

GÖTTINGER
BODENKUNDLICHE
BERICHTE
9

1969

Im Selbstverlag der Anstalten für
Bodenkunde der Universität Göttingen

Herausgeber: B.Meyer und B.Ulrich

Schriftleitung: H.Scholz

Bestellungen über:

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

Institut für Bodenkunde und Waldernährung,
Hann. Münden, Mitscherlichstr. 3

oder den Buchhandel (Gewährung von Wiederverkäufer-Rabatt)

Selbstkostenpreis DM

GÖTTINGER BODENKUNDLICHE BERICHTE

9

1969

INHALT

Lehmann, H., Meyer, B., u. Schonlau, H. J. :

**Die divergierende Humus-Metabolik benachbarter
Sauer-Braunerden und Rendsinen unter Wald im
Licht standortsbiologischer Untersuchungen**

1 - 63

Gebhardt, H., King, M.-T., u. Meyer, B. :

**Mineralogisch-chemische Untersuchungen zum
Prozess der Rubefizierung in Kalkstein-
Rotlehm und fossilem Laterit in Nordhessen**

65 - 124

Babel, U., u. Straub, R. :

**Beziehungen makromorphologischer Merkmale
von Humusprofilen zu der Behandlung und zur
Vegetation von Kahlschlag-Flächen**

125 - 169

Lehmann, H. , Meyer, B. und Schonlau, H. J. :

**Die divergierende Humus- Metabolik benachbarter
Sauer- Braunerden und Rendsinen unter Wald im
Licht standortsbiologischer Untersuchungen**

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 9 , 1 – 63
(1969)**

GLIEDERUNG

	Seite
1 <u>ÜBERBLICK</u>	3
1.1 <u>PROBLEMSTELLUNG</u>	3
1.2 <u>ARBEITS-HYPOTHESE</u>	4
1.3 <u>PROGRAMM</u>	9
1.4 <u>WAHL DER VERGLEICHS-STANDORTE</u>	10
2 <u>METHODEN UND ERGEBNISSE</u>	13
2.1 <u>MENGEN- UND ARTEN-BESTIMMUNG DER LUMBRICIDEN</u>	13
2.2 <u>KEIMZAHLEN VON BAKTERIEN, AKTINOMYCETEN UND PILZEN</u>	16
2.2.1 <u>Methoden</u>	16
2.2.1.1 <u>Probenahme</u>	16
2.2.1.2 <u>Bakterien</u>	17
2.2.1.3 <u>Aktinomyceten</u>	17
2.2.1.4 <u>Pilze</u>	18
2.2.2 <u>Temperatur- und Feuchte-Messungen</u>	19
2.2.3 <u>Jahresgang der Bakterien-Zahlen</u>	20
2.2.3.1 <u>A_h-Horizont-Vergleiche</u>	20
2.2.3.2 <u>Tiefenfunktion der Keimzahlen</u>	22
2.2.4 <u>Aktinomyceten</u>	22
2.2.5 <u>Mikro-Pilze</u>	23
2.2.5.1 <u>Mengen-Vergleiche der A_h-Horizonte und Profil-Gradienten</u>	23
2.2.5.2 <u>Arten-Liste der Mikro-Pilze</u>	25

		Seite
2.3	<u>MAKRO-PILZE</u>	28
2.3.1	<u>Überblick</u>	28
2.3.2	<u>Horizontale und zeitliche Diskontinuität</u>	30
2.3.3	<u>Vertikale und zeitliche Diskontinuität</u>	31
2.3.4	<u>Arten-Bestimmung</u>	32
2.3.5	<u>Mykorrhizen</u>	33
2.3.6	<u>Ausblicke</u>	36
2.4	<u>UMSATZ-MESSUNGEN</u>	37
2.4.1	<u>Cellulose-Abbau</u>	37
2.4.2	<u>Boden-Humat-Abbau</u>	41
2.4.3	<u>Lignin-Abbau</u>	43
2.4.4	<u>"Boden-Atmung"</u>	44
2.4.5	<u>Harnsäure-Abbau</u>	46
2.5	<u>EXPERIMENTELLE STANDORTS-VERÄNDERUNGEN ZUM STUDIUM DER ÖKOLOGISCHEN FAKTOREN</u>	47
2.6	<u>STOFF-DIFFERENZIERUNG ISOTOPISCH MARKIERTER ORGANISCHER VERBINDUNGEN</u>	52
3	<u>Z U S A M M E N F A S S U N G</u>	57
4	<u>L I T E R A T U R - V E R Z E I C H N I S</u>	59

1 Ü B E R B L I C K

1.1 P R O B L E M S T E L L U N G

Voruntersuchungen zu dieser Arbeit befaßten sich mit der stoffgruppen-chemischen Auftrennung der organischen Substanz in den organo-mineralischen A₁-Horizonten von benachbarten und typischen Rendsinen und Sauer-Braunerden unter Laub und Coniferen-Forsten der mitteldeutschen Berg- und Hügel-Landschaften. Die Untersuchungen ergaben: Bei gleichen Baumbeständen und in einer Distanz von nur wenigen Metern war der Gleichgewichts-Humusspiegel in den A₁-Horizonten (0 - 25 cm) der Rendsinen ca. 4-mal so hoch wie der mittlere Humus-Gehalt in den oberen 15 cm der Sauer-Braunerden. Die organische Substanz der eutrophen, kalkhaltigen Rendsinen bestand zu hohen Anteilen aus höher-polymerten Huminstoffen (Huminsäuren und Huminen), während bei den stark sauren Braunerden die Fraktionen der niedermolekularen Fulvosäuren und Streustoffe den Hauptanteil der organischen Komponente bildeten. Für die Sauer-Braunerden konnte anhand der Verteilung von aggressiven Fulvosäuren, organischen Säuren (z.B. Uronsäuren) und Kohlenhydraten nachgewiesen werden, daß die Humus-Zufuhr zum Mineralkörper des Bodens zu erheblichen Teilen durch Infiltration bewerkstelligt wird. Bei den Rendsinen erfolgt dagegen die Inkorporation durch intensive biologisch-mechanische Beimischung.

Während bei den Rendsinen der Umsatz der organischen Substanz überwiegend im oberen Abschnitt des Solums abläuft und eine Auflage-Humus-Decke fehlt, spielt sich bei den Sauer-Braunerden der Umsatz hauptsächlich in der Humus-Auflage ab. Die Mengen und das Spektrum der organischen Substanzen, die infiltrativ in das mineralische Substrat gelangen und dort fixiert oder abgebaut werden, sind im Vergleich zu den Rendsinen gering. Sie scheinen durch eine selektiv abbau-wirksame biologische (Pilz-) Sperre in der Auflage-Decke oder an deren Untergrenze bestimmt zu werden.

Als Fazit dieser Untersuchungen wurde empfohlen, zur Klärung der unterschiedlichen Humus-Metabolik mit Hilfe standorts-biologischer Methoden das Gewicht auf die Klärung folgender beiden Fragen zu legen:

1. Welche unterschiedlichen ökologischen Bedingungen bestimmen die Aktivität der Boden-Fauna, die in einem Fall eine so vollständige Inkorporation der Streu bewirkt, im anderen Fall ausschließt?
2. Was geschieht beim biologisch-chemischen Abbau der organischen Substanz in der Humus-Auflage, an der Grenzfläche zwischen Auflage-Humus und Mineral-Substrat und innerhalb des Mineral-Körpers bei den Sauer-Braunerden im Vergleich zu den Rendsinen? Welches sind die Organismen, die in den Sauer-Braunerden aufgrund eines spezifischen Angriffs auf die Oxyphenol-Körper (Huminstoffe und ihre Vorstufen) zu einer relativen Anreicherung nicht gefärbter infiltrationsfähiger Humus-Bestandteile Anlaß geben? Sind es z.B. die Pilze, deren Tätigkeit sich in der bemerkenswerten Anreicherung von Glukosamin andeutet? Sind diese zugleich auch die Ursache für die Aufhellung von Braunerde-Mull-A-Horizonten, wenn diese unter den versauernden Einfluß von Forsten geraten?

1.2 ARBEITS-HYPOTHESE

Die standorts-ökologischen und mikrobiologischen Untersuchungen dieser Arbeit beschränken sich unter Berücksichtigung der zuletzt aufgeworfenen Fragen auch wieder auf die mineralisch-organischen A_h -Horizonte der beiden Bodentypen. Der Grund dafür liegt darin, daß uns besonders das Problem des Abbaues, der Aufhellung und der Mächtigkeits-Verringerung der A_h -Horizonte als weitverbreitetes bodengenetisches Phänomen interessiert, daß immer dort so deutlich in Erscheinung tritt, wo im Laufe der Bodengeschichte pH-neutrale Mullböden versauern oder wo in kurzem Abstand bei gleicher Vegetation unter grundwasser-fernen Bedingungen die Boden-Reaktion von $pH > 7$ auf pH -Werte $< 3,5$ abfällt (s. Abb. 2 in Teil I).

Da es uns nicht sinnvoll erscheint, die A_h -Horizonte der beiden Bodentypen völlig losgelöst vom Geschehen innerhalb der Humus-Auflage zu betrachten, soll einleitend versucht werden, die eigener makroskopischen Gelände-

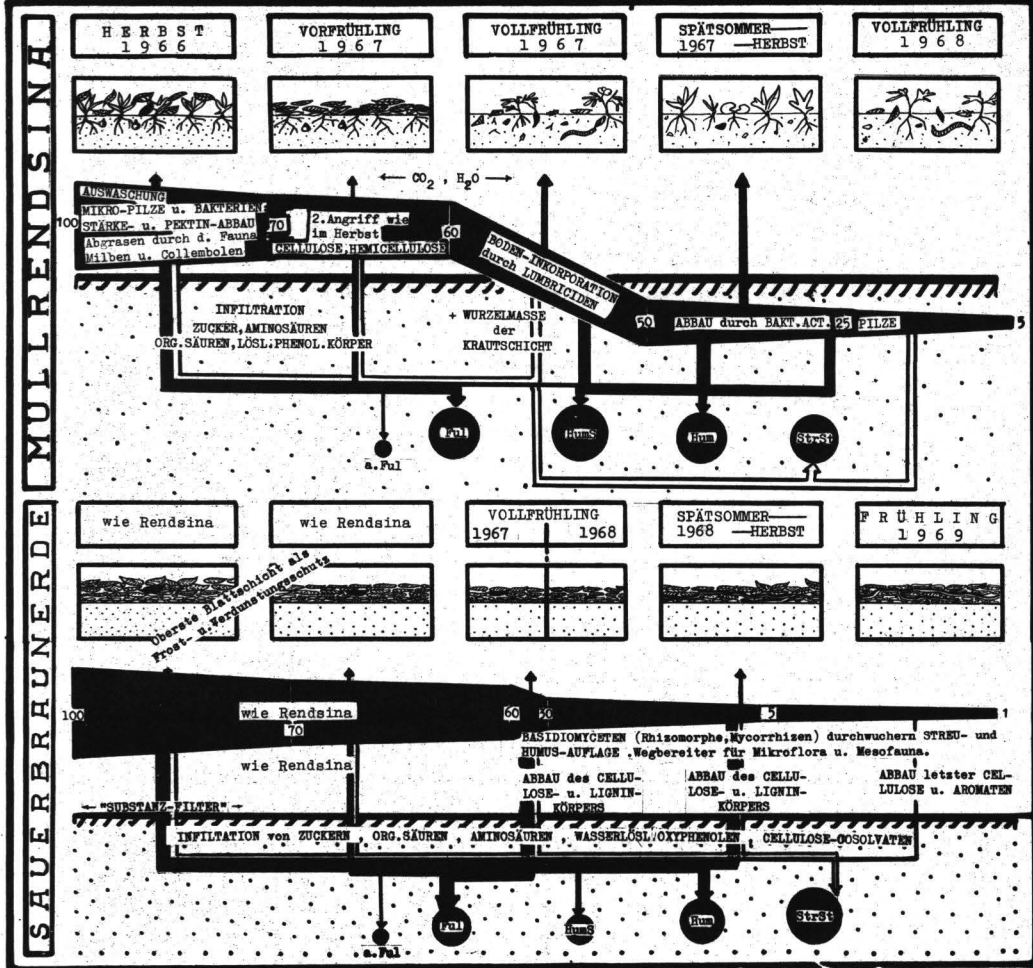
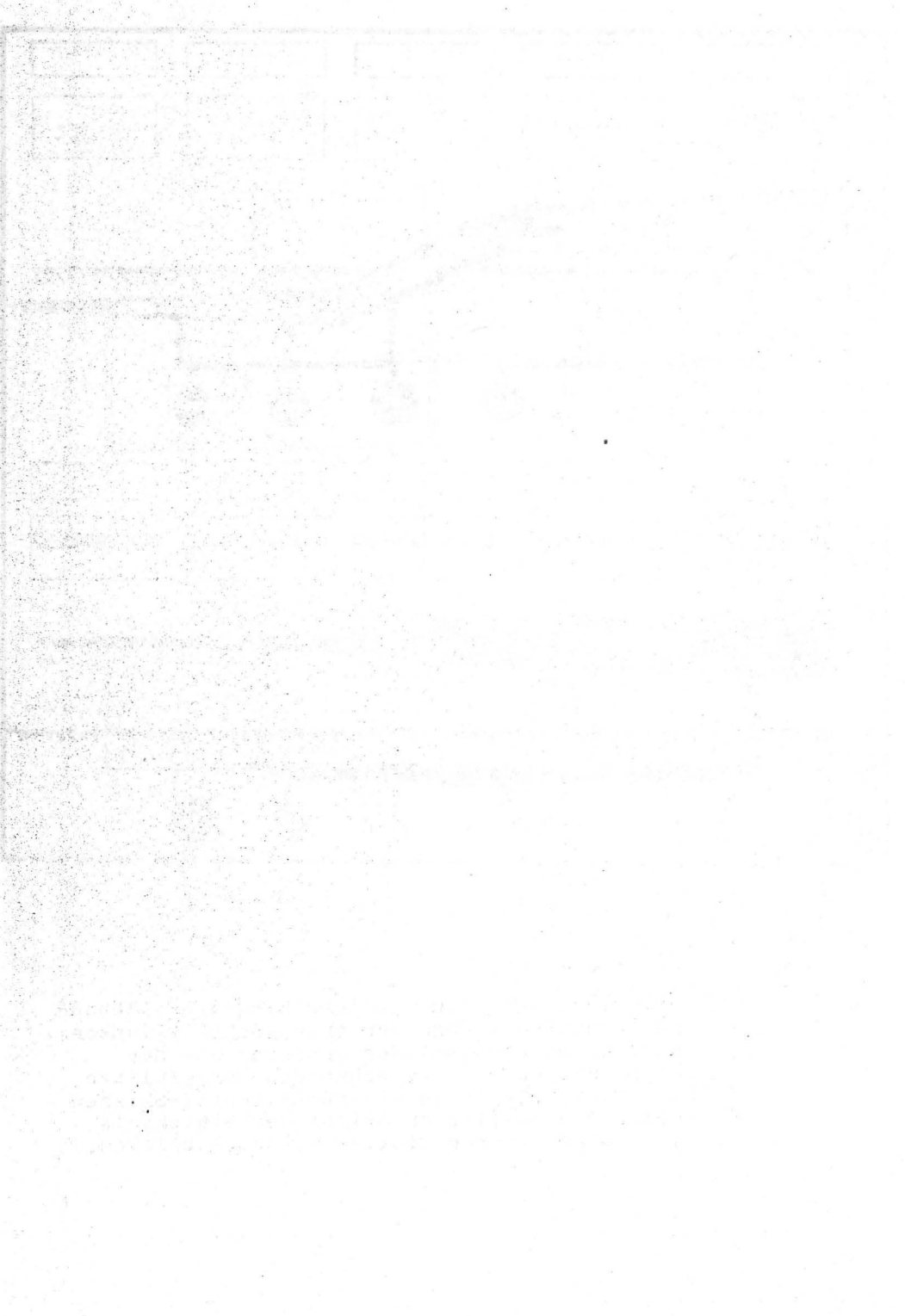


Abb. 1 Generelles Schema der unterschiedlichen Abbau- und Umwandlungs-Wege der organischen Pflanzen-Substanz am Standort der Rendsina und der Sauer-Braunerde. (Die schwarzen ausgefüllten Laub-Bestandteile in den Humus-Profil-Skizzen sollen den zeitlichen Ablauf des Schicksals eines abgefallenen Blattes veranschaulichen.)



Beobachtungen durch die in der neueren Literatur (12, 16) bekannt gewordenen Untersuchungen und Messungen an ähnlichen Standorten zu ergänzen und zu einem Vergleichs-Schema auszubauen, das - wie einschränkend betont werden muß - noch sehr hypothetischen Charakter hat und eingehender Kontrolle bedarf.

Man stelle sich zu diesem Zweck einen geschlossenen 25 - 30-jährigen Buchenforst vor, der in ca. 300 m Meereshöhe im südlichen Niedersachsen häufig anzutreffen ist. Die Boden-Profile dieses Bestandes sind in Abb. 2, Teil I schematisch dargestellt. Unser nachstehendes Schema (Abb. 1) möge das Schicksal der Stoffkomponenten eines Blattes verdeutlichen, das im Herbst 1966 von einem Baum in der Übergangszone Rendsina $\longleftrightarrow$ Sauer-Braunerde entweder auf die Mull-Rendsina oder die Sauer-Braunerde fällt.

Der Rendsina-Standort: Das zu Boden fallende Blatt verfängt sich in der im Vergehen begriffenen Krautschicht. Es verliert hier - zunächst noch ohne Boden-Kontakt - leicht-lösliche Verbindungen, wie Zucker, organische Säuren, Aminosäuren etc. durch Auswaschung. Diese wird durch Mikro-Pilze gefördert, die das Blatt schon auf dem Baum infiziert hatten, sich jetzt entwickeln (12, 6) und durch Abbau von Stärke und Pektin den Blatt-Körper aufschließen. Nach dem Absterben der Krautschicht gelangt das Blatt im Gemisch mit den Kraut-Resten auf den Boden. Bodenbürtige Pilze übernehmen nun den weiteren Abbau der Blatt-Substanz, unterstützt von Bakterien und der Mesofauna (Milben, Collembolen), häufig auch (bei Reichtum der Streu an Holzresten) Clausilien als Vertreter der Makrofauna, deren Verdauungsorgane mit Chitinasen ausgestattet sind, die die von Pilz-Hyphen überzogenen Blätter "abgrasen" (15). Bis zum biologischen Stillstand beim Eintritt tiefer Temperaturen sind etwa 30 % (6) der organischen Substanz des Blattes abgebaut. Ein Teil ist dabei mineralisiert worden (CO_2 und H_2O), ein weiterer Teil liegt metabolisiert in

Form von Hyphen- und Bakterien-Masse vor, während ein dritter durch Niederschlags-Wasser in Form von Zuckern, organischen Säuren, Aminosäuren und anderen Metaboliten der Mikroflora in das Mineral-Substrat eingewaschen ist. Hier wird es einer der im Schema aufgeführten Stoffgruppen zugeführt.

Der Schnee bringt die Überreste der Krautschicht und die Laubstreu in engen Kontakt mit dem Mineral-Boden.

(Beobachtung: die Streulage liegt im Frühjahr wie angewalzt auf dem Boden.)

Der Temperatur-Anstieg im Frühjahr belebt durch Stimulation der Mikroflora und Mesofauna erneut den unterbrochenen Abbau-Prozess. Dabei werden jetzt in erster Linie Hemicellulose und Cellulose abgebaut (6, 7).

Als Standortseigenheit der Rendsina beginnt nun - im Gegensatz zu den Sauer-Braunerden - eine intensive Tätigkeit der Lumbriciden, die unser Blatt, von dem nur noch ca. 50 - 60% der Ausgangs-Trocken-Substanz erhalten ist, im Spätfrühling bzw. Frühsommer in das Mineral-Substrat hineinziehen, wo unter günstigen Nährstoff- und ausgeglichenen Temperatur- und Feuchte-Bedingungen ein schneller Abbau besonders durch Aktinomyceten (als Spezialisten für den Abbau von Hemicellulose und Cellulose) (1), Bakterien und Pilze (Lignin-Abbau) (1) einsetzt. Das hat zur Folge, daß man mit einer totalen Desintegration des Blattes und seiner vollständigen Katabolisierung bis zum Frühjahr des folgenden Jahres rechnen kann.

Als abbau-begünstigend und die Huminstoff-Bildung fördernd muß dabei im Fall der Rendsina die Mischung aus Streuresten und den Wurzel-Rückständen der Krautschicht angesehen werden (C/N-Verhältnis).

Bei dem Abbau wird unter Bildung von Organismen-Masse ein Teil der organischen Substanz wie oben zu CO_2 und H_2O abgebaut. Diese Organismen-Masse setzt dann bei ihrer Autolyse u.a. die von vielen Autoren (8, 17, 18, 26) in vitro beob-

achteten dunkelfarbenen Substanzen frei, die in einem Ca^{++} -Ionen-reichen Milieu dann offenbar zu höherpolymeren Humus-Strukturen polymerisieren und - wie in Abb. 1 dargestellt - den Anteil an Huminsäuren und Huminen liefern.

Der Sauer-Braunerde-Standort: Die Prozeß-Folge vom Laubfall bis zum nächsten Frühjahr ist bei der auf die Sauer-Braunerde fallenden Laubstreu ähnlich wie bei der Rendsina, doch fehlt die organische Beimischung aus der Krautschicht.

Die Beteiligung der Boden-Fauna an den Abbau-Prozessen in den Phasen vom Laubfall bis zum Verlust jeglicher Gewebs-Struktur hat ZACHARIAE (31 - 33) eingehend an ähnlichen Standorten untersucht, so daß wir uns hier besonders auf die Abbau-Leistungen der Mikroflora und der höheren Pilze beschränken können. Mikrobiogene und zoogene Abbau-Prozesse sind in der Regel zeitlich so angeordnet, daß in mehrfacher Abfolge jeweils auf einen mikrobiologischen Angriff und Aufschluß der Streu-Substanz eine Aufbereitung durch die Boden-Fauna folgt.

Zu der Zeit, da auf dem Rendsina-Standort die Lumbriciden die organische Auflage völlig dem Mineral-Körper inkorporieren, läuft auf den Sauer-Braunerde-Standorten der begonnene Angriff der bodenbürtigen Pilze und der Auflage-Humus-Mesofauna weiter. Im Sommer tritt dann infolge Trockenheit der obersten Auflage-Humus-, besonders der L-Schichten eine biologische Ruhepause ein. Erst der neuerliche Laubfall (Herbst 1967) schafft zum ersten Mal ausgeglichene Feuchte- und Temperatur-Bedingungen in der vom Vorjahr stammenden Streuschicht (L_2), in die unser Blatt hineingelangt ist. Die Laub-Überdeckung ermöglicht den Makro-Pilzen (Asco- und besonders Basidiomyceten), die L_2 -Schicht mit einem engen Netz von Rhizomorphen zu durchdringen. (Unter günstigen Witterungs-Bedingungen im Herbst oder an Stellen, wo das Laub zusammengetragen wurde, kann diese Ausbreitung

bereits unmittelbar nach dem Laubfall einsetzen und Anlaß zu einem sehr beschleunigten Streu-Abbau - erkennbar an der unmittelbar nach dem Laubfall eintretenden "Bleichung" ganzer Streupakete - geben. Oft bleibt dann im darauffolgenden Jahr nur noch die oberste Deckblatt-Lage der Herbststreu übrig, die dann unmittelbar auf dem H-Horizont oder sogar auf dem Mineral-Substrat liegt.)

Die Makro-Pilze sind es, die - meist zu erkennen an der genannten Laub-Bleichung - den Abbau der Cellulose- und Lignin-Fraktionen (1) betreiben und bis zum nächsten Frühjahr für eine Abnahme der Blatt-Ausgangssubstanz auf ca. 30 % sorgen. Das Material verliert im Zuge des Abbaues während dieser Phase seine Gewebs-Struktur und feste Konsistenz, geht in amorphe Feinhumus-Partikel über, die sich an der Grenzfläche Auflage-Humus/Mineral-Substrat anhäufen oder auch den oberen 1 bis 2 Zentimetern des Mineral-Körpers beigemischt werden. In diesem Bereich werden durch die im Mineral-Körper sessilen Makro-Pilze, Mykorrhizawurzeln und die Mesofauna und Mikroflora die letzten aromatischen Strukturen aufgelöst. Am Ende des dritten Jahres nach dem Laubfall ist der Umsetzungs-Prozess abgeschlossen.

Gelangen durch Zufall - so z.B. durch Einschwemmung oder sonstige mechanische Auffüllung von Wurzel- und Wurmröhren Feinhumus-Massen aus der Humus-Auflage in das Mineral-Substrat, so können diese manchmal binnen weniger Monate von in die Tiefe nachdringendem Mycel-Geflecht völlig aufgezehrt werden. Gleiches geschieht mit ehemaligen basenarmen Mull-A-Horizonten, die sich unter langjähriger Grasbedeckung (z. B. unter alten Hochwäldern, nach Kahlschlag, landwirtschaftlichen Nutzungsphasen etc.) entwickelt haben und anschließend unter den Einfluß einer geschlossenen Walddecke geraten sind. Die Aufhellung erfolgt dadurch, daß starke Pilz-Mycelien bis zu 30 cm Tiefe - besonders um Hohlräume herum - in das Mineral-Substrat eindringen und den Mull-A-Horizont fleckenhaft "auflösen".

Da die Umsetzungs-Prozesse des Blattes am Sauer-Braunerde-Standort alle oberhalb oder in den obersten Zentimetern des Mineral-Körpers ablaufen, kann organische Substanz nur infiltrativ in das Solum gelangen. Alle organischen

Verbindungen müssen also mit dem Niederschlags-Wasser in niedermolekularer Form aus der Streuschicht nach unten abtransportiert werden. Da der Abbau der Lignin- und Cellulose-Körper speziell durch die Pilze offenbar recht weit getrieben wird, kommen im wesentlichen niedermolekulare und dementsprechend wenig gefärbte organische Substanzen in den Boden, die dann aufgrund der Aziditäts-Verhältnisse kaum Möglichkeiten für eine Polymerisation vorfinden. Diese organischen Verbindungen werden dann z.T. an der Al-aktiven anorganischen Matrix gebunden. Dadurch wird eine gewisse - wenn auch im Vergleich zur Humat-Fixierung in den Rendsinen schwächere - Abbau-Stabilisierung bewirkt.

Die Mengen organischer Substanz, die an den Sauer-Braunerde-Standorten in das Mineral-Substrat gelangen, sind natürlich im Vergleich zu den Rendsinen gering.

Bei Zunahme der Azidität der sauren Braunerden (Verschlechterung der klimatischen Bedingungen oder weiter abnehmende Streuqualität, d. h. beim Übergang zu Podsol-Braunerden), scheint sich der dargestellte Abbau-Prozess innerhalb der Auflage-Humusdecke zeitlich auszudehnen, während die Gesamt-Intensität des Abbaues gleichbleibt. Die Auflage-Humusdecken werden dadurch mächtiger. Auch vermehren sich im oberen Teil des podsoligen Mineral-Substrates die Gleichgewichts-Mengen infiltrierter Eluate der Auflage-Humusdecke.

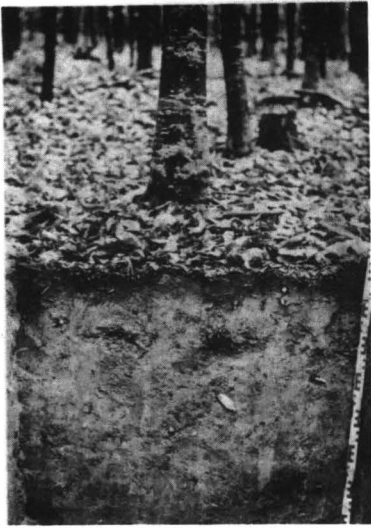
1.3 PROGRAMM

Um die aus qualitativen Beobachtungen abgeleiteten Vorstellungen in einigen unklaren Punkten quantitativ zu untermauern und die eingangs gestellten Fragen zu beantworten, wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

1. Mengen-Bestimmung der für die Durchmischung bedeutsamen Lumbriciden,
2. Untersuchungen über die Keimzahlen und Arten-Spektren der im oberen A_h -Horizont und in tieferen Schichten des Mineral-Körpers befindlichen Mikroorganismen, einschließlich standorts-ökologischer Messungen,
3. Bestimmung und Intensitäts-Schätzungen von Laub-, Auflage-Humus- und Mineralboden- bewohnenden Makro-Pilzen,
4. Umsatzmessungen (Atmungsversuche, Testsubstanz-Abbau) zur summarischen Kennzeichnung des mikro- und makrobiellen Umsatzes am Standort und Verfolgen der Abbau-Wege mittels isotopisch markierter organischer Substanzen,
5. experimentelle Standorts-Veränderungen zum Studium der ökologischen Bedingungen (Kalkung, Wendung).

1.4 WAHL DER VERGLEICHS-STANDORTE

Die Wahl der Standorte sollte Vergleiche hinsichtlich des Einflusses verschiedener Pflanzendecken (Laubwald: alt, mittel, jung; Fichte, Wiese) gestatten und den standörtlichen Vergleich der Bodentypen Rendsina und Sauer-Braun-erde ermöglichen. Tab. 1 gibt eine Standorts- und Index-Übersicht, Tab. 2 einige ökologische Daten an.

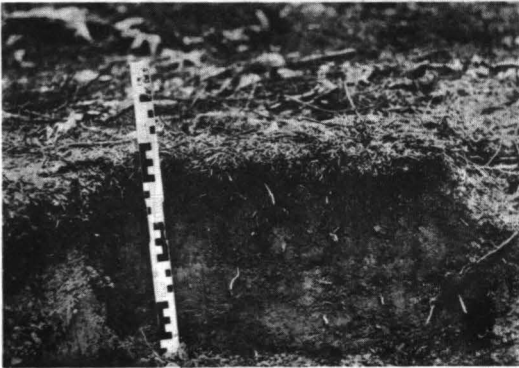


2

1

3

4



- 1 Sauer-Braunerde unter Jungbuche, B_{Bj} - Herbst-Aspekt
- 2 Rendsina unter dem gleichen Jungbuchen-Bestand wie 1, R_I - Herbst-Aspekt
- 3 Sauer-Braunerde unter Fichte, neben 1, B_F
- 4 Sauer-Braunerde unter grasreicher Fichten-Pflanzung, neben 1 und 3, B_P

Tab. 1 Standorts- und Index-Übersicht

			Buche jung-mittel	Buche alt	Fichte alt	Wiese bzw. Pflanzung
Muschelkalkplatte des Göttinger Waldes mit lokaler Löß-Auflage	Klosterforst Weende I	Rendsina	R_I K; U; I;			
		saurer Löß	B_{Bj} K; U; L; Ca; I;		B_F K; U; Ca;	B_P K; U; L; Ca;
	Klosterforst Weende II	Rendsina		R_{II} K; U; L;		
		saurer Löß		B_{Ba} K;		
	Forstamt Göttingen	Rendsina			R_{III} K;	R_{IV} K;
		saurer Löß	B_{Bm} K			B_W K;

K = Keimzahl-Bestimmung
U = Umsatz-Messungen
L = Lumbriciden-Auszählung

Ca = Kalk-Versuch
I = Isotopen-Versuch

Tab. 2 Ökologische Daten der untersuchten Standorte

		Tiefe in cm	pH (KCl)	C in %	AK _{mv} Al/100 g ^t Bod.	AK _t Bod.	$\frac{Al^{+++}}{AK_e}$	$\frac{Ca^{++}}{AK_e}$
R _I	Buche (25-jährig)	0 - 25	5,6	4,5	-	-	-	-
R _{II}	Buche (100-jährig)	0 - 25	5,7	4,9	44,1	44,1	0,6	96
R _{III}	Fichte (50-jährig)	0 - 25	5,2	-	21,5	21,5	-	93
R _{IV}	Wiese	0 - 25	6,4	-	24,5	24,5	-	98
B _F	Fichte (70-jährig)	0 - 25	3,3	1,5	9,2	-	88	9
B _{Bj}	Buche (25-jährig)	0 - 15 15 - 30	3,4	1,1	4,3	-	87	9
B _P	Fichte (Pflanzung)	0 - 15	3,4	1,8	6,6	-	80	19
B _{Ba}	Buche (90-jährig)	0 - 25	3,7	2,1	15,3	-	59	38
B _{Bm}	Buche (40-jährig)	0 - 15	3,5	-	6,0	-	89	6
B _W	Wiese	0 - 15	4,5	-	6,0	-	6	89

2 METHODEN UND ERGEBNISSE

2.1 MENGEN- UND ARTEN-BESTIMMUNG DER LUMBRICIDEN

Die Standorte R_{II}, B_{Bj} und B_p wurden im Oktober 1968 auf Lumbriciden untersucht. Dabei wurden Standort R_{II} als typischer Vertreter der Rendsinen und Standort B_{Bj} als typischer Vertreter der Sauer-Braunerden ausgewählt. Der Standort B_p wurde hinzugenommen, um den zeitlichen Regradations-Einfluß einer auf Fichtenforst folgenden Grasdecke (Sauer-Braunerde) zu verfolgen.

Methode: An den in Frage kommenden Standorten wurden Flächen-Ausschnitte von 1 m² Größe auf Spatentiefe umgegraben. Das bedeutet bei der Rendsina: bis auf den anstehenden Kalkstein (ca. 25 - 30 cm) und bei den Sauer-Braunerden: bis zur Untergrenze derjenigen Horizonte, innerhalb derer biologische Strukturen eine biologische Tätigkeit vermuten ließen (30 - 35 cm). Der Boden wurde mit der Hand fein zerkrümelt und die Lumbriciden ausgelesen. Die gefundenen Exemplare wurden unter Anleitung von Herrn Doz. Dr. O. Graff, Braunschweig-Völkenrode, bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tab. 3 dargestellt.

Tab. 3 Lumbriciden: An den drei auf Regenwürmer untersuchten Standorten konnten im Oktober 1967 folgende Lumbriciden-Arten bestimmt werden:

Standort	B _P	B _{Bj}	R _{II}
<i>Lumbricus terrestris</i>	-	-	12
<i>Allolobophora caliginosa</i>	-	-	28
<i>Octolasion lacteum</i>	-	-	20
<i>Allolobophora rosea</i>	-	-	6
<i>Dendrobaena rubida</i>	-	2	2
<i>Lumbricus rubellus</i>	2	2	-
<i>Dendrobaena octaedra</i>	2	-	-
Summe	4	4	68

Die Zahlen beziehen sich auf einen Quadratmeter bis zu 25 - 35 cm Tiefe.

Aus den Zahlen geht deutlich hervor, welche Unterschiede zwischen den Sauer-Braunerden (B_{Bj} und B_P) und der Rend-sina bestehen. Die ersten 4 Arten: *L. terrestris*, *O. lacteum*, *A. caliginosa* und *A. rosea* haben alle eine breite ökologische Valenz. Sie sind die Haupt-Vertreter der Lumbriciden in europäischen Böden, die eine gewisse Tiefgründigkeit, gute Wasser-Versorgung und einen pH-Wert nicht unter pH 5 aufweisen (10, 25). Ihr Fehlen in den sauren Standorten ist daher erklärlich.

Dendrobaena rubida, der seine Haupt-Verbreitung in den oberen Bodenschichten von Laubwäldern hat, wurde dementsprechend auch nur an den beiden Wald-Standorten B_{Bj} und R_{II} gefunden.

Lumbricus rubellus als wichtigster Streu-Zersetzer unter Laubwald wurde nur in den Sauer-Braunerden mit Humus-Auflage angetroffen.

Dendrobaena octaedra, der wie L. rubellus pH-Werte bis pH 3,5 verträgt und speziell im Auflage-Humus lebt, wurde unter dem begrasteten Fichten-Kahlschlag (B_p) innerhalb des biologisch untätigen Rasenfilzes gefunden.

Die Ergebnisse stimmen gut mit aus der Literatur bekannten Untersuchungen überein. So fand GUILD (11) an zwei Standorten (nährstoffreiches Grasland und nährstoffarme Moor-Wiese) eine ähnliche Verteilung wie wir an unseren Standorten.

Welchen Einfluß die Aziditäts-Verhältnisse eines Standortes auf die Anwesenheit von Lumbriciden und damit auf eine Vermischung der organischen Streu mit dem Mineral-Boden ausüben, geht aus Arbeiten von RICHARDSON (24) und RAW (23) hervor. Ersterer beobachtete, daß sich nach wiederholter Düngung einer Parzelle mit $(NH_4)_2SO_4$ eine Schicht abgestorbener organischer Substanz auf dem Boden bildete. Der Grund dafür lag in der zunehmenden Azidität des Standortes, welche die Abwanderung der Lumbriciden hervorrief.

Eine ähnliche Akkumulation organischen Materials fand RAW in einem Obstgarten, wo durch $CuSO_4$ die Lumbriciden-Fauna vergiftet worden war. Beide Standorte zeigten eine klare Trennung zwischen Auflage- und Mineral-Boden-Horizont.

Berücksichtigt man bei unseren Auszählungen die Tatsache, daß die in den Sauer-Braunerde-Profilen angetroffenen Lumbriciden-Arten hauptsächlich in der Auflage-Humusschicht leben und keine eigentlichen "Bodenwühler" sind, so sind unsere Sauer-Braunerden fast frei von einer durchmischenden Bodenfauna. Der Unterschied der Arten- und Individuen-Zahl an Lumbriciden zwischen den Sauer-Braunerden und Rendsinen ist derartig eklatant, daß es im Grunde keiner weiteren Diskussion über die einleitend genannte Grund-

Bedingung der boden-typologischen Differenzierung, nämlich die Durchmischung, bedarf.

Die begraste Schonungs-Fläche B_p unterscheidet sich trotz sichtbarer Anreicherung von Gras-Wurzel-Humus im A_h hinsichtlich ihrer Lumbriciden-Aktivität noch nicht von den Sauer-Braunerden unter Forst. Die Entfernung von der nächstliegenden Rendsina-Verbreitungs-Grenze beträgt ca. 50 m. Die 7-jährige Begrasungsperiode hat, wie die Auszählung zeigt, noch nicht ausgereicht, um über diese Entfernung hinweg eine Arten- und Individuen-Vermehrung einzuleiten.

2.2 KEIMZAHLEN VON BAKTERIEN, AKTINOMYCETEN UND MIKRO-PILZEN

2.2.1 Methoden

2.2.1.1 Probenahme

Probenahme und Herstellung der Verdünnungsreihen: Die Probenahme erfolgt mittels steriler 20 ml Reagenzgläser (Abflammen im Gelände) aus dem zu untersuchenden Boden-Horizont mit je 5 Parallelen. Im Labor wird ein Teil der Probe (5 - 10 g) zur Feuchtigkeits-Bestimmung 12 h bei 105°C getrocknet. Der Rest (10 - 15 g) wird kühl aufbewahrt. Aus ihm wird unter Berücksichtigung des ermittelten Wasser-Gehaltes der Probe eine Verdünnungs-Reihe bis 10⁻¹⁰ mit destilliertem Wasser hergestellt. Die Verdünnungs-Reihe dient zur Beimpfung für die Bakterien-, Aktinomycceten- und Pilz-Keimzahl-Bestimmung (22).

2.2.1.2 Bakterien

Indirekte Bestimmung der Gesamt-Bakterien-Flora nach der Most Probable Number Method (2, 22): Prinzip: Beimpfen von Nährlösung mit Bodensuspensions-Verdünnungsreihen und Suche der Grenz-Konzentration, die noch eine Kolonie entstehen läßt.

Die Nährlösung ist ein Boden-Extrakt aus einem in guter Kultur befindlichen Garten- oder Ackerboden neutraler Reaktion. Eine bestimmte Menge Boden wird mit der gleichen Menge Wasser für 1 h bei 130°C autoklaviert. Der Boden-Extrakt wird abfiltriert und je 5 ml Filtrat in Reagenzgläser gefüllt, die sofort wieder bei 110°C 20 min autoklaviert werden.

Diese Nährlösung wird mit den Verdünnungs-Stufen 10^{-5} - 10^{-10} beimpft, wobei je Verdünnungs-Stufe 5 Reagenzgläser mit je 1 ml Suspension beimpft werden.

Die Reagenzgläser werden bei 28 - 30°C gehalten und nach 7 und 14 Tagen auf Wachstum untersucht, erkennbar am Trübwerden der Nährlösungen, dazu hält man die Reagenzgläser vor einem dunklen Hintergrund schräg gegen eine Lichtquelle, um auch ein schwaches Wachstum zu erkennen. Unbeimpfte zur Kontrolle mitlaufende Reagenzgläser erleichtern das Erkennen gewachsener Kolonien.

Die positiven Reagenzgläser werden gezählt, und mit Hilfe der Tafeln von Mc.CRADY (2, 22) ermittelt man die absolute Zahl der Keime in einem Gramm Boden.

2.2.1.3 Aktinomyceten

Bestimmung der Aktinomyceten-Keimzahl mit der Membranfilter-Methode nach TROLLDENIER (27): Ein ml der Bodensuspensions-Verdünnung (10^{-4} - 10^{-7}) wird durch sterile Membranfilter von 50 mm Durchmesser und 3 μ mittlerer Porenweite filtriert. Die Membranfilter werden mit der Oberseite nach unten auf den Aktinomyceten-Nährboden gelegt.

Die Kolonien einschließlich der Bakterien entwickeln sich zunächst zwischen Membranfilter und Nährboden. Durch die feinen Poren wachsen dann die Luft-Myzelien der Aktinomyceten, die dann nach 6 - 8 Tagen leicht ausgezählt werden können.

Zusammensetzung des Nährbodens: (CZAPEKS Agar)

Saccharose	30,0 g	FeSO ₄	0,01 g
NaNO ₃	2,0 g	Agar	15,0 g
K ₂ HPO ₄	1,0 g	Aqua dest.	1,0 Liter
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	0,5 g	Gartenerde	10 w/v
KCl	0,5 g		

2.2.1.4 Pilze

Bestimmung der Gesamt-Pilzzahlen mit dem KOCH'schen Plattenguß-Verfahren (5). Beimpfung von Maltose-Agar vor dem Plattenguß mit Bodensuspensions-Verdünnungen (ca. 10^{-3} - 10^{-4}) - entsprechend maximal 20 - 25 Kolonien pro Petri-Schale -, und zwar je Verdünnungsstufe 5 Platten. Inkubation für 6 Tage bei 22 - 24°C. Auszählen der gewachsenen Kolonien und Umrechnung auf 1 g trockenen Boden. Zur Identifizierung der einzelnen Pilz-Spezies werden Reinkulturen angelegt. Die Bestimmung erfolgt mit Hilfe des Mikroskops und entsprechender Pilz-Bestimmungs-Bücher (3, 9, 21).

Zusammensetzung des Malz-Agars:

20 g Agar
10 g Trockenmalz oder 50 g "Biomalz"
1000 ml Aqua dest.

Zugabe von 3 ml 1%-iger Zitronensäure je 100 ml Agar hindert Bakterien und Aktinomyceten durch pH-Erniedrigung am Wachsen.

2.2.2 Temperatur- und Feuchte-Messungen

Die Keimzahlen von Bakterien, Aktinomyceten und Mikro-Pilzen werden von zahlreichen Faktoren beeinflusst, unter denen mit an erster Stelle die jahreszeitlich bedingten Temperatur- und Feuchtigkeits-Verhältnisse des Bodens stehen. Um das Ausmaß dieser Einflüsse abschätzen zu können, wurden an den Vergleichs-Standorten unregelmäßig in verschiedenen Boden-Tiefen die Temperaturen und Wasser-Gehalte gemessen. Die Meß-Zeitpunkte wurden aufgrund der

im Göttinger Stadtgebiet kontinuierlich gemessenen Werte festgelegt - und zwar so, daß sie ungefähr auf das Ende von Witterungs-Perioden mit relativ ausgeglichenem Verlauf fallen.

Das Jahr 1967 zeigte in 5 cm Boden-Tiefe 4 markante Perioden mit hochliegenden Temperatur-Niveaus und entsprechender Anhebung der bakteriellen Tätigkeit in diesem Horizont.

I Mitte Januar bis Anfang Februar (hier der Schwerpunkt = Endpunkt) mit einem Anstieg der niedrigsten Tages-Durchschnitts-Temperaturen unter Wald

von 0 auf +4°C und einem Anstieg der höchsten Tages-Durchschnitts-Temperaturen unter Wald von 2 auf 7,5°C.

II Ende Februar bis Anfang April (Schwerpunkt erstes Drittel März) mit einem Anstieg der niedrigsten Tages-Durchschnitts-Temperaturen unter Wald

von 2 auf 4°C und einem Anstieg der höchsten Tages-Durchschnitts-Temperaturen unter Wald von 5,5 auf 8,5°C.

III Erstes Drittel Mai bis Mitte Juni mit einer Spanne der Tages-Durchschnitts-Temperaturen

von 8,5 bis 18°C.

IV Der ganze Juli mit einer Spanne der Tages-Durchschnitts-Temperaturen

von 13 bis 20°C.

Die 4 durch römische Ziffern versehenen Witterungs-Optima sind in der Abb. 2 durch vertikale Linien hervorgehoben, ebenso in Abb. 3.

Der Wassergehalt aller Rendsinen war in 5 cm Tiefe das ganze Jahr über ohne größere Schwankungen nahezu derselbe. Die Sauer-Braunerden unter Forst zeigten dagegen von

Anfang Juli an eine zunehmende Austrocknung, die Ende August zu Wassergehalts-Tiefstwerten führte. Erst Mitte November war die Ausgangs-Feuchte vom Frühjahr wieder erreicht.

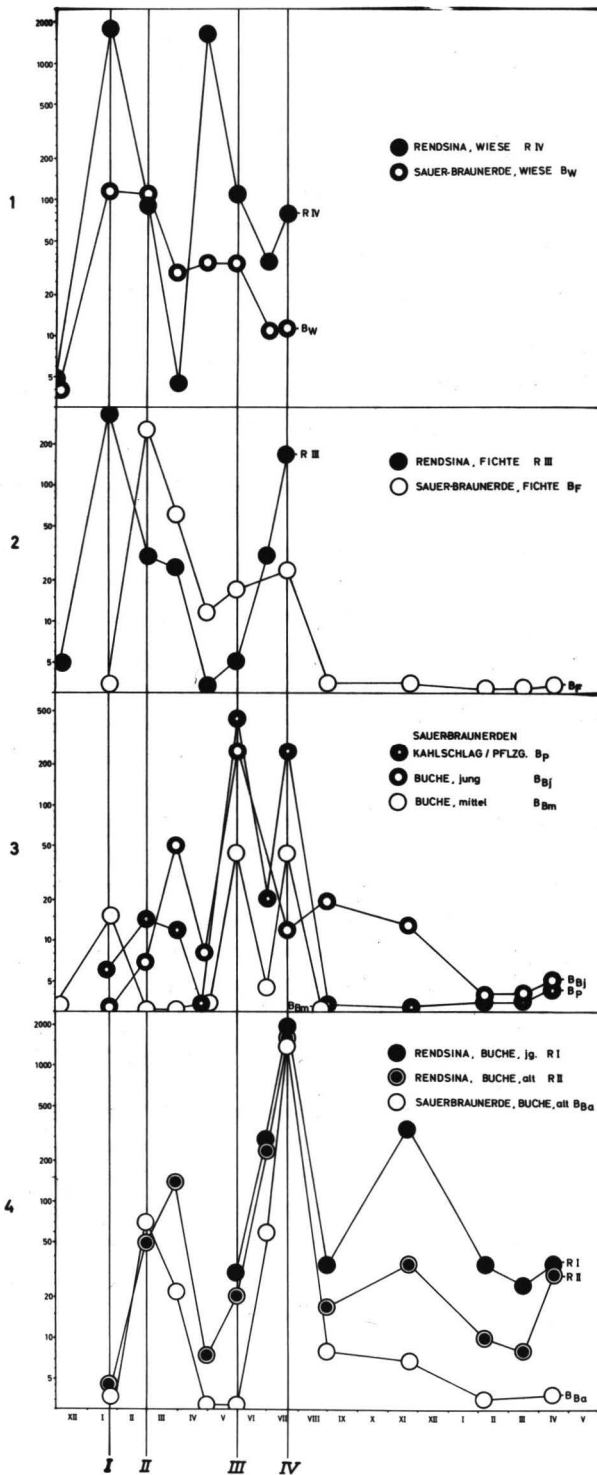
2.2.3 Jahres-Gang der Bakterien-Zahlen

2.2.3.1 A_h -Horizont-Vergleiche

Die Angaben dieses Abschnittes beziehen sich zunächst auf die Bakterien-Keimzahlen in 5 cm Bodentiefe. Wie Abb. 2 zeigt, lassen sich nach der zeitlichen Lage der Keimzahl-Maxima und der Höhe der Maxima folgende Standorts-Gruppen bilden:

1. Unabhängig vom Bodentyp zeigen die beiden Wiesen-Standorte übereinstimmende Maxima. Bei der Sauer-Braunerde sind diese jedoch gegenüber der Rendsina stark "gekappt". Periode I (Februar) erzeugt hier das ausgeprägteste Maximum. Das zweite fällt Anfang Mai in eine Zeit, in der alle anderen Profile Depressionen zeigen. Die Ursache muß wohl im Beginn des Gras-Wachstums gesehen werden.
2. Auch bei den Fichten-Standorten scheint der Vegetations-Typ hinsichtlich der bakteriellen Tätigkeit stärker prägend als der Bodentyp zu sein. Wie beim Grasland fällt das erste und höchste Maximum in die Vorfrühlings-Periode I. Ein zweites, schwächeres Maximum baut sich dann - wie bei allen anderen Wald-Standorten - in der Periode IV (Juli) auf.
3. Bei den Laubwald-Standorten zeigt sich gegenüber 1. und 2., daß der Bodentyp hier einen stärker differenzierenden Einfluß ausübt. Die Gruppe 3. umfaßt die jüngeren, fast krautfreien Buchenwälder auf Sauer-

Abb. 2: Bakterien - Keimzahlen in Millionen Stück (Ordinate) pro g Boden im Jahreslauf 1966 - 68 (Abszisse)



Braunerde, einschließlich des begrasten und bepflanzten Kahlschlages. Die Wald-Standorte zeichnen sich durch die späte Lage und die Zweigipfeligkeit ihrer Maxima zu den Perioden III und IV aus. Das bedeutet, daß sich hier die bakterielle Tätigkeit erst zur Zeit der hochsommerlichen Boden-Temperaturen voll entfaltet, allerdings dann - wie beim Fichtenforst - mit der zunehmenden Boden-Austrocknung auch schnell wieder zum Erliegen kommt. Die Ursache für die Verzögerung könnte wohl einerseits in der Wärme-Isolier-Wirkung der geschlossenen Streudecke gesehen werden, die eine Verzögerung des Temperatur-Anstieges im Solum bewirkt. Vergleichen wir jedoch mit 4., wo das erste Sommer-Maximum gänzlich fehlt, so ist zu vermuten, daß hier auch andererseits der Faktor "Nahrung" eine Rolle spielt.

4. Diese Gruppe umfaßt die Buchenwald-Rendsinen und die mit "Rendsina-Buchenlaub" gespeiste Sauer-Braunerde. Die Phase der Streu-Einmischung in das Mineral-Substrat (April, Mai, Juni) ist hier seltsamerweise von einer Depression der bakteriellen Tätigkeit begleitet, während in den Sauer-Braunerden (Gruppe 3.) ohne Streu-Inkorporation der aus dem Auflage-Humus heraus einsetzende Infiltrations-Strom von Nährstoffen die Bakterien-Tätigkeit im Mineral-Substrat zu einem ersten Maximum steigert. - Stattdessen tritt dann an den Rendsina-Standorten ein gewaltiges, nur dem Grasland im Mai vergleichbares Keimzahl-Maximum im Juli (Periode IV) auf. - Das Charakteristikum der untersuchten Rendsina-Buchenhäuser ist aber besonders darin zu sehen, daß mit dem Laubfall Oktober/November noch einmal ein Maximum aufgebaut wird. Dabei ist die Tendenz ersichtlich, daß mit abnehmender Trophie der Standorte dieses herbstliche Maximum fortlaufend abschwächt und bei den stark sauren Böden der Gruppen 2. und 3. ganz fehlt.

2.2.3.2 Tiefenfunktion der Keimzahlen

Im Gegensatz zu den Rendsinen und zu den Gras-Standorten zeigen die Sauer-Braunerden unter Wald sehr steile Keimzahl-Tiefen-Gradienten. Bei der Gegenüberstellung der Profil-Abschnitte 0 - 8 cm und 8 - 15 cm wurden folgende Keimzahl-Verhältnisse bestimmt: In Phasen der bakteriellen Ruhe bewegt sich die Verhältnis-Zahl im allgemeinen zwischen 3,5 und 9, zu Zeiten starker Anfachung der bakteriellen Tätigkeit im Oberboden steigt dann der Quotient jeweils schnell auf Werte zwischen 15 und 50.

2.2.4 Aktinomyceten

Die Aktinomyceten sind für ihre pH-Gebundenheit bekannt (1, 29). Im Boden nimmt ihre Arten- und Individuen-Zahl mit fallenden pH-Werten rasch ab. Unterhalb von pH 4,5 ist ihr Arten-Spektrum extrem eingeschränkt. Mit einer Aktivität ist nicht mehr zu rechnen. - Diese Angaben decken sich mit unseren Untersuchungs-Befunden: Die pH-neutralen Rendsinen haben in 5 cm Tiefe mit durchschnittlich 400 - 800 000 Keimen/g trockenen Bodens ca. 10-mal so viel Aktinomyceten wie die Sauer-Braunerden. Eine Ausnahme macht allerdings die schon bei den Bakterien als besonders eutroph erkannte Sauer-Braunerde unter Buchen-Altholz. Die Lößdecke ist hier nur ca. 20 - 30 cm stark, reichlich mit *Milium effusum* bestanden und mit Ca-reicher Streu versehen. Dadurch und evtl. auch durch Rhizosphären-Effekte (s. Auftreten chromogener Aktinomyceten wie an den anderen Gras-Standorten) können Mikro-Habitate geschaffen sein, in denen ein Aktinomyceten-Wachstum möglich ist.

Während in den Rendsina-A-Horizonten keine Tiefen-Abhängigkeit der Aktinomyceten-Zahl zu erwarten ist, zeigen alle untersuchten Sauer-Braunerden eine Zunahme der Aktinomyceten-Zahl in der lößfarbenen Schicht (8 - 15 cm) gegenüber dem dunkleren Oberboden (0 - 8 cm). Dabei wird in der Regel im tieferen Teil die anderthalbfache Menge wie im oberen gefunden (z. B. in B_{Bj} 80 000 unten, 50 000 oben). Die Aktinomyceten verhalten sich in dieser Hinsicht umgekehrt wie die Bakterien.

Besondere Beachtung verdient der Befund, daß die Aktinomyceten-Kulturen aller Gras-Standorte und aller Kalk-(Rendsina-)Standorte ihre Nährböden tief schwarz färben (19), während auf allen sauren Standorten chromogene Aktinomyceten völlig fehlen. Sollte dieser Umstand in Zusammenhang mit der Tatsache stehen, daß Akkumulation dunkelgefärbter Humus-Substanz ebenfalls nur an der Kalk- und Gras-Standorten stattfindet, während in den Sauer-Braunerden nur eine Akkumulation nicht gefärbter und weniger beständiger Humus-Substanz oder gar ein Abbau von dunkler Humus-Substanz, verbunden mit einer Aufhellung beobachtet wird?

2.2.5 Mikro-Pilze

2.2.5.1 Mengen-Vergleiche der A_h-Horizonte und Profil-Gradienten

Die zeitlichen Schwankungen der Mikro-Pilz-Keimzahlen in 5 cm Bodentiefe liegen - unabhängig von Vegetations-Decke und Bodentyp - ungefähr zwischen 20 000 und 130 000 pro g Boden. Dies bedeutet, daß das Verhältnis von Bakterien-Keimzahlen zu Pilz-Keimzahlen in der Größenordnung $10^2 - 10^5$ liegt.

Wie bei den Bakterien zeigen auch die Pilz-Keimzahlen pro g Boden eine Abnahme mit der Profil-Tiefe, doch ist diese Abnahme schwächer als bei den Bakterien. Das Keimzahlen-Verhältnis in den Sauer-Braunerden zwischen 0 - 8 cm und der Schicht 8 - 15 cm beträgt: begraster Kahlschlag: 4,5, Wiese: 2, Buchen-Jungforst: 1 (!). Bei der Sauer-Braunerde unter Fichte wurde zum Zeitpunkt maximaler Mikro-Pilz-Mengen (April 1968) folgende Mengen-Verteilung festgestellt:

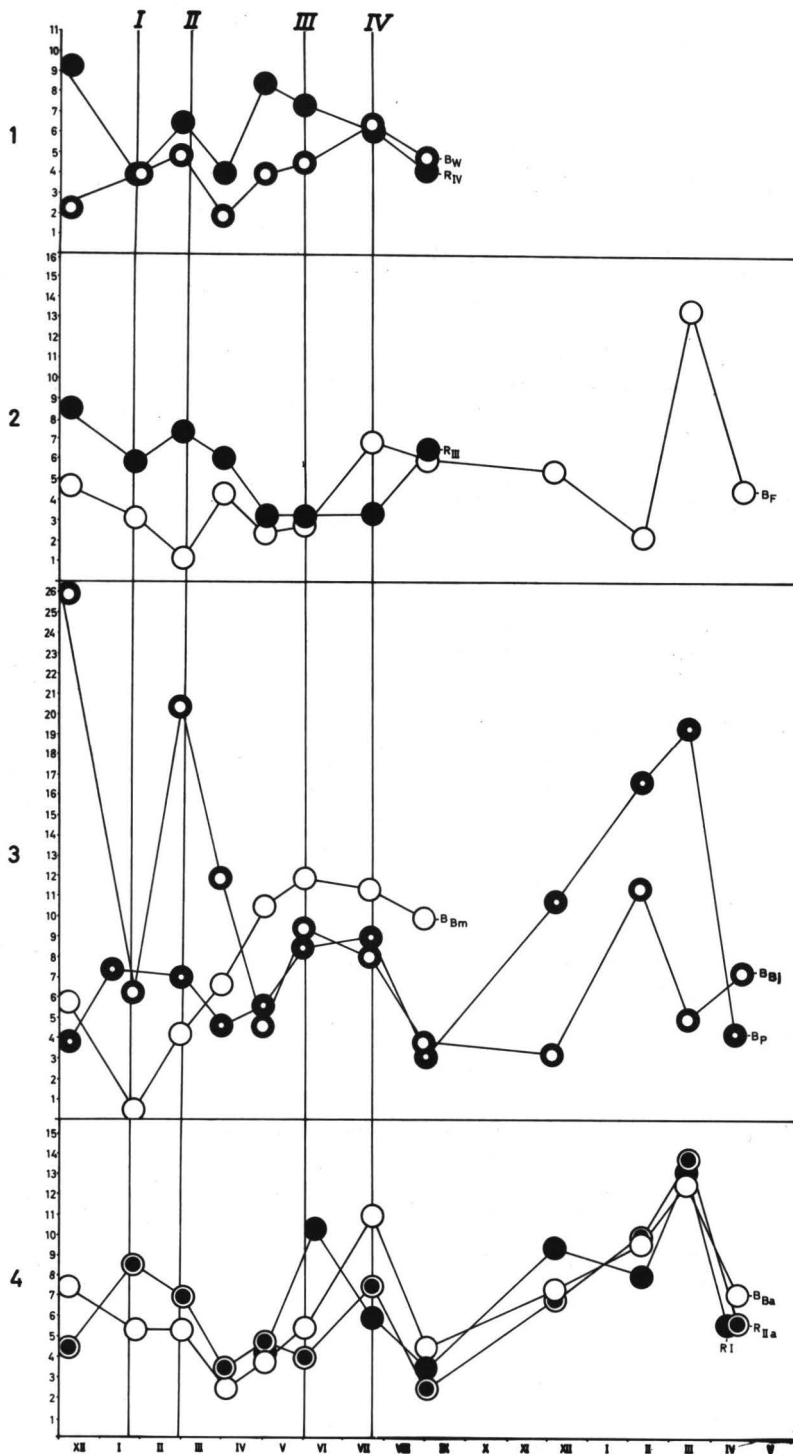
O ₁	42 000	(4 - 2 cm)
O _f	204 000	(2 - 0 cm)
A _h	140 000	(0 - 8 cm)
B _v	106 000	(8 - 15 cm)

In Abb. 3 ist der Jahresgang der Pilz-Keimzahlen dargestellt. Dazu sind die Profile in gleicher Weise wie bei den Bakterien geordnet (Tab. 2), obwohl die Übereinstimmung innerhalb der Gruppen nicht so gut ist und sich andere Zusammengehörigkeiten herauschälen. Die Temperatur-Optima sind wieder in Form von 4 Vertikal-Linien markiert.

Die erste Feststellung ist die, daß die witterungs-bedingten Amplituden der Kurven wesentlich schwächer als die der Bakterien sind. Man beachte hierzu die lineare Teilung der Ordinate. Dieser Befund liegt zweifellos in der gegenüber den Bakterien geringeren generativen Reaktions-Fähigkeit der Mikro-Pilze begründet.

Auf den ersten Blick zeigt sich auf der rechten Seite der Darstellung, daß alle Wald-Standorte - für die beiden Wiesen liegen keine Daten vor - unabhängig vom Bodentyp in einem annähernd normalen Jahreslauf (1968) das absolute Maximum ihrer Mikro-Pilz-Keimzahlen im ausgehenden Winter (Februar, März) haben. Die außergewöhnlichen Witterungsverhältnisse im Frühjahr 1967 können keinen Hinweis auf ein in anderen Jahren gleichsinniges Verhalten von Gras- und Wald-Land liefern. Die Kurve für die grasbewachsene

Abb.3: Keimzahlen der Mikro-Pilze in 10000 Stück /g Boden im Jahreslauf 1966 - 68



Schonung läßt jedoch vermuten, daß auch die Wiesen ein Vorfrühlings-Maximum der Mikro-Pilz-Keimzahlen besitzen.

Das Ausbleiben des Maximums im Februar/März 1967 muß auf die außergewöhnlich günstigen Witterungs-Bedingungen zurückgeführt werden, die das Bakterien-Leben enorm stimulierten. Bakterien-Entwicklung und Mikro-Pilz-Keimzahlen verlaufen zu dieser Zeit einander entgegengesetzt. Charakteristisch für diesen Umstand ist die ausgeprägte Depression der Profile B_W , B_F , B_{Bj} , B_{Bm} , B_{Ba} , also fast aller Sauer-Braunerde-Profile, auf der Optimums-Linie I vom Februar 1967, wo die Bakterien-Keimzahlen ihr erstes Maximum hatten.

Überraschend ist dagegen der Befund, daß alle Wald-Profile - unabhängig vom Bodentyp - ein in allen Fällen annähernd absolut gleich hohes - wenn auch gegenüber dem Winter geringeres - Keimzahlen-Maximum in der hochsommerlichen Temperatur-Optimums-Phase aufweisen, in der die Bakterien ebenfalls ihr Maximum haben.

Zu klären wäre die Frage, ob die Keimzahl-Schwankungen zugleich mit Veränderungen der Arten-Zusammensetzung verbunden sind oder ob die Sommer- und Winter-Maxima verschiedenen Arten-Kombinationen und Individuen-Zahlen entsprechen.

2.2.5.2 Arten-Liste der Mikro-Pilze

Die zuletzt gestellte Frage ist wegen des gewaltigen Arbeitsaufwandes und besonders der Schwierigkeiten der Spezies-Identifizierung kaum zu beantworten. Wir haben daher lediglich zu drei Jahreszeiten (November 1966, März und August 1967) Arten-Bestimmungen vorgenommen, um festzustellen, ob es standorts-spezifische Arten von Mikro-Pilzen gibt.

Eine Übersicht über die isolierten und bestimmten Arten gibt Tab. 4. Dazu ist zu bemerken, daß die für die einzelnen Profile angegebenen Arten-Zahlen nur für die Sauer-Braunerden annähernd vollständig sind, während bei den Rendsinen wegen geringer Häufigkeit zahlreicher Arten nur wenige häufiger vorkommende Arten bestimmt wurden. Erwartungsgemäß zeichnen sich nämlich die pH-neutralen Standorte (Rendsinen) bei gleicher Gesamt-Individuen-Zahl durch höhere Arten- und geringere Art-Individuen-Zahlen als die Sauer-Braunerden aus.

Wie die Tabelle zeigt, sind einige Pilze auf allen Standorten anzutreffen, so z. B. *Mortierella*-Arten und von den *Penicillien* *Pn. daleae* und *Pn. frequentans*.

pH-neutrale Umwelt-Verhältnisse bzw. (Gras-) Rhizosphären-Habitate fordert dagegen *Absidia spinosa*, welche außer in den Rendsinen auch an den grasreichen Standorten B_p , B_w und B_{Ba} vorkommt.

Als spezifisch für saure Standorte ist *Penicillium notatum* anzusehen. Der Unterschied zwischen den neutralen und sauren Standorten wird ferner durch die hohen *Penicillium*-Individuen-Zahlen bei ersteren betont.

Auch zwischen den Ober- und Unterböden einzelner Profile können erhebliche Unterschiede in der Arten-Kombination bestehen.

Das breiteste Arten-Spektrum aller Sauer-Braunerde-Profile zeigt der Fichten-Standort, an dem die Arten-Zahl von der Humus-Auflage zum A_h -Horizont von 5 auf 15 - 18 (darunter überwiegend *Penicillium*-Arten) zunimmt.

Tab. 4 Pilz-Arten-Spektrum

	R _I	R _{II}	R _{III}	B _F	B _{Bj} ¹	B _{Bj} ²	B _P ¹	B _P ²	B _{Bm}	B _{Ba}	B _W
Absidia spinosa	13	3	13	-	-	-	4	0,5	-	13	4
Mortierella sp.	9	11	9	15	8	28	6	6	24	12	24
Trichoderma koningi	1	1	2	2	4,5	2	4	3	-	8	-
Trichoderma lignorum	-	-	3	-	-	-	10	10	-	-	-
Trichoderma album	-	3	-	4	-	2	-	-	-	4,5	-
Phoma sp.	-	1	-	-	10	-	-	-	-	-	-
Zygorrhynchus sp.	-	-	-	-	-	-	3	2	-	-	-
Mucor sp.	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Monilia sp.	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
Dematiaceae sp.	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
Cephaloverticillium	-	-	-	4	-	-	2	-	-	-	-
Spicaria sp.	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Epicoccum sp.	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-
Aspergillus fumigatus	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Penicillium canescens	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Penicillium charlesii	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-
Penicillium chermesinum	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
Penicillium daleae	1	1	1	2	210	2	4	0,5	4	1	4
Penicillium frequentans	3	1	3	15	1	1	6	1,5	-	-	-
Penicillium granulatum	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
Penicillium janthinellum	-	-	-	2	-	-	-	-	2	-	2
Penicillium lilacinum	-	-	-	6,5	-	-	-	-	-	-	-
Penicillium melinii	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-
Penicillium nigricans	-	-	2	-	40	-	1	-	-	2	-
Penicillium notatum	-	-	-	10	34	18	14	-	-	-	2
Penicillium ochro-chloron	-	4	4	1	-	-	2	-	-	-	-
Penicillium paxilli	-	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Penicillium piscarium	-	2	8	2	29	6	-	-	8	2	8
Penicillium restrictum	-	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Penicillium roseo-purpureum	-	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-

Die Zahlen x 1 000 geben die ermittelten Keimzahlen pro 1 g Boden an.

2.3 MAKRO-PILZE

2.3.1 Überblick

Im vorausgegangenen Abschnitt wurde der Jahresgang der Keimzahlen von Bakterien, Aktinomyceten und Mikro-Pilzen in den Sauer-Braunerden und Rendsinen untersucht. Der modifizierende Einfluß der Vegetation erwies sich dabei meist als gravierender als der des Bodentyps. So reichen denn die gefundenen Unterschiede auch kaum aus, um als diagnostische Kriterien für die Unterscheidung dieser Bodentypen Verwendung finden zu können, geschweige denn die genetischen Differenzen zwischen den beiden visuell so unterschiedlichen Humus-Profilen zu erklären. Überhaupt hat sich bislang nur die unterschiedliche Regenwurm-Tätigkeit als biologisches Kriterium unterschiedlicher genetischer Voraussetzungen zu erkennen gegeben. Es bleibt nach wie vor nach denjenigen Organismen zu fahnden, die - vgl. Abb. 1, untere Hälfte - die Disproportionierung der organischen Stoffgruppen beim Abbau im Auflage-Humus bewirken und das biologische "Substanz-Filter" an der Grenzfläche Auflage-Humus/Mineral-Substrat darstellen, das z. B. dem Überwiegenden Teil der streubürtigen Oxyphenole den Eintritt in das Solum verwehrt.

Die zu allen Jahreszeiten an den verschiedenen Vergleichs-Standorten durchgeführten mikro-morphologischen Beobachtungen lehrten uns, daß die Rolle des biochemischen Desintegrators und Differentiators in der Auflage-Humus-Decke von Sauer-Braunerden, Podsol-Braunerden usw. wohl in erster Linie von den höheren Pilzen, hier besonders den Basidiomyceten, gespielt wird. Da sich diese zumeist infolge zeitlich stark wechselnder, ungleichmäßiger Verteilung in der Horizontalen und Vertikalen und auch infolge ihrer Größe der quantitativen mikrobiologischen Erfassung entziehen und eher der makroskopischen Messung und Bestimmung zugänglich sind, sei diese Organismen-Gruppe im folgenden kurz als "Makro-Pilze" bezeichnet.

Ihre Anwesenheit im Auflage-Humus und der Streuschicht der Sauer-Braunerden ist an den Rhizomorphen zu erkennen. Diese durchziehen, wenn die jahreszeitlichen Witterungs-Bedingungen günstig sind und die Mycelien auf ihrer "Wanderung" zusammenhängende dickere, möglichst holzreiche Streu-Auflagen vorfinden, die ganze Humus-Auflage wie ein Netz. Durch geschicktes Freilegen und Anheben einzelner Rhizomorphen kann man mitunter bis zu Quadratmeter große Ausschnitte dieses Netzes aus der Auflage herausheben und ausschütteln. Die "Knoten" eines solchen Netzes werden meist von Holzstücken (Zweigen, Ästen) gebildet. Die den Auflage-Humus und die Streu durchziehenden Hyphen zeigen häufig eine Vorliebe, sich zentripetal auf frisch in den O-Horizont inkorporierte Holzstücke hinzuziehen, die sie in wenigen Wochen unter Lignin-Zerstörung weißfaul werden lassen. Das Verlassen des Holzes geschieht dann wieder unter "strahliger" Ausbreitung in die Streu hinein. Mitunter sind selbst fingerdicke Zweigstücke, von denen nur noch die Borke erhalten ist, vollkommen durch Rhizomorphe ausgefüllt. Häufig sind die Holzstücke dann auch die Träger der Fruchtkörper. Wir konnten freie Rhizomorphe von maximal 0,8 cm Durchmesser und 10 m Länge feststellen.

Außer der Erzeugung von Weißfäule in Holzstückchen ist die Abbau-Wirkung der Makro-Pilze besonders in der weißlichen Bleichung des braunen Laubes zu erkennen (Abbau oxyphenolischer Blatt-Bräunungsstoffe), der dann ein bakterieller Abbau (Cellulose-Abbau) folgt. Innerhalb weniger Wochen kann es so zu einer totalen Zerstörung der Blattstreu kommen.

2.3.2 Horizontale und zeitliche Diskontinuität

So überzeugend sich diese Wirksamkeit der Makro-Pilze beim Streu- und Auflage-Humus-Abbau stellenweise zu erkennen gibt, so schwer ist es, sie auch messend und bestimmend zu verfolgen.

Vorweg bemerkt sei, daß sie auf den von uns in den Vergleich einbezogenen Rendsinen fast völlig fehlte. Die Schwierigkeit der quantitativen Erfassung liegt einmal darin, daß die Mycelien und Rhizomorphen "vagieren", d.h. an Stellen mit Massen-Verbreitung bereits unmittelbar während und nach dem herbstlichen Laubfall die gesamte Streu und auch noch vorhandene Reste der älteren Laub-Streu und des O_f - und O_h -Horizontes abbauen, während sie andere Stellen aussparen und erst nach 2 oder 3 Jahren für den Abbau erschließen. Dieser Umstand wurde bei flächenhaften Freilegungen deutlich, die wir im Winter 1967/68 durchführten. Er erklärt die Tatsache, daß an den meisten unserer niedersächsischen Sauer-Braunerde-Standorte die O_{12} -Schicht, d.h. die unter der Letztjahres-Streu gelegene Vorjahres-Streu selten zusammenhängend ist und nur eine mosaikhafte Flächen-Bedeckung aufweist.

Wir glauben aus unseren Beobachtungen folgenden Schluß ziehen zu können: In Fällen, wo unter der Letztjahres-Streu die Vorjahres-Streu noch etwa 50 % der Oberfläche bedeckt und sogar noch Reste von Vorletztjahres-Streu vorhanden sind, ist die Tätigkeit der Makro-Pilze so weit reduziert, daß sie nur in einem 2-3-jährigen Turnus die Gesamt-Fläche "überstreichen". Das heißt, der Abbau des Auflage-Humus ist zum Zeitpunkt maximaler pilzlicher Aktivität nicht an allen Stellen des Waldbodens gleichzeitig gleich stark. Vielmehr erfährt der Abbau der Streu und des Auflage-Humus an einer bestimmten Stelle nur einmal

innerhalb von 2 oder 3 Jahren eine Forcierung, wenn sie von den "vagierenden" Makro-Pilzen erreicht wird und diesen günstige Entwicklungs-Möglichkeiten (z.B. durch inzwischen erfolgte Akkumulation größerer Streu- und Auflage-Humus-Mengen) bietet. So scheint sich in der Analyse der Kontinenz älterer Streu-Schichten ein - allerdings noch näher zu überprüfender - Maßstab für die standortspezifische Aktivität der Makro-Pilze anzubieten.

In der schematischen Abb. 1 haben wir für die Sauer-Braunerde ein Beispiel gewählt, bei dem der Angriff der Makro-Pilze erst im 2. Jahr stattfindet. Bei den meisten unserer Sauer-Braunerden höherer Lagen scheint das der Fall zu sein. In den von uns untersuchten Sauer-Braunerden tieferer Lagen war dagegen sehr häufig schon unmittelbar nach dem Laubfall eine extreme Makro-Pilz-Aktivität zu beobachten, die den ganzen Winter über, also auch unter der Schneedecke, anhielt. Die oberste Blattlage dient dabei als Verdunstungs- und Strahlungs-Schutz und sehr häufig ist bereits die zweitoberste Blattlage in die Bleichungs-Prozesse einbezogen. Mitunter kann an Stellen mit zusammengewehtem Laub die von einem einzigen Mycel-Komplex ausgehende Verfilzung und Bleichung den gesamten Auflage-Humus mit 20 und mehr Blattlagen mit einem Schlag bleichen und mazerieren. Dabei ist häufig auch ein Übergreifen der Rhizomorphen auf den A_n -Horizont zu beobachten.

2.3.3 Vertikale und zeitliche Diskontinuität

Die letzte Beobachtung scheint uns insofern wichtig, als sie uns den Hinweis gibt, daß der Abbau der bereits in das Solum gelangten Huminstoffe unter sauren Bedingungen ebenfalls durch die Makro-Pilze bewerkstelligt werden kann und daß die in den Sauer-Braunerden fehlende Aus-

bildung dunkler Mull-A-Horizonte eine Folge starker makropilzlicher Aktivität auch innerhalb des Mineral-Körpers des Bodens ist. Hierzu konnten wir in den vergangenen Jahren mehrere Beobachtungen sammeln.

So fiel bei unseren Sauer-Braunerden folgendes auf: War durch irgendeinen Zufall dunkles O_h -Material auf Wurzel- oder Wurm-Gängen tiefer in das saure Mineral-Substrat gelangt, so vollzog sich in kürzester Zeit eine Mycel-Umwucherung dieser Inklusionen. Die dunklen Füllungen hellten fleckig auf und waren schon nach Jahres-Frist nahezu völlig verschwunden. Zu diesen Phänomenen gehört auch die weitverbreitete fleckige Aufhellung dunkler Mull-A-Horizonte, wenn diese unter den Einfluß saurer Auflagehumus-Decken geraten. Dies gilt z.B. für saure Braunerden mit Wiesen-Mull nach der Aufforstung mit Laub- und Nadel-Hölzern, aber auch für feincarbonat-freie Schwarzerden und Rendsinen. Wir haben den Eindruck, daß die gegenwärtig praktizierte "Wuchsstoff-Durchforstung" von Laubholz-Jungbeständen, bei der sehr viel pilz-befallenes Totholz auf den Waldboden gelangt, die phenoloxydase-aktive Pilz-Flora außerordentlich stimuliert. So fanden wir im Göttinger Wald noch Restkalk-haltige 25 cm starke Mull-Rendsina-A-Horizonte, die - ausgehend von Stamm-Stücken - hexenring-artig angeordnete Bleichungs-Flecken aufwiesen. In diesen Flecken war die Mineral-Substanz der Rendsina-A-Horizonte bis auf den anstehenden Kalkstein hinunter völlig von dunklen Humus-Substanzen befreit und hatte nur noch ihre gelb-grauen Eigenfarben. Einige dieser Flecken waren bis auf den Kalk hinunter völlig mit Pilz-Hyphen durchsetzt.

2.3.4 Arten-Bestimmung

Leider gesellt sich zu der Schwierigkeit der quantitativen Erfassung der Makro-Pilz-Tätigkeit noch die Schwierigkeit der Arten-Bestimmung, da es nur selten gelingt, Mycel- oder Rhizomorphen-Stücke in vitro zur Fruktifikation zu bringen. Es wurde daher so vorgegangen, daß zu den einzelnen Jahreszeiten Arten-Bestimmungen an den hervorkommenden Fruchtkörpern durchgeführt und die Lokalisierung der zugehörigen Hyphen und Rhizomorphen vorgenommen wurden. Eine Übersicht über die Befunde ist in Tab. 5

wiedergegeben. Die Arten-Anordnung ist so vorgenommen, daß wir die "Streu-Sitzer" von den "Mineral-Substrat-Sitzern" und den "Holz-Sitzern" getrennt haben, d. h. solche Arten, deren Mycelien sich vorwiegend in der Laub- und Humus-Auflage aufhalten von solchen Arten, deren Mycelien tiefer in den A_h -Horizont hineingehen und von solchen Arten, die vorwiegend an Holzreste gebunden sind. Ferner wurden die als Mykorrhiza-Pilze (20) angetroffenen gesondert gekennzeichnet. Die Fähigkeit zur Laub-Aufhellung (Auflage-Humus-Aufhellung) wird in der Tabelle durch Kreuze markiert.

2.3.5 Mykorrhizen

Beobachtungen am Standort B_{Bj} lassen vermuten, daß neben den freilebenden Basidiomyceten auch den Mykorrhiza-Pilzen eine - eventuell gleichrangige - Bedeutung zukommt. Ähnlich wie die Mycel-Stränge durchziehen die zur Mykorrhiza umgewandelten flachgehenden Buchenwurzeln die obersten Abschnitte des Mineral-Substrates und helfen den Bäumen bei der Erschließung von Nährstoffen. Während die Rhizomorphen praktisch nur auf die sauren Standorte beschränkt sind, haben die Mykorrhizen eine wohl ebenso starke Verbreitung an neutralen wie sauren Standorten.

Tab. 5 Liste der Arten, Habitate und Abbau-Wirkung von Makro-Pilzen auf Sauer-Braunerden bei Göttingen. (Die mit B_{Bj} gekennzeichneten Arten sind am Buchen-Standort B_{Bj} vertreten, die mit B_F gekennzeichneten am Fichten-Standort B_F, mit My sind die Mykorrhiza-Bildner gekennzeichnet).

STREU-SITZER

			Monate 1968
Agaricus silvicola		+++	(IX - XII)
Collybia peronata		+++	(IX - XII)
Marasmius sp.		+++	(IX - XII)
Marasmius prasioemus	B _{Bj}	+++	(IX - XII)
Clitocybe sp. (langei, vibecina, bicolor, brumalis)	B _{Bj}	+++	(IX - XII)
Clitocybe nebularis	B _{Bj}	+	(IX - XII)
Tricholomopsis platyphylla	B _{Bj}	+	(VII- XI)
Phallus impudicus	B _{Bj}	+	(VIII-XII)
Fomes annosus (Fichtenstreu)	B _F	+	
Tyromyces caesius	B _F	+	
Paxillus involutus	B _F	+	

Tricholomopsis platyphylla und Phallus impudicus bildeten im August/September die Hauptmasse der Streu-Rhizomorphen bei B_{Bj}.

MINERAL-SUBSTRAT-SITZER

Russula cyanoxantha	My	B _{Bj}	(IX - XII)
Russula nigricans			(IX - XII)
Russula vesca	My	B _{Bj}	(IX - XII)
Russula mairei		B _{Bj}	(IX - XII)
Stropharia aeruginosa (Huminstoff-Abbau in vitro)		B _{Bj}	(IX - XII)
Lycoperdon pyriforme (auch Holz-Sitzer)		B _{Bj}	(IX - XII)
Lycoperdon perlatum (auch Holz-Sitzer)		B _{Bj}	(IX - XII)

Hygrophorus (Limacium) eburneus	B _{Bj}	(IX - XII)
Collybia radicata	B _{Bj}	(IX - XII)
Lactarius piperatus	B _{Bj}	(IX - XII)
Lactarius pallidus		(VII - XI)
Clitocybe geotropa*	B _{Bj}	(IX - XII)
Cantharellus tubaeformis		(IX - XII)
Cantharellus cornicopioides		(IX - XII)
Cantharellus cibarius		(IX - XI)
Coprinus atromentarius		(IX - XII)
Tricholoma virgatum		(IX - XII)
Phallus impudicus (s. auch Streu-Sitzer)		(VII - XI)
Amanita rubescens	My	(VIII- XI)
Amanita citrina	My	(VIII- XI)
Amanita vaginata		(VIII- XI)
Boletus edulis	My	(VIII- XI)
Xerocomus submentosus	My	(IX - XI)

* Clitocybe geotropa kam als einziger auch an der Rend-sina R₁, tief im Mull-A₁ sitzend, vor. Nach BECK (4) bildet er in Schwarzerde unter Wald Hexenringe, die sehr alt werden können.

HOLZ-SITZER

Hypholoma fasciculare	B _{Bj}	(IX - XII)
Hypholoma sublateralitium		
Pholiota mutabilis	B _{Bj}	(IX - XII)
Xylaria hypoxylon	B _{Bj}	
Coryne sarcoides		
Schizophyllum commune		
Armillaria mellea		
Bjerkandera (Polyporus) adustus		
Polyporus adustus		
Panellus serotinus		
Ganoderma lucidum	B _{Bj}	
Xylaria polymorpha	B _{Bj}	

Marasmius ramealis
Tremella mesenteria

B_{Bj}
B_{Bj}

Trametes gibbosa, diversicolor, hirsuta sind nicht eigentliche Boden-Holz-Sitzer, sondern hypergäische Holz-Bewohner, die mit dem abfallenden Holz zu Boden gelangen.

2.3.6 Ausblicke

Die Tabelle ist nur als ein erster Ansatz zur ökologischen und humus-genetischen Ordnung gedacht, der noch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, zumal mehrere der starken Laub- und Nadel-Bleicher in Ermangelung von Fruchtkörpern noch nicht bestimmt werden konnten. Es ergibt sich hieraus die Forderung, weitere, über Jahre reichende Beobachtungen zu sammeln. Wir haben in der Tabelle besonderen Wert auf die im Spätherbst aktiven Basidiomyceten gelegt. Die angeführten Streu-Sitzer wurden fast alle als starke Laub-Bleicher identifiziert, die bis Ende November an den Orten ihres Auftretens (Fruchtkörper-Bildung) die einen Monat alte Laubstreu bis unter die oberste Blattlage völlig gebleicht hatten, selbst wenn die Laubstreu-Lage bis zu 7 cm stark war. Der Radius solcher Bleich-Stellen konnte dabei bis maximal 80 cm betragen.

Zusammenfassend läßt sich die Bedeutung der Makro-Pilze vielleicht so charakterisieren, daß sie für die Sauer-Braunerden - wenn auch in völlig anderem Sinne - das sind, was für die Rendsinen die Lumbriciden: die wegbereitenden und die Stoff-Umsetzung der organischen Substanz damit in bestimmte Richtungen lenkenden dominierenden Vertreter des oberflächlichen Edaphons.

2.4 UMSATZ-MESSUNGEN

Im vorangegangenen Abschnitt wurde die Zahl der Mikro-Organismen des Bodens untersucht und ein Überblick über die Makro-Organismen gegeben.

Die gefundenen Zahlen lassen zwar gewisse Tendenzen des biologischen Umsatzes vermuten, doch ist es sehr riskant, quantitative Beziehungen zwischen Keimzahlen und Umsatz-Quoten der organischen Substanz herzustellen, ohne die letzteren zu messen.

Aus diesem Grund stellten wir eine Reihe von Umsatz-Messungen an den einzelnen Standorten und in vitro an, über die in diesem Absatz berichtet wird.

An Abbau-Test-Substanzen wurden im Hinblick auf die in Abb. 1 dargestellten Differenzierungs-Vorgänge der organischen Streusubstanz gewählt:

- a) Cellulose, in Form von Filtrier-Papier,
- b) Schwarzerde-A-Horizont-Feinsterde als Modell-Substanz für Humat-Ton-Komplexe,
- c) Lignin, in Form von rotfaulem Buchenholz.

Daneben wurden im Labor nach der Methode ISERMEYER (14) biologische Aktivitäts-Messungen über CO_2 -Entbindung - mit und ohne Zusatz von Stärke als Testsubstanz - durchgeführt.

2.4.1 Cellulose-Abbau

Methode: a) Vertikal-Einbringung der Testsubstanz (modifiziert nach UNGER (28): Filtrier-Papier-Streifen (27 x 5 cm) werden 4 h bei 60°C getrocknet, gewogen, in flache Beutel aus Trevira-Gardinenstoff mit 2 mm Maschenweite eingenäht und vertikal durch einen Bandeisen-Einstich in den Boden eingelegt. Nach Ablauf der Testzeit

wird der Beutel entnommen und an der Luft getrocknet. Der Beutel wird aufgeschnitten, das Filtrier-Papier in Abschnitte beliebiger Länge zerschnitten, in Glühtiegel gebracht, 4 h bei 60°C getrocknet, gewogen, bei 800°C geglüht und wieder gewogen. Man errechnet den Glüh-Verlust der Probe, subtrahiert (wenn nötig) den auf die Asche des verunreinigenden Bodens entfallenden Glüh-Verlust und erhält so die Abbau-Verluste der Cellulose-Testsubstanz.

b) Horizontal-Einbringung: Zerrissenes Filtrier-Papier wird wie oben getrocknet und gewogen und in einen mit Trevira-Gaze bespannten Kunststoff-Ring gestopft, der einen Durchmesser von 8 cm und eine Höhe von 0,5 cm hat. Dieser etwa blattgroße Ring wird horizontal auf die Grenzfläche Humus-Auflage/Mineral-Substrat gelegt, bzw. senkrecht in den oberen Abschnitt des Mineral-Substrates gesteckt.

Ergebnisse: Abbau-Versuch I lief in der Zeit vom 28.8. - 25.10.1967 über einen Zeitraum von 8 Wochen, also in einer Zeit, in der sich die Tätigkeit der Bakterien, Aktinomyceten und Mikro-Pilze nach den früh- und hochsommerlichen Phasen maximaler Abbau-Tätigkeit an allen Standorten in ihrer spätsommerlichen Depression befand.

Tab. 6 Cellulose-Abbau-Versuch I

Tiefe (cm)	R _I	R _{II}	B _F	B _{Bj}	B _P
0 - 13,5	63	60	24	35	100
13,5 - 27,0	52	59	19	10	39

Die Zahlen geben die abgebauten Cellulose-Mengen in Prozent der Ausgangs-Menge an.

Auffallend ist a) der unterschiedliche Umsatz an den einzelnen Standorten und b) der unterschiedliche Tiefen-Gradient des Abbaues. Bei den Rendsinen wird die Cellulose in allen Tiefen des A-Horizontes bis herunter

zur Kalkstein-Unterlage zu ca. 60% abgebaut. Bei den Sauer-Braunerden gibt sich dagegen ein ausgesprochener Tiefen-Gradient mit starker Reduzierung des Abbaues unterhalb 13,5 cm zu erkennen.

Die Rendsinen verhalten sich mit ihrer relativ geringen Abbau-Rate von nur 60% überraschend inaktiv, wenn man bedenkt, daß diese Standorte aufgrund ihrer generell hohen Bakterien- und Aktinomyceten-Keimzahlen eigentlich schneller reagieren müßten. Betrachtet man jedoch die zu dieser Zeit ermittelten Keimzahlen, so entspricht die niedrige Abbau-Quote dem niedrigen Niveau der Bakterien-Keimzahlen dieser Monate. Die grasbestandene Sauer-Braunerde B_P zeigt im Bereich ihrer Gras-Rhizosphäre (0 - 13,5 cm) einen maximalen Abbau von 100%, während in 13,5 bis 27 cm Tiefe - ähnlich den übrigen Sauer-Braunerden - der Abbau auf 39% zurückgeht.

Das Fehlen der Kraut- und Grasschicht macht sich an den Standorten B_F und B_{Bj} insofern bemerkbar, als diese in der oberen Schicht nur 24 bzw. 35% der Cellulose abbauen. In den tieferen Abschnitten, wo der Abbau nur noch 19 bzw. 10% beträgt, können die Filtrier-Papier-Streifen fast unversehrt aus dem Boden geholt werden.

Abbau-Versuch II stellt eine Wiederholung des ersten Abbau-Versuches dar, wurde aber in der Zeit vom 19.1. bis 17.5.1968 durchgeführt, also ebenfalls in einer Depressions-Phase, in der die Bakterien-Keimzahlen - wie das in Normal-Jahren der Fall ist - ihr Winter- und Vorfrühlings-Minimum durchlaufen.

Tab. 7 Cellulose-Abbau-Versuch II

Tiefe (cm)	R_I	R_{II}	B_F	B_{Bj}	B_P
0 - 13,5	29	51	18	24	34
13,5 - 27,0	12	13	21	2	26

Die Zahlen geben die abgebauten Cellulose-Mengen in Prozent der Ausgangs-Menge an.

In dieser Test-Periode zeigt sich bei den Sauer-Braun-erden B_F und B_{Bj} kaum ein Unterschied gegenüber dem Herbst, dagegen bei den Rendsinen und bei der begrastten Pflanzung B_P eine erhebliche Abbau-Depression im Oberboden. Diese Abbau-Depression ist bei der mit einer geschlossenen starken Krautschicht von Frühlings-Blüthern bedeckten Rendsina R_{II} unter Buchen-Altbestand am geringsten. Überraschend ist jedoch die Tatsache, daß jetzt die beiden Rendsina-Profile einen Tiefen-Gradienten des Cellulose-Abbaues aufweisen. Dieser Befund ist so zu erklären: Die Lumbriciden entfalten erst im Anschluß an die Test-Periode ihre den A-Horizont homogenisierende und die organische Tiefen-Düngung bewerkstelligende Tätigkeit. Diese Homogenität war bei den Umsetzungen im Spätsommer noch klar vorhanden. Im Laufe des Herbstes und Winters verliert sich jedoch die im Frühling und Sommer erzeugte Homogenität, und der A_h -Horizont der Rendsinen nimmt zugleich mit Erschöpfung der organischen Tiefen-Düngung wieder eine Gradienten-Verteilung seiner Mikroflora und damit auch seines Umsatz-Potentials ein.

Die Untersuchungen mit dieser leicht zu handhabenden Methode zeigen deutlich die unterschiedlichen Umsetzungsverhältnisse der beiden Bodentypen. Die Darstellung des Abbau-Weges unseres Buchen-Blattes (Abb. 1) findet hier eine Untermauerung: In den Rendsinen herrscht in den gesamten oberen 30 cm eine den Sommer über gleichbleibende biologische Abbau-Aktivität, während bei den Sauer-Braun-erden nur in den obersten Zentimetern Abbau-Leistungen zu erkennen sind. Einen Hinweis auf die völlig andersartigen intensiven Umsetzungen, die unter Grasnarben stattfinden, liefert der durch üppige Gras-Vegetation beeinflusste Standort B_P , der im Bereich der Rhizosphäre eine gegenüber allen Wald-Profilen gesteigerte biologische Aktivität erkennen läßt.

Bei allen 3 Sauer-Braunerde-Standorten ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen der Abnahme der Bakterien-Keimzahlen in tieferen Bodenschichten und den Abbau-Profilgradienten.

Abbau-Versuch III: Die mit Cellulose gefüllten Kunststoff-Ringe wurden vom 3.6. 1967 bis zum 30.11. 1968 an der Grenzschicht Mineral-Substrat/Auflage-Humus und im Mineral-Substrat belassen. Nach anfänglichen Kontakt-Schwierigkeiten in der spätsommerlichen Trockenphase war an allen Standorten nach 18 Monaten keine Spur der eingebrachten Cellulose mehr vorhanden.

2.4.2 Boden-Humat-Abbau

Methode: Mit HCl schonend bei $\text{pH} > 4,5$ entkalkter Schwarzerde-Mull-A-Horizont wurde naß abgesiebt ($< 63 \mu$), gefriergetrocknet und in Aggregat-Größen von 20 - 60 μ Durchmesser gebracht. Diese Testsubstanz hat ein pH in H_2O von 6,5 - 7,0 und einen Humusgehalt ($\text{C} \times 1,724$) von 5%, ist also niedriger als der der Rendsinen. Die Substanz wird in die mit Trevira-Gaze bespannten und auf der Unterseite mit Glasfilter-Papier abgedichteten Kunststoff-Ringe (8 cm Durchmesser, 0,5 cm Höhe) gefüllt. Diese werden horizontal in die Grenzfläche Mineral-Substrat/Auflage-Humus gelegt. Nach Ablauf der Testzeit wird die Testerde aus den Ringen genommen, durch Naßsiebung ($< 63 \mu$) von Wurzeln, Mykorrhiza-Wurzeln, Rhizomorphen etc. befreit, getrocknet und der C-Analyse unterworfen. Die Differenz gegenüber dem Ausgangs-C-Gehalt ergibt die abgebaute Humus-Menge.

Ergebnisse: Wie der Cellulose-Versuch III lief auch dieser Versuch über 18 Monate (vom 3.6.1967 - 30.11.1968). Nach Ablauf dieser Zeit waren die in Tab. 8 dargestellten Abbau-Verluste eingetreten.

Tab. 8 Abbau-Versuch mit Boden-Humaten

	R _{II}	B _F	B _{Bj}	B _P
Ausgangs-Humusgehalt	5,0	5,0	5,0	5,0
Humusgehalt nach 18 Monaten	4,55	5,05	4,26	4,72
Verlust	0,45!	-	0,74 !	0,28

Die Zahlen geben den Humusgehalt bzw. -Verlust in Prozent des Testbodens an.

Keine Veränderung im Humusgehalt zeigt die Sauer-Braunerde unter Fichte B_F. Auch makroskopisch war an den hier eingebrachten 10 Parallel-Proben weder eine Durchwurzelung noch ein sonstiges Zeichen biologischer Aktivität erkennbar. Dies deckt sich mit den geringen Quoten des Cellulose-Abbaues an diesem Standort.

Den stärksten Abbau zeigt erwartungsgemäß die Sauer-Braunerde unter Buche, B_{Bj}, mit 0,74%. Fünf von den zehn eingebrachten Proben zeigten eine starke bis sehr starke Durchdringung mit mykorrhisierten Buchenwurzeln. Da diese stark durchwurzelten Proben die gleiche Abnahme im Humusgehalt aufwiesen wie die nicht durchwurzelten, müssen an dem eingetretenen Abbau auch die bei diesem Versuch nicht ausgezählten Mikro-Pilze und Bakterien beteiligt sein. Dabei ist zu berücksichtigen, daß mit den eingebrachten Proben auch ein gleichzeitiges reichhaltiges Nährstoff-Angebot erfolgte, und daß die Mikroflora aus dem nährstoffreichen Schwarzerde-Mull offensichtlich Nährstoffe metabolisieren konnte. Warum dies nicht an Standort B_P möglich war, kann noch nicht erklärt werden.

Die am grasbewachsenen Sauer-Braunerde-Standort B_P eingebrachten Proben waren sämtlich stark bis extrem stark vom Gras und von Pilz-Hyphen durchwurzelt und verfilzt. Die

Abnahme des Humusgehaltes beträgt aber nur 0,28%. Diese Abnahme erscheint gering gegenüber der 0,45 % betragenden Abnahme der eutrophen Rendsina, was überraschend ist, da die eingebrachten Humat-Proben nicht "artfremd" sind und einen geringeren Humusgehalt als die Rendsina haben. Die Abbau-Quote erscheint deshalb besonders hoch, weil man erwarten dürfte, daß an diesem Standort die Lebens-Bedingungen für die Mikroflora optimal sind und diese auf leichter metabolisierbare Substanzen zurückgreifen könnte. Vermutlich spielt auch hier wieder die Zufuhr von Nährstoffen (Mikro-Nährstoffen ?) eine Rolle. Vielleicht sind aber auch durch die Vorbehandlung der Proben (Entkalkung, Naßsiegung) den Abbau hemmende Faktoren beseitigt worden, was gegenüber den Rendsina-Humaten einen bevorzugten Abbau der eingebrachten Huminstoffe zur Folge gehabt hat.

An den Test-Proben der Rendsina wurden nur in 2 oder 3 Fällen Durchwurzelungen beobachtet.

2.4.3 Lignin-Abbau

Methode: Als Testsubstanz wurde rotfaules, schon völlig Cellulose-freies Buchenholz verwendet, das gemahlen wurde und - wie in den Abbau-Versuchen mit Boden-Humaten - in mit Trevira-Gaze bespannte und mit Glasfilter-Papier ausgelegte Proben-Ringe gefüllt wurde. - In Parallel-Ansätzen wurden auch Lignin-Tabletten (pellets) gepreßt und in feine Gaze-Streifen eingenäht. Diese Pellets waren jedoch nach 12 Monaten Verweil-Dauer im Boden intakt wie am Tage der Einbringung, so daß auf dieses Verfahren verzichtet wurde.

Ergebnisse: Bei der Herausnahme der Lignin-Ringe nach 18 Monaten zeigte sich, daß die Gewichts-Abnahme außerordentlich gering war. Da es keine weiteren gravimetrischen oder sonstigen feineren Meßverfahren gab, um die Abbau-Quoten quantitativ zu erfassen, sollen im folgenden nur die makroskopisch feststellbaren Befunde mitgeteilt werden:

An den Standorten der Rendsina R_{II} und der Sauer-Braunerde B_F waren die Lignin-Ringe völlig unberührt.

Bei der Sauer-Braunerde B_{Bj} unter Buchen-Jungwald wurde in 2 von 10 Fällen eine Durchdringung der Ringe mit mykorrhisierten Buchen-Wurzeln festgestellt.

In der begrasten Sauer-Braunerde B_P waren die Lignin-Proben ebenso durchwurzelt wie die Schwarzerde-Humat-Test-Proben. Auch hier scheint das Bestreben der Vegetation an den oligotrophen Sauer-Braunerde-Standorten (außer im Fichtenwald) darin zu bestehen, sich die gleichzeitig mit der Testsubstanz in den Test-Ringen eingebrachten Nährstoffe zu erschließen.

2.4.4 "Boden-Atmung"

Methode: Die Messung der CO₂-Abgabe als Ausdruck der "Biologischen Aktivität" erfolgte in Anlehnung an ISER-MEYER (14): 100 g feuchter Boden aus dem A_h, < 2 mm, werden mit Wasser-Mengen in Höhe von 60 - 70 % der WK_{max} in 1 Liter-Weckgläser eingewogen. Auf den Weckglas-Boden wird ein 50 ml Becherglas mit 10 ml 0,2 n NaOH gesetzt. Die geschlossenen Weckgläser werden bei 25°C gehalten. Die Titration der NaOH erfolgt täglich (versetzen mit 1 ml 50%-iger BaCl₂ und 2 - 3 Tropfen Phenolphthalein, titrieren mit 0,2 n HCl; 1 ml verbrauchte 0,2 n NaOH = 4,4 mg CO₂).

Ergebnisse: Die CO₂-Messungen liefen über eine Zeit von 53 Tagen. Die entbundenen CO₂-Mengen sanken bei allen Proben in den ersten 25 Tagen auf die Hälfte ihres Anfangs-Wertes ab und blieben dann für den Rest der Zeit annähernd konstant. Die Rendsinen hatten durchweg die doppelten täglichen Entbindungs-Raten wie die Sauer-Braunerden. Sie begannen mit etwa 12 mg CO₂ pro Tag und 100 g Boden. Die Sauer-Braunerden zeigten - unabhängig von der Pflanzen-Decke - eine gleich niedrige CO₂-Entbindung.

Die Abbau-Versuche mit Testsubstanzen hatten ergeben, daß die verschiedenen Standorte in ihrer biologischen Abbau-Aktivität unterschiedlich stark und rasch auf die Zugabe von organischen Substanzen reagieren. Um diese Erscheinung auch in vitro zu kontrollieren, wurden die biologischen Aktivitäts-Messungen über CO_2 auch unter Zusatz von Stärke durchgeführt: Dazu wurden 0,5 g lösliche Stärke in Wasser suspendiert und den Boden-Proben zu Beginn des Versuches zugesetzt. Es wurden dann die entbundenen CO_2 -Mengen wie oben bestimmt. Die gleichzeitig in den stärkefreien Parallelen gemessenen CO_2 -Mengen wurden subtrahiert. Tab. 9 gibt an, wieviel Prozent der zugefügten Stärke nach bestimmten Meß-Perioden abgebaut worden sind (0,5 g Stärke = 0,73 g CO_2).

Tab. 9 Stärke-Abbau in Prozent der zugeführten Stärke-Menge

Pentade	RENDSENSINA		S A U E R - B R A U N E R D E N		
	Buche, jung		Fichte	Buche, j.	Gras/Schonung
1.	70	} 81	31	22	26
2.	11		21	20	19
3.	6		8	6	8
4.	8		6	5	8
5.	7		6	3	5
6.	9		7	6	8
7.	7		5	8	8
8.	5		4	7	4
9.	5		4	6	6
10.	4		4	4	4
50 Tage	132		96	87	97

Aus der Tabelle wird die rasche biologische Reaktion der Rendsinen deutlich, die nach 10 Tagen bereits 81% der zugeführte Stärke abgebaut haben. Die Sauer-Braunerden

verhalten sich - wie bereits bei den Atmungs-Versuchen sichtbar - übereinstimmend, was bei ihrer recht unterschiedlichen Vegetation und der unterschiedlichen Zusammensetzung der Mikroflora überrascht.

Wir haben hier nach den Regenwürmern, den Makro-Pilzen und den Tiefen-Gradienten des Cellulose-Abbaues wieder ein biologisches Kriterium, das eindeutig an den Bodentyp gebunden ist. Offensichtlich ist die Mikroflora in den A_h-Horizonten der Sauer-Braunerden - infolge Fehlens einer Inkorporation stärkehaltiger organischer Körper in das Mineral-Substrat - nicht so zusammengesetzt und befähigt, daß sie auf die Zufuhr von Stärke mit einer raschen Forcierung des Abbaues antworten kann.

Im Hinblick auf den Abbau von Boden-Humus ist die Tatsache interessant, daß in der Rendsina - angeregt durch die Stärke-Zugabe - ein verstärkter Abbau des Boden-Humus stattfindet (siehe 132% nach 50 Tagen).

2.4.5 Harnsäure-Abbau

Bei den in dieser Arbeit angestellten Betrachtungen wurde nur den Regenwürmern, nicht aber den übrigen Vertretern der Meso- und Makro-Fauna Beachtung geschenkt. Auch diese haben im Hinblick auf die Aufbereitungs- und Vermischungsvorgänge erhebliche Bedeutung, sie sind aber nicht oder nur schwer in zeitaufwendigen Auszählungen und Messungen quantitativ zu erfassen. Ein Hilfsmittel bietet sich unter Umständen in der Messung der bakteriellen Abbauprodukt der Böden für Harnsäure an, da diese als spezifisches Ausscheidungs-Produkt der höheren Fauna, in unserem Fall, der Arthropoden, gilt. Vorversuche zu dieser Frage wurden mit Harnsäure-Agar und Beimpfung mit Bodensuspensions-Verdünnungsreihen vorgenommen. Dabei zeigte sich die überragene Aktivität der Rendsina gegenüber der

sonst standorts-geschichtlich gleichen Buchen-Sauer-Braunerde. Der Fichtenwald mit seinem Moder-Profil und die Sauer-Braunerde unter Gras nehmen eine Zwischenstellung ein.

2.5 EXPERIMENTELLE STANDORTS-VERÄNDERUNGEN ZUM STUDIUM DER ÖKOLOGISCHEN FAKTOREN

Als biologisches differential-diagnostisches Merkmal der Rendsina gegenüber der Sauer-Braunerde wurde bislang herausgestellt: Anwesenheit von freiem CaCO_3 läßt die Entfaltung einer reichen Regenwurm-Tätigkeit zu. Dadurch wird eine mehr oder weniger vollständige mechanische Inkorporation der Streu in das Solum möglich. Organische Tiefen-Düngung und intensive mechanische Durchmischung führen zu einer Homogenisierung (d. h., u. a. zu einer gleichmäßigen Verteilung der organischen Substanz). Diese wiederum bedingt eine gleichmäßige biologische Aktivität innerhalb des bis zu 30 cm starken A_h -Horizontes. Die Inkorporation und Verarbeitung mehr oder weniger frischer Streu bedingt die Bereitschaft der Rendsina-Mikroflora, auf ein Angebot leicht metabolisierbarer organischer Substanzen (Stärke, Cellulose) rasch mit einer erhöhten Abbau-Leistung zu reagieren. - Den Sauer-Braunerden fehlen diese Eigenschaften.

Der Gedanke lag nahe, Sauer-Braunerden künstlich zu verändern, d. h. durch Kalk-Zufuhr und mechanische Tiefen-Vermischung mikro-ökologischen Bedingungen zu unterwerfen, wie sie etwa in den Rendsinen herrschen. Es ist selbstverständlich, daß es auf diese grobe Weise nicht gelingen kann, Sauer-Braunerden innerhalb eines kurzen Beobachtungs-Zeitraumes in Rendsinen umzuwandeln. Einmal läßt sich die Lumbriciden-Fauna nur schwer verändern und andererseits

ist die Mineral-Substanz unserer löß-bürtigen Sauer-Braunerden grundverschieden von dem Lösungs-Rückstand der Rendsinen.

Es bestand jedoch die Hoffnung, durch derartige künstliche Veränderungen nachweisen zu können, daß Kalkung und Vermischung zumindest in der Aktivität der Boden-Mikroflora der Sauer-Braunerden rendsina-artige Tendenzen auslösen können, wie z. B. die gleichmäßige biologische Aktivität im A_h , (Erhöhung des biologischen Reaktionsvermögens beim Abbau von Stärke und Cellulose). Vielleicht wären auch Aufschlüsse darüber zu erhalten, ob dabei dem Kalk oder der Durchmischung die dominierende Rolle zukommt. Diese letzte Frage ist insofern wichtig, als uns Böden mit schwarzerde-artigem Mull bekannt sind, die auf sauren Substraten entstanden sind, d.h. die eine Mull-Metabolik ohne Anwesenheit von freiem CaCO_3 zeigen.

Versuche: An den Standorten "Sauer-Braunerde unter Fichte (B_F)", "Sauer-Braunerde unter Buche (B_{Bj})" und "Sauer-Braunerde unter grasreicher Fichten-Schonung (B_P)" wurden folgende Vergleichs-Parzellen angelegt:

1. 0-Parzelle,
2. 2 kg CaO/m^2 (= 20 t/ha) auf die Oberfläche, gleichmäßige Tiefen-Vermischung auf 25 cm von Auflage-Humus, Kalk und Mineral-Substrat,
3. 2 kg CaO/m^2 (= 20 t/ha) auf die Oberfläche,
4. gleichmäßige Tiefen-Vermischung auf 25 cm.

Die Gras-Parzelle wurde wieder begrast. Der Versuch wurde am 3.6.1967 angelegt. Cellulose-Abbau-Versuche und Atmungs-Messungen wurden - wie in Abschnitt 2.4.1 und 2.4.4 geschildert - durchgeführt. Durch Kalkung und Vermischung wurde das pH (in H_2O) bis 25 cm Tiefe auf pH 6,0 - 6,5 angehoben, bei der Oberflächen-Kalkung in den oberen 10 cm auf pH 6 - 7.

Ergebnisse: Tab. 10 gibt die Ergebnisse des Cellulose-Abbau-Versuches und Tab. 11 die der "Atmungs-Messungen" wieder.

Tab. 10 Cellulose-Abbau in Abhängigkeit von Maßnahmen zur künstlichen Boden-Veränderung (Kalkung, Mischung)

Par- zelle	Tiefe (cm)	MESS-PERIODE I 28.8. - 25.10.67			MESS-PERIODE II 19.1. - 17.5.68		
		B _F	B _{Bj}	B _P	B _F	B _{Bj}	B _P
0	0 - 13,5	24	35	100	18	24	34
	13,5 - 27	19	10	39	21	2	26
1	0 - 13,5	89	100	92	93	100	92
	13,5 - 27	93	100	96	82	100	89
2	0 - 13,5	92	98	93	53	55	100
	13,5 - 27	30	43	86	26	38	81
3	0 - 13,5	51	58	100	25	25	66
	13,5 - 27	24	23	67	24	7	32

Die Zahlen geben die abgebauten Cellulose-Mengen in Prozent der Ausgangs-Mengen an.

Tab. 11 CO₂-Entbindung im Brutversuch nach ISERMEYER (ohne Stärke-Zusatz), die Proben wurden aus 5 cm Tiefe entnommen.

			P E N T A D E N				
			1	2	3	4	5
B _F	0	- -	19	13	9	10	10
	1	CaO Mischung	84	65	55	44	34
	2	CaO -	46	41	37	35	24
	3	- Mischung	48	37	38	35	26
B _{Bj}	0	- -	19	14	14	12	9
	1	CaO Mischung	55	50	47	43	40
	2	CaO -	39	14	17	24	14
	3	- Mischung	25	16	28	11	11
B _P	0	- -	14	6	8	12	5
	1	CaO Mischung	60	38	39	36	27
	2	CaO -	49	38	39	36	20
	3	- Mischung	12	12	13	22	10

Die Zahlen geben die entbundenen CO₂-Mengen in mg pro Pentade und 100 g Boden an.

Kalkung/Mischung: Man erkennt, daß Kalkung und Mischung den Cellulose-Abbau stark steigern und den Abbau-Gradienten aufheben. Der Abbau gleicht dem der Rendsinen im Sommer 1967. Erstaunlicherweise ist nicht einmal im folgenden Winter und Frühjahr eine Abschwächung zu erkennen. Auch bei der CO₂-Entbindung zeigt die kombinierte Kalkung und Mischung die stärkste Anhebung des mikrobiellen Umsatzes.

Kalkung: Vergleichen wir den Effekt der reinen Oberflächen-Kalkung mit dem der reinen Vermischung. Die Ausbringung von Kalk auf die Oberfläche hebt in den oberen 10 cm den Cellulose-Abbau auf das Niveau des Kalk-Mischungs-Versuches, obwohl im Winter an den Wald-Standorten ein

Abfallen zu erkennen ist. Infolge Fehlens der Vermischung bleibt der Tiefen-Gradient des Cellulose-Abbaues erhalten, doch ist bei den Wald-Standorten eine Anhebung der Abbau-Aktivität in den tieferen Abschnitten bereits zu erkennen. Eine Ausnahme macht hier der Gras-Standort, bei dem die Oberflächen-Kalkung wohl in Verbindung mit den leicht umsetzbaren Wurzel-Residuen der Gräser praktisch den gleichen Effekt hervorruft wie Kalkung und Vermischung. Die Atmungs-Versuche bestätigen diesen Befund.

Mischung: Obwohl bei der bloßen Vermischung die im Auflage-Humus und im Solum enthaltene organische Substanz gleichmäßig auf die oberen 25 cm der Durchmischungsschicht verteilt wurde, bleibt - im Gegensatz zu den Kalk-Parzellen - der natürliche Abbau-Gradient erhalten. Lediglich in dem obersten Abschnitt der Durchmischungsschicht ist eine Abbau-Steigerung gegenüber der O-Parzelle festzustellen. Auch in dieser Hinsicht verhält sich allerdings der Gras-Standort - zumindest im Sommer - etwas anders, obwohl beim CO_2 -Entbindungs-Test die Atmungs-Intensität (wie auch bei B_{Bj}) nicht wesentlich erhöht worden ist.

Die angestellten Versuche, die noch weiterlaufen, lassen bereits vermuten, daß unter unseren Klima- und Vegetations-Bedingungen für die Aufrechterhaltung einer zur Mull-Bildung führenden Humus-Metabolik unter Wald die Anwesenheit von freiem CaCO_3 eine Voraussetzung darstellt, selbst wenn die durchmischende Tätigkeit der Regenwürmer durch mechanische Maßnahmen erfolgen sollte. Unter Gras-Bedeckung scheint der Kalk nicht immer eine Voraussetzung zu sein, da hier infolge selbsttätiger Inkorporation leichter metabolisierbarer Wurzel-Substanz der Prozeß der Mull-Bildung - selbst bei mangelnder Regenwurm-Aktivität - gewissermaßen einen Vorsprung erhält.

2.6 STOFF-DIFFERENZIERUNG ISOTOPISCH MARKIERTER ORGANISCHER VERBINDUNGEN

Ziel: Nach Durchführung der stoffgruppen-chemischen und biologischen Untersuchungen an Rendsinen und Sauer-Braunerden scheint es sinnvoll, die postulierte Divergenz der Humus-Metabolik in diesen Bodentypen mit Hilfe von isotopisch markierten organischen Substanzen zu bestätigen. So interessiert bei den Rendsinen die Frage, ob Kohlenhydrate, Aminosäuren und Oxyphenole so, wie sie auf das Solum gelangen, tatsächlich in dieses eingemengt, hier gespeichert und dabei mit verschiedener Geschwindigkeit abgebaut werden. Bei den Sauer-Braunerden gilt es dagegen nachzuweisen, daß die aus der Humus-Auflage in das Mineral-Substrat gelangenden Oxyphenole und Aminosäuren schnell einer biologischen (pilzlichen) Katabolisierung unterliegen, während Zucker, als Vertreter der Kohlenhydrate, aufgrund der im Mineral-Substrat gebotenen Bindungs-Möglichkeiten länger erhalten bleiben.

Methode: Kunststoff-Ringe von 300 cm² lichter Querschnitts-Fläche und 30 cm Höhe wurden am Rendsina-Standort R₁ (Buchen-Jungwald) bis auf den Kalkstein in den A_h-Horizont getrieben. Im selben Bestand wurden die gleichen, unten offenen Zylinder auch in die Sauer-Braunerde B₂ eingebracht. Die Humus- bzw. Laub-Auflage wurde abgenommen, die Oberfläche des Mineral-Körpers mit den aktiven Testsubstanzen-Lösungen besprüht und die Humus-Auflage wieder aufgelegt. Die Einbringung der Ringe erfolgte so, daß bei den Rendsinen den Regenwürmern die Möglichkeit des Zutritts von unten, bei den Sauer-Braunerden den Makro-Pilzen der Zutritt von oben über die Auflage-Humusdecke möglich war.

Der Versuch wurde nach dem Laubfall 1967 am 17.11. angelegt. Die ersten Probe-Entnahmen fanden am 1.6. und am 30.11.1968 statt (6 bzw. 12 Monate).

Folgende Testsubstanzen wurden an beiden Standorten verwendet:

Ring 1: D-Glukose-C-14 (U) 0,5 mCi
Ring 2: L-Tyrosin-C-14 (U) 0,5 mCi

- Ring 3: DL-Alanin-1-C-14 0,5 mCi
Ring 4: Alanin/Hydrochinon-Additions-Produkt als Modell-Substanz für niedermolekulare Huminstoffe. Herstellung: DL-Alanin-1-C-14 (14 mg) und Hydrochinon (34,5 mg) wurden im Molverhältnis 1 : 2 für 20 h am Titrator mit NaOH bei pH 8,0 unter Sauerstoff-Zufuhr reagieren gelassen. Die Kontrolle über den Reaktions-Ablauf wurde mit Hilfe von Extinktions-Messungen durchgeführt (Abwarten eines ersten Endwertes). Die Suspension wurde dann auf den Boden gesprüht (0,5 mCi/Ring).
Ring 5: (nur an der Sauer-Braunerde B₁). L-Tyrosin-C-14 (U) 0,25 mCi. Die Substanz wurde in 12 cm Tiefe appliziert, um zu beobachten, ob Stoffe, die in diese Tiefe gelangt sind, überhaupt noch vom biologischen Abbau erreicht werden können.

Die Probe-Entnahme erfolgte mit dem Bohrstock in 10 cm Abständen. Das Bohrloch wurde anschließend durch Einführen gleich großer Stücke verschlossen.

Die Gesamt-Aktivität der entnommenen luftgetrockneten Bodenprobe wurde durch Veraschen im Verbrennungsröhr der WÖSTHOFF-Apparatur gemessen.

Einwaage: Rendsina 100 mg, Sauer-Braunerde 200 mg, in tieferen Schichten 400 mg.

Vorlage für das Auffangen der entwickelten CO₂-Menge:

- für Methan-Durchfluß-Zählung: 5 ml 0,1 n Ba(OH)₂, anschließendes Trocknen des Bodensatzes,
- für Liquid-Szintillations-Messung: 3 ml 0,1 n NaOH, eingeengt auf 1 ml, Zusatz von 12 ml Szintillations-Lösung. Verwendet wurde ein Flüssigkeits-Szintillations-System (n. WENZEL und SCHULZE) folgender Zusammensetzung:

Primärer Szintillator: 2,5 Diphenyl-Oxazol	7,0 g
Sekundärer Szintillator: 1,4-Di-(5-phenyl-oxazol-2-yl)benzol	0,15 g
Naphtalin	100,0 g

mit Lösungsmittel Dioxan zu 1 Liter gelöst, 12 ml davon zur Messung verwendet.

Stoffgruppen-Aktivität: Da die zugeführten organischen Verbindungen neben Mineralisierungs- und Auswaschungsverlusten auch im Zuge der biologischen Metabolisierung in andere Stoffgruppen überführt werden können, wurden an den entnommenen Bodenproben vereinfachte Stoffgruppen-Trennungen vorgenommen. Entsprechend den gewählten Testsubstanzen wurden folgende Stoffgruppen gewonnen:

1. Aminosäuren (Summe frei und gebunden)
2. Organische Säuren (Summe frei und gebunden)
3. Kohlenhydrate (Zucker), (Summe frei und gebunden)
4. Rest: Huminstoffe, Cellulose, Uronide usw.

Die Fraktionierung erfolgt an 5 g Boden nach kalter 24-stündiger Hydrolyse mit 60%-iger Schwefelsäure. Die Trennungsgänge sind in der Arbeit: "Die divergierende Humus-Metabolik benachbarter Sauer-Braunerden und Rendsinen unter Wald im Licht organischer Stoffgruppen-Untersuchungen" im Abschnitt 3.4.2 dargestellt. Die in wässriger Lösung befindlichen Stoffgruppen 1. bis 3. werden auf 1 ml Lösungs-Volumen eingeengt und wie oben für die Liquid-Szintillations-Zählung vorbereitet. Der gewaschene Hydrolyse-Rückstand wird getrocknet und wie die Proben zur Bestimmung der Gesamt-Aktivität im Verbrennungsrohr verascht.

Die Messungen sollen sich über längere Zeiträume erstrecken. An dieser Stelle können nur einige der ersten Meß-Ergebnisse nach einem halben Jahr Versuchs-Dauer (Winter und Frühling 1968) mitgeteilt werden. Der Bericht über die Ergebnisse späterer Probe-Entnahmen muß einer nachfolgenden Mitteilung überlassen bleiben.

Tab. 12 Aktivitäts-Verteilung in den Vergleichs-Böden

Tiefe (cm)	Glukose	Tyrosin	Alanin	Hydrochi- non/Alanin	Tyrosin 12 cm tief
	R E N D S I N A				
0 - 10	23,6	28,2	12,7	4,8	
10 - 20	11,8	2,9	6,2	2,1	
20 - 30	0,3	0,2	0,3	0,3	
Summe	35,7	31,3	19,2	7,2	
	S A U E R - B R A U N E R D E				
0 - 10	13,6	10,0	6,1	4,7	4,4
10 - 20	0,7	4,4	2,2	0,7	13,6
20 - 30	0,1	0,05	0,1	0,04	0,2
Summe	14,4	14,5	8,4	5,4	18,2

Die Zahlen geben die cpm in Prozent der Ausgangs-cpm (Erhaltungs-Prozente) an, 1/2 Jahr nach der Ausbringung der markierten organischen Verbindungen.

Der Unterschied zwischen der Rendsina und der Sauer-Braunerde zeigt sich in den meist doppelt so hohen Erhaltungs-Quotienten der organischen Testsubstanzen in den Rendsinen. Zum anderen fällt bei der Rendsina die stärkere Einmischung der Testsubstanzen in tiefere Profil-Abschnitte auf. Außer beim Tyrosin beträgt das Verhältnis der Aktivität zwischen den Schichten 0 - 10 und 10 - 20 cm etwa 2 : 1. Dies muß auf eine intensivere mechanische Durchmischung zurückgeführt werden, da bei den Rendsina-Test-Ringen darauf geachtet wurde, daß sie mit einer gleich starken Streuschicht wie die Sauer-Braunerde bedeckt waren und diese auch bis zum Beginn der Regenwurm-Aktivität beibehielten.

Die Filtrations-Verlagerung bei den durch hohe Wasser-Leitfähigkeit ausgezeichneten Sauer-Braunerden ist wohl als Folge der hohen Bestandes-Dichte und besonders der Laub-Auflage auffällig gering. Im Tyrosin-Tiefen-Applikations-Versuch liegt nach dem Winter-Halbjahr das Aktivitäts-Maximum noch an der gleichen Stelle wie bei der Ausbringung. Bei den Proben mit Markierung der Mineral-Substrat-Oberfläche haben nur - außer beim Tyrosin-Versuch - geringe Prozent-Anteile der Testsubstanzen die 10 cm-Grenze passiert. Dies berechtigt zu der Annahme, daß die eingetretenen Verluste weit überwiegend in Mineralisierungs-Verlusten zu suchen sind.

Beim Vergleich Alanin/Tyrosin ist zu bedenken, daß das verwendete Tyrosin uniform C-14 markiert war, während das Alanin nur in der COOH-Gruppe positions-markiert war. Bei einem mikrobiellen Angriff kann daher die auf den markierten COOH-Gruppen des Alanins beruhende Strahlungs-Intensität sehr viel rascher reduziert werden als beim Tyrosin, bei dem nach Abspaltung und Mineralisierung einzelner Gruppen aufgrund der von Molekül zu Molekül wechselnden C-Markierungs-Position eine stärkere Rest-Strahlung bestehen bleibt.

Die relativ niedrigen Erhaltungs-Quotienten bei den künstlichen Hydrochinon/Alanin-Huminsäuren sind schwer zu erklären. Unter Umständen ist die Aminosäure-Hydrochinon-Polymerisat-Reaktion nach Ausbringung auf den Boden kurzfristig so intensiv weitergelaufen, daß es zu einer Abspaltung des markierten Aminosäure-Teils gekommen ist.

Es zeigt sich jedenfalls, daß bei den Sauer-Braunerden auch die etwas tiefer in den Boden gelangte organische Substanz (s. Tyrosin-Tiefen-Applikation) durchaus noch vom biologischen Abbau erreicht wird.

Die Stoffgruppen-Auftrennung zeigte, daß die Glukose tatsächlich überwiegend in der Stoffgruppe "Kohlenhydrate" verbleibt. Das Tyrosin geht dagegen als einzige der angewendeten Testsubstanzen überwiegend in den Hydrolyse-Rest über, was bedeutet, daß das Tyrosin offensichtlich rasch und vermutlich auf dem Dopa-Chinon-Weg (Melanin-Bildung) in den Huminstoff-Aufbau einbezogen wird.

Weitergehende Aussagen lassen sich erst bei Vorliegen der zu späteren Zeitpunkten erzielten Ergebnisse vertreten.

3 ZUSAMMENFASSUNG

Nachdem in einer vorausgegangenen Arbeit über die stoffgruppen-chemische Differenzierung der organischen Streusubstanzen bei der Humus-Metabolik von Rendsinen und Sauer-Braunerden berichtet worden war, befaßt sich die vorliegende Mitteilung mit biologischen Vergleichs-Untersuchungen am Standort der beiden genannten Bodentypen. Es sollte dabei die Frage nach den boden-ökologischen und biologischen Ursachen der so unterschiedlichen Humus-Dynamik geklärt werden.

Zu diesem Zweck wurden Auszählungen der Lumbriciden, Keimzahl-Bestimmungen der Bakterien, Aktinomyceten und Mikro-Pilze im Jahreslauf bei unterschiedlichen Temperatur- und Feuchte-Bedingungen in verschiedenen Bodentiefen vorgenommen, halbquantitative Beobachtungen und ökologisch bezogene Arten-Bestimmungen der Makro-Pilz-Flora angestellt, Umsatz-Messungen mit Cellulose, Lignin und bodenbürtigen Mull-Proben durchgeführt, die durch Atmungs-Messungen mit und ohne Stärke-Zusatz ergänzt wurden. Zum Studium der ökologischen Bedingungen dienten ferner experimentelle Standorts-Veränderungen durch Kalkung und Tiefen-Mischung des Humus- und Mineral-Materials. Zur Kontrolle der postulierten organischen Stoff-Differentiation wurden schließlich Gelände-Versuche mit isotopisch markierten organischen Testsubstanzen angesetzt, über deren erste Ergebnisse einführend berichtet wird.

In einem generellen Schema wurden die vom Substrat und Bodentyp her bedingten Unterschiede in der Humus-Dynamik der Rendsina- und Sauer-Braunerde-Standorte erläutert:

Bei der Rendsina bedingt der Gehalt an freiem Kalk eine starke Regenwurm-Tätigkeit. Diese führt zur Inkorporierung organischer Substanz, zu einer Homogenisierung und zu

einer durch den A-Horizont hindurch gleichmäßig starken mikrobiellen Aktivität (z. B. Cellulose-Abbau, rasche Reaktion auf Zusatz von Testsubstanzen). Die Umwandlung der organischen Streu-Stoffe vollzieht sich vorwiegend innerhalb des Mineral-Körpers, wodurch die Akkumulation von höherpolymeren Huminstoffen begünstigt wird. Unabdingbare ökologische Voraussetzung für den Ablauf dieser Vorgänge unter Wald (nicht so sehr unter Gras-Vegetation) ist die Anwesenheit von freiem CaCO_3 als Ursache der biologischen Durchmischung und der abbau-chemischen Stabilisierung.

Bei der Sauer-Braunerde fehlt dagegen infolge Abwesenheit der Regenwürmer fast jegliche biologisch-mechanische Durchmischung. Der Streu- und Auflage-Humus-Abbau findet oberhalb des Mineral-Substrates statt und zwar unter erheblicher Mitwirkung der Makro-Pilze, besonders der "Laubsitzer" und Mykorrhiza-Pilze. In Abhängigkeit von deren Ausbreitungs-Geschwindigkeit erfolgt der Abbau der der Humus-Auflage zugeführten Streu in Fristen von wenigen Wochen bis zu mehreren Jahren. In das Mineral-Substrat gelangen überwiegend nur Eluate der Auflage-Humus-Decke. Die mikrobielle Aktivität zeigt einen ausgeprägten Tiefen-Gradienten und ein schwaches Reaktions-Vermögen des Mineral-Substrates auf künstlich zugeführte leicht metabolisierbare Testsubstanzen.

Die festgestellten Unterschiede in den Keimzahlen der Bakterien, Aktinomyceten und Mikro-Pilze lassen zwar auch boden-typologisch bedingte Unterschiede erkennen, doch werden sie in erster Linie von der Art der Pflanzendecke geprägt. Dies gilt besonders bei der Gegenüberstellung von Wald- und Grasland, wobei das Grasland - weitgehend unabhängig vom Bodentyp - aufgrund seiner boden-mikrobiologischen Wurzel-Habitate sowohl mit als auch ohne Kalk zur Mull-Bildung neigt.

4 L I T E R A T U R - V E R Z E I C H N I S

- 1 Alexander, M. Indroduction to Soil Microbiology
John Wiley and Sons Inc.
New-York, London, 1961
- 2 Alexander, M. Most Probable Number Method for
Microbial Populations
in "Methods of Soil Analysis"
Agronomy 9, 1965, 1467 - 1472
- 3 Barnett, H.L. Illustrated Genera of Imperfect
Fungi
Burgess Publishing Company, 1965
- 4 Beck, T. Mikrobiologie des Bodens
Bayerischer Landwirtschafts-Verlag,
München, Basel, Wien, 1968
- 5 Bigot, C. Notions sur les méthodes d'études
Montégut, J. des champignons du sol
Ecole National Supérieure d'Horti-
culture, Versailles
- 6 Burges, A. The role of the Soil Microflora in
the decomposition and synthesis of
Soil organic matter
9th International Congress of Soil
Science, Adelaide, Australia, 1968
Transactions Vol. II, 29 - 35
- 7 Burges, A. The decomposition of organic matter
in the soil
in Soil Biology, 479 - 492,
Edt. Burges, A., Raw, F.
Academic Press, London, New York 1967

- 16 Kendrick, W.B.
Burges, A. Biological aspects of the decay of
Pinus sylvestris leaf litter
Nova Hedwigia 4, 313 - 342
- 17 Küster, E. Umwandlung von Mikroorganismen-
Farbstoffen in Humusstoffe
Z.Pfl.E., Bdkde., Dg., 57, 51, 1952
- 18 Kutzner, H.J. Über die Bildung von Huminstoffen
durch Streptomyceten
Landw.Forschung, 21, 48 - 61, 1968
- 19 Kutzner, H.J. Beitrag zur Systematik und Ökologie
der Gattung Streptomyces Waks. et
Henr.
Diss. Hohenheim, 1956
- 20 Lobanow, N.W. Mykotrophie der Holzpflanzen, 1960
VEB, Deutscher Verlag der Wissen-
schaften, Berlin
- 21 Meyer, J. Moisissures du sol et des litières
de la région de Yangambi (Congo Belge)
Série Scientifique 75, 1959,
Institut National pour l'étude
agronomique du Congo Belge
- 22 Pochon, J. Techniques d'analyse en Microbiologie
Tardieux, P. du Sol
Editions de la Tourelle
- 23 Raw, F. Ann. Appl. Biol. 50, 389 - 404, 1962
zit. n. Satchell, in "Soil Biology"
Ed. Burges, A., Raw, F.
Academic Press Ldn., New Y., 1967

- 24 Richardson, H.L. J.agric.Sci. 28, 73 - 121, 1938
zit. n. Satchell, in "Soil Biology"
Ed. Burges, A., Raw, F.
Academic Press, Ldn., New Y., 1967
- 25 Satchell, J.E. Lumbricidae, in "Soil Biology"
Ed. Burges, A., Raw, F.
Academic Press, Ldn., New Y., 1967
- 26 Scheffer, F. Untersuchungen über die Bildung von
von Plotho, O. Humusstoffen durch Aktinomyceten
Welte, E. Landw. Forschung 1, 81 - 92, 1950
- 27 Trolldenier, G. Isolierung und Zählung von Boden-
Aktinomyceten auf Erdplatten mit
Membranfiltern
Plant and Soil, 27, 285 - 288, 1967
- 28 Unger, H. Der Gazebeuteltest
Ztrbl. f. Bakt., Parasitenkde.,
Inf.-Krankh. u. Hygiene, II Abtlg.
120, 1966
- 29 Wilde, S.A. Forstliche Bodenkunde, 1962
Verlag P. Parey
- 30 Will, G.M. Some aspects of organic matter for-
mation and decomposition in Pumice
soils growing Pinus radiata forest
9th International Congress of Soil
Science, 1968, Adelaide, Australien
Transactions, Vol. III, 237 - 246

- 31 Zachariae, G. Die Streuzersetzung im Köhlgarten-
gebiet
in "Progress in Soil Biology"
Ed. Graff, O., Satchell, J.E.,
490 - 506, 1967,
Verlag F. Vieweg, Braunschweig
- 32 Zachariae, G. Was leisten Collembolen für den
Waldhumus? in "Soil Organisms"
Ed. Doeksen, J., van der Drift, J.
109 - 124, 1963, North-Holland,
Amsterdam
- 33 Zachariae, G. Welche Bedeutung haben Enchytraeen
im Waldboden?
in "Soil Micromorphology, 57 - 67, 1964,
Ed. Jongerius, A.
Elsevier Publishing Comp. Amsterdam,
London, New York

Gebhardt, H., King, M.-T., und Meyer, B.:

**Mineralogisch-chemische Untersuchungen zum
Prozess der Rubefizierung in Kalkstein-Rotlemm
und fossilem Laterit in Nordhessen**

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 9, 65 – 124
(1969)**

MINERALOGISCH - CHEMISCHE UNTER-
SUCHUNGEN ZUM PROZESS DER RUBE-
FIZIERUNG IN KALKSTEIN - ROTLEHM
UND FOSSILEM LATERIT IN NORD -
HESSEN

	Seite
1 <u>ÜBERBLICK</u>	67
1.1 <u>ZUR KENNNTNIS VON ROTLEHMEN UND LATERITEN</u>	67
1.2 <u>ROTLEHM</u>	67
1.3 <u>LATERIT</u>	68
2 <u>METHODEN</u>	69
2.1 <u>ENTNAHME UND AUFBEREITUNG</u>	69
2.2 <u>KORNGRÖSSEN- UND MINERALARTEN-VERTEILUNG</u>	70
2.3 <u>FREIES EISENOXID DER TONFRAKTIONEN</u>	72
2.4 <u>CHEMISCHE GESAMT-ANALYSE</u>	73
2.5 <u>DÜNNSCHLIFFE</u>	73
3 <u>DER KALKSTEIN - ROTLEHM</u>	74
3.1 <u>LAGE</u>	74
3.2 <u>PROFIL-AUFBAU</u>	74
3.3 <u>DISKUSSION</u>	91
4 <u>DER LATERIT</u>	95
4.1 <u>LAGE</u>	95
4.2 <u>PROFIL-AUFBAU</u>	95
4.3 <u>HORIZONT-VERGLEICH</u>	96

	Seite
4.3.1 <u>C₂ - C₁ - L₁</u>	96
4.3.2 <u>L₁ ↔ L₃</u>	104
4.3.3 <u>L₂</u>	112
4.4 <u>DISKUSSION</u>	113
5 <u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	115
6 <u>LITERATUR - VERZEICHNIS</u>	117

1 Ü B E R B L I C K

1.1 ZUR KENNTNIS VON ROTLEHMEN UND LATERITEN

Rotlehme und Laterite sind in den Tropen und Subtropen weit verbreitet und finden sich in fossiler Form auch in Deutschland (36). Die Beschreibung dieser in der Regel intensiv rot gefärbten Böden stößt jedoch auf Schwierigkeiten bodensystematischer und nomenklatorischer Art. Sowohl der Bezeichnung "Rotlehm" als auch dem Begriff "Laterit" werden in der Literatur häufig unterschiedliche Bedeutung beigemessen.

1.2 ROTTLEHM

Die Bezeichnung Rotlehm wurde zunächst nur auf tiefgründige, tonreiche (lehmige) Verwitterungsbildungen der Tropen angewandt, da sich in tropischen Gebieten aus fast allen Ausgangsgesteinen rot gefärbte Böden entwickeln (22). Nach KUBIENA (29) sind tropische Rotlehme "hochplastische, leicht verschlämmbare, stark erodierbare, im trockenen Zustande verhärtende und stark zu Schollenbildung neigende Böden". Ihnen stehen die "Roterden" gegenüber, die "locker, krümelig, elastisch gefügt und leicht verteilbar sind". In den gemäßigten Klimazonen entstehen Rotlehme und Roterden bei der Verwitterung von Kalkgesteinen (21, 22, 29). Wegen der weiten Verbreitung von kalksteinbürtigen "erdigen" roten Böden im Mittelmeergebiet hat sich der Begriff der "mediterranen Roterde" eingebürgert. Nach KUBIENA (29) sollte dieser Begriff jedoch nur für die wenig plastischen Bodenbildungen und Ablagerungen "in und auf Kalkstein" verwendet werden. Für die plastischen lehmigen Formen, die auch mikroskopisch den tropischen Rotlehmern sehr ähnlich sind, schlägt KUBIENA die Bezeichnung "Kalkstein-Rotlehm", für die lehmigen braunen Bodenbildungen, die besonders in Mitteleuropa verbreitet sind, den Namen "Kalkstein-Braunlehm" oder "Terra fusca" vor. Diese Benennung weist bereits

auf die Verwandtschaft von Kalkstein-Braunlehm mit der sog. "Terra rossa" hin. Der Name "Terra rossa" ist nach KUBIENA eine allgemeine Bezeichnung für die Subtypen "Kalkstein-Rotlehm" und "Kalkstein-Roterde". Sowohl Kalkstein-Braunlehm als auch Kalkstein-Rotlehm sind demnach Endglieder der Rendsina-Entwicklungsserie, die - abgesehen von der verschiedenen Farbe des Verlehmungshorizontes - in ihren Eigenschaften weitgehend übereinstimmen (29). Wegen der auffallend roten Farbe des Verlehmungshorizontes wurde das in der vorliegenden Arbeit untersuchte Kalksteinverwitterungsprofil - in Analogie zu den in Mitteleuropa verbreiteten Kalkstein-Braunlehm - als "Kalkstein-Rotlehm" bezeichnet.

1.3 LATERIT

Neuere Arbeiten weisen anhand bodengeschichtlicher Betrachtungen, ausführlicher Literatur-Übersichten und chemisch-mineralogischer Untersuchungen auf die bestehenden Diskrepanzen bei der Definition und Interpretation des Begriffes "Laterit" hin (12, 45, 56). STEPHENS (49) stellt nochmals heraus, daß Lateritkrusten der Typ-Lokalität in Indien auch heute noch infolge ihrer Selbst-Härtung zur Ziegel-Herstellung benutzt werden. Die Ausbildung solcher Lateritkrusten oder Laterithorizonte ist auf den Abtransport von Alkalien, Erdalkalien und Kieselsäure und die Anreicherung von Al- und Fe-Verbindungen zurückzuführen. Dabei kommt es vor allem zur Neubildung von Kaolinit, Gibbsit, Goethit und Hämatit. Aber auch rot gefärbte Böden, die diesen eigentlichen Laterithorizont nicht enthalten, werden zu den Lateriten im weiteren Sinne oder den sog. "Latosolen" gezählt. Unter der Bezeichnung "Latosol" werden in der Literatur z.B. auch Roterden und Rotlehme genannt, wobei angenommen wird, daß die Rubefizierung der Lateritisierung vorausgeht (31, 44). Die Untergliederung dieser Böden erfolgt dann nach mineralogischen Gesichtspunkten, d.h. die Böden, die einen geringen Gehalt an primären Sili-

katen und einen hohen Gehalt an Kaolinit bzw. Fe- und Al-Oxiden besitzen, werden von denjenigen unterschieden, die einen höheren Gehalt an primären Silikaten haben oder außer Kaolinit noch größere Mengen an Illit und Montmorillonit aufweisen (44). Bei dem im folgenden untersuchten fossilen Boden handelt es sich um einen Eisen-Krusten-Laterit im engeren Sinne, da sich unter einer Löß-Deckschicht Reste eines ausgesprochenen Laterit-Panzers finden (s.a. 3).

2 METHODEN

2.1 ENTNAHME UND AUFBEREITUNG

Die Proben-Entnahme erfolgte an mehreren visuell homogen erscheinenden Stellen der zu untersuchenden Horizont-Abschnitte (s. Profilbeschreibungen). Etwa 200g des entnommenen Bodens wurden in Wasser dispergiert. Konkretionen, Gesteinsbruchstücke und grobe Bestandteile $>500\mu$ wurden abgesiebt. Die gewonnene Feinerde ($<500\mu$ Korn-Durchmesser) wurde - sofern sie carbonathaltig war - einer schonenden HCL-Behandlung ($\text{pH} > 4$) unterworfen. Die Feinerde-Suspension der Lehm-Rendsina wurde außerdem mit 30%igem H_2O_2 versetzt und auf 80°C erhitzt. Nach dieser Vorbehandlung ließ sich bei allen Proben vollständig der Sandanteil ($63-500\mu$) absieben, der allerdings nur einen sehr geringen Mengen-Anteil ausmachte. Die Schluff-Ton-Suspension aller Proben wurde dann gefrier-getrocknet.

Das auf diese Weise gewonnene krümelige Bodenmaterial $<63\mu$ (Schluff-Ton-Gemisch) bildet die Ausgangssubstanz für alle weiteren Untersuchungen. Es wird im folgenden als Untersuchungs-Probe - kurz: U-Probe - bezeichnet.

2.2 KORNGRÖSSEN- UND MINERALARTEN-VERTEILUNG

Die Korngrößen-Analyse erfolgte präparativ im ATTERBERG-Zylinder bzw. nach dem Zentrifugen-Verfahren für die Abtrennung der Mittel-, Fein- und Feinst-Tonfraktionen (vgl. TANNER und JACKSON, 52). Dispergierungs-Mittel war Na-Metaphosphat-Lösung (40g/l, davon 50ml auf 500ml Bodensuspension, pH 6, 48stündiges Schütteln). Zur Analyse gelangten je zwei Parallel-Proben, und zwar eine davon nach vorheriger Extraktion des oxidischen "freien" Eisens mit Na-Dithionit-Citratlösung (vgl. SCHEFFER u.a., 42, bzw. AGUILERA und JACKSON, 1). Die Schlämmanalyse wurde in temperatur-konstanten Räumen (25°C) durchgeführt.

Der Ton <2 μ wurde in die in Tab. 1 aufgeführten Fraktionen zerlegt. Die Auftrennung erfolgte nach den Sedimentations-Äquivalent-Durchmessern. Der wahre Durchmesser der in den einzelnen Körnungs-Klassen vorliegenden Teilchen wurde anschließend elektronen-mikroskopisch nachkontrolliert.

Tab. 1 Äquivalent-Durchmesser und wahre Durchmesser der untersuchten Tonfraktionen (μ)

Fraktion	Grobton (gT) Grobmittel- ton (gmT) (g/gmT)	Feinmittel- ton (fmT) (fmT)	Feinton (fT)	Feinstton (ffT)
Äquivalent ϕ	2-0,2	0,20-0,06	0,06-0,02	<0,02
Wahrer ϕ	2,2-0,17	0,28-0,06	0,10-0,03	0,04-0,005

Es zeigt sich, daß insbesondere die Fein- und Feinstton-Fraktionen größere Teilchen enthalten, als den Äquivalent-Durchmessern entspricht. Da es sich aber gerade bei den feinen Fraktionen weit überwiegend um plättchenförmige Partikel handelt, deren Dicke sich nicht exakt bestimmen ließ, geben die elektronen-optisch ermittelten wahren Durchmesser nur die durchschnittlichen Abmessungen in der

a-b-Ebene wieder.

Die Bestimmung des Mineralbestandes der Schluff-Fraktionen erfolgte an Streu-Präparaten im Phasenkontrast-Mikroskop nach GEBHARDT u.a. (18). Die Ermittlung der Mineral-Zusammensetzung der Tonfraktionen wurde mit Hilfe von Röntgen-Beugungs-Diagrammen (Müller Mikro 111 mit Zählrohr-Gonio-meter, CuK α -Strahlung) vorgenommen.

Der Kornanteil der Glimmer in den Schluff-Fraktionen wurde nach der Auszählung verdoppelt, da die Querschnitts-Fläche der Phyllosilikate durchschnittlich etwa doppelt so groß ist wie die der übrigen Minerale der betreffenden Korngrößen-Klasse. Nach KÖSTER (28) besteht z.B. die im Schlamm-Verfahren abgetrennte Glimmerfraktion 6-100 μ in Wirklichkeit aus Korngrößen zwischen 30 und 100 μ . Die Korrektur der Glimmer-Kornzahl-Prozente mit einem Faktor ist wegen der ausgesprochenen Anisometrie der Phyllosilikat-Teilchen notwendig. Der empirische Faktor "zwei" bestätigt sich auch bei der Gegenüberstellung von Tonbildung und Glimmer-Zerfall (Glimmer-Ton-Bilanz, 16).

Die durch mikroskopische Auszählung bestimmten Anteile der einzelnen Mineralarten (Kornzahl-%) wurden mit dem Gewichts-Anteil der jeweiligen Fraktion auf die U-Probe (<63 μ) bezogen und in Gew.-% ausgedrückt (s. Tab. 2). Der bei der Multiplikation von Kornzahl-Prozenten mit Gewichts-Einheiten entstehende Fehler ist gering, da - abgesehen von dem geringen Schwermineral-Anteil - alle bodenbildenden Minerale etwa die gleiche Dichte aufweisen (vgl. CORRENS, 7 und TRÜGER, 53).

Die Mineral-Zusammensetzung der Ton-Fraktionen wurde aus den Reflex-Intensitäten der Röntgen-Beugungs-Diagramme ermittelt. Die durch Röntgen-Beugungs-Analyse ermittelte Mineralarten-Zusammensetzung der Grobton-Fraktion wurde durch die Phasenkontrast-Mikroskopie kontrolliert und die phasenkontrast-mikroskopische Auszählung der Feinschluff-Fraktionen durch die Röntgen-Analyse überprüft. Es zeigte sich dabei vor allem, daß die bei 3,35Å liegende stärkste Interferenz-Linie des Quarzes (101-Linie) zu hohe Quarz-Anteile vortäuscht, während die relative Intensität der 100-Linie (4,27Å) ein recht gutes Maß für den tatsächlichen Quarzgehalt darstellt (18). Die unter Berücksichtigung der Korrektur der Kornzahl-Prozente mit dem Faktor "zwei" im Phasenkontrast-Mikroskop ermittelten Phyllosilikat-Anteile stimmen ebenfalls recht gut mit den relativen Reflex-Intensitäten überein.

Auch die Mineral-Zusammensetzung der einzelnen Ton-Fraktionen wird auf die U-Probe bezogen (s. Tab. 2). Hierzu

muß einschränkend gesagt werden, daß der ton-mineralogischen Aufgliederung besonders der Mittel- und Feinton-Fractionen nur die röntgenographisch bestimmbaren kristallinen Anteile zugrunde liegen. Der zunehmende Beimischungs-Anteil röntgenamorpher Substanzen kann leider in der quantitativen Darstellung keine Berücksichtigung finden. Die Feinst-ton-Fraktion, die sich als ausschließlich röntgenamorph erweist, erscheint in der Tabelle in ihrer Gesamtheit als amorph.

2.3 FREIES EISENOXID DER TONFRAKTIONEN

In den Tonfraktionen erfolgte die Bestimmung der freien Eisen-Oxide mittels Na-Dithionit-Extraktion und kolorimetrischer Bestimmung des α - α' -Dipyridyl-Fe-Komplexes (vgl. SCHEFFER u.a., 42).

Der Begriff "Eisenoxid" wird im folgenden in seiner allgemeinsten Bedeutung für alle Verbindungen des Systems Fe_2O_3 -FeO-H₂O benutzt.

Die Bestimmung der Eisenoxid-Form ist mit den normalen Zählrohr-Goniometern sowohl im Rotlehm-Horizont als auch in der roten Flecken-Zone des Laterits schwierig. Beim Rotlehm liegt das an den geringen Fe_2O_3 -Gehalten (<10%) der Korngrößen-Fractionen, beim Laterit mit seinen hohen Quarz-Gehalten an der Koinzidenz von Goethit- und Quarz-Interferenzen. Hierzu sei aus BROWN (5) zitiert:

Mineral	d(Å)	I(%)
Hämatit	2,69	100
	2,51	75
Goethit	4,18	100
	2,69	30
	2,45	25
Quarz	3,30	100
	4,26	35
	2,45	12
Gibbsit	4,85	100
	4,37	40
	4,31	20
	2,45	15

Gibbsit ließ sich in keiner der untersuchten Proben nachweisen. Der Hauptreflex bei 4,85Å fehlt in allen Fractionen.

Die Quarzlinien bei 4,26 und 2,45⁰Å treten in den größeren Fraktionen sehr stark hervor und überdecken die Goethit-reflexe völlig. In den noch gut kristallisierten Mittel- und Feinton-Fraktionen aller Böden ließ sich trotz weitgehender Quarz-Freiheit weder Goethit noch Hämatit nachweisen. Die Eisenoxide müssen somit als feinste röntgenamorphe Kristallite und als sehr fein verteilt vorliegend angenommen werden. In den Grobton- und Schluff-Fraktionen des Rotlehms und des roten Flecken-Horizontes des Laterits konnten dagegen die Interferenzen des Hämatits und - als Schulter der weit stärkeren Quarzreflexe - auch das Vorhandensein von Goethit nachgewiesen werden. Bei der phasenkontrast-mikroskopischen Untersuchung dieser Schluff- und Grobton-Fraktionen zeigte es sich, daß etwa 40-50% der Körner mit Eisenoxid-Krusten umgeben sind, die demnach sowohl Goethit als auch Hämatit enthalten müssen. Eine Aussage über die Mengenverhältnisse ist nicht möglich.

2.4 CHEMISCHE GESAMT-ANALYSE

Die chemische Gesamt-Analyse der drei Boden-Profile wurde an den U-Proben und an den Ton-Fraktionen der ausgewählten Horizonte vorgenommen. Die Analyse wurde im üblichen reaktions-chemischen Trennungs-Gang (24) und - parallel dazu - zur Eichung und Kontrolle - mit Hilfe der Röntgen-Fluoreszenz-Analyse durchgeführt.

2.5 DÜNNSCHLIFFE

Die Herstellung der Dünnschliffe erfolgte in der von ALTE-MÜLLER (2) angegebenen Weise mit Vestopal-H.

3 DER KALKSTEIN - ROTLEHM

3.1 LAGE

Das in Abb. 1 skizzierte Kalkstein-Rotlehm-Profil liegt am Ostausgang der Ortschaft Kammerbach nach Bad Soden-Allendorf im Unter-Werra-Sattel NE vom Hohen Meißner unter Halbtrocken-Rasen-Weideland. Profile dieser Art sind in der näheren und weiteren Umgebung in Plateau- und Flachhang-Lagen weit verbreitet.

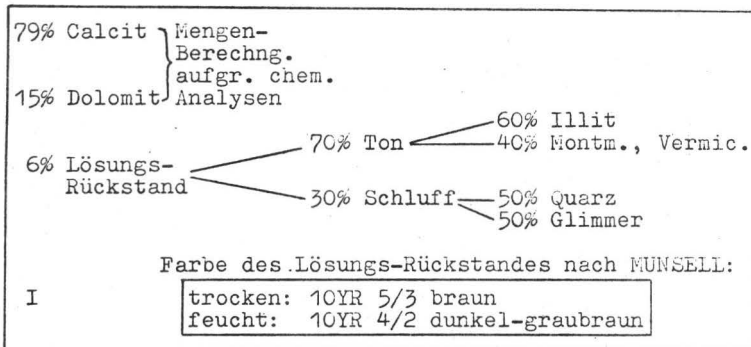
Ausgangs-Material der Boden-Bildung sind dolomitische Kalke des oberen Zechsteins (Zo_2 = Platten-Dolomit, vgl. 20), die hier infolge der Fazies-Änderung vom Haupt-Anhydrit zum Platten-Dolomit als poröse kävernöse Übergangs-Gesteine, sog. Zellen-Dolomite, Rauch- oder Rauch-Wacken (vgl. 10) ausgebildet sind (34).

Im Zusammenhang mit einer generellen Beschreibung der Verbreitung von rendsina-bildenden Kalkstein-Formationen im Leine-Weser-Bergland durch SCHEFFER u.a. (41) ist bereits auf das Vorkommen und die bodengenetische Besonderheit dieser Rendsina-Rotlehme im Bereich der Unterwerra-Zechstein-Kalke hingewiesen worden.

3.2 PROFIL-AUFBAU

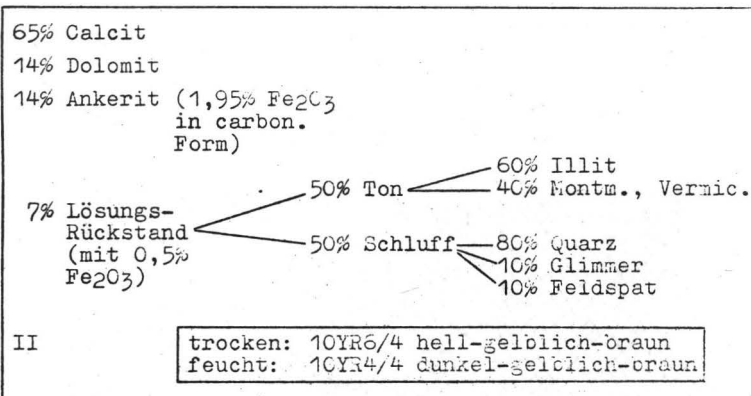
Es empfiehlt sich aus stratigraphischen Gründen, die Darstellung des Profil-Aufbaues an der Basis beginnen zu lassen:

C₃ In ca. 125cm Tiefe stehen die stark lösungs-verkarsteten und durch Einbruch von Karst-Schlotten lage-gestörten, blockig zerfallenen Platten-Dolomite an, die wabig angelöst sind. Die erhaltenen kompakten Partien und Waben-Wände dieser Rauch-Wacken haben die Zusammensetzung:



Das $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Mol-Verhältnis des Lösungs-Rückstandes beträgt 3,6, das des Tons 2,4. Der Fe_2O_3 -Gehalt des Kalksteins liegt bei 0,5%, was etwa 8,2% Fe_2O_3 , bezogen auf den nichtcarbonatischen Lösungs-Rückstand, bedeutet.

Der Kalkstein ist durchsetzt mit feinen gelbbraunen Masern, Drusen und Kavernen-Auskleidungen. Die gelbe Füll-Substanz einiger untersuchter großer Kavernen hat folgende Zusammensetzung:



Diese Zusammensetzung ergibt sich aus einer vergleichenden Auswertung der chemischen Zusammensetzung, der Erhitzungskurve und der Röntgen-Beugungs-Diagramme. Das in carbo-

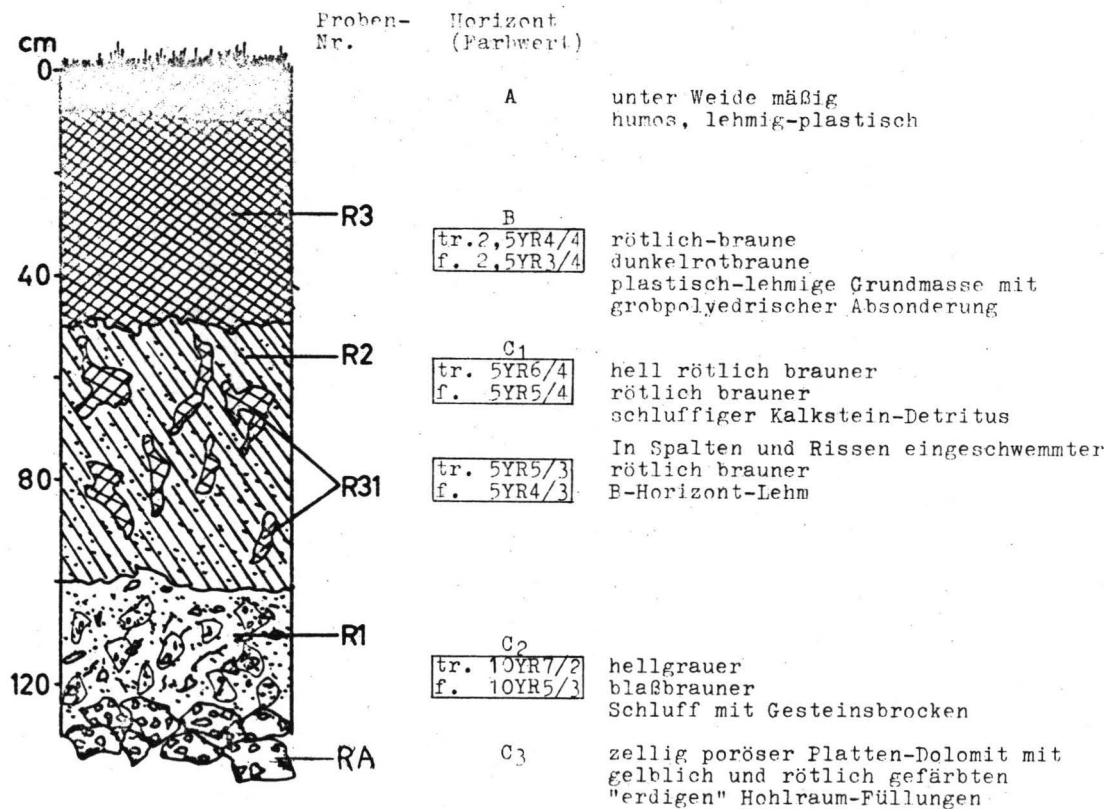


Abb. 1 Kalkstein-Rotlehm Kammerbach

natischer Form enthaltene Fe würde ausreichen, um nach Auflösung der gelben Einschlüsse etwa das 5-fache von dem, was an nichtcarbonatischem Lösungs-Rückstand darin enthalten war, mit 3% Fe_2O_3 zu versehen. Das Ankerit-Fe würde also in ausreichender Menge vorhanden sein, um dem gesamten Ton des Platten-Dolomits einen zusätzlichen färbenden Überzug von Fe_2O_3 zu liefern.

In den Lösungs-Kavernen finden sich ferner carbonat-verbackene rote Füllungen und Beläge mit folgender Beschaffenheit:

3% Calcit 19% Dolomit 78% Lösungs-Rückstand, Zusammensetzung wie I
--

III	trocken: 2,5YR4/4 rötlich-braun feucht: 2,5YR3/6 dunkelrot
-----	---

Alle Rauch-Wacken haben außerdem eine unvollständige rote feste Kruste, die sich m.o.w. scharf von dem hellgrauen Kern der Kalksteine abhebt, bis zu 1mm dick werden kann, aber nicht völlig rein, d.h. ohne Beimengung von Gesteins- CaCO_3 , isoliert werden kann. Die Analyse zeigt:

33% Calcit 7% Dolomit 60% Lösungs-Rückstand, Zusammensetzung wie I und III	
IV	Farbe wie III

Bei den Füllungen und Krusten III und IV handelt es sich demnach um angereicherte nichtcarbonatische Lösungs-Rückstände. Der verbliebene Carbonat-Gehalt zeigt eine zunehmende relative Anreicherung von lösungs-resistenter Dolomit-"Asche".

Der scharfe Farb-Wechsel des nichtcarbonatischen Gesteins-Anteiles (10YR in I und II $\longleftrightarrow$ 2,5YR in III und IV) vollzieht sich offenbar während der Auflösung des kalk-Gesteins.

Der Ort der Rotfärbung läßt sich mikro-morphologisch lokalisieren. Abb. 2, Probe RA zeigt, wie sich im Zustand der lösungs-chemischen Desintegration des Kalksteins der freigesetzte Lösungs-Rückstand als rotbraune diffus verteilte und geflockte Substanz auf den angelösten Calcit- und Dolomit-Oberflächen der zerklüfteten Kavernen-Ränder niederschlägt.

[C2] Über der verkarsteten Rauch-Wacken-Oberfläche liegt eine Aufbereitungs- und Solifluktions-Schicht. Sie besteht aus hellgrauem Schluff, in den einzelne Rauch-Wacken-Brocken eingebettet sind.

Es scheint sich dabei um periglaziales Fließerde-Material zu handeln, das allerdings nicht sehr weit (max. 50m) transportiert wurde und aus dem gleichen Gesteins-Verband wie das darunter anstehende Material hervorgegangen sein dürfte. Diese Schicht scheint nicht mehr von der darüber liegenden Boden-Bildung beeinflußt worden zu sein. Sie zeigt damit an, daß die darunter beobachteten Verwitterungs-Prozesse der Platten-Dolomite alt und beendet sein dürften.

Die Zusammensetzung des Schluffs ist folgende:

7% Calcit

91% Dolomit

2% nichtcarbon. Lösungs-Rückstand, Zusammensetzung wie II

trocken: 10YR3/3 dunkelbraun
feucht: 7,5YR3/2 dunkelbraun

Abb. 2, Probe R₁ zeigt die sehr reinen, scharfkantigen Schluff-Körner, deren Identifizierung als Dolomit durch die mittleren maximalen Licht-Brechungs-Werte $n'_d = 1,66-1,68$ gegeben ist.

Die Vermutung liegt nahe, daß es sich hier um das frost-mechanische Aufarbeitungs- und Verlagerungs-Produkt einer höher im Karst-Relief gelegenen Dolomit-Aschen-Lage handelt.

[C1] Von 1m Tiefe an aufwärts folgt auf die Dolomit-Schluff-Decke eine schwach rötlich-braun getönte Kalk-Detritus-

Lage, die vorwiegend aus dem Schluff frost-zerkleinerter Platten-Dolomite besteht und mit angemürbten, weichen Bruchstücken von Rauch-Wacken durchsetzt ist.

Auch hierbei handelt es sich um eine (jüngere) Fließerde-Decke, die sehr wahrscheinlich das Ausgangs-Material für die Kalkstein-Rotlehm-Bildung dargestellt hat. Aus verschiedenen stratigraphischen Gründen ist die Annahme zu rechtfertigen, daß es sich bei dieser Frost-Schluff-Fließerde-Decke um eine Periglazial-Bildung des Würms und bei dem daraus hervorgegangenen Boden um eine Bildung des Holozäns handelt.

In Rissen und Spalten dieses Horizontes findet sich bereits rotbrauner, aus dem darüber liegenden B-Horizont infiltrierter Lehm mit regelungs-doppelbrechender Ton-Substanz.

- a) Angemürbte Kalk-Brocken (Abb. 2, Probe R₂ , rechte Hälfte): In diesen Kalkstein-Brocken vollzieht sich im Zuge der Auflösung der gleiche Freisetzungs- und Rubefizierungs-Prozeß der nichtcarbonatischen Substanz wie bereits im C₃ beschrieben.
- b) Kalk-Schluff (R₂) : Dieser besteht aus Carbonat-Körnern, die mit geflocktem rotbraunem Lösungs-Rückstand besetzt sind (a). Auch bei diesen Belägen handelt es sich um in situ-Bildungen. Mosaikhafte verteilt innerhalb des Schluffs finden sich daneben Stellen, an denen beweglich gewordene und/oder von oben her infiltrierte Ton-Substanz in Form regelungs-doppelbrechender Poren-Füllungen angereichert ist (c).

Der Schluff-Körper enthält (infiltrierte Partien nach Möglichkeit ausgenommen) 66% Carbonat und 34% Lösungs-Rückstand.

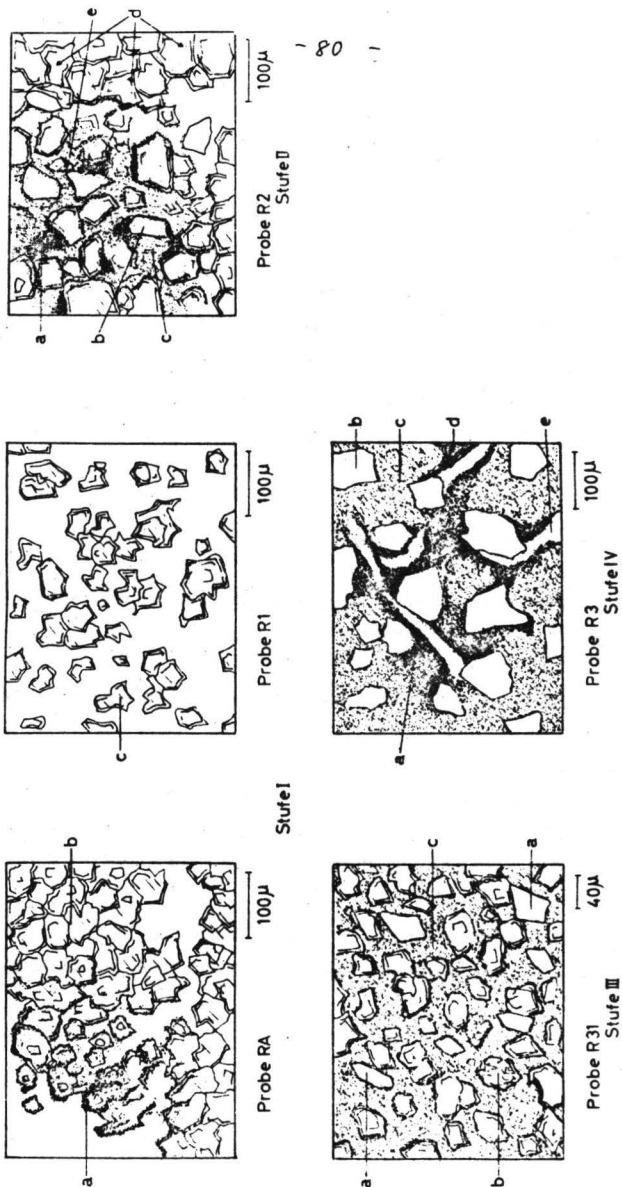


Abb. 2 Schematische Skizzen von Dünnschliffen aus dem Kalkstein-Rotlehm-Profil

Abb. 2 Schematische Skizzen von Dünnschliffen aus dem
Kalkstein-Rotlehm-Profil

Probe RA: angewitterte Rauch-wacke aus dem C₃-Horizont mit
Abscheidung roten geflockten Tons (a) und Carbo-
nat-Körnern im Gesteins-Verband (b)

Probe R1: reine Dolomit-Aschen-Körner (c) aus dem C₂-Hori-
zont

Probe R2: C₁/b-Horizont d) randlich angelöstes Kalkstein-
Bruchstück
e) Calcit-körner mit anlösungs-
Erscheinungen
a) dunkelrotes isotropes Ton-
material
c) regelungs-doppelbrechendes rot-
braunes Ton-Material
b) idiomorphe Quarz-körner

Probe R31: Infiltrations-sektion aus dem C₁-Horizont
(Restcarbonat-haltig)

- b) stark angelöste Carbonat-körner
- c) starke Anreicherungen von regel-
ungs-doppelbrechendem rot-
braunem Ton-Material
- a) Quarz- oder Silikat-körner, z.T.
idiomorph

Probe R3: B-Horizont (carbonatfrei)

- c) regelungs-doppelbrechendes rot-
braunes Ton-Material
- b) Quarz- oder Silikat-körner
- d) dunkelrotes isotropes Ton-
material
- a) konkretionäre Fe- und Mn-An-
reicherung
- e) Hohlraum

In Tab. 2 ist unten die Korngrößen- und Mineralarten-Zusammensetzung eines Ausschnittes (Sektion) dieses Horizontes angegeben, in dem nach dem visuellen Befund keine Ton-Infiltration vorhanden war. Die Analysen-Angaben beziehen sich auf den carbonat-freien Lösungs-Rückstand dieser Probe. Dabei handelt es sich um

- a) gelb-graue Substanz, die noch in den angemürbten, Kalkstein-Brocken eingeschlossen vorliegt,
- b) rote Substanz, die gerade freigesetzt worden ist und als flockiger Niederschlag auf den Korn-Oberflächen im Rand-Bereich und den Kavernen des Kalksteins vorliegt,
- c) "peptisierte", d.h. nach Dispergierung verschwemmte und regelungs-doppelbrechend in den Hohlräumen abgelagerte Substanz.

b) und c) können sowohl nach Ablagerung in situ gebildet oder bereits mit dem Kalk-Schluff abgelagert sein. Wenn man die MUNSELL-Farbwerte des Gesamt-Rückstandes oder der Ton-Fractionen dieses Horizontes mit denen der darüber folgenden Horizonte vergleicht, so ergibt sich kein Unterschied. Das heißt, daß der Anteil a) sehr gering ist oder ganz fehlt und daß sämtlicher Ton bereits den Prozeß der Rubefizierung im "statu nascendi" oder "statu solvendi", d.h. der Freisetzung während der Kalkstein-Auflösung, durchlaufen hat. Nur ganz wenige größere Gesteins-Brocken enthalten noch etwas gelblichen Rückstand. Trotz Rotfärbung der Nichtcarbonat-Substanz erscheint der Gesamt-Horizont noch hell, weil die Rötung durch 66% Carbonat maskiert wird.

Die Korngrößen-Zusammensetzung des Lösungs-Rückstandes von R2 ist etwa die gleiche wie die des Anstehenden (C3; I): ca. 24% Schluff und 76% Ton <2 μ , dessen Verteilungs-Maximum zwischen 0,6 und 0,06 μ liegt. Einen eigenartigen, den Erwartungen zuwider laufenden Effekt hat die vor der Korngrößen-Trennung durchgeführte Extraktion des freien

Eisens mit Dithionit: Erwartungsgemäß nimmt die Schluff-Menge durch Zerkleinerung von oxidver kitteten Aggregaten ab, doch die Ton-Frak tionen zeigen eine überproportionale Vergrößerung. Diese äußert sich in einer Erhöhung des Ton-Korngrößen-Verteilungs-Maximums zwischen 0,6 und 0,2 μ und ist nachweislich auf eine Aggregierung von Feinton-Teilchen auf Mittelton-Teilchen zurückzuführen. Unter Umständen wird dieser Vorgang, der sich auch durch Anwendung verschiedener Dispergierungs-Mittel (Na-Polyphosphate, Wasser etc.) nicht umgehen läßt, dadurch ausgelöst, daß die (mit Polyphosphaten z.B. sehr reaktiven!) ladungs-isolierenden oder als Ansatzflächen für hydrophilisierende organische oder anorganische Agentien (SiO₂ ?) dienenden Fe-oxid-Hüllen der feinsten Silikat-Teilchen beseitigt worden sind.

Die Mineralarten-Verteilung im C₁ (Probe R2) zeigt in den Schluff-Frak tionen ein auffälliges Maximum für Quarz im Grobschluff. Das legt natürlich den Rückschluß nahe, daß etwas Löß der periglazialen Fließerde beigemischt ist. Doch zeigen sowohl die Schluff-Bilder (Abb.2, Probe R2(b), Probe R31(a), -) als auch die phasenkontrast-mikroskopischen Auszählungen der Schluff-Frak tionen, daß die Mehrzahl dieser Quarz-Körner nahezu idiomorph sind. Dies ist ein Hinweis auf die Kalkstein-Bürtigkeit des Schluff-Quarzes. Sein hoher Mengen-Anteil läßt sich durch die Befunde von KALK und MEYER (26) erklären: Bei der Auflösung von festem Kalk-Gestein wird in den aufgelockerten carbonatischen Mazerationen-Krusten der Gesteins-Brocken freigesetzte amorphe SiO₂ oder Bio-Opal in Quarz umgewandelt.

Ca. 75% des Lösungs-Rückstandes sind Dreischicht-Tonminerale, 87% liegen in Ton-Größe (<2 μ) vor. Rund 2/3 sind Glimmer, 1/3 aufweitbare Dreischicht-Tone (Vermiculit, Montmorillonit). Vergleicht man die durch Röntgen-Beugungs-Analyse in Tab. 2 ermittelten Dreischicht-Tonmineral-Gehalte mit den durch Röntgen-Fluoreszenz-Analyse in Tab. 3 ermittelten K₂O-Gehalten der einzelnen Ton-Frak tionen, so

ergibt sich - trotz annähernd gleichbleibender Anteile von Glimmer und aufweitbarem Dreischicht-Ton - eine Verringerung des K-Gehaltes zu den feinen Fraktionen hin ($4,5\% \rightarrow 2,6\% K_2O$), also eine Kalium-Verarmung mit abnehmender Korngröße.

Die Feinst-Ton-Fraktion $< 200\text{\AA}$ ist röntgenamorph, doch zeigt sie unter dem Elektronen-Mikroskop noch Elektronen-Beugungs-Bilder, so daß auch in dieser Fraktion noch mit der Anwesenheit kristalliner Teilchen zu rechnen ist.

Die Eisen-Gehalte der nicht Fe-extrahierten Ton-Frak-tionen in Tab. 3 zeigen, daß die höchsten Fe_2O_3 -Gehalte in der Ton-Fraktion 0,2 bis 0,064 auftreten, also in der Fraktion, die zugleich die niedrigsten MUNSSELL-Hues (2,5YR) aufweist. Ca. 65 bis 70% des Gesamt-Fe des Tons sind mit Dithionit zu extrahieren. - (Die in der Spalte " Fe_2O_3 " angegebenen Eisenoxid-Gehalte der mit Dithionit vorbehandelten Ton-Frak-tionen sind deswegen so hoch, weil in ihnen nur eine einmalige Extraktion mit Dithionit erfolgte). - Vergleicht man die ermittelten Gehalte an Gesamt- Fe_2O_3 und freiem Fe_2O_3 der gesamten UP und der einzelnen Ton-Frak-tionen mit den entsprechenden Proben von nicht rubefizierten, also normalen braunen Kalkstein-Braunlehmern der süd-niedersächsischen Kalkstein-Formationen, so überrascht die Tatsache, daß letztere etwa die gleichen Eisen-Gehalte auf-weisen, ohne eine Rotfärbung zu zeigen. (Tone aus medi-terranean Roterden zeigen ebenfalls etwa gleiche Fe_2O_3 -Gehalte, vgl. LISANTI, 33 - und RAVIKOVITCH u.a., 38).

Die Rubefizierung der im Werra-Zechstein verbreiteten holo-zänen und älteren Kalkstein-Rotlehme muß also ihre Ursache entweder im Dispersitäts-Grad der Eisenoxide, in der Kristall-Modifikation oder in den Begleit-Komponenten (SiO_2 ?) der Eisenoxid-Hüllen haben und diese wiederum können entweder mit der spezifischen Zusammensetzung der amorphen nichtcarbonatischen Kalkstein-Komponenten (SiO_2 ?) oder der spezifischen Verwitterungs-Morphologie dieser Kalke (none hazerations-Fähigkeit ?) in Zusammenhang stehen.

Kalkstein-Rotlemm

Tab. 2 Korngrößen- und Mineralzusammensetzung

(Gew% des humus- und carbonatfreien Bodens <63µ)

Min. Art	1 gU	2 mU	3 fU	4 g/gmT	5 fmT	6 fT	7 fft	8 Σ1-7
B-Horizont			tr.	2,5YR 5/4	2,5YR 4/2	2,5YR 3/4		2,5YR 4/4
Probe (R3)			f.	2,5YR 4/4	2,5YR 3/6	2,5YR 2/4		2,5YR 3/4
Q	9,03	3,33	1,34	1,53	-	-	-	15,23
F	2,18	0,58	0,34	-	-	-	-	3,10
G	2,43	8,45	4,50	16,32	6,42	7,00	-	45,62
M	-	-	4,32	12,20	4,28	7,00	-	27,80
K	-	0,05	0,04	-	-	-	-	0,09
S	0,39	0,33	0,20	-	-	-	-	0,92
U	2,00	0,30	0,06	-	-	-	3,70	6,06
UP-Fe	16,03	13,04	10,80	30,53	10,70	14,00	3,70	98,80
UP	18,90	14,31	10,78	19,70	16,72	17,53		97,93

Füllungen im C1			tr.	2,5YR 5/4	2,5YR 4/4	7,5YR 3/2		5YR 5/3
Probe (R31)			f.	2,5YR 4/4	2,5YR 3/4	5YR 2/2		5YR 4/3
Q	3,31	1,32	0,75	3,22	-	-	-	8,60
F	0,29	0,37	0,25	-	-	-	-	1,51
G	0,26	1,80	1,67	14,48	16,78	12,26	-	47,25
M	-	-	1,23	14,48	13,73	6,60	-	36,04
K	0,01	0,03	-	-	-	-	-	0,04
S	0,05	0,11	0,19	-	-	-	-	0,39
U	0,42	0,04	0,02	-	-	-	4,48	4,96
UP-Fe	4,04	3,68	4,11	32,18	30,51	18,86	4,48	98,98
UP	5,07	3,78	5,09	25,44	30,39	29,14		98,91

Fortsetzung v. Tab. 2

Min.	1	2	3	4	5	6	7	8
Art	gU	mU	fU	g/gmT	fmT	fT	fft	≤1-7
C1-Horizont			tr.	5YR 7/3	2,5YR 4/2	7,5YR 4/2		5YR 6/4
Probe (R2)			f.	2,5YR 6/4	2,5YR 3/4	5YR 3/4		5YR 5/4
Q	4,48	2,46	1,46	1,84	1,24	-	-	11,48
F	0,97	0,64	0,60	-	-	-	-	2,21
G	0,67	3,01	4,48	18,45	12,37	6,09	-	45,07
M	-	-	1,69	13,22	11,13	6,09	-	32,13
K	-	0,08	0,06	3,38	-	-	-	3,52
S	0,24	0,31	0,17	-	-	-	-	0,72
U	0,38	0,09	0,03	-	-	-	3,38	3,88
UP-Fe	6,74	6,59	8,49	36,89	24,74	12,18	3,38	99,01
UP	6,56	7,28	9,79	29,34	19,29	26,72		98,98

Q = Quarz

F = Alkali-Feldspäte (einschl. Albit u. Oligoklas)

G = Glimmer-Minerale (Muskovit, Biotit u. a. Phyllosilikate i.d. Schluff-Fractionen, Illite i.d. Ton-Fractionen)

M = Montmorillonitische Minerale (u. sonst quellbare Dreischicht-Tonminerale, Vermiculit)

K = Kaolinit

S = Schwerminerale

U = Unbestimmbare u. opake Teilchen d. Schluff-Fractionen bzw. röntgenamorpher Ton-Anteil

UP = { Mineral-arten- und Fraktions- } in Gewichtsprozent { ohne } Fe_d-Extraktion
 UP-Fe = { Summen } bezog. auf die UP { mit } (<65μ)

gU = Grobschluff 63-20μ

mU = Mittelschluff 20-6μ

fU = Feinschluff 6-2μ

g/gmT = { Grobton 2-0,2μ
 Grob-Mittelton

fmT = Feinmittelton 0,2-0,06μ

fT = Feinton 0,06-0,02μ

fft = Feinstton <0,02μ

Tab. 3 Kalkstein-Rotlemm, Chemische Zusammensetzung (Gew.%TrS)
von Untersuchungs-Probe(Gesamt) und Ton-Fractionen

Hor. (Probe)	Fraktion	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	dav. fr.Fe (Fe _d) sep. best.	MnO	TiO ₂	K ₂ O	CaO	SiO ₂ (Mol) Al ₂ O ₃
B (R3)	UP	51,80	19,25	6,32		0,140	0,68	4,20	1,40	4,57
	g/gmT fmT ohne fT	44,50	27,00	7,84	3,79	0,127	1,06	5,02	1,20	2,79
		42,20	25,00	8,84	5,29	0,068	0,43	4,20	1,50	2,86
		39,70	26,00	6,26	2,57	0,083	0,19	2,48	1,40	2,59
	g/gmT fmT mit fT	40,12	24,50	4,20		0,042	0,76	4,76		2,78
		44,70	26,50	4,60		0,040	0,31	4,20	1,15	2,86
		42,90	26,00	5,12		0,037	0,26	2,80	1,10	2,80
(R31)	UP	30,50	14,75	4,45		0,062	0,36	2,20	12,20*)	3,51
	g/gmT fmT ohne fT	40,50	25,70	7,80	4,22	0,079	0,76	3,35	1,90	2,67
		40,00	25,50	8,00	4,65	0,082	0,38	3,18	2,00	2,66
		38,00	25,25	6,20	2,79	0,080	0,20	1,87	3,70	2,55
	g/gmT fmT mit fT	38,00	24,75	3,62		0,032	0,72	3,44		2,61
		39,00	25,75	5,15		0,043	0,34	2,85	1,40	2,57
		41,00	26,90	5,60		0,030	0,28	2,25	1,10	2,58
C1 (R2)	UP	38,00	15,50	5,36		0,053	0,53	2,97	6,10*)	4,16
	g/gmT fmT ohne fT	43,00	27,80	6,75	4,58	0,055	0,88	4,37	1,60	2,62
		41,50	25,75	8,24	5,65	0,050	0,40	4,42	1,40	2,73
		35,00	22,00	7,10	4,58	0,052	0,18	2,60	2,95	2,70
	g/gmT fmT mit fT	40,50	27,00	2,95		0,027	0,91	4,48		2,54
		39,50	25,00	5,15		0,036	0,29	3,84	1,45	2,68
		42,50	27,00	6,45		0,030	0,24	2,97	1,10	2,67

*)nicht aufgelöste Dolomit-Restein den Schluff-Fractionen

Der Dolomit-Anteil der Kalke scheint weniger bedeutungsvoll zu sein, da auf anderen Dolomit-Kalken (z.B. im Jura) unseres Raumes unter sonst ähnlichen Bedingungen normale Kalkstein-Braunlehme auftreten.

Alle Röntgen-Beugungs-Diagramme dieses Horizontes und der darüber folgenden ergeben geringe Hämatit-Peaks, die jedoch in ihrer Intensität keineswegs mit denen der ähnlich rubefizierten und ähnlich stark eisenhaltigen Laterit-Proben konkurrieren können.

Über die Begleit-Komponenten der freien Eisenoxide läßt sich wenig aussagen. Mit dem Fe_4 werden ca. 50% des Gesamt-Mn extrahiert, doch ist das Fe : Mn Atom-Verhältnis mit 105 (g/gmT) bis 207 (fT) sehr weit. Die durch Eisen-Extraktion hervorgerufenen Veränderungen bei der Kieselsäure, d.h. die Abnahme in den gröberen und die Zunahme in den feineren Fraktionen, läßt nicht auf eine Beteiligung kolloider Kieselsäure schließen. Die SiO_2 : Al_2O_3 -Verhältnisse der Fraktionen bleiben konstant. Bedenkt man, daß durch die Dithionit-Extraktion des Fe eine "Vergrößerung" des Tons stattgefunden hat, dann erklärt sich die Veränderung in der Spalte SiO_2 bereits durch die Umverteilung der Ton-Partikel-Größen.

[B] Die Sektions-Probe R31 aus dem C1-Horizont und die Probe R3 aus dem B-Horizont lassen sich gemeinsam betrachten, da es sich bei R31 um B-Horizont-(R3)-Material handelt, das in den C1-Horizont eingeschwemmt wurde.

Bei einem Vergleich der Tabellen 2 und 3 überrascht der außerordentlich geringe Unterschied im Verwitterungs-Zustand dieser beiden Proben gegenüber dem nichtcarbonatischen Lösungs-Rückstand (R2) aus dem C1-Horizont, obwohl R3 ganz, R31 unvollständig entkalkt sind und R2 noch kalkhaltig ist. Ein geringer Unterschied besteht lediglich darin, daß der B-Horizont offensichtlich eine gewisse Fremd-Beimischung

von Schluff-Quarz, -Feldspat und -Glimmern erhalten hat, deren Relativ-Anteile etwa denen des hiesigen Lösses entsprechen. Die Füllungen im C₁-Horizont bestehen nicht nur aus Ton, sondern auch aus Schluff, so daß anzunehmen ist, daß alle Korngrößen-Anteile des B-Horizontes gemeinsam eingewaschen worden sind, was bei der hohen Mobilität der Matrix und dem weiten Kluft-System des C₁-Horizontes nicht überrascht. Allerdings scheint dabei eine gewisse Verlagerungs-Bevorzugung der Ton-Substanz eingetreten zu sein, denn das Schluff-Ton-Verhältnis in der Probe R₃₁ zeigt eine Verschiebung zugunsten des Tones, und hier besonders zugunsten der feineren Fraktionen, die im B-Horizont entsprechend etwas vermindert sind. Der Kalk-Gehalt dieser Probe und der Relikt-Charakter der darin enthaltenen Carbonat-Körner (relative Dolomit-Anreicherung) läßt vermuten, daß die Einschwemmung des Materials schon vor Beendigung der Entcarbonatierung (evtl. nach Aufzehrung der Calcit-Komponente) stattgefunden hat.

Die kalkfreie Grundmasse des B-Horizontes hat darüber hinaus noch weitere Umwandlungen gegenüber den eingeschwemmten Sektions-Proben R₃₁ erfahren. Diese Veränderungen betreffen besonders die Verteilung der freien Eisenoxide in der Matrix. Sie werden aus dem Vergleich der Dünnschliff-Bilder R₃₁ und R₃ in Abb. 2 ersichtlich. R₃₁ besteht aus einer durch und durch regelungs-doppelbrechenden Ton-Substanz. Große Feld-Ausschnitte (bis zu 50% der Gesamtfläche) zeigen dabei eine einheitliche Orientierung und legen den Schluß nahe, daß es sich hier um Fließ-Strukturen peptisierter Breie handelt. In diesen "Brei" eingebettet finden sich die Schluff-Silikat- und Rest-Dolomit-Körner. Auch die kalkfreie Grundmasse des rotbraunen B-Horizontes (R₃) besteht zu großen Anteilen noch aus der durch großflächige Fließ-Strukturen gekennzeichneten regelungs-doppelbrechenden rotbraunen Ton-Substanz; allerdings finden sich auch schon gelegentlich in die geregelte Matrix eingebettete bruch-

Stücke regelungs-doppelbrechender Ton-Pakete. Im Gegensatz zu R31 ist hier die Grundmasse von zahlreichen den Einregelungs-Ebenen parallelen, aber auch großen, quer hindurchlaufenden Schrumpf-Rissen durchzogen. Dies zeigt, daß der Horizont schon im Einfluß-Bereich des atmosphärischen Durchfeuchtungs-Wechsels liegt. Auffällig und neu ist nun die Erscheinung, daß die Matrix größere Zonen aufweist, in denen sich 1 bis 10 μ große Eisenoxid-Abscheidungen häufen, die - wenn sie dicht genug liegen - der im Durchlicht gelbbraunen Matrix ein leuchtendes Rotbraun verleihen und die Regelungs-Doppelbrechung nicht mehr erkennen lassen. In den Rand-Bereichen älterer Poren häufen sich diese Abscheidungen, werden dunkelbraun und schließen sich - im Durchlicht wie im Auflicht - zu schwarzen Oxid-Krusten zusammen, die zum Teil dendritische Formen annehmen. Solche Konkretionen sorgen für die Erhöhung des opaken Schluff-Anteiles in der Gruppe U der Probe R3 in Tab. 2. Offensichtlich ist aber die Umfällung des Eisens, die sich in einer Erniedrigung des Relativ-Anteiles Fe_d am Gesamt-Fe äußert, mengenmäßig noch so gering, daß dadurch keine Farb-Änderung der Korngrößen-Fractionen eintritt.

Die fein-konkretionäre Umfällung und dendritische Abscheidung freier Eisenoxide ist ein für die normalen braunen Kalkstein-Braunlehme Süd-Niedersachsens, und zwar sowohl für die gelbgrauen C₁-Horizonte als auch die braunen B-Horizonte gewöhnliches Phänomen. Es ähnelt den Eisenoxid-Abscheidungen, die man auch an den Poren-Rändern in Pseudogleyen oder innerhalb der eingeregelter Ton-Wandbeläge stark versauerter und etwas vernäßter Parabraunerden (in denen keine Ton-Verlagerung mehr erfolgt) beobachtet. Wie bei diesen ist wohl auch in unserem Rotlehm die Eisenoxid-Ausscheidung hauptsächlich auf eine Kurz-Distanz-Diffusion von Fe-Ionen aus dem langfristig feuchten, reduktiven Milieu des Aggregat-Inneren zu den belüfteten Oberflächen hin zurückzuführen.

3.3 DISKUSSION

Im Mittelpunkt der Diskussion soll die Frage nach den mineralogisch-chemisch-physikalischen Ursachen der Rubefizierung von Kalkstein-Böden und die Frage nach den standörtlichen Bedingungen und Begrenzungen dieser Rubefizierung stehen. Dazu sollte man zunächst das Argument, es handle sich bei den hier betrachteten Böden um Bildungen früherer, andersartiger Klimate, die mit anderen Maßstäben als unsere holozänen Kalkstein-Braunlehme und -Braunerden zu messen seien, ausräumen. Die stratigraphische Evidenz eines jungen, holozänen Alters, gestützt durch die außerordentlich geringe Verwitterung des freigesetzten Lösungs-Rückstandes, gestattet, die Zechstein-Rotlehme und -Rotlehm-Rendsinen des Werra-Sattels direkt mit den holozänen Kalkstein-Braunlehm- und Braunlehm-Rendsinen der übrigen süd-niedersächsischen Kalk-Formationen zu vergleichen. Es ist dabei die Frage zu stellen, welche petrographisch bedingten Ursachen - und nur um solche kann es sich nach exakten Standorts-Vergleichen noch handeln - in dem einen Fall - z.B. auf den Platten-Dolomit-Rauchwacken - zu einer Rubefizierung der Kalkstein-Braunlehme geführt haben und im anderen Fall - so auf fast allen anderen süd-niedersächsischen Kalk-Formationen - durch Nicht-Vorhanden-Sein lediglich die Ausbildung normal brauner Kalkstein-Braunlehme zugelassen haben. Wir sind uns dabei der Tatsache bewußt, daß unser Vergleichs-Material zu knapp ist, um weitreichende Schlußfolgerungen ziehen zu können, die z.B. auch das im Mittelmeer-Raum anzutreffende Nebeneinander roter und brauner gleichaltriger Kalkstein-Böden erklären. So sei die folgende Betrachtung lediglich als ein Versuch angesehen, die aufgrund kleinregionaler Beobachtungen und Vergleiche gewonnenen Vorstellungen simplifizierend in einer Arbeits-Hypothese zusammenzufassen.

Die dargelegten Untersuchungen zeigen, daß die Rotfärbung des Kalkstein-Lösungs-Rückstandes im "statu solvendi", d.h.

also während der Auflösung des Kalksteins, im mazerierten Zustand erfolgt. Dabei wird der gelbgraue Lösungs-Rückstand der Kalke von rotgefärbten Eisenoxiden überzogen. Wird diese Rötung der nichtcarbonatischen Substanz im statu solvendi nicht erreicht, so kann sie später nicht nachvollzogen werden. Es bleibt dann bei der normalen Gelb-Braun-Färbung unserer üblichen Kalkstein-Braunlehme. Man hat also die Frage so zu präzisieren:

Welches sind die Bedingungen, die im Zustand der Kalkstein-Auflösung die Rot-Färbung des nichtcarbonatischen Lösungs-Rückstandes bedingen?

Die durchgeführten Analysen lassen erkennen, daß der Lösungs-Rückstand der Kalke graubraun gefärbt ist und erst im Zuge der Auflösung gerötet wird. Die spezifische Färbung des Lösungs-Rückstandes (Rückstands-Theorie, vgl. HARRASOWITZ, 21) kann also nicht die Ursache sein. Eine Beteiligung von amorpher Kieselsäure an der Umfällung und Dispergierung der Eisenoxide (vgl. hierzu REIFENBERG, 39, KUBIENA, 29, SCHMIDT-LORENZ, 47), die nach dem bei CORRENS (7) und STÜBER (50) dargestellten Lösungs-Verhalten der Kieselsäure im schwach alkalischen und neutralen Milieu denkbar wäre, findet in unseren Analysen keinerlei Bestätigung. Die Gehalte der Kalke an freier SiO_2 sind gering, und bei der Bodenbildung ist keine ins Gewicht fallende Umverteilung der Kieselsäure festzustellen.

Bedeutungsvoll erscheinen dagegen zwei Eigenschaften der hier behandelten Zechstein-Rauchwacken, die anderen Kalken fehlen. Das ist zum einen der relativ hohe Anteil an carbonatischem Fe in Form von Ankerit und zum anderen die Neigung der Kalke zur kavernösen Karst-Verwitterung, die - nicht allein, sondern nur in der Kombination - für den Prozeß der Kubefizierung im statu solvendi entscheidend zu sein scheinen und in dieser Kombination den meisten anderen Kalken fehlen.

Bei der Auflösung der Zechstein-Dolomit-Kalke wird noch im Stadium der Desintegration des Gesteins-Verbandes das aus den Ankerit-Inklusen freigesetzte Eisen diffusiv in den Intergranularen verteilt. Es scheidet sich zum Teil auf den Oberflächen singularisierter Carbonat-Körner ab, von denen es nach deren endlicher Auflösung als Oxid-Schüppchen frei wird. Offensichtlich ist aber die Fällung auf nichtcarbonatischen Ton-Partikeln, die in Schlieren das mazerierte Gestein durchziehen, wirksamer, weil beständiger. Diese Fällung scheint sich, den Röntgen-Beugungs-Analysen zufolge, in hämatitischer, und nicht - wie bei dem hydrogencarbonatreichen Milieu im Randbezirk der Kalksteine zu erwarten - goethitischer Kristall-Modifikation zu vollziehen. Der in den Ankerit-Partien der Kalke gebundene Fe-Anteil reicht offensichtlich aus, um alle nichtcarbonatischen Anteile der Kalksteine mit solch einer roten Oxid-Hülle zu versehen. Man darf nun aufgrund dieses Befundes nicht erwarten, daß alle an Ankerit reichen Kalke den Prozeß der Rubefizierung der lehmigen Rückstands-Schichten auslösen. Im unteren Muschelkalk des südlichen Niedersachsen gibt es mehrere Folgen von Gelb-Kalken, die in verschieden hohen Gemeng-Anteilen aus Ankerit bestehen, aber keine Rotlehme bilden. Sie sind einerseits sehr reich an nichtcarbonatischem Lösungs-Rückstand und zerfallen andererseits sehr rasch zu dichtlagernden Verwitterungs-Decken aus einer schluffig-tonigen Misch-Substanz, in der schon während der Carbonat-Abfuhr die Abscheidung von feinkonkretionärem Fe-oxid beobachtet wird, die bei unserem Rotlehm erst sehr viel später erfolgt. Dieser Befund lenkt den Beobachter auf den zweiten zur Rubefizierung notwendigen Faktor, die Karst-Verwitterung der Kalke.

Wie RONDENBURG und MEYER (40) ausgeführt haben, verwittern die meisten der einen Kalkstein-Braunlehm bildenden südniedersächsischen Kalke in der Weise, daß die durch Auflösung der Kalke erfolgende Vertiefung der Rückstands-

Bodendecke m.o.w. gleichmäßig voranschreitet, und zwar unter Erzeugung einer annähernd gleich starken Lehm-Decke. In diese werden die aufzulösenden Kalk-Brocken eingebettet. Sie gelangen dadurch in ein Milieu ausgeglichenerer Feuchte und periodisch reduktiver Bedingungen. Anders liegen die Verhältnisse bei den Karst-Kalken, bei denen infolge Lösungs-Inhomogenität die Verwitterung zungenartig differenziert nach unten fortschreitet und immer eine Fülle gut durchlüfteter großer und kleiner Hohlräume zwischen und in den Gesteins-Brocken vorhanden ist. Es scheint nun aufgrund der mikro-morphologischen Beobachtungen so zu sein, als ob gerade dies eine der Ursachen für die Abscheidung roter hämatitischer Fe-oxid-Hüllen in den Rand-Bezirken innen feuchter und außen gelegentlich austrocknender Kalkstein-Brocken ist, im Gegensatz zu den Goethit- bzw. Lepidokrokite-Bildungen (47) der homogenen Kalkstein-Braunlehm-Verwitterungs-Decken. Erst wenn sich der rubefizierte Rückstands-Lehm auf den Karst-Kalken zu einer stärkeren Lehm-Decke akkumuliert hat, so daß sich - wie bei den Kalkstein-Braunlehmen - ein ähnlich gemäßigter Durchfeuchtungs-Wechsel mit oxydo-reduktiven (schwach pseudogley-artigen) Umfällungs-Bedingungen für das Eisen einstellen kann, kommt es zu einer langsamen Auflösung der roten Eisenoxid-Hüllen und mehr oder weniger konkretionärer Abscheidung des Fe in goethitischer Form. Dies kann dann - eine genügend lange Entwicklungs-Dauer des Bodens vorausgesetzt - zur Aufhellung oder Verbraunung des Rotlehms führen.

Daß die Fähigkeit des Kalkes zur kavernenhaften Verwitterung, "Verkarstung", nicht die alleinige Ursache für die Rubefizierung des Rückstands-Lehms sein kann, zeigen die vielen Karstkalk-Vorkommen Mittel-Europas und auch die karstaktiven Jura-Kalke des süd-niedersächsischen Raumes, auf denen lediglich die gewöhnlichen braunen Kalkstein-Braunlehme verbreitet sind.

Wir müssen also aufgrund unserer bisherigen Vergleichs-

Untersuchungen folgern, daß nur die Kombination von karstmäßigem Verwitterungs-Verhalten und einem Überschuß an carbonatisch gebundenem Eisen die Rubefizierung des Rückstands-Lehmes im statu solvendi auszulösen vermögen. Wir müssen jedoch vorsichtshalber die Möglichkeit offen lassen, daß auch noch andere Faktoren, die wir analytisch noch nicht erfassen konnten oder die nur an anderen Standorten gegeben sind, eine Rolle im Hinblick auf die Rubefizierung zu spielen vermögen.

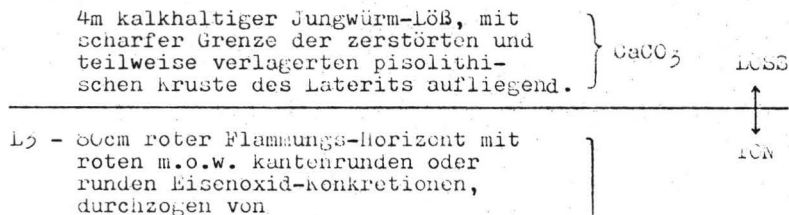
4 DER L A T E R I T

4.1 LAGE

Das unter 4m Jungwürm-LÖß begrabene Laterit-Profil liegt in der Ziegelei-Grube der Fa. Hohmann an der Straße Gudensberg-Obervorschütz, Kreis Fritzlar, Nordhessen (vgl. 4). Der Profil-Aufbau ist bereits von BARGON und RAMBOW (3) beschrieben worden. Das in Abb. 3 dargestellte Profil ist etwas weniger mächtig als das von den Autoren in einem früheren Abbau-Zustand der Grube aufgenommene Profil. Der eigentliche Eisenoxid-Laterit-Panzer ist nur noch in Form faustgroßer, pisolithischer Bruchstücke vorhanden.

4.2 PROFIL-AUFBAU

Das Profil baut sich von oben nach unten wie folgt auf (vgl. Abb. 3):



- | | | |
|---|---|---|
| L2 - grauen bis gelblichen m.o.w. vertikal orientierten Streifen, die ebenso in den folgenden Horizont übergreifen, sekundär aus dem LÖB heraus mit CaCO_3 angereichert. | } | entkalkt;
sekundär aufgekalkt nur in den Streifen L2 |
| L1 - 50cm gelb-braune Flammungszone. | | |
| C1 - 90cm hellgrauer, sehr schwach carbonathaltiger, mechanisch (Quellung-Schrumpfung) homogenisierter Rupel-Ton, hydrologisch: Reduktions-Zone. | } | CaCO_3
(primär) |
| C2 - grauer, sehr schwach carbonathaltiger, schichtiger Ton mit Makro-Foraminiferen. | | |

Probe L3 ist aus den roten, Probe L1 aus den braunen Flecken und Probe L2 aus den grauen Streifen entnommen und nach Absieben der Konkretionen > 63 μ untersucht worden. Die Konkretionen werden im folgenden gesondert betrachtet.

An der Grenze L3/LÖB und verstreut eingemischt in den roten Flammungs-Horizont finden sich bis zu kopfgroße Blöcke aus Tertiär-Quarzit. Außerdem lassen sich an der Profil-Wand auch tieferreichende, verbogene Eiskeile und Ansätze zu Kryoturbationen erkennen. Diese Erscheinungen deuten auf die Existenz einer ehemaligen Fließerde-Decke hin, die vor der LÖB-Anwehung wieder beseitigt wurde und von der nur noch die durch die Kruste in den Ton eingesunkenen Reste erhalten geblieben sind. Die periglaziale Vermischung der Fließschutt-Reste mit dem obersten Teil der lateritischen Ton-Unterlage ist jedoch nicht sehr intensiv, so daß man an der Profil-Wand die Linsen mit allochthonem Soliflukts-Material hinreichend sauber von dem Laterit-Material trennen kann.

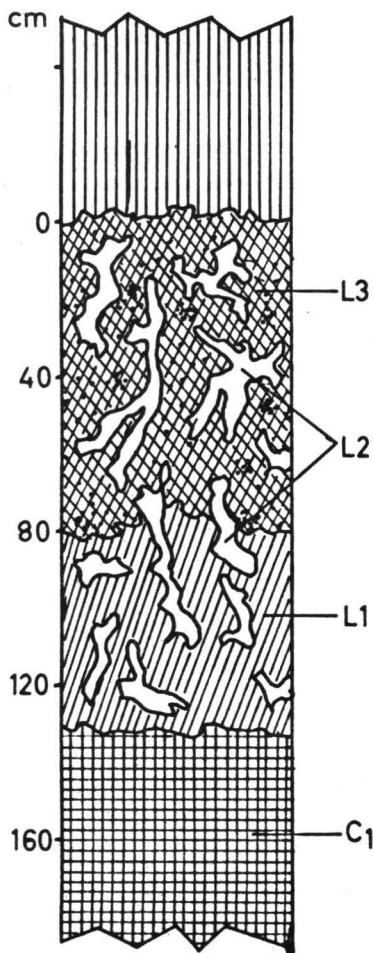
Obenhalb der Entkalkungs-Grenze des Laterits, also in L1, L2 und L3, ist die gesamte Matrix des Solums regelungsdoppelbrechend.

4.3 HORIZONT-VERGLEICH

4.3.1 C2 - C1 - L1

Zwischen diesen drei Horizonten bzw. Proben besteht im Hinblick auf die Korngrößen- und Mineralarten-Zusammensetzung

Proben- Horizonte (Farbwerte)
Nr.



Löß-Decke (Jungwürm)

Roter Flammungs-Horizont:

tr. 10R4/4	carbonat-freier
f. 10R3/6	Ton mit roten Eisen-
	konkretionen (L3)

Weiß-graue Streifen:

tr. 2,5Y8/2	tonig, schwach
f. 2,5Y7/2	carbonathaltig (L2);
	setzen sich bis in
	den gelb-braunen Flammungs-Hori-
	zont hinein fort

Gelb-brauner Flammungs-Horizont:

tr. 10YR6/6 - 2,5Y8/0	außer
f. 10YR6/8 - 2,5Y7/0	der
	Farbe

strukturell wenig veränderter
Ausgangston ohne Eisen-konkre-
tionen (L1)

Hellgrauer, sehr schwach carbo-
nathaltiger Rupel-Ton (hydro-
logisch bedingte Reduktions-
zone), ohne Schichtigkeit

← C2 Grauer, schwach schichtiger,
unveränderter, sehr schwach
kalkhaltiger Rupel-Ton

Abb. 3 Laterit-Profil von Obervorschütz, krs. Fritslar

sowie im Hinblick auf die Elementar-Zusammensetzung kein Unterschied. Es genügt daher, stellvertretend für diese drei Horizonte lediglich die aus dem gelbbraunen Flammungs-Horizont stammende Probe L1 als das Ausgangs-Material des Bodens zu betrachten.

Zusammensetzung: Tab. 6 zeigt, daß es sich bei dem Ausgangs-Material des Laterits (L1) um einen "Ton" handelt, der zu 1/4 aus Schluff, zu 3/4 aus Ton ($< 2\mu$) besteht.

2/3 des Schluffs ist Quarz, 1/3 Glimmer.

Ca. 60% des Tons ist Kaolinit, 20% sind Glimmer und 15% Montmorillonit.

Die Glimmer aller Korngrößen, also einschließlich des illitischen Ton-Anteiles, machen, allein betrachtet, 23% der Gesamt-Probe aus, der Quarz 15%. Der Feldspat-Anteil kann vernachlässigt werden.

Von den rund 6% Gesamt-Fe₂O₃ ($\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{t})}$) sind ca. 2/3 freies, dithionit-extrahierbares Eisenoxid ($\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{d})}$), dessen Kristall-Modifikation sich röntgenographisch nicht bestimmen läßt. Der Farbe nach müßte es sich in L1 um Goethit handeln.

Der Sand ($> 63\mu$), der vorher von der UP abgetrennt worden war, ist in C2, C1 und L1 vernachlässigbar gering. In L2 und L3 besteht er aus Konkretionen, deren Zusammensetzung in Tab. 4 separat dargestellt ist.

Unterschiede zwischen C2 und L1: Gegenüber C2 hebt sich L1 deutlich durch seine braune Verfärbung ab. Die geringfügigen chemischen Unterschiede betreffen jedoch nur das Calciumcarbonat, das freie Eisenoxid und das Titan (vgl. C2/L1 in Tab. 7).

Calciumcarbonat: Während C2 und C1 noch geringe Mengen CaCO_3 enthalten ($< 0,5\%$), ist L1 schon völlig entkalkt.

Freies Eisenoxid: Bei gleichem Gehalt an $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{t})}$ und $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{d})}$ in C1, C2 und L1, d.h. also ohne Zufuhr von Fe zu L1 und ohne Vermehrung von Fe_2 auf Kosten von silikatisch gebundenem Fe, hat in L1 (Oxydationszone!) eine Umverteilung

des primär vorhandenen freien Eisenoxids stattgefunden. Dabei hat sich das $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{d})$ "vergrößert", d.h. es ist aus den feineren Ton-Fractionen in die gröberen und in den Schluff übergegangen. Dies veranschaulicht die Übersicht in Tab. 4:

Tab. 4 Verteilung der Eisenoxide in L1

ϕ in μ	$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{u})$ in % der UP	$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{d})$		$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{d})$ -Veränderung gegenüb. C1 bzw. C2
		% d. UP	% v. $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{u})$	
63-2	0,48	0,45	95	+0,4
2-0,2	2,13	1,85	87	+1,3
0,2-0,06	1,80	1,14	64	-0,2
<0,06	1,34	0,41	31	-1,5
UP	5,75	3,85	67	± 0

Die Ursache für diese Umverteilung in die gröberen Fraktionen mag mit der oxydativen Abscheidung in den gröberen Poren des Tons zusammenhängen.

Titan: Eigenartig ist das Verhalten des Titan-Anteiles in L1. Ein erheblicher Prozentsatz geht bei der Extraktion der freien Eisenoxide verloren, d.h. er verschwindet mit der Extraktions-Lösung, und zwar schon im ersten Extraktions-Gang. Es sei in diesem Zusammenhang noch einmal daran erinnert, daß für Tab. 6 und 7 nur eine einmalige "Reinigung" der Proben mit Dithionit vorgenommen wurde und der tatsächliche Gehalt an Fe_2 etwas größer als angegeben ist. Ähnlich wie beim freien Eisenoxid muß sich auch beim Titan in L1 gegenüber C eine lösungschemische Umverteilung vollzogen haben, wobei der Gesamtgehalt gleichgeblieben ist. Eine Übersicht hierfür gibt Tab. 5:

Tab. 5 Verteilung des Titans (ausgedrückt in TiO_2) in L1

$\emptyset$ in μ	$\text{TiO}_2(\text{t})$ % d. UP	$\text{TiO}_2(\text{d})$ extrahier- bar % d. UP % v. $\text{TiO}_2(\text{t})$		Fe_2O_3 $\text{TiO}_2(\text{t})$	Fe_2O_3 $\text{TiO}_2(\text{d})$	$\text{TiO}_2(\text{d})$ Ver- änderung gegenüber C_1
63-2	0,35	n.b.	n.b.	1,4	n.b.	+0,34
2-0,2	0,54	0,31	57	4,0	6,0	+0,39
0,2-0,06	0,12	0,03	25	15,0	37,9	-0,24
<0,06	0,03	-	-	44,8	?	-0,49
UP	1,04	0,34	33	5,5	n.b.	$\pm 0,00$

Offensichtlich ist der überwiegende Teil des im Ausgangs-Material enthaltenen Titans eng mit dem Eisen vergesellschaftet, ohne daß es uns möglich war, diese Bindung kristallographisch in irgendeiner Weise zu identifizieren. Nach TRÖGER (54) könnte man von Leukoxen sprechen, der als Verwitterungs-Produkt älterer bauxitischer Decken in das Rupelton-Sediment gelangt ist. Er findet sich in den feinsten Fraktionen und wird von Eisenoxid in Form von Hämatit oder Goethit begleitet. Den Analysen zufolge wird dieser feinstkörnige Leukoxen im Zuge der Lösung und Umfällung des Eisens ebenfalls angelöst und wieder zu Leukoxen umgefällt. Als Zwischen-Stufen können dabei (n. TRÖGER) Titanylcarbonat und dessen Dissoziations-Produkt Titanoxidhydrat gebildet werden.

Vergleicht man die letzten drei Spalten von Tab. 5 mit der letzten Spalte von Tab. 4, so zeigt sich, daß die Mobilisation des Titans relativ geringer als die des Eisens ist. Zwar ergibt sich ebenfalls eine "Vergrößerung", doch bleibt relativ mehr Titan in den feinsten Fraktionen als Eisenoxid zurück. Die umgefällten Eisenoxide sind dementsprechend titan-ärmer, als dem Ausgangs-Zustand entspricht.

Tab. 6 Laterit, Korngrößen- und Mineral-Zusammensetzung
(Gew.% des humus- und carbonatfreien Bodens < 63µ)

Min.	1	2	3	4	5	6	7	8
Art	gU	mU	fU	g/gmT	fmT	fT	fft	Σ1-7
L3				tr.	10R 4/6	2,5YR 5/6	5YR 3/4	10R 4/4
				f.	10R 4/8	5YR 5/6	2,5YR 3/6	10R 3/6
Q	26,55	10,98	5,10	3,90	-	-	-	46,53
F	0,07	-	-	-	-	-	-	0,07
G	-	0,14	0,33	-	-	-	-	0,47
M	-	-	-	4,10	4,08	2,06	-	10,24
K	0,18	-	-	11,75	11,55	12,68	-	36,16
S	0,18	0,41	0,40	-	-	-	-	0,99
U	2,57	0,41	0,16	-	-	-	1,50	4,64
UP-Fe	29,48	12,01	6,00	19,50	15,00	14,50	1,50	99,10
UP	31,66	11,24	6,54	13,24	16,54		18,79	98,01
L2				tr.	7,5YR 8/2	10YR 8/4	10YR 6/2	2,5Y 8/2
				f.	10YR 7/2	10YR 7/3	10YR 6/3	2,5Y 7/2
Q	16,24	9,70	4,34	4,40	-	-	-	34,68
F	0,24	-	-	-	-	-	-	0,24
G	-	0,39	0,24	-	-	-	-	0,63
M	-	-	-	4,40	4,80	2,20	-	11,40
K	-	0,10	0,07	13,20	27,00	5,20	-	45,57
S	0,31	0,45	0,42	-	-	-	-	1,18
U	1,06	0,16	-	-	-	-	3,05	4,27
UP-Fe	17,85	10,80	5,06	22,00	31,80	7,40	3,05	97,96
UP	18,23	11,23	5,64	17,54	17,98		27,38	98,00

Fortsetzung v. Tab. 6

Min.	1	2	3	4	5	6	7	8
Art	gU	mU	fU	g/gmT	fmT	fT	fft	Σ1-7
L1			tr.	2,5Y 8/4	2,5Y 8/6	5Y 4/3		2,5Y 8/0
			f.	2,5Y 7/4	2,5Y 6/4	2,5Y 4/2		2,5Y 7/0
Q	1,93	5,20	5,60	2,00	-	-	-	14,73
F	0,04	-	-	-	-	-	-	0,04
G	0,06	2,25	5,03	6,30	5,64	3,92	-	23,10
M	-	-	-	2,20	3,76	4,90	-	10,90
K	0,02	0,15	0,19	31,50	9,40	0,98	-	42,24
S	0,02	0,29	0,42	-	-	-	-	0,73
U	0,08	0,15	0,01	-	-	-	5,60	5,84
UP-fe	2,15	8,04	11,25	42,00	18,80	9,80	5,60	97,64
UP	2,14	8,67	12,63	32,47	20,37	21,79		98,07

Q = Quarz

F = Alkali-Feldspäte (einschl. Albit u. Oligoklas)

G = Glimmer-Mineraie (Muskovit, Biotit u.a. Phyllosilikate i.d. Schluff-Fraktionen, Illite i.d. Ton-Fraktionen)

M = Montmorillonitische Minerale (u. sonst quellbare Dreischicht-Tonminerale, Vermiculit)

K = Kaolinit

S = Schwerminerale

U = Unbestimmbare u. opake Teilchen d. Schluff-Fraktionen bzw. röntgenamorpher Ton-Anteil

UP = {Mineral-Arten-} in Gewichtsprozent {ohne}
 {und Fraktions-} bezog. auf die UP {mit} Fe_d -Extraktion
 UP_{fe} = Summen (<63μ) {mit}

gU = Grobschluff 63-20μ

mU = Mittelschluff 20-6μ

fU = Feinschluff 6-2μ

g/gmT = {Grobton
 {Grob-Mittelton 2-0,2μ

fmT = Feinmittelton 0,2-0,06μ

fT = Feinton 0,06-0,02μ

fft = Feinstton <0,02μ

Tab. 7 Laterit, Chemische Zusammensetzung (Gew.%TrS) der Untersuchungs-Probe(gesamt) und der Ton-Fractionen

Hor. (Probe)	Fraktion +Fe=ohne -Fe=nach Fe-Extr.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ^{*)}	davon (Fed) sep. best.	MnO	TiO ₂	K ₂ O	CaO	SiO ₂ Al ₂ O ₃ (Mol)
L3	UP	53,00	11,50	16,30	15,28	0,033	2,62	0,32	1,00	7,82
	g/gmT+Fe	32,40	14,50	36,60	35,64	0,055	5,10	0,55	1,20	3,79
	fmT+Fe	30,10	24,50	18,90	18,05	0,022	5,05	0,59	1,15	2,08
	fT/ffT+Fe	36,20	26,75	11,50	8,94	0,023	1,94	0,66	2,00	2,29
	g/gmT-Fe	42,50	24,60	4,32		0,027	5,24	0,70	6,50	2,93
	fmT-Fe	37,50	33,00	4,95		0,012	6,10	0,52	1,15	1,92
	fT/ffT-Fe	39,00	30,00	6,02		0,015	2,62	0,53	1,00	2,20
Konkretion aus	L3		5,30	42,66		0,350	1,30	0,11	1,20	
	L2		5,10	41,06		0,300	1,08	0,35	1,40	
L2	UP	60,00	18,50	2,70	1,90	0,017	4,08	0,33	1,40	5,50
	g/gmT+Fe	49,00	25,30	3,75	2,93	0,027	7,92	0,50	1,50	3,28
	fmT+Fe	39,00	32,25	3,87	2,65	0,013	7,76	0,44	1,50	2,05
	fT/ffT+Fe	40,50	32,00	4,10	1,93	0,015	2,27	0,38	2,80	2,14
	g/gmT-Fe	42,50	21,50	1,90		0,025	6,48	0,50	9,80	3,35
	fmT-Fe	37,50	31,50	3,05		0,009	4,65	0,36	1,20	2,02
L1	UP	62,00	19,20	5,75	3,85	0,025	1,04	2,47	1,10	5,49
	g/gmT+Fe	47,50	31,00	6,54	5,79	0,027	1,65	2,50	1,00	2,60
	fmT+Fe	42,00	29,00	7,56	4,79	0,032	0,58	3,01	1,30	2,46
	fT/ffT+Fe	43,00	25,50	6,13	1,86	0,023	0,15	2,93	2,20	2,86
	g/gmT-Fe	45,20	28,30	2,13		0,015	0,71	2,45	5,40	2,71
	fmT-Fe	41,50	27,00	4,35		0,023	0,42	3,00	1,00	2,61
C2	UP	60,40	19,20	5,80	3,96	Spur	0,90	2,80	0,90	5,35

*) Die Fed-Werte sind in erschöpfender Dithionit-Extraktion ermittelt worden.
Die Werte für den von Oxid gereinigten Ton in der Spalte Fe₂O₃ sind zu hoch,
da nur einmal extrahiert wurde.

4.3.2 L1 ↔ L3

Beim Vergleich dieser Horizonte gehen wir von der Annahme aus, daß das Ausgangs-Material von L3 identisch mit L1 gewesen ist, abgesehen von einer eliminierbaren Quarzschluff-Beimengung. Das Problem des Nachweises einer Material-Gleichheit als Voraussetzung für die Bilanzierung ist in Zusammenhang mit der Titan-Verteilung unten noch eingehender zu erörtern.

Die Unterschiede zwischen L1 und dem darüber liegenden L3 (roter Flammungs-Horizont) äußern sich in: a) einer jungen Fremd-Beimengung von frischem Schluff-Quarz zu L3, b) einer An- und Auflösung der primären Quarze in L3, c) einem Abbau der Glimmer und deren Umwandlung zu Kaolinit unter Kalium-Abfuhr, d) einer lateralen Anreicherung von freien Eisenoxiden, e) einer lateralen Anreicherung von Mangan und Titan.

Quarz:

In L3 ist gegenüber L1 eine Verdoppelung des Schluff-An-teiles eingetreten, die fast ausschließlich einer Beimengung von frischem Quarz zuzuschreiben ist. Vermutlich ist - was die Kryoturbationen schon andeuteten - dem oberen Teil des Profils, dem L3-Material, vor Beginn der Jungwürm-Löbanwehung unter periglazialen Verhältnissen Quarzit-Schluff beigemischt worden.

Man kann diesen sekundären Quarz aufgrund seiner Frische sehr gut von dem primären Quarz des Tones unterscheiden, der starke Anlösungs-Formen erkennen läßt. Die Menge des primären Quarzes der Schluff-Fraktion ist jedoch in L3 gegenüber L1 nicht vermindert worden. In den drei feineren Ton-Fraktionen von L3 ist dagegen der Quarz, der in L1 röntgenographisch nachweisbar war, völlig verschwunden. Dies wird durch die Erniedrigung der Kieselsäure-Sesquioxid-verhältnisse dieser Fraktionen in Tab. 7 bestätigt. Die Zunahme des Quarzes in der Grobton-Fraktion ist hingegen noch auf die sekundäre Quarz-Beimischung zurückzuführen (vgl. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse).

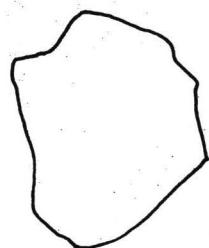
Die Instabilität des Quarzes bei der Laterit-Bildung wird anhand einer Verwitterungs-Morpho-Sequenz vom L1 zum L3 in Abb. 4 demonstriert. Die Stufen III und IV treten im roten Ton-Material von L3 auf, während IV und V vorwiegend innerhalb der Eisenoxid-Konkretionen oder als Einzel-Körner zu finden sind. Auffällig sind die Lösungs-Rinnen auf den Körnern, in denen es nachträglich zur Abscheidung rotbraun gefärbter Eisenoxidhydrate gekommen ist. - Dieser morphologische Befund ist zugleich der einzige Beweis dafür, daß bei der Lateritisierung in unserem Fall überhaupt SiO_2 mobilisiert wurde. Die Bilanzen geben darüber keine sichere Auskunft.

Glimmer:

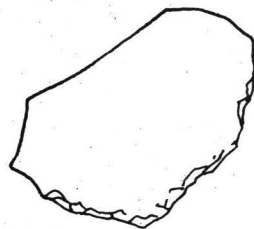
Vom Horizont L1 zum Horizont L3 verschwinden die insgesamt 23% Glimmer fast vollständig. Berechnen wir den Ton als quarzfrei, so steigt durch die Aufzehrung der Glimmer der Montmorillonit-Anteil von 13 auf 19%, der Kaolinit-Anteil dagegen von ca. 50% auf 68%. Das bedeutet, daß die Glimmer überwiegend in Kaolinit umgewandelt worden sein müssen.

Der Abbau der Glimmer gibt sich deutlich durch eine Verringerung der K_2O -Gehalte der Ton-Fractionen in Tab. 7 von ca. 3% auf ungefähr 0,5% zu erkennen.

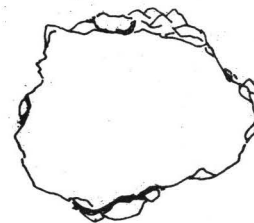
An den $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Molekular-Verhältnissen ist dieser röntgenographisch eindeutige Glimmer-Umbau nicht abzulesen. In den feinkörnigen Fractionen handelt es sich in L1 um dioktaedrischen Illit, in der Grobton- und in den Schluff-Fractionen um Serizit-Schüppchen und Muskovit-Plättchen. Auch in den Feinton-Fractionen spricht der Röntgen-Reflex 3,03 (hkl) für die Anwesenheit von Serizit. Aufgrund der engen $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse dieser Minerale ist zur Umwandlung in Kaolinit theoretisch keine größere SiO_2 -Abfuhr notwendig. Der Mengen-Vergleich zwischen L1 und L3 läßt auch dementsprechend keine meßbare SiO_2 -Abfuhr erkennen.



Stufe I



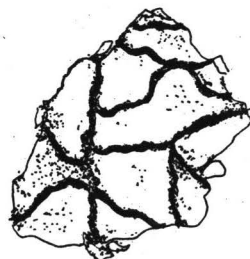
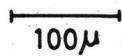
Stufe II



Stufe III



Stufe IV



Stufe V

Abb. 4 Anlösungsformen von Quarzkörnern vom Horizont L1 zum L3

Da der Umwandlungs-Vorgang von Glimmern bzw. Illiten zu Kaolinit bislang noch zu den umstrittenen Verwitterungs-Abfolgen gehört, sei im folgenden der ausführliche mikromorphologische Befund mitgeteilt:

Die Kaolinitisierung von Glimmern innerhalb des Lateritprofils läßt sich phasenkontrast-mikroskopisch recht gut verfolgen. In Abb. 5 ist der Kaolinitisierungsvorgang anhand größerer Muskovite schematisch dargestellt. Die Umwandlungsvorgänge beginnen meist randlich und schreiten allmählich nach innen fort. Dabei gehen die durchschnittlichen Lichtbrechungswerte des Muskovits auf die des Kaolinit zurück. Bei einem Brechungsindex des Einbettungsmitels von $n = 1,557$ treten die bereits kaolinitisierten Mineralabschnitte deutlich im phasenkontrast-mikroskopischen Bild hervor (vgl. Abb. 5, Stufe I, schraffierte Fläche). Sie erweisen sich meist als polykristallin und schwach doppelbrechend. In den nicht veränderten Mineralabschnitten lassen sich dagegen die optischen Daten des Muskovits nachweisen. Die weitere kaolinitisierung der Muskovite ist häufig mit rotbraun gefärbten Eisenoxidhydrat- und Opalabscheidungen auf der Mineraloberfläche verbunden (vgl. Abb. 5, Stufe II). Trotz der bereits weit fortgeschrittenen Umwandlungsvorgänge läßt sich im Zentrum des Minerals noch das Achsenkreuz des Muskovits ($2V \sim 40^\circ$) nachweisen. Neben diesen Übergangsformen finden sich völlig kaolinitisierte Teilchen (Abb. 5, Stufe III), die, von der Seite gesehen, "wurmförmig", d.h. wie eine gebogene Geldrolle aussehen (wurmförmige kaolinit-Aggregate, vgl. TRÖGER, 54). Der Nachweis dafür, daß auch diese "geldrollenartigen" Aggregate Umwandlungsprodukte von Muskoviten sind, läßt sich morphologisch nur dadurch erbringen, daß auch bereits in Stufe II, also an Teilchen, deren Glimmer-Charakter noch nachweisbar ist, in den kaolinitisierten Rand-Partien die wurmförmige Umstrukturierung beginnt.

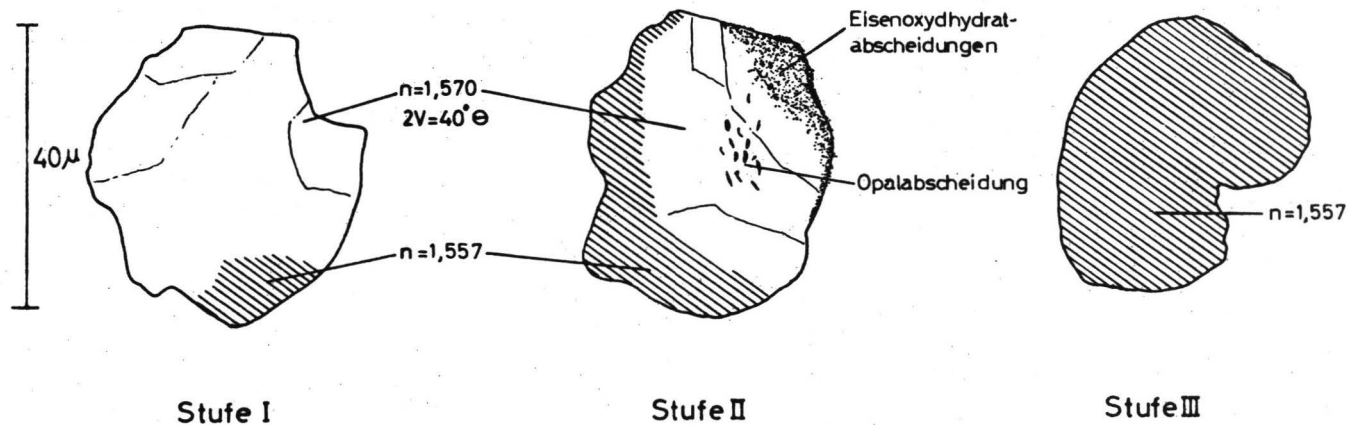


Abb. 5 Kaolinitisierung von Muskovit

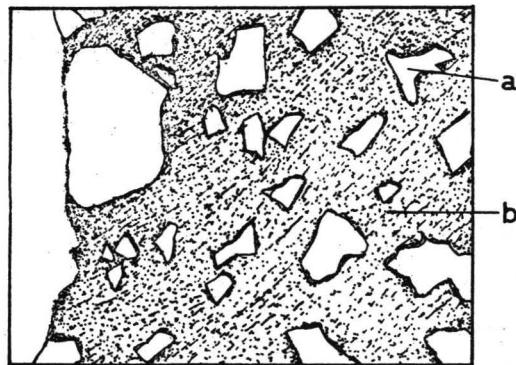
Eisenoxide:

Abb. 6 zeigt rechts einen Dünnschliff aus dem Horizont L3. Laut Tab. 7 hat hier in der Matrix (d) gegenüber L1 eine Anreicherung von ca. 10% freiem Eisenoxid stattgefunden. In der Fraktion 2-0,2 μ allein ist der Gesamt-Gehalt an Fe₂O₃ auf 36,6% angestiegen, wovon 98% mit Dithionit extrahierbar sind. Ähnlich wie in L1 hat also auch hier die Abscheidung des Eisenoxids überwiegend in Grobton-Größe stattgefunden.

Bei dem Dünnschliff-Bild handelt es sich um eine jener zahlreichen roten "Konkretionen", die - wenn sie genügend hart sind - beim starken mechanischen Sieben in die Fraktion >63 μ übergehen. Die Analyse ist in Tab. 7 gesondert aufgeführt. Neben 42,7% Eisenoxid sind rund 50% Silikat und besonders Quarz in ihnen enthalten. Dies entspricht dem visuell erkennbaren Aufbau: Eine ehemalige Pore (e, f, g) ist umgeben von der Matrix, die mantelförmig konkretionär verhärtet ist, wobei das abgeschiedene rote Eisenoxid die Silikat- und Quarz-Substanz der Matrix inkrustiert. Das ehemalige Lumen der Pore (e, f, g) ist durch sekundäre (jüngere) rote und braune Eisenoxid-Abscheidungen stark eingeengt worden.

Trotz der hohen Eisen-Gehalte in der Matrix und in den Konkretionen ist es nicht möglich, die verschieden gefärbten Eisenoxid-Abscheidungen röntgenographisch oder differentialthermo-analytisch zu identifizieren. Bei den reinen Eisenoxid-Abscheidungen im Poren-Inneren handelt es sich um Goethit, der nach SCHELLMANN (46) als eine Spät-Ausscheidung anzusehen ist.

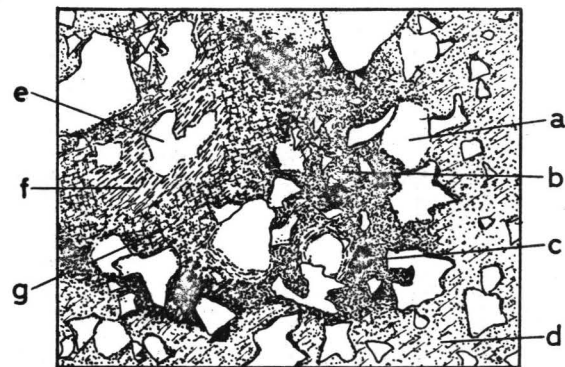
In den rot und braun gefärbten Partien der Konkretionen und auch in der rubefizierten, eisenangereicherten Ton-Substanz läßt sich wie beim Kalkstein-Rotlemm etwas Goethit und Hämatit nachweisen, ohne daß jedoch die Reflex-Intensität den Mengen-Anteilen an Eisenoxid gerecht wird. Es müssen also die röntgenamorphen oxidischen Anteile dominieren.



Probe L2

100µ

- L2: a) Quarzkörner
b) regelungs-doppelbrechender gelber Ton



Probe L3

60µ

- L3: Querschnitt durch eine eisenoxid-
ausgekleidete Pore (e,f, g) mit eisen-
oxid-inkrustierter Matrix-Umrandung -
a) angelöste Quarzkörner
b) stark mit Eisenoxid durchsetzter Ton
g) rote, reine ältere Eisenoxid-Aus-
kleidung der Pore
d) regelungs-doppelbrechender rot-
brauner Ton
c) fein-konkretionäre Eisenoxid-
Abscheidungen
f) braune, innere, jüngere Goethit-
Auskleidung der Pore
e) Poren-Lumen

Abb. 6 Schematische Darstellung von Dünnschliff-Bildern aus dem Laterit-Profil

Der Strich der Konkretionen auf der Porzellan-Strichplatte schwankt um das Goethit-Braun, wobei die roten Partien eine leichte rötliche Abweichung erkennen lassen. Es bleibt somit die Frage offen, ob die Farb-Unterschiede zwischen den Horizonten und innerhalb der Konkretionen überhaupt durch verschiedene Eisenoxid-Modifikationen oder vielmehr nur durch bestimmte Arten der Abscheidung oder der Beimengungen hervorgerufen werden.

Unter den Begleit-Elementen des Eisens sind besonders das Mangan und das Titan zu nennen.

Mangan:

Im L1-Horizont nehmen die dithionit-extrahierbaren Anteile des Mangans vom Grobton (45%) über den Fein-Mittelton (28%) zum Feinstton (4%) hin ab, was für eine ähnliche Umverteilung wie beim Eisen und Titan spricht. Vergleicht man die Matrix der roten Flammungs-Zone mit der der braunen, so erkennt man, daß hier das Mangan nicht dem Eisenoxid folgt, d.h. mit dem Eisenoxid keine Mangan-Anreicherung stattfindet. Das Mangan wird dagegen eindeutig in den Konkretionen angereichert, wobei die laterale Zufuhr von Mn zum L3 - relativ gesehen - allerdings wesentlich schwächer als beim Fe ist.

Titan:

Wenn sich in der Probe L1 bereits eine mit der Eisen- und Mangan-Umfällung einhergehende Umfällung auch des Titans andeutete, so überrascht der Befund nicht mehr, daß in L3 zugleich mit der lateralen Eisenoxid- und Manganoxid- auch eine laterale Titan-Anreicherung auf mehr als das doppelte des Ausgangs-Gehaltes stattgefunden hat. Verglichen mit dem Eisen, ist diese Anreicherung jedoch unterproportional. Hervorzuheben ist auch die Tatsache, daß der in L3 ausgefällte Leukoxen eine wesentlich geringere Lösungs-Bereitschaft aufweist, als er im Ausgangs-Material besaß. Die mit der Dithionit-Extraktion in L3 in Lösung gehenden Relativ-Anteile an Ti sind gegenüber L1 stark reduziert.

4.3.3 L2

Die mit L2 bezeichnete Probe umfaßt die graue Füll-Substanz der mehr oder weniger vertikal orientierten Streifen, die sowohl den L3 als auch den L1 durchziehen. Die Matrix-Substanz dieser Streifen ist in beiden Horizonten gleichbeschaffen, so daß in Tab. 6 und 7 nur eine Repräsentativ-Analyse wiedergegeben zu werden brauchte. Innerhalb des Horizontes L3 enthalten die grauen Streifen jedoch die gleichen Konkretionen (auch in gleicher Dichte) wie L3, so daß der Eindruck entsteht, es handle sich bei L2 um Bahnen sekundärer Eisen-Verarmung. Dafür spricht die Tatsache, daß die Konkretionen graue Bleichungs-Krusten bekommen haben und daß die Gesamt- und Dithionit-Fe-Gehalte der Matrix-Substanz und Matrix-Fraktionen erheblich reduziert sind. Rezent sind diese Bleich-Bahnen aus dem Löß heraus mit Kalk infiltriert worden, was anzeigt, daß diese Streifen als bevorzugte Sickerwasser-Bahnen dienen.

Erstaunlich ist die gewaltige Erhöhung der Titan-Gehalte in diesen Sektoren, die in der Grobton-Fraktion auf 8% TiO_2 ansteigen. Da nur wenig von der Ausgangs-Substanz abgeführt worden ist, kann die Anreicherung nicht auf eine Relativ-Anreicherung, sondern nur auf eine Lösungs-Zufuhr zurückgeführt werden. Eine Gegenüberstellung der Gesamt-Mengen an TiO_2 in L1 und L2 zeigt folgendes:

	63-2 μ	2-0,2 μ	0,2-0,06 μ	< 0,06 μ
L2	0,67	1,14	0,84	0,62
davon $\text{TiO}_{2(d)}$		0,25	0,56	
L1	0,23	0,23	0,09	0,03
davon $\text{TiO}_{2(d)}$		0,31	0,03	

Die Anreicherung hat sich in allen Fraktionen vollzogen, wobei die Hauptmenge wiederum in der Grobton-Fraktion abge-

schieden worden ist. Anders als im L3, aber ähnlich wie im L1 ist im L2 die hohe Dithionit-Extrahierbarkeit zu beachten, die bis zu 67% betragen kann. Es ist schwierig, etwas über die abweichenden Fällungs-Bedingungen gegenüber dem L3-Horizont auszusagen, in dem die Titan-Fällungs-Produkte viel reaktions-träger sind. Unter Umständen könnte die Ursache in der verschiedenen langen Alterungsdauer zu suchen sein oder in der stärkeren Mobilisierung des okkludierenden Eisenoxids.

4.4 DISKUSSION

Bei dem hier untersuchten Profil handelt es sich um den örtlichen Ausschnitt einer lateritischen Verwitterungs-Decke, der durch folgende Verwitterungs- und Stoff-Transport-Prozesse gekennzeichnet ist:

- 1.) Entkalkung,
- 2.) Glimmer-Verwitterung zu Kaolinit bei gleichzeitiger starker Abfuhr von K und nur unter der Nachweisgrenze liegender Si-Abfuhr,
- 3.) Geringfügige Anlösung von Schluff-Quarz und Auflösung von Ton-Quarz,
- 4.) Laterale Zufuhr von Eisen, Mangan und Titan.

Zu 2.)

Während die Kaolinitisierung von Feldspäten - auch bei der lateritischen Verwitterung - ausführlich in der Literatur beschrieben wird (6, 7, 8, 15, 32, 56), ist eine direkte Glimmer-Kaolinit-Umwandlung bisher lediglich bei der Granit-Verwitterung beobachtet worden (KIMPE u.a., 27). Selbst eine intensive lateritische Verwitterung führt nach FÖLSTER u.a. (15) nur zu einer Bleichung und Frakturierung, dagegen nicht zu einer Kaolinitisierung der Glimmer, wohingegen die Feldspäte einer schnellen Umsetzung und Aufzehrung unterliegen. Eine Erklärung hierfür sieht der Autor darin, daß die Glimmer z.T. mit einer dicken (pisolithischen) Eisenoxid-Kruste vorliegen, die sie vor weiterer Verwitterung schützt. Neben diesem rein mechanischen "Verwitterungsschutz" ist jedoch dem unterschiedlichen Aufbau der verwitternden Silikate selbst und dem jeweils herrschenden Verwitterungs-Milieu Rechnung zu tragen. So kommen TAJURA und JACKSON (51) aufgrund struktureller und energetischer

Überlegungen zu dem Schluß, daß einer Neu-Kristallisation von Silikaten wie z.B. dem Kaolinit stets die Bildung aluminiumreicher gibbsitartiger Strukturen vorausgeht. In diese Strukturen wird erst später Kieselsäure eingebaut. Über solche "Resilifizierung" berichten u.a. FIELDER und SCHOFIELD (11). In unserem Fall konnte keine Spur von Gibbsite nachgewiesen werden.

Grundsätzlich scheint jeder Umsetzung von primären Silikaten, insbesondere von Alkali-Feldspäten und Plagioklassen, eine "Entbasung" und "Entkieselung" vorauszu gehen. Besonders der Vorgang der "Entkieselung", der auch Hauptmerkmal lateritischer Verwitterung ist, führt bei den Feldspäten zu einer mehr oder weniger direkten Umwandlung in Kaolinit. Al-reiche Zwischenstufen sind hierbei nicht nachweisbar, da die innerhalb einzelner Feldspatkörner während des Verwitterungs-Vorganges ständig frei werdenden Kieselsäure-Mengen eine sofortige "Resilifizierung" erlauben. Die mehr oder weniger direkte Kaolinitisierung von Glimmern (insbesondere Muskovit) scheint dagegen nur möglich zu sein, wenn das Verwitterungs-System genügend mobile Kieselsäure zur Verfügung stellt. Aus der chemischen Zusammensetzung von Hydromuskovit (vgl. JASMUND, 25) ergeben sich bereits $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ -Molverhältnisse von etwa zwei. Eine weitere "Entkieselung" würde also zu aluminiumreicheren Strukturen als Kaolinit führen. Da bei der lateritischen Verwitterung aber genügend Kieselsäure z.B. aus der partiellen Quarzauflösung zur Verfügung steht, ist auch hier mit einer sofortigen "Resilifizierung" und mehr oder weniger direkten Kaolinitisierung zu rechnen.

Der hier untersuchte Ausschnitt der Laterit-Decke zeigt kaum eine Kieselsäure-Abfuhr und dementsprechend keine "Bauxitisierung" oder "Gibbsitisierung". Er würde nach HARRASOWITZ (22) zum Typus der Siallit-Laterite rechnen. Diese fallen nach dem Schema der durch Lateral-Transport bedingten Fazies-Differenzierung der Laterite (vgl. VALETON, 55 und 56) in Zonen mit hochstehendem Grundwasser-Spiegel, z.B. Plateau-Zentren in großem Abstand von dränenden Geländekanten.

Wie ein in Randlage ausgebildetes, bauxitisiertes Laterit-Profil aus marinen, eozänen Kaolinit-Illit-Quarz-Tonen aussehen kann, zeigt eine Untersuchung von SCHELLMANN (46) aus Kalimantan, Borneo. Der Autor fand bei der Untersuchung dieses 3m mächtigen Laterit-Profiles einen Abbau der primären Minerale bis auf einen Rest-Gehalt von 15%. Dabei waren Illite und Quarze stärker abgebaut worden als Kaolinit. Als Neubildungen traten Goethit, Magnetit und Gibbsite auf. Ungeklärt ist jedoch, inwieweit bei dem fast völligen

Abbau der primären Silikate (besonders der Illite bzw. Glimmer) auch Kaolinit als Zwischenprodukt der lateritischen Verwitterung auftreten kann.

In der Vielfalt beschriebener lateritisch-bauxitischer Verwitterungs-Profile stellt unser Objekt insofern einen Sonderfall dar, als in ihm das Titan neben Eisen und Mangan stark durch Lateral-Zufuhr angereichert ist. Ähnliche Beobachtungen teilt bislang nur VALETON (56) mit. Die Autorin konnte anhand einiger indischer Laterit-Profile ebenfalls nachweisen, daß das in Lateriten als so unbeweglich geltende Titan (und Aluminium !) eine absolute Anreicherung bis auf das 4-fache eines Ausgangs-Gehaltes auf dem Wege der Lösungs-Zufuhr erfahren kann.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit bringt einen bodenanalytisch-bilanzmäßigen Vergleich eines rezenten Kalkstein-Rotlehms und eines fossilen Laterits aus dem nordhessischen Raum. Bei der genetischen Betrachtung dieser beiden Bodentypen steht die Frage nach den Ursachen und dem Vorgang der Rotfärbung (Rubefizierung) des Solums im Vordergrund.

Der Kalkstein-Rotlehm ist durch einen sehr geringen Verwitterungs-Grad seiner silikatischen kalkstein-Rückstands-Lehm-Decke gekennzeichnet. Die Rotfärbung des gelbbraunen nichtcarbonatischen Lösungsrückstandes erfolgt durch hämatithaltige Eisenoxidhüllen auf den Tonteilchen und findet während der Auflösung des Kalkgesteins im statu solvendi statt. Das in dieser Weise ausgefällte Eisenoxid entstammt dem carbonatisch (z.B. im Ankerit) gebundenen Eisen des dolomitischen Kalksteins. Voraussetzung für die Rubefizierung des Kalkstein-Lösungs-Rückstandes und die Begrenzung von Kalkstein-Rotlehm auf ganz bestimmte dolomitische Kalk-Formationen scheint daher einerseits ein bestimmter Überschuß an Fe in carbonatischer Bindung zu sein. Andererseits ist eine kavernöse Karst-Verwitterung Voraussetzung

für solche Rubefizierungs-Vorgänge, da diese offensichtlich eine gute Durchlüftung, bestimmte beständige, zur Diffusion und Ausfällung erforderliche Feuchte-Gradienten und den zur Alterung notwendigen Wasserentzug benötigen.

Das fossile Laterit-Profil ist aus quarzschluff-haltigem Kaolinit-Illit-Montmorillonit-Ton (Rupel-Ton) hervorgegangen. Die Verwitterung der Ausgangs-Mineralie umfaßt den totalen Abbau der Glimmer-Illit-Komponente zu Kaolinit und etwas Montmorillonit, ferner die Anlösung grobkörniger Quarze sowie die völlige Auflösung der Quarze von Ton-Größe. Die Kieselsäure-Abfuhr ist - insgesamt gesehen - aber gering. Im rotgeflamten oberen Abschnitt des Solums unterhalb der Eisen-Kruste sind Eisenoxid, Mangan und Titan lateral zugeführt worden. In den vertikal angeordneten Bleich-Bahnen hat eine sekundäre Abfuhr von Eisen und Mangan und eine extreme, absolute Anreicherung von Titan stattgefunden, dessen Partizipation am Lösungs-Transport überrascht und nur durch die feinstverteilte Bindungsform als eisenoxid-okkludierter Leukoxen im Ausgangsmaterial und Fällungs-Produkt zu erklären ist.

Die Färbung des roten Eisenoxid-Anreicherungs-Horizontes mit seiner mikroskopischen Differenzierung in braune und rote Partien innerhalb der Konkretionen und der Matrix läßt sich auf analytischem Wege nicht mit dem Vorherrschen bestimmter Eisenoxid-Modifikationen in Zusammenhang bringen. Es besteht die Möglichkeit, daß feinsten, röntgenamorpher Hämatit in den roten Partien vorherrscht, während sonst der Goethit dominiert, doch scheinen auch die unterschiedliche Körnung der beiden Oxide, die morphologische Anordnung im Gefüge, die Beimengungen an Mangan, Titan und okkludierter Silikat-Substanz zum Zustandekommen des Farbeffektes beizutragen.

6 L I T E R A T U R - V E R Z E I C H N I S

1. Aguilera, N.H., 1953: Iron Oxide Removal from Soils and
Jackson, M.L., Clays, Soil Sci. Soc. America
Proceed. 17, 359-364.
2. Altemüller, H-J., 1962: Verbesserung der Einbettungs- und
Schleiftechnik bei der Herstel-
lung von Bodendünnschliffen mit
Vestopal, Z. Pflanzenernähr.,
Düng., Bodenkunde 29, 164-177.
3. Bargon, E., 1966: Ein lößbedecktes Lateritprofil in
Rambow, D., Nordhessen, Z. deutsch. geol. Ge-
sellsch. 116, 1014-1019.
4. Blanckenhorn, M., 1919: Geologische Karte von Preußen,
Blatt Gudensberg, Berlin (mit Er-
läuterung).
5. Brown, G., 1961: X-Ray Identification and Structures
of Clay Minerals, Mineralogical
Society, London.
6. Correns, C.W., 1939/40: Neue Untersuchungen über die Ver-
Engelhardt, W.v., witterung des Kalifeldspates,
Chemie d. Erde 12, 1-22.
7. Correns, C.W., 1949: Einführung in die Mineralogie,
Springer, Berlin.
8. Correns, C.W., 1959/61: The Experimental Chemical Weathering
of Silikates, Clay Minerals Bulle-
tin 4, 249-265.
9. Ehlers, W., 1967: Die Kalium-Austauschkurve des
Meyer, B., Bodens (Beitr. z. K-Austausch d.
Ulrich, B., Bodens I), Intern. Kali-Briefe,
Fachgebiet 4, 39. Folge.

10. Enzyklopädie, 1959: ABC der Geologie. Die Entwicklungsgeschichte der Erde. Verlag VEB F.A. Brockhaus, Leipzig.
11. Fieldes, H., 1960: Mechanisms of ion Adsorption by Schofield, R.K., inorganic soil colloids, New Zealand Journ. of Sci., Vol. 3, No. 4, 563-579.
12. Fink, A., 1963: Tropische Böden, Parey, Hamburg und Berlin.
13. Follett, E.A.C., 1965: The Retention of Amorphous, colloidal "ferric hydroxide" by Kaolinites, The Journ. of Soil Sci., Vol. 16, No. 2.
14. Follett, E.A.C., 1965: Chemical Dissolution Techniques in McHardy, W.J., the Study of Soil Clays, Clay Miner., Part I, 6, 23, Part II, Smith, B.F.L., 6, 35.
15. Fölster, H., 1967: Mineralogische Untersuchungen an Kalk, L., tiefgründigen Verwitterungsdecken mit Hinweisen auf das unterschiedliche Verhalten von Feldspäten und Phyllosilikaten bei tiefgründiger und oberflächennaher Verwitterung, Chem. d. Erde, 26, Heft 3, 188-218.
16. Gebhardt, H., 1964: Bilanzanalytische Untersuchungen zur Silikatverwitterung und zum Stofftransport in feuchten und nassen Holozänböden aus Löß mit besonderer Berücksichtigung der Feldspatverwitterung, Diss. Landw. Fak. Göttingen.

17. Gebhardt, H., 1967: Kristallographisches Verhalten von
Ehlers, W., Kaolinit, Illit und Montmorillonit
Meyer, B., in Abhängigkeit von der K-Ca-Bele-
gung, (Beiträge zum K-Austausch
des Bodens, V), Z. Pflanzenernähr.,
Düng., Bodenkunde 119, 187-196.
18. Gebhardt, H., 1967: Mineralogische Schnelluntersuchungen
Meyer, B., der Grobton-, Schluff- und Fein-
Scheffer, F., sandfraktion von Böden mit dem
Phasenkontrastmikroskop, Zeiss-
Mitteilungen 4, 310-322.
19. Gebhardt, H., 1968: Flockungsverhalten definierter
Tonsuspensionen aus Lagerstätten
und Böden, I. Flockungsschwellen-
wert und Flockungsvolumen, Mittl.
Deutsche Bodenkundl. Ges., Bd. 8.
20. Geologische 1886: Geolog. Karte von Preussen, Blatt
Karte, erläutert Allendorf, Berlin (mit Erläute-
v. F. Beyschlag rung).
21. Harrasowitz, H., 1930: Böden der feuchtwarmen gemäßigten
Regionen: Gelberden oder Gelb-
lehme, Handbuch der Bodenlehre,
Ed. 3, hrsg. von E. Blanck, Verlag
J. Springer, Berlin.
22. Harrasowitz, H., 1930: Böden der Tropischen Regionen,
Handbuch der Bodenlehre, Ed. 3,
hrsg. von E. Blanck, Verlag J.
Springer, Berlin.
23. Harrasowitz, H., 1930: Fossile Verwitterungsdecken, Hand-
buch der Bodenlehre, Bd. 4, hrsg.
von E. Blanck, Verlag J. Springer,
Berlin.

24. Jakob, J., 1952: Chemische Analyse der Gesteine und silikatischen Minerale, Verlag Birkhäuser, Basel.
25. Jasmund, K., 1955: Die silikatischen Tonminerale, Verlag Chemie, Weinheim, 2. Aufl.
26. Kalk, E., 1960: Progressive Bio-Opal→Quarz-Umwandlung bei der Terra-Fusca-Entstehung aus Kalkgestein, Zeiss-Mitteilungen, 2, H. 3.
27. Kimpe, C. de, 1968: Etude de l'altération d'une Biotite en Kaolinite par spectroscopie infrarouge, Extrait du Bulletin du Groupe Français des Argiles, Tome XIX, Fascicule 2.
28. Köster, E., 1960: Mechanische Gesteins- und Bodenanalyse, Leitfaden der Granulometrie und Morphometrie, Carl Hanser Verlag, München.
29. Kubiena, W.L., 1948: Entwicklungslehre des Bodens, Verlag Springer, Wien.
30. Kubiena, W.L., 1953: Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas, Verlag F. Enke, Stuttgart.
31. Kubiena, W.L., 1962: Die taxonomische Bedeutung der Art und Ausbildung von Eisenhydroxydmineralen in Tropenböden, Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 98, 205-213.
32. Lerz, H., 1962: Verwitterung von Mikrolin unter atmosphärischen Temperatur-Druck-Bedingungen, (Ein experimenteller Beitrag zum Problem der Kaolinsierung), Chem. d. Erde, 22, 386-429.

33. Lisanti, L.E., 1960: The Red Earths and the colloids of the Red Earths, J. of Soil Sci., 11, 77-81.
34. Lotze, F., 1938: Steinsalz und Kalisalze, Geologie, Die wichtigsten Lagerstätten der "Nicht-Erze", Bd. III, Teil 1, Verlag Gebrüder Borntraeger, Berlin.
35. Mitchell, B.D., 1964: Amorphous inorganic Materials in Farmer, V.C., Soils, Advances in Agronomy, Vol. McHardy, W.J., 16, 327-383.
36. Mückenhausen, E., 1962: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
37. Ramann, E., 1911: Bodenkunde, 3. Aufl., Verlag Springer, Berlin.
38. Ravikovitch, S., 1960: Composition of Colloids in the Fanya, P., Soils of Israel, J. of Soil Sci. Ben Yair, M., 11, 82-91.
39. Reifenberg, A., 1927: Über die Rolle der Kieselsäure als Schutzkolloid bei der Entstehung mediterraner Roterden, Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde A 10, 159-186.
40. Rohdenburg, H., 1963: Rezente Formung in kalkgebieten durch inneren Abtrag und die Rolle der periglazialen Gesteinsverwitterung, Z. f. Geomorphologie, N.F. 7, 120-146.

41. Scheffer, F., 1960: Die Rendsinen der mitteldeutschen
Welte, E., Berg- und Hügellandschaften (Leine-
Meyer, B., Weser-Bergland) 1. Mitt.: Genese und
Verbreitungsbedingungen der Rendsinen, Z. Pflanzenernähr., Düng.,
Bodenkunde 90, 18-36.
42. Scheffer, F., 1961: Zur qualitativen Erfassung der
Meyer, B., freien Eisenoxyde in Böden mittels
Babel, Extraktionsverfahren, Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 95,
142-160.
43. Scheffer, F., 1962: Die Rendsinen der mitteldeutschen
Welte, E., Berg- und Hügellandschaften (Leine-
Meyer, B., Weser-Bergland), 2. Mitt.: Fraktur,
Nichtcarbonatgehalt und spezifische
Auflösungsgeschwindigkeit des
Kalkgesteins als bestimmende Größen
der Bodenentwicklungsgeschwindigkeit, Z. Pflanzenernähr., Düng.,
Bodenkunde 98, 1-17.
44. Scheffer, F., 1966: Lehrbuch der Bodenkunde, 6. Aufl.
Schachtschabel, P., Verlag Enke, Stuttgart.
45. Schellmann, W., 1964: Zur lateritischen Verwitterung von
Serpentinit, Geol. Jb. 81, 645-678.
46. Schellmann, W., 1966: Die lateritische Verwitterung eines
marinen Tones in Südost-Kalimantan,
Geol. Jb. 84, 163-188.
47. Schmidt-Lorenz, 1957: Ein Beitrag zur Kenntnis der Terra
R., Fusca im südniedersächsischen
Bergland, Diss. Landw. Fak.
Göttingen.

48. Schwertmann, U., 1961: Der Mineralbestand der Fraktion <2 μ einiger Böden aus Sedimenten und seine Eigenschaften, Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 95, 209-227.
49. Stephens, C.G., 1961: Laterite at the Type Locality, Angadipuram, Kerala, India, J. of Soil Sci. 12, 214-217.
50. Stöber, W., 1957: Zur Berechnung des Polykondensationsgleichgewichtes der Kieselsäuren, Kolloid-Z. 151, 42-47.
51. Tamura, T., 1953: Structural and Energy Relationship in the Formation of Iron and Aluminium Oxides, Hydroxides and Silicates, Science 117, 381-383.
Jackson, M.L.,
52. Tanner, C.B., 1947: Monographs of sedimentation times for soil particles under gravity or centrifugal acceleration, Proceed Soil Sc. Soc. America 12, 60-65.
Jackson, M.L.,
53. Tröger, W.E., 1959: Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, I. Teil: Bestimmungstabellen, 3. Aufl., E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandl., Stuttgart.
54. Tröger, W.E., 1967: Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, II. Teil: Textband, E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandl., Stuttgart.

55. Valetton, I., 1966: Laterale Faziesdifferenzierung
Laterit-Bauxit und deren Beziehung
zum Paläorelief in Gujerat (Indien),
Extrait des Travaux, No. 2, Zagreb
(Académie Yougoslave des Sciences
et des Arts).
56. Valetton, I., 1967: Laterite und ihre Lagerstätten,
Fortschr. Miner. 44, 1, 67-130.
57. Wahnschaffe, F., 1924: Anleitung zur wissenschaftlichen
Schucht, F.,
Bodenuntersuchung, 4. Aufl., Ver-
lag Paul Parey, Berlin.

Babel, U. und Straub, R.:

**Beziehungen makromorphologischer Merkmale
von Humusprofilen zu der Behandlung und
zur Vegetation von Kahlschlag-Flächen**

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 9, 125-169
(1969)**

BEZIEHUNGEN MAKROMORPHOLOGISCHER MERKMALE VON HUMUSPROFILIEN
ZU DER BEHANDLUNG UND ZUR VEGETATION VON KAHLSCHLAGFLÄCHEN

von Ulrich BABEL^{*)} und Rudolf STRAUB

(aus dem Institut für Bodenkunde und Waldernährung und dem
Institut für Waldbau-Technik der Universität Göttingen)

1 E I N L E I T U N G

Im Rahmen einer Arbeit über den Einfluß von mechanischen und chemischen Behandlungen von Kahlschlagflächen auf die Kahlschlagvegetation (STRAUB, Dissertation in Vorbereitung) schien es angebracht, von bodenkundlicher Seite den Oberboden zu untersuchen. Er ist ein wichtiges Glied im untersuchten System. Die Behandlung wirkt unmittelbar auf ihn. Die Vegetation steht mit dem Oberboden in viel stärkeren Wechselwirkungen als mit den tieferen Bodenhorizonten.

Der Oberboden kann praktisch gleichgesetzt werden mit dem Humusprofil: denjenigen Horizonten, die entweder zum großen Teil aus organischer Substanz bestehen oder in ihren wichtigsten Eigenschaften durch organische Substanz oder durch Organismen entscheidend beeinflußt werden (BABEL, 1969).

Die hauptsächlichen Ergebnisse aus der bodenmorphologischen Untersuchung werden an dieser Stelle nur in bodenkundlich-standortskundlicher Hinsicht diskutiert. Es waren zwei Gesichtspunkte von Interesse. Erstens ein methodischer: In welchem Umfang lassen sich bei derartigen Untersuchungen standortskundliche Aussagen aus humusmorphologischen Merkmalen ableiten? (vgl. dazu BENECKE und BABEL, 1969); zweitens: Wie wirken die Standortsveränderungen, die direkt durch Kahlschlag und Bodenbehandlung, indirekt durch Aufkommen der Bodenvegetation eingetreten sind, auf morphologische Änderungen im Humusprofil? (Die direkten, grobmechanischen Folgen der Bodenbearbeitung, die für Zusammenhang von Bodenbehandlung und Vegetation wichtig sind, werden hier nicht behandelt.)

^{*)} Dr. U. BABEL, 351 Hann.-Münden, Mitscherlichstr. 3

Die Auswertung wurde nur für einzelne Merkmale des Humusprofils vorgenommen. Dies mag unbefriedigend erscheinen. Eine Zusammenfassung der Humusmerkmale zu Gruppen oder der Humusprofile zu Typen wäre jedoch sehr schwer möglich gewesen. Das Untersuchungsmaterial war zu inhomogen. Es wechselte gleichzeitig in der Physik, Chemie und Biologie der Profile sowie in Kleinklima und Vegetation der Kleinstandorte. Diese Inhomogenität war zustande gekommen:

- 1.) Durch primären Wechsel auf der Fläche,
- 2.) durch die verschiedene Bearbeitung,
- 3.) durch die verschiedene Schlagvegetation, bei deren Verbreitung auch der Zufall eine Rolle spielt.

2 M A T E R I A L

Die Untersuchungen wurden im Spätherbst 1968 an den Parzellen eines Versuches ausgeführt, der im Frühjahr 1967 auf drei neuen Kahlschlagflächen angelegt war (Abtrieb der Bestände im Winter 1966/67). Die Flächen liegen im südniedersächsischen bzw. nordhessischen Weserbergland in etwa 250 bis 350 m Meereshöhe (Blümerberg bei Hann.-Münden; Forstamt Gahrenberg; Forstamt Ödelsheim). - Geologisch handelt es sich überall um Buntsandsteinfließerden mit ungleichmäßiger Lößeinmischung und Lößüberdeckung. Alle drei Flächen liegen an leichten Hängen. Bodentypologisch handelt es sich um podsolige Braunerden bis Podsol-Braunerden, teils mit Pseudovergleyung im Oberboden, oft mit schwacher Pseudovergleyung im Unterboden. Auf diesen Flächen waren in je fünf Wiederholungen eingerichtet:

- 1.) Nicht bearbeitete Parzellen,
- 2.) zur Unkrautbekämpfung mit Dowpon gespritzte Parzellen (Juni 1967, März 1968),
- 3.) Parzellen, in denen die Vegetation und der am stärksten durchwurzelte oberste Bodenbereich mit der Hacke entfernt

war (dies Anfang April 1967),

- 4.) Parzellen, in denen die Vegetation durch Ausjäten mit der Hand entfernt war (je Anfang April 1967 und 1968).

Zu diesen vier Behandlungsarten gab es jeweils ebenfalls in je fünf Wiederholungen ebenso behandelte, jedoch gedüngte Parzellen (Volldüngung: 340 Kalkammonsalpeter, 1600 Thomasphosphat, 500 Patentkali, 2000 Hüttenkalk; 75 N, 510 P_2O_5 , 145 K_2O , > 1720 CaO, 130 MgO - alle Zahlen in kg/ha).

Einzelheiten der Versuchsanlage werden später an anderer Stelle dargestellt (STRAUB). Zu jeder Kahlschlagfläche wurden fünf Vergleichsprofile unter dem benachbarten stehenden Baumbestand aufgenommen. Im ganzen waren somit auf jeder Fläche 45 Einzelprofile zu untersuchen.

3 M E T H O D I K

Die Profile wurden auf allen Parzellen in Kubiena-Kästen im Hochformat entnommen (Blechrahmen vom Format 40 x 60 x 80 mm, die Seiten 60 x 80 mm sind offen und mit Blechdeckeln zu verschließen, s. KUBIENA, 1953, S. 341 ff). So wurden 80 mm tiefe Profile als Handstücke erhalten. Wenn bei 80 mm der Mineralboden nicht erreicht war, wurde ein zweiter Kasten entnommen. Durch diese Technik konnte die Beschreibung ins Labor verlegt werden. Dadurch wurde neben der größeren Bequemlichkeit die unmittelbare Vergleichbarkeit der Proben miteinander erreicht, die für die Ausführung von exakten Schätzungen nach ad hoc entwickelten, d.h. dem Material und der Fragestellung angepaßten Schätzskalen eine Voraussetzung ist (BABEL, 1967). Außerdem können die Profile mit dem Stereomikroskop untersucht werden und ggf. kleine Proben für Einzeluntersuchungen (z.B. mikroskopische Streupräparate, pH-Bestimmungen) entnommen werden.

Die Merkmale wurden, abgesehen von der Ansprache der Horizonte, der Messung ihrer Mächtigkeit und der Übergänge, in Schätzskalen von 0 - 5 oder 1 - 5 nach Menge, teils auch nach Intensität, geschätzt (s. BABEL, 1967). 1 bedeutet immer: Merkmal sehr schwach ausgebildet oder sehr selten zu finden; 3: mittlere Ausbildung; 5: stärkste Ausbildung oder häufigstes Vorkommen. Alle Bestimmungen, insbesondere die Schätzungen, wurden an allen 45 Profilen jeder Untersuchungsfläche gleichzeitig und zügig ausgeführt. Die Skalen für die Merkmalsschätzungen waren aber bei den drei Untersuchungsflächen oft etwas verschieden angelegt. Die Profile wurden, wenn nichts anderes angegeben ist, in bodenfrischem Zustand untersucht; sie wurden in keinem Fall für die Schätzung nach irgendwelchen anderen Gruppen (Blöcke, Bearbeitung) sortiert.

4 DIE UNTERSUCHTEN MAKROMORPHO - LOGISCHEN HUMUSMERKMALE

Auftreten und Mächtigkeit (mm) von Humushorizonten und -subhorizonten: Die Auflagehorizonte wurden möglichst weitgehend, die Mineralbodenhorizonte meist weniger gegliedert. Eine sinnvolle Horizontierung nach einheitlichen Grundsätzen, wie sie an anderer Stelle vorgeschlagen wird (BABEL, 1969), machte oft Schwierigkeiten, da das vorgeschlagene Horizontierungsschema an mehr oder weniger ungestörten Waldhumusprofilen entwickelt worden ist und hier, abgesehen von den normalen Veränderungen des Humusprofils nach Kahlschlag, durch die Bearbeitung, teils starke mechanische, chemische und in deren Folgen biologische Änderungen aufgetreten sind. Trotzdem wurde versucht, die Subhorizont-Benennungen zu geben: F_R : F-Horizont mit geringen Mengen von Feinsubstanz; F_m : F-Horizont mit mittleren Mengen von Feinsubstanz; H_R : H-Horizont mit oberirdischen Pflanzenresten; H_f : H-Horizont ohne oberirdische Pflanzenreste;

A_{hh} : sehr stark humoser oberster Teil des A_h , mindestens 50% mineralische Substanz. - Die Merkmale des Auftretens und der Mächtigkeit der Humushorizonte geben mindestens Hinweise auf die Zerkleinerungstätigkeit durch Bodenorganismen und die relative Geschwindigkeit der einzelnen Zerkleinerungsprozesse zueinander. In diesem Sinne war das angegebene Horizontierungsschema auch hier brauchbar. Die Subhorizonte weichen jedoch von der Normalausbildung unter stehendem Baumbestand in vielen, nicht zur unmittelbaren Definition gehörenden Einzelheiten ab.

Übergang von Horizont zu Horizont: Angabe in mm, teilweise auch in einer Schätzskala von 1 - 5. - Die Schärfe der Übergänge wird bekanntlich als Merkmal der biologischen Aktivität eines Humusprofils gewertet; dies gilt insbesondere für die Schärfe des Übergangs von der Auflage in den Mineralboden, die bei Rohhumus 4 - 5 ist.

Farbe: Die mächtigeren Horizonte wurden nach MUNSELL und teils durch Beschreibung der Farbe in Worten erfaßt. - Bei dem vorliegenden Untersuchungsmaterial war vor allem die Farbe der obersten Teile des Mineralbodens von Interesse. Graue und violette Töne gelten als Merkmale der Podsolierung, grüne Töne als Merkmal von Staunässe.

Diffuse Fleckigkeit (Wolkigkeit) im A_{eh} - und A_{he} -Horizont: Menge und gleichzeitig Intensität der diffusen Fleckigkeit. - Das Merkmal ist ein Hinweis auf Podsolierung. (Es zeigte fast nirgends Beziehungen zu Bearbeitung und Vegetation - vorwiegend wahrscheinlich deshalb, weil es in einem mittleren Stadium der Podsoligkeit sein Maximum hat, während im Material alle Stadien auftreten.) Die Ergebnisse wurden nicht diskutiert.

Dichte: Geschätzt bei allen Horizonten als Komplementärwert zu den makroskopisch erkennbaren Poren. - In den untersuchten Profilen treten häufig Horizonte mit sehr geringer Dichte auf, die wegen zu starker Durchlüftung und zu geringer Wasserhaltefähigkeit für das Pflanzenwachstum als ungünstig erscheinen

müssen; andererseits treten häufig Horizonte mit zu hoher Dichte für optimales Pflanzenwachstum auf.

Plattigkeit: Angegeben für die Horizonte unterhalb F und zwar nach Trocknung; geschätzt wurde die Menge horizontaler Risse. - Die Plattigkeit ist ein indirekter Ausdruck der Dichte. Höhere Plattigkeit bedeutet höhere Dichte und damit für die meisten höheren Pflanzen ungünstigen Wasser- und Lufthaushalt.

Losungen: Es wurde die Menge der mit Stereomikroskop 6-fach erkennbaren gut geformten Losungen von etwa 0,5 bis 2 mm Länge angegeben. - Das Merkmal ist ein Hinweis auf die Tätigkeit von relativ (!) anspruchsvollen Gruppen größerer Bodentiere (Dipterenlarven, kleine Regenwurmarten, Diplopoden und Isopoden; zur Bewertung des Merkmals siehe ZACHARIAE, 1967).

Krümel: Es wurden Krümel oder krümelähnliche Aggregate, soweit mit Stereomikroskop 6-fach ansprechbar, bestimmt. In die Schätzung geht auch die Ausprägung der Krümel mit ein: 1: wenige, sehr schlecht ausgebildete Krümel oder sehr raue Bruchflächen. - Es ist ein Merkmal für günstige Aggregatbildung und -erhaltung, die jedoch nicht immer auf Tätigkeit von Tieren zurückzugehen braucht.

Wurzeln

Zerkleinerung der Pflanzenreste: Dies wurde in den F-Horizonten und im H_r bestimmt. Für die Normalausbildung in ungestörten Waldbodenprofilen ist die Zerkleinerung im F_r etwa Schätzstufe 2, im F_m etwa 3, im H_r etwa 4. Abweichungen vom Normalwert bedeuten Abweichungen von der normalen Tiertätigkeit.

Linsen: Von horizontfremdem Material. - Es ist ein Merkmal für grobmechanische Vermischung, also insbesondere für oberflächliche Bodenbearbeitung; es wird hier nicht diskutiert.

Mineralische Substanz: Ihr Anteil wurde - ebenfalls in einer Schätzskala von 0 bis 5 - in den Auflagehorizonten bestimmt und zwar nach kurzem Aufschütteln und Sedimentieren einer kleinen Probe in Spitzgläsern; erfaßt wurde dabei vorwiegend der Sandanteil. - Das Merkmal ist wichtig zur Beurteilung der

Tiertätigkeit, insbesondere der Durchmischungstätigkeit.

Rostflecken: Das Merkmal gilt als Hinweis auf Staunässe.

Weiter wurde beobachtet, daß im A_{eh} - und A_{he} -Horizont von vielen der Profile aus den Flächen Blümlerberg und Ödelsheim nach Trocknung eine Feinpunktierung der Profilloberfläche auftrat, die auf oberflächliche Abscheidung von Humusstoffen zurückgeführt werden konnte. Auch diese Feinpunktierung wurde in einer fünfstufigen Skala geschätzt.

Quantitative Bestimmung der abgeschiedenen organischen Substanz zeigte bei den Proben, wo sie in größter Menge auftrat, ca. 10 ppm Kohlenstoff bezogen auf das Trockengewicht des Bodenausschnitts, über dem sie abgeschieden waren. Dieser Wert ist ein Mindestwert für den in bodenfrischem Zustand in Lösung befindlichen Humus-Kohlenstoff. Der wirkliche Wert könnte möglicherweise, wenn die untersuchte Abscheidung nicht quantitativ war, etwa 2-bis 4-mal so hoch sein. Von dem Wert 10 ppm Kohlenstoff ausgehend ergibt sich durch Überschlagsrechnung eine Konzentration an Humuskohlenstoff bezogen auf die im bodenfrischen Material vorhandene Bodenlösung von ca. 0,15 g C/l. (ZIECHMANN und PRZEMECK (1964) haben in Sickerwässern von Podsolon 0,3 g C/l bestimmt.)

In der Fläche Ödelsheim wurde noch die Podsoligkeit und der Grad der Staunässe geschätzt. Beides sind keine morphologischen Merkmale, sondern aus mehreren Merkmalen abgeleitete Bodeneigenschaften. Die Schätzung der Podsoligkeit basierte auf Horizontierung, Farbe (Rottöne), Fleckigkeit und in zweiter Linie auf Korngrößen und Dichte (geringere Dichte als bei Staunässe). Die Schätzung der Staunässe basierte auf der Farbe (Grüngelbtöne) und in zweiter Linie auf Korngröße und Dichte. Die Schätzungen von Podsoligkeit und Staunässe waren oft schwer gegeneinander abzutrennen, da die Prozesse der Podsolierung und der Naßbleichung oft kombiniert auftraten.

5 ERGEBNISSE UND EINZELDISKUSSIONEN

5.1 ÜBERBLICK ÜBER DIE HUMUSPROFILE DER DREI UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN

Blümerberg: Die Humusauflage wechselt von 0 bis 100 mm Mächtigkeit. Wo sie geringmächtig ist, enthält sie geringe bis mittlere Mengen mineralischer Substanz und ist oft locker. Wo sie mächtiger ist, überwiegt in ihr die H-Schicht, die mäßig locker bis ziemlich dicht ist. Der Übergang in den Mineralboden ist ziemlich scharf bis scharf. Der Mineralboden ist im Oberboden fast stets schwach bis stark podsolig (A_{eh} und A_{he}). Die ursprüngliche, durch Kahlschlag und Bearbeitung nicht beeinflusste Humusform ist danach etwa ein rohhumusartiger Moder (Kartieranleitung 1965) (Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde, 1965).

Gahrenberg: Bei 1/3 der Profile fehlt die Auflage, bei den anderen ist sie nur sehr selten mächtiger als 30 mm. Der ziemlich dichte H-Horizont ist mächtiger als der F. Der Übergang zum Mineralboden ist ziemlich unscharf. Der mineralische Oberboden ist dicht, oft auffallend dunkelgrau bis schwarzgrau (z.T. mit kleinen Eisenflecken), teils aber auch braungelb. Die ursprüngliche Humusform ist ein geringmächtiger Moder, häufig mit Übergang in oligotrophes Anmoor.

Ödelsheim: Die Humusauflage ist 0 bis 80 mm mächtig. Der H-Horizont ist im allgemeinen etwas mächtiger als der F. Der Übergang in den Mineralboden ist nur mäßig scharf. Die oberen 100 mm des Mineralbodens sind sehr verschiedenartig ausgebildet. Die Profile zeigen alle Übergänge zwischen zwei Extremen: Grauer, violettstichiger, dichter A_{eh} und A_{he} über einem diffusen, doch aushaltenden B_s von 20 mm Mächtigkeit (Podsolierung) und grüngelbstichiger, hellgrau aufgehellter, sehr dichter A-Horizont (Naßbleichung). (Es handelt sich offenbar um schwere anthropogene Störungen des Oberbodens; unterhalb

100 mm unter Mineralbodenoberfläche folgen überall lockere B_v -Horizonte oder mäßig lockere SB_v -Horizonte.) Die Humusform vor dem Kahlschlag war Moder.

5.2 INDIREKTE WIRKUNG DER BEARBEITUNG AUF DAS HUMUSPROFIL

5.2.1 Gefügemerkmale

5.2.1.1 Losungen (Tabelle 1)

Die Bestimmungen zeigen, daß die Aktivität größerer Bodentiere auf den Kahlschlagflächen gegenüber dem stehenden Baumbestand erhöht worden ist. Das Ausjäten der Bodenvegetation wirkte stark senkend auf diese Aktivität. In der Fläche Ödelsheim wirkte das Entfernen der Vegetationsdecke im April 1967 noch bis November 1968 in einer Depression der Tieraktivität nach. Daß das dort geschadet hat, nicht aber in Blümerberg, darf wohl auf die primär vorhandene, extrem starke Schädigung des Oberbodens zurückgeführt werden. Düngung wirkte sich nur in Ödelsheim deutlich fördernd auf die Aktivität dieser Bodentiergruppe aus. (RONDE (1958) hat unter ähnlichen Verhältnissen deutliche Förderung von Diplopoden und verschiedenen, vorwiegend kleinen Regenwurmarten gefunden.) Die leichte Erhöhung von Losungen nach Dowpon-Behandlung in Blümerberg ist als indirekte Bearbeitungsfolge über die Vegetation aufzufassen. (Das gilt auch für fast alle aus den folgenden Tabellen sich ergebenden Beziehungen von Humusmerkmalen zur Dowpon-Behandlung. Diese Beziehungen werden daher in der vorliegenden Arbeit nicht weiter diskutiert.) - In Blümerberg wurden neben den größeren auch die kleineren Losungen, soweit mit Stereomikroskop 6mal einigermaßen sicher ansprechbar (d.h. auch Losungen bis herab zu 50 - 100 μ Größe), bestimmt. Dabei wurde nur zum Ausjäten eine Beziehung erhalten: Das schlechtere Ergebnis erklärt sich daraus, daß die kleineren Losungen von anspruchsloseren Bodentiergruppen (Enchytraeen u.a.) stammen,

die auch bei ungünstigeren Verhältnissen tätig sind. - In größeren Tiefen wurden keine deutlichen Unterschiede in bezug auf die Losungsmengen gefunden. - (Siehe auch Beziehungen des Merkmals zu *Epilobium angustifolium*, *Rumex acetosella* und Gesamtdeckung der Gefäßpflanzen.)

5.2.1.2 Krümel in den oberen 10 mm
(Tabelle 2)

Die Ergebnisse für unbehandelten Kahlschlag und Entfernung der Vegetationsdecke entsprachen den Ergebnissen bei den Losungen. Jäten führte dagegen in keinem Fall zur Verringerung der Krümel, Düngung in jedem Fall zur Erhöhung, besonders deutlich bei den dichteren Böden. Eine Änderung des Gefüges geht also nicht ganz mit einer Änderung der Tätigkeit der durch die Losungen erfaßten Tiergruppen parallel. Die betreffenden Tiere reagieren in diesem Fall auf mechanische, klimatisch wirkende Eingriffe (Jäten) stärker, als auf chemische Eingriffe (Düngung). Sie werden durch die Düngung weniger gefördert als die Krümelbildung und -stabilisierung. - In größeren Tiefen waren Unterschiede in der Krümelbildung weniger deutlich. - (Siehe auch Beziehungen des Merkmals zu *Epilobium angustifolium*, *Rumex acetosella* und Gesamtdeckung der Gefäßpflanzen.)

5.2.1.3 Dichte in den oberen 10 mm
(Tabelle 3)

Nach Kahlschlag wurde überall die Dichte von geringen auf mittlere Werte erhöht: Dies ist ein Merkmal der auch an anderen Merkmalen erkennbaren Erhöhung der Streuzersetzung, die sich z.B. in der Horizontbezeichnung zeigt (Tab. 4). Nach Abzug der Vegetationsdecke zeigt sich durchgehend eine Erhöhung der Dichte von mittleren zu höheren Werten: Das ist eine

direkte Bearbeitungsfolge, denn die tieferen Horizonte sind dichter. Jäten brachte nur in Blümerberg eine Verdichtung. Düngung brachte oder verstärkte ein Verteilungsmaximum der Profile auf mittlere Dichte (Schätzstufe 3 und 3,5), das heißt, sie erhöhte die Dichte der lockeren F_r -Horizonte der mechanisch ungestörten Profile und verringerte die Dichte der dichten H - und A_{hh} -Horizonte, die durch Bodenbearbeitung an die Oberfläche kamen; (vgl. hierzu die Pflanzenarten *Deschampsia flexuosa*, *Carex remota* und *Deschampsia caespitosa*, die ein Maximum bei mittlerer Dichte zeigen). - Die Dichte in den tieferen Auflagehorizonten zeigte im Gegensatz zum obersten Horizont keine Einflüsse durch verschiedene Bearbeitung: Sie reagierte innerhalb der Versuchszeit nicht (Blümerberg). Der unter der Auflage folgende A_{hh} , der ursprünglich bei allen Profilen zu dicht für optimale Biologie war, wurde dagegen durch Düngung um durchschnittlich eine halbe Schätzstufe von 4 auf 3,5 lockerer. Die darunter folgenden ca. 30 bis 60 mm des Mineralbodens wurden durch Kahlschlag und verschiedene Bearbeitung in ihrer Dichte - bestimmt als Plattigkeit - nicht verändert. (An sich wäre eine Änderung durch die Wurzeln der Kahlschlagvegetation denkbar gewesen.) - (Siehe auch Beziehungen des Merkmals zu *Epilobium angustifolium*, *Deschampsia flexuosa* und *Deschampsia caespitosa*, *Carex remota*, Moosen, *Rumex acetosella* und Gesamtdeckung der Gefäßpflanzen).

5.2.2 Merkmale des Profilaufbaus

5.2.2.1 Mächtigkeit der Auflage

Eine Abnahme der Auflagemächtigkeit nach Kahlschlag - entsprechend dem von KANNENBERG (1955) gefundenen Gewichtsschwund - konnte nicht festgestellt werden, da entsprechende Vergleichsprofile fehlten. - Die Düngung hat in keiner Fläche eine Änderung der Auflagemächtigkeit herbeigeführt. - (Siehe Beziehungen des Merkmals zu Moosen.)

5.2.2.2 Mächtigkeit des A_{eh} und des A_{he} + A_e (Tabelle 5)

Diese Horizonte wurden nur bei Ödelheim genau angesprochen: A_{eh} als ein dunklerer, A_{he} als ein hellerer Eluvial-Horizont (vgl. v. ZEJSCHWITZ). Häufig fehlte entweder A_{eh} oder A_{he} und A_e , aber nur in einem der 40 Profile fehlten alle drei Horizonte gleichzeitig. Die Profile unter stehendem Baumbestand waren in diesem Merkmal nicht mit denen der Kahlschlagfläche vergleichbar. Von den verschiedenen Behandlungen machte sich auf die Mächtigkeiten dieser Horizonte nur die Düngung bemerkbar, und zwar genau gegensinnig in beiden Horizonten. Das bedeutet, daß in vielen Fällen nach Düngung der A_{he} soviel dunkler gefärbt wurde, daß er ganz oder teilweise als A_{eh} angesprochen wurde. Die dunklere Färbung kann nur auf Infiltration leicht beweglicher Humusstoffe zurückgehen. Für diese wurde das Merkmal "Feinpunktierung" der Profiloberfläche geschätzt.

5.2.3 Weitere Merkmale

5.2.3.1 Feinpunktierung der Profiloberfläche (Tabelle 6)

(Das Merkmal war in Fläche Gahrenberg, wo eine anmoorähnliche Humusform auftritt, nicht bestimmbar.) Düngung erhöhte die Feinpunktierung in Blümlenberg undeutlich, in Ödelheim deutlich: Das Ergebnis der A_{eh} - und A_{he} - + A_e -Mächtigkeit, das Erhöhung der Menge löslicher Humusstoffe nach Düngung anzeigte, wird bestätigt. Für das Merkmal Feinpunktierung ist der Vergleich von stehendem Bestand und Kahlschlag möglich: es zeigt in beiden untersuchten Flächen starke Erhöhung nach Kahlschlag. Daß die Entfernung der Vegetationsdecke in Ödelheim die Feinpunktierung verringerte, ist mit der beträchtlichen Verringerung der Auflage, aus der die leicht löslichen Humusstoffe ausgewaschen werden, zu erklären. Tatsächlich

zeigte sich in beiden untersuchten Flächen eine gute Korrelation zwischen Feinpunktierung und Mächtigkeit der Humusauflage.

Die Effekte bei Dowpon-Behandlung sind wohl indirekt über Änderungen der Vegetation zu deuten; das soll hier nicht unternommen werden. Eine direktere Wirkung des Dowpons auf die biochemischen Prozesse, die zur Mobilisierung von löslichen Humusstoffen führen, erscheint nicht ausgeschlossen, wie schon ein Mengenvergleich zeigt. Dowpon wurde in größenordnungsmäßig der gleichen Dosis gespritzt - 1967 1 g/m², 1968 0,5-0,7 g/m² - wie gelöste Humusstoffe auftraten.

5.2.3.2 Farbton und Helligkeit in den oberen 30 bis 60 mm des Mineralbodens unterhalb von A_{hh} (Tabellen 7 und 8)

Es handelt sich um die Horizonte A_h, A_{eh}, A_{he}, A_e, seltener B_{vh}. - Die Tendenz einer Rotverschiebung nach Düngung zeigt sich in allen Flächen: Die aus der Auflage nach unten bewegten Humusstoffe, auf die aus den Merkmalen Mächtigkeit A_{eh}, Mächtigkeit A_{he} + A_e und Feinpunktierung geschlossen worden war, sind offenbar stärker rot getönt, wie aus allgemeinen Kenntnissen über die spektrale Lichtabsorption leicht löslicher Humusstoffe zu vermuten war (die Gelbtöne rühren von den Eisenoxiden). - Die Helligkeitswerte nach MUNSELL wurden nur in Gahrenberg bestimmt (Tabelle 8). Sie zeigen nach Düngung eine Verschiebung nach geringerer Helligkeit: Das Ergebnis entspricht völlig den Ergebnissen aus der Mächtigkeit von A_{eh} und A_{he} + A_e in Ödelsheim. Ein stärkeres Dunkeln der Profile nach Düngung ist auch in Gahrenberg eingetreten. - Andere Bearbeitungen als Düngung zeigten keine Beziehungen zu den Farben des oberen Mineralbodens. - Es sei hier angeführt, daß in Blümerberg, der Fläche, wo überall mächtige H-Horizonte auftraten, auch deren Farbe bestimmt und ausgewertet wurde. Es zeigte sich aber keine Beziehung zu den Bearbeitungen, auch - etwas entgegen der Erwartung - nicht zur Düngung.

5.2.3.3 Zerkleinerung der Pflanzenreste im H_r (Tabelle 9)

In beiden untersuchten Flächen waren nach Düngung die Pflanzenreste (vorwiegend Nadelreste) im H_r ungewöhnlich wenig zerkleinert; (in ungestörten Waldbodenprofilen zeigen sie in der Regel Zerkleinerung 4). Das bedeutet, daß der H_r , ein Horizont mit mehr als etwa $2/3$ Feinsubstanz, vor Kahlschlag und Düngung ein F_r oder F_m war, in dem durch Düngung die Zerkleinerung stark, aber nicht alle Nadeln gleichzeitig erfassend, gefördert wurde. Die Organismen, die diese Zerkleinerung vornehmen, sind offenbar nicht identisch mit den Organismen, die 0,5 - 2 mm große Losungen geben, jene sind durch Düngung nicht gefördert worden (s. Merkmale "Losungen"). Es handelt sich wahrscheinlich vorwiegend um kleinere Bodentiere wie Oribatiden.

5.3 BEZIEHUNG DER VEGETATION ZU DEN HUMUSMERKMALEN

Es wurde eine Anzahl von Pflanzenarten nach Maßgabe ihrer Häufigkeit auf den Flächen, ihrer Bedeutung als Kahlschlagpflanzen und ihres standortskundlichen Weiserwertes (OBERDORFER, 1962) ausgesucht und in ihrer Beziehung zu den auf Tab. 10 aufgeführten Humusmerkmalen untersucht. Die Auswertung der Bestimmungen der anderen Humusmerkmale in bezug auf die Pflanzenarten wurde nicht vorgenommen, da sie z.T. nur gut Bekanntes bringen würden, z.T. naheliegende direkte Einflüsse der Vegetation auf das Humusprofil (z.B. Durchwurzelung) und z.T. nur mit Hilfe der Auswertung der Zusammenhänge von Behandlung und Vegetation interpretiert werden können. All das sollte nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit sein.

Die Möglichkeit, Beziehungen zwischen Vegetation und Humusmerkmalen zu finden, sind innerhalb dieser Arbeit dadurch begrenzt, daß die Vegetationsangaben nicht direkt für das 6 cm

breite Humusprofil sondern für ein Quadrat von 1 x 1 m gelten, in dem das Humusprofil liegt. Der kleinflächige Wechsel von Humusprofilausbildung einerseits und Bewuchs andererseits ist aber sehr groß. Die Ergebnisse sind daher teilweise schlechter als erwartet. Ein weiterer Grund für die Verschlechterung der Ergebnisse ist, daß die Wiederbesiedlung der Flächen noch nicht abgeschlossen war und so die Konkurrenz sich noch nicht voll auswirken konnte. Auch traten kurzlebige Keimlinge auf, die mitgeschätzt wurden.

Die untersuchten Pflanzenarten waren *Epilobium angustifolium* und *Juncus effusus* + *conglomeratus* in allen Flächen. Außerdem wurden alle Moose (nicht nach Gruppen getrennt) und die Gesamtdeckung der Vegetation ohne Moose für alle Flächen ausgewertet. Schließlich wurden untersucht in Blümlerberg: *Rubus idaeus*, *Senecio viscosus* + *silvaticus*, *Cirsium vulgare* + *palustre*, *Galium aparine*, *Cerastium semidecandrum*, *Rumex acetosella* und *Holcus lanatus*; in Gahrenberg: *Rubus idaeus*, *Holcus mollis*, *Deschampsia flexuosa*, *Deschampsia caespitosa* und *Carex remota*; in Ödelsheim: *Vaccinium myrtillus*, *Betula pendula* und *Deschampsia flexuosa*.

Die Pflanzenarten wurden nach ihrer Deckung in % geschätzt. Die Streuung war überall sehr groß. Genaue statistische Darstellung soll später erfolgen (STRAUB). Die hier folgende Auswertung verwendet die Mittelwerte der Braun-Blanquet-Schätzzahlen für die Deckung, die aus der Deckung (%) umgerechnet wurden. Dabei wurde gesetzt: 0 % = 0; 0,1 - 0,9 % = 0,5; 1 - 4,9 % = 1; 5 - 24 % = 2; 25 - 49 % = 3; 50 - 74 % = 4; 75 - 100 % = 5 (vgl. ELLENBERG, 1956, p. 33). Die Verwendung der nichtlinearen Braun-Blanquet-Skala schien in diesem Fall aus eben dem Grund berechtigt, der Braun-Blanquet zu ihrer Aufstellung veranlaßt hat, daß nämlich sehr geringe Deckung einer Pflanzenart in bezug auf ihren ökologischen Weiserwert schon relativ stark zu bewerten ist. Tatsächlich zeigten sich an einigen Beispielen, daß die nach den vorhandenen Kenntnissen erwarteten Beziehungen zwischen Auftreten einer Pflanze und Bodenmerkmalen bei Verwendung der Braun-Blanquet-Skala deutlicher als bei Verwendung der %-Skala waren. - In der pflanzensoziologischen Literatur finden sich Mittelwertbildungen aus Schätzwerten nicht (KNOCH, 1954). Dort werden allerdings teilweise andere Fragestellungen bearbeitet (Ermittlung der Gruppenmengen, HOFMANN und PASSARGE, 1964).

Die Ergebnisse sind oft, wenigstens teilweise, als indirekte Beziehungen zwischen Vegetation und Bodenmerkmal aufzufassen: Der primäre Einfluß wurde durch die Bearbeitung ausgeübt, die auf die Bodenmerkmale einerseits, auf die Vegetation anderer-

seits gewirkt hat. Bodenmerkmal und Vegetation können aber oft auch als in direkter Wechselwirkung zueinander stehend aufgefaßt werden.

5.3.1 Epilobium angustifolium (Tabelle 11)

Im allgemeinen nimmt Epilobium mit zunehmender Zahl der Losungen, zunehmender Ausbildung von Krümeln und abnehmender Dichte an der Bodenoberfläche zu. Der Zusammenhang mit der Zunahme der Krümel dürfte wenigstens teilweise auf Düngungseinfluß zurückzuführen sein, durch den Epilobium deutlich gefördert wird. Die Zunahme von Epilobium bei abnehmender Dichte des H ist zweifellos zum Teil ein direkter Einfluß der Epilobium-Wurzeln. Klare Beziehungen von Epilobium zu weiteren Bodenmerkmalen wurden nicht gefunden - Epilobium kommt danach offenbar im ganzen bevorzugt auf Böden vor, die an der Oberfläche ein relativ günstiges Gefüge zeigen und biologisch aktiv sind, also Humusabbau fördern. (Epilobium als "Humuszehrer" (OBERDORFER, 1962) zu bezeichnen, erscheint als vereinfachende Ausdrucksweise.) - Rubus idaeus verhält sich gegenüber allen Bodenmerkmalen prinzipiell gleich wie Epilobium. Cirsium vulgare + palustre verhalten sich gegenüber Losungen gleich wie Epilobium.

5.3.2 Deschampsia flexuosa (Tabelle 12)

Deschampsia flexuosa zeigt teilweise ein Maximum bei mittlerer Dichte des Bodens an der Oberfläche. Zu Losungen an der Bodenoberfläche zeigt es keine Beziehungen, auch nicht zur Krümelbildung an der Bodenoberfläche und zur Mächtigkeit der Auflage, was doch wenigstens andeutungsweise erwartet worden war, da Deschampsia allgemein als "Humuszehrer" gilt. Merkmale wie Durchwurzelung und Gefüge im Hauptwurzelbereich, deren Veränderung durch Deschampsia durch einfache Beobachtung

überall festgestellt werden kann, werden in dieser Arbeit nicht ausgewertet. (Vergleiche noch weiter unten die Beziehung von *Deschampsia flexuosa* zur Podsoligkeit.)

5.3.3 Juncus effusus + conglomeratus (Tabelle 12)

Juncus zeigt nur sehr geringe Abhängigkeit vom Gefüge an der Bodenoberfläche. Nur in Ödelsheim steigen die Deckungswerte mit steigender Dichte in den oberen 10 mm an. Etwas deutlicher war der erwartete Anstieg der *Juncus*-Deckung mit steigender Dichte des obersten Mineralbodens - bestimmt als Plattigkeit. Anscheinend meidet *Juncus* die dichtesten Böden (vgl. die ähnlichen Ergebnisse bei *Carex remota* und *Deschampsia caespitosa*). - An sich waren viel bessere Beziehungen zwischen Plattigkeit und *Juncus* erwartet worden, da das Vorkommen der *Juncus*-Arten auf Böden mit stark verdichtetem obersten Horizont gut genug bekannt ist. Auf den Grund für die schwachen Ergebnisse wird weiter unten nochmals einzugehen sein. - Außerdem war die Deckung von *Juncus* bei geringerer Mächtigkeit der Auflage deutlich erhöht. Da die Mächtigkeit der Auflage eine direkte Bearbeitungsfolge ist, sind die Ergebnisse hier nicht im einzelnen mitzuteilen.

5.3.4 Carex remota und Deschampsia caespitosa (Tabelle 13)

Die beiden auf Staunässe weisenden Pflanzen seien an die Mitteilung der Ergebnisse von *Juncus* angeschlossen. Sie zeigen deutlicher als *Juncus* ein Maximum bei geringer Plattigkeit; (geringe Plattigkeit bedeutet bekanntlich hohe Dichte, mittlere Plattigkeit sehr hohe Dichte). Der Verteilung auf die Plattigkeitsstufen wird gegenübergestellt die Verteilung auf die Dichtestufen in den oberen 10 mm. Hier verhalten sich beide "Staunässezeiger" so, daß sie, wie z.B. auch *Deschampsia*

flexuosa, gehäuft bei mittlerer Dichte, d.h. bei Gefüge mit optimalem Luft- und Wasserhaushalt und guter biologischer Aktivität auftreten; sie zeigen hier also ein normales Verhalten.

5.3.5 Moose

Da bei der Vielzahl der Aufnahmen nicht alle Moosarten getrennt bestimmt werden konnten, konnte eine Auswertung nur mit Vorbehalt vorgenommen werden. Es zeigten sich bei hoher Dichte und bei geringer Mächtigkeit der Auflage fast immer Höchstwerte. Diese Ergebnisse sind in Einklang mit der Erfahrung, daß kleine, akrokarpe Moose vorwiegend auf dichten Bodenoberflächen, H- oder A_h-Horizonten zu finden sind. Im Einzelnen schwankten die Ergebnisse wegen der erwähnten Mängel erheblich.

5.3.6 Rumex acetosella (Tabelle 14)

Die nur in Blümlerberg häufiger auftretende Art (in 5 von 40 Parzellen) zeigte deutliche Beziehungen zu den 5 in Tabelle 14 aufgeführten Merkmalen. Bemerkenswert ist, daß dazu auch 2 Merkmale aus größerer Tiefe des Humusprofils gehören; der Übergang von der Auflage in den Mineralboden zeigte zu keiner anderen Pflanze klare Beziehungen. - Von den untersuchten 40 Profilen haben nur 6 einen an der Oberfläche liegenden dichten H-Horizont ohne Losungen. Auf 4 von diesen (von denen 2 gedüngt waren) tritt Rumex auf. Rumex bevorzugt nach diesem Befund offenbar biologisch gewöhnlich ungünstig wirkende Verhältnisse (Fehlen von Losungen: wahrscheinlich Trockenheit). Sie tut das, obwohl 17 der 40 Parzellen weniger als 75 % Gesamtdeckung, 8 Parzellen - davon nur 2 mit Rumex - weniger als 50 % Gesamtdeckung haben. Wahrscheinlich bevorzugt sie trockenes, dichtes, stark zersetztes H-Material zur Keimung.

Das entspricht ihrem Auftreten auf Torfen.

Es soll an dieser Stelle betont werden, daß dieses Ergebnis schneller und vor allem mit geringerer Gefahr von Fehlinterpretation hätte gefunden werden können, wenn die 40 Profile direkt auf die Fragestellung hin, d.h. hier: nach Gruppen mit und ohne Rumex, sortiert worden wären. Dies war aus technischen Gründen, u.a. wegen der Vielzahl der Einzelfragestellungen, nicht möglich gewesen.

5.3.7 Gesamtdeckung der Gefäßpflanzen (Tabelle 15)

Es bestehen - soweit geprüft - nur Beziehungen zu Gefügemerkmalen. Die Kausalbeziehung liegt hier offenbar eindeutig so, daß die Vegetation auf die Gefügemerkmale eingewirkt hat, nicht umgekehrt. Die Tabelle 15 zeigt nur die Merkmale und nur die Flächen, wo Beziehungen gefunden wurden. Die Beziehungen waren in dieser Weise erwartet, da mit steigender Deckung die Beschattung und die Produktion von Pflanzenabfällen steigt, so daß die Tätigkeit der Tiere an der Oberfläche erleichtert wird (Losungen und Dichte); und da die Durchwurzelung steigt und so eine ungerichtete Auflockerung in den obersten Horizonten erfolgt (maximale Krümeligkeit von F_r bis A_{hh} und Dichte im H). Allerdings wurden an sich auch für die Gesamtdeckung der Vegetation viel klarere Beziehungen zu den Humusmerkmalen erwartet; daß sie nicht besser waren, wird vor allem den in den einleitenden Teilen erläuterten technischen Mängeln der Untersuchungen zugeschrieben.

5.3.8 Die anderen untersuchten Pflanzenarten

Es wurden noch untersucht: *Vaccinium myrtillus* (28), *Senecio viscosus* + *silvaticus* (24), *Galium aparine* (20), *Cerastium semidecandrum* (7), *Betula pendula* (28), *Holcus lanatus* (9), *Holcus mollis* (5); (in (%) die Zahl der Parzellen von im ganzen je 40 Parzellen, in denen die Pflanze auftrat). *Vaccinium*

myrtillus (Ödelsheim) zeigte zur Staunässeschätzung (s.unten) schwach negative Beziehung, *Betula pendula* (Ödelsheim) zur Staunässe schwach positive und zur Mächtigkeit der Auflage schwach negative Beziehung. *Senecio viscosus* + *silvaticus* (Blümerberg) zeigten zur Plattigkeit schwach negative und zur Mächtigkeit der Auflage schwach positive Beziehung. Die anderen 4 Arten zeigten keinerlei Beziehungen zu den bestimmten Humusmerkmalen.

5.4 BEZIEHUNG DER VEGETATION ZU DEN BODENEIGENSCHAFTEN PODSOLIGKEIT UND STAUNÄSSE (Tabellen 16 und 12)

In sehr vielen Fällen konnten keine guten Beziehungen zwischen den morphologischen Merkmalen und Pflanzenarten oder menschlichen Eingriffen gefunden werden. Um die Möglichkeit makromorphologischer Bearbeitung für eine Interpretation des Humusprofils nach ökologischen Gesichtspunkten besser zu zeigen, wurden daher in der Fläche Ödelsheim mit rein morphologischer Arbeitstechnik noch 2 Bodeneigenschaften - Staunässe und Podsoligkeit - geschätzt, die von direkterer ökologischer Bedeutung als die morphologischen Merkmale sind. Die Schätzung geschah, wie in der Einleitung gesagt, aufgrund mehrerer morphologischer Merkmale; dabei ist die Bewertung eines bestimmten morphologischen Merkmals bei verschiedenen Merkmalskombinationen verschieden. Dies geht auch aus Tab. 16 hervor, die für die Schätzung der Staunässe bessere Ergebnisse zeigt als für die Schätzung zweier für die Staunässebeurteilung sehr wichtiger morphologischer Einzelmerkmale, nämlich Farbe und Plattigkeit. Auf genauere statistische Bearbeitung kann hier nicht eingegangen werden.

Es sei noch angefügt, daß die Podsoligkeitsschätzung deutliche negative Beziehung zu *Juncus* und Moosen und deutliche positive Beziehung zu *Deschampsia flexuosa* zeigte: *Deschampsia* hatte im Vergleich zu den morphologischen Merkmalen keine klaren

Beziehungen gezeigt (s. vorn); erst durch die Bestimmung der Eigenschaft "Podsoligkeit" wird seine bekannte Bindung an im Oberboden an Nährstoffen verarmte Böden deutlich (Tabelle 12).

6 SCHLUSSDISKUSSION

6.1 ZUR VERWENDUNG MORPHOLOGISCHER HUMUSMERKMALE BEI STANDORTSKUNDLICHEN FRAGEN

(vgl. auch BENECKE und BABEL, 1969; ZACHARIAE, 1967)

1. Es sollte mit der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, daß makromorphologische Humusmerkmale auch bei der Bearbeitung umfangreichen und ungleichartigen Materials verwendet werden können. Dazu hilft insbesondere die Verwendung von Schätzskalen für Menge oder Intensität der morphologischen Merkmale (vgl. BABEL, 1967). Für die Auswertung der Ergebnisse können Häufigkeitsverteilungen der Profile nach den Schätzstufen einzelner Merkmale untersucht werden.
2. Die meisten Merkmale des Humusprofils, deren Beachtung bei Beschreibungen üblich ist oder empfohlen wird (BABEL, 1969), zeigten Beziehungen zu den in dieser Arbeit interessierenden anderen Standortverhältnissen (wenn auch nicht in allen Horizonten), nämlich zu Bodenbehandlung und Vegetation auf 2 Jahre alten Kahlschlagflächen. Wichtig ist aber die richtige Abgrenzung der Merkmale. Dafür ist eine möglichst gute Kenntnis der Entstehung und humusdynamischen Wirkungsweise der Merkmale von Bedeutung.

Das zeigte sich z.B. bei der Erfassung der Losungen. Losungen von 0,5 - 2 mm Größe zeigten gute Beziehungen zu vielen Behandlungsarten und Pflanzenarten. Wenn aber kleinere Losungen miterfaßt wurden, wurden die Beziehungen wesentlich unschärfer. Es wurde dann nämlich die Tätigkeit ganz anderer, ökologisch anders reagierender Tiergruppen mit erfaßt. Tatsächlich ist auch noch die hier zu einem "Merkmal" zusammengefaßte Gruppe von Losungen in Entstehung und humusdynamischer Bedeutung potentiell inhomogen. Derartige Lo-

sungen können von größeren Diplopoden, von Tipulidenlarven oder von dem kleinen Regenwurm *Dendrobaena* stammen, wie ZACHARIAE (1967) kürzlich in einer schönen Zusammenstellung gezeigt hat. In der vorliegenden Arbeit konnten keine Bestimmungen von Bodentieren vorgenommen werden.

3. Die untersuchten Merkmale waren für die anderen Standortverhältnisse, die dazu in Beziehung gesetzt wurden, sehr verschieden wichtig. Dies konnte besonders mit Hilfe der Beziehungen zu den Pflanzenarten gefunden werden.

Gute Beziehungen zeigten sich zu *Rumex acetosella*, schlechte zu *Juncus conglomeratus* + *effusus*. Die untersuchten Merkmale liegen also den tatsächlichen Standortsansprüchen von *Rumex* viel näher als denen von *Juncus*. Für *Juncus* hätten andere Merkmale bestimmt werden müssen.

Es ist also prinzipiell zu fordern, daß die Merkmale für jede Einzelfrage ("ad hoc") neu ausgewählt und oft auch neu abgegrenzt werden. Es ist ein Vorteil der morphologischen Untersuchungsmethode, daß sie es sehr leicht möglich macht, neue Merkmale zu finden. Diese können dann mit Schätzskaleten sehr schnell bestimmt werden. Morphologische Standardmerkmale, die immer etwas Wichtiges und immer etwas Gleichsinniges bedeuten, gibt es nicht. Die gleichen Merkmale müssen unter verschiedenen Verhältnissen oft völlig verschieden bewertet werden.

Wenn die Zerkleinerung der Pflanzenreste geringer als normal ist, bedeutet das in einem dichten Horizont, daß die Tiertätigkeit ungewöhnlich rasch beendet worden ist, in einem lockeren Horizont, daß die Tiertätigkeit ungewöhnlich stark ist.

Es ist also zur Interpretation humusmorphologischer Merkmale Kenntnis und Verständnis der ganzen Morphologie des Humusprofils nötig.

4. Bessere Beziehungen als zu morphologischen Einzelmerkmalen zeigten sich zu bodendynamischen Eigenschaften, die ebenfalls in 5-stufigen Skalen geschätzt wurden. Die Basis für die Schätzung der Eigenschaften war eine Anzahl morphologischer Merkmale. Die Bewertung jedes einzelnen Merkmals muß

bei solchen Schätzungen je nach Kombination der Merkmale stark wechseln. Die richtige Bewertung setzt gute morphologische Kenntnisse voraus, genau wie die Auswertung der Erhebung humusmorphologischer Einzelmerkmale. - Der Grund dafür, daß die Eigenschaftsschätzungen in der vorliegenden Untersuchung bessere Ergebnisse als die Einzelmerkmale brachten, wird darin gesehen, daß sie der Fragestellung kausal näher liegen. (Allgemein stehen morphologische Merkmale selten in einigermaßen direkter kausaler Beziehung zum Wachstum der höheren Pflanze, an die bei bodenkundlich-standortskundlichen Untersuchungen meist gedacht ist - Beispiel: Dichte (Porenvolumen), Gegenbeispiel: Krümel.) Ein zweiter, nicht weniger wichtiger Grund, weshalb in vielen Fällen Eigenschaftsschätzungen zu bevorzugen sind, wird in der Schwierigkeit der Interpretation von Einzelmerkmalen gesehen, die oft nur daher rührt, daß der Boden selbst (auch im Labor: Handstück oder Dünnschliff) nicht mehr berücksichtigt wird.

6.2 AUSWIRKUNG VON BODENBEHANDLUNG UND VON UNTERSCHIEDLICHER VEGETATION AUF DAS HUMUSPROFIL

6.2.1 Änderungen in Abhängigkeit von anthropogenen Standortveränderungen

Kahlschlag ohne weitere Behandlung wirkte in allen drei Untersuchungsflächen schon nach zwei Jahren beträchtlich fördernd auf die Zersetzung der Pflanzenreste. Das war besonders in den oberen 10 mm des Bodens deutlich, in denen Z e r k l e i n e r u n g s v o r g ä n g e den F_R -Horizont durchschnittlich in einen F_m überführten. (Merkmale: Losungen in den oberen 5 mm, Dichte und Krümel in den oberen 10 mm, oberster Horizont.) Es traten l e i c h t l ö s l i c h e H u m u s s t o f f e auf, die mindestens bis in die obersten 50 mm des Mineralbodens verlagert wurden (Merkmal: Feinpunktierung).

Düngung wirkte verstärkend auf die Bildung und Verlagerung leicht löslicher Humusstoffe (Merkmale: Feinpunktierung, Helligkeit und Farbton des mineralischen Oberbodens, Mächtigkeit von A_{eh} , Mächtigkeit von $A_{he} + A_e$; Ähnliches hat RONDE (1958) unter ähnlichen Verhältnissen gefunden). Im mineralischen Oberboden traten maximal mindestens 10 ppm Kohlenstoff in der Bodenlösung auf. Der Oberboden wurde so stark durch Humus dunkel gefärbt, daß er sehr oft ganz oder teilweise als A_{eh} statt als A_{he} bezeichnet wurde (eluvialer Humushorizont statt humoser Eluvialhorizont; so in Ödelsheim, der Fläche mit den hellsten mineralischen Oberböden). Außerdem wurde sein Farbton durch die Humusinfiltration häufig deutlich nach stärkerem Rotanteil verschoben. - An der Bodenoberfläche wirkte die Düngung verbessernd auf die physikalischen Verhältnisse für die Organismen (Merkmale: Dichte und Krümel in den oberen 10 mm). Eine nach Kahlschlag stark geförderte Gruppe von Bodentieren wurde jedoch durch Düngung nur teilweise begünstigt (Merkmal: Losungen in den oberen 5 mm). Der Förderung, die diese Bodentiere sehr wahrscheinlich durch die Verbesserung der physikalischen Bedingungen und durch die geförderte Vegetation - beides Folgen der Düngung - erhalten, wirkt möglicherweise die hohe Ionenkonzentration in der Umgebung der Düngerkörner entgegen. (RONDE (1958) hat dagegen bei ähnlichen Verhältnissen deutliche Förderung von Diplopoden und von verschiedenen kleinen und großen Regenwurmartens durch Düngung gefunden.) - Die Zerkleinerung der Nadelreste durch Tiere wurde sowohl an der Oberfläche wie im H_r -Horizont etwas gefördert (Merkmale: oberster Horizont; Zerkleinerung der Pflanzenreste im H_r). Es handelt sich hier wahrscheinlich um ganz andere Tiergruppen. (RONDE (1958) fand unter ähnlichen Verhältnissen, daß durch Düngung manche Milbengruppen gefördert, manche gehemmt wurden.)

Jäten schädigte die größeren Bodentiere (Merkmal: Losungen) und führte teilweise zu einer Ver-

d i c h t u n g der Bodenoberfläche (Merkmal: Dichte in den oberen 10 mm). Im April 1968 folgte dem Jäten eine ca. 3 Wochen lange Periode absoluter Trockenheit und relativ hoher Temperaturen. Die Flächen lagen in dieser Zeit völlig ohne Bodenvegetation und besiedelten sich anschließend nicht mehr so stark wie die ungejäteten. Dadurch ist offenbar die Bodenoberfläche so stark ausgetrocknet, daß die beobachtete Schädigung der Bodentiere eingetreten ist.

Entfernung der Vegetationsdecke mit dem obersten Teil des Bodens wirkte nur in der extrem oberbodengestörten Fläche Ödelsheim schädigend auf die größeren Bodentiere (Merkmal: Losungen). Dort hat die Entfernung der Vegetationsdecke (April 1967) mit ihren schlechten Folgen auf die Biologie also über zwei Vegetationsperioden nachgewirkt. - Sonst brachte die Entfernung der Vegetationsdecke keine erkennbaren Wirkungen auf die Vorgänge im Humusprofil (abgesehen von einer Verringerung der Verlagerung von löslichen Humusstoffen aus der Auflage, deren Mächtigkeit im Durchschnitt durch die Behandlung reduziert worden ist) (Merkmal: Feinpunktierung).

Im Ganzen wurden durch die verschiedenen menschlichen Eingriffe morphologische Änderungen vor allem in den obersten 10 mm des Bodens und im obersten Teil des Mineralbodens hervorgerufen. Es sind vorwiegend Änderungen, die mit dem Abbau der organischen Stoffe in der Humusauflage zusammenhängen. Die nicht an der Oberfläche gelegenen Horizonte der Humusauflage zeigten nur geringe oder keine Änderungen. Es wurde auch kein Einfluß der Eingriffe auf die Gesamtmächtigkeit der Auflage, die etwa infolge Abbau der organischen Stoffe geringer geworden wäre, und auf das Gefüge im obersten Teil des Mineralbodens gefunden. (Für die hierher gehörigen Merkmale konnten die Flächen unter stehendem Baumbestand nicht als Vergleich verwendet werden. Nur die verschiedenen Behandlungen auf dem Kahlschlag konnten miteinander verglichen werden. KANNENBERG (1955) hat nach Kahlschlag einen jährlichen Gewichtsschwund der Humusauflage von 1-5 (10)% in Nordwestdeutschland festgestellt.)

Ob die ungünstigen Verhältnisse im Humusprofil, die als Folge von Jäten und teilweise als Folge der Entfernung der Vegetationsdecke aufgetreten sind, sich ohne neuen Eingriff des Menschen nachhaltig auf eine Verschlechterung der Standorte auswirken können, kann nicht sicher gesagt werden; die Parzellen müßten weiter untersucht werden. Die hier gefundenen Ergebnisse sollen im wesentlichen einen Beitrag zur Kenntnis der Humusumwandlungsvorgänge auf Kahlschlägen und nach Düngung darstellen.

6.2.2 Beziehungen zwischen einzelnen Kahlschlagpflanzen und morphologischen Merkmalen und bodendynamischen Eigenschaften im Humusprofil

Die Beziehungen waren für die verschiedenen Pflanzen sehr verschieden gut. Gute Beziehungen wurden zwischen den morphologischen Merkmalen und dem Auftreten von *Rumex acetosella* gefunden. Offensichtlich kommen die untersuchten morphologischen Merkmale den Standortsansprüchen von *Rumex* gut nahe, denen von *Epilobium angustifolium* und *Rubus idaeus* mäßig, denen von *Juncus* und *Deschampsia flexuosa* schlecht, denen von *Vaccinium myrtillus*, *Senecio viscosus* + *silvaticus*, *Galium aparine*, *Betula pendula* (Keimlingen) und *Holcus lanatus* gar nicht oder nur andeutungsweise. Besser waren die Beziehungen von *Juncus* und von *Deschampsia flexuosa* zu bodendynamischen Eigenschaften. - Die Ergebnisse entsprachen, soweit Beziehungen vorhanden waren, in jedem Fall den Erwartungen, die aus den Kenntnissen der Autökologie der Pflanzenarten (z.B. OBERDORFER, 1962) und der Entstehung oder Wirkungsweise der morphologischen Humusmerkmale abgeleitet worden waren. Diese Ergebnisse bedeuten damit nicht nur eine Bestätigung sondern auch eine Präzisierung dieser Kenntnisse. Bei *Rumex acetosella* wurde darüberhinaus eine enge, nicht auf Konkurrenz beruhende Bindung an stark zersetztes, dichtes, wahrscheinlich relativ

trockenes, an der Oberfläche liegendes Humusmaterial gefunden. Es wird angenommen, daß es vor allem auf die Keimung von *Rumex* fördernd wirkt.

7 Z U S A M M E N F A S S U N G

Es wurde untersucht, welche makromorphologischen Änderungen im Humusprofil in Abhängigkeit von verschiedenen menschlichen Eingriffen und von der Vegetation auf Kahlschlägen auftreten. Verglichen wurden jeweils die Humusprofile unter dem stehenden Baumbestand nach Kahlschlag, nach Volldüngung, nach Entfernung der Vegetationsdecke mit der Hacke und nach Jäten der Bodenvegetation. Es wurde mit 5 bis 20 Parallelen an Profil-Handstücken in Kubiena-Kästen gearbeitet. Bestimmt wurden vor allem die folgenden morphologischen Merkmale: Mächtigkeit der Horizonte (mm), Schärfe des Übergangs der Horizonte (mm), Farbe (MUNSELL und in Worten), Dichte, Plattigkeit, Losungen, Krümel, Wurzeln und Zerkleinerung der Pflanzenreste (die zuletzt genannten in fünfstufigen Skalen).

Diese Merkmale zeigten nach 1 1/2 Jahren (2 Vegetationsperioden) auf den untersuchten Flächen - mächtige Moder auf podsoligen bis Podsol-Braunerden und Pseudogley-Braunerden - deutlich Abbau und Verlagerung der Humusstoffe in der Folge von Kahlschlag und von Düngung. Die profilmorphologischen Änderungen traten vor allem in den obersten 10 mm der Auflage und in den obersten 50 mm des Mineralbodens auf und waren oft so stark, daß die Horizontbezeichnung geändert wurde (F_m aus F_r , A_{eh} aus A_{he}). Jäten und Entfernung der Vegetationsdecke mit der Hacke wirkten teilweise ungünstig auf die biologischen Verhältnisse an der Oberfläche.

Die untersuchten morphologischen Merkmale zeigten sehr verschieden enge Beziehungen zu einzelnen Pflanzenarten. Sie stehen den Standortansprüchen von *Rumex acetosella* (die fast

nur auf dichten, trockenen, an der Oberfläche auftretenden H-Horizonten keimt) offenbar kausal sehr nahe; dagegen zeigen sie kaum Beziehung zu den Ansprüchen von *Juncus effusus* + *conglomeratus* und *Deschampsia flexuosa*.

Außerdem wurden bodendynamische Eigenschaften in der gleichen Methodik wie die morphologischen Merkmale geschätzt. Die Auswertung dieser Eigenschaftsschätzungen ist nicht unsicherer als die der Merkmalsschätzungen. Sie lieferte für *Juncus* und *Deschampsia flexuosa* - weil sie in den aufgeführten Beispielen den Ansprüchen jener Pflanzen kausal näher standen - erheblich bessere Übereinstimmung als die Merkmalsschätzungen.

L i t e r a t u r

- BABEL, U. (1967): Vergleich von Mikrogefügemerkmalen einiger Humusbildungen mit Hilfe einer Schätzmethode. *Geoderma* 1, 347-357.
- BABEL, U. (1969): Die Gliederung und Beschreibung des Humusprofils im Gelände. *Z.Pflanzenernähr., Bodenkunde*, im Druck.
- BENECKE, P. und U. BABEL (1969): Beitrag zum Einfluß der Fichte auf die Entwicklung von Löß-Parabraunerden (geländemorphologische und humusmikromorphologische Untersuchungen; bodenphysikalische Messungen). *Mitt.Ver.Forstl.Standortskde. Forstpfl.züchtg.* 19
- ELLENBERG, H. (1956): Grundlagen der Vegetationsgliederung. I. Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde (Band IV/I von H.Walter: Einführung in die Phytologie) 136 p., Ulmer, Stuttgart.
- HOFMANN, G. u. H. PASSARGE (1964): Über Homogenität und Affinität in der Vegetationskunde. *Arch.Forstw.* 13, 1119-1138.
- KANNENBERG, U. (1955): Der Einfluß der Freilage auf die organische Substanz von Waldböden. 72+11+61 p., 11 Tab., *Diss.forstl.Fak. Göttingen (Hann.-Münden)*.

- KUOCH, R. (1954): Wälder der Schweizer Alpen im Verbreitungsgebiet der Weißtanne. Mitt.Schweiz.Anst.Forstl. Versuchsw. 30, 133-260.
- KUBIENA, W. (1953): Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. 392 p., Enke, Stuttgart.
- OBERDORFER, E. (1962): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Süddeutschland. 987 p., Ulmer, Stuttgart.
- RONDE, G. (1958): Mit Beiträgen von Th. BECK und H. POSCHEN-RIEDER, K. KRISO u. J.L. LUTZ, W.L. KUBIENA, H. OLDIGES: Bodenzoologische Untersuchungen von Stickstoffmeliorationsflächen im Bayerischen Staatsforstamt Schwabach (Mittelfranken). P. 49-127 in: Auswertung von Düngungs- und Meliorationsversuchen in der Forstwirtschaft. Ruhrstickstoff-A.G., Bochum.
- STRAUB, R.: Dissertation, Institut für Waldbau-Technik der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen. In Vorbereitung.
- ZACHARIAE, G. (1967): Der Einsatz mikromorphologischer Methoden bei bodenzoologischen Arbeiten (Geoderma 1, 175-195.
- ZEZSCHWITZ, E.v.: Waldhumusformen und Podsoligkeitsgrade im nordwestdeutschen Mittelgebirgsraum. Veröffentlichung in Vorbereitung.
- ZIECHMANN, W. u. E. PRZEMECK (1964): Untersuchungen über die physiologische Wirkung von synthetischen und natürlichen Huminstoffen auf das Wurzelwachstum und auf die Phosphataseaktivität im Wurzelmeristem. Festschrift für F. Scheffer, p. 143-165, Institut für Bodenkunde, Göttingen.
- Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde (1965): Die Bodenkarte 1:25000. 124 p., Niedersächsisches Landesamt für Bodenfor-schung, Hannover.

Tab. 1 : Die Verteilung der Profile nach der Menge von Lösungen um 1 mm (0,5 - 2 mm) in den oberen 5 mm des Bodens unter dem Einfluß verschiedener Behandlungen (Schätzskala 0 - 5)

Versuchs- anstellung (Parzellen- art)	V e r s u c h s o r t											
	Blümerberg					Ödelsheim						
	Anzahl der Parallelen in folgender Schätzstufe			m *)	Aus- wer- tung **)	Anzahl der Parallelen in folgender Schätzstufe					m *)	Aus- wer- tung **)
	o	1	2			o	1	2	3	4		
Kahlschlag unbearbeitet ungedüngt	3	2	o	o,4	(+)	3	o	1	1	o	1,o	+
stehender Baumbestand	4	1	o	o,2	Vgl.	5	o	o	o	o	o,o	Vgl.
Veg.decke entfernt	5	3	2	o,7	o	8	2	o	o	o	o,2	-
Dowpon	3	4	3	1,o	(+)	4	3	2	1	o	1,o	o
gejätet	7	3	o	o,3	-	8	2	o	o	o	o,2	-
Kahlschlag unbearbeitet	4	6	o	o,6	Vgl.	4	2	2	1	1	1,3	Vgl.
gedüngt	9	8	3	o,7	o	9	6	3	1	1	o,95	+
ungedüngt	1o	8	2	o,6	Vgl.	15	3	1	1	o	o,4	Vgl.

*) Mittelwert-Berechnung: Summe der Produkte aus Schätzstufe x Zahl der Parallelen in der betr. Schätzstufe, geteilt durch Gesamtzahl der Parallelen

**) Auswertung: "+" = positive, "-" = negative Beziehung der Behandlungsart zum Humusmerkmal
 "0" = keine Veränderung
 "Vgl." = Vergleich

Tab. 2 : Die Verteilung der Profile nach Menge und Ausbildung von Krümeln in den oberen 10 mm des Bodens unter der Wirkung verschiedener Behandlungsweisen (Schätzskala 0 - 5)

Versuchs- anstellung (Parzellen- art)	V e r s u c h s o r t								
	Blümerberg			Gahrenberg			Ödelsheim		
	Anzahl der Parallelen in folgender Schätzstufe	m *)	Aus- wer- tung **)	Anzahl der Parallelen in folgender Schätzstufe	m *)	Aus- wer- tung **)	Anzahl der Parallelen in folgender Schätzstufe	m *)	Aus- wer- tung **)
	1 2 3 4 5			0 1 2 3			0 1 2 3 4 5		
Kahlschlag unbearbeitet ungedüngt	-		-	1 1 2 2	1,8	+	0 0 0 2 3 0	3,6	+
stehender Baumbestand	-		-	3 0 2 0	0,8	Vgl.	0 0 3 2 0 0	2,4	Vgl.
Veg.decke entfernt	3 3 1 1 1	2,3	0	2 0 5 3	1,9	0	1 1 4 2 1 0	2,1	0
Dowpon	0 1 2 2 1	3,5	(+)	1 2 5 2	1,8	0	1 1 1 3 3 1	2,9	0
gejätet	1 2 1 1 1	2,8	0	1 2 4 3	1,9	0	1 0 2 3 3 1	3,0	0
Kahlschlag unbearbeitet	2 1 3 0 0	2,2	Vgl.	2 1 5 2	1,7	Vgl.	0 0 0 4 6 0	3,6	Vgl.
gedüngt	3 3 6 3 1	2,8	(+)	2 0 10 8	2,2	+	0 0 4 6 8 2	3,4	+
ungedüngt	3 4 1 1 2	2,5	Vgl.	4 5 9 2	1,5	Vgl.	3 2 3 6 6 0	2,5	Vgl.

*) }
 **) } siehe Fußnoten zu Tab. 1

**Tab. 3 : Die Verteilung der Profile nach der Dichte in den oberen 10 mm des Bodens
unter dem Einfluß verschiedener Behandlungen (Schätzskala 1 - 5)**

Versuchs- anstellung (Parzellen- art)	V e r s u c h s o r t									Ödelsheim					
	Blümerberg			Gahrenberg											
	Anzahl d. Parallelen in folg. Schätzstufe			Anzahl d. Parallelen in folg. Schätzstufe			Anzahl d. Parallelen in folg. Schätzstufe			Anzahl d. Parallelen in folg. Schätzstufe			Anzahl d. Parallelen in folg. Schätzstufe		
	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5	2	2,5	3	3,5	4	5
Kahlschlag unbearbeitet ungedüngt stehender Baumbestand	o	2	o	o	1	1	o	o	o	2	1	o	2	o	o
	1	2	1	o	o	1	o	o	2	1	o	o	1	1	o
Veg.decke entfernt	o	1	o	2	5	2	o	o	1	o	2	4	3	o	o
Dowpon	o	o	4	2	3	1	o	1	1	2	1	3	1	1	o
gejätet	o	1	o	1	3	4	1	o	2	1	o	3	1	2	1
Kahlschlag unbearbeitet	o	3	o	4	2	1	o	o	o	5	2	1	2	o	o
gedüngt	o	2	2	6	7	3	o	1	1	3	3	7	3	2	o
ungedüngt	o	3	2	3	6	5	1	o	2	1	3	3	4	6	o

*)

**)

siehe Fußnoten zu Tab. 1

Tab. 4 : Die Verteilung der Profile nach dem obersten Horizont unter dem Einfluß von Kahlschlag und Düngung
(von F_r nach H_f zunehmender Feinsubstanzgehalt)

Versuchs- *) anstellung (Parzellen- art)	V e r s u c h s o r t																			
	Blümerberg					Aus- wer- tung **)	Gahrenberg					Aus- wer- tung **)	Ödelsheim					Aus- wer- tung **)		
	Anzahl der Parallelen in folgenden Horizonttypen						Anzahl der Parallelen in folgenden Horizonttypen						Anzahl der Parallelen in folgenden Horizonttypen							
	F _r	F _m	H _r	H _f	A _{hh}		F _r	F _m	H _r	H _f	A _{hh}		F _r	F _m	H _r	H _f	A _{hh}			
Kahlschlag unbearbeitet gedüngt	2	o	3	o	o	+	2	2	o	o	1	(-)	o	o	2	1	2	+		
Kahlschlag unbearbeitet ungedüngt	3	1	o	1	o	(+) Vgl.	o	3	o	1	1	+	Vgl.	1	1	3	o	o	+	Vgl.
stehender Baumbestand	4	o	1	o	o	Vgl.	4	o	o	1	o	Vgl.	3	1	1	o	o	Vgl.		

*) stehender Baumbestand = Vgl. für Kahlschlag unbearbeitet, ungedüngt
Kahlschlag unbearb., ungedüngt = Vgl. für Kahlschlag unbearb., gedüngt

**) siehe Fußnote zu Tab. 1

Tab. 5 : Die Verteilung der Profile nach der Mächtigkeit des A_{eh} - und des $A_{he} + A_e$ -Horizontes unter dem Einfluß der Düngung

Versuchs- anstellung (Parzellen- art)	V e r s u c h s o r t													
	Ödelsheim						Ödelsheim							
	Mächtigkeit A_{eh} (mm)						Mächtigkeit $A_{he} + A_e$ (mm)							
	Anzahl der Parallelen mit folgender Horizontmächtigkeit [mm]					m *)	Aus- wer- tung **)	Anzahl der Parallelen mit folgender Horizontmächtigkeit [mm]					m *)	Aus- wer- tung **)
	0-9	10-19	20-29	30-39	>39			0-9	10-19	20-29	30-39	>39		
gedüngt	8	4	1	2	5	19,2	+	12	2	2	3	1	11,4	-
ungedüngt	15	1	1	2	1	7,6	Vgl.	5	2	5	5	3	22,5	Vgl.

*) Der Mittelwert ist aus der tatsächlichen Horizontmächtigkeit berechnet

**) siehe Fußnote zu Tab. 1

Tab. 6 : Die Verteilung der Profile nach "Feinpunktierung" der Profilloberfläche unter dem Einfluß verschiedener Behandlungen (Schätzskala 0 - 5)

Versuchs- anstellung (Parzellen- art)	V e r s u c h s o r t										
	Blümerberg						Ödelsheim				
	Anzahl der Parallelen in folg. Schätzstufe					Aus- wer- tung **)	Anzahl der Parallelen in folg. Schätzstufe				
	0	1	2	3	4 5		0	0,5	1	2 3	4 5
Kahlschlag unbearbeitet ungedüngt	1	0	0	1	1 2	3,4	+	0	1	1 1 1	0 0
stehender Baumbestand	3	2	0	0	0 0	0,4	Vgl.	3	1	0 0 0 0	0 0
Veg.decke entfernt	0	3	3	3	0 1	2,3	0	0	4	4 1 0	0 0
Dowpon	5	1	2	1	1 0	1,2	(-)	2	3	2 3 0	0 0
gejätet	1	1	0	5	1 1	2,8	0	1	1	3 4 0	0 1
Kahlschlag unbearbeitet	3	0	0	2	3 2	2,8	Vgl.	0	2	2 2 2 1	0
gedüngt	5	1	3	5	4 2	2,4	(+)	0	5	4 8 1 1	0
ungedüngt	4	4	2	6	1 2	2,1	Vgl.	3	5	7 2 1 0	1

*) } siehe Fußnoten zu Tab. 1
 **) }

Tab. 7 : Die Verteilung der Profile nach dem Farbton ("hue" der Munsell soil colorcharts) in den oberen 30 - 60 mm des Mineralbodens unterhalb des A_{hh} -Horizontes unter dem Einfluß der Düngung

Versuchs- anstellung (Parzellen- art)	V e r s u c h s o r t													
	Blümerberg					Gahrenberg					Ödelsheim			
	Anzahl der Parallelen mit folgendem Farbwert				Auswer- tung **)	Anzahl der Parallelen mit folgendem Farbwert				Auswer- tung **)	Anzahl der Parallelen mit folgendem Farbwert			Auswer- tung **)
	10	R	2,5	YR		10	R	2,5	YR		2,5	YR	7,5	
	2,5	YR	2,5-5	YR	5	YR	7,5	YR	10	YR	2,5	YR	7,5	YR
gedüngt	5	2	6	3	(-)	3	1	6	4	3	10	4	5	-
ungedüngt	2	2	8	3	Vgl.	4	0	3	1	10	3	10	6	Vgl.

**) siehe Fußnote zu Tab. 1

Tab. 8 : Die Verteilung der Profile nach Helligkeit
("value" der Munsell soil colorcharts) der oberen
30 - 60 mm des Mineralbodens unterhalb des
A_{hh}-Horizontes unter dem Einfluß der Düngung

Versuchs- anstellung (Parzellen- art)	V e r s u c h s o r t					
	Gahrenberg					
	Anzahl der Parallelen mit folgendem Value n. Munsell				*) m	Aus- wer- tung **)
	2	3	4	5		
gedüngt	8	1	1	7	3,4	-
ungedüngt	6	0	0	12	4,0	Vgl.

*) }
**) } siehe Fußnoten zu Tab. 1

Tab. 9 : Die Verteilung der Profile nach der Zerkleinerung der Pflanzenreste im H₁-Horizont unter dem Einfluß der Düngung (Schätzskala 0 - 5)

Versuchs- anstellung (Parzellen- art)	V e r s u c h s o r t				
	Blümerberg			Gahrenberg	
	Anzahl der Parallelen in folg. Schätzstufe			Anzahl der Parallelen in folg. Schätzstufe	
	m *)			m *)	
	Schätzstufe			Schätzstufe	
	1 2 3 4 5			2 3 3,5 4	
gedüngt	0	0	8	1	1
ungedüngt	1	0	3	5	3
	3,3			3,5	
	3,7			3,7	
	-			(-)	
	Vgl.			Vgl.	

*) } siehe Fußnoten zu Tab. 1
 **) }

**Tab. 10 : Überblick über die in Beziehung zu Pflanzenarten
untersuchten Humusmerkmale**

untersuchte Merkmale	V e r s u c h s f l ä c h e		
	Blümerberg	Gahrenberg	Ödelsheim
1. Gefügemerkmale:			
Losungen, obere 5 mm	+		+
Krümel, obere 10 mm		+	+
Dichte, obere 10 mm	+	+	+
Dichte des H	+		
Plattigkeit des mineral. Oberbodens	+	+	+
2. Merkmale des Profilaufbaus:			
Mächtigkeit der Auflage	+	+	+
Übergang Auflage- Mineralboden	+		
Mächtigkeit des A _{hh}			+

Tab. 11 : Die Deckung von Epilobium angustifolium in Abhängigkeit von Losungen, Krümeln, Dichte an der Bodenoberfläche und Dichte im H-Horizont in Mittelwerten der Schätzzahlen nach Braun-Blanquet

untersuchtes Merkmal		V e r s u c h s o r t														
		Blümerberg					Gahrenberg					Ödelsheim				
Losungen (ob. 5 mm)	Schätzstufe	o	1	2								o	1	2	3u.4	
	Anz.d.Profile	19	16	5								24	9	4	3	
	m (Br.-Bl.)*	2,5	2,2	2,5			n.b.					0,7	0,9	1,0	1,3	
	Auswertung	o										+				
Krümel (ob. 10 mm)	Schätzstufe	1	2	3	4	5	o	0,5u.1	1,5u.2			0u.1	2	3	4u.5	
	Anz.d.Profile	6	7	7	4	3	6	24	10			5	7	12	16	
	m (Br.-Bl.)*	1,9	2,3	2,6	2,9	1,2	0,2	0,4	1,1			0	0,6	0,6	1,1	
	Auswertung	(+)					+					+				
Dichte (ob. 10 mm)	Schätzstufe	1,5u.2	2,5	3	3,5	4u.4,5	1,5u.2	2,5	3	3,5	4u.4,5u.5	2	2,5	3	3,5	4u.5
	Anz.d.Profile	5	4	9	13	9	4	4	6	9	16	3	4	15	8	10
	m (Br.-Bl.)*	2,8	2,8	3,1	1,9	1,8	1,5	0,6	0	0,7	0,3	1,3	0,8	0,9	0,6	0,3
	Auswertung	-					o					-				
Dichte des H-Horizont	Schätzstufe	2u.3u.3,5			4u.4,5											
	Anz.d.Profile	18			20											
	m (Br.-Bl.)*	2,9			2,0		n.b.					n.b.				
	Auswertung	-														

*) Mittelwert der Schätzzahlen nach Braun-Blanquet

Tab. 12 : Die Deckung von *Deschampsia flexuosa* in Abhängigkeit von der Dichte in den oberen 10 mm des Bodens und von der Podsoligkeit, sowie die Deckung von *Juncus effusus* + *conglomeratus* in Abhängigkeit von der Plattigkeit der oberen 30 - 60 mm des Mineralbodens in Mittelwerten der Schätzzahlen nach Braun-Blanquet

Testpflanze und untersuchtes Merkmal		V e r s u c h s o r t														
		Blümerberg			Gahrenberg						Ödelsheim					
Deschampsia flexuosa Dichte ob. 10 mm	Schätzstufe				1,5u.2	2,5	3	3,5	4	4,5u.5	2	2,5	3	3,5	4	5
	Anz.d.Profile m (Br.-Bl.)*)				4	4	6	10	7	9	3	4	15	8	7	3
	n.b.				0,5	0,1	0,8	0,4	0,4	0,6	0,7	1,9	1,8	2,4	0,7	0,5
	Prof. m. Desch.				1	1	3	3	2	5	2	4	12	8	4	2
	Auswertung**)					0				0	max.			(max.)		
Deschampsia flexuosa Podsoligkeit	Schätzstufe										1u.2		3		4u.5	
	Anz.d.Profile m (Br.-Bl.)*)										8		19		2	
	n.b.										1,1		1,6		2,1	
	Auswertung										+					
Juncus effusus + conglomeratus Plattigkeit der oberen 30 - 60 mm	Schätzstufe	0	1	2	0	0,5		1		2u.3	0		0,5u.1		1,5u.2	
	Anz.d.Profile m (Br.-Bl.)*)	20	8	4	6	4		25		5	11		17		12	
	n.b.	0,03	1,0	0,3	1,4	1,4		1,4		0,8	0,5		0,7		0,9	
	Auswertung	(+) max.						0			+					

*) siehe Fußnote zu Tab. 11

**) links: Ausw. über m (Br.-Bl.); rechts: Ausw. über Deschampsia-Besatz

Tab. 13 : Die Deckung von *Carex remota* und *Deschampsia caespitosa* in Abhängigkeit von der Plattigkeit im Mineralboden und von der Dichte in den oberen 10 mm im Versuch Gahrenberg

untersuchtes Merkmal		P f l a n z e n a r t											
		Carex remota						Deschampsia caespitosa					
Plattigkeit im Mineralboden	Schätzstufe	0	0,5	1	2u.3			0	0,5	1	2u.3		
	Anz.d.Profile	6	4	25	5			6	4	25	5		
	m (Br.-Bl.)*)	0,5	0,8	0,7	0,0			1,0	1,3	0,9	0,4		
	Auswertung	max.						(-) max.					
Dichte ob. 10 mm	Schätzstufe	1,5u.2	2,5	3	3,5	4	4,5u.5	1,5u.2	2,5	3	3,5	4	4,5u.5
	Anz.d.Profile	4	4	6	10	7	9	4	4	6	10	7	9
	m (Br.-Bl.)*)	0,0	0,3	0,9	0,9	0,8	0,6	0,5	0,5	1,1	1,3	1,1	0,4
	Auswertung	max.						max.					

*) siehe Fußnote zu Tab. 11

Tab. 14 : Die Verteilung und Deckung von Rumex acetosella in Abhängigkeit von mehreren Humusprofil-Merkmalen im Versuch Blümerberg

Humusprofil-Merkmal		Verteilung und Deckung				
	Horizonttyp ^{**)}	F _r	F _m	H _r	H _f	A _{hh}
oberster Horizont	Anz.d.Profile	9	9	15	6	1
	Prof. mit Rumex m (Br.-Bl.) ^{*)}	1 0,1	0 0	3 0,5	1 0,2	0 0
	Auswertung	H !				
	Schätzstufe	0		1		2
Losungen ob. 10 mm	Anz.d.Profile	19		15		5
	Prof. mit Rumex m (Br.-Bl.) ^{*)}	5 0,5		0 0		0 0
	Auswertung	-				
	Schätzstufe	2	2,5	3	3,5	4u.4,5
Dichte ob. 10 mm	Anz.d.Profile	5	4	9	13	8
	Prof. mit Rumex m (Br.-Bl.) ^{*)}	1 0,2	0 0,0	0 0,0	0 0,0	4 1,0
	Auswertung	+				
	Schätzstufe	0	1	2	3	4u.5
max. Krümeligkeit von F _r - A _{hh}	Anz.d.Profile	5	11	12	8	4
	Prof. mit Rumex m (Br.-Bl.) ^{*)}	1 0,6	2 0,2	2 0,3	0 0,0	0 0,0
	Auswertung	-				
	Schätzstufe	0	1	2	3	4u.5
Mächtigkeit d. Überganges Auflage - Mineralboden	Klasse [mm]	1	2	3-4	5-9	> 9
	Anz.d.Profile	3	7	15	3	9
	Prof. mit Rumex m (Br.-Bl.) ^{*)}	0 0,0	2 0,6	2 0,3	0 0,0	1 0,1
	Auswertung	-				

*) siehe Fußnote zu Tab. 11

**) von F_r nach H_f zunehmender Feinsubstanzgehalt

Tab. 15 : Die Gesamtdeckung der Gefäßpflanzen in Flächenprozenten in Abhängigkeit von mehreren Bodeneigenschaften

untersuchte Bodeneigenschaften		V e r s u c h s o r t														
		Blümerberg					Gahrenberg					Ödelsheim				
Losungen ob. 5 mm	Schätzstufe											o	1	2	3u.4	
	Anz.d.Profile	n.b.					n.b.					24	9	4	3	
	m [%]											37	39	53	44	
	Auswertung											(+)				
Dichte ob. 10 mm	Schätzstufe						1,5u.2	2,5	3	3,5	4	4,5u.5				
	Anz.d.Profile	n.b.					4	4	6	9	7	9	n.b.			
	m [%]						38	57	81	62	66	48				
	Auswertung						max.									
max. Krümm- lichkeit F _r - A _{hh}	Schätzstufe	o	1	2	3	4u.5										
	Anz.d.Profile	5	11	12	8	4	n.b.					n.b.				
	m [%]	34	69	64	86	78										
	Auswertung	(+)														
Dichte im Horizont	Schätzstufe	2u.3u.3,5			4u.4,5											
	Anz.d.Profile	18			20		n.b.					n.b.				
	m [%]	74			60											
	Auswertung	(-)														

Tab. 16 : Vergleich der Deckung von Juncus in Abhängigkeit von Farbton-, Plattigkeits- und Staunässestufen im Versuch Ödelsheim

untersuchtes Merkmal		Deckung		
Farbe der ob. 30 - 60 mm des Mineralbodens	Farbton (Munsell)	2,5 YR	7,5 YR	10 YR
	Anz.d.Profile	13	14	11
	Parz. mit Juncus ^{***)}	31	21	91
	m (Br.-Bl.) ^{*)}	0,6	0,1	1,5
	Auswertung ^{**)}	(+)	(+)	
Plattigkeit der ob. 30 - 60 mm des Mineralbodens	Schätzstufe	0	0,5u.1	1,5u.2
	Anz.d.Profile	11	17	12
	Parz. mit Juncus ^{***)}	36	41	58
	m (Br.-Bl.) ^{*)}	0,5	0,7	0,9
	Auswertung ^{**)}	+		+
Staunässe	Schätzstufe	0u.1	2u.3	4u.5
	Anz.d.Profile	6	10	4
	Parz. mit Juncus ^{***)}	50	60	100
	m (Br.-Bl.) ^{*)}	0,5	0,9	1,8
	Auswertung	+		+

*) siehe Fußnote zu Tab. 11

**) links: Auswertung über Deckung [%]
rechts: Auswertung über m (Br.-Bl.)

***) in v.H. aller Parzellen in der betr. Schätzstufe

