grau fleckig mit mäßig ausgeprägten Leitbahnen, uL, prismatisch bis geschlossen grobpolyedrisch, mäßig durchwurzelt.
65-100	BtSd2	braun (7.5 YR 6/4 tr.- 5 YR 6/6 f), schwach grau- und rostfleckig, grob- polyedrisch geschlossen. Nach unten abnehmend (uL - IU).
100-150	BtSd3	
150-190	BtSd4	
> 190	IIC	rote, skelettreiche (50%) Fließerde, t'L, dicht.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Ah	1.090	-	-	6.624	1.552	0.618
AlSw	1.445	2.619	-	2.902	0.780	0.274
AB	-	-	-	-	-	-
BtSd1	1.515	-	-	0.349	0.019	0.005
BtSd2	1.685	2.675	-	0.349	0.019	0.005

Spanbeck 7 Braunerde

Zu Kartiereinheit: 3

Humusform: geringmächtiger Moder

Vegetation: Fichte-Jungwuchs

Lage: Mittel-Oberhang

0-8	Ah	dunkelgrau, locker, krümelig bis kohärent.
8-(30)50	Bv	hell gelbbraun, lU, sehr lockeres Hang-Kolluvium stark durchwurzelt.
(30-50)	fBt2	braun mit weißen Schluffabsonderungen, l̄U, kohärent bis plattig, ausgebildet als kleinräumiger Erosionrest.
50-80	IIfBv	graugelb bis dunkelbraun, z.T. mit weißschichtigem Lamellengefüge, uL-utL, durchsetzt von tonarmen (l'U), graugelben Löß-Zungen.
80		Steinsohle
> 80		rote Fließerde, t̄S.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Ah	1.050	2.615	76.00	10.140	6.038	2.361
Bv	1.162	2.624	76.00	10.144	6.038	2.361
fBt2	1.413	2.683	37.00	-	-	-
IIfBv	1.516	2.671	4.82	-	-	-
80	1.753	2.709	0.22	0.017	0.008	0.001

F 14

Podsolige Pseudogley-Parabraunerde

Zu Kartiereinheit: 10

Humusform: Moder

Vegetation: Fichte

Lage: Plateau (flache Kuppenlage)

0-5	Ahe	humos dunkel-hell grau, unregelmäßig gebleicht
5-30	Al	graugelb (7.5 YR 7/3 tr.) 1'U, kohärent bis plattig, stark durchwurzelt, mit einigen kleinen Konkretionen. Zungenförmiger Übergang zu:
30-65	Bt1	unregelmäßig gelbbraun, 1 U, geschlossen subpolyedrisches Gefüge mit abnehmender Durchwurzlung.
65-100	Bt2	wie Bt1, aber mit ausgeprägtem Einwaschungsgefüge.
> 100	IICv	rotbraune, feinsandige (u1s), lockere Sandsteinschicht.

	TRD	Spez. Gew.	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Al	1.476	2.635	15.594	3.107	2.176	0.665
Bt1	1.484	2.635	8.293	0.625	0.481	0.269
Bt2	1.559	2.636	5.197	0.105	0.085	0.064
IICv	1.685	2.664	5.302	0.599	0.379	0.252

3.33 Bodenverbreitung (s. Karte im Anhang)

Die Verbreitung der Bodeneinheiten im Kartiergebiet wird bestimmt durch Lössmächtigkeit und geologisches Substrat. Größere Lössmächtigkeit findet sich im zentralen nördlichen Teil, bedingt vorwiegend durch eine große Ausdehnung ebener Plateaulage (Einheiten 9 - 12). Er zieht sich in einiger Entfernung östlich vom Beverbach noch weiter nach Süden hin und setzt sich von diesem Streifen aus nach Osten in den Bereich der Ackerflur fort. Die Bodenkarte läßt erkennen, daß Wechsel im Hydromorphiegrad zwischen Parabraunerde (Einheit 9) und Pseudogley (Einheit 12) mit Ausnahme des südlichen Zipfels hier recht großräumig erfolgen und die Kartiereinheiten deshalb relativ große Flächen einnehmen. Pseudogleye (waagerechte Schraffur) sind hier beschränkt wiederum auf den zentralen Teil östlich der Landstraße. Die Ursachen werden später diskutiert werden, und zwar am Beispiel des südlichsten Vorkommens der Einheit 11/12.

Geringere primäre Lössmächtigkeiten, vorwiegend aber wohl sekundärer Abtrag von Löß, kennzeichnet die Randzone der eingetieften Täler, die durch das Kartiergebiet laufen (Beverbach) bzw. randlich in es eingreifen wie im W, SE und NE (Gieseckengrund), wie auch die Kuppen des sm 2 und ihre Hänge. Größere Lössmächtigkeiten finden sich hier nur in Form von Kolluvien (Einheit 8) oder ältere Anhäufungen (Einheiten 9/12) im Grundbereich der Tälchen.

Dafür tritt hier das Ausgangsgestein direkt oder in Form der von ihm geprägten Fließerde stärker formgebend in Erscheinung, und sein kleinräumiger Wechsel trägt bei zum ebenso kleinräumigen Verbreitungsmuster der Böden. Braunerden aus Sand (Einheit 1) bzw. aus LÖß über Sand (Einheit 3,4) charakterisiert die sm 2 - Kuppen und -Hänge im SW, nördlich von Holzerode, wie im SE (Genossenschaftswald Bodensee). Es folgt ein Streifen der tonigen Zwischenschicht (sm 1e), mit je nach Lössmächtigkeit (Einheiten 13 - 16 mit <30 cm LÖß, Einheiten 3a - 6a mit 30 - 80 cm LÖß) und Hanglage wenig bis stark (in ebenen Lagen) vernähten Böden mit

tonigem Untergrund. Im Übergang der sm 2 - Kuppen mit ihrem sandigen Untergrund und den angrenzenden Hängen im sm 1e - Ton treten im SE wie im SW Übergangsböden auf mit sand- bzw. sandstein-reicheren Fließerden zwischen basalem Ton und deckendem LÖB (Einheiten 3 und 4). Die lösbarmen (< 80 cm) Pseudogleye treten in der Karte durch ihre senkrechte Schraffur hervor.

Im Gebiet der Wechselfolge (sm 1b,a) wechselt der Charakter von Untergrund und Fließerden kleinräumig. Dies hat in ebener Lage und bei geringer LÖBmächtigkeit einen ebenso kleinräumigen Wechsel im Hydromorphiegrad der Böden zur Folge. An den steilen Hängen der eingeschnittenen Täler fehlen die hydromorphen Böden, und die Decksedimente sind jünger und stärker vermischt. An den steilsten Hangteilen (nordwestlichster Hangbereich des Beverbachs) ist diese Tendenz am ausgeprägtesten (Einheit 2).

Einen detaillierten Überblick über die Bodenverbreitung im ebenen Teil der Wechselfolge (sm 1b) liefern die Karten Abb. 9 und 12 (s. 3.2). Im Ostteil mit LÖBmächtigkeiten > 80 cm wechseln sich hydromorphe und nicht-hydromorphe Böden in etwa streifenartig (E - W) ab. Zur LÖBmächtigkeit (> 160 cm, 160-110 cm, s. Abb.8) besteht keine Beziehung, wohl dagegen zum Relief. Nicht-hydromorphe Böden häufen sich im Bereich der beiden wenn auch nur schwach angedeuteten, W-E streichenden Riedel. Eine eingehendere Analyse der Beziehungen zu den Schichtungsverhältnissen erfolgt in 4.3.

Im westlichen Teilgebiet (LÖB < 80 cm, Abb. 12) scheint das Relief nur am Westrand, wo der Abfall zum Beverbach-Tal beginnt, eine gewisse Rolle zu spielen, ohne daß diese genauer räumlich abgrenzbar wäre. Dagegen besteht eine deutliche Beziehung zwischen dem Vorkommen nicht-hydromorpher Böden (Einheit 4) und dem Vorherrschen sandiger Wechselfolge-Schichten (Abb. 11), und zwar einerseits am Nordrand in Form einer flachen Kuppe, andererseits am

Südostrand, trotz der hier vorhandenen Quellmulde. Im übrigen scheint es ohne eine eingehendere Analyse der Schichtungsverhältnisse nicht möglich, die kleinräumige Bodenverbreitung zu erklären (s. 4.3).

4 Beziehung zwischen bodenphysikalischen Parametern, Schichtungsverhältnissen und Hydromorphiegrad

4.1 Bodenphysikalische Parameter und ihre wechselseitigen Beziehungen

Die Beziehung der bodenphysikalischen Daten untereinander und zu den Schichtungsverhältnissen wurde an den 84 Proben der 19 Profile untersucht. Dabei wurden folgende Parameter benutzt:

TRD	Trockenraumdichte
GPV	Gesamtporenvolumen
GP1	Grobporen pF 0-1.3
GP2	Grobporen pF 0-1.8
GP3	Grobporen pF 1.8-2.5
MP1	Mittelporen pF 2.5-4.2
MP2	Mittelporen pF 1.8-4.2
PWP	Wassergehalt, permanenter Welkepunkt
FWK	Feldwasserkapazität
Kf	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit
Ku20,50,100	ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit bei 20, 50, 100 cm WS
T	% Ton
GU	% Grobschluff
FMS	% Fein- und Mittelsand

Die PEARSON Korrelationsmatrix dieser Daten ergab einige statistisch signifikante Beziehungen (Tab. 7), von denen die meisten bekannt sind und zu erwarten waren (TRG-GPV). In der vorwiegend löshaltigen Matrix korrelieren TRD und MP2 sowie GP3. Der Wassergehalt beim PWP steigt mit dem Tongehalt und sinkt mit MP2. Dies gilt nur für lehmig-tonige Böden, während bei lehmig-sandigen Böden die Beziehung umgekehrt ist (MÜLLER et al., 1970).

Hauptsächlich interessierte die interne Korrelation der Leitfähigkeitsdaten mit den anderen Parametern. Hier erwies sich leider PEARSON Korrelationsmatrix als wenig ergiebig, und auch durch multiple Korrelationen konnten

Tab. 7: PEARSON Korrelations-Koeffizienten und Streuungen der korrelierenden bodenphysikalischen Parameter.

Y	X	a	b	r^2	$s_{x.y}$	n
TRD	GPV	2.7947	-2.9891	0.9623	0.0343	84
TRD	MP2	1.8999	-2.1378	0.6571	0.1035	84
TRD	GP3	1.6927	-4.0374	0.5016	0.1247	84
GPV	MP2	0.3626	0.9733	0.5189	0.0402	84
GPV	MP2	0.3079	0.6668	0.5935	0.0369	84
PWP	MP2	0.2958	-0.6329	0.6415	0.0316	84
PWP	TON	0.0932	0.0046	0.6044	0.0341	79
Ks	GPV	-95.6492	268.3484	0.5106	14.6338	75
Ks	TRD	160.4379	-93.4156	0.5570	13.9223	75

praktisch in keinem Fall die Korrelationskoeffizienten nennenswert erhöht werden. Zwar korrelierten die Werte der ungesättigten Leitfähigkeit bei 20, 50 und 100 cm WS miteinander, zeigten aber keine Beziehung zu anderen Daten. Nur K_s korrelierte negativ mit TRD und positiv mit GPV.

4.2 Horizont- bzw. Schichtabhängigkeit bodenphysikalischer Parameter

Bodenphysikalische Parameter können durch Textur und Lagerungsdichte des Ausgangsmaterials wie durch seine pedogene Überprägung bedingt sein (BLUME, 1968). Im folgenden soll untersucht werden, in welcher Weise die pedogene Differenzierung desselben Ausgangsgesteins zu einer Differenzierung der bodenphysikalischen Parameter führt, wie charakteristisch diese Parameter für wiederkehrende Schichtungen und Horizonte sind und wo die wichtigsten Unterschiede zwischen hydromorphen und nicht-hydromorphen Böden liegt. Hierzu wurden horizont- bzw. schichtweise die Mittelwerte und Streuung der Parameter errechnet (Tab. 8) sowie paarweise die Signifikanz der Unterschiede getestet (Tab. 9). Um n in den Gruppen hoch zu halten, wurden relativ wenige Gruppen gebildet, nämlich die Horizonte Ah, Al (einschließlich Bv in Braunerden kolluvialen Ursprungs), Sw, Bt (gesamt, oder aufgelöst in Bt1 und Bt2), Sd, sämtlich ausgebildet in Löss- bzw. der obersten Lössfließerde FI), die mehr oder minder gemischten Fließerden wurden gesamt (F) bzw. in 2 Gruppen (Fl, Ft: lehmige und tonige Fließerden) zusammengefaßt, und zwar unabhängig von ihrer Tiefenlage.

Die charakteristischen Verschiebungen in der Gruppenfolge Ah, Al, Sw, Bt, Sd, Fl, Ft kommen in Abb. 15 (mittlere pF -Kurven) und Abb. 16 (mittlere hydraulische Leitfähigkeiten) zum Ausdruck. Die insgesamt relativ gestreckten pF -Kurven erhalten in dieser Reihenfolge immer steilere Gradienten. Von Ah zu Al, Bv findet eine Streckung im Grob- und unteren Mittelporenbereich statt. Zum Sw-Horizont verliert dieser Bereich abermals, aber jetzt zugunsten der

Mittel- und Feinporen, ohne daß der Tongehalt wesentlich (13 - 15 %) zunimmt. Bt und Sd zeigen identische Kurven, bei gleichem GPV wie der Sw, jedoch erheblich steiler. Zur lehmigen Fließerde hin verteilt sich die Kurve noch mehr, und zwar bei gleichbleibenden PWP durch Verringerung der Mittel- und Grobporen (GPV = 37 %). Ihr ähnelt die Kurve der tonigen Fließerden, die jedoch zu höheren GPV-Werten parallel verschoben ist.

Die genannten Unterschiede lassen sich in manchen Bereichen statistisch absichern (Tab.9). Auffällig sind so die auf pedogene Einflüsse zurückführbaren Differenzen zwischen hydromorphen und nicht-hydromorphen Oberböden (Al-Sw) im Löß: Hydromorphie geht mit einer recht starken Verringerung des Gesamtporenvolumens, aufschlüsselbar auf Grob- und Mittelporen, einher. Dagegen beschränkt sich der Unterschied zwischen Sw und Bt auf den Porenbereich entsprechend pF 1.3-2.5 (11.9 gegen 7.6 vol%) bei entsprechend etwas höherem Feinporenanteil.

Ein eingeschobener Vergleich zwischen Bt1 und Bt2 zeigt praktisch nur hinsichtlich der Grobporen ($pF < 1.8$) eine Differenz, die wohl auf die stärkere Gefügedynamik des Bt1 zurückgeht. Dagegen fehlt jede gesicherte Differenz zwischen Bt und Sd.

Sprunghaft setzen sich von den Bt- und Sd-Horizonten die Fließerden ab, die in Tab. 9 nur als ungeteiltes Kollektiv aufgeführt wurden. Im Falle des Sd-Horizontes befriedigt allerdings die statistische Sicherung wegen der hier geringeren Kollektivgröße weniger.

Ks- und Ku-Kurven (Abb. 16) treten wieder in etwa derselben Reihenfolge auf wie die pF -Kurven, obwohl relative Verschiebungen vorkommen. So fallen z.B. nur Ku50 und Ku100 von SW mit den entsprechenden Werten des Bt zusammen, während die Werte von Ks und Ku20 noch im Bereich der entsprechenden Al-Werte liegen. Dies bedeutet, daß der große Unterschied im Grobporenanteil zwischen Sw und Al sich auf die

hydraulische Leitfähigkeit bei Sättigung und bei 20 cm WS nicht auswirkt. Eine Erklärung hierfür liegt nicht auf der Hand.

Eine ähnliche Diskrepanz beobachtet man zwischen den Leitfähigkeits- Saugspannungs-Funktionen von Sd und Bt; trotz identischer pF-Kurven sinken hier die Ku50- und Ku100-Werte des Sw-Horizontes weit unterhalb diejenigen der Bt-Horizonte. Sie liegen damit in der Größenordnung der entsprechenden Bt2-Werte. Vielleicht läßt sich zur Erklärung dieses scheinbaren Widerspruchs die komplementäre Beobachtung hinzufügen, daß bänderartige Strukturen der Tonverlagerung in den Sd-Horizonten wie in den Bt2-Horizonten deutlicher hervortreten als in den Bt1-Horizonten. Bei im Mittel gleicher Porenverteilung können diese kleinräumigen Strukturen möglicherweise die Leitfähigkeit gerade in den angesprochenen Saugspannungsbereich entscheidend beeinflussen.

Generell streuen die Leitfähigkeitsdaten sehr stark. Unterschiede ließen sich nicht absichern mit Ausnahme der zwischen Bt und F (ungeteilt) hinsichtlich Ku50 und Ku100 (Tab. 9). Dies beruht allerdings auch darauf, daß die Daten der hydraulischen Leitfähigkeit nicht normal verteilt waren und deshalb der gröbere DUNN-Test (DUNN, 1964) angewandt werden mußte.

Als wichtigste Ergebnisse dieses schicht- bzw. horizontweisen Vergleichs der bodenphysikalischen Parameter können folgende Beobachtungen herausgestellt werden.

- a) Die Sw-Horizonte sind gegenüber den Al-, Bv-Horizonten verdichtet und lassen dies in allen relevanten Parametern erkennen. Der verringerte Grobporenanteil dürfte sich auf den Gasaustausch und die Sauerstoffversorgung der Wurzeln auswirken.
- b) Bt- und Sd-Horizonte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer pF-Kurve nicht, hinsichtlich ihrer Leitfähigkeit nur im Saugspannungsbereich 50-100 cm WS. Auch wenn letztere Verschiebung sicher Auswirkung auf die Regler-

Tab. 8: Mittelwerte und Streuung bodenphysikalischer Parameter der Horizonte sowie lehmiger (Fl) und toniger (Ft) Fließerde.

	TRD	GPV	GP1	GP2	GP3	MP1	MP2	PWP	FWK	Ks	Ku2o	Ku50	Ku100	TON%	GU%	FMS%	
Ah	1.25	51.2	6.5	9.6	8.0	19.9	27.9	13.7	39.7	50.8	4.044	1.685	0.684	13	47	9	x
n=11	0.16	6.1	4.4	5.6	3.6	2.7	3.4	2.3	3.6	19.2	2.861	1.734	0.695	3	5	4	s
Al	1.37	48.0	8.2	11.1	6.4	17.0	23.3	13.5	35.4	32.0	2.627	1.377	0.555	13	43	12	x
n=11	0.12	4.4	4.2	4.8	3.4	4.5	6.7	4.1	4.0	20.2	2.842	1.768	0.672	5	14	10	s
Sw	1.52	42.1	4.8	7.3	4.6	13.4	18.0	16.7	33.4	32.5	2.224	0.532	0.176	15	39	13	x
n=10	0.11	3.9	2.6	3.5	1.6	2.9	2.9	3.0	2.2	16.9	1.254	0.284	0.100	5	11	7	s
Bt1	1.53	42.2	4.9	6.4	3.4	12.6	16.0	19.8	35.0	9.2	0.956	0.571	0.330	20	51	4	x
n=5	0.05	1.7	1.1	1.6	1.6	2.0	1.1	1.1	1.2	4.5	0.697	0.337	0.170	2	2	2	s
Bt2	1.55	41.1	2.7	3.6	2.2	15.1	17.4	20.0	37.0	4.1	0.272	0.183	0.133	23	43	7	x
n=6	0.04	1.4	1.8	1.9	0.6	2.6	2.9	2.7	2.0	3.7	0.192	0.120	0.093	3	5	2	s
Bt	1.54	41.5	3.7	4.9	2.7	14.0	16.8	19.9	36.1	6.4	0.580	0.360	0.220	22	47	6	x
n=11	0.04	1.5	1.8	2.2	1.2	2.6	2.3	2.0	1.8	4.7	0.581	0.306	0.162	4	5	2	s
Sd	1.59	41.1	2.9	4.7	3.5	13.0	16.4	19.9	35.6	7.8	0.555	0.180	0.120	26	43	5	x
n=4	0.06	2.1	1.3	1.6	1.7	3.2	4.1	3.9	5.7	4.8	0.277	0.175	0.119	9	5	2	s
Fl	1.68	37.3	2.6	3.6	2.6	9.6	12.1	21.4	32.9	2.9	0.306	0.140	0.060	20	29	22	x
n=13	0.05	1.7	1.5	1.9	1.4	2.9	3.0	3.5	3.1	4.9	0.430	0.227	0.039	7	11	15	s
Ft	1.67	38.9	2.3	3.0	1.4	8.4	9.9	26.1	35.6	2.7	0.200	0.110	0.050	33	15	16	x
n=11	0.15	4.3	1.2	1.3	1.1	3.0	2.6	3.4	4.7	4.3	0.325	0.157	0.059	10	11	14	s

Tab. 9: Signifikanz (auf 0.05 Niveau) der Unterschiede zwischen Parametern folgender Horizont- und Schichtpaare (F = Fließerde).

	TRD	GPV	GP1	GP2	GP3	MP1	MP2	PWP	FWK	Ks	Ku20	Ku50	Ku100
Al	1.370	48.0	8.2	11.1	6.4	17.0	23.3	13.5	35.4	32.0	2.627	1.377	0.555
Sw	1.519	42.1	4.8	7.3	4.6	13.4	18.0	16.7	33.4	32.5	2.224	0.532	0.176
	++	++	++	+	NS	++	++	+	NS	NS	NS	NS	NS
Bt1	1.526	42.2	4.9	6.4	3.4	12.6	16.0	19.8	35.0	9.2	0.956	0.571	0.330
Bt2	1.553	41.1	2.7	3.6	2.2	15.1	17.4	20.0	37.0	4.1	0.272	0.183	0.133
	NS	NS	++	++	NS	NS	NS	NS	+	NS	NS	NS	NS
Bt	1.541	41.5	3.7	4.9	2.7	14.0	16.8	19.9	36.1	6.4	0.580	0.360	0.220
Sd	1.587	41.1	2.9	4.7	3.5	13.0	16.4	19.9	35.6	7.8	0.555	0.180	0.120
	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F	1.673	38.1	2.4	3.3	1.8	9.0	11.1	23.6	34.1	2.8	0.253	0.125	0.055
Bt	1.541	41.5	3.7	4.9	2.7	14.0	16.8	19.9	36.1	6.4	0.580	0.360	0.220
	++	++	++	++	NS	++	++	++	+	NS	NS	++	++
F	1.673	38.1	2.4	3.3	1.8	9.0	11.1	23.6	34.1	2.8	0.253	0.125	0.055
Sd	1.587	41.1	2.9	4.7	3.5	13.0	16.4	19.9	35.6	7.8	0.555	0.180	0.120
	NS	NS	NS	NS	++	++	++	NS	NS	NS	NS	NS	NS

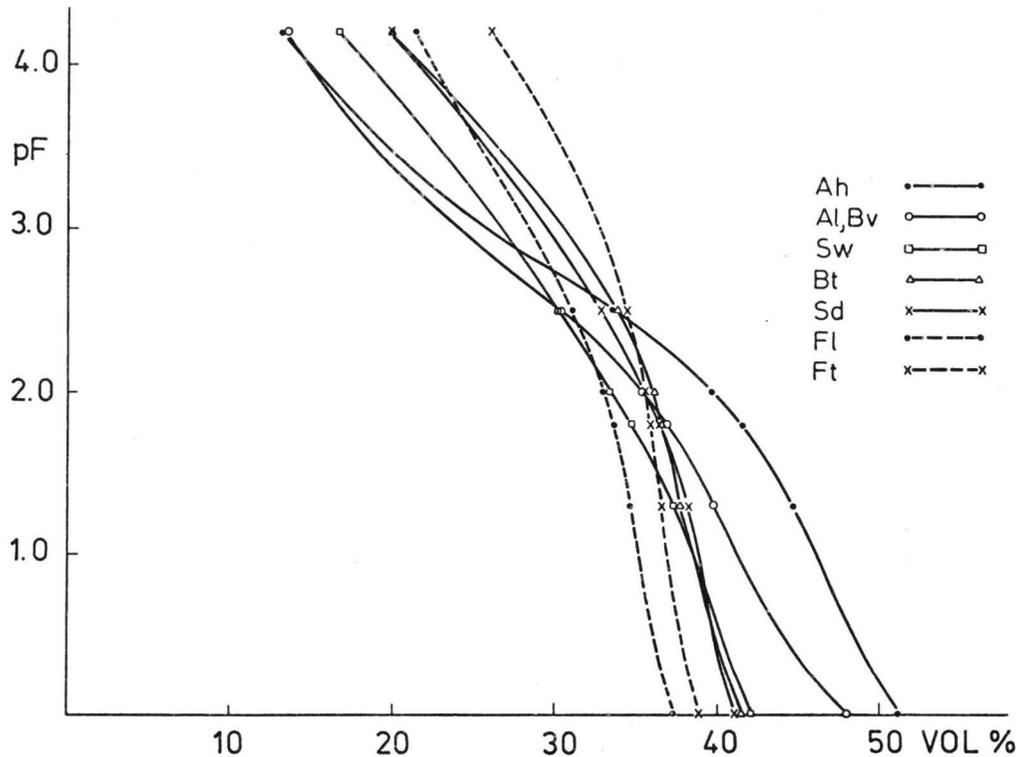


Abb. 15: Mittlere pF-Kurven der Horizonte bzw. Schichten

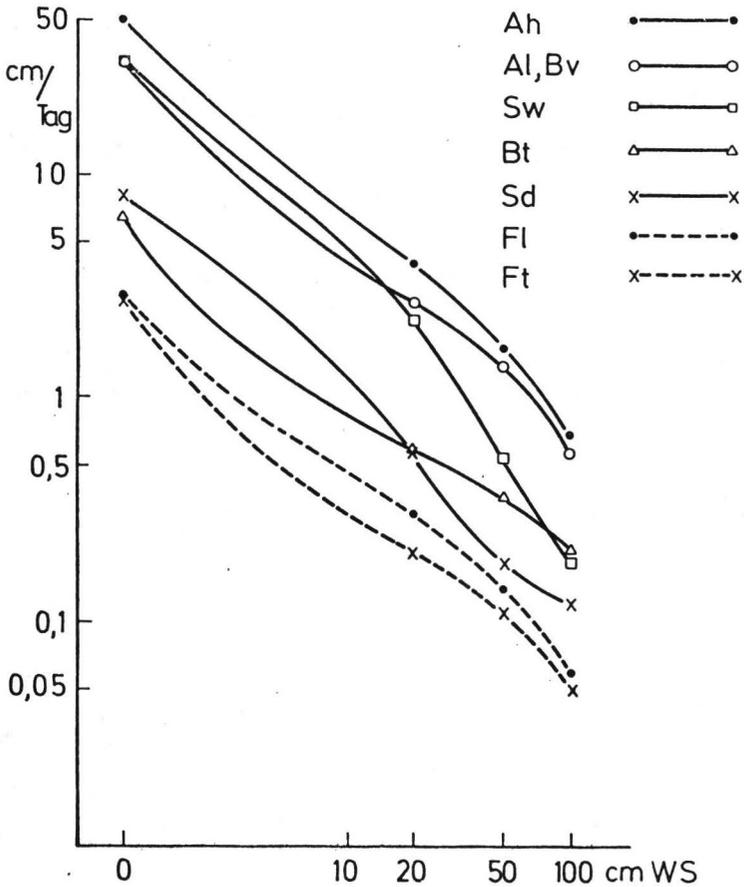


Abb. 16: Mittlere hydraulische Leitfähigkeit der Horizonte und Schichten als Funktion der Saugspannung

Funktion des Bodens hat, so scheint doch die Möglichkeit, der Bt-Horizont könne die Funktion des Staukörpers übernehmen (MÜCKENHAUSEN, 1962) zumindestens in Frage gestellt.

- c) Dagegen heben sich die Fließerden II und III von den Bt- und Sd-Horizonten durch eine deutliche zusätzliche Verdichtung ab.

4.3 Saugspannungs-Wassergehalts-Charakteristik im Feld

Die nach dem Standard-Sättigungsverfahren (s.2.32) hergestellte pF -Kurve liefert Angaben über die volumenmäßige Aufgliederung des Porenraums im Saugspannungsbereich. Wie vollständig die respektiven Porenraumbereiche bei einer bestimmten, im Feld gemessenen Saugspannung mit Wasser aufgefüllt sind, darüber wird keine Aussage gemacht. Man beobachtet zwischen den im Labor und im Feld gewonnenen Saugspannungs-Wassergehalts-Charakteristiken zum Teil erhebliche Abweichungen (VACHAUD und THONY, 1971, RICHTER, 1974, BEESE et al., 1975, ROYER und VACHAUD, 1975, BEESE und WIERENGA, 1979).

Die möglichen Abweichungen zwischen Feld- und Labor- pF -Kurven zeigen Abb. 17 und 18 für jeweils 2 Horizonte aus einer Pseudogley-Parabraunerde (F1) und Pseudogley (F2). 6 Meßtermine im Feld konnten dazu ausgewertet werden; der dabei erfaßte Saugspannungsbereich lag zwischen pF 0.7 und pF 2.7, andere Austrocknungs- bzw. Aufsättigungsphasen standen nicht zur Verfügung.

Ganz auffällig ist der durchgängig unterschiedliche Effekt in den beiden Böden. Im Pseudogley beobachtet man nur Streuungsabweichungen einzelner Feldmessungen von der Laborkurve. Im Gegensatz dazu laufen die Feld- pF -Kurven in der Parabraunerde deutlich parallel zu geringeren Wassergehalten verschoben. Im Oberboden (20-30 cm) scheint die Abweichung, welche immerhin 8-9 vol% ausmachen kann, bei pF_3 einzusetzen. In den anderen beiden Tiefen könnte der Ansatz noch etwas höher reichen. Diese Beobachtung findet sich auch bei RICHTER (1974).

Abweichungen zwischen Feld- und Labor- pF -Charakteristiken werden gewöhnlich als Sorptions-Desorptions-Hysteresen beschrieben. Der Vorgang selbst ist komplex. Abgesehen von möglichen Gefügeveränderungen (RICHTER, 1974) dürfte die Tatsache von Bedeutung sein, daß "die Poren im Boden häufig wechselnde Querschnitte und zahlreiche Querverbindungen haben .

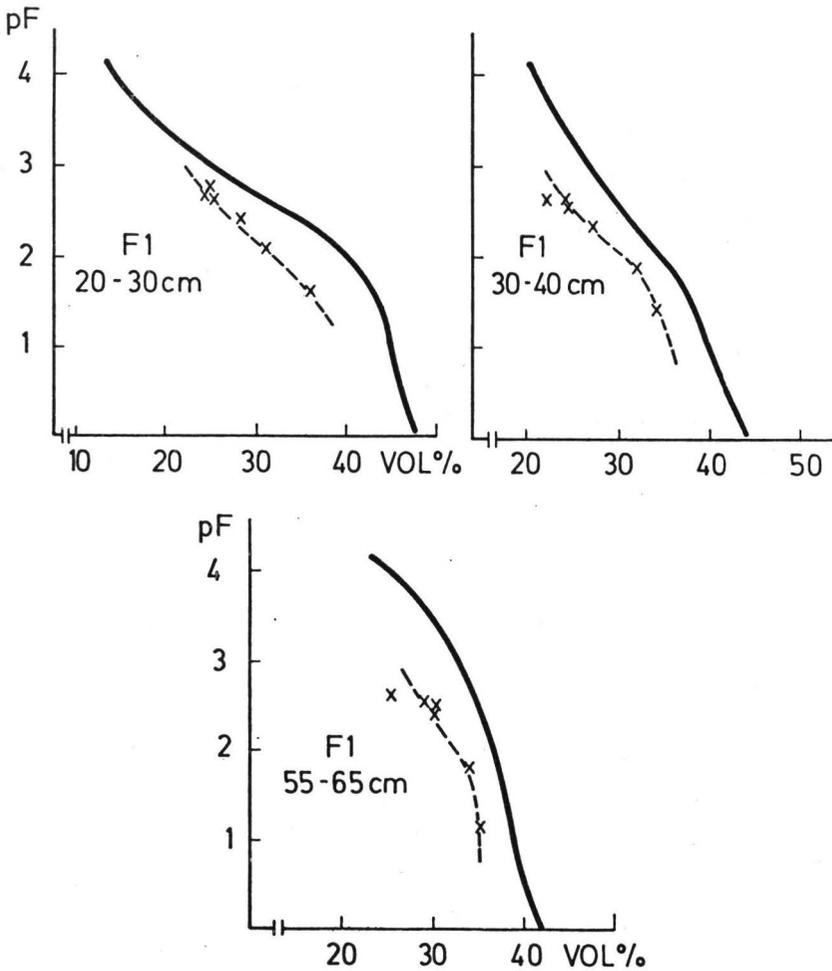


Abb.17: Vergleich der Wassergehalts-Saugspannungs-Charakteristiken im Feld (Kreuze) und im Labor (durchgezogene Linie) von 3 Horizonten in Profil F1

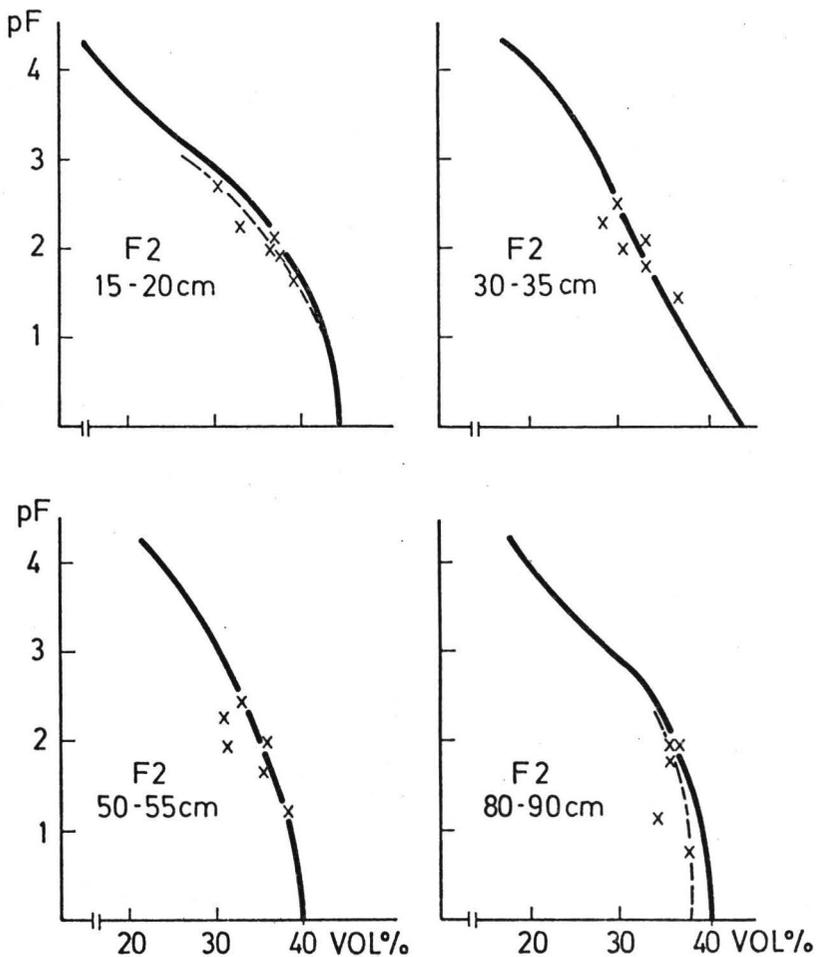


Abb. 18: Vergleich der Wassergehalts-Saugspannungs-Charakteristiken im Feld (Kreuze) und im Labor (durchgezogene Linie) von 4 Horizonten in Profil F 2

Das führt dazu, daß die Reihenfolge der Entwässerung (grob vor fein) andere Abfolgen für die Menisken vorfindet als die langsame Bewässerung (fein vor grob)" (HARTGE, 1978, S. 156). Dadurch können sich bei der Bewässerung Lufteinschlüsse bilden. Dies wäre aber genauso denkbar durch eine Wassersättigung von oben, wie sie im Feld geschieht. Wie in 2.32 gezeigt, erreicht man durch Aufsättigung von oben im Labor bereits eine Annäherung an Feldbedingungen, wenn auch keine Übereinstimmung.

Die Wahrscheinlichkeit von Lufteinschlüssen dürfte wachsen, je lockerer die Struktur und je diskontinuierlicher das Porengefüge ist. Hierin liegt möglicherweise die Erklärung für den Unterschied zwischen Pseudogley F2 und Parabraunerde F1. Die Trockenraumdichte für die in Abb. 17 und 18 aufgeführten Tiefen sind für jeweils die beiden Profile:

TRD	F1	F2
20 cm	1.36	1.46
35 cm	1.47	1.51
55 cm	1.52	1.62

4.4 Beziehung zwischen Hydromorphie-Grad und Schichtungsverhältnissen

Die Schlußfolgerung aus 4.2 bildet den Ansatzpunkt für die folgende Untersuchung der Beziehung zwischen Hydromorphiegrad und den Schichtungsverhältnissen im Gebiet der Detailkartierung. Hierzu wurden für die etwa 200 Bohrpunkte eine Gegenüberstellung des Hydromorphiegrades (Legendeneinheiten 3 - 6 bzw. 9 - 12) und der unter dem Löß angetroffenen Schichten erarbeitet, die hier für die beiden Gebiete mit Lößmächtigkeiten < 80 cm und > 80 cm getrennt dargestellt werden sollen.

Detailkartierung E (Löß > 80 cm)

In Tab. 10 ist die absolute und prozentuale Verteilung der Legendeneinheiten 9 - 12 (Parabraunerde bis Pseudogley) aufgeführt, und zwar für verschiedene Arten der Schichtungsfolge. Dabei dient die Angabe der prozentualen Verteilung ausschließlich dem übersichtlicheren Vergleich mit der Gesamtverteilung der Legendeneinheiten innerhalb der insgesamt 53 Bohrpunkte.

Insgesamt gibt es auf der kartierten Fläche ein gewisses Übergewicht (58 %) an Pseudogleyen (Einheiten 11 und 12). Innerhalb der einzelnen Schichtungstypen treten mehr oder minder deutliche Verschiebungen gegenüber der gesamten Einheiten-Verteilung auf. Jedoch zeigt schon der erste Überblick, daß sich die Pseudogleye keineswegs eindeutig gewissen Schichttypen zuordnen lassen. So dürfte die Schichtungsfolge von Löß (einschließlich der lößreichen Fließerde I) über der dichten, grauen Fließerde II an sich die Konstellation darstellen, welche am stärksten die Bodenbildung auf einen Pseudogley hätte ausrichten können, da die Fließerde II am deutlichsten den Charakter eines primären Staukörpers besitzt (s. 3.2 und 4.2). Die Verteilung der Legendeneinheiten zeigt jedoch nur eine partielle Verschiebung zum Pseudogley. Die nicht pseudovergleyten Böden (Einheiten 9 und 10) auf dieser Schichtungsfolge verteilen sich jedoch nicht

gleichmäßig im Kartengebiet, sondern finden sich ausschließlich im Bereich der in Abb. 8 schwach angedeuteten E und NE streichenden Riedel (s. 3.3).

Daß die Auswirkung eines potentiellen Staukörpers vom Relief beeinflußt wird, ist natürlich kein überraschender Befund. Jedoch sind die Hangneigungen in der hier entscheidenden N-S-Richtung kleiner als 0.5-1 % bei einem Gesamtgefälle nach E von 2 %; dies schließt einen lateralen Hangwassertransport im ungesättigten Bereich praktisch aus. Dagegen kann eine solche Umverteilung von Wasser durch gesättigtes Fließen erreicht werden. An den ständig offenen Profilvergräben konnte dieser Vorgang wiederholt beobachtet werden, und zwar entlang dem Kontakt LÖß/Fließerde, so z.B. in F3 (Abb. 9) oberhalb der Fließerde II, nicht dagegen in den Sw-Horizonten.

Die Bedeutung von Aquifer-Horizonten zeigt in gleicher Weise die Bodenverteilung in den Schichtungsfolgen mit Spülsandschichten unter dem LÖß bzw. über Fließerde II (b und c, Tab. 10). Der Spülsand kann die Rolle eines Aquifers übernehmen, aber dieser kann Wasser ableiten wie zuführen. Deshalb findet sich auch hier nur eine relative Verschiebung zugunsten der Parabraunerden. Und wieder - d.h. wie im Fall der Schichtungsfolge d - liegen z.B. die nicht vernästen Böden (Einheiten 9 und 10) in der Schichtungsfolge b fast ausschließlich auf den beiden angesprochenen Riedeln (Abb. 9), die vernästen dagegen vorwiegend in den zwischengelagerten schwachen Dellen. Und die einseitige Verteilung der Böden in den Schichtungsfolgen e und f (Tab. 10) erklärt sich ebenfalls aus ihrer Position in der südlichen Senke.

Detailkartierung W (LÖß < 80 cm)

In diesem Gebiet geringmächtiger LÖßauflage und damit hochanstehender primärer Staukörper liegt der Anteil von Pseudogleyen (Einheiten 5 und 6) verständlicherweise mit 74 % der Bohrpunkte höher als im E, wo der mächtigere LÖß das Wasser-

Tab. 10: Absolute und prozentuale Verteilung der Legenden-Einheiten 9 - 12 (zunehmende Hydromorphie) für verschiedene Typen der Schichtung (bis 2 m Tiefe) im Gebiet der Detailkarte E.

bis 2 m	Bohrpunkte				% - Verteilung			
	9	10	11	12	9	10	11	12
a) LÖB (+FI)	3	1	1	1	50	16	17	17
b) LÖB über Spülsand	5	2	1	1	56	22	16	16
c) LÖB über Spülsand + grauer FII	0	4	2	0	0	66	34	0
d) LÖB über grauer FII	4	3	7	11	16	12	28	44
e) LÖB über Spülsand + toniger FIII	0	0	4	1	0	0	80	20
f) LÖB über toniger FIII	0	0	1	1	0	0	50	50
Summe	12	10	16	15	23	19	30	28

Tab. 11: Absolute und prozentuale Verteilung der Bodeneinheiten 3 - 6 (zunehmende Hydromorphie) auf verschiedenen Schichtungstypen im Gebiet der Detailkartierung W.

	Bohrpunkte:				% - Verteilung:			
	3	4	5	6	3	4	5	6
a) LÖB +FI über sandiger Wechselfolge	2	7	4	1	14	50	29	7
b) LÖB + FI über toniger Fließerde III oder toniger Wechselfolge	3	18	27	42	3	20	30	47
c) wie b), aber mit eingeschaltetem Spülsand	2	7	12	25	5	15	26	54
Summe	7	32	43	68	5	21	29	45

aufkommen besser ausgleichen kann. Generell ist die direkte Beziehung zwischen Vernässungsgrad des Bodens und der liegenden Schichtenfolge noch schlechter als im östlichen Kartenblatt. Nur dort, wo relativ sandige Wechselfolge hoch, d.h. innerhalb von 80 cm, ansteht, herrschen deutlich die wenig vernästen Böden vor (Tab. 11 und Abb. 12, insbesondere im Ostteil). Die übrigen Kategorien der Schichtenfolge wurden in Tab. 11 stark vereinfacht, weil das Gesamtbild durch eine weitergehende Aufschlüsselung nicht verbessert wird. Es wurde nur nach dem Auftreten oder Fehlen von Spülsand unterschieden, der sich zwischen den Löß und der lößreichen Fließerde I (s. 3.2) einerseits und der lößarmen, meist tonreichen Fließerde III (bzw. örtlich der Fließerde II oder der vorwiegende tonreicheren Wechselfolge) zwischenschaltet. Beide Kategorien zeigen jedoch keine oder nur geringfügige Abweichung von der Gesamtverteilung.

Wie im Fall der Detailkarte E liegt der Grund für diese schlechte Vertikal-Beziehung einmal wieder in der Bedeutung welche die laterale Wasserumverteilung offensichtlich für das Wasserregime der Einzelstandorte besitzt. Der Spülsand findet sich großflächig besonders im S und W der flachen Anhebung, welche den nördlichen Rand der Detailkarte W (s. Abb. 11) berührt. Transekt B (Abb. 12 und 13) schneidet die geringfügig höher liegenden Schichtenfolgen mit zwischengelagertem Spülsand, auf denen frei-dränende Böden (Bodeneinheit 4) anstehen. Transekt A dagegen berührt die etwas tiefer liegenden Standorte gleicher Schichtung, deren Böden vernäst sind.

In Schichtungsfolgen ohne Spülsandschichtung kann diese laterale Umlagerung ebenfalls stattfinden, und zwar hier besonders an der Grenzschicht zwischen Löß und der Fließerde III, die mit oder ohne Steinsole ausgebildet sein kann. Beeinflusst wird diese laterale Wasserführung sicher durch das heutige Relief (siehe Transekt C, Abb. 12 und 14), aber ebenso stark durch das begrabene Relief der genannten Fließerde-Obergrenze. Die Welligkeit dieses Reliefs, die

sicher sehr stark durch relikte Abtragungsvorgänge geprägt worden ist, kommt zwar allgemein in den Transekten heraus. Für eine detailliertere Darstellung ihres Einflusses auf den punktuellen Hydromorphiegrad der Böden ist die Kartierung jedoch noch nicht engmaschig genug.

Als weiterer Faktor, der die Beziehung Hydromorphie-Schichtung unscharf macht, muß die stark wechselnde Beschaffenheit der tonigen Wechselfolge angesprochen werden. Im Westteil der Karte (Abb. 11 und 12) überlappen sich die dort verzeichneten Flächen mit wenig vernästen Böden (Einheiten 3 und 4) mit den Flächen oberflächennah (< 80 cm) anstehender Wechselfolge mit meist sehr geringmächtiger Fließerde III. Die Wechselfolge hier ist wie im Hauptteil der Karte relativ tonreich. Die Tonbänder haben eine geringe Durchlässigkeit, zumindest wenn sie in einem plastisch-aufgeweichten Zustand vorliegen. Dies zeigt Tab. 12, welche die bodenphysikalischen Daten eines sandigen Cv-Horizontes mit dünner, etwa 5 mm starker Tonlamelle wiedergibt.

Tab. 12: Daten eines C-Horizontes der Volpriehausener Wechselfolge (Sandstein mit dünner Tonschicht)

<u>Textur der Gesamtprobe</u>				
	Sand	Schluff	Ton	
	76.9%	10.8%	12.0%	
	<u>Ku 20</u>	<u>Ku 50</u>	<u>Ku 100</u>	(3 Parallelen)
\bar{x}	0.072	0.034	0.016	cm/Tag
s	0.043	0.018	0.013	

Andererseits kann aber auch eine bessere Durchlässigkeit des C-Horizontes gegeben sein, nämlich einmal dort, wo eine angewitterte Sandsteinschicht ausstreicht und freies Wasser abführen kann, oder wo die dünnen Tonlagen wenig aufgeweicht und möglicherweise durch Frosteinwirkung rissig geworden sind. Hoch anstehende Wechselfolge wie in dem genannten Streifen (Abb. 12, Westseite) mag diesem Einfluß stärker ausgesetzt gewesen sein. Leider läßt sich im Bohrer

schon die Trennung von Fließerde III und Wechselfolge nur mit einer gewissen Unsicherheit durchführen, eine treffende Charakterisierung der Wechselfolge liegt außerhalb der Möglichkeit der Kartierung mit dem Bohrer.

5 Untersuchungen zum aktuellen Feuchtegang

5.1 Bestandesniederschlag und Interzeption

Die Funktion $N_b = f \cdot N_f$ soll von einer gewissen Niederschlags-
höhe an zur 45° -Linie parallelverschoben sein, und zwar um
den Betrag des Benetzungswassers (BENECKE, 1979). Dies gilt
jedoch nur, wenn tatsächlich Einzelniederschlagsereignisse
ausgewertet werden. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt dagegen
die Messung im 3- bzw. 4-Tages-~~Abstand~~. Die erfaßten Bestandes-
niederschläge können dann von Einzel- oder Mehrfach-Ereignissen
ausgehen. In die letzteren Werte geht auch die Benetzung
mehrfach ein, d.h. die Funktion $N_b = f \cdot N_f$ hat einen Winkel,
der relativ stark von 45° abweicht. Die Abweichung wird
verdeutlicht durch die Regressionsgleichungen zwischen N_b
bzw. I und N_f in Tab.13, in die alle Niederschläge >2 mm
eingegangen sind. Etwa bei 2 mm (N_f) besitzt die N_b/N_f -
Beziehung einen in allen 3 Fällen deutlichen, benetzungs-
bedingten Knick (LEYTON et.al., 1967; JACKSON, 1975; FRANCO,
1979), der jedoch noch nicht den Endwert der Benetzungs-
kapazität darstellt. Dieser liegt im Fichtenaltbestand des
Sollings nach BENECKE (1979) bei $N_f = 4.7$ mm.

Zwischen den Flächen treten deutliche Unterschiede in dem
die Steigung der Geraden anzeigenden Koeffizienten b auf
(Tab.13.); er ist am höchsten (0.7) in dem relativ dichten
Jungbestand, am niedrigsten (0.58) im dichten Stangenholz,
und liegt zwischen beiden Werten im grassreichen, offenen
Fichtenjungwuchs F2 (0.63).

Tab. 13: Regressionsgleichungen zwischen N_f , N_b und I

Fläche	Gleichung		r^2	n
F1	$N_b = -1.0046 + 0.69868 N_f$	Nf	0.9091	120
F1	$I = 1.0051 + 0.30232 N_f$	Nf	0.6778	120
F2	$N_b = -1.4101 + 0.63344 N_f$	Nf	0.9248	121
F2	$I = 1.4333 + 0.37005 N_f$	Nf	0.7750	121
F4	$N_b = -1.1583 + 0.58289 N_f$	Nf	0.8047	116
F4	$I = 1.1583 + 0.41711 N_f$	Nf	0.6785	116

Signifikanzniveau für alle $r: 0.00001$

Abb. 19 zeigt den steileren oder flacheren Anstieg des Nb, hier ausgedrückt in % vom Nf. Er erfolgt schnell in F1, dagegen langsamer im Stangenholz F4, während in F2 mit seinem hohen Grassanteil Nb zunächst relativ hoch ist, aber bei höherem Nf auf einem geringeren Niveau bleibt. Hierbei mag als systematischer Fehler der Halmabfluß eine Rolle spielen, der ja nicht erfaßt wurde (MATZNER, 1980). BENECKE (1979) hat die Ergebnisse mehrerer Autoren (HOPPE, 1896, zit.b. DELFS, 1954, EIDMANN, 1959, WEIHE, 1968, 1970, 1974) in dieser Form dargestellt und verglichen. Schon wegen des längeren Meßintervalls (s. oben) liegen die Kurven F1-4 generell niedriger als bei den anderen Autoren, so z.B. das Endniveau um etwa 15 %. Wie BENECKE feststellt, streuen allerdings die Einzelkurven gerade bei Fichten sehr stark, ohne daß im Einzelfall auszumachen ist, inwieweit meßtechnische (Zeiträume) oder natürliche Faktoren (z.B. Niederschlagshöhe) dies bewirken.

Vom Meßzeitraum weniger abhängig sind die Zeitsummen über längere Meßzeiträume (BENECKE, 1979), wie sie in Tab. 14 getrennt für die einzelnen Meßjahre, und in Tab. 15 im Vergleich mit Literaturdaten in Abhängigkeit vom Bestandesalter aufgeführt worden sind. Die Jahreswerte (Tab. 14.) des Bestandesniederschlages (in % vom Nf) weichen für F4 wenig vom Mittel der 3 Jahre ab, während in den Jungbeständen F1 und F2 die Interception von Jahr zu Jahr deutlich zunimmt. Dies ging einher mit einer gerade in F2 sehr deutlichen Kronenentwicklung, die besseren Bestandesschluß und Abnahme der Grasswüchsigkeit zur Folge hatte.

Tab. 14. : Prozentualer Anteil des Bestandesniederschlages Nb am Freilandniederschlag Nf in den Jahren 1977-79 (s. auch Tab. 1)

Jahr	Nf	Zeitraum	%Nb		
			F1	F2	F4
1977	454.9	5.-12.77	68.9	56.9	49.0
1978	737.4	1.-12.78	59.1	55.3	48.1
1979	704.5	1.-12.78	54.3	48.1	47.4

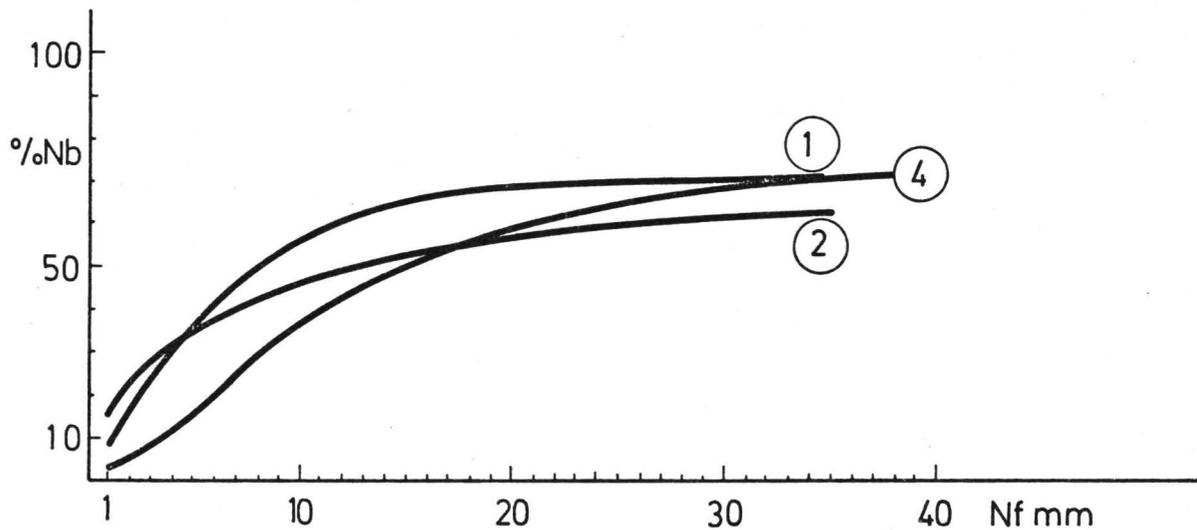


Abb. 19: Bestandesniederschlag (in % des Freilandniederschlages) als Funktion vom Freilandniederschlag

Tab. 15: Altersabhängigkeit des Bestandesniederschlages Nb
(in % vom Nf) von unterschiedlich alten Fichten-
Beständen

Alter (Jahre)	%Nb	Autor
11	53	diese Arbeit F2 (Holzerode, 700 mm)
14	61	diese Arbeit F1
32	48	diese Arbeit F4

15	89	DELFS (1954)
30	79	DELFS (Harz, 1360 mm)
60	72	DELFS
80	64	DELFS
56	69 - 58	LANG, 1970 (stark-mäßig durchforstet)
95	71	BENECKE, 1979 (Solling, 1100 mm)

Die durchschnittlichen Jahreswerte des Bestandesniederschlages (Tab. 15) zeigen im Literaturvergleich eine erhebliche Streuung. Abgesehen von der Meßmethodik und den Meßzeiträumen beeinflussen unter anderem das natürliche Niederschlagsregime, der natürliche Bestandesschluß, Durchforstungsmaßnahmen und Bestandesalter das Interceptionsverhalten. Der Alterseinfluß kommt sehr deutlich bei den Daten von DELFS (1954) heraus, die allerdings für ein einheitliches Niederschlagsgebiet gelten. Sowohl seine Daten wie die von BENECKE und LANG beziehen sich auf Gebiete relativ hohen Jahresniederschlages (>1000 mm), und dies erklärt wohl die insgesamt sehr viel geringere Interception.

5.2 Bodenfeuchtegang 1977-79 in tiefgründigem Löß

5.2.1 Parabraunerde-Pseudogley-Serie

Die Saugspannungs-Isoplethen der Meßstandorte F3 (Parabraunerde), F1 (Pseudogley-Parabraunerde) und F1 (Pseudogley) sind in den Abb. 20 bis 22 zusammen mit den 3-4 tageweise gemessenen Niederschlägen aufgetragen. Die Meßperioden waren wie folgt:

1977: 30.4 - 3.11.
 1978: 24.4 - 9.11.
 1979: 21.6 -13.11.

1979 begann die Messung erst im Juni. Die Gesamt-Niederschläge in der Vegetationsperiode vom 24.4. bis Anfang November waren

1977: 342 mm = (50.7)% von (674) mm Jahresniederschlag
 1978: 455 mm = 62 % von 737 mm Jahresniederschlag
 1979: 393 mm = 56 % von 705 mm Jahresniederschlag

In dieser Aufstellung stammen die Niederschlags-Angaben für die ersten 4 Monate 1977 (in Klammern) von der Meßstation Radolfshausen (MONATSBERICHTE, 1977). 1977 war insgesamt und auch in der Vegetationsperiode das trockenste, 1978 das feuchteste Jahr.

In den Diagrammen tritt - für 1979 nur in Ausläufern erkennbar - die Frühjahrsfeuchte deutlich in Erscheinung, wie auch die sommerliche Austrocknung, die allein durch die höhere ET bedingt wird. Innerhalb der Meßperioden gab es gewisse Phasen erhöhter Niederschläge bzw. Niederschlags-häufung, so 1977 und 1979 im Juli und August, 1978 dagegen im August - September.

1977 lag ein leichtes Maximum der Bodenaustrocknung (um 500 mbar) im Juli vor Beginn der etwas regenreichen Phase, im übrigen hielt sich bis November eine mittlere Saugspannung von 100 - 200 mbar, mit Ausnahme des etwas feuchteren Pseudogleys.

1979 lag dagegen das Maximum der Austrocknung im September - Oktober, die mit zusammen 26 mm sehr wenig Niederschlag hatten. In diesem Jahr erscheint der Pseudogley trockener als die Parabraunerde. In F1 wurde die Messung nicht fortgesetzt.

1978 nahm die Bodenaustrocknung von Ende Juni an zu - sowohl in Tiefe wie an Intensität - bis zum Maximum Ende August. Mit der regenreichen Phase begann dann ein Umschlag zu feuchten Bodenverhältnissen.

Was die Intensität der Austrocknung in der Sommerperiode anbelangt, so scheinen die Unterschiede zwischen den 3 Bodenstandorten recht gering, zumindestens wenn man die oberen 60 - 80 cm betrachtet. Der auffälligste und durchgängigste Unterschied ist der, daß sich in F3 und 1 die Abtrocknung über 100 mbar hinaus kontinuierlich vertieft über den LÖß hinaus bis auf 150 cm (Fließerde, Gestein), während im Pseudogley F2 die 100 mbar-Grenze meist nur bis 80 cm Tiefe wandert. Nur in der Trockenphase im Spätsommer - Herbst 1979 erfaßt auch in F2 diese Grenze das gesamte Lößpaket. Normalerweise bilden sich im unteren Teil des Lösses hier sonst relativ steile Gradienten zur meist recht hoch gesättigten Grenzschrift LÖß/Fließerde aus.

Wiederbefeuchtungsphasen scheinen andererseits in erster Linie von hohen Einzelniederschlägen abhängig zu sein. So führt der Niederschlag von 35 mm zwischen 17. und 20.5.77 zu einer hohen Sättigung aller 3 Böden, ein Niederschlag von 37 mm Anfang August zur Beendigung des leichten Austrocknungsmaximums und, in F2, zum Unterschreiten der Feldkapazität. Anfang 1978 sind es 2 Niederschläge von 25 mm und 43 mm, die kurze Phasen hoher Sättigung erzeugen, während die beiden Niederschläge von 36 mm und 39 mm Anfang bzw. Ende September die Böden zunächst auf Feldkapazität, dann fast auf Sättigung bringen. In der Meßperiode 1979 beginnt die Phase höherer Einzelniederschläge erst gegen Ende, im November, so daß ihr Effekt nicht voll erfaßt wird.

Hinsichtlich der Phasen zunehmender Bodenfeuchte lassen sich einige interessante Beobachtungen machen. So wirkt sich beispielsweise der hohe Einzelniederschlag Anfang August 77 in F2 fast gleichmäßig auf die ganze Meßtiefe aus. Nur in F1 und F3 kann man kurzfristig das Abwandern einer Feuchtefront beobachten. Dagegen wirkt sich der Wasserinput in F2 sehr schnell auf den Sättigungszustand an der Basis des Lößpaketes oberhalb der Fließerde aus. Ähnliches beobachtet man auch - bei einer in etwa vergleichbaren Ausgangslage - Anfang August 1979: Der Niederschlag von 25 mm schlägt

in F2 sehr deutlich unmittelbar durch bis auf die Lössbasis, wo fast Sättigung erreicht wird.

Noch deutlicher wird dies während der Phase mit Überschußfeuchte bei feuchterem Ausgangs-Bodenzustand, wie nach dem Niederschlag von 35 mm Mitte Mai 1977, wo in allen 3 Böden jedenfalls kurzfristig freies Wasser auftritt. In F2 ruht dieses Wasser auf der Fließerde in 160 cm Tiefe und greift bis 40 cm hoch. In F1 liegt die Basis entsprechend bei 110 cm. Nur in F3 läßt sich eine leichte Differenzierung von 2 Staukörper erkennen, nämlich die Fließerde ab 100 cm und eine Gesteinsschicht unterhalb 200 cm.

Zwischen den 3 Profilen beobachtet man große Unterschiede hinsichtlich der Häufigkeit von Fast-Sättigungsphasen (< 20 mbar) an der Grenzschicht zur Fließerde: Im Pseudogley F2 sind diese Phasen ausgesprochen dominant. Im feuchten Jahr 1978 scheinen sie in F1 und F3 gleich lang. Ein Unterschied zwischen beiden, der auch eine kausale Beziehung zur heutigen Morphologie zuließe, scheint nicht ableitbar.

Auffällig ist, daß der Bt/Sd-Horizont demgegenüber nur selten - und auch nur schwach und untergeordnet - als kurzfristig stauendes Hindernis der Wasserleitung in Erscheinung tritt, so in F1 Ende Mai, Anfang Juni und wieder Anfang September 1978 und in F2 Ende Mai 1978. In anderer Form zeigen dies auch die Abb. 23 und 24, in denen jeweils für F3 (Parabraunerde) und F2 (Pseudogley) die Tiefenfunktionen der Saugspannung dargestellt sind, und zwar einmal für die Austrocknungs- und Wiederbefeuchtungsphase vom 3.7. bis 2.10.1978 insgesamt, sowie für den Befeuchtungsschritt vom 4. - 14.9.1978. Die beiden Böden verhalten sich recht ähnlich, sieht man von der starken Sättigung bis Übersättigung oberhalb der Fließerde in F2 ab. Im Bereich des Bt/Sd-Horizontes gibt es kleinere Abweichungen:

- a) Die Austrocknung verläuft im Pseudogley in den oberen 50 cm schneller, zwischen 80 und 100 cm dagegen langsamer als in der Parabraunerde. Dies wurde bereits oben angesprochen.

- b) Die Tiefenfunktion der Saugspannung vom 7. bis 11.9.1978 zeigt in F3 einen gleichmäßigen Verlauf durch den Bt-Horizont mit einer Verzögerung und Umkehr an der Fließerde-Grenze. Dagegen verzögert der Sd-Horizont in F2 den Ausgleich der Feuchtefront sowohl in der Phase 4. - 7.9 und wieder (nach 23 mm Niederschlag) am 14.9.

Betrachtet man die Hauptdurchwurzelungszone von 0 - 50 cm, so geben die Isoplethen-Diagramme wenig Anhaltspunkte für eine Differenzierung zwischen Parabraunerde und Pseudogley. Dieser Eindruck verändert sich, wenn man die jeweils zur Verfügung stehende Luftkapazität berücksichtigt (s. 4.2). In Abb. 25 und 26 wurden für jeweils zwei 3-4 Wochenperioden die verfügbaren Luftkapazitäten als Tiefenfunktion aufgetragen. Dafür wurden jeweils eine relativ trockene und eine relativ feuchte Periode ausgewählt. Sie wurden berechnet aufgrund der Labor-pF-Kurven (s. 2.32). Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich gerade für die Parabraunerde (F1, F3) Abweichungen im Sinne höherer Luftkapazität ergeben, da die Feld-pF-Kurven im überwiegenden Saugspannungsbereich geringere Wassergehalte zeigen als die Labor-pF-Kurven.

Ausgehend von den Labor-PF-Kurven errechnet sich generell für den Unterboden unterhalb 60-70 cm - das ist etwa der Übergang Bt1/Bt2 bzw. Sd1/Sd2 - durchweg eine geringe verfügbare Luftkapazität von < 5 vol %. Nur in F1 kompliziert sich das Bild durch bzw. innerhalb der zwischen Löß- und Fließerde zwischengeschalteten Spülsand-Schicht, die zwar Anfang Oktober 1978 gesättigt ist, sonst aber eine relativ hohe Luftkapazität aufweist. In Feuchtphasen liegt die Grenze im Pseudogley F2 höher (Obergrenze Sd) oder kann - dies sowohl in F1 wie F2 - bis in den Sw durchschlagen.

Im Oberboden gibt es in allen Phasen von F2 (Pseudogley) über F1 zu F3 (Parabraunerde) einen deutlichen Gradienten zunehmender verfügbarer Luftkapazität. Während in F3 auch in den nassen Phasen in 20 cm Tiefe stets (mindestens) 10-15 vol% Porenraum wasserfrei sind, sind es in F1 und F2 stets unter 10 vol%, periodisch unter 5 vol%. In den

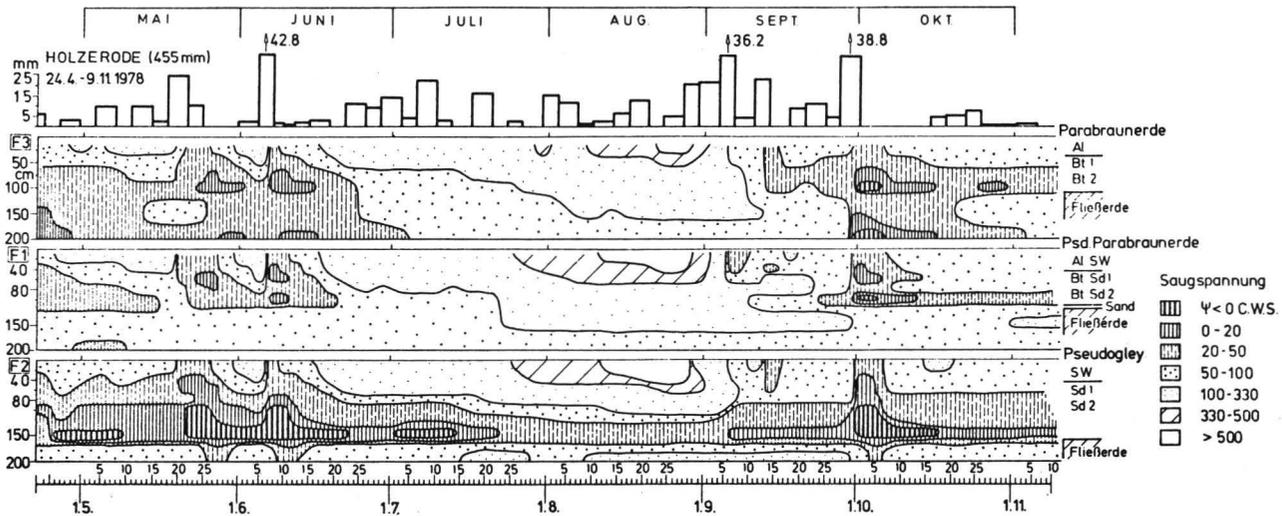


Abb.21: Sauspannungs-Isoplethen 1978 der Meßstellen F1-3, einschl. Freilandniederschlag

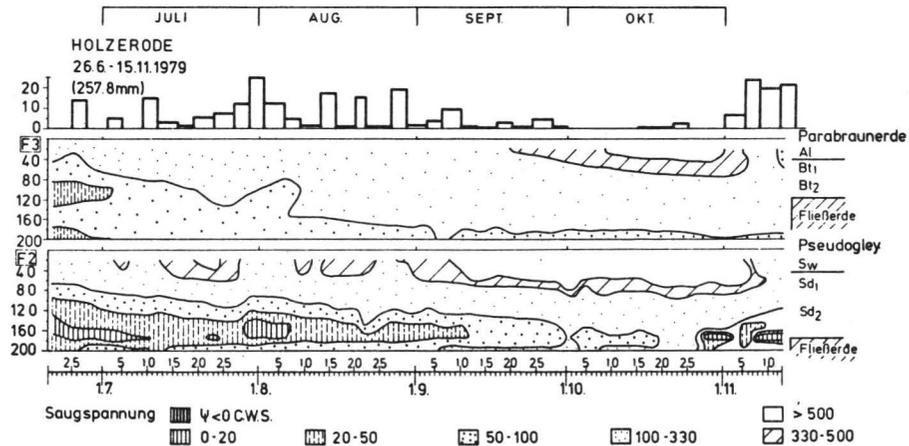


Abb. 22: Saugspannungs-Isoplethen 1979 der Meßstellen F1 u.3 einschl. Freilandniederschlag

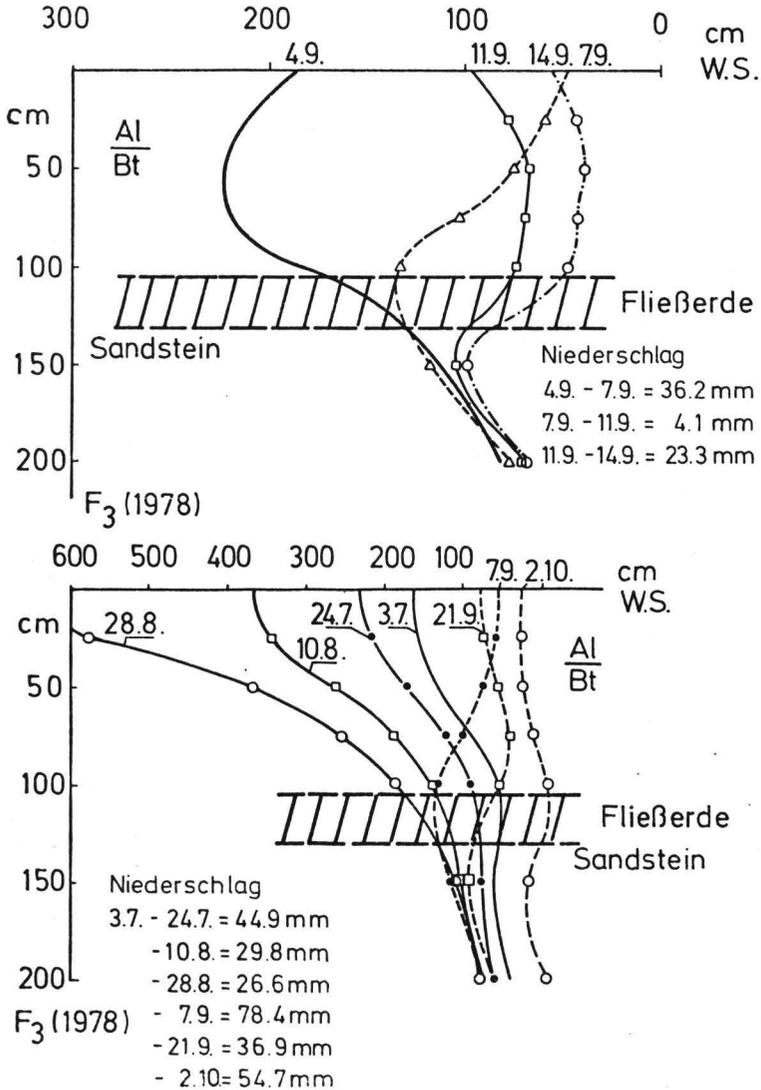


Abb. 23: Tiefenfunktion der Saugspannung in Parabraunerde F 3 im Desorptionsgang mit nachfolgender Wiederaufsättigung (oben Zeitausschnitt aus der Befeuchtungsphase)

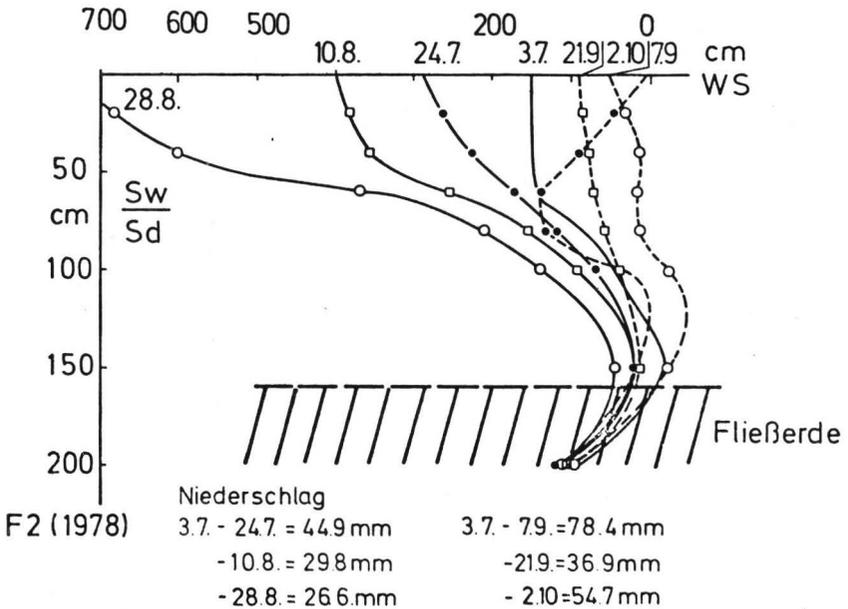
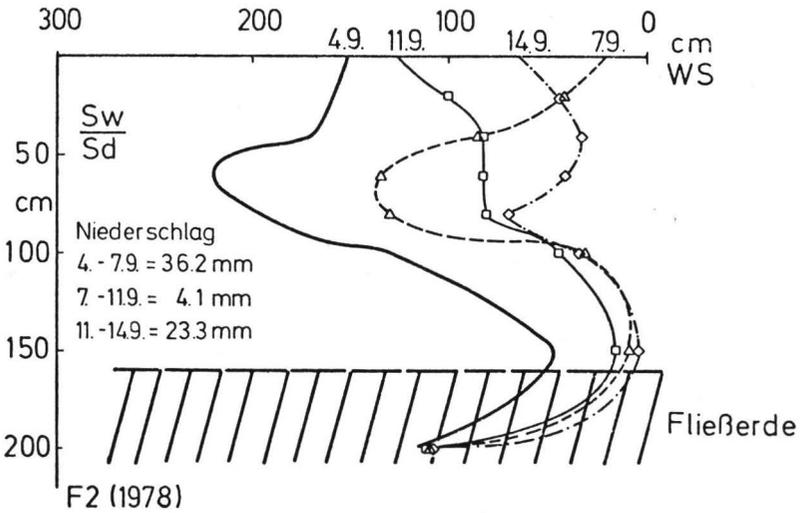


Abb.24: Tiefenfunktion der Saugspannung in Pseudogley F 2 im Desorptionsgang mit nachfolgender Wiederaufsättigung (oben Zeitausschnitt aus der Befeuchtungsphase)

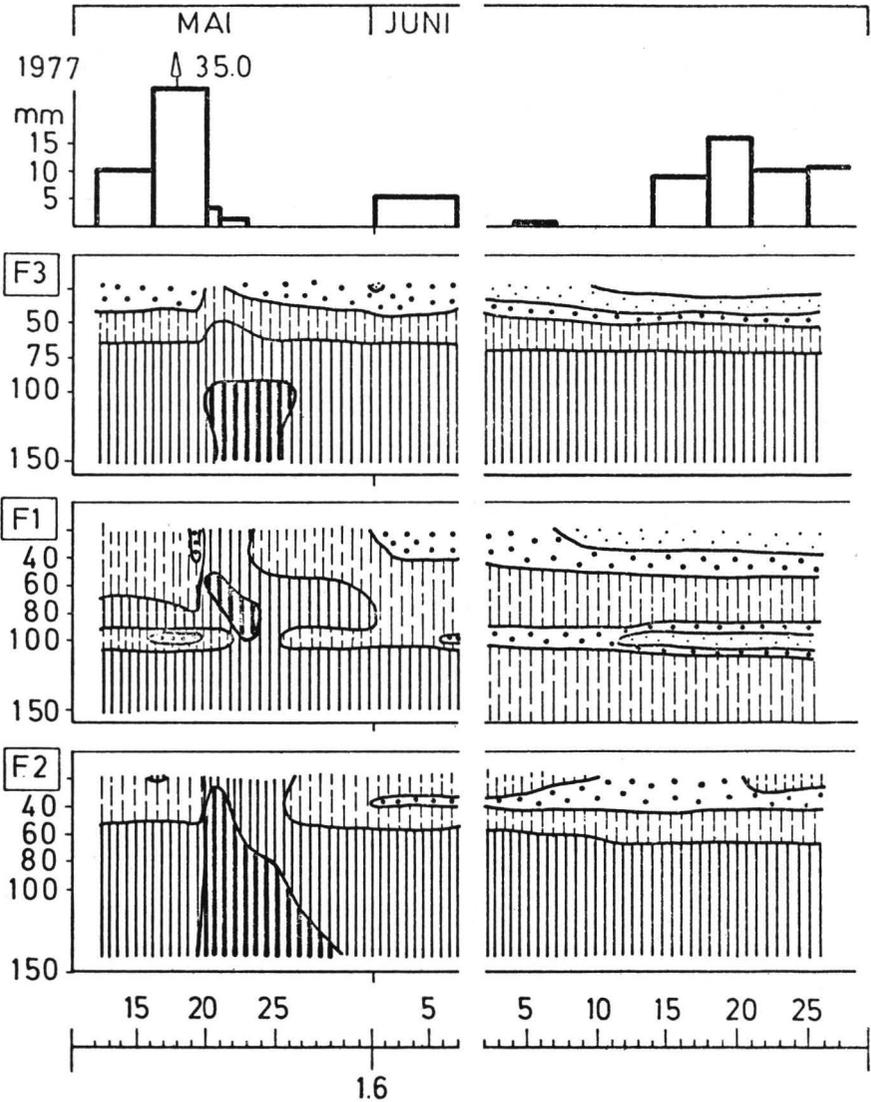


Abb. 25: Aktuelle Luftkapazität in zwei Perioden 1977 (Mai und Juli) für Parabraunerde (F3) bis Pseudogley (F2), berechnet auf Grund von Saugspannung und Labor-pF-Kurven

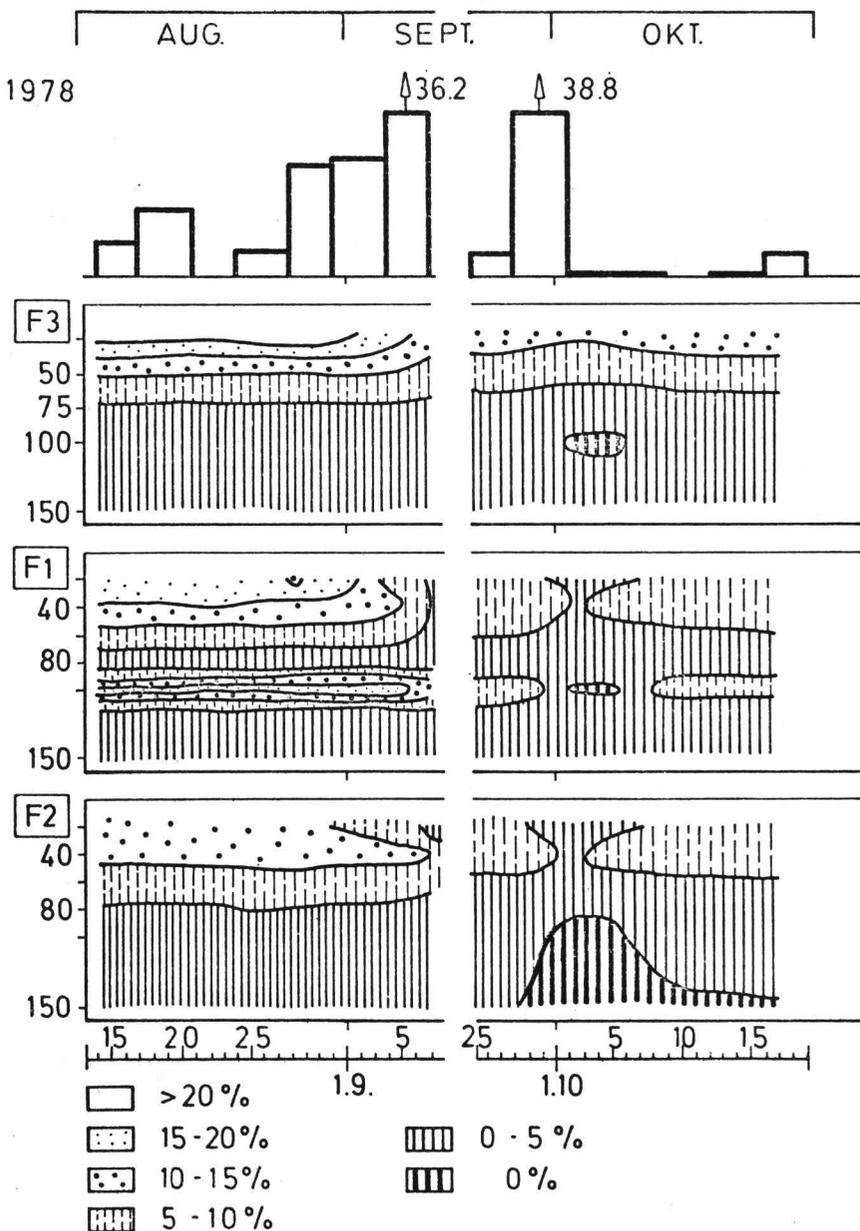


Abb. 26: Aktuelle Luftkapazität in zwei Perioden 1978 für Parabraunerde (F3) bis Pseudogley (F2), berechnet auf Grund von Saugspannung und Labor-pF-Kurven.

trockenen Phasen erhöht sich die verfügbare Luftkapazität in F2 auf höchstens 13 vol%, in F1 auf 15-20 vol% und in F3 auf über 20 vol%.

5.22 Wald-Freiland-Vergleich

In der Diskussion um die Aktualität der durch die Hydro-morphie angezeigte Vernässung spielt unter Umständen die Frage eine Rolle, inwieweit mit der Entwaldung und des dadurch erhöhten Wasserinputs eine stärkere Vernässung ausgelöst worden sein kann, bzw. auch, ob die Fichte über ihre Wurzelsteller eine Verdichtung des Bodens bewirken konnte. Letztere Frage beantwortet sich negativ schon allein wegen des engen Nebeneinanders von Parabraunerden und Pseudogleyen im Bereich der Detailkartierung, wo beide Sorten von Standorten eine Fichtengeneration durchgestanden haben. Um dagegen erstere Frage zu prüfen, wurden während der Meßperioden

1978: 31.7. - 6.11 und

1979: 17.5. - 1.11

in der Nähe der Meßstelle F1 (Abb. 1) je 2 Tensiometerfelder unter dichtem, 14-jährigem Fichtenbestand (F12) und in eine kleine Freifläche (F11) mit nur schwachem Bodenbewuchs eingerichtet. Es handelte sich hierum um sehr tiefgründigen Löß (>150 cm), bodentypologisch um eine Pseudogley-Parabraunerde (F11) und einen Parabraunerde-Pseudogley (F12). In den Saugspannungs-Isoplethen (Abb. 27 und 28) macht sich dieser Unterschied kaum bemerkbar. Nur in der frühlommerlichen Austrocknungsphase 1979 tritt in F12 - trotz der unter Fichte schnelleren und durchgängigeren Abtrocknung oberhalb von 60 cm - unterhalb von 100 cm ein langsam absinkendes Stauwasser auf. Dies wird - wie in F2 - auf dem Staukörper der liegenden Fließerde ruhen, verliert sich aber sehr viel früher.

In F11 (Freifläche) beobachtet man Stauwasser in dieser Tiefenzone (100 - 150 cm) nur ganz zu Beginn der Meßperiode

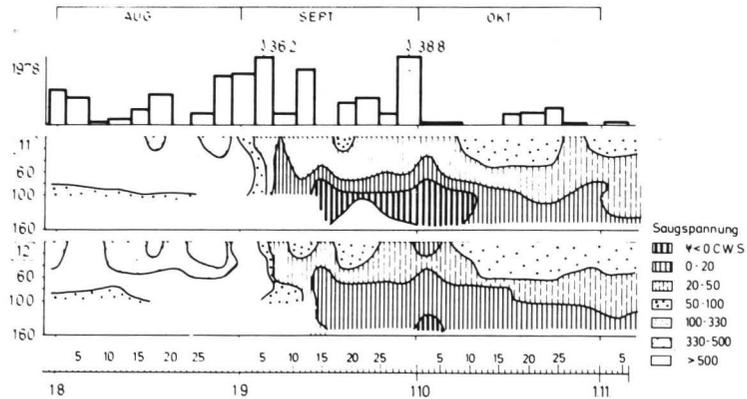


Abb.27:Saugspannungs-Isoplethen 1978 der Meßstellen F11 u.12,einschl.Freilandniederschlag

1979. Dennoch ist dieser Tiefenbereich durchweg etwas feuchter als unter Fichte. Das gleiche gilt für die oberen 100 cm des Bodens, obwohl sich die Saugspannungswerte im Frühsommer 1979 erst langsam auseinanderentwickeln, und zwar mit wachsender Mengenleistung der Transpiration. Im Durchschnitt der 1.5 Vegetationsperioden beträgt dieser Unterschied 50 - 200 mbar. Er wächst mit steigender (Austrocknung) und fällt mit sinkender Saugspannung. Im ersteren Fall wirken sich nämlich Interzeptionsverlust und Transpiration der Fichtenfläche voll auf deren Austrocknung aus. In den Befeuchtungsphasen, während derer ja die gleichen Faktoren differenzierend wirken, sorgt andererseits die mit dem Bodenwassergehalt zunehmende hydraulische Leitfähigkeit für eine Verringerung der Unterschiede. Es ist diese Reglerfunktion der hydraulischen Leitfähigkeit (BENECKE, 1979), welche die Bedeutung der Vegetation für den Sättigungsgrad in feuchten Perioden oder Jahren verringert. Selbst im feuchten September 1978 unterschreitet die Saugspannung in den oberen 80 cm kaum die 20 mbar-Grenze.

5.23 Einfluß des Mikroreliefs

Im flachen Relief der F1-Fläche (Abb. 1) wurden 4 Tensiometerfelder im mittleren Abstand von 5 m eingesetzt, daß sie etwa ein Rechteck markierten. 2 Felder lagen in einer flachen Delle etwa 20 cm unterhalb der begleitenden Kuppe mit den 2 anderen Feldern. Leider variiert ebenfalls die Dichte des 14-jährigen Fichtenbestandes. Die maximalen Unterschiede der Saugspannungswerte lagen etwa im Bereich der für F11/F12 (s. 5.22) angegebenen. Durch gleichzeitige Berücksichtigung von Relief und Vegetationsdichte kann man folgern, daß beide Faktoren wirksam sind. Damit kommt dem Faktor Mikrorelief der Oberfläche insgesamt eine recht geringe Bedeutung zu. Die Ergebnisse sind deshalb auch nicht extra aufgeführt worden.

Eine größere Wirkung läßt sich bereits dort beobachten, wo der Bt-Horizont ein deutlichere Mikrorelief besitzt, wie

dies innerhalb der Profilgrube von F1 (s. Abb. 1) der Fall ist. Entlang einem Schnitt von 2 m verändert sich die Bodendecke von podsoliger Parabraunerde (C) über Parabraunerde-Pseudogley (B) nach Pseudogley-Parabraunerde (A) (siehe Profilbeschreibung, 3.32). Die Grenze Al/Bt bzw. Sd läuft in dieser Richtung von 30 cm über 60 cm nach 40 cm. Die Ursache dieses Absinkens des Bt-Horizontes sind nicht bekannt.

5.3 Bodenfeuchtegang 1977 - 1979 in Böden mit geringer Lößüberdeckung

Dem Bodenfeuchtegang im tiefgründigen Löß soll im folgenden gegenübergestellt werden dem Bodenfeuchtegang in Böden mit nur geringer (20 - 25 cm) Lößüberdeckung. Der dazu ausgewählte Meßplatz (Abb. 29) umfaßt ein Profil in der Ebene (F10), eins am Hangfuß (F9), eines am Mittelhang mit 8 % Neigung (F8) und eines am Oberhang (F7). Unter dem Lößschleier folgen 2 bzw. 1 tonige Fließerden über dem mäßig aufgeweichten Gestein (tonige Zwischenschicht sm 1e). Zwischen den Fließerden, gelegentlich in sie eingearbeitet, finden sich dünne, z.T. nur einige millimeter dicke Spülsandlagen. Die Meßperioden waren

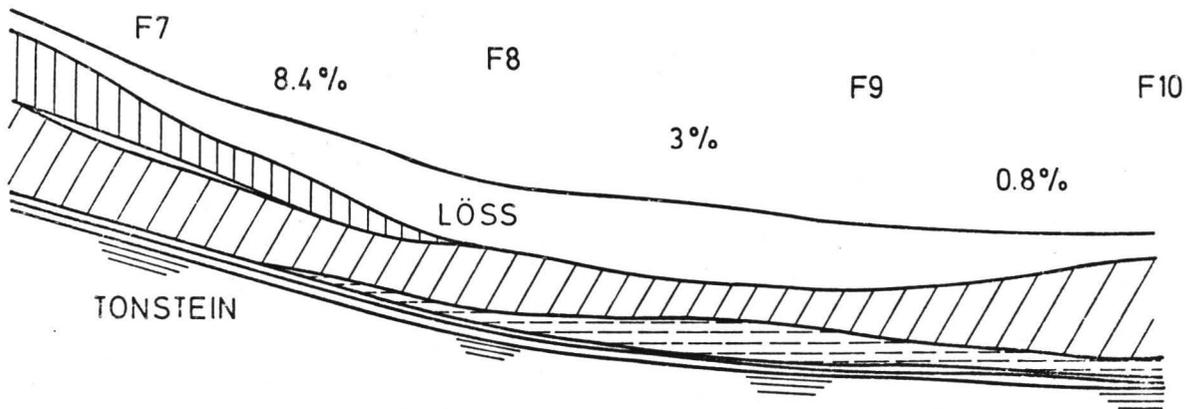
1978: 24.7. - 9.11.

1979: 17.5. - 12.11.

d.h. sie umfassen den nassen Herbst 1978 sowie andererseits den trockenen Herbst 1979. Die Saugspannungs-Isoplethen finden sich in Abb. 30 und 31.

Insgesamt fallen in diesen Böden mit ihrer gedrängten Schichtenfolge die gerade während der Austrocknungsphasen meist sehr steilen Tiefengradienten der Matrixspannung auf. Dies ist einerseits eine Funktion der geringen Durchwurzelungstiefe, welche zu einer schnellen Wassererschöpfung des Oberbodens führt und andererseits oberflächennaher Sättigungszonen.

Diese Stauwasserzonen sind gerade in F7 und F10 recht beständig. Stauwasser tritt zu Anfang der Meßperiode 79 in allen 4 Profilen auf, klingt bis Ende Juni in den beiden mittleren Hangprofilen ab, dagegen in F7 erst Mitte September, in F10 Anfang Oktober, zur Zeit der starken Austrocknung. Während jedoch in diesem Profil der Ebene die hohe Sättigung noch im Juni bis fast zur Oberfläche durchschlägt, beschränkt sie sich in F7 auf die zweite Fließerde (50 - 90 cm). Dieser Vergleich trifft auch für den feuchten Herbst 1978 zu. Begründet wird dieser Unterschied durch die



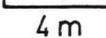
-  FLIESSERDE, SKELETTREICH, PLATTIG EINGEREGLT
 -  FLIESSERDE GRAU
 -  FLIESSERDE ROT
- MASSTAB : 1m |  4 m
- SCHICHTUNG : | 25cm

Abb. 29: Schichtenverlauf am Hang der Meßstellen F7 - 10

Hangwasserbewegung in der Grenzschicht zwischen der oberen und der unteren Fließerde (50 cm), welche Überschußwasser schnell abführt; allerdings wohl auch zuführt, denn sonst ließe sich die Persistenz dieses Stauwassers - z.B. auch im trockenen Herbst 1978 - nicht erklären. Der Wasseraustritt ließ sich an der Oberhangseite der Profilgrube F7 häufig an der genannten Stelle beobachten.

1978 hielt sich das Stauwasser in F7 länger als in der unteren Ebene (F10). Ob diese Meßstelle bereits von Zufluß frei ist, kann bezweifelt werden, obwohl die Böden der nördlich sich fortsetzenden Bodeneinheit (16, siehe Kartenanhang) durchweg eine ähnliche Dynamik besitzen. Das gilt ebenfalls für die Böden der Einheit 6, im ebenen Gebiet der Detailkarte W (s.3.2 und 3.33) mit ihren etwas tonärmeren Fließerden.

Insgesamt erscheint die Stauwasserverteilung in der Hangsequenz nicht ganz einleuchtend, wenn man zugrundelegt, daß ein Durchtransport des Hangwassers vom Oberhang (F7) zum Hangfuß (F9) erfolgt. Zumindestens muß man dann annehmen, daß der Durchtransport in F8 und 9 erheblich schneller erfolgt als gerade in F7. Festzustellen ist zunächst, daß zumindestens in F7, 9 und 10 die Basis des Stauwasserkörpers auf dem Gestein liegt. Nicht so eindeutig ist dies in F8. Nach der Ansprache im Bohrstock beginnt hier das plattige Gestein bei 70 cm. Das Stauwasser reicht im Herbst 1978 zwar bis in die Lößdecke oberhalb 36 cm hoch, liegt mit seiner Basis dagegen unterhalb 80 cm; letzteres gilt auch für den Frühsommer 1979. Möglicherweise handelt es sich jedoch nicht um Gestein sondern um einen Frostschutthorizont oder eine steinreiche Fließerde, wie sie auch in F9 auftritt (IIISd2, siehe 3.32) und dort das Stauwasser aufnimmt (Frühsommer 1979). Hangwasser tritt in der Profilgrube von F9 ebenfalls aus, jedoch nicht so konzentriert wie in F7 (s. oben), sondern über eine mächtigere Zone unterhalb 60 cm verteilt.

Nimmt man zunächst an, daß das Gestein die Staufunktion in der Vertikalen überall übernehmen kann. In der Ebene (F10) würde dies in dem Material darüber (>70 cm) in jedem Fall die Entwicklung eines Pseudogleys fördern, unabhängig vom hangenden Material. Eine Akzentuierung könnte erreicht werden, wenn durch die angesprochene untere Fließerde lateral noch Wasser eingestaut wird. Diese Fließerde besitzt zwar in F9 eine geringe hydraulische Leitfähigkeit ($K_s = 0.1$, $K_{u20} = 0.04$ cm/Tag) in der Vertikalen. Aufgrund des höheren Gehaltes horizontal eingeregelter plattiger Steinanteile könnte die horizontale Leitfähigkeit jedoch wesentlich größer sein.

Überträgt man diese Vorstellung an den Hang selbst, so würde dies für F8 und F9 einen relativ schnelleren Hangzug des Stauwassers im Grenzbereich zum Gestein bedeuten als in F7, wo dieser Hangzug erst an der Grenzschicht zwischen roter und grauer Fließerde (Spülsandlage) bzw. in der gut strukturierten roten Fließerde selbst erfolgt. Hierfür spricht z.B. die Art des Ausklingens der Stauphase im Herbst 1978 in F8: Aufgebaut wird das Stauwasser zwar jeweils von unten her, es besteht jedoch länger innerhalb der oberen Fließerde.

Für das Bodenwasserregime und die Hydromorphie-Entwicklung im Hangbereich ist also einmal entscheidend nicht so sehr der allgemeine Wasserzug im ungesättigten Bereich als das gesättigte Fließen entlang von Quell-Horizonten, und wie diese im Profil liegen im Vergleich zu dem Staukörper. In F7 liegt dieser Quell-Horizont über der unteren Fließerde, die deshalb langfristig naß bleibt. Und er ist so leistungsstark, daß die oberere Fließerde praktisch kaum je aufgesättigt wird; und natürlich ist er wohl auch nur deshalb so leistungsstark, weil er oberflächennah liegt, nämlich in dem häufig austrocknenden Tiefenbereich, der deshalb gut strukturiert ist.

In F8 und 9 liegt der Quellhorizont tiefer (60 - 80 cm), sein Substrat trocknet seltener aus, er ist folglich langsamer

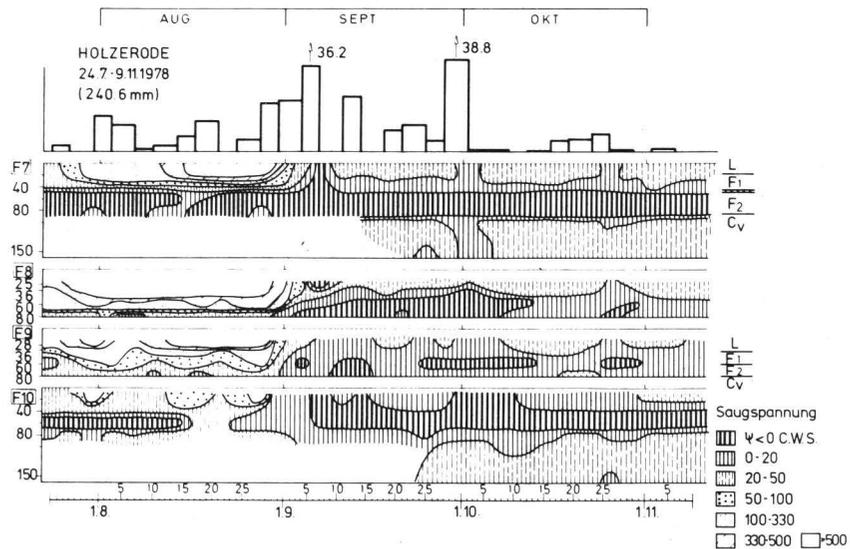


Abb. 30: Saugspannungs-Isoplethen 1978 der Meßstellen F7-10, einschl. Freilandniederschlag

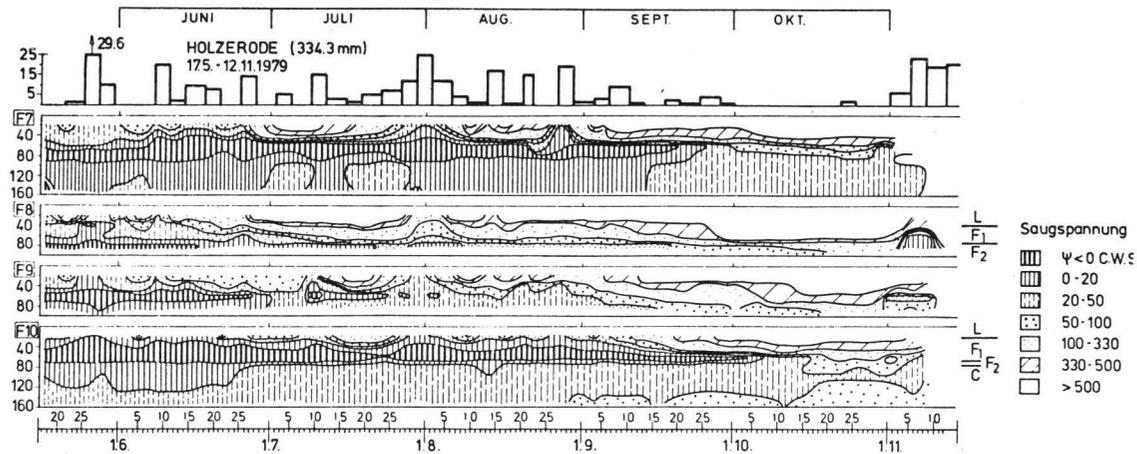


Abb. 31: Saugspannungs-Isoplethen der Meßstellen F7-10, einschl. Freilandniederschlag

dränend und es kommt nach Regenperioden zu episodisch starker Befeuchtung mit zum Teil Aufsättigung bis in den Oberboden, der deshalb schon deutlich den Charakter eines Sw-Horizontes besitzt. Andererseits liegt der Quellhorizont eben nahe dem Staukörper, so daß das Stauwasser in Perioden geringen Wasserinputs abfließen kann.

5.4 Bilanzmäßiger Nachweis lateraler Flüsse

Alle direkten und indirekten Beobachtungen zeigen die Bedeutung lateraler Wasserumverteilung in temporären Quellhorizonten oberhalb des primären Staukörpers. Dabei gibt es selbst bei gleichem vertikalen Schichtaufbau Abfluß- wie Zuflußgebiete. Dies drückt sich in den Saugspannungs-Isoplethendiagrammen in der unterschiedlichen Häufigkeit und Länge von Fast-Sättigungs- und Sättigungsphasen oberhalb des Stauhorizontes aus. Der Wasserzufluß geht so in den Böden mit tiefgründigen LÖSdecken von F3 nach F2 bzw. F12 nach F11.

Diese laterale Umverteilung sollte sich bilanzmäßig erfassen lassen mit den Größen $\Delta \theta$, Nb, ET sowie der Versickerung durch den Staukörper. Von diesen ist ET unbekannt, die Versickerung durch die Fließerde durch die Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit im Labor - wenn auch wohl nur näherungsweise, möglicherweise überhöht - bekannt. Der Bestandesniederschlag wurde gemessen. Dagegen bereitet die Ableitung der Wassergehaltsänderungen aus den Saugspannungsdaten im Gelände und den Saugspannungs-Wassergehalts-Charakteristiken Schwierigkeit. Benutzt wurden nur die Feld-pF-Kurven (Abb. 17 und 18) von F1-3, um die Wassergehaltsänderungen während der hohen Einzelniederschläge Anfang Juni sowie Anfang und Ende September 1978 zu erfassen. Die Bilanzierungen (mit angenommener ET) erbrachten relativ sinnvolle Beziehungen für den Einzelniederschlag Ende September 78 (F3: -4 mm, F1: +1.5 mm, F2: +12 mm) bei bereits recht feuchtem Ausgangszustand des Bodens. Je trockener dagegen

der Ausgangszustand (Anfang September 1978) desto mehr wuchs der gerade im Oberboden registrierte, scheinbare Wassergehaltszuwachs, und zwar um so mehr, je lockerer das Bodengefüge ($F3 > F1 > F3$). Offensichtlich waren hier, d.h. bei hohem Niederschlag auf trockenen Boden bei lockerem Gefüge also die Hysterese-Effekte auf Grund unvollständiger Befeuchtung und Lufteinschluß zu groß, um noch mit einer Feld-pF-Kurve operieren zu können.

Wiedergegeben wird im folgenden deshalb nur eine Bilanz der Periode vom 8. bis 26.5.1978, welche auf gravimetrischen Wassergehaltsbestimmungen der oberen 100 cm Boden beruht. Die Periode folgt unmittelbar auf einen Stark-Regen von 42.8 mm (5. - 8.5). Die Wassergehaltsänderung ist positiv. Sie überschreitet (Tab. 16) - zusammen mit der angenommenen ET von 0.5 mm /Tag - jedoch nur im Falle von F2 den Bestandesniederschlag. Unberücksichtigt blieb in dieser Bilanz die vertikale Versickerung durch den Staukörper. Sie beträgt maximal 0.5 mm/Tag, ist aber vermutlich geringer.

Für eine zweite, relativ niederschlagsreiche Periode lagen Wassergehaltsbestimmungen nur von F2 vor. Sie zeigen ebenfalls laterale Gewinne an (Tab. 16).

Tab.16 : Bilanz von 2 Niederschlagsperioden. Spalte d bezeichnet vorwiegend laterale Verluste bzw. Gewinne. (s. Text).

	a	b	c	d
	$\Delta\theta$	ET	Nb	a + b - c
	mm	mm	mm	mm

	8.5. - 26.5.1978			
F 3	+18.7	9	38.2	-10.5
F 1	+17.5	9	38.2	-11.7
F 2	+41.7	9	31.8	+18.9
	28.7.- 11.8.1977			
F 2	+33.0	7	24.1	+15.9

6 Zusammenfassung und Diskussion

Anlaß für die Untersuchung war die Frage nach den statischen und dynamischen Ursachen sowie der Aktualität der z.T. kleinräumigen Variabilität von Hydromorphie-Merkmalen in der Bodendecke von Plateaulandschaften. In der ausgewählten Beispiels-Landschaft wurden drei parallele Ansätze verfolgt:

- a) Kartierungsmäßige Aufnahme der Schichtungs- und Bodenverhältnisse bei je nach Variabilität und Lösmächtigkeit der Bodendecke veränderlicher Beobachtungsdichte und -tiefe. Als unmittelbares Ergebnis dieser Aufnahme wird eine Bodenkarte über 650 ha im Maßstab 1:10000 (bzw. 1:20000) und 2 Detailkarten (Maßstab 1:1000) über 12.4 ha sowie für das letztere Gebiet eine detaillierte Darstellung der stratigraphischen Verhältnisse vorgestellt (Abschnitt 3).
- b) Als zweites wurde der Frage nachgegangen, wie eng die Beziehung zwischen dem beobachteten Hydromorphiegrad und den Horizont- und Schichtungsverhältnissen sowie den bodenphysikalischen Parametern der Horizonte und Schichten am einzelnen Beobachtungspunkt ist. Die Frage, ob sich der Hydromorphiegrad aus der Vertikalfolge von Schichten bzw. bodenphysikalischen Parametern erklären läßt, mußte selbst für ebenes Gelände verneint, dagegen die große Bedeutung lateraler Umverteilung des Bodenwassers entlang von Quellhorizonten herausgestellt werden (Abschnitt 4).
- c) Drei Jahre (1977 - 79) wurde der Bodenfeuchtegang an verschiedenen Meßpunkten verfolgt, einerseits um Auskunft über die Aktualität der beobachtbaren Hydromorphie zu bekommen, andererseits um über den Verlauf der Bodenfeuchte-Änderungen Information zur Bedeutung verschiedener Straten und Horizonte für Stauwasser und Quellhorizonte zu erarbeiten. Die Saugspannungs-Isoplethen bestätigen die Bedeutung von Quellhorizonten, die überragende Rolle primärer (Fließerden) gegenüber der

fast vernachlässigbaren Rolle potentieller sekundärer (Bt/Sd-Horizonte) Staukörper, sowie darüberhinaus die unterschiedliche Aktualität der Hydromorphie-Merkmale je nach LÖßmächtigkeit (Abschnitt 5).

Potentielle Staukörper

Im Untersuchungsgebiet wiederholt sich die recht allgemeine Folge: LÖß über lößreicher (allochthoner) über lößfreier (autochthoner) Fließerde (Literatur s. 3.2). Verbreitet beobachtet man zwei LÖß-Fließerden, von denen die untere stärker mit dem liegenden Material vermischt ist, die obere dagegen weniger Fremd Beimischungen enthält. Während die obere Fließerde in die holozänen Bodenbildungsprozesse einbezogen wurde, weisen alle paleostratigraphischen Befunde darauf hin, daß die untere bereits postsedimentär eine kältezeitliche Naßboden-Entwicklung durchlaufen hat und dabei anscheinend sehr verdichtet wurde. Wie im einzelnen bereits in 3.2 diskutiert, deutet der Vergleich mit den Verhältnissen im Göttinger Stadtgebiet (ROHDENBURG, 1965b) auf eine früh-jungwürmzeitliche Entstehung dieser Ablagerungsfolge hin, die mit dem jungwürmzeitlichen Decklöß endet.

Zwischen den einzelnen Hangsedimenten sind kleine oder ausgedehntere, bis zu 20 cm mächtige Spülsandlinsen eingeschaltet, vorwiegend - aber nicht ausschließlich - zwischen den beiden LÖß-Fließerden. Sie, wie auch die kleinräumig wechselnde Verbreitung der Hangsedimente, deuten auf einen häufigeren Wechsel fluvialer, äolischer und solifluidaler Formen des Materialtransports hin. Dabei beeinflusste das Mesorelief jeweils den Ausräumungsgrad in den fluvialen Phasen und damit die kleinräumige Erhaltung der einzelnen Sedimente. Andererseits kommt dieser fluvialen Abtragung wohl eine besondere Rolle zu in der Schaffung eines z.T. recht bewegten Mikroreliefs der Sediment-Grenzflächen, das erst durch den abschließenden LÖß weitgehend ausgeglichen wurde. Dieses bewegtere Untergrundrelief ist

aber offensichtlich eine recht wichtige Größe in der Umverteilung von Stauwasser.

Auf Grund der Tiefenfunktion des Bodenfeuchteganges läßt sich schließen, daß Staukörperfunktionen vom Gestein wie von den Fließerden übernommen werden können, nicht dagegen von den Bt- oder Sd-Horizonten (s.unten). Hinsichtlich des Gesteins gilt diese Aussage anscheinend durchweg für die tonige Zwischenschicht sm1e, während in der Wechselfolge sm1b(a) die Leitfähigkeit von den jeweiligen Mengenanteilen der Ton- und Sandschichten sowie von der Möglichkeit abhängt, ob einzelne, schräggestellte Sandbänder das freie Wasser schnell ableiten können. In den Gebieten mit anstehender Wechselfolge wechselt der Bodencharakter deshalb großräumig wie kleinräumig.

Die Fließerden im Bereich der tonigen Zwischenschicht sind tonreicher als über der Wechselfolge, zeigen aber ebenfalls eine zunehmende Lößbeimischung nach oben. Trotz ihres höheren Tongehaltes sind sie aber als Staukörper nicht generell besser geeignet. Zumindest wenn sie relativ oberflächennahe liegen, besitzen sie auf Grund regelmäßiger oder gelegentlicher Austrocknung eine Struktur mit ausreichend groben Leitbahnen. Deshalb übernimmt eher die tieferliegende Fließerde oder das Gestein die Staufunktion (5.3). Über der Wechselfolge - unter tiefgründigerem Löß - kommt diese eher der kompakten untersten Löß^{Fließerde} zu, während die obere Fließerde die Wasserbewegung nur schwach hemmt.

Die Eignung als Staukörper wird durch die mittleren Leitfähigkeiten der Horizonte und Schichten (Tab. 8) ausgedrückt. Sie verringern sich schrittweise in den Stufen Ah - A1, Sw - Bt, Sd - Fließerden. Darin kommt - abgesehen von der pedogenen Differenzierung (A1/Bt) - sowohl die Tiefenlage (Vergleich z.B. Bt1 und Bt2) zur Geltung (abnehmende Durchwurzelung und Gefügedynamik) wie andererseits die Art und Vorgeschichte des Materials (feuchtere Periglazialbedingungen für die Fließerden). Die Daten selbst können

dabei zunächst nur relativ bewertet werden, da sie in ihrer absoluten Höhe stark methodisch bedingt sind (OPARA NADI, 1979). Korrekturen auf Grund von Validierungen durch Simulationsmodelle oder durch Auswertung von Gleichgewichts-Sickerströmungen im Gelände konnten nicht vorgenommen werden. In beiden Ansätzen stört naturgemäß der laterale Zu- und/oder Abfluß unmittelbar auf dem Staukörper, da selbst bei abwärts gerichteten Gradienten im Staukörper der Abbau des Stauwassers nicht der Vertikalversickerung zugeordnet werden kann.

Zeitliche und räumliche Verbreitung von Stauwasser

Ob Stauwasser über einem potentiellen Staukörper auftritt, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab (BLUME, 1968). Auf der klimatisch und vegetationsmäßig relativ homogenen Untersuchungsfläche sind in erster Linie 4 Faktoren bestimmend:

- a) Die Mächtigkeit der Bodendecke über dem Staukörper und ihre zum Zeitpunkt des Auftretens von Überschußwasser vorhandene, unausgeschöpfte Speicherreserve.
- b) Die jahreszeitlich-witterungsbedingte Beanspruchung des Infiltrationswassers durch Evapotranspiration.
- c) Die hydraulische Leitfähigkeit des Staukörpers.
- d) Die laterale Umverteilung von ungespanntem Wasser auf dem Staukörper.

Die Bedeutung von a) und b) unterstreichen die Saugspannungs-Isoplethen-Diagramme deutlich, einmal im Vergleich der sommerlichen Desorptions- mit den winterlichen Auffüllungsphasen, auch wenn letztere nur in ihrer Endphase erfaßt werden konnten, zum anderen durch Vergleich des Bodenfeuchteganges in den Böden mit geringer bzw. mächtigerer Lößüberdeckung. Zwar bringt die ausgewählte Meßreihe F7-10 (geringere Lößdecke) wegen der Hangsituation eine Verknüpfung mehrerer Einflüsse, aber was die Häufigkeit des Auftretens von Stauwasser anbelangt, spiegelt sie die Ver-

hältnisse in den Bodeneinheiten 5 und 6 sowie 15 und 16 (Tab. 3) in den ebenen Teilen der Landschaft wieder. Diese hydromorphen Bodeneinheiten mit geringer Lößüberdeckung sind wesentlich länger und intensiver vernäßt als die entsprechenden Einheiten (11 und 12) mit mehr als 80 cm Lößdecke. Dementsprechende Unterschiede beobachtet man ebenfalls hinsichtlich der Höhe der Einzelniederschläge, welche Stauwasser entstehen lassen. In den letzteren Bodengruppen reichen dazu in der Vegetationsperiode Niederschläge von 20 - 25 mm in der Regel nicht aus, während in den ersten Bodengruppen unter Umständen schon Niederschläge von 15 mm Stauwasser auslösen können.

Bei vergleichbarer Lößmächtigkeit zeigt die Gegenüberstellung von Schichtungsfolge und Hydromorphiegrad (4.2) daß nur bedingt oder keine Beziehung zwischen beiden besteht. Besonders eindeutig sind hier die Fälle mit charakteristischem Staukörper (untere Löß-Fließerde) mit oder ohne Spülsandschicht; sie zeigen, daß trotz vergleichbarem potentiellen Staukörper dessen Mikrorelief einen stark differenzierenden Einfluß ausübt. Wie an Profilgruben häufig beobachtet wurde, wird das auf dem Staukörper sich sammelnde ungespannte Wasser lateral verlagert und führt örtlich einerseits zu schneller Beseitigung, andererseits zur Auffüllung und längerer Aufrechterhaltung des Stauwassers (5.2, 5.3). Diese Umverteilung konnte in einem Zeitabschnitt auch bilanzmäßig nachgewiesen werden (5.4).

Die Eignung als Quellhorizont kann hier nicht quantifiziert werden. Zum Teil beruht sie wohl auf der größeren gesättigten Leitfähigkeit des hangenden Materials schlechthin, zum Teil können ganz spezifische, eng begrenzte Flächen, wie z.B. Schichtgrenzen mit Steinsohlen oder, ausgeprägter noch, dünne Spülsandlinsen, diese Funktion erfüllen. Daß unter Umständen hier Unterschiede zwischen vertikaler und horizontaler Leitfähigkeit eine Rolle spielen kann, wurde im Falle der Schuttfließerde mit eingeregelter, plattigem Skelett in der Hangsequenz F7-10 angenommen (5.3).

In der gleichen Sequenz wurde auch der Fall beobachtet, daß der Quellhorizont nicht unmittelbar auf dem eigentlichen Stauhhorizont, sondern erst an der nächst folgenden Schichtgrenze liegt (F7): Die zwischengeschaltete Fließerde, die trotz 10 % Hangneigung langfristig staunaß war, wäre so ein Beispiel von einer schlechteren horizontalen als vertikalen Leitfähigkeit, auch wenn das Stauwasservolumen dieser tonreichen Fließerde nur gering ist.

Auf die Bedeutung solcher, unter Umständen räumlich sehr begrenzter Quellhorizonte, ist besonders in den Tropen aufmerksam gemacht worden, wo sie auch bei der lateralen Stoffverlagerung (Eisen, Mangan, Aluminium) eine hervorragende Rolle spielen können (FÖLSTER, 1971, ZÖTTL, 1974, FÖLSTER, 1978), weil sie - und zwar gerade auch in relativ ebenen Lagen - gegenüber Zonen mit nur ungesättigtem Fließen, einen wesentlich größeren Massendurchsatz erlauben.

Neben der Reglerfunktion, welche die wassergehaltsabhängige Leitfähigkeit des Bodensubstrats generell in der Landschaft ausübt (BENECKE, 1979), tritt so noch eine spezifische Umverteilungs-Regelung von Überschußwasser durch Quellhorizonte. Diese ist analytisch insofern eine wenig erfreuliche Erscheinung, als Quellhorizonte räumlich wegen ihrer möglichen Geringmächtigkeit und ihrer variablen Tiefenlage schwer faßbar sind, und weil ihre Massenleistung in der lateralen Wasserumlagerung schlecht meßbar ist. Dies erleuchtet damit auch die Schwierigkeit in der Wahl repräsentativer Meßpunkte, wenn über wasserhaushaltsabhängige Umsatzgrößen in solchen Landschaftsräumen quantitative Aussagen gemacht werden sollen.

Die Rolle des Bt/Sd-Horizontes

Die Bt/Sd-Horizonte müssen gesondert angesprochen werden. Im bodenkundlichen Textbuch-Verständnis liegt in der Bodenentwicklung zur Parabraunerde eine mögliche Voraussetzung zur Weiterentwicklung in Richtung auf den Pseudogley

begründet (sekundärer Pseudogley), verursacht durch die Umschichtung der Porengrößen und die daraus resultierende Verringerung der Leitfähigkeit (MÜCKENHAUSEN, 1962, BLUME, 1968, SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL, 1976). Es fehlt jedoch die Erklärung, warum Pseudogleye und Parabraunerden dann koexistieren. Über tatsächliche Stauerscheinungen oberhalb des Bt/Sd-Horizontes berichten zwar PAPP (1963) und BLUME (1968), jedoch handelt es sich in beiden Fällen um Umrechnungen von Wassergehalten auf Saugspannungen, die methodisch nicht ohne weiteres angenommen werden können (5.4). In den vorliegenden Untersuchungen kommen zwar nach einzelnen Starkregen Verzögerungen der Wasserab-
 leitung vor, die oberhalb von Sd-Horizonten deutlicher als in Bt-Horizonten sind (5.21). Andererseits ist nicht zu erwarten, daß dieser Effekt in sehr feuchten Perioden (PAPP, 1963) verstärkt wird, weil bei einer Häufung von Niederschlägen das Stauwasser vom basalen Staukörper her sehr schnell über den B- in den Sw-Horizont aufgebaut wird.

Gerade das kleinräumige Nebeneinander von Parabraunerde und Pseudogley stützt in der Tat die Vermutung, daß die bodenhydrologischen Ursachen der Pseudovergleyung mit der Tonverlagerung sehr wenig, dagegen sehr viel oder ausschließlich mit dem basalen Staukörper und der Quellhorizont-Dynamik verknüpft sind. Was vorwiegend wohl die Interpretation des Sw als Wasserleiter und des Sd als Staukörper gefördert hat, dürfte ihre unterschiedliche Art hydro-morpher Überprägung gewesen sein. Für sie lassen sich jedoch auch andere Ursachen heranziehen, nämlich einmal der in Oberflächennähe, aber nach unten stark abnehmende Reduktionseinfluß durch die org. Komponente, und zum anderen das im Sd-Horizont schlagartig dichter werdende Gefüge, welches die Bewegung von Reduktoren wie von Eisen und Mangan stark verlangsamt (BLUME, 1968). Daß bei ebenfalls dichtem Gefüge die untere Lößfließerde zu gleichmäßig grauer Färbung tendiert, war Anlaß, in ihr eine frühjungwürmzeitliche pedogene Überprägung durch organische Substanz zu vermuten (3.2).

Zur Aktualität der Hydromorphie

Der oben angesprochene Unterschied in der Frequenz und Dauer der Vernässung zwischen den hydromorphen Bodeneinheiten mit mächtiger und geringmächtiger LÖBüberdeckung läßt natürlich die Frage nach der Aktualität der hydromorphen Phänomene aufkommen. Zwar fehlt eine quantitative Vorstellung über die Beziehung von Vernässungsdauer und morphologischer Prägung (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL, 1976). Andererseits kann man zwischen diesen genannten Bodengruppen trotz vergleichbaren Hydromorphiegrades einen deutlichen Unterschied in der Wasser- und Luftdynamik konstatieren. Es liegt deshalb nahe zu vermuten, daß die hydromorphe Überprägung der Pseudogleye in tiefgründigerem LÖB nicht das Ergebnis der heutigen klimatischen Verhältnisse ist sondern ein reliktes Merkmal darstellt. Nicht zu übersehen ist jedoch, daß diese Pseudogleye in der stärkeren Verdichtung insbesondere auch des Sw-Horizontes ein bleibendes Merkmal erhalten haben, welche auch heute noch die verfügbare Luftkapazität wie die Durchwurzelungstiefe (OJOUEDERIE, 1980) nachhaltig beeinflusst.

Falls es Perioden noch ausgeprägterer Pseudovergleyung gegeben hat, so könnten diese durch anthropogene Einflüsse (Entwaldung) oder klimatisch ausgelöst worden sein. Die Ergebnisse aus 5.2 (Freiland-Wald-Vergleich) machen den ersteren Einfluß weniger wahrscheinlich. Klimatische Einflüsse scheinen auch deshalb überzeugender, weil diese sich bereits seit dem Spätglazial kumulativ über wiederkehrende Phasen verstärkt haben können.

7. Literaturverzeichnis

- Arya, L., Farrell, D. und Blake, G. 1975. A field study of soil water depletion patterns in presence of growing soybean roots: I Determination of hydraulic properties of the soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20, pp 458-462.
- Bartels, G. 1966. Geomorphologie des Hildesheimer Waldes. Diss. Math.-Nat. Fak. Göttingen, gedruckt als H. 41 der Göttinger Geographische Abhandl. 1967.
- Bartels, G. 1967. Stratigraphische und geomorphologische Auswertung von Schuttdecken vor Muschelkalkschichtkämmen und -schichtstufen im niedersächsischen Bergland. Eiszeitalter und Gegenwart Bd. 18, pp 76-81.
- Benecke, P. 1979. Der Wasserumsatz eines Buchen- und eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling. Habilitationsschrift der Forstlichen Fakultät, Universität Göttingen.
- Beese, F. und Wierenga, P. 1979. Zur Bedeutung der $\theta - \psi$ - Beziehung in bodenhydrologischen Modellen. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 29, pp 101-110.
- Blake, G. 1965. Particle density. In Methods of Soil Analysis, Amer. Soc. Agron. Monograph 9, pp 371 - 373.
- Blume, H. 1968. Stauwasserböden. Arbeiten der Univ. Hohenheim, Band 42. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Boigk, H. 1965. Vorläufige Mitteilung über eine neue Gliederung des mittleren Bundsandsteins im Raum Südhannover. Geol. Jahrbuch 72, pp 325-340.
- Bruce, R. und Klute, A. 1956. The measurement of soil moisture diffusivity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20, pp 458-462.
- Chang, C. und Jackson, M. 1957. Fractionation of soil Phosphorus. Soil Sci. 84, pp 133-144.

- Delfs, J. 1954. Niederschlagszurückhaltung (Interception) in verschieden alten Fichtenbeständen. Mitt. Arb. Kreis "Wald und Wasser" (Hrsg. W. Friedrich) 1, pp 31-36.
- Delfs, J. 1955. Die Niederschlagszurückhaltung im Walde (Interception). Mitt. Arb. Kreis "Wald und Wasser" (Hrsg. W. Friedrich) 2, pp 54.
- Delfs, J. 1958. Die Niederschlagszurückhaltung in den Beständen (Interception). Aus dem Walde. Mitt. aus der Niedersächs. Landesforstverw. 3. pp 76-107.
- Dunn, O. 1964. Multiple Comparisons using rank sums. *Technometrics* 6, 3, pp 241-252.
- Ehlers, W. 1976. Rapid determination of unsaturated hydraulic conductivity in tilled and untilled loess soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 40, pp 837-840.
- Eidmann, F. 1959. Die Interception in Buchen und Fichtenbeständen. Ergebnis mehrjähriger Untersuchungen im Rothaargebirge (Sauerland). Symposium in Hannover-Münden, Sept. 1959. *Ass. Int. Hydrolog. Sci.*, Publ. No. 48, pp 5-25. Gent Brügge.
- Figge, K. 1959. Der mittlere Bundsandstein und untere Muschelkalk im Raum Spanbeck-Gillersheim-Renshausen. Dipl. Arbeit, Göttingen.
- Fölster, H. 1971. Ferralitische Böden aus sauren metamorphen Gesteinen in den feuchten und wechselfeuchten Tropen Afrikas. *Göttinger Bodenkdl. Berichte* 20, pp 231.
- Fölster, H. 1978. Bodenhydrologische Grundlage der Bodenentwicklung in den feuchten Tropen Nigerias. *Geomethodica* 3, pp 137-170.
- Franco, W. 1979. Die Wasserdynamik einiger Waldstandorte der West-Llanos Venezuelas und ihre Beziehung zur Saisonalität des Laubfalls. Diss. Göttingen.
- Hartge, K. 1978. Einführung in die Bodenphysik. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

- Henseler, K. und Renger, M. 1969. Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit im wasserungesättigten Boden mit der Doppelmembran-Druckapparatur. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 122, pp 220-228.
- Hillel, D. 1971. Soil and Water; Physical principles and processes. Academie Press, New York.
- Jackson, I. 1975. Relationship between rainfall parameters and interception by tropical forest. Journal of Hydrology 24, pp 215-238.
- Kirkham, B. und Powers, W. 1972. Advanced soil physics. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Lang, W. 1970. Ökologische und hydrologische Untersuchungen in verschieden stark durchforsteten Fichten- und Lärchenbeständen des Schwarzwaldes. Diss. Freiburg i. Br.
- Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In Methods of Soil Analysis, Amer. Soc. Agron. Monograph 9, pp 210-221.
- Köhn, M. 1928. 3 Bemerkungen zur mechanischen Bodenanalyse. III. Ein neuer Pipettenapparat. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 11, pp 50.
- Leyton, L. et al. 1967. Rainfall interception in forest and moorland. International Symposium on Forest Hydrology. Pergamon, Oxford, pp 163-178.
- Lienert, G. 1973. Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. Band I, Anton Hein Verlag, Meissenheim am Glan.
- Matzner, E. 1980. Untersuchungen zum Elementhaushalt eines Heide-Ökosystems (*Calluna vulgaris*). Göttinger Bodenk. Berichte 63, pp 1-120.
- Monatlicher Witterungsbericht. 1977. Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes 30, No. 1 - 12.
- Mückenhausen, E. 1962. Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland.. DLG Verlag, Frankfurt am Main.

- Müller, W. Renger, M. und Benecke, P. 1970. Bodenphysikalische Kennwerte wichtiger Böden, Erfassungsmethodik, Klasseneinteilung und Kartographische Darstellung. Beih. Geol. Jb. Bodenkdl. Beiträge 99, 2. Hannover, pp 13-70.
- Ojuederie, P. 1980. Wurzelbiomasse und Wurzelverteilung von Fichtenbeständen auf Parabraunerde-Pseudogley-Standorten. Dipl. Arbeit, Göttingen.
- Opara-Nadi, O. 1979. A comparison of some methods for determining the hydraulic conductivity of unsaturated soil in the low suction range. Göttinger Bodenkdl. Berichte 57, pp 1-99.
- Papp, M. 1963. Wasserhaushalts- Untersuchungen an holozänen Parabraunerden aus Würmzeitlichen LÖß in Niedersachsen. Diss. Göttingen, pp 1-67.
- Rexhäuser, H. 1957. Zur Stratigraphie und Tektonik des mit tleren Buntsandstein zwischen Gelliehausen und Holzerode. Dipl. Arbeit, Göttingen.
- Richards, L. 1965. Physical condition of water in soil. In Methods of Soil Analysis, Amer. Soc. Agron. Monograph 9, pp 128-151.
- Richter, W. 1974. Bestimmung "natürlicher" pF-Charakteristiken an einer LÖß-Parabraunerde. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 18, pp 58-65.
- Rohdenburg, H. 1965 a. Die Muschelkalk-Schicht Stufe am Ostrand des Sollings und Bramwaldes. Göttinger Geograph. Abhandlungen 33.
- Rohdenburg, H. 1965 b. Untersuchungen zur pleistozänen Formung am Beispiel der Westabdachung des Göttinger Waldes. Giessener Geogr. Schr. 7.
- Royer, J. und Vachaud, G. 1975. Field determination of hysteresis in soil water characteristics. Soil.Sci. Soc. Amer. Proc. 39, pp 221-223.
- Sachs, L. 1978. Angewandte Statistik. Springer Verlag, Berlin.

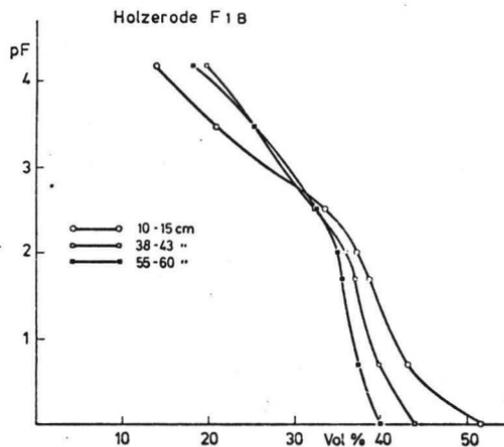
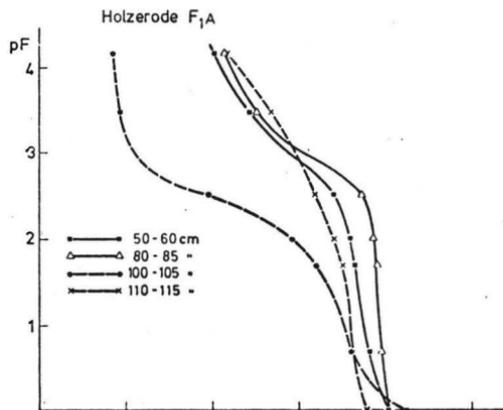
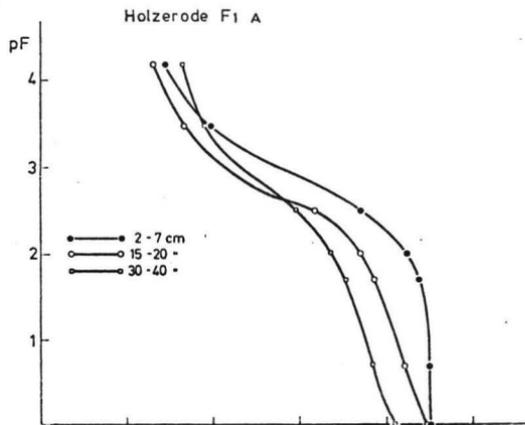
- Scheffer, F. und Schachtschabel, P. 1976. Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schilling, W. und Wiefel, H. 1962. Jungpleistozäne Periglazialbildungen und ihre regionale Differenzierung in einigen Teilen Thüringens und des Harzes. Geologie 11, pp 428-460.
- Schlichting, E. und Blume, H. 1966. Bodenkundliches Praktikum. Paul Parey Verlag, Hamburg.
- Schönhals, E. 1956. Über den Aufbau der Solifluktiondecken in den hessischen Mittelgebirgen (Vorläufige Mitteilung). Umdruck zur Deuqua-Tagung, Marburg.
- Semmel, A. 1968. Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. Frankf. Geogr. Hefte 45.
- Stahr, K. 1979. Die Bedeutung periglazialer Deckschichten für Bodenbildung und Standortseigenschaften im Schwarzwald. Freiburger Bodenkdl. Abhandlg. 9.
- Ulrich, B. 1966. Kationenaustauschgleichgewichte. Z.Pflanzenernäh. Bodenk. 113, pp 141-159.
- Vachaud, G. und Thony, L. 1971. Hysteresis during infiltration and redistribution in a soil column at different initial water content. Water Resour. Res. 7, pp 111-127.
- Weihe, J. 1968 a. Niederschlagszurückhaltung durch den Wald. AFZ 23, pp 522-525.
- Weihe, J. 1968 b. Zurückhaltung von Regenniederschlägen durch Buchen und Fichten. AFZ 23, pp 86-90.
- Weihe, J. 1974. Benetzung und Interception von Buchen- und Fichtenbeständen in Nordrhein-Westfalen. 1. Die Regenmessungen in Freiland mit Regenschreibern ohne Windschutz. Allg.Forst u. Jagdzeitung 145, pp 1-11 und pp 30-44.
- Zöttl, H. 1974. Andosol- Entwicklung und Ernährung von Cupressus-Aufforstungen in der Zentralkordillere Kolumbiens. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 20, pp 220-224.

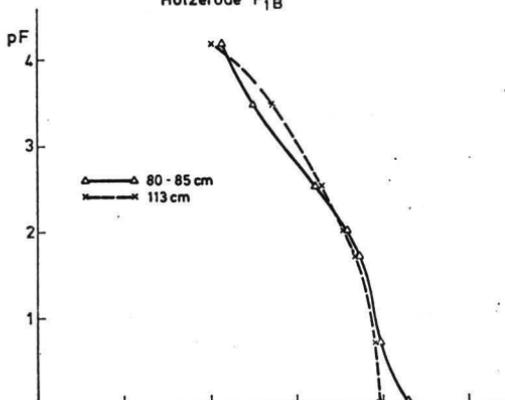
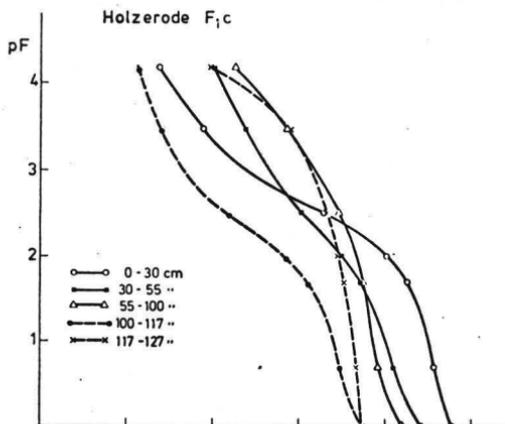
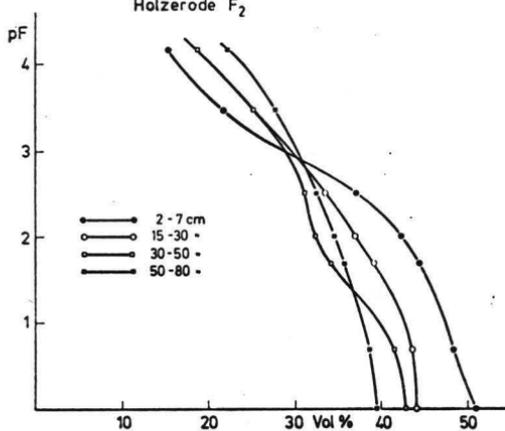
A N H A N G

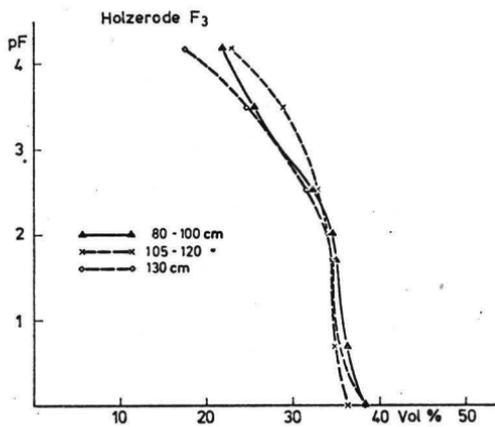
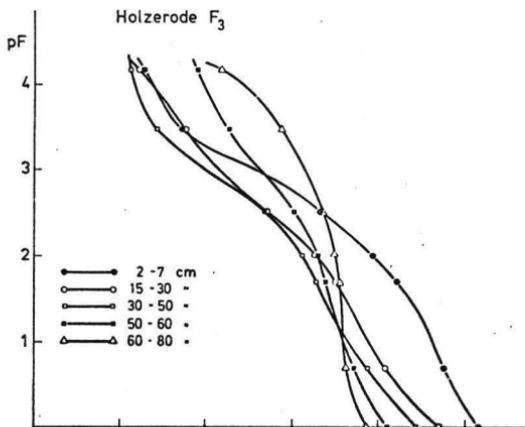
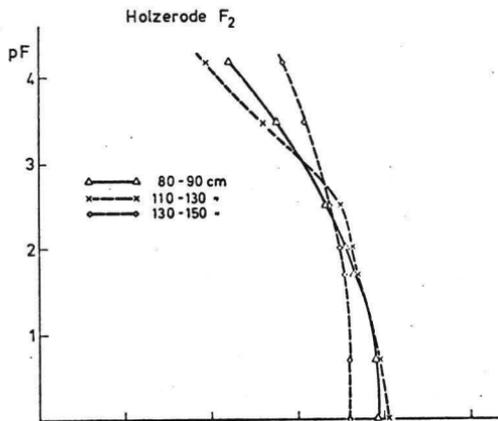
I - pF-Kurven der Profile

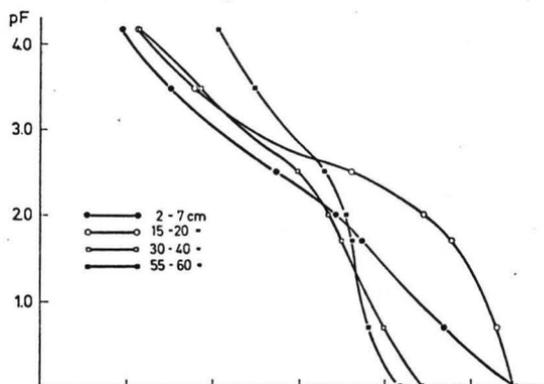
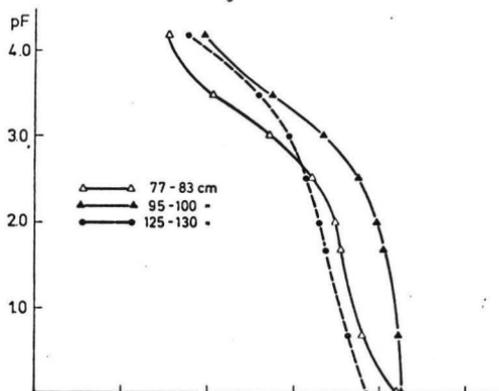
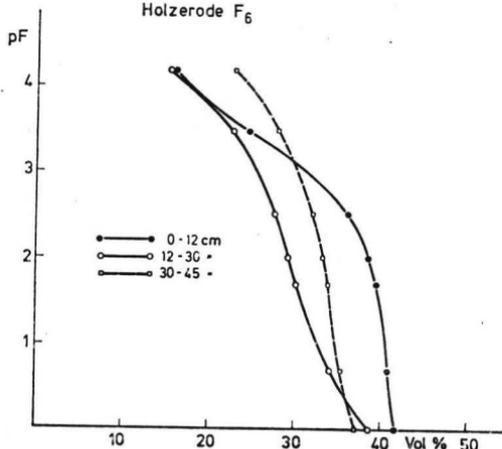
II- Korngrößen-und Porenverteilungsdiagramme der Profile

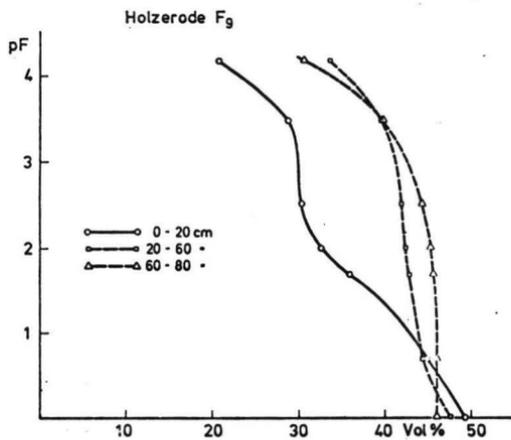
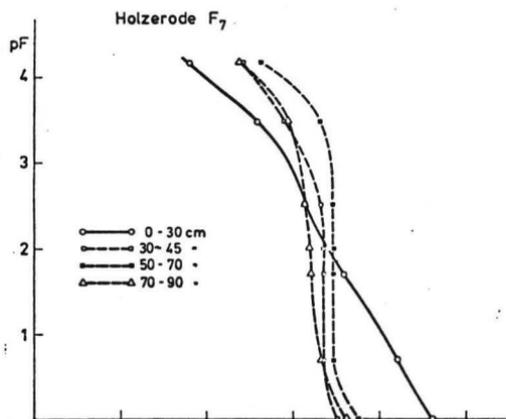
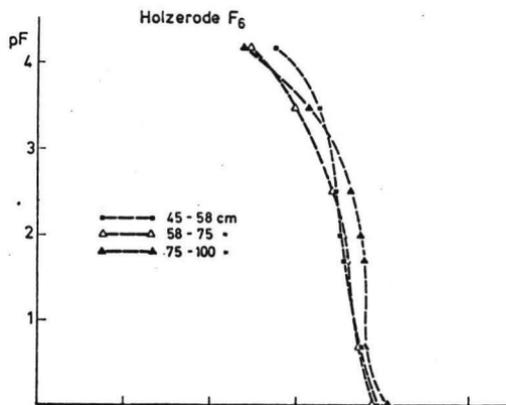
III- Bodenkarte Holzerode-Spanbeck-Katlenburg

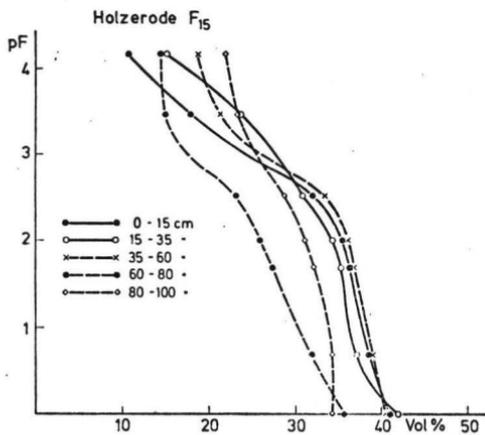
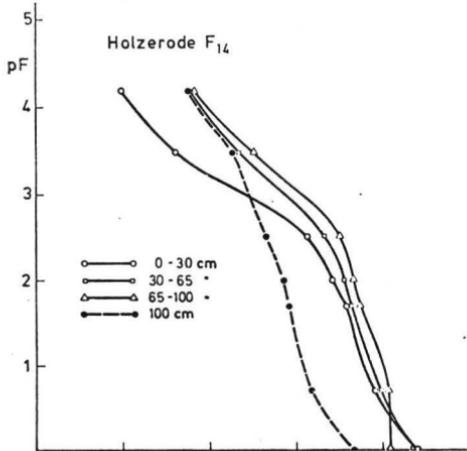
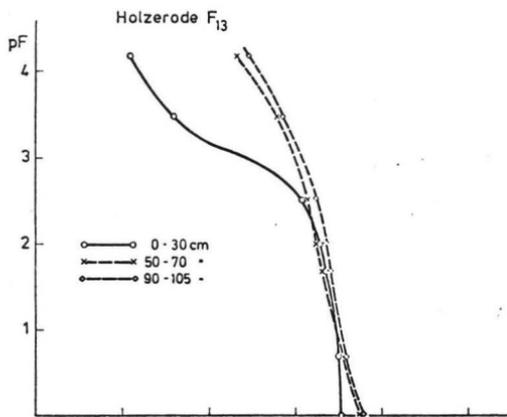


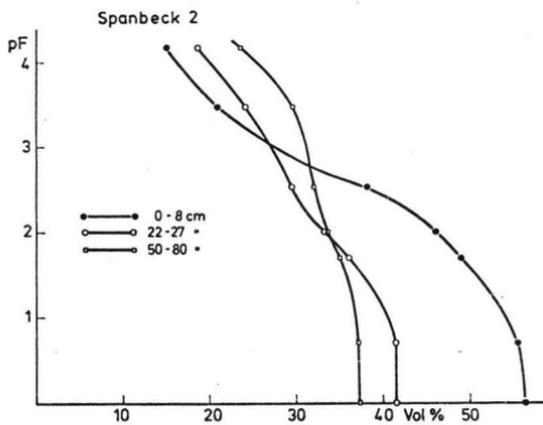
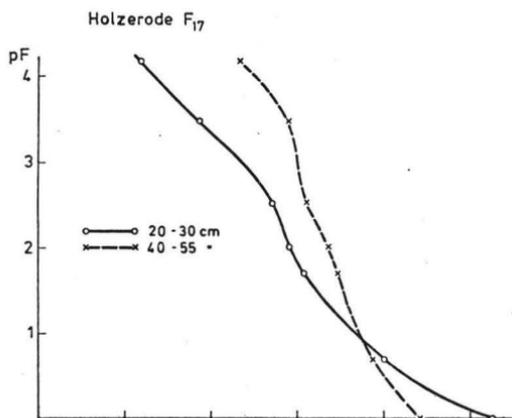
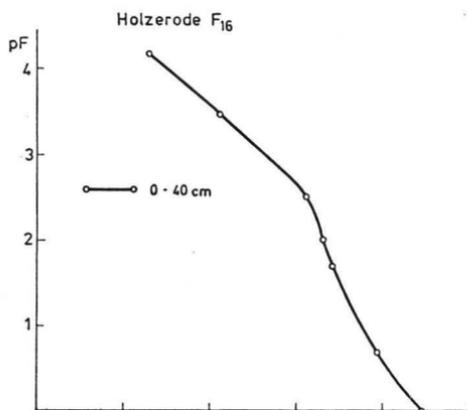
Holzerode F_{1B}Holzerode F_{1c}Holzerode F₂

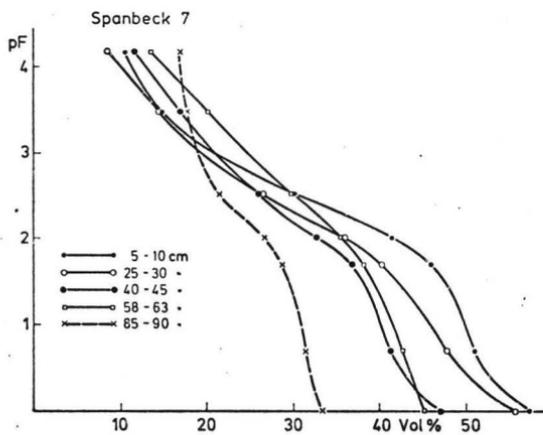
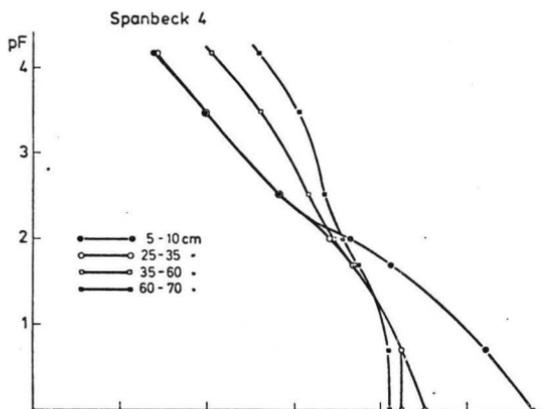
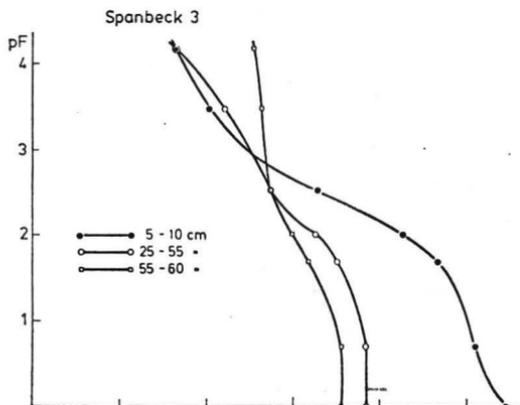


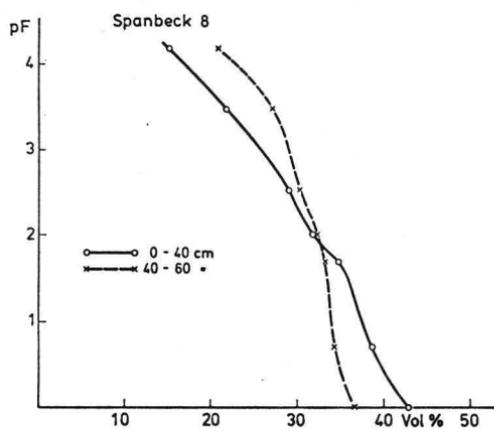
Holzerode F₅Holzerode F₅Holzerode F₆

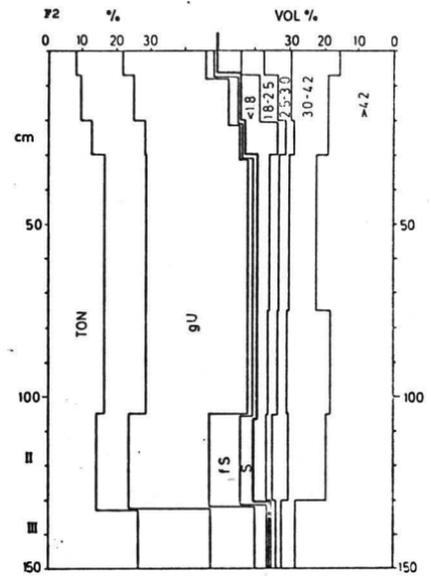
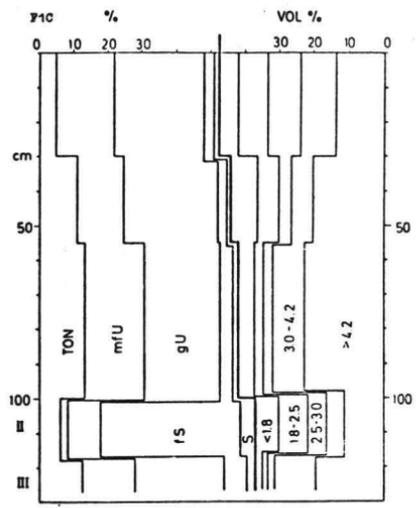
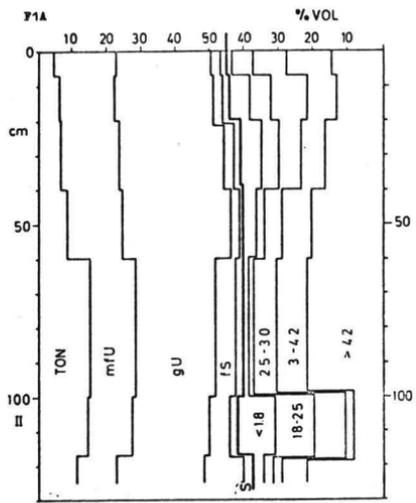




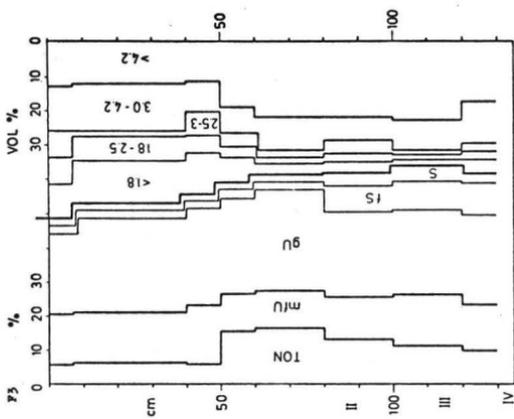
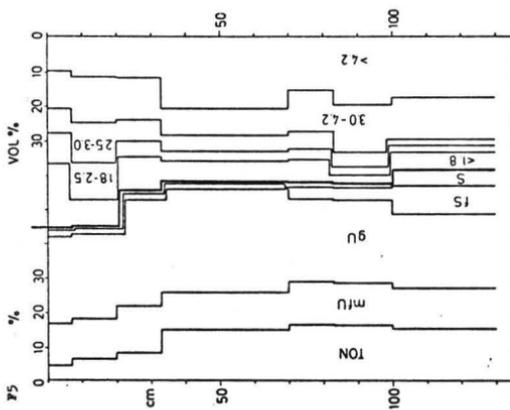
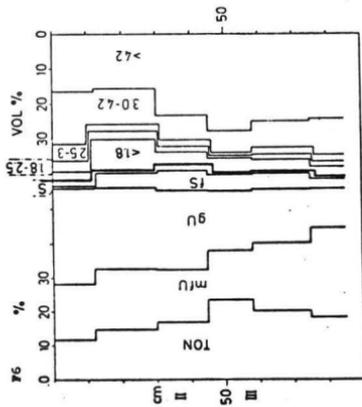


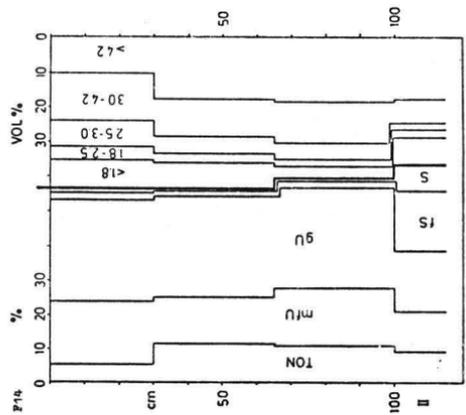
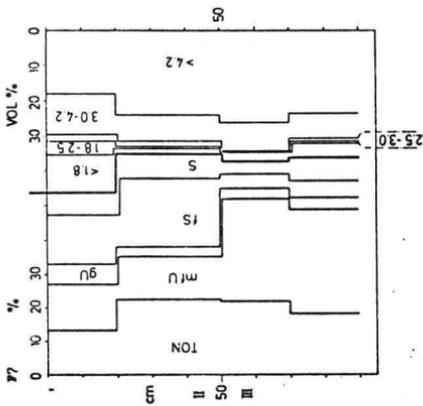
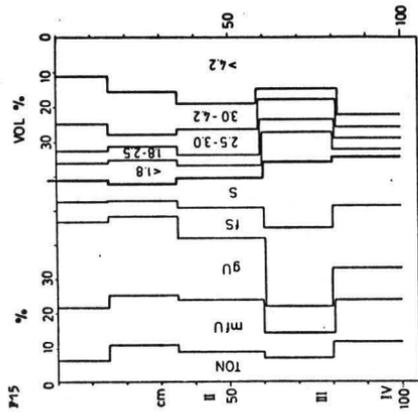
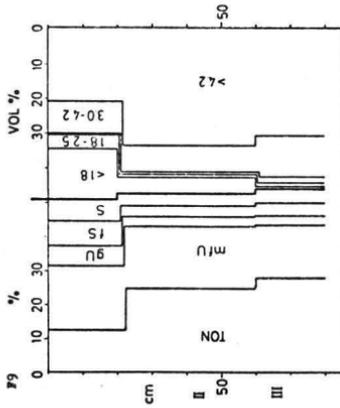
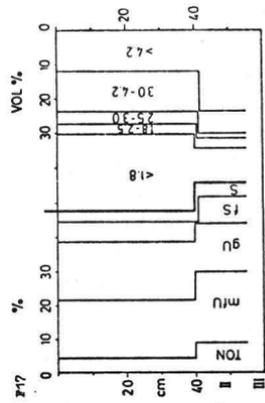
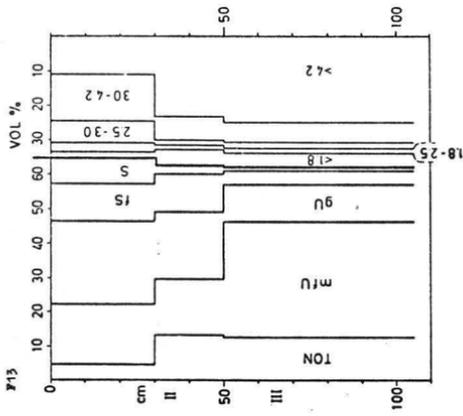


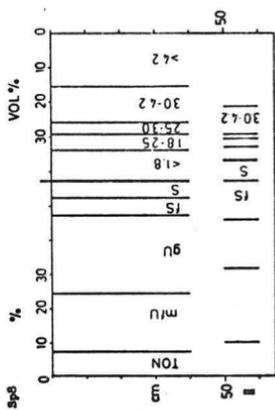
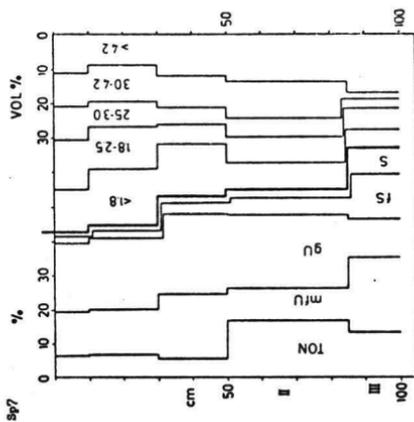
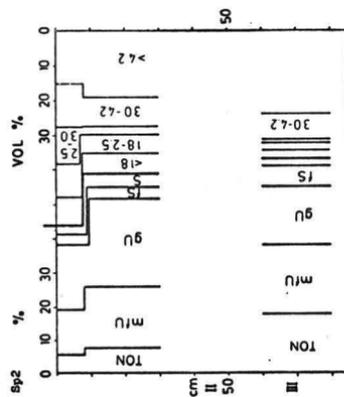
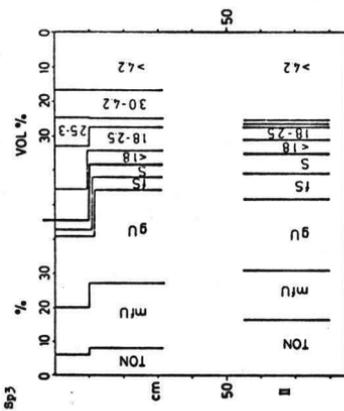
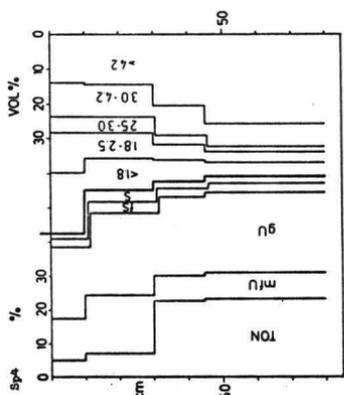




ANHANG II - Korngrößen-und Porenverteilungsdiagramme der Profile





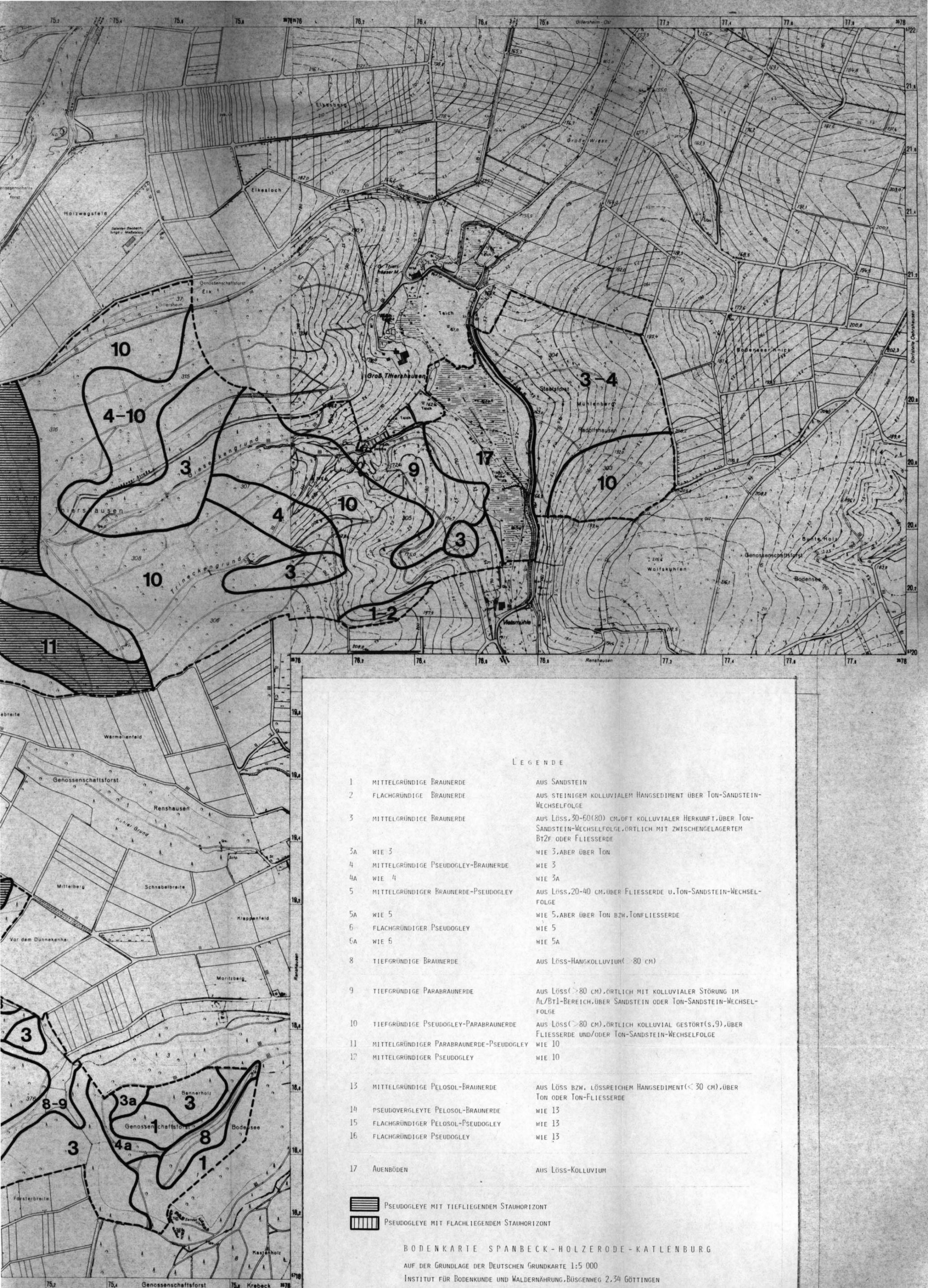




LEGENDE

- | | | |
|----|---|---|
| 1 | MITTLGRÜNDIGE BRAUNERDE | AUS SANDSTEIN |
| 2 | FLACHGRÜNDIGE BRAUNERDE | AUS STEINIGEM KOLLUVIALEM HANGSEDIMENT ÜBER TON-WECHSELFOLGE |
| 3 | MITTLGRÜNDIGE BRAUNERDE | AUS LÖSS, 30-60(80) CM, OFT KOLLUVIALER HERKUNFT SANDSTEIN-WECHSELFOLGE, ÖRTLICH MIT ZWISCHENGLIED BT2F ODER FLIESSERDE |
| 3A | WIE 3 | WIE 3, ABER ÜBER TON |
| 4 | MITTLGRÜNDIGE PSEUDOGLEY-BRAUNERDE | WIE 3 |
| 4A | WIE 4 | WIE 3A |
| 5 | MITTLGRÜNDIGER BRAUNERDE-PSEUDOGLEY | AUS LÖSS, 20-40 CM, ÜBER FLIESSERDE U. TON-SANDST. FOLGE |
| 5A | WIE 5 | WIE 5, ABER ÜBER TON BZW. TONFLIESSERDE |
| 6 | FLACHGRÜNDIGER PSEUDOGLEY | WIE 5 |
| 6A | WIE 6 | WIE 5A |
| 8 | TIEFGRÜNDIGE BRAUNERDE | AUS LÖSS-HANGKOLLUVIUM (> 80 CM) |
| 9 | TIEFGRÜNDIGE PARABRAUNERDE | AUS LÖSS (> 80 CM), ÖRTLICH MIT KOLLUVIALER STÖR-AL/BT1-BEREICH, ÜBER SANDSTEIN ODER TON-SANDST. FOLGE |
| 10 | TIEFGRÜNDIGE PSEUDOGLEY-PARABRAUNERDE | AUS LÖSS (> 80 CM), ÖRTLICH KOLLUVIAL GESTÖRT (S. FLIESSERDE UND/ODER TON-SANDSTEIN-WECHSELFOLGE |
| 11 | MITTLGRÜNDIGER PARABRAUNERDE-PSEUDOGLEY | WIE 10 |
| 12 | MITTLGRÜNDIGER PSEUDOGLEY | WIE 10 |
| 13 | MITTLGRÜNDIGE PELOSOL-BRAUNERDE | AUS LÖSS BZW. LÖSSREICHEM HANGSEDIMENT (< 30 CM) TON ODER TON-FLIESSERDE |
| 14 | PSEUDOVERGLEYTE PELOSOL-BRAUNERDE | WIE 13 |
| 15 | FLACHGRÜNDIGER PELOSOL-PSEUDOGLEY | WIE 13 |
| 16 | FLACHGRÜNDIGER PSEUDOGLEY | WIE 13 |
| 17 | AUENBÖDEN | AUS LÖSS-KOLLUVIUM |

PSEUDOGLEY MIT TONFLIESSERDE



LEGENDE

- | | | |
|----|--|--|
| 1 | MITTELGRÜNDIGE BRAUNERDE | AUS SANDSTEIN |
| 2 | FLACHGRÜNDIGE BRAUNERDE | AUS STEINIGEM KOLLUVIALEM HANGSEDIMENT ÜBER TON-SANDSTEIN-WECHSELFOLGE |
| 3 | MITTELGRÜNDIGE BRAUNERDE | AUS LÖSS, 30-60(80) CM, DFT KOLLUVIALER HERKUNFT, ÜBER TON-SANDSTEIN-WECHSELFOLGE, ÖRTLICH MIT ZWISCHENGELAGERTEM BTZF ODER FLIESSERDE |
| 3A | WIE 3 | WIE 3, ABER ÜBER TON |
| 4 | MITTELGRÜNDIGE PSEUDOGLEY-BRAUNERDE | WIE 3 |
| 4A | WIE 4 | WIE 3A |
| 5 | MITTELGRÜNDIGER BRAUNERDE-PSEUDOGLEY | AUS LÖSS, 20-40 CM, ÜBER FLIESSERDE U. TON-SANDSTEIN-WECHSELFOLGE |
| 5A | WIE 5 | WIE 5, ABER ÜBER TON BZW. TONFLIESSERDE |
| 6 | FLACHGRÜNDIGER PSEUDOGLEY | WIE 5 |
| 6A | WIE 6 | WIE 5A |
| 8 | TIEFGRÜNDIGE BRAUNERDE | AUS LÖSS-HANGKOLLUVIUM (> 80 CM) |
| 9 | TIEFGRÜNDIGE PARABRAUNERDE | AUS LÖSS (> 80 CM), ÖRTLICH MIT KOLLUVIALER STÖRUNG IM AL/BT1-BEREICH, ÜBER SANDSTEIN ODER TON-SANDSTEIN-WECHSELFOLGE |
| 10 | TIEFGRÜNDIGE PSEUDOGLEY-PARABRAUNERDE | AUS LÖSS (> 80 CM), ÖRTLICH KOLLUVIAL GESTÖRT (S. 9), ÜBER FLIESSERDE UND/ODER TON-SANDSTEIN-WECHSELFOLGE |
| 11 | MITTELGRÜNDIGER PARABRAUNERDE-PSEUDOGLEY | WIE 10 |
| 12 | MITTELGRÜNDIGER PSEUDOGLEY | WIE 10 |
| 13 | MITTELGRÜNDIGE PELOSOL-BRAUNERDE | AUS LÖSS BZW. LÖSSREICHEM HANGSEDIMENT (< 30 CM), ÜBER TON ODER TON-FLIESSERDE |
| 14 | PSEUDOVERGLEYTE PELOSOL-BRAUNERDE | WIE 13 |
| 15 | FLACHGRÜNDIGER PELOSOL-PSEUDOGLEY | WIE 13 |
| 16 | FLACHGRÜNDIGER PSEUDOGLEY | WIE 13 |
| 17 | AUENBÖDEN | AUS LÖSS-KOLLUVIUM |

- | | |
|---|---|
|  | PSEUDOGLEYE MIT TIEFLIEGENDEM STAUHORIZONT |
|  | PSEUDOGLEYE MIT FLACHLIEGENDEM STAUHORIZONT |

BODENKARTE SPANBECK-HOLZERODE-KATLENBURG
 AUF DER GRUNDLAGE DER DEUTSCHEN GRUNDKARTE 1:5 000
 INSTITUT FÜR BODENKUNDE UND WALDERNÄHRUNG, BÜSGENWEG 2, 34 GÖTTINGEN



