

GÖTTINGER BODENKUNDLICHE BERICHTE

37

H. S. Baskaya

**Untersuchungen über die Organischen Stoffe
in Türkischen Teeböden sowie
Deutschen Basalt- und Lockerbraunerden**

1975

Aus dem Institut für Biochemie des
Bodens der Forschungsanstalt für
Landwirtschaft in Braunschweig-Völkenrode
Direktor: Prof. Dr. W. Flaig

in Kooperation mit dem
Institut für Bodenkunde der Universität
Göttingen, von-Siebold-Str. 4

H. S. Baskaya

**Untersuchungen über die Organischen Stoffe
in Türkischen Teeböden sowie
Deutschen Basalt- und Lockerbraunerden**

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 37, 1 - 182
(1975)**

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Material	4
2.1 Geographische Lage der Profile und Profilbeschreibungen	4
2.1.1 Die türkischen Teeböden	4
2.1.2 Die deutsche Basalt- bzw. Locker- braunerde	13
2.1.2.1 Basaltbraunerde	13
2.1.2.2 Lockerbraunerde	16
2.2 Die klimatischen Verhältnisse und Vegetationsdecken der untersuchten Böden	18
2.2.1 Klima	18
2.2.2 Vegetation	22
3. Methodik	25
3.1 Bodenvorbereitung	25
3.2 Untersuchungen zur allgemeinen Charakte- risierung der Böden	26

	<u>Seite</u>
3.2.1 Bestimmung des Wassergehaltes (WG)	26
3.2.2 Bodenreaktion (pH-Wert)	26
3.2.3 Korngrößenbestimmung	27
3.2.4 Bestimmung der totalen (Ak_t)-bzw. realen Austauschkapazität $t(Ak_r)$ und austauschbaren Kationen	27
3.2.5 Bestimmung des dithionitlöslichen Fe-Gehaltes (Fe_d) (pedogene Fe-Oxide im Boden)	27
3.2.6 Bestimmung des Glühverlustes	29
3.3 Chemische Analysen zur Charakterisierung der Huminstoffsysteme	29
3.3.1 Gesamt-Kohlenstoffbestimmung	30
3.3.1.1 Nasse Verbrennung	30
3.3.1.2 Trockene Verbrennung	31
3.3.2 Gesamtstickstoffbestimmung	31
3.3.3 Extraktion der Huminstoffe, Gewinnung der Huminsäurefraktionen und Bestim- mungen an Extrakten bzw. Huminsäure- fraktionen	32
3.3.3.1 Extraktion	32
3.3.3.2 Gewinnung der Huminsäuren	32
3.3.3.3 Optische Messungen	33
3.3.3.4 Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt	33
3.3.3.4.1 Kohlenstoffbestimmungen	33
3.3.3.4.2 Stickstoffbestimmungen	33
3.3.4 Bestimmungen an Bodenhydrolysaten	34

Seite

3.3.4.1	Fraktionierung der organisch gebundenen Stickstoffformen	34
3.3.4.1.1	Herstellung der Hydrolysate	34
3.3.4.1.2	Analyse des Hydrolysates	35
3.3.4.1.2.1	Gesamt-N	35
3.3.4.1.2.2	Ammonium-N (Amid-N)	36
3.3.4.1.2.3	Ammonium-Hexosamin-N	36
3.3.4.1.2.4	Ammonium-Hexosamin-Amino-N	36
3.3.4.2	Die Bestimmung der leichter abbaubaren organischen Substanzen (Kohlenhydratbestimmung)	37
3.4	Die Bestimmung in den Fraktionen $< 2 \mu$	39
3.4.1	Elektronenoptische Untersuchungen der $< 2 \mu$ -Fraktionen	39
3.4.2	Gesamt-Kohlenstoff in $< 2 \mu$ -Fraktion	39
3.4.3	Bestimmung des dithionitlöslichen Fe-Gehaltes in der $< 2 \mu$ -Fraktion	39
4.	Erläuterung der Versuchsergebnisse	40
4.1	Allgemeine Kenndaten der untersuchten Profile	40
4.1.1	Die Bodenreaktion (pH-Wert)	40
4.1.2	Korngrößenverteilung	42
4.1.3	Austauschkapazität und austauschbare Kationen	47

	<u>Seite</u>
4.1.4 Die freien Oxide des Eisens im Boden (pedogene Fe-Oxide) (Fe_d)	62
4.1.5 Glühverlust (GV %)	65
4.1.6 Die Beziehungen zwischen allgemeinen Kenndaten	68
4.2 Die Ergebnisse der chemischen Analyse von Huminstoffsystemen	68
4.2.1 Gesamt-C-Gehalt im Boden (C-GES)	68
4.2.2 Gesamt-N im Boden (N-GES)	74
4.2.3 Die Beziehung zwischen Gesamt-Kohlenstoff und Gesamt-Stickstoff (C/N-Verhältnis)	76
4.2.4 Natriumpyrophosphat-Natronlauge-(PNE) und Natronlauge-(NLE) Extraktionen	79
4.2.4.1 Kohlenstoffgehalt der Extrakte (C-PNE, C-NLE), der Huminsäurefraktionen (C-HSF-PNE, C-HSF-NLE) und Fulvosäure- fraktionen (C-FSF-PNE, C-FSF-NLE)	82
4.2.4.1.1 Kohlenstoffgehalt der Extrakte (C-PNE, C-NLE)	82
4.2.4.1.2 Kohlenstoffgehalt der Huminsäure- fraktionen (C-HSF-PNE, C-HSF-NLE) bzw. Fulvosäurefraktionen (C-FSF-PNE, C-FSF-NLE)	87
4.2.4.2 Stickstoffgehalt der Extrakte (N-PNE, N-NLE), der Huminsäurefraktionen (N-HSF-PNE, N-HSF-NLE) und der Fulvo- säurefraktionen (N-FSF-PNE, N-FSF-NLE)	99
4.2.4.2.1 Stickstoffgehalt der Extrakte (N-PNE, N-NLE)	99

4.2.4.2.2	Stickstoffgehalt der Huminsäurefraktionen (N-HSF-PNE, N-HSF-NLE) bzw. Fulvosäurefraktionen (N-FSF-PNE, N-FSF-NLE)	105
4.2.4.3	Die C/N-Verhältnisse der Extrakte (C/N-PNE, -NLE), Huminsäurefraktionen (C/N-HSF -PNE, -NLE) und Fulvosäurefraktionen (C/N-FSF -PNE, -NLE)	112
4.2.4.4	Extinktionsmessungen an den Extrakten und Huminsäurefraktionen	119
4.2.4.4.1	Die spezifischen Extinktionen der Extrakte (SE 500-PNE, SE 500-NLE) und der Huminsäurefraktionen (SE 500-HSF-PNE, SE 500-HSF-NLE)	120
4.2.4.4.2	Die Extinktionsquotienten der Extrakte (EQ4/5-, EQ5/6-, EQ6/7-PNE, -NLE) und Huminsäurefraktionen [(EQ4/5-, EQ5/6-, EQ6/7-HSF)-PNE, -NLE]	125
4.2.5	Bodenhydrolysate	131
4.2.5.1	Stickstoff-Fraktionierung	131
4.2.5.1.1	Gesamtstickstoff im Hydrolysat (HB-GES-N)	131
4.2.5.1.2	Amid-Stickstoff (HB-Amid-N)	135
4.2.5.1.3	Hexosamin-Stickstoff (HB-Hexosamin-N)	135
4.2.5.1.4	α -Amino-Stickstoff (HB- α -Amino-N)	138
4.2.5.1.5	Hydrolysierbarer aber nicht definierter Stickstoff (HB-Rest-N)	140
4.2.5.1.6	Beziehungen zwischen den Stickstoffbindungsformen	141
4.2.5.2	Kohlenhydrate im Boden	143

	<u>Seite</u>
4.3 Die Eigenschaften der Fraktion $< 2\mu$ und Beziehungen zu dem organischen Anteil des Bodens	148
5. Diskussion und Schlußfolgerungen	157
5.1 Vergleichende Darstellung der Huminstoffsysteme in den untersuchten Böden	157
5.2 Abhängigkeit der Eigenschaften der Huminstoffsysteme von den klimatischen und pedologischen Bedingungen	162
6. Zusammenfassung	166
7. Literatur	171

1. Einleitung und Problemstellung

Auf Grund der geographischen Lage und der dadurch bedingten klimatischen Verhältnisse sind in der Türkei zahlreiche pflanzenbauliche Möglichkeiten gegeben. Diese erlauben, daß eine Selbstversorgung für alle Getreide-, fast alle Gemüse- und Obstarten stattfinden kann. Zusätzliche Einnahmen der türkischen Landwirtschaft sind dadurch möglich, daß andere Kulturpflanzen wie Tee, Tabak, Mohn, Baumwolle usw. exportiert werden können. Dieser Export steigt laufend an.

Die Teepflanze war bis vor kurzem in der Türkei unbekannt und der Schwarze Tee wurde aus anderen teeproduzierenden Ländern importiert. Im Jahre 1924 wurde zum ersten Mal an der nordöstlichen Schwarzmeerküste mit Teeanbauversuchen begonnen, die im Jahre 1939 durch die Unterstützung der Regierungsstellen fortgesetzt worden sind (TEKELI, 1962). Heute wird in diesen Gebieten ein intensiver Teeanbau betrieben. Im Jahre 1971 ist die Anbaufläche auf ca. 27 900 Hektar geschätzt worden. In 30 Teefabriken werden ungefähr 200 000 t Grünblätter, das sind ungefähr 46 000 t Schwarzer Tee, verarbeitet (1973). Diese Menge entspricht mehr als dem doppelten des eigenen Verbrauchs, der auf ca. 21 000 t angesetzt wird. Der türkische Beitrag zur Weltproduktion beträgt heute ca. 3%.

Diese ziemlich rasche Entwicklung rief einige Probleme beim Teeanbau hervor. Aus diesem Grund sind besonders in der letzten Zeit auf diesen Böden - die nach der türkischen Nomenklatur als "Teeböden" bezeichnet werden - zahlreiche Düngungsversuche durchgeführt worden und die anorganischen Komponenten dieser Böden inten-

siv untersucht worden. Die organischen Komponenten sind jedoch weniger untersucht worden, obwohl sie in diesen Böden eine besondere Bedeutung als Nährstoffquelle und Erosionsschutz hat und aufgrund ihrer Austauschkapazität und als Regulatoren der Bodenstruktur eine wichtige Rolle spielen. Während für die Beschreibung der anorganischen Komponenten der Teeböden ein umfangreiches Datenmaterial vorliegt, das noch weiterhin mit den bisher noch üblichen Methoden vermehrt wird, steht für eine genaue Beschreibung der organischen Komponenten in diesen Böden nur ein unsystematisch gesammeltes Zahlenmaterial von sehr geringem Umfange zur Verfügung.

In der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, die organischen Stoffe (Huminstoffsysteme) einiger dieser türkischen Teeböden möglichst umfassend zu charakterisieren und Datenmaterial für weitere Untersuchungen in diesem Gebiet zu sammeln. Die vorliegenden Basisuntersuchungen beschränken sich zunächst auf ungestörte Böden, die noch nie in Kultur waren. Durch die Kenntnisse der natürlichen Verteilung der organischen Stoffe in diesen Böden können Grundlagen für weitere Untersuchungen der in Kultur genommenen Böden gewonnen werden. Erst durch diese Untersuchungen wird es möglich sein, die kausalen Zusammenhänge der Veränderungen von Huminstoffsystemen in den kultivierten Böden zu erfassen.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist ein Vergleich der organischen Stoffe in mitteleuropäischen Böden mit denen in den türkischen Teeböden. Zu diesem Zweck wurden zwei weitere Böden (Basalt- und Lockersand-erden) ausgewählt, die gewisse Ähnlichkeiten, aber auch Unterschiede zu den türkischen Teeböden zeigen.

Fast alle untersuchten Böden, sowohl die in der Türkei als auch die in Deutschland haben als Muttergestein Basalt (nur ein Teebodenprofil aus dem Nebenteebauegebiet hat metamorphes Gestein). Alle untersuchten Böden haben ungefähr den gleichen pH-Wert und einen hohen Gehalt an organischen Stoffen. Andererseits haben die unterschiedlichen Niederschlagsmengen und jährlichen Durchschnittstemperaturen einen Einfluß auf die Eigenschaften der jeweils gebildeten Huminstoffsysteme (Die Niederschlagsmengen bei den untersuchten deutschen Böden betragen 800 bis 1300 mm/Jahr, bei den türkischen Teeböden bis 2200 mm/Jahr, die langjährigen Temperaturdurchschnitte bleiben bei den deutschen Böden unter 8°C , liegen aber im türkischen Teebauegebiet über 14°C).

Durch Vergleich der Meßdaten soll festgestellt werden, wie weit Ähnlichkeiten bei den Huminstoffsystemen bestehen bzw. durch die äußeren Einflüsse Unterschiede auftreten.

2. Material

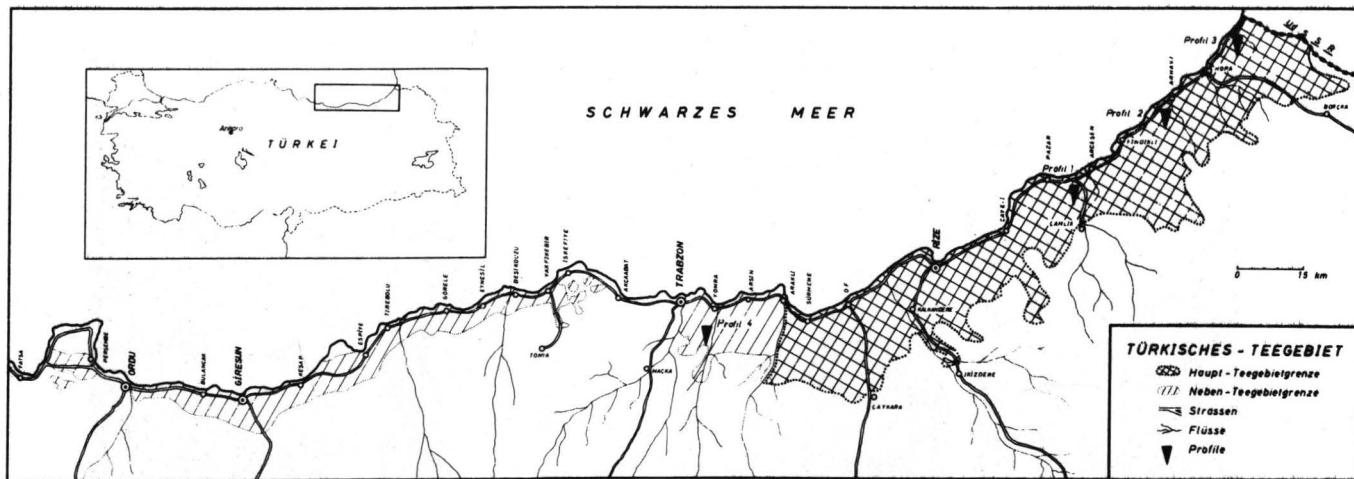
Es wurden aus dem türkischen Teegebiet 4 typische Profile und aus den deutschen Basaltbraunerden bzw. Lockerbraunerden je ein Profil ausgewählt. In jedem Profil wurden aus 5 Tiefen Proben entnommen (insgesamt 30 Proben). Bei der Probenahme ist die Gliederung in Horizonte beachtet worden.

2.1 Geographische Lage der Profile und Profilbeschreibungen

2.1.1 Die türkischen Teeböden

Die Teeböden liegen in dem nordöstlichen Küstengebiet der Türkei nahe dem 41. Breitengrad. Die Teeböden beginnen in der Provinz Ordu und ziehen sich in einem 3 - 30 km breiten Streifen an der Schwarzmeerküste entlang bis zur russischen Grenze (Karte 1) (ZIHNIÖGLU 1960). Das Gebiet liegt zwischen dem Meer und hohen Bergketten. Stellenweise findet man diese Böden bis zu 1000 m Höhe (die Berge erreichen bis 3000 m Höhe) [CAGLAR (1972), KINEZ (1967)]. Die Hangneigung der zum Teebau nutzbaren Böden erreicht an den Berghängen 45% und mehr.

Die Gesteine des Gebiets sind: Basalt, Andesit, Dazit, Agglomerate, Alluviale Gesteine und Vulkanische Tuffe der Oberkreide (ÜNAL 1967). Der tektonische Bau des Gebietes ist auf die mesozoische, tertiäre Faltung zurückzuführen.



Karte 1: Entnahmestellen der Türkischen Teeböden

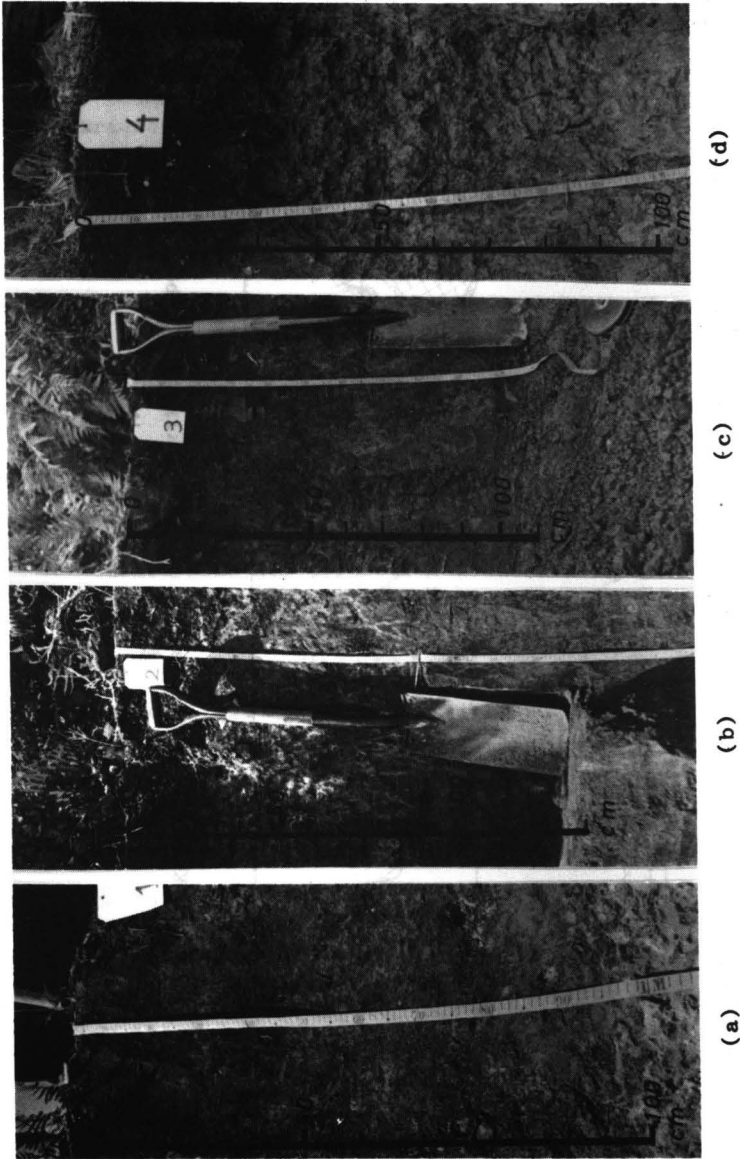


Abb. 1: Profile der untersuchten Türkischen Teeböden

Es wurden folgende Profile untersucht:

Profil 1 (Abb. 1-a)

Ort: Nordost-Türkei, Rize (siehe Karte 1)

Lage: Provinz Pazar, an der Ardesen-Camliehemin Straße, 600 m von der Ardesen-Pazar Straße

Vegetation: Typische subtropische Vegetation und Teeplantagen (für weitere Informationen, siehe 2.2.2)

Klima: 1803 mm, +14.2° C (langjähriges Jahresmittel) (für weitere Informationen, siehe 2.2.1)

Gestein: Feste, alte alluviale Gesteine, vermutlich basaltisches Material

Physiographie: Alte Flußterrasse

Relief: Eben

Meereshöhe: 20 m

Biologische Aktivität: Besonders in den oberen Horizonten sehr hoch

Bodentyp: Tropischer podsoliger Boden (Teeboden)

Humusform: Rohhumus

Nährstoffhaushalt: Nährstoffarm

Nutzung: Natürliche Vegetation

Profilbeschreibung:

Probenahme Tiefe (cm)	Horizont Tiefe (cm)	
0 - 5	0 - 15	A ₁₁ 5 YR - 1.7/1 (feucht) ^{*)} , Lehm bis toniger Lehm, krümeliges Gefüge, bei Nässe klebrig und plastisch, viele Makro- und Mesoporen, stark durchwurzelt, karbonatarm.
5 - 15		

15 - 30	15 - 30	A ₁₂	5 YR-4/4 (feucht), Ton bis toniger Lehm, krümeliges bis subpolyederisches Gefüge, bei Nässe klebrig und sehr plastisch, wenig Makro- und viel Mesoporen, mittelstark durchwurzelt, karbonatarm.
30 - 42	30 - 42	B	5 YR - 4.5/4 (feucht), toniger Lehm bis Ton, subpolyederisches Gefüge, bei Nässe klebrig und sehr stark plastisch, Mesoporen mit wenigen Makroporen, wenig durchwurzelt, karbonatarm.
42 - 65	42 - 65	C	5 YR - 5/6 (feucht), sandiger Lehm bis sandig toniger Lehm, polyederisches Gefüge, bei Nässe wenig klebrig und plastisch, viel Makro- und Mesoporen, sehr wenig durchwurzelt, karbonatarm.
	ab 65	R	Altes alluviales Gestein.

*) Nach Munsellskala

Profil 2 (Abb. 1-b)

Ort:	Nordost Türkei, Artvin-Arhavi (siehe Karte 1)
Lage:	Provinz Kale, Dorfweg rechts
Vegetation:	Typische subtropische Vegetation und Teeplantagen (für weitere Informationen, siehe 2.2.2)
Klima:	2249 mm, + 14,8° C (langjähriges Jahresmittel) (für weitere Informationen, siehe 2.2.1)
Gestein:	Verwitterter Basalt
Physiographie:	Hügelig
Relief:	10% Hangneigung
Meereshöhe:	30 m

Biologische Aktivität: Besonders in den oberen Horizonten sehr hoch

Bodentyp: Relativ junger tropischer podsoliger Boden (Teeböden)

Humusform: Rohhumus

Nährstoffhaushalt: Nährstoffarm

Nutzung: Natürliche Vegetation

Profilbeschreibung:

Probenahme Tiefe (cm)	Horizont Tiefe (cm)		
0 - 10	0 - 10	A ₁₁	2.5 YR - 3/2 (feucht), toniger Lehm bis Ton, krümeliges Gefüge, bei Nässe klebrig und plastisch, viele Makro- und Mesoporen, stark durchwurzelt, karbonatarm.
10 - 25	10 - 25/28	A ₁₂	2.5 YR - 3/3 (feucht), toniger Lehm bis Ton, krümeliges Gefüge bis subpolyederisches Gefüge, bei Nässe klebrig und plastisch, wenig Makro- und viele Mesoporen, stark durchwurzelt, karbonatarm.
25 - 50	25/28-50/52	A ₃ (B ₁)	2.5 YR - 5/6 (feucht), toniger Lehm bis Ton, polyederisches Gefüge, bei Nässe sehr klebrig und sehr plastisch, wenig Makro- und viele Mesoporen, wenig durchwurzelt, gelbfarbige Flecken, karbonatarm.
50 - 85	50/52-75/85	B	2.5 YR - 6/8 (feucht), Ton, mittelgrobes polyederisches Gefüge, bei Nässe sehr klebrig und sehr plastisch, wenig Makro- und wenig Mesoporen, sehr wenig durchwurzelt, gelbe Flecken, karbonatarm.
85 - 120	ab 75/85	C	2.5 YR - 4/8 (feucht), Ausgangsgesteinsstruktur, sehr starke Verwitterung, sehr wenig durchwurzelt, wenig gelbe Flecken, wahrscheinlich 4 - 5 cm tief.

Profil 3 (Abb. 1-c)

Ort: Nordost Türkei, Artvin (siehe Karte 1)
Lage: Provinz Mustafa Kemal Pasa, bei dem
Dorf Selimiye, Hauptstraße 2 km vor
Mustafa Kemal Pasa
Vegetation: Typische subtropische Vegetation und
Teeplantagen (für weitere Informatio-
nen, siehe 2.2.2)
Klima: 2069 mm, 14.8° C (langjähriges Jah-
resmittel) (für weitere Informationen,
siehe 2.2.1)
Gestein: Verwitterter Basalt
Physiographie: Hügelig
Relief: 10 % Hangneigung
Meereshöhe: 100 m
Biologische Aktivität: Besonders in den oberen Horizon-
ten sehr hoch
Bodentyp: Relativ junger tropischer podsoliger
Boden (Teeböden)
Humusform: Rohhumus
Nährstoffhaushalt: Nährstoffarm
Nutzung: Natürliche Vegetation

Profilbeschreibung:

Probenahme Horizont

Tiefe(cm) Tiefe(cm)

0 - 10	0 - 10	A ₁₁	7.5 YR - 2/2 (feucht), toniger Lehm, krümeliges Gefüge, bei Nässe wenig klebrig und wenig pla- stisch, viele Makro- und viele Mesoporen, stark durchwurzelt, karbonatarm.
10 - 20	10 - 20	A ₁₂	7.5 YR - 2/2 (feucht), toniger Lehm, krümeliges Gefüge, bei Nässe wenig klebrig und wenig pla- stisch, viele Makro- und viele Mesoporen, mittel durchwurzelt, karbonatarm.

20 - 40	20 - 40	B ₁	7.5 YR - 4/3 (feucht), toniger Lehm bis Ton, subpolyedrisches Gefüge (oberer Teil krümelig bis Subpolyeder), bei Nässe klebrig und stark plastisch, mittel Makro- und viele Mesoporen, mittel durchwurzelt, karbonatarm.
40 - 55	40 - 55	B ₂	7.5 YR - 4/4 (feucht), toniger Lehm bis Ton, polyedrisches Gefüge, bei Nässe sehr klebrig und stark plastisch, mittel Makro- und mittel Mesoporen, mittel durchwurzelt, karbonatarm.
55 - 85	ab 55	C	5 YR - 5/8 (feucht), sehr starke Verwitterung des Muttergesteines, schluffiger Ton, polyedrisches Gefüge, bei Nässe klebrig und stark plastisch, viele Makro- und viele Mesoporen, wenig durchwurzelt, karbonatarm.

Profil 4 (Abb. 1-d)

Ort:	Nordost Türkei, Trabzon, Yomra (siehe Karte 1)
Lage:	Provinz Arsin, bei dem Dorf Cardakli, Dorfweg 2 km vor Cardakli
Vegetation:	Typische subtropische Vegetation und Teeplantagen (für weitere Informationen, siehe 2.2.2)
Klima:	823 mm, + 14.6° C (langjähriges Jahresmittel) (für weitere Informationen, siehe 2.2.1)
Gestein:	Metamorphes Gestein (magmatischer Ursprung)
Physiographie:	Talhang

Relief: 30 - 35% Hangneigung

Meereshöhe: 250 - 300 m

Biologische Aktivität: Besonders in den oberen Horizonten sehr hoch

Bodentyp: Zwischenstufe zwischen sauren braunen Waldböden (Inceptisol) und Teeböden (relativ junger tropischer podsoliger Boden)

Humusform: Rohhumus

Nährstoffhaushalt: Nährstoffarm

Nutzung: Natürliche Vegetation

Profilbeschreibung:

<u>Probenahme Tiefe (cm)</u>	<u>Horizont Tiefe (cm)</u>		
0 - 10 10- 20	0-10/20	A ₁₁	7.5 YR - 2/2 (feucht), Lehm bis toniger Lehm, krümeliges Gefüge, bei Nässe wenig klebrig und plastisch, viele Makro- und wenig Mesoporen, stark durchwurzelt, karbonatarm.
20-40	10/20-30/40	A ₁₂	7.5 YR -3/3 (feucht), Lehm bis toniger Lehm, krümeliges subpolyed - risches Gefüge, bei Näs- se wenig klebrig und plastisch, mittel Makro- und viele Mesoporen, mit- tel durchwurzelt, karbo- natarm.
40-60	30/40-50/60	B	7.5 YR - 5/6 (feucht), toniger Lehm bis Ton, subpolyedrisches Gefü- ge, bei Nässe klebrig und plastisch, viele Makro- und viele Meso- poren, mittel durchwur- zelt, karbonatarm.
60-80	ab 50/60	C	7.5 YR - 6/6 (feucht), toniger Lehm, polyedri- sches Gefüge, bei Nässe klebrig und plastisch, viele große rote Oxi- dationsflecken und wenige graugrüne Reduktionsflek- ken, wenig durchwurzelt, karbonatarm.

In diesem Profil findet man mit zunehmender Tiefe steigende Mengen an wahrscheinlich primären Quarzkristallen, Korngröße bis 7.0 mm, mit bloßem Auge erkennbarer Anteil bis ca. 10 % des anorganischen Materials.

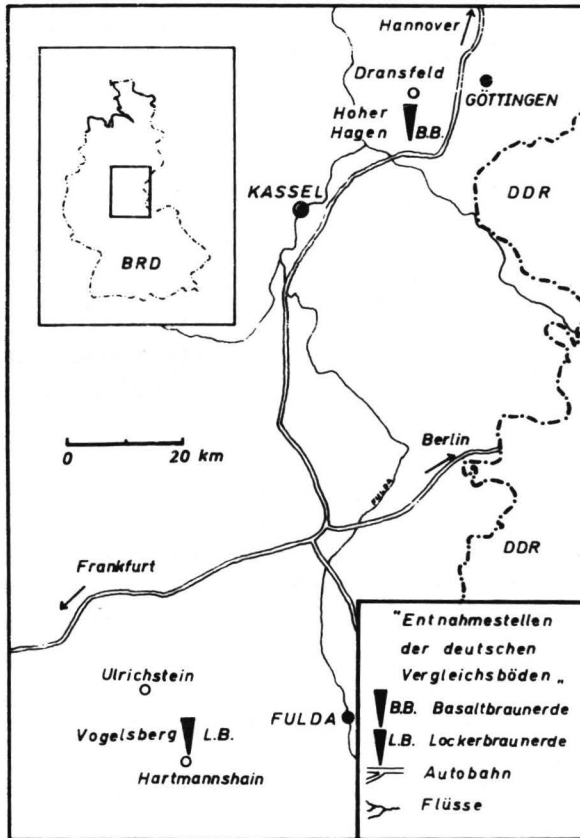
2.1.2 Die deutsche Basalt- bzw. Lockerbraunerde

2.1.2.1 Basaltbraunerde

Diese Böden beschränken sich auf ziemlich kleine Gebiete und wurden bisher noch nicht eingehend untersucht.

Das untersuchte Profil: (siehe Abb. 2-a)

Ort: Südost-Niedersachsen (siehe Karte 2)
Lage: Bei Dransfeld/Hoher Hagen, Auffahrt zum Gaußturm, rechts abbiegen zum Steinbruch, ca. 70 m hinter dem Eingang zum Naturpark Münden, 20 m nach rechts in den Wald.
Vegetation: Buchenhochwald (für weitere Informationen, siehe 2.2.2)
Klima: 882 mm, + 7.6° C (langjähriges Jahresmittel) (für weitere Informationen, siehe 2.2.1)
Gestein: Basalt (Basaltschutt)
Physiographie: Basaltkuppe
Relief: Flacher Hang (2-3% Neigung)
Meereshöhe: 505 m N.N.
Biologische Aktivität: Hoch, besonders im A-Horizont hohe Pilzaktivität (*Oudemansiella platyphyllum*)



Karte 2: Entnahmestellen der deutschen Vergleichsböden

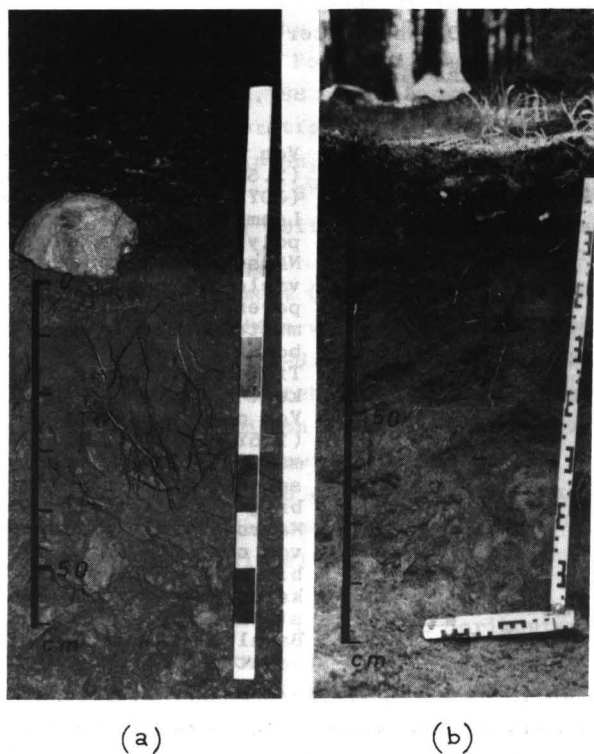


Abb. 2: Profile der untersuchten deutschen Vergleichsböden

- (a) - Basaltbraunerde, Dransfeld/
Hoher Hagen
- (b) - Lockerbraunerde, Vogelsberg/
Köhlerwald

Bodentyp: Basaltbraunerde (Basaltschuttbraunerde)
 Humusform: Mullartiger Moder
 Nutzung: 60 Jahre alter Buchenwald

Profilbeschreibung:

Probenahme Horizont
 Tiefe (cm) Tiefe (cm)

0 - 5	0 - 30	A _h	Von oben bis unten (2.5Y-4.5/2), (10YR-4.5/2), (10YR-5/4), schluffiger Lehm, krümeliges bis sub- polyedrisches Gefüge, bei Nässe klebrig bis plastisch, viele Makro- und viele Meso- poren, oben stark, unten mittel durchwurzelt, kar- bonatarm, ab 10 cm mit der Tiefe zunehmender Steinig- keit
5 - 15			
15 - 30			
30 - 45	30 - 60	B _v	Von oben bis unten (2.5Y-5.6/4), (2.5Y-7/4), leh- miger Schluff, subpolyedri- sches Gefüge, bei Nässe kle- brig bis plastisch, wenige Makro-, viele Mikroporen, von oben bis unten mittel bis schwach durchwurzelt, karbonatarm, grobe Stein- stücke
45 - 60			
	ab 60	C	Basaltfließerde (Basalt- schutt)

Von oben ab 10 cm bis unten zunehmender Steingehalt
 (bei 60 cm bis zu 70% Steine). Keine deutliche Grenze
 im Steingehalt, sondern fließender Übergang.

Muttergestein: Siehe Profilbild, oberer Profilrand.

2.1.2.2 Lockerbraunerde

Die Lockerbraunerden wurden von SCHÖNHALS (1957) un-
 tersucht und detailliert beschrieben. Über die organi-
 schen Stoffe in diesen Böden wurde von AKINCI (1973) be-
 richtet.

Das untersuchte Profil : (siehe Abb. 2-b)

Ort: Hessen (siehe Karte 2)
 Lage: Vogelsberg, Forstamt Schotten, Staatswald, Abt. 88 b, Köhlerwald
 Vegetation: Hauptvegetation *Picea abies* (für weitere Informationen, siehe 2.2.2)
 Klima: 1315 mm, 6.3° C (langjähriges Jahresmittel) (für weitere Informationen, siehe 2.2.1)
 Gestein: Decksediment (Lößkomp., Basalt- und Basalttuffverwitterungsprodukte sowie Laacher See-Bimstuff) über Solifluktionsschutt (bestehend aus Lößlehm, Verwitterungslehm von Basalt und Basalttuff und schwach angewitterter Basalt)
 Relief: Sehr schwach geneigter Südost-Hang (2 % Neigung)
 Physiographie: Oberer Mittelhang
 Meereshöhe: 655 m
 Biologische Aktivität: In den oberen Horizonten hoch
 Bodentyp: Lockerbraunerde
 Humusform: Moder, feinhumusreich
 Nutzung: Waldbestand; Fichte 80 bzw. 97 j. alt

Profilbeschreibung:

Probenahme Horizont

Tiefe(cm) Tiefe(cm)

0 - 4	0 - 4/7	A _h	5YR-3/4, humusreich, krümeliges Gefüge, schluffiger toniger Lehm, sehr stark durchwurzelt, deutliche wellige Begrenzung
4 - 18	4/7 - 12/18	A _h B _v	7.5YR-5/6, humusreich, krümeliges bis kohärentes Gefüge, schluffiger toniger Lehm, sehr locker, stark durchwurzelt, deutliche wellige Begrenzung

18 - 45	12/18 - 45/50	B _{v1}	10YR-4/4, schwammartiges Kohärentgefüge, schluffiger toniger Lehm, stark durchwurzelt, undeutliche wellige Begrenzung
45 - 65	45/50 - 60/65	B _{v2}	7.5YR-5/6, andere Eigenschaften wie bei B _{v1}
65 - 90			
65 - 90	60/65 - 90	IIB _{v1}	10YR-5/4,5/6, lockeres Kohärentgefüge, schluffiger Lehm, mittel durchwurzelt, undeutliche Begrenzung
	90 - 125	IIB _{v2}	7.5YR-4/4, subpoyedrisches bis brüchiges Kohärentgefüge, schluffiger Lehm, sehr schwach durchwurzelt wie bei IIB _{v2}
	ab 125	IIB _{v3}	

2.2 Die klimatischen Verhältnisse und Vegetationsdecken der untersuchten Böden

Klima und Vegetation sind die Hauptfaktoren für die Humusbildung bzw. Humusdynamik in Böden. Deswegen befasst sich dieser gesonderte Abschnitt mit diesen beiden Faktoren.

2.2.1 Klima

Die wesentlichsten Klimawerte (Niederschlagsmenge, Temperatur usw.) der Klimazonen, aus denen die untersuchten Böden stammten, sind in den Diagrammen zusammengefaßt. Diese Klimadiagramme (Abbildung 3) wurden nach einem einheitlichen Schema gezeichnet (WALTER und LIETH 1967), und enthalten ein umfangreiches, gut vergleichbares klimatisches Datenmaterial.

Wie man auch in der Abb. 3 sehen kann, sind sehr hohe Niederschläge und hohe jährliche Temperaturmittelwerte typisch für das türkische Teegebiet. Langjährige statistische Werte zeigen uns, daß der Himmel

über dem Gebiet ungefähr 300 Tage im Jahr bedeckt ist (KINEZ 1967).

Außerdem ist mit Ausnahme des Profil 4 die Verteilung der monatlichen Niederschläge über das Jahr ziemlich regelmäßig. Für die Teepflanze ist die untere Temperaturgrenze von -5°C bis -6°C der empfindlichste Punkt. Laut Statistik ist erwiesen, daß in 100 Jahren im Teegebiet nur einmal eine Temperatur von -10°C erreicht wurde, wodurch dieses Gebiet sich besonders als Anbaufläche für Tee empfiehlt (KINEZ 1937). Der Winter ist ganz kurz und mild wie ein Herbst, manchmal schneit es, aber der Schnee bleibt nicht liegen. Im Süden ist das Gebiet durch Bergketten abgeschlossen. Diese Bergketten sind natürliche Mauern gegen kalte Winde im Winter und trocken-warme im Sommer (Kible Winde) aus Ostzentral-Anatolien. Außerdem stoßen sich die kalten Winde, die im November bis Mai aus nordöstlicher Richtung kommen, an den Bergketten des Kaukasus und verlieren ihre Geschwindigkeit und ihren kalten Charakter. Hier werden sie zu FÖHN-Winden (ZIHNIÖGLU 1930). Wenn sie über das Meer kommen, sind sie nicht mehr kalt, und das Gebiet gewinnt ein mildes Klima. Besonders in den Sommermonaten bildet sich über dem Atlantischen Ozean ein Hoch und über der Arabischen Halbinsel bzw. Südwest-Asien ein Tief.

Zwischen den beiden Gebieten bildet sich eine Luftbewegung und verteilt sich auf 3 Teile. Der wichtigste Teil davon wandert über die Alpen durch das Donautal und erreicht zwischen den Balkan-Gebirgen das Schwarze Meer. Über dem Schwarzen Meer folgt er der Nord-Anatolischen Küste, wo er Wasserdampf aufnimmt, bis zum Teegebiet. Dort stößt er an die Bergketten, der Wasserdampf kondensiert und fällt als Regen (Karayel-Yildiz, Karayel Winde). Diese Winde wandern dann über das Guor Tal in Richtung Kaspisches Meer weiter.

Obwohl die Niederschläge im Gebiet der Basaltbraunerde/Hoher Hagen und der Lockerbraunerde/Vogelsberg geringer sind als die im türkischen Teegebiet, besteht der Hauptunterschied in der Temperatur.

Betrachtet man Abb. 3, so fällt auf, daß das Teeboden-Profil 4 (im Nebenteebaugebiet, siehe Karte 1) eine Dürreperiode zeigt und der Niederschlag geringer ist als bei den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden. Auf die Frage, warum auf diesen deutschen Böden kein Tee wächst, ist die Antwort bei

Erläuterung der Klimadiagramme:

Bei der Zeichnung werden, a) auf der Abszisse die Monate (J = Januar, F = Februar usw.), auf der Ordinate Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) und Niederschläge (mm) aufgetragen und b) die langjährigen Monatsmittelwerte in die Mitte eines jeden Monats gezeichnet und mit den geraden Strichen verbunden.

Die Symbole sind nur auf zwei Diagrammen (Teeböden Profil 4 und Lockerbraunerde) eingetragen, die gleichen Schraffierungen bzw. Daten auf den anderen Diagrammen haben dieselbe Bedeutung.

Die Bedeutungen der Symbole:

(a) Standort, (b) Höhe über dem Meer, (c) langjährige mittlere Jahrestemperatur ($^{\circ}\text{C}$), (d) langjähriger mittlerer Jahresniederschlag, (e) mittlere Niederschlagsmenge (1 Skalenteil = 20 mm, ab 100 mm Maßstab auf 1/10 reduziert), (f) Zahl der Beobachtungsjahre (erste Zahl für Temperatur und zweite Zahl für Niederschläge), (g) bisher höchster gemessener Jahresniederschlag, (h) mittlere monatliche Niederschläge, die 100 mm übersteigen, schwarze Fläche, (i) humide Jahreszeit (vertikal schraffiert), (j) Kurve der mittleren monatlichen Niederschläge (im Verhältnis $10^{\circ}\text{C} = 20\text{ mm}$), (k) Dürrezeit (punktiert), (l) Niederschlagskurve, erniedrigt im Verhältnis $10^{\circ}\text{C} = 30\text{ mm}$, darüber horizontal gestrichelte Fläche = Trockenzeit, (m) Kurve der mittleren Monatstemperaturen, (n) Monate mit absolutem Minimum unter 0°C (schräg schraffiert), (o) bisher höchste gemessene Temperatur (absolutes Maximum), (p) mittlere Temperatur (1 Skalenteil = 10°C), (q) bisher tiefste gemessene Temperatur (absolutes Minimum), (r) bisher geringster gemessener Jahresniederschlag, (s) Monate mit mittlerem Tagesminimum unter 0°C (schwarz).

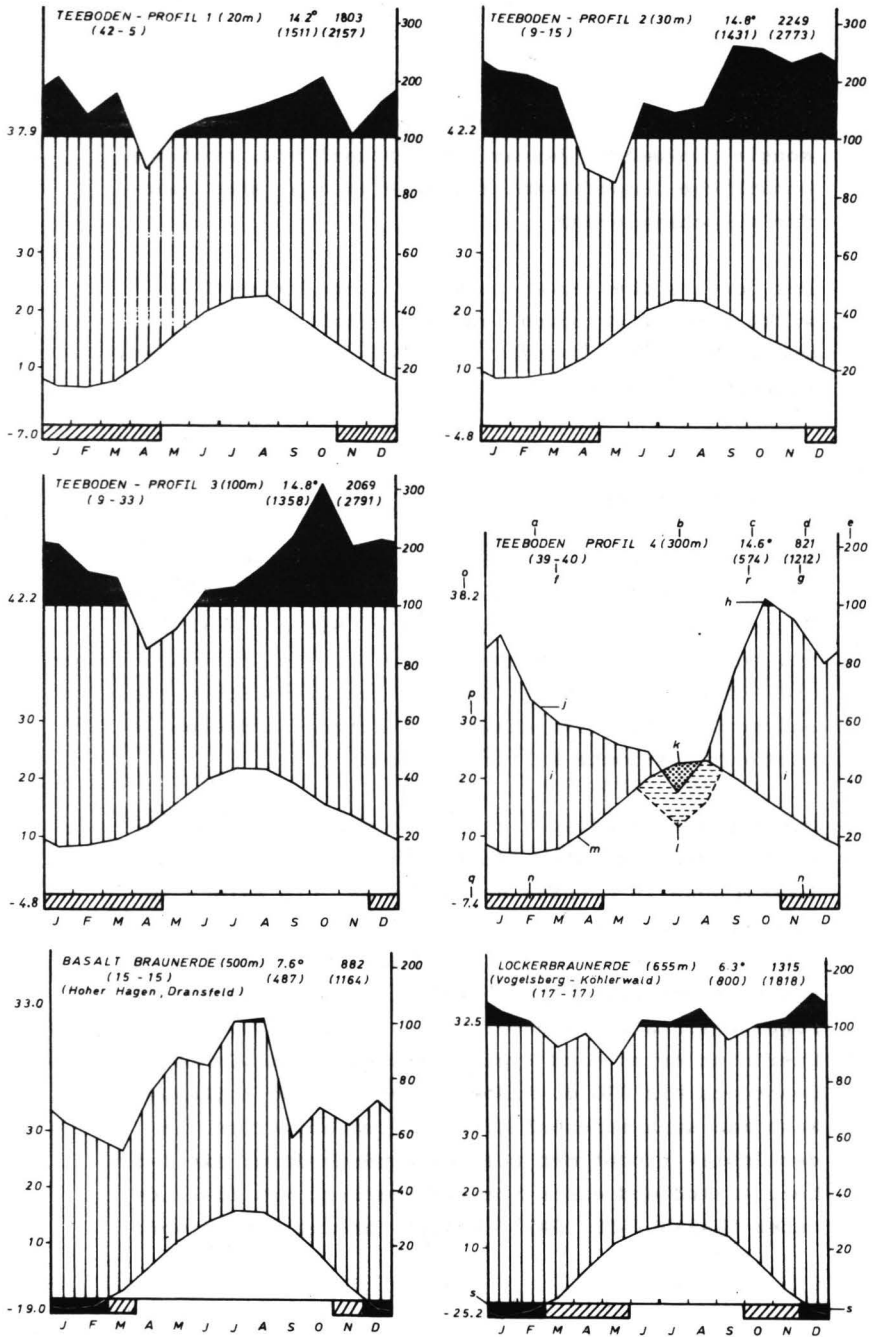


Abb. 3: Klimadiagramme der untersuchten Standorte nach dem Schema von WALTER und LIETH (1967)

den niedrigen Temperaturen zu suchen. Die drei Frostmonate (Dezember, Januar und Februar) bzw. niedrige monatliche Temperaturmittelwerte im Jahr sind hierfür ausschlaggebend.

Der bereits oben erwähnte klimatische Unterschied wirkt vermutlich sowohl auf den Pflanzenbestand ein, wie auch auf die Humusbildung, -zersetzung, und -verteilung auf und in diesen Böden.

2.2.2 Vegetation

Wegen der hohen Niederschläge und hohen Temperatur ist die natürliche Vegetation des türkischen Teegebiets sehr artenreich und kräftig. Mit der Wirkung der hohen Niederschlagsmenge bzw. mit der Auswaschung der Erdalkali- und Alkali-Ionen zeigen diese Böden einen sauren Charakter und deswegen gedeihen in diesem Gebiet nur bestimmte Kulturpflanzen.

Die typische Waldvegetation, die man im Mittelalter überall sehen konnte, fängt heute erst in ca. 800 - 1000 m Höhe in dichten Beständen an. Die Wälder im Teegebiet bestehen zu einem Drittel aus Nadelbäumen und zu zwei Drittel aus Laubbäumen. Hauptbäume sind: *Picea orientalis*, *Alnus barbata*, *Abies normanniana*, *Fagus orientalis* (siehe Tabelle 1). *Rhododendron* und *Pteridium* Arten sind typisch für das ganze Gebiet, besonders bis 800 m. Außer *R.ponticum* und *R.flavum* kann man auch manchmal *R.caucasicum* antreffen. In dem Gebiet findet man riesige *Rhododendren*, die 4-5 m hoch sind und einen Stammdurchmesser von 13-14 cm haben (KASAPLIGIL 1947). Weniger häufig kommen vor:

Tabelle 1 .

Die natürliche Vegetation auf den Teeböden
(KASAPLIGIL 1947)

- * *Rhododendron ponticum* (Alpenrose - Orman gülü)
- * *Rhododendron flavum* (Alpenrose - Orman gülü)
- * *Pteridium aquilinum* (Farn - Egrelti)
- * *Alnus barbata* (Erle - Kizilagac)
- Castanea sativa* (Marone - Kestane)
- Rubus sanctus* (Brombeere - Bögürtlen)
- Picea orientalis* (Fichte - Dogu ladini)
- Abies Normanniana* (Kaukasische Tanne - Kafkas Köknari)
- Fagus orientalis* (Buche - Kayin)
- Vaccinium myrtillus* (Heidelbeere - Ayi üzümü)
- Ilex aquifolium* (Stechpalme - Coban püskülü)
- Prunus laurocerasus* (Kirschlorbeer - Karayemis)
- Equisetum arvense* (Ackerschachtelhalm - At kuyrugü)
- Erica arborea* (Glockenheide - Funda)
- Trifolium* (Klee - Ücgül)
- Lotus* (Hornklee - Gazal boynuzu)
- Artemisia* (Beifuß - Yavsan otu)
- Tilia* (Linde - Ihlamur)

* sehr häufig " 80 - 90 % "

Rumex conglomeratus, *Ranunculus repens*, *Potentilla reptans*, *Alchemilla vulgaris*, *Coronilla varia*, *Euphorbia stricta*, *Echium vulgare*, *Cyperus langus*, *Blechnum spicant*, *Pteris cretica*, *Polypodium vulgare*, *Osmunda regalis*, *Cornus mas*, *Carpinus orientalis*, *Ulmus campestris*, *Plantanus orientalis*, *Laurus nobilis*, *Acer campestre*, *Acer trautvetteri*, *Arbutus unedo*, *Humulus lupulus*, *Vitis silvestris*, *Vicia caracca* (KASAPLIGIL 1947).

Die Vegetationsdecke auf der Basaltbraunerde ist hauptsächlich eine Buchen-Waldgesellschaft fast ohne Krautflora.

Der natürliche Pflanzenbestand der Lockerbraunerde besteht aus: *Picea abies* (Hauptbestand), *Sorbus aucuparia*, *Fagus silvatica*, *Vaccinium myrtillus*, *Dryopteris spinulosa*, *Equisetum silvaticum*, *Avenella flexuosa*, *Stellaria nemorum*, *Polytrichum attenuatum*, *Senecio fuchsii*, *Maianthemum bifolium*, *Milium effusum*, *Galium saxatile*, *Lycopodium annotinum*, *Oxalis acetosella*, *Epilobium angustifolium*, *Anemone nemorosa* (Mitteilungen der DGB 1973).

3. Methodik

Die Methoden, die zur Durchführung der vorliegenden Arbeit benutzt wurden, wurden teils nach der Originalvorschrift, teils aber in modifizierter Form angewandt. Alle Bestimmungen wurden als Doppelbestimmung durchgeführt und von den einzelnen Werten Mittelwert, Standardabweichung und Gesamtstreuung berechnet. Die Literaturangaben, die bei einzelnen Bestimmungen angegeben werden, sind Hinweise auf die Originalvorschriften. Bei modifizierten Formen der Originalvorschriften werden die Methoden genau beschrieben.

3.1 Bodenvorbereitung

Das Probenmaterial wurde an der Luft getrocknet, während der Trocknung mit den Fingern zerrieben sowie von Steinen, groben Wurzeln und groben Bestandsabfällen befreit. Das trockene Material wurde in große Plastiktüten gefüllt, mit einem Gummihammer zerstampft und durch ein 2 mm-Sieb gesiebt (2 mm-Probe). Diese "2 mm-Probe" wurde in einem Mörser weiter zerkleinert und durch ein 0.2 mm-Sieb gesiebt (0.2 mm-Probe). Für die Gewinnung der $< 2 \mu$ -Fraktion wurde die Schlämm-Methode nach ATTERBERG (1912) verwendet. Bei diesem Verfahren werden auf die Proben (ca. 25 g) einmal 20 ml ca. 0.5% NH_4OH (um die Dispergierung zu erleichtern), ca. 200 ml Wasser zugesetzt und mit einem langsam drehenden Mixer 5 Min. gemischt und im Atterbergzylinder bis zur Marke mit Wasser aufgefüllt. Die gewonnene Suspension wird bei ca. 6000 u/Min. 15 Min. zentrifugiert und die überstehende Lösung weggegossen. Der Bodensatz im Atterbergzylinder wird dann mehrmals nur mit Wasser dispergiert und dieses Verfahren wie-

derholt. Der Rückstand im Zentrifugenbecher wird bei ca. 70° C getrocknet und anschließend in einem Mörser gemahlen (<2 μ -Fraktion).

3.2 Untersuchungen zur allgemeinen Charakterisierung der Böden

3.2.1 Bestimmung des Wassergehaltes (WG) (SCHLICHTING und BLUME, 1966)

Alle Auswertungen der Analysen wurden auf das Trockengewicht (bei 105° C) bezogen, deshalb wurde an allen luftgetrockneten Proben die Feuchtigkeit bestimmt.

Durchführung:

Etwa 5 g der luftgetrockneten 0.2 mm-Probe werden in einen Porzellantiegel eingewogen (FG) und bis zur Gewichtskonstanz bei 105° C getrocknet, über einem Trocknungsmittel (z.B. Kieselgel) abgekühlt und gewogen (TG). Der Wassergehalt (WG) wird in % der trockenen Probe angegeben:

$$\% \text{ (WG)} = [(FG) - (TG)] \times 100 / (TG)$$

3.2.2 Bodenreaktion (pH-Wert) (RICHARDS et al., 1954)

Der pH-Wert wurde mit einer Glas-Kalomelelektrode in 0.1 n KCl - Lösung und in Wasser gemessen (Boden : 0.1 n KCl bzw. Wasser = 1 : 2.5).

3.2.3 Korngrößenbestimmung (BOUYOUCOS 1951)

Nach Zerstörung der organischen Stoffe mit ca. 30 proz. H_2O_2 werden die " 2 mm-Proben " mit 0.5 %, Natrium-Hexa-Metaphosphat dispergiert. Weiter wird nach der Hydrometer Methode von BOUYOUCOS verfahren.

3.2.4 Bestimmung der totalen (AK_t) und realen (AK_r) Austauschkapazität und austauschbaren Kationen (MEHLICH 1948,1960)(ULRICH 1966)

Die totale Austauschkapazität (AK_t) wurde nach MEHLICH durch Extraktion mit Triäthanolamin + 0.2 n $BaCl_2$ - Gemisch (pH=8.1) und Rückaustausch mit 0.2 n $CaCl_2$ -Lösung und die reale Austauschkapazität (AK_r) durch Extraktion mit ungepufferter 0.2 n $BaCl_2$ - Lösung (pH=5.5) bestimmt. Die austauschbaren Kationen und Barium wurden flammenphotometrisch im totalen Austauschkapazitäts-extrakt bestimmt [Die Menge an sorbierten H(+Al)-Ionen wird berechnet : $H(+Al) = AK_t$ - sorbierte Metallkationen, bzw. der Gehalt an Al-Ionen wird berechnet :

$Al = AK_r$ - sorbierte Metallkationen + sorbierte H-Ionen im ungepufferten 0.2 n $BaCl_2$ - Lösungsextrakt(durch pH - Differenz zwischen Extraktionslösung und Extrakt berechnet)].

Für die Austauschkapazität der mineralischen Anteile wurden die organischen Stoffe in den Proben vor der Bestimmung mit 30 % H_2O_2 aufoxidiert.

3.2.5 Bestimmung des dithionitlöslichen Fe - Gehaltes (Fe_d) (pedogene Fe-Oxide im Boden) (SCHLICHTING und BLUME 1966) (JACKSON 1958)

Durchführung:

a) Extraktion:

ca. 0.5 g "0.2 mm-Probe" werden in einem Zentrifugenglas

(V = 30 ml), mit 20 ml 0.3 M Na-Citratlösung und 2.5 ml 1nK-Bicarbonatlösung im Wasserbad auf 80° C erhitzt. Nach Erreichen dieser Temperatur werden 0.5 g Na-Dithionit (in zwei Teilen) zugefügt und unter öfterem Umrühren mit einem Glasstab 15 Min. bei 80° C gehalten. Nach dieser Zeit werden die Proben auf Raumtemperatur abgekühlt und 5 - 15 Min. bei ca. 3000 U/Min. geschleudert. Das klare Zentrifugat wird in einen 50 ml Meßkolben dekantiert und die Extraktion genau wie oben beschrieben wiederholt. Der Bodenniederschlag wird sodann zweimal mit je 5 ml 0.1 n MgSO_4 -Lösung ausgewaschen (nicht erhitzt, aber gut mit dem Glasstab aufgerührt), zentrifugiert, in den Meßkolben dekantiert und mit bidest.-Wasser aufgefüllt.

b) Perchlorsäureoxidation:

2 ml des Extraktes werden in ein 100 ml Becherglas pipettiert, mit 5 ml 60-proz. Perchlorsäure versetzt, auf einem Sandbad fast bis zur Trockene eingengt und nach dem Erkalten mit ca. 30 ml bidest.-Wasser in einen 50 ml Meßkolben eingespült. Nach Zugabe von 2 ml 25-proz. Sulfosalicylsäure wird mit 25-proz. Ammoniak bis zum Umschlag nach gelb titriert, nach Zugabe von weiteren 0.5 ml Ammoniak wird bis zur Marke aufgefüllt.

c) Messung:

Nach 40 - 60 Min. wird die Extinktion bei 425 nm gegen einen Blindwert gemessen. Als Standard werden Lösungen mit 0.1, 0.3, 0.5 und 0.7 mg Fe/50 ml in der gleichen Weise behandelt.

3.2.6 Bestimmung des Glühverlustes (SCHLICHTING und BLUME 1966)

Die nach 3.2.1 vorbereiteten Proben werden nach Einwiegen (TG) im Muffelofen bis zur Gewichtskonstanz bei 650° C geglüht. Dann wird wie unter 3.2.1 beschrieben abgekühlt und ausgewogen (G G). $\% \text{ GV} = (\text{TG} - \text{GG}) \times 100 / \text{TG}$

3.3 Chemische Analysen zur Charakterisierung der Huminstoffsysteme

Im Institut für Biochemie des Bodens, Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig/Völkenrode, werden seit einiger Zeit Untersuchungen zur Charakterisierung der Huminstoffsysteme durchgeführt (Der Begriff "Huminstoffsysteme" wurde von SALFELD (1973) wie folgt definiert: Der Gesamtkomplex der organischen Stoffe im Boden oder ein chemisch ähnliches System organischer Verbindungen wird als "Huminstoffsysteme" (HSS) bezeichnet. Fraktionen von HSS wie z.B. Fulvo-, Huminsäurefraktionen, aber auch alle anderen Fraktionen, wie sie z.B. bei der Gelfiltration erhalten werden, werden ebenfalls als "HSS" bezeichnet)(SALFELD 1965, 1969, 1973, 1974), SÖCHTIG und SALFELD 1971),(SÖCHTIG 1973a, 1973b), (CICOTTI et al. 1970), (SADAT 1974), (SALFELD et al. 1974). Ausgehend von der Methode KONONOVA und BELCHIKOVA (1961) wurde von SALFELD und SÖCHTIG ein erweitertes Analysenschema aufgestellt (Abb. 4). Durch Anwendung automatischer Meß- und Analysenapparaturen soll die Reproduzierbarkeit der Meßdaten erhöht werden. Durch die Automatisierung können außerdem individuelle Fehler weitgehend vermieden werden. Diese neu entwickelte Methodenkombination wurde für die vorliegende Problematik mit wenigen

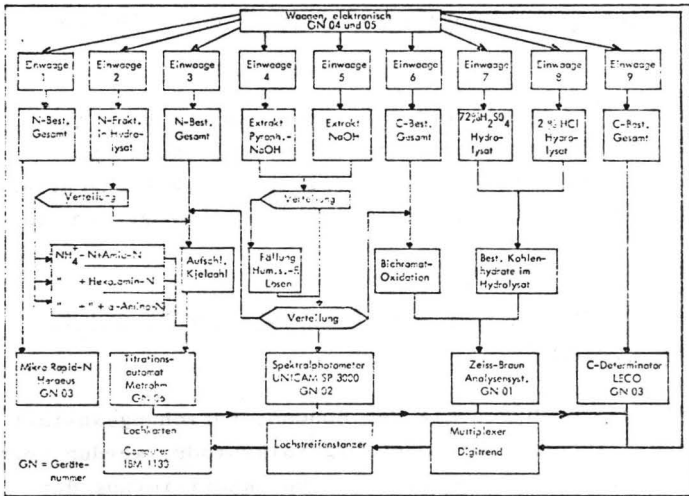


Abb. 4: Schema der Bestimmungsmethoden für die Analyse von Huminstoffsystemen (SALFELD 1973)

Änderungen angewandt. Im einzelnen wurden folgende Bestimmungen, Extraktionen und Fraktionierungen durchgeführt.

3.3.1 Gesamt-Kohlenstoffbestimmung (C-GES)

Für diese und die weiteren Bestimmungen zur chemischen Analyse der Huminstoffsysteme wurde die "0,2mm-Probe" verwendet.

3.3.1.1 Nasse Verbrennung (RHIEM und ULRICH 1954)

Oxidation des Kohlenstoffes mit Bichromat-Schwefelsäure

und Messung des reduzierten Cr (III) in einem automatischen Spektralphotometer (PM 4 der Firma ZEISS) bei 590 nm gegen Blindwertlösung. Die C-Konzentration wird mit Hilfe einer Eichkurve berechnet (Eichlösung = 1.375 g Glucose $\cdot$ H₂O wird in 100 ml Meßkolben mit Wasser gelöst, 1 ml von dieser Lösung enthält 5 mg C).

3.3.1.2 Trockene Verbrennung (ALLISON et al. 1965)

Verbrennung [CO₂-Entwicklung] in einem Hochfrequenz-ofen bei 1400° C und Bestimmung des CO₂ mittels einer Infrarot-Zelle. Messung mit Kohlenstoffbestimmungsgerät, LECO IR 12, Modell 762-600.

3.3.2 Gesamtstickstoffbestimmung (BREMNER 1960, 1965) (N-GES)

Aufschluss der "0.2 mm-Probe" mit konz. H₂SO₄ und Selen-Katalysatorgemisch (100 g K₂SO₄ + 10 g CuSO₄ $\cdot$ 5 H₂O + 1 g Se) nach KJELDAHL, Ammoniakisolierung durch Wasserdampfdestillation mit ca. 10n Natronlauge (die Destillation ist beendet, wenn 25 ml überdestilliert sind - ca. 10 Min. -), titrimetrische Bestimmung des in einer H₃BO₃ - Indikatorlösung (5 ml) aufgefangenen NH₃ mit 0.01n H₂SO₄ (H₃BO₃-Indikatorlösung = 0.330 g Bromcresolgrün + 0.165 g Methylrot in 500 ml Äthanol lösen (A), 20 g H₃BO₃ in 700 ml Wasser lösen, 200 ml Äthanol und 20 ml (A) zusetzen, bis pH ca. 5 (bis gerade purpurrote Farbe) auf 1 l mit H₂O auffüllen).

3.3.3 Extraktion der Huminstoffe, Gewinnung der Huminsäurefraktionen und Bestimmungen an Extrakten bzw. Huminsäurefraktionen (KONONOVA und BELCHIKOVA 1966) (SALFELD 1973) (SÖCHTIG 1973 a)

3.3.3.1 Extraktion

In alkalischen Lösungsmitteln lösliche Huminstoffe werden aus einer Probe mit einem Gemisch von 0.1n Natriumpyrophosphat + 0.1n Natronlauge (PNE) und aus einer weiteren Probe mit 0.1n Natronlauge (NLE) allein extrahiert.

Durchführung des Verfahrens: Eine Menge an Boden (0.2 mm-Prob ϕ), je nach Gesamt-C Gehalt, wird in 300 ml Erlenmeyerkolben eingewogen, mit 200 ml der Extraktionslösung (PNE) bzw. (NLE) 1 Stunde maschinell geschüttelt und 16 - 18 Stunden bei Zimmertemperatur stehengelassen. Dann wird aufgeschüttelt und die Bodenaufschlammung 1 Stunde mit ca. 6000 g zentrifugiert. Die überstehenden Lösungen werden in 300 ml Erlenmeyerkolben filtriert und der Bodensatz verworfen.

3.3.3.2 Gewinnung der Huminsäuren

Aus den beiden Extrakten (PNE und NLE) wird mit Schwefelsäure bei pH 1.0 die Fraktion der Huminsäuren ausgefällt.

Durchführung des Verfahrens: 100 ml des PNE bzw. NLE werden zur Fällung der Huminsäurefraktion mit konz. Schwefelsäure auf pH 1.0 angesäuert. Die angesäuerten Lösungen werden 30 Min. auf 80° C im Trockenschrank erwärmt und anschließend 16 - 18 Stunden bei Zimmertemperatur stehengelassen. Die Lösungen werden quantitativ

in Zentrifugenbecher überführt und 20 Min. mit ca. 6000 g zentrifugiert. Die überstehende Lösung wird verworfen, der Bodensatz in 0.1n NaOH auf 50 ml aufgefüllt.

Die Huminsäurefraktionen werden wie folgt bezeichnet:

Huminsäuren aus PNE = HSF-PNE

" " NLE = HSF-NLE

3.3.3.3 Optische Messungen

Von den PNE, NLE, HSF-PNE und HSF-NLE werden in drei Verdünnungen (unverdünnt, 1 : 2 und 1 : 4) die Extinktionen bei 400, 500, 600, 700 nm in einem automatischen Spektralphotometer (Unicam SP 3000) gemessen (bei den dunklen Proben wird 1 ml der Lösungen mit dem entsprechenden Lösungsmittel so lange verdünnt, bis die Lösungen bei 500 nm in einer 1 cm-Küvette eine Extinktion von etwa 0.6 haben. Dann werden die Lösungen 1 : 2 und 1 : 4 verdünnt).

3.3.3.4 Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt

In den PNE, NLE, HSF-PNE und HSF-NLE wurden C- und N-Gehalte bestimmt. Von diesen Werten wurden die C- und N-Gehalte in den Fulvosäurefraktionen (FSF-PNE, FSF-NLE) berechnet (zum Beispiel : $[PNE-C\%] - [HSF-PNE-C\%]$ = FSF-PNE-C % usw.).

3.3.3.4.1 Kohlenstoffbestimmungen

Jeweils 20 ml der einzelnen Lösungen werden mit 5 - 6 Tropfen konz. H_2SO_4 angesäuert und bei $105^\circ C$ im Trockenschrank zur Trockene eingedampft. Die Kohlenstoffbestimmung erfolgt dann wie unter 3.3.1.1 beschrieben.

3.3.3.4.2 Stickstoffbestimmungen

Jeweils 20 ml der einzelnen Lösungen werden in 50 ml Kjeldahl-Kolben mit 5 ml konz. H_2SO_4 versetzt und über

Nacht bei 105° C im Trockenschrank gehalten, um das überschüssige Wasser zu verdampfen.

Die Bestimmung des Stickstoffgehaltes erfolgt dann wie unter 3.3.2. beschrieben.

3.3.4 Bestimmungen an Bodenhydrolysaten

3.3.4.1 Fraktionierung der organisch gebundenen Stickstoffformen (BREMNER 1965)

Für diese Bestimmung wird eine ca. 10 mg Gesamt-N entsprechende Menge "0.2 mm-Probe" eingewogen (für die Proben, die sehr wenig Gesamt-N haben, ist die höchste Einwaage 10 g).

3.3.4.1.1 Herstellung der Hydrolysate

Durchführung des Verfahrens: Die Bodenprobe wird mit 2 Tropfen n-Oktylalkohol und 20 ml ca. 6n HCl in einen 100 ml Rundkolben gefüllt. Boden und Säure werden durch Schwenken innig miteinander vermischt. Unter Rückfluß wird 12 h bei schwachem Sieden hydrolysiert. Nach Beendigung der Hydrolyse wird die Probe über einen Papierfilter (Schleicher und Schüll- Weissband oder entsprechender Filter) filtriert. Den filtrierten Hydrolyserückstand mit 5 - 10 ml Wasserportionen waschen, so daß ein Volumen von ca. 60 ml erreicht wird. Dann wird das Becherglas in Eis gestellt, so daß die untere Hälfte der Lösung in Eis steht. Das Filtrat wird langsam unter ständigem Rühren auf $\text{pH } 6.5 \pm 0.1$ titriert. Hierzu wird eine Glaselektrode verwendet. Während der Neutralisation darf in keinem Teil der Lösung alkalische Reaktion eintreten, da sonst Ammoniakverluste eintreten

können. Bis pH 5 wird mit 5n NaOH und von da ab mit 0.5n NaOH neutralisiert . Das neutralisierte Filtrat wird in einen 100 ml Meßkolben überführt und auf 100 ml mit Wasser aufgefüllt.

3.3.4.1.2 Analyse des Hydrolysates

Für die Analyse der Hydrolysate werden 5 bzw. 10 ml des Hydrolysates eingesetzt. Die Destillation ist beendet, wenn ca. 20 ml Destillat übergegangen waren (ca. 5 Min). Die Kühlung muß so eingestellt werden, daß das Destillat niemals 22° C überschreitet.

3.3.4.1.2.1 Gesamt-N

5 ml Hydrolysat werden in 50 ml Kjeldahlkolben mit 500 mg Katalysator (siehe 3.3.2.) und 5 ml konz. Schwefelsäure langsam erhitzt, bis das Wasser entwichen ist. Der Aufschluß wird bis zum Klarwerden und dann für weitere 60 Min. gekocht. Nach dem Aufschluß und Abkühlen der Lösung werden 10 ml Wasser zugesetzt und der Kjeldahlkolben zum schnelleren Abkühlen der Lösung in ein Becherglas mit Eis gestellt. Die Lösung wird in einen 250 ml Rundkolben überführt. Die Destillation erfolgt wie bei 3.3.2. beschrieben.

Zur Bestimmung des Blindwertes wird ein Aufschluß ohne Probe mit anschließender Destillation durchgeführt. Die Rücktitration der Vorlagen (und auch Blindwertprobe) erfolgt mit 0.005n Schwefelsäure.

3.3.4.1.2.2 Ammonium - N (Amid - N)

Im Boden vorliegende Ammoniumionen und der während der Hydrolyse aus Amiden, aber auch aus einigen anderen Bindungsformen als Ammoniumionen abgespaltene Stickstoff werden als "Ammonium-N" bezeichnet.

Durchführung des Verfahrens: 10 ml des Hydrolysates werden mit 70 ± 10 mg MgO (MgO wird zuerst im Muffelofen 2 h auf $600 - 700^{\circ}$ C erhitzt, in Exsikkator über KOH-Plätzchen aufbewahrt) in einem 250 ml Rundkolben versetzt, der sofort an die Destillationsanlage angeschlossen wird und destilliert. Destillation erfolgt wie bei 3.3.2 beschrieben. Die Destillation ist beendet, wenn ca. 20 ml Destillat übergegangen sind (ca. 5 Min.). Die Rücktitration und die Bestimmung des Blindwertes erfolgen wie bei 3.3.4.1.2.1 beschrieben.

3.3.4.1.2.3 Ammonium-Hexosamin - N

Durchführung des Verfahrens: Zu 10 ml Hydrolysat werden in einen 250 ml Rundkolben 10 ml Phosphat-Borat Puffer (pH 11.2 - 100 g $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ + 25 g $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ auf 1 l Wasser lösen) zugesetzt, der Rundkolben an die Apparatur angeschlossen und destilliert. Die Destillation erfolgt wie bei 3.3.2 beschrieben. Die Destillation ist beendet, wenn ca. 20 ml Destillat übergegangen sind (ca. 5 Min.). Die Rücktitration und die Bestimmung des Blindwertes erfolgen wie bei 3.3.4.1.2.1 beschrieben.

3.3.4.1.2.4 Ammonium - Hexosamin - α - Amino - N

Durchführung des Verfahrens: 5 ml Hydrolysat werden in einem 250 ml Rundkolben mit 100 mg Citratpuffer (pH 2.5 - 2.06 g fein gepulvertes Trinatriumcitrat

• 2 H₂O mit 19.15 g Citronensäure • H₂O ebenfalls feingepulvert durch kräftiges Reiben im Mörser innig vermischen) und 100 mg Ninhydrin versetzt. Die Rundkolben werden in ein heftig kochendes Wasserbad gestellt, nach 1 Min., ohne den Kolben aus dem Wasserbad herauszunehmen, kräftig durchmischt und für weitere 9 Min. im Wasserbad belassen. Nach Abkühlen der Lösung werden 10 ml Phosphat-Borat-Puffer (siehe 3.3.4.1.2.3) zugesetzt und destilliert. Die Destillation ist beendet, wenn ca. 20 ml Destillat übergegangen sind (ca. 5 Min). Die Rücktitration und die Bestimmung des Blindwertes erfolgen wie bei 3.3.4.1.2.1 beschrieben.

3.3.4.2 Die Bestimmung der leichter abbaubaren organischen Substanzen (Kohlenhydratbestimmung)
(Methodenblatt G 21, Braun, Melsungen)

Für die Bestimmung der leichter abbaubaren organischen Substanzen werden Hydrolysen mit 2%-iger Salzsäure und mit 72%-iger Schwefelsäure durchgeführt. Diese Bedingungen entsprechen der Bestimmung der Stoffgruppen, "Hemicellulosen" und "Cellulosen" in der Pflanzenanalyse. In diesen beiden abgestuften Hydrolysaten wird ein "Glucosewert" mittels einer Farbreaktion mit o-Toluidin bestimmt.

Durchführung des Verfahrens: a) Partielle Hydrolyse (Hydrolyse der Hemicellulosen): ca. 1 gramm "0.2 mm-Probe" wird in einen 100 ml Rundkolben gebracht und nach Zugabe von 50 ml 2%-iger HCl das Bruttogewicht bestimmt. Anschließend wird 5 h in einer Pilzheizhaube mit Rückflußkühlung bei schwacher Siedehitze hydrolysiert. Nach völligem Erkalten wird abermals gewogen und die Differenz zum ursprünglichen Gewicht mit bidest. Was-

ser ausgeglichen. Das Hydrolysat wird durch Umschwenken des Rundkolbens gut gemischt, das für die Analyse erforderliche Volumen (3 - 5 ml) entnommen und zentrifugiert (15 Min. bei 13 - 15 000 U/Min.).

b) Total-Hydrolyse: ca. 0.5 g "0.2 mm-Probe" wird mit 1 ml 72%-iger H_2SO_4 versetzt und zwei Stunden bei Raumtemperatur, unter mehrmaligem Durchmischen, stehengelassen. Anschließend werden 49 ml bidest. Wasser aus einem Dosiergefäß zugesetzt und wie bei (a) beschrieben weiter verfahren.

c) Messungen: Die durch (a)-und (b)-Verfahren gewonnenen Hydrolysate werden 1 : 3 mit o-Toluidin-Reagenz gemischt (o-Toluidin-Reagenz = Lösung A : 72 g Glycol-säure + 72 g Apfelsäure + 0.6 g Thioharnstoff + 30 ml dest. Wasser + 60 ml Methanol + 360 ml Äthylenglycol-monoäthyläther. Lösung B: o-Toluidin p.a..Lösung A und B wird unmittelbar vor der Verwendung 10.00 : 1.021 gemischt (Lösung A kann 3 - 4 Wochen auf Vorrat hergestellt werden). Außer Hydrolysaten werden ein Blindwert (1 ml H_2O + 3 ml o-Toluidin-Reagenz) und eine Standard-Serie vorbereitet (Standard Serie mit Glucose = 183.15 mg Glucose $\cdot H_2O$ wird auf 500 ml mit 0.15%-iger Benzoesäurelösung (p.a.) aufgefüllt. Dann wird eine 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 5.0 mg Glucose entsprechende Serie wieder von dieser Stammlösung mit dem gleichen Lösungsmittel hergestellt. Jede Verdünnung wird auch wie bei den Hydrolysaten und dem Blindwert 1:3 mit o-Toluidin-Reagenz gemischt). Alle Lösungen (Blindwert, Standard Serie, Hydrolysate) werden nach Mischen der Komponenten 20 Min. bei $90^{\circ}C$ inkubiert. Nach Abkühlung wird die Extinktion bei 630 nm gemessen (Meßapparatur: Spektralphotometer PM 4 der Firma ZEISS).

3.4 Die Bestimmungen in den Fraktionen $< 2 \mu$

Die Herstellung der $< 2 \mu$ -Fraktionen ist unter 3.1. beschrieben.

3.4.1 Elektronenoptische Untersuchungen der $< 2 \mu$ Fraktionen (BEUTELSBACHER und VAN DER MAREL 1968)

Diese Untersuchungen wurden mit den unbehandelten bzw. vollbehandelten Proben durchgeführt. Bei der Vollbehandlung werden die organischen Stoffe mit ca. 30%-igem H_2O_2 zerstört (SCHLICHTING und BLUME 1966) und die freien Fe-Oxide mit Citrat-Dithionit Extraktion entfernt (MEHRA und JACKSON 1960).

Mit Platin bedampfte Proben werden unter einem Elektronenmikroskop (Carl-Zeiss EM 8 - II) beobachtet und typische Teile aufgenommen.

3.4.2 Gesamt Kohlenstoff in $< 2 \mu$ -Fraktion

Diese Bestimmung erfolgt wie unter 3.3.1.2 beschrieben.

3.4.3 Bestimmung des dithionitlöslichen Fe-Gehaltes in der $< 2 \mu$ -Fraktion

Diese Bestimmung folgt wie unter 3.2.5 beschrieben.

4. Erläuterung der Versuchsergebnisse

4.1 Allgemeine Kenndaten der untersuchten Profile

4.1.1 Die Bodenreaktion (pH-Wert)

Die pH-Werte der untersuchten Profile sind in Tabelle 2 zusammengestellt und in Abb. 5 als Tiefenfunktion gezeichnet.

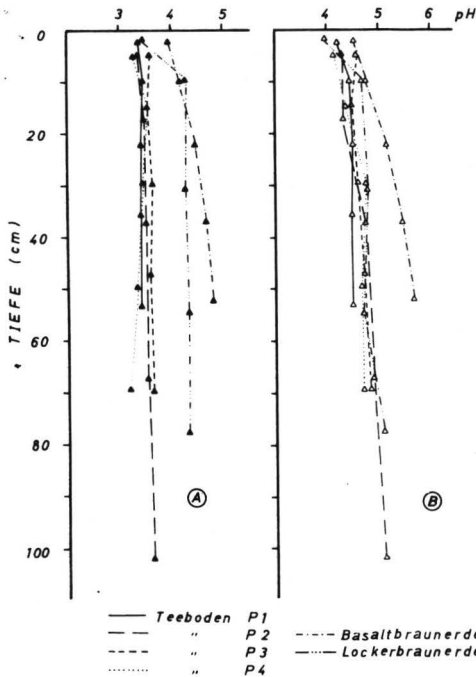


Abb. 5: pH-Werte in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion (A = in 0.1N KCl, B = in Wasser)

Tabelle 2. Die pH - Werte der untersuchten Böden

	Horizont	Tiefe (cm)	pH-Wert(1 : 2.5)	
			Wasser	0,1n KCl
Teeboden p1	A ₁₁	0-5	4.25	3.40
	A ₁₁	5-15	4.45	3.50
	A ₁₂	15-30	4.50	3.45
	B	30-42	4.50	3.45
	C	42-65	4.50	3.45
Teeboden p2	A ₁₁	0-10	4.30	3.40
	A ₁₂	10-25	4.35	3.50
	A ₃ (B ₁)	25-50	4.75	3.55
	B	50-85	4.90	3.55
	C	85-120	5.10	3.65
Teeboden p3	A ₁₁	0-10	4.60	3.60
	A ₁₂	10-20	4.50	3.55
	B ₁	20-40	4.60	3.65
	B ₂	40-55	4.75	3.60
	C	55-85	4.90	3.65
Teeboden p4	A ₁₁	0-10	4.15	3.30
	A ₁₂	10-20	4.35	3.55
	A ₁₂	20-40	4.75	3.45
	B	40-60	4.70	3.35
	C	60-80	4.70	3.30
Basalt- braunerde	A _h	0-5	4.60	4.00
	A _h	5-15	4.80	4.20
	A _h	15-30	5.20	4.50
	B _v	30-45	5.50	4.70
	C	45-60	5.70	4.80
Locker- braunerde	A _h	0-4	3.95	3.45
	A _h B _v	4-18	4.70	4.30
	B _{v1}	18-45	4.75	4.30
	B _{v2}	45-65	4.75	4.35
	IIB _{v1}	65-90	5.20	4.30

Wie man aus der Tabelle ersieht, zeigen alle Profile sauren Charakter. Nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1970) befinden sich die Teeböden im "sehr stark sauren" Bereich und die Basalt- bzw. Lockerbraunerde im "sehr stark sauer" bis "stark saueren" Bereich. Die pH-Werte der Teeböden stimmen mit den pH-Werten überein, die von GÜLCUR (1958) und ÜNAL (1967) festgestellt worden waren. Diese niedrigen pH-Werte der untersuchten Böden sind in erster Linie durch Klima, Vegetation und Muttergestein bedingt. Die besonders im Teegebiet sehr hohen Niederschläge (siehe: 2.2.1 Klima) führen zu einer sehr starken Auswaschung der Alkali- und Erdalkalitionen. Durch karbonatfreies Muttergestein (Basalt) und durch unter humiden Bedingungen entwickelte Roh- bzw. Moderhumus wird die Reaktion der Böden weiter herabgesetzt. Eine sehr schwache Zunahme der pH-Werte mit der Tiefe (Abb. 5) ist auch auf die besonders starke Auswaschung aus den oberen Horizonten zurückzuführen. Diese Eigenschaft ist besonders bei den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden deutlich zu sehen. Mit Ausnahme der obersten Horizonte sind in den einzelnen Horizonten der Teebodenprofile keine wesentlichen Schwankungen der pH-Werte festzustellen.

4.1.2 Korngrößenverteilung

Die Körnung und die Verteilung der einzelnen Korngrößen in einem Boden ist ein wesentlicher Faktor für die Ertragsfähigkeit und gibt wertvolle Hinweise auf boden-genetische Prozesse. Für den organischen Anteil eines Bodens, d.h. für die Verteilung bzw. Dynamik der Huminstoffe haben die mineralischen Bestandteile, die sich in den unterschiedlichen Korngrößenklassen befinden, eine große Bedeutung. Obwohl die Struktur des Ausgangsmaterials auf die Körnung eines Bodens eine große Wirkung ausübt, sind doch die bodenbildenden Faktoren von übergeordneter Bedeutung.

Die hohe Niederschlagsmenge im türkischen Teegebiet verursacht eine starke Tonverlagerung in den Böden. Wie man in Tabelle 3 sehen kann, nimmt in allen Teebodenprofilen der Tongehalt mit der Tiefe stark zu. Das entspricht auch ÜNAL's (1967) Angaben. Diese Eigenschaft ist in Abb. 6 auch als Tiefenfunktion zu erkennen. Bei dem 2. Teebodenprofil sieht man zuerst mit der Tiefe eine starke Zunahme des Tongehaltes, aber in dem letzten Horizont nimmt der Tongehalt plötzlich wieder ab. Dafür sollten zwei Faktoren ausschlaggebend sein: erstens fängt in dieser Tiefe verwittertes Muttergestein (aber noch kein Boden) an, das heißt, es gibt viele grobe Körner, die immer noch die Struktur des Muttergesteins haben und von den bodenbildenden Prozessen noch nicht stark angegriffen sind, zweitens wird wegen schlechter Drainagebedingungen in dieser Tiefe die Verlagerung von den oberen Horizonten gestoppt. Der Schluffgehalt in den Teeböden ist immer höher als der Sandgehalt. Der Sandgehalt nimmt mit der Tiefe ab. Die Zunahme des Sandgehaltes in den unteren Horizonten des 1. bzw. 2. Teebodenprofils ist auf die Verwitterungsverhältnisse in diesen Tiefen zurückzuführen.

Im 1., 2. und 3. Teebodenprofil ist auch der Schluffgehalt in den oberen Horizonten höher als der Tongehalt. Mit der Zunahme des Tongehaltes mit der Tiefe, nimmt der Schluffgehalt ab und ist in mittlerer Profiltiefe geringer als der Tongehalt. Im 2. Teebodenprofil nimmt der Schluffgehalt in der tiefsten Probe aufgrund der speziellen Verwitterungsverhältnisse wieder zu. Im 4. Teebodenprofil ist der Schluffgehalt immer höher als der Tongehalt und zeigt mit Zunahme des Tongehaltes eine schwache Abnahme, aber er nimmt dann mit der Tiefe wieder zu. Außerdem hat dieses Profil besonders in den oberen Horizonten den höchsten Sandgehalt unter den Teebodenprofilen. Der Grund für diese Eigenschaft ist eine gleichmäßige Verteilung unverwitterter Quarzkörner in diesem Profil (siehe Profilbeschreibungen).

Tabelle 3. Die Korngrößenverteilung (in % vom Boden)

	Horizont	Tiefe (cm)	Ton(%) < 2 μ	Schluff(%) 2-63 μ	Sand(%) > 63 μ
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	20.5	44.4	35.1
	A ₁₁	5-15	20.3	39.7	40.1
	A ₁₂	15-30	41.4	35.3	23.3
	B	30-42	51.7	33.0	15.3
	C	42-65	52.6	28.1	20.3
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	29.1	38.0	33.0
	A ₁₂	10-25	50.0	39.6	10.4
	A ₃ (B ₁)	25-50	68.6	28.8	2.57
	B	50-85	67.1	29.1	3.83
	C	85-120	47.7	39.5	12.8
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	35.4	44.3	20.3
	A ₁₂	10-20	33.3	42.1	24.7
	B ₁	20-40	47.6	37.3	15.1
	B ₂	40-55	51.5	32.8	15.7
	C	55-85	61.7	32.7	5.56
Teeboden P4	A ₁₁	0-10	11.8	50.4	37.9
	A ₁₂	10-20	22.0	48.0	30.0
	A ₁₂	20-40	29.7	42.9	27.4
	B	40-60	34.0	49.4	16.6
	C	60-80	42.7	49.9	7.40
Basalt- braunerde	A _h	0-5	27.3	67.0	5.70
	A _h	5-15	26.9	65.6	7.50
	A _h	15-30	23.5	66.1	10.4
	B _v	30-45	20.0	67.7	12.3
	C	45-60	15.4	66.1	18.5
Locker- braunerde	A _h	0-4	32.0	60.9	7.10
	A _h B _v	4-18	34.0	59.2	6.88
	B _{v1}	18-45	31.8	58.5	9.69
	B _{v2}	45-65	24.4	66.7	8.84
	IIB _{v1}	65-90	27.1	62.2	10.7

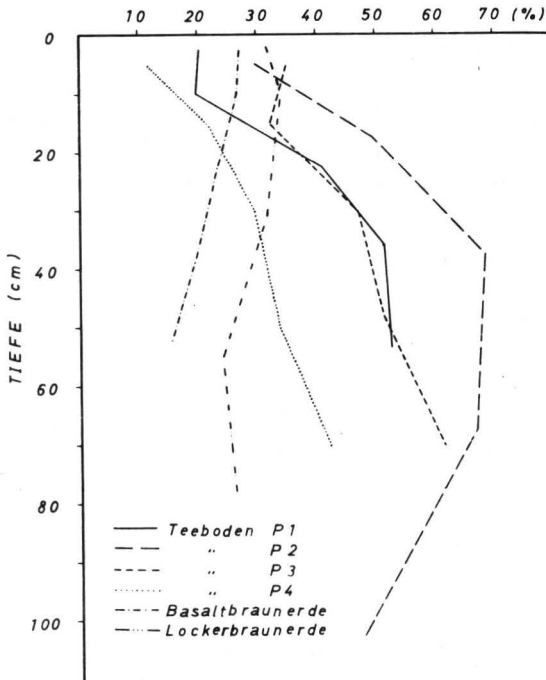


Abb. 6: Tongehalt (in % Boden) in den untersuchten
Profilen als Tiefenfunktion

In dem deutschen Basaltbraunerdeprofil ist der Tongehalt nicht so hoch wie in den Teebodenprofilen und die Verteilung der Tonanteile im Profil sieht anders aus. In diesem Profil sieht man eine höhere Verwitterungsintensität in den oberen Bodenhorizonten und der Tongehalt nimmt mit der Tiefe ab (von 27.3 auf 15.4 %) (Tabelle 3 und Abb. 6). Der Schluffgehalt dagegen ist hoch (bis 67.7 %) und zeigt eine ziemlich gleichmäßige Verteilung im Profil. Der Sandgehalt im Profil verhält

sich umgekehrt wie der Tongehalt; er nimmt mit der Tiefe zu.

Wenn man dieses Gesamtbild betrachtet, stellt man fest, daß im Basaltbraunerdeprofil erstens keine Tonverlagerung stattgefunden hat und die Zerkleinerung der Teilchen, besonders von Schluff zu Ton, nicht so weit fortgeschritten ist wie bei den Teeböden. Für diese Eigenschaft dürfte das Klima und die Entwicklungsdauer von ausschlaggebender Bedeutung sein.

Im Lockerbraunerdeprofil zeigt der Tongehalt (Abb. 6) zuerst eine schwache, unregelmäßige Abnahme mit der Tiefe und dann eine Zunahme (im II Bv₁ 65-90 cm). Der Schluffgehalt ist im ganzen Profil hoch (bis zu 66.7 %), zeigt aber keine besondere Schwankung im Profil. Der Sandgehalt zeigt im Profil leichte Veränderungen. Er bleibt in den oberen vier Horizonten zwischen 7.08 - 9.69 %, aber in 65-90 cm (II Bv₁) Tiefe steigt er auf 10.7 % an.

Nach SCHÖNHALS (1957 a) sind diese Lockerbraunerden aus einem lößartigen Material der jüngeren Tundrazzeit auf Solifluktionsschutt aus Lößlehm, Basalt und vulkanischen Verwitterungsprodukten, hervorgegangen. SCHWERTMANN und NIEDERBUDDE (1969) weisen auf eine starke Lößvermischung in diesen Böden hin. Nach MEYER und SAKR (1970 b) sind diese Böden aus einem geringmächtigen, äolischen Decksediment der jüngeren Tundrazzeit hervorgegangen. Das umgelagerte Lößmaterial wird als dominierende Materialkomponente des Decksediments bezeichnet. Nach den Untersuchungen von POETSCH (1973) besteht das Ausgangsmaterial im Decksediment aus Löß, Basalt- und Basalttuffverwitterungsprodukten sowie Laacher See-Tuff.

Diese Ausführungen zeigen, daß Löß und dessen umgelagerte Verwitterungsprodukte auf einer Solifluktionsschicht wesentliche Komponenten des Ausgangsmaterials der Locker-

braunerde bilden. Dieses Ausgangsmaterial dürfte der Grund für den hohen Schluffgehalt dieses Profils sein. Für die Zunahme des Tongehaltes (relative Zunahme) und Sandgehaltes (absolute Zunahme im II Bv₁ Horizont (65-90 cm)) ist vermutlich die unter dem Decksediment liegende Solifluktionsschicht (ab -65 cm) verantwortlich. Diese Aussagen stimmen mit den Angaben von AKINCI (1973) überein.

4.1.3 Austauschkapazität und austauschbare Kationen

Der Kationenaustausch ist von wesentlicher Bedeutung für die wichtigsten Bodeneigenschaften. Die austauschbaren Kationen beeinflussen das Bodengefüge, den Wasser- und Lufthaushalt der Böden, die biologische Aktivität bzw. die Humusbildung, die Bodenreaktion sowie genetische Vorgänge in Böden und damit die Bildung verschiedener Bodentypen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1970). Die wichtigsten Austauscher der Böden sind die Tonminerale und die organische Substanz. Die Austauschfähigkeit der organischen Substanz gewinnt in humusreichen und tonarmen Böden eine besondere Bedeutung (FLAIG et al. 1954, 1963). Ferner haben in manchen Fällen auch Hydroxo-Al-Polymere bzw. Al- und Fe-oxide eine große Bedeutung für diese Eigenschaft.

Totale Austauschkapazität (A_{k_t}). Die Austauschkapazität der untersuchten Teeböden bewegt sich zwischen 11.8 und 55.3 mval/100 g Boden, der Basaltbraunerde zwischen 17.2 und 46.7 mval/100 g Boden und der Lockerbraunerde zwischen 18.1 und 81.9 mval/100 g Boden (Tabelle 4). Diese Werte sind in Abb. 7 als Tiefenfunktion gezeichnet. Wie man in Tabelle 4 bzw. in Abb. 7 sehen kann, befinden sich in allen Profilen die höchsten Werte in den oberen Horizonten.

Tabelle 4. Totale Austauschkapazität (AK_t = T-Wert), austauschbare Kationen, S-Wert (mval/100 g Boden) und V-Wert (%)

	Horizont	Tiefe (cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	(T-S)-Wert [H ⁺ (+Al ⁺⁺⁺)]	T-Wert (AK_t)	S-Wert	V-Wert(%) der AK_t
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	0.14	0.50	1.43	0.51	52.8	55.3	2.56	4.63
	A ₁₁	5-15	0.10	0.31	0.83	0.30	43.5	45.0	1.54	3.42
	A ₁₂	15-30	0.13	0.16	1.25	0.43	33.5	35.5	1.97	5.54
	B	30-42	0.16	0.11	1.03	0.36	22.5	24.2	1.67	6.88
	C	42-65	0.27	0.19	0.78	0.62	19.4	21.3	1.86	8.75
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	0.19	0.41	2.83	1.33	44.4	49.1	4.75	9.67
	A ₁₂	10-25	0.15	0.31	0.86	0.40	32.9	34.6	1.73	4.99
	A ₃ (B ₁)	25-50	0.27	0.24	1.42	0.37	15.0	17.3	2.30	13.3
	B	50-85	0.23	0.27	1.16	0.37	23.5	25.5	2.03	7.96
	C	85-120	0.25	0.16	1.13	0.31	22.4	24.2	1.84	7.59
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	0.16	0.46	2.15	1.06	45.3	49.1	3.84	7.81
	A ₁₂	10-20	0.19	0.38	1.04	0.47	46.3	48.4	2.07	4.27
	B ₁	20-40	0.22	0.27	1.56	0.37	29.1	31.5	2.42	7.68
	B ₂	40-55	0.23	0.24	1.59	0.36	21.8	24.2	2.43	10.0
	C	55-85	0.26	0.22	1.54	0.49	13.5	16.0	2.52	15.7

Teeboden P4	A ₁₁	0-10	0.21	0.41	1.45	0.45	40.7	43.2	2.52	5.83
	A ₁₂	10-20	0.10	0.11	0.42	0.14	25.3	26.1	0.78	2.97
	A ₁₂	20-40	0.15	0.03	0.97	0.35	10.3	11.8	1.50	12.7
	B	40-60	0.04	0.05	0.88	0.36	11.4	12.7	1.32	10.4
	C	60-80	0.13	0.11	1.11	0.77	18.5	20.6	2.12	10.3
Basalt- braunerde	A _h	0-5	0.10	0.45	2.50	0.79	42.9	46.7	3.85	8.23
	A _h	5-15	0.11	0.40	3.21	0.86	37.3	41.9	4.57	10.9
	A _h	15-30	0.15	0.32	6.13	1.79	31.1	33.5	8.39	25.0
	B _v	30-45	0.20	0.19	7.25	2.65	18.8	22.5	10.3	45.7
	C	45-60	0.22	0.16	7.13	3.71	10.6	17.2	11.2	65.0
Locker- braunerde	A _h	0-4	1.00	0.60	0.70	0.50	79.1	81.9	2.80	3.42
	A _h B _v	4-18	0.05	0.10	0.20	0.10	40.5	40.9	0.45	1.22
	B _{v1}	18-45	0.04	0.10	0.03	0.10	21.5	21.8	0.27	1.37
	B _{v2}	45-65	0.03	0.10	0.10	0.10	17.8	18.1	0.33	2.20
	IIB _{v1}	65-90	0.02	0.05	1.50	2.60	22.1	26.3	4.17	15.5

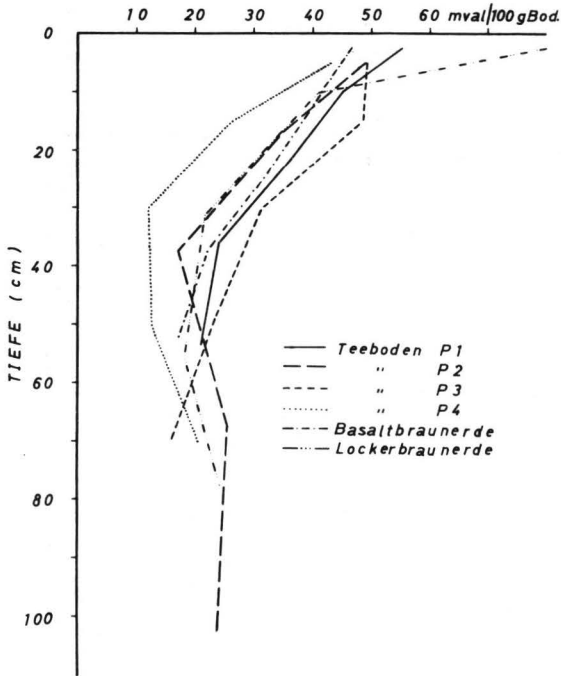


Abb. 7: Totale Austauschkapazität (AK_t - in mval/100 g Boden)
in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

Wenn man die Tiefenfunktionen der Teeböden betrachtet, sieht man, daß bei allen Profilen AK_t mit der Tiefe zuerst stark abnimmt, obwohl der Tongehalt mit der Tiefe ansteigt, dann aber wieder zunimmt. Hierbei bildet der Teeboden P3 eine Ausnahme. Für die Abnahme von AK_t in den oberen Horizonten dürfte die Abnahme der organischen Substanz verantwortlich sein, wie auch ÜNAL (1967) beobachtet hat. Die weitere Zunahme von AK_t mit

der Tiefe ist vermutlich auf den zunehmenden Tongehalt, der in diesen Tiefen den größten Teil der Austauschfunktion übernimmt, zurückzuführen. Im untersten Horizont des 2. Teebodenprofils zeigt die AK_t wieder eine leichte Verringerung, was mit der Abnahme des Tongehaltes parallel geht. AK_t zeigt in der Basaltbraunerde eine regelmäßige Abnahme mit der Tiefe, das entspricht dem abnehmenden Ton- bzw. Humusgehalt. Die Tiefenfunktion von AK_t in der Lockerbraunerde verläuft wie bei den Teebodenprofilen P1, P2, P4 und zeigt in dem untersten Horizont auch eine Zunahme. Allerdings handelt es sich hier um den Einfluß eines Wechsels des Ausgangsmaterials, bzw. eine Zunahme an Ton.

Austauschbare Kationen, S- und V-Wert

Alle Teeböden besitzen geringe Mengen an austauschbaren Alkali- und Erdalkalikationen. Dagegen sind H- bzw. Al-Kationen hauptaustauschbare Kationen. Die Sorptionsreihe der Kationen ist wie folgt:



Wie man in Tabelle 4 sehen kann, bilden die Na-Kationen den geringsten Anteil, was auf ihren geringen Gehalt im Ausgangsmaterial, die starke Auswaschung und die geringe Haftfestigkeit zurückzuführen ist. In den meisten Teeböden nimmt der Gehalt der austauschbaren Na-Kationen mit der Tiefe schwach zu. Dagegen zeigen die sorbierten K-Kationen eine umgekehrte Verteilung und nehmen mit der Tiefe ab. Die Verteilung der Mg-Kationen in den Profilen zeigt keine regelmäßige Ab- oder Zunahme. Die sorbierten Ca-Kationen nehmen aber mit der Tiefe ab. Was hier interessant scheint, ist eine sehr starke Abnahme der sorbierten Ca-Kationen in allen Profilen zwischen der ersten und zweiten Probenahmetiefe. In allen Teebodenprofilen treten H (+Al)-Kationen als dominierende Kationen auf, und der Gehalt an diesen Kationen nimmt mit der Tiefe bei gleichzeitig zunehmendem pH-Wert ab.

Während in allen Teeböden die Summe der alkalischen Kationen (S-Wert) mit der Tiefe abnimmt, nimmt der V-Wert zu. Das heißt, die Basensättigung nimmt mit der Tiefe zu. Trotz dieser Zunahme des V-Wertes bleibt H(+Al) dominantes Kation (höchster V-Wert 15.7).

Bei der Basaltbraunerde ist die Sorptionsreihe wie bei den Teeböden:



Die Na-, H(+Al)-Kationen nehmen mit der Tiefe ab und die K-, Mg-, Ca-Kationen zu. Aber der S-Wert nimmt mit der Tiefe stark zu. Für diese Zunahme sind hauptsächlich die mit der Tiefe stark zunehmende Ca- bzw. Mg-Kationen verantwortlich. Der V-Wert nimmt im Basaltbraunerdeprofil ebenfalls mit der Tiefe zu. Der V-Wert in der Tiefe 45-60 cm steigt sogar auf 65.0 % an. Die Basaltbraunerde hat den größten Basensättigungsgrad unter allen untersuchten Profilen.

Bei der Lockerbraunerde ist die Sorptionsreihe wie folgt:



Die Tiefenfunktion der H(+Al)-Kationen zeigt im Lockerbraunerdeprofil eine Abnahme und in dem letzten Horizont wieder eine Zunahme. Die Mengen an anderen Kationen bzw. die S-Werte sind außer im ersten und letzten Horizont sehr gering. Für den Anstieg in dem letzten Horizont ist vermutlich, wie bei AK_t , der Einfluß des Muttergesteinswechsels verantwortlich. Die Verteilung des V-Wertes entspricht der Verteilung der Kationen.

Reale Austauschkapazität (AK_r) und sorbiertes Al:

Die starke H-Verdrängung durch eine Lösung von BaCl_2 -Triäthanolamin (gepufferte Ba-Austauschlösung) beruht auf der stark basischen Reaktion ($\text{pH} = 8.1$) und damit dem starken Austauschvermögen des Triäthanolamins. Bei

dem Austausch mit reiner Chloridlösung (ungepuffert) wird dagegen nur eine sehr geringe Menge an H-Ionen freigesetzt. Man bezeichnet den mit einer Chloridlösung (z.B. BaCl_2) erhaltenen Wert als reale (oder effektive) Austauschkapazität (AK_r), weil er fast nur die austauschbaren Basen und besonders Al-Kationen (natürlich überwiegend in den sauren Böden) erfaßt, nicht dagegen den dissoziationsfähigen Wasserstoff. AK_r entspricht demnach dem Kationenbelag, den ein Boden bei einem bestimmten pH aufweist (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1970).

Der pH-Wert (KCl) aller Vergleichsprofile bzw.-Proben liegt zwischen 3.20 und 4.83. Bei diesen pH-Werten ist die Austauschkapazität reduziert. Die Differenz ($\text{AK}_t - \text{AK}_r$) kann durch die Abnahme der pH-abhängigen negativen Ladung der organischen Substanz, der kristallinen Ton-Komponente und der amorphen oberflächensorptionsaktiven Komponenten (Fe-Sesquioxide bzw. Allophane), sowie die Zunahme der positiven Ladung der PAHAK (Polymere-Aluminium-Hydroxo-Aquo-Komplex)-Kationen-Hüllen, die negative Ladungen des Sorptionsträgers blockieren (MEYER und SAKR 1970 a), bedingt sein.

Teeböden: Wie man in Tabelle 5 sehen kann, sind die AK_r -Werte der Teeböden erheblich niedriger als die AK_t -Werte. Die Tiefenfunktionen des ersten, zweiten und vierten Teebodenprofils zeigen erst eine Abnahme und dann wieder eine Zunahme, im dritten Profil erfolgt nur eine regelmäßige Abnahme. Der mit ungepuffelter BaCl_2 -Lösung austauschbare Al-Anteil ist in allen Teeböden groß und die Tiefenfunktionen der AK_r -Werte hängt von der Verteilung dieses Anteils ab. Diese Werte stimmen mit den Ergebnissen an den Krasnosemen in Rußland (West-Kaukasus) überein (GERASIMOV und ROMASHKEVICH 1967). Der Anteil der austauschbaren Wasserstoffionen an AK_r ist, wie von ULRICH (1966) und MEYER und SAKR (1970 a) in ähnlichen

Tabelle 5. Reale Austauschkapazität (AK_r), sorbiertes Al ($mval/100\text{ g Boden}$), Beziehungen zwischen AK_r und AK_t und AK_r anderen austauschbaren Kationen

	Horizont	Tiefe (cm)	AK_r	sorb. Al^{+3} = $AK_r -$ (S-Wert) $+H^+$ in AK_r	H^+ in AK_r	$\frac{AK_t - AK_r}{AK_t}$	in % der AK_r					
							Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	H^+	Al^{+++}
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	13.5	10.7	0.22	0.757	1.00	3.67	10.6	3.76	1.66	79.3
	A ₁₁	5-15	10.0	8.29	0.17	0.778	0.98	3.13	8.33	2.96	1.70	82.9
	A ₁₂	15-30	8.74	6.51	0.27	0.754	1.43	1.83	14.3	4.94	3.07	74.4
	B	30-42	10.4	8.45	0.26	0.572	1.57	1.08	9.94	3.47	2.46	81.5
	C	42-65	11.8	9.72	0.25	0.444	2.30	1.62	6.60	5.22	2.10	82.2
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	17.0	12.0	0.22	0.655	1.11	2.41	16.7	7.83	1.32	70.7
	A ₁₂	10-25	11.7	9.76	0.16	0.663	1.30	2.69	7.41	3.42	1.39	83.8
	A ₃ (B ₁)	25-50	10.4	7.86	0.21	0.400	2.62	2.31	13.7	3.52	2.03	75.8
	B	50-85	11.8	9.58	0.23	0.536	1.98	2.30	9.77	3.09	1.93	80.9
	C	85-120	9.46	7.41	0.21	0.609	2.59	1.69	11.9	3.26	2.22	78.4
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	17.6	13.6	0.17	0.641	0.93	2.63	12.2	6.02	0.96	77.3
	A ₁₂	10-20	16.4	14.1	0.17	0.662	1.15	2.30	6.34	2.84	1.06	86.3
	B ₁	20-40	15.5	12.8	0.24	0.509	1.40	1.76	10.1	2.36	1.52	82.9
	B ₂	40-55	15.0	12.3	0.22	0.381	1.56	1.60	10.6	2.40	1.49	82.3
	C	55-85	7.28	4.58	0.19	0.546	3.59	2.98	21.2	6.77	2.58	62.9

Teeboden p4	A ₁₁	0-10	13.5	10.8	0.18	0.688	1.54	3.04	10.8	3.36	1.36	79.9
	A ₁₂	10-20	6.12	5.22	0.13	0.765	1.70	1.78	6.83	2.35	2.04	85.3
	A ₁₂	20-40	3.00	1.33	0.17	0.746	5.07	1.07	32.3	11.7	5.57	44.3
	B	40-60	10.4	8.83	0.22	0.186	0.41	0.46	8.44	3.42	2.15	85.1
	C	60-80	18.2	15.8	0.30	0.115	0.69	0.62	6.12	4.24	1.64	86.7
Basalt braunerde	A _h	0-5	15.1	11.0	0.25	0.676	0.69	3.00	16.5	5.21	1.67	72.9
	A _h	5-15	12.5	7.69	0.24	0.701	0.87	3.16	25.7	6.86	1.89	61.6
	A _h	15-30	11.9	3.33	0.19	0.645	1.28	2.69	60.9	15.0	1.58	27.9
	B _v	30-45	11.6	1.21	0.11	0.485	1.69	1.66	62.5	22.9	0.91	10.4
	C	45-60	11.5	0.28	0.05	0.331	1.88	1.39	61.7	32.2	0.42	2.41
Locker- braunerde	A _h	0-4	27.9	23.9	1.19	0.660	3.59	2.15	2.51	1.80	4.25	85.7
	A _h B _v	4-18	5.46	4.44	0.52	0.867	1.83	1.83	3.66	1.83	9.52	81.3
	B _{v1}	18-45	3.28	2.68	0.34	0.850	3.05	3.05	1.76	3.05	10.3	81.7
	B _{v2}	45-65	2.73	2.03	0.30	0.850	3.66	3.66	3.66	3.66	10.9	74.4
	IIB _{v1}	65-90	7.28	2.90	0.28	0.724	1.37	1.37	20.6	35.7	3.89	39.8

Böden festgestellt worden war, vernachlässigbar klein. Der Vergleich von AK_r mit AK_t ($AK_t - AK_r / AK_t$) zeigt, daß es besonders in den oberen Horizonten eine große relative Differenz gibt. Das ist auf niedrigen pH-Wert und hohen Humusgehalt zurückzuführen. Diese Differenz nimmt im allgemeinen mit der Tiefe ab, aber in dem zweiten und dritten Profil nimmt sie mit der Tiefe wieder zu. Für diese Zunahme dürfte die positive Ladungszunahme an anorganischen Sorptionskomponenten der Böden verantwortlich sein. Die prozentualen Anteile der austauschbaren Kationen an AK_r zeigen in den meisten Teebodenprofilen folgende Reihe:



Der prozentuale Anteil der Al-Kationen steigt in vielen Proben auf über 80 % (bis 86.7 %) und nur in einer Probe bleibt er unter 60 % (44.3 %). Dagegen steigt der Gehalt an Ca-Kationen nur einmal bis 32.3 % (4. Profil 20-40 cm), sonst bleibt er um 10 % der AK_r .

Basaltbraunerde: Das Basaltbraunerdeprofil zeigt wie die Teeböden erheblich niedrigere AK_r als AK_t (Tabelle 5). Die Tiefenfunktion von AK_r zeigt aber eine sehr schwache Abnahme. Was hier interessant erscheint, ist die sehr starke Abnahme der austauschbaren Al-Anteile mit der Tiefe. Der Grund für diese Abnahme dürften die Verwitterungsbedingungen bzw. die relativ große Menge an adsorbierten Erdalkalikationen (besonders in den unteren Horizonten) sein. Der Anteil der austauschbaren Wasserstoffionen an AK_r ist, wie bei den Teeböden, vernachlässigbar klein. Der Vergleich von AK_r mit AK_t ($AK_t - AK_r / AK_t$) zeigt eine ziemlich große relative Differenz (wie bei den Teeböden) die mit der Tiefe kleiner wird. Die prozentualen Anteile der austauschbaren Kationen an AK_r zeigt folgende Reihe (Gesamtmenge im Profil):



Diese Summenwertreihe zeigt, daß in der Summe Ca alle anderen Kationen übertrifft, da in diesem Profil die Sorptionskomplexe trotz hoher Anteile austauschbarer Al-Kationen (oben 72.9 %, unten 2.41 %), besonders in den unteren Horizonten, überwiegend mit Ca- bzw. Mg-Kationen (allein Ca über 60 %) belegt sind.

Lockerbraunerde: Die AK_r -Werte der Lockerbraunerde sind wie bei den Teeböden erheblich niedriger als die AK_t -Werte (Tabelle 5). Diese Werte nehmen mit der Tiefe sehr stark ab (von 27.9 zu 2.73) und im untersten Horizont wieder schwach zu (von 2.73 zu 7.28). Diese Abnahme ist auch für den Al-Gehalt gültig. Der Anteil an austauschbaren H-Ionen an AK_r ist auch wie bei den anderen Profilen sehr gering. Der Vergleich von AK_r mit AK_t ($AK_t - AK_r / AK_t$) zeigt, besonders in den mittleren Horizonten, die größte relative Differenz von allen untersuchten Böden (AK_r beträgt 86.7 % von AK_t). Die Tiefenfunktion dieser Eigenschaft zeigt keine besondere Schwankung. Die prozentualen Anteile der austauschbaren Kationen an AK_r zeigt folgende Reihe (Gesamtmenge im Profil):

$$K, Na < Ca < H < Mg < Al$$

Der prozentuale Anteil der Al-Kationen steigt, wie bei den Teeböden, über 80 % und nimmt mit der Tiefe ab. Besonders im untersten Horizont nehmen die prozentualen Anteile der Erdalkalikationen stark zu ($Ca + Mg = 20.6 + 35.7 = 56.3$ %), wobei $H + Al$ unter 50 % bleibt ($3.89 + 39.8 = 43.7$ % $H + Al$). Das zeigt, daß in der Lockerbraunerde der untere Horizont (Solifluktionsschicht) sich auch in dieser Beziehung von den anderen Horizonten stark unterscheidet, was auf den Wechsel des Muttergesteins zurückzuführen ist.

Austauschkapazität der mineralischen (AK_m) und organischen Anteile (AK_o):

Während der H_2O_2 -Behandlung der Proben treten einige wichtige Veränderungen bei den mineralischen Austauschern auf. So werden die negativen Ladungen, die vorher durch die organischen Moleküle belegt waren, teils wieder frei (d.h. Erhöhung der AK_m). Infolge von Disper-sion werden neue reaktionsfähige Oberflächen freigelegt. Außerdem ist es bei den besonders ton- bzw. eisen-oxidreichen Proben praktisch fast unmöglich, die C-Verbindungen, die mit Ton oder mit Fe gekoppelt sind, vollständig zu oxidieren (HEINONEN 1960). Deswegen haben nach der H_2O_2 -Behandlung gefundene absolute AK_m bzw. AK_o -Werte für eine genauere Aussage wenig Bedeutung. Aus diesem Gesichtspunkt heraus sollten diese Werte nur zu einem relativen Vergleich der Proben bzw. Profile herangezogen werden.

Türkische Teeböden: Wenn man bei den türkischen Teeböden (Tabelle 6) die absoluten AK_m - und AK_o -Werte betrachtet, sieht man, daß in den oberen Horizonten die AK_o -Werte größer sind als die AK_m -Werte. Mit der Tiefe übernimmt aber der mineralische Anteil über 90 % des Gesamtaus-tausches.

Die AK_o -Werte nehmen mit der Tiefe stark ab, wobei die AK_m -Werte konstant bleiben oder sogar zunehmen (wegen hohen Tongehalts). Die AK_t -Werte vom Ton (mval/100 g Ton) zeigen besonders in den oberen Horizonten ungewöhnlich hohe Werte, die vermutlich auf am Anfang dieses Abschnittes genannte Faktoren zurückzuführen sind. Die AK_t -Werte des Humus (mval/100 g Humus) sind in den oberen Horizonten im ersten und vierten Profil unter 210 mval/100 g Humus und im zweiten und dritten Profil unter 140 mval/100 g Humus. Im Vergleich mit Werten von GORBUNOW (zit. FLAIG et al. 1963) entsprechen diese Werte schwach bis mittel podsoliierten A_p - A_1 -Horizonten. Die Teebodenprofile zeigen sonst in dieser Richtung kein einheitliches

Bild. Im zweiten und vierten Profil sind in den mittleren Horizonten starke Abnahmen und dann Zunahmen der AK_o -Werte zu beobachten, das ist vermutlich auf den Charakter der organischen Stoffe zurückzuführen. Hier sind vermutlich stark austauschfähige organische Moleküle immer noch in schwer oxidierbarer Form an anorganische Bestandteile gebunden und erhöhen die Austauschkapazität des mineralischen Anteils. Deswegen sind die AK_t -Werte des Humusanteils zu niedrig.

Basaltbraunerde: Bei der Basaltbraunerde ist die Abnahme der AK_o -Werte nicht so stark wie bei den Teeböden (Tabelle 6). Die AK_m -Werte bleiben ziemlich konstant. In diesem Profil macht der Humus in dem tiefsten Horizont immer noch über 20 % des Gesamtaustausches aus. Die Austauschkapazität vom Ton (mval/100 g Ton) ist in dem ganzen Profil ungewöhnlich hoch, was auf die Vorbehandlung der Proben und die Humusart zurückzuführen wäre, und zeigt im Gegensatz zu den Teeböden mit der Tiefe kaum Veränderungen. Die Austauschkapazität vom Humus (mval/100 g Humus) ist in den oberen Horizonten etwa 200 mval/100 g Humus und bleibt im ganzen Profil fast unverändert.

Lockerbraunerde: Die AK_m -Werte zeigen mit der Tiefe zunächst eine leichte Ab- und dann eine Zunahme. Die AK_o -Werte nehmen zuerst stark ab und dann sehr schwach zu (Tabelle 6). Die Austauschkapazität vom Ton (mval/100 g Ton) ist im ganzen Profil höher als in den Teeböden, was auf die Vorbehandlung der Proben und die Tonart (Allophane) zurückzuführen ist, und bleibt im ganzen Profil ziemlich unverändert. Für die hohe Austauschkapazität der Tonanteile in den tieferen Horizonten dürfte ein mit der Tiefe zunehmender Allophangehalt verantwortlich sein. Die Austauschkapazität vom Humus (mval/100 g Humus) nimmt mit der Tiefe zuerst stark ab und dann wieder stark zu. Dieses Bild ist besonders mit den zweiten und vierten Teebodenprofilen vergleichbar. In dem obersten Horizont

Tabelle 6. Austauschkapazität der mineralischen (AK_m) bzw. organischen Anteile(AK_o) in mval/100 g Boden , in % der totalen^m Austauschkapazität und die totale Austauschkapazität des Tons und Humus in mval/100 g Ton bzw. Humus

	Horizont	Tiefe (cm)	AK_m	AK_o	AK_m in % der AK_t	AK_o in % der AK_t	AK_t Ton	AK_t Humus
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	16.3	39.0	29.5	70.5	79.6	209
	A ₁₁	5-15	15.7	29.3	35.0	65.1	77.6	203
	A ₁₂	15-30	22.1	13.4	62.3	37.8	53.4	184
	B	30-42	18.8	5.40	77.9	22.2	36.4	187
	C	42-65	20.4	1.00	95.6	4.37	38.7	89.3
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	24.2	24.9	49.2	50.8	83.1	139
	A ₁₂	10-25	26.4	8.20	76.3	23.7	52.9	98.7
	A ₃ (B ₁)	25-50	15.8	1.50	96.6	3.42	23.0	88.2
	B	50-85	22.8	2.72	89.3	10.7	33.9	231
	C	85-120	23.1	1.10	95.5	4.55	48.4	229
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	28.4	20.7	57.9	42.1	80.3	138
	A ₁₂	10-20	30.3	18.1	62.5	37.5	91.0	136
	B ₁	20-40	24.4	7.10	77.5	22.5	51.3	158
	B ₂	40-55	19.5	4.69	80.6	19.4	37.9	183
	C	55-85	15.1	0.90	94.6	5.38	24.5	87.4

Teeboden P4	A ₁₁	0-10	10.1	33.1	23.4	76.7	85.8	205
	A ₁₂	10-20	16.2	9.92	62.0	38.0	73.7	128
	A ₁₂	20-40	9.40	2.40	95.2	4.84	31.7	102
	B	40-60	12.1	0.65	97.8	2.21	35.4	102
	C	60-80	19.9	0.71	96.6	3.45	46.6	132
Basalt- braunerde	A _h	0-5	23.4	23.3	50.1	49.9	85.7	175
	A _h	5-15	20.1	21.8	48.0	52.0	74.8	230
	A _h	15-30	19.7	13.8	58.7	41.3	83.7	200
	B _v	30-45	15.5	7.00	68.9	31.1	77.5	181
	C	45-60	13.5	3.70	78.5	21.5	87.7	231
Locker- braunerde	A _h	0-4	23.3	58.7	28.4	71.6	72.7	197
	A _h B _v	4-18	27.4	13.7	66.7	33.3	80.4	155
	B _{v1}	18-45	18.2	3.62	91.3	8.67	57.2	107
	B _{v2}	45-65	16.7	2.60	86.9	13.1	68.4	141
	IIB _{v1}	65-90	22.8	3.60	86.4	13.6	84.2	295

ist, wie bei den Teeböden, Hauptaustauscher der Humus (71 % vom Gesamtaustausch) aber mit der Tiefe übernimmt Ton über 90 % der Austauscherfunktion.

4.1.4 Die freien Oxide des Eisens im Boden (pedogene Fe-Oxide) (Fe_d)

Bei der Dithionit-Citrat Extraktion der Böden werden neben amorphen und kristallinen Fe-Oxiden (bzw. Hydroxiden und Oxihydraten) auch die austauschbaren und organisch gebundenen Fe-Ionen mit erfaßt. Die letzteren haben aber im Vergleich mit den amorphen und kristallinen Fe-Oxiden einen sehr geringen prozentualen Anteil an der Gesamtmenge. Die "Fe-Oxide" werden im Abschnitt 4.3 eingehender behandelt.

Der Fe-Gehalt (Fe_d) der untersuchten Böden ist in Tabelle 7 zusammengestellt und die Tiefenfunktionen der einzelnen Profile in Abb. 8. Der Eisengehalt ist in allen untersuchten Teebodenprofilen sehr hoch (zwischen 1.65 und 7.67 % Fe_d), was auf das Muttergestein zurückzuführen ist, und nimmt besonders im 1., 2. und 4. Profil, im 3. Profil sehr wenig, mit der Tiefe zu. Diese Zunahme zeigt, daß in diesen Böden neben Ton auch eine Fe-Verlagerung stattfindet. Für diese Verlagerung dürften die klimatischen Bedingungen verantwortlich sein.

Die Basaltbraunerde enthält auch viel pedogenes Eisen (zwischen 3.87 und 4.28 % Fe_d), was wie bei den Teeböden auf das Muttergestein zurückzuführen ist. Aber der Fe-Gehalt zeigt eine schwache Abnahme mit der Tiefe. Das ist auch, wie beim Ton-Gehalt in diesem Boden, ein Beweis für ungünstige Verlagerungsbedingungen. Über freie Eisenoxide in Lockerbraunerden wurde von mehreren Autoren berichtet. SCHÖNHALS (1959), BRUNNACKER (1965), PREUSSE (1969), MEYER und SAKR (1970) und AKINCI (1973)

Tabelle 7. Dithionitlösliches Eisen (Fe_d - in % vom Boden)

	Horizont	Tiefe (cm)	Fe_d		Horizont	Tiefe (cm)	Fe_d
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	2.77	Teeboden P4	A ₁₁	0-10	1.65
	A ₁₁	5-15	3.06		A ₁₂	10-20	1.84
	A ₁₂	15-30	3.07		A ₁₂	20-40	1.85
	B	30-42	3.41		B	40-60	2.27
	C	42-65	3.86		C	60-80	3.13
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	5.80	Basalt- braunerde	A _h	0-5	4.28
	A ₁₂	10-25	6.26		A _h	5-15	4.40
	A ₃ (B ₁)	25-50	5.94		A _h	15-30	4.07
	B	50-85	6.79		B _v	30-45	4.05
	C	85-120	7.67		C	45-60	3.87
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	5.40	Locker- braunerde	A _h	0-4	2.92
	A ₁₂	10-20	5.39		A _h B _v	4-18	3.67
	B ₁	20-40	5.78		B _{v1}	18-45	3.57
	B ₂	40-55	5.76		B _{v2}	45-65	3.36
	C	55-85	5.68		IIB _{v1}	65-90	6.10

haben auf den hohen Gehalt an freien Eisenoxiden in den Lockerbraunerden hingewiesen. SCHÖNHALS (1959) hat über Beziehungen zwischen dem Gehalt an pedogenem Eisen und der optimalen Lockerheit dieser Böden berichtet und diese Eigenschaft als eines der typischen Merkmale der Lockerbraunerde bezeichnet. Nach MEYER und SAKR (1970) ist aber die Anwesenheit von Allophanen für die Lockerheit von ausschlaggebender Bedeutung.

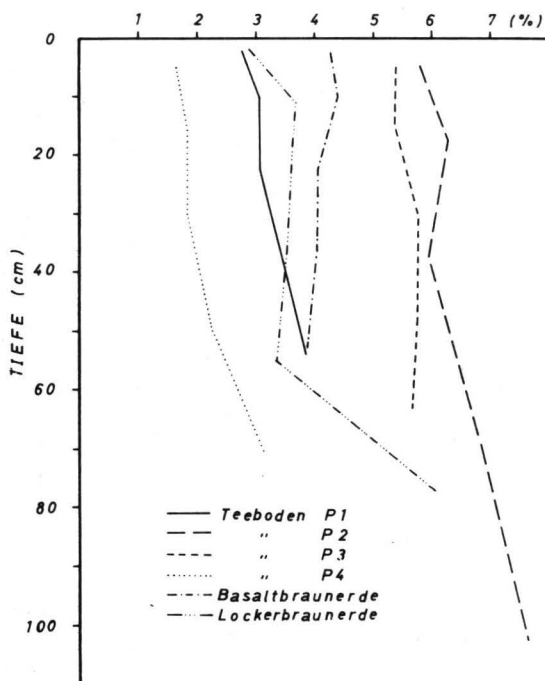


Abb. 8: Gesamt-dithionitlösliches Eisen (Fe_d in % Boden) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

Der Fe-Gehalt im untersuchten Lockerbraunerdeprofil ist mit den Daten der oben genannten Autoren im Einklang (zwischen 2.92 und 6.10 % Fe_d). Die Verteilung der freien Fe-Oxide im Profil zeigt einen parallelen Verlauf mit dem Tongehalt. Zwischen dem ersten und zweiten Horizont nimmt der Gehalt an freien Eisenoxiden zu, dann bis zum letzten Horizont ab, im letzten Horizont nimmt er wieder stark, stärker als beim Tongehalt, zu. Abgesehen von dem ersten Horizont dürfte hier von einer Fe-Verlagerung keine Rede sein.

Wenn man alle sechs untersuchten Profile gemeinsam betrachtet, ergibt sich folgende Reihe zunehmenden Fe-Gehaltes:

Teeboden P4
Teeboden P1
Lockerbraunerde
Basaltbraunerde
Teeboden P3
Teeboden P2

4.1.5 Glühverlust (GV %)

Wie bekannt, haben Glühverlust-Werte besonders bei den tonreichen Proben für eine Aussage über den Humusgehalt geringe Bedeutung. In solchen Fällen kann man nur eine sehr ungenaue Aussage machen. Tabelle 8 und Abb. 9 zeigen absolute (GV %)-Werte bzw. diese Werte als Tiefen-

Tabelle 8. Glühverlust (GV - in % vom Boden)

	Horizont	Tiefe (cm)	GV		Horizont	Tiefe (cm)	GV
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	23.2	Teeboden P4	A ₁₁	0-10	17.4
	A ₁₁	5-15	19.2		A ₁₂	10-20	10.2
	A ₁₂	15-30	13.2		A ₁₂	20-40	5.93
	B	30-42	9.91		B	40-60	6.12
	C	42-65	9.67		C	60-80	7.36
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	25.8	Basalt- braunerde	A _h	0-5	16.9
	A ₁₂	10-25	17.9		A _h	5-15	13.5
	A ₃ (B ₁)	25-50	11.9		A _h	15-30	10.9
	B	50-85	12.6		B _v	30-45	8.10
	C	85-120	12.7		C	45-60	6.11
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	23.6	Locker- braunerde	A _h	0-4	33.6
	A ₁₂	10-20	23.2		A _h B _v	4-18	9.52
	B ₁	20-40	16.5		B _{v1}	18-45	8.22
	B ₂	40-55	13.5		B _{v2}	45-65	6.40
	C	55-85	9.86		IIB _{v1}	65-90	7.93

funktionen. Sie geben einen Anhalt für die Abnahme des Humusgehaltes in allen untersuchten Profilen mit der Tiefe. Für die hohen Werte in den unteren Horizonten dürfte, besonders in den Teeböden, der hohe Tongehalt verantwortlich sein.

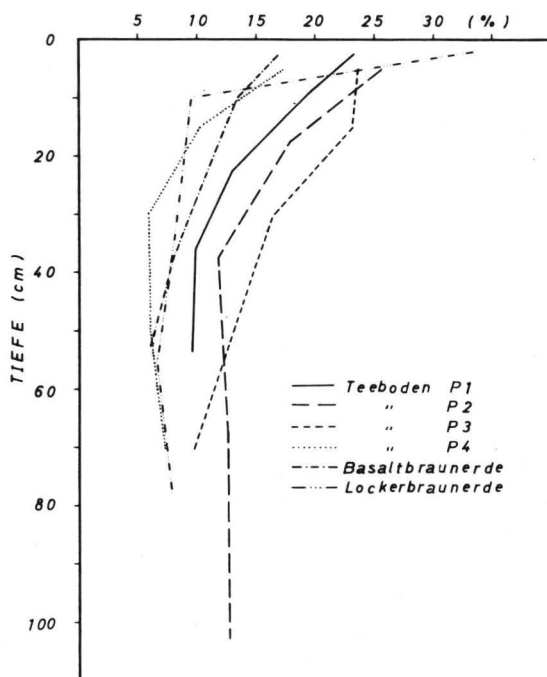


Abb. 9: Glühverlust (in % Boden) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

4.1.6 Die Beziehungen zwischen allgemeinen Kenndaten

In Abb. 10 sind für jedes Profil die allgemeinen Kenn-
daten zusammen gezeichnet worden. Diese Zeichnungen
sollen ein gemeinsames Bild für die Änderung der Para-
meter mit der Tiefe bei den einzelnen Profilen geben
und als "lebendige" Tabellen zu einem besseren, ergän-
zenden Vergleich der untersuchten Profile dienen. Die
Änderungen der einzelnen Parameter mit der Tiefe wurde
in vorausgehenden Abschnitten im einzelnen beschrieben.
Aus der Abb. 10 sieht man, daß die Teeböden im Haupttee-
baugebiet P1, P2 und P3 untereinander ein ähnliches Bild
zeigen, dagegen besteht zwischen dem Teeboden des Neben-
teebaugebietes (P4) und Lockerbraunerde einige Ähnlich-
keit. Die Basaltbraunerde unterscheidet sich von allen
anderen Profilen.

4.2 Die Ergebnisse der chemischen Analyse von Humin- stoffsystemen

4.2.1 Gesamt C-Gehalt im Boden (C-GES)

Zur organischen Substanz der Böden gehören alle in und
auf dem Boden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen
und tierischen Stoffe und deren organische Umwandlungs-
produkte (SCHEFFER und SCHACHSCHABEL 1970). Eine exakte
Bestimmung der Menge der organischen Substanz in den Bö-
den ist aus verschiedenen Gründen nicht möglich. Bei der
Probenahme werden z.B. lebendige Organismen (wie kleine
Tiere, lebende Wurzeln usw.), die später bei der Be-

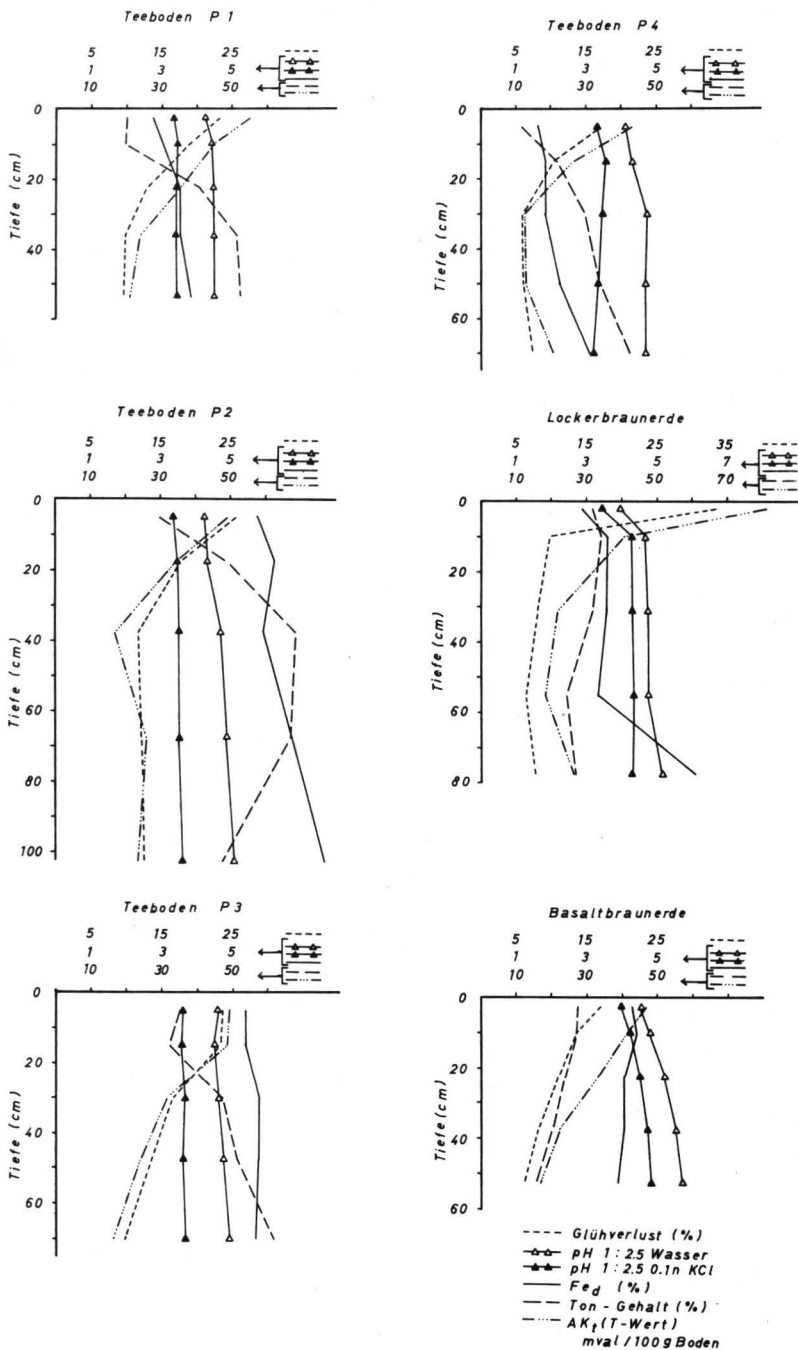


Abb. 10: Allgemeine Kenndaten der untersuchten Profilen
gemeinsam als Tiefenfunktion

stimmung zu den abgestorbenen Teil gehören, mitgenommen. Dieser Faktor ist praktisch unvermeidbar. Die direkte Bestimmungsmethoden der organischen Substanz (wie Glühverlust) liefern, auch besonders bei den tonreichen Proben, keine richtigen Daten. Deswegen wird allgemein als ein Maß für die Menge an organischen Stoffen im Boden der Kohlenstoffgehalt des Bodens verwendet.

Die Bestimmung des C-Gehaltes erfolgt entweder durch Oxidation auf trockenem Wege und Bestimmung des gebildeten CO_2 oder durch Oxidation auf nassem Wege mit einer Lösung von Dichromat-Schwefelsäure und Bestimmung des Chromatverbrauches. Obwohl beide Methoden gute Übereinstimmung haben (DE LEENHEER et al. 1958), hat jede Methode Vor- und Nachteile, die in der folgenden Tabelle zusammengefaßt sind:

Methoden	Vorteil	Nachteil
NASSE VERBRENNUNG	Keine Störung durch Karbonat-Kohlenstoff	Einfluß von Fe (II) bzw. Mn(II) Ionen auf die Oxidation unvermeidbar und der Oxidationsgrad der organischen Substanz beeinflusst den Chromat-Verbrauch.
TROCKENE VERBRENNUNG	100 % richtige Bestimmung des im Boden vorhandenen Kohlenstoffs, kein Einfluß der bei der nassen Verbrennung genannten Nachteile.	Falls in der Probe anorganisch gebundener Kohlenstoff (z.B. Karbonate) vorhanden ist, wird dieser auch mit erfaßt.

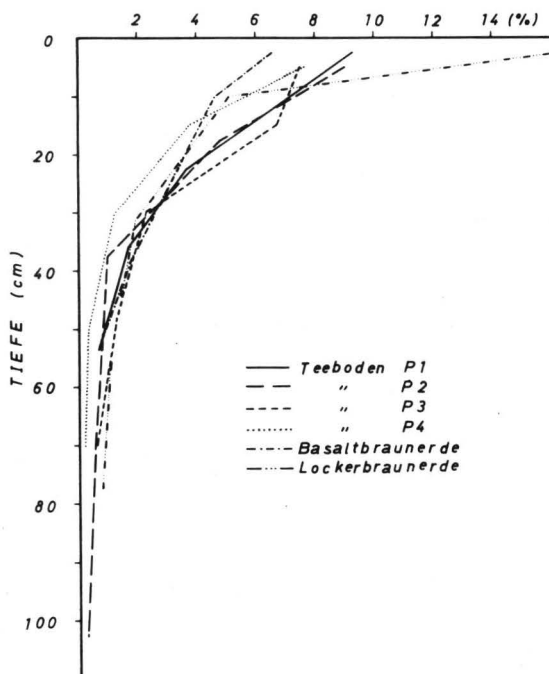


Abb. 11: Gesamt-Kohlenstoffgehalt (C-GES in % Boden),
bestimmt durch trockene Verbrennung, in den
untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

In Tabelle 9 sind mit beiden Methoden gefundene Kohlenstoff(%) -Werte zusammengestellt und in Abb. 11 die Tiefenfunktionen der C-Werte (Trockene Verbrennung) gezeichnet. Die beiden C-Werte in den untersuchten 6 Profilen zeigen sehr gute Übereinstimmung (Korrelation zwischen trockener und nasser Verbrennung, $r = 0.997$). Wie man in Tabelle 9 bzw. Abb. 11 sehen kann, sind alle Profile in den oberen Horizonten sehr reich an Kohlen-

Tabelle 9. Gesamtkohlenstoffgehalt (C-GES in % vom Boden), bestimmt durch trockene und nasse Verbrennung bzw. Gesamtstickstoffgehalt (N-GES mgN/g Boden) und C/N - Verhältnisse in den untersuchten Böden

	Horizont	Tiefe (cm)	C-GES trock. Verbr.	C-GES nasse Verbr.	N-GES	C/N ^{*)}
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	9.31	9.32	5.58	16.7
	A ₁₁	5-15	7.20	6.91	3.89	18.5
	A ₁₂	15-30	3.67	3.47	2.00	18.3
	B	30-42	1.68	1.45	1.09	15.4
	C	42-65	0.65	0.53	0.64	8.25
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	9.05	8.33	5.03	18.0
	A ₁₂	10-25	4.83	4.39	2.57	18.8
	A ₃ (B ₁)	25-50	1.00	0.83	0.67	14.9
	B	50-85	0.59	0.48	0.41	14.2
	C	85-120	0.24	0.24	0.23	10.3
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	7.49	6.93	5.60	13.4
	A ₁₂	10-20	6.70	6.49	5.02	13.3
	B ₁	20-40	2.25	2.74	1.92	11.8
	B ₂	40-55	1.28	1.49	0.76	16.8
	C	55-85	0.60	0.69	0.45	13.2
Teeboden P4	A ₁₁	0-10	8.06	7.72	5.27	15.3
	A ₁₂	10-20	3.87	3.81	2.17	17.8
	A ₁₂	20-40	1.37	1.25	0.76	18.1
	B	40-60	0.37	0.35	0.32	11.4
	C	60-80	0.27	0.24	0.27	9.86
Basalt- braunerde	A _h	0-5	6.66	6.37	5.40	12.3
	A _h	5-15	4.73	4.34	4.32	11.0
	A _h	15-30	3.46	3.46	3.19	10.9
	B _v	30-45	1.93	1.75	1.81	10.7
	C	45-60	0.80	0.76	0.84	9.57
Locker- braunerde	A _h	0-4	17.3	17.4	8.21	21.0
	A _h B _v	4-18	5.13	5.15	2.29	22.4
	B _{v1}	18-45	1.96	1.95	1.38	14.2
	B _{v2}	45-65	1.07	1.01	0.91	11.8
	IIB _{v1}	65-90	0.71	0.61	0.47	15.1

*) bei C/N, C = trock.Verbr.C-GES

stoff. Mit der Tiefe nimmt der C-Gehalt stark ab. In allen Profilen dürfte der niedrige pH-Wert, die damit verbundene geringe Mikroorganizementätigkeit und die amorphe anorganische Sorptionskomplexe (wie Fe-sesquioxide bzw. Allophan) der Grund für die Anreicherung der organischen Masse sein. Der Kohlenstoffgehalt nimmt in den oberen Horizonten der untersuchten Profile in der Reihenfolge Basaltbraunerde, Teeböden, Lockerbraunerde zu. Für den sehr hohen C-Gehalt bei der Lockerbraunerde dürften die zersetzungs- bzw. abbauehemmenden klimatischen Bedingungen (niedrigster Temperaturdurchschnitt) und relativ alte zersetzungs- bzw. abbauresistente Vegetationsrückstände (Fichte 97 J. alt) verantwortlich sein. Dagegen bestimmen relativ hohe Temperaturjahresmittel, jüngere und weniger zersetzungs- bzw. abbauresistente Vegetationsrückstände (Buche 60 J. alt) bei der Basaltbraunerde den C-Gehalt.

Die Teeböden haben eine sehr dichte und alte natürliche Vegetationsdecke. Obwohl niedrige pH-Werte bzw. für das Edaphon ungünstige Bedingungen vorhanden sind, hat der ziemlich hohe Temperaturjahresdurchschnitt (ca. 14^o C) einen abbaufördernden Einfluß. Im Zusammenhang mit Vegetationsart und bestimmten Standortfaktoren haben diese Böden vermutlich seit langer Zeit ein Gleichgewicht zwischen Anreicherung und Abbau erreicht, so daß sich ein charakteristischer Humusgehalt eingestellt hat (7.5 bis 9.0 % C-GES in den oberen Horizonten - 0 bis 10 cm - aller Teeböden).

Eine Umrechnung des Kohlenstoffgehaltes auf organische Substanz wird in dieser Arbeit nicht vorgenommen, da der Kohlenstoffgehalt organischer Substanzen verschiedener Herkunft Unterschiede aufweist. Nach DE LEENHEER et al. (1957) zeigen die Böden mit unterschiedlichem C-Gehalt bis 5 % Unterschiede im Kohlenstoffgehalt der organischen Substanz. Mit Zunahme des Gesamt-C-Gehaltes

im Boden nimmt der Kohlenstoffgehalt der organischen Stoffe ab. Die C-Werte, die mit der trockenen Verbrennung bestimmt wurden, werden bei diesen kohlenstoffreichen und karbonatfreien untersuchten Profilen als Bezugswerte für die weiteren Rechnungen gewählt.

4.2.2 Gesamt-N im Boden (N-GES)

Der Stickstoff nimmt unter den Nährstoffen im Boden eine besondere Stellung ein. Er ist für den Körperaufbau von den einfachsten tierischen bzw. pflanzlichen Zellen bis zu den höchst organisierten Lebewesen unbedingt erforderlich. Neben anderen Hauptbausteinen (C, H und O) ist N der am häufigsten vorkommende atomare Baustein pflanzlicher Substanz. 2 - 3 % der pflanzlichen Trockensubstanz bestehen aus N (MENGEL 1972). In den oberen Horizonten der Böden sind meistens mehr als 95 % des Gesamt-N organisch gebunden (FLAIG und SÖCHTIG 1967). Als anorganische Form liegen hauptsächlich NH_4 und NO_3 vor. Die Menge an anorganisch gebundenem Stickstoff ist besonders bei den unter hohen Niederschlägen entwickelten Böden (wie Teeböden) sehr gering. Das ist auf eine sehr starke NO_3 -Auswaschung und ein schlechtes NH_4 -Adsorptionsvermögen der Austauschschicht (wegen des niedrigen pH-Wertes) zurückzuführen. Besonders in solchen Fällen gewinnt der organisch gebundene Stickstoff eine sehr wichtige Bedeutung. Stickstoff liegt hauptsächlich in den Proteinen, den Nukleinsäuren, den Aminosäuren und den Aminen sowie in heterozyklischer Bindung in den N-Basen vor. Über diese Bindungsformen wird in einem weiteren, gesonderten Abschnitt (4.2.5.1) ausführlich berichtet.

4.2.4.2.2 Stickstoffgehalt der Huminsäurefraktionen (N-HSF-PNE, N-HSF-NLE) bzw. Fulvosäure- fraktionen (N-FSF-PNE, N-FSF-NLE)

Die N-Gehalte der Huminsäurefraktionen der Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextrakte (N-HSF-PNE), der Natronlaugeextrakte (N-HSF-NLE) und die entsprechenden N-Gehalte der Fulvosäurefraktionen (N-FSF-PNE und N-FSF-NLE) sind in Tabelle 14 zusammengestellt. Von diesen primären Daten wurde eine Reihe von sekundären Werten berechnet (wie N-HSF bzw. N-FSF bezogen auf N-GES bzw. entsprechenden Extrakt-N) und in Tabelle 15 zusammengestellt.

Die N-Gehalte der Humin- bzw. Fulvosäurefraktionen sind je nach Gesamt-N-Gehalt unterschiedlich und nehmen bei allen untersuchten Profilen mit der Tiefe stark ab. Wenn man die Stickstoffgehalte in den Fraktionen untereinander vergleicht, sieht man, daß in allen untersuchten Profilen $N\text{-HSF-PNE} < N\text{-HSF-NLE}$ oder umgekehrt $N\text{-FSF-PNE} > N\text{-FSF-NLE}$ ist. Dabei bilden die N-FSF-Werte in den obersten beiden Horizonten der Lockerbraunerde eine Ausnahme. Vergleicht man die N-HSF- und N-FSF-Werte der Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextrakte, sieht man, daß mit einer Ausnahme (Teeboden P4, erste Tiefe) in allen untersuchten Profilen und in allen Tiefen $N\text{-FSF} > N\text{-HSF}$ ist. Vergleicht man dagegen die (N-HSF)- und (N-FSF)-Werte der Natronlaugeextrakte, sieht man, daß die Situation bei den unterschiedlichen Profilen bzw. Tiefen auch unterschiedlich ist. Bei allen Teebodenprofilen ist in den obersten Horizonten $N\text{-HSF} > N\text{-FSF}$, aber mit der Tiefe ergeben sich umgekehrte Verhältnisse $N\text{-FSF} > N\text{-HSF}$. Dagegen zeigen die deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden gleiche Verhältnisse wie bei dem Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextrakt, in allen Tiefen ist $N\text{-FSF} > N\text{-HSF}$. Die N-Gehalte der Humin- bzw. Fulvosäurefraktionen zeigen einen gleichen Verlauf wie die C-Gehalte der Humin- bzw. Fulvosäurefraktionen.

Tabelle 14. Stickstoffgehalt der Huminsäure- und Fulvosäurefraktionen (mgN/g Boden)

	Horizont	Tiefe (cm)	N-HSF -PNE	N-HSF -NLE	N-FSF -PNE	N-FSF -NLE
Teeboden p1	A ₁₁	0-5	0.660	1.07	0.695	0.408
	A ₁₁	5-15	0.444	0.794	0.485	0.297
	A ₁₂	15-30	0.202	0.402	0.283	0.157
	B	30-42	0.076	0.238	0.210	0.110
	C	42-65	0.016	0.050	0.123	0.070
Teeboden p2	A ₁₁	0-10	0.606	0.964	0.613	0.425
	A ₁₂	10-25	0.242	0.471	0.436	0.259
	A ₃ (B ₁)	25-50	0.019	0.092	0.151	0.067
	B	50-85	0.011	0.028	0.092	0.036
	C	85-120	0.010	0.016	0.062	0.027
Teeboden p3	A ₁₁	0-10	0.635	0.958	0.720	0.431
	A ₁₂	10-20	0.518	0.823	0.704	0.536
	B ₁	20-40	0.150	0.342	0.380	0.214
	B ₂	40-55	0.054	0.202	0.237	0.113
	C	55-85	0.016	0.050	0.095	0.066
Teeboden p4	A ₁₁	0-10	0.562	0.830	0.540	0.412
	A ₁₂	10-20	0.264	0.397	0.268	0.237
	A ₁₂	20-40	0.072	0.142	0.128	0.082
	B	40-60	0.012	0.049	0.055	0.033
	C	60-80	0.010	0.035	0.053	0.036
Basalt- braunerde	A _h	0-5	0.921	1.73	2.29	2.05
	A _h	5-15	0.677	1.30	1.40	1.57
	A _h	15-30	0.540	0.837	1.17	0.889
	B _v	30-45	0.262	0.495	0.712	0.523
	C	45-60	0.074	0.160	0.368	0.238
Locker- braunerde	A _h	0-4	1.78	3.18	2.81	3.66
	A _h B _v	4-18	0.240	0.686	1.25	1.77
	B _{v1}	18-45	0.086	0.330	0.765	0.562
	B _{v2}	45-65	0.045	0.167	0.497	0.319
	IIB _{v1}	65-90	0.018	0.090	0.264	0.261

1944) (zit. SCHEFFER und ULRICH 1960) ist die Laubstreu von Esche, Erle und Hainbuche mit einem C/N-Verhältnis unter 30 wesentlich leichter zersetzbar als die Streu von Eiche, Buche, Birke, Linde und Pappel oder die Nadel-(Fichte, Kiefer) und Heidestreu mit einem C/N-Verhältnis über 30. In den oberen Schichten der landwirtschaftlich genutzten Böden (in den gemäßigten Klimata) ist im Mittel ein C/N-Verhältnis von 10-12 typisch (STEVENSON 1959). Bei den Profilen, die unter natürlicher Vegetation liegen, ist zu erwarten, daß die C/N-Verhältnisse mit steigender Tiefe abnehmen. Das ist unter anderem darauf zurückzuführen, daß die Zersetzung des organischen Materials in den oberen Horizonten weniger fortgeschritten ist als in den tieferen. Andererseits könnte es bei Böden, die günstige klimatische Zersetzungsbedingungen haben, der Fall sein, daß während der Zersetzung die relativ niedermolekularen und N-reichen organischen Stoffe durch die Verlagerung bzw. Auswaschung von den oberen Horizonten zu den unteren transportiert werden und dort ein engeres C/N-Verhältnis verursachen. Dabei darf nicht vergessen werden, daß es sich bei den besonders engen C/N-Verhältnissen in tieferen Horizonten um NH_4 -Fixierung handelt.

In Tabelle 9 sind die C/N-Verhältnisse zusammengestellt und in Abb. 13 als Tiefenfunktionen gezeichnet. Die Teebodenprofile P1, P2 und P4 zeigen eine ungefähr gleiche Änderung im Profil, aber P3 nimmt eine Sonderstellung ein. In den oberen Horizonten von P1, P2 und P4 sind die C/N-Verhältnisse am größten (15.3 - 18.8). Mit der Tiefe nehmen sie zuerst zu und dann regelmäßig ab (8.3 - 10.3). Das bedeutet, daß in diesen Profilen der relative N-GES-Gehalt mit der Tiefe zunimmt. Das dritte Teebodenprofil zeigt das engste C/N-Verhältnis in der

Mitte des Profils (8.5), was vermutlich auf die komplizierte Vegetationsgeschichte dieses Standortes zurückzuführen ist, weil in unmittelbarer Nähe dieses Profils (obwohl zur Zeit unter natürlicher Vegetation) die Teeplantagen liegen. Bei diesem Profil nimmt das C/N-Verhältnis mit der Tiefe zuerst ab, dann zu und wieder ab.

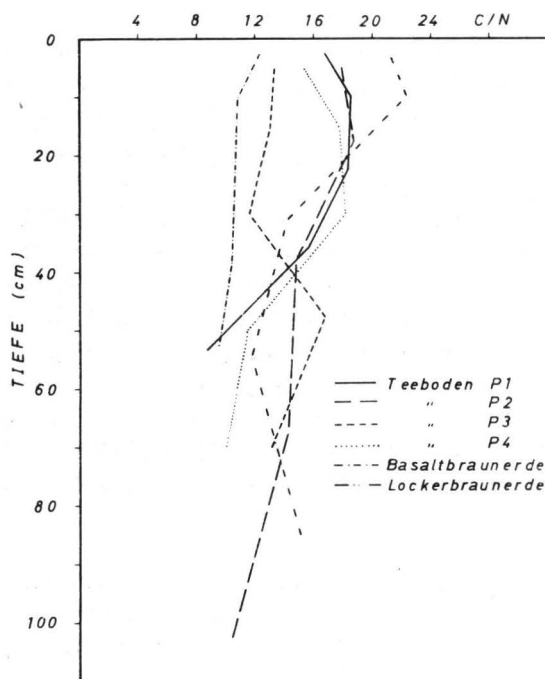


Abb. 13: C/N - Verhältnisse in den untersuchten Profilen
als Tiefenfunktion

Das Basaltbraunerdeprofil zeigt im oberen Horizont ein unerwartet enges C/N-Verhältnis (12.3), mit der Tiefe nimmt es schwach ab. Für diese Eigenschaft dürfte, außer einer relativ schwachen Mineralisierung, die hohe potentielle aber noch nicht fortgeschrittene Pilzaktivität (*Oudemansiella platyphillum* - lignin zersetzende Pilze) mit einer vorübergehenden relativen N-Anreicherung im Oberboden der Grund sein. Jedoch verursachen diese Pilze nach MEYER's (1974) Angaben in den fortgeschrittenen Stufen einen starken Humusabbau und dadurch große Humus- bzw. N-Verluste.

Das C/N-Verhältnis im Lockerbraunerdeprofil nimmt, wie bei den Teeböden, mit der Tiefe stark ab. Die schwache Zunahme des C/N-Verhältnisses im tiefsten Horizont ist vermutlich auf Muttergesteinsänderung, bzw. höhere Tongehalte und relativ größere Adsorption stickstoffreicher organischer Moleküle zurückzuführen. Für die relativ weiten C/N-Verhältnisse (22.4) im Oberboden dürften zersetzungsresistente Vegetationsrückstände (Fichtenstreu) und eine gehemmte Zersetzung infolge saurer Reaktion und Vorhandensein zersetzungshehmender organischer Stoffe verantwortlich sein. CZERNEY (1968) und HOFFMANN (1964) haben auf das weite C/N-Verhältnis des Fichtenumus - über 20 - hingewiesen.

4.2.4 Natriumpyrophosphat - Natronlauge - (PNE) und Natronlauge-(NLE) Extraktionen

Seit ACHARD (1786) Huminsäuren aus einem Torfboden mit Natronlauge extrahierte, haben im Verlauf der Humusforschung viele andere Forscher über Extraktions- bzw. Fraktionierungsmethoden gearbeitet. Die Extraktionsmittel, die von verschiedenen Forschern unter unterschiedlichen Behandlungsarten angewandt wurden, erstrecken sich von anorganischen bis zu organischen

Lösungen bzw. vom sauren bis zum alkalischen Bereich. In neuerer Zeit haben einige Autoren über diese Extraktionsmittel bzw. Methoden umfassende Zusammenstellungen vorgelegt (KONONOVA 1958, SCHEFFER und ULRICH 1960, TINSLEY und SALAM 1961, FLAIG 1966). Bei den verschiedenen Untersuchungen wurde allgemein eine Hauptregel beachtet: Möglichst wenig Veränderung der extrahierten organischen Stoffe bei der Extraktion. Am häufigsten wurden alkalische Extraktionsmittel verwendet, die gleichzeitig für weitere Untersuchungen ausreichende Mengen organischer Substanz lieferten. Von den alkalischen Lösungsmitteln wurden besonders Natronlauge, Natriumpyrophosphat oder Natronlauge - Natriumpyrophosphat bei zahlreichen Humusuntersuchungen als Extraktionsmittel gewählt [SIMON (1929), HOCK (1938), SPRINGER (1938), BREMNER und LEES (1949), TYURIN (1951), WELTE (1952), SCHLICHTING (1953 a,b,c), FLAIG et al. (1955), SCHEFFER et al. (1956), SPRINGER und KLEE (1958), SCHNITZER et al. (1959), ALEKSANDROVA (1960), SCHNITZER und WRIGHT (1960), KONONOVA und BELCHIKOVA (1961), BORATINSKY und WILK (1962), MAX und BUCH (1962), ORLOV et al. (1962), DUBACH et al. (1963), THOMANN (1963), YUAN (1964), BLUME (1965), WIESEMÜLLER (1965), LEVESQUE und SCHNITZER (1966), MENDEZ und STEVENSON (1966), SCHNITZER (1967), DUBIN und FILKOV (1968), GASCHO und STEVENSON (1968), BUTLER und LADD (1969), FLAIG (1969), MARKGRAFF (1969), DABIN (1971), KHAN (1971), DABIN et al. (1973), SALFELD et al. (1974)].

Bei fast allen diesen Untersuchungen ist ein großer Nachteil, daß die mit verschiedenen Methoden gewonnenen Daten wegen der unterschiedlichen Konzentrationen der Extraktionslösungen und unterschiedlichen Vorbehandlungen der Proben, nicht miteinander vergleichbar sind. Zur Untersuchung des Einflusses von unterschiedlichen Konzentrationen der Extraktionslösungen wurden

von LEVESQUE und SCHNITZER (1966) in einem Podsol-Bh-Horizont eine Reihe von Extraktionen mit unterschiedlich konzentrierter Natronlauge durchgeführt. Die höchste Menge an extrahiertem Kohlenstoff fanden die Autoren mit 0.1 n NaOH, es wurden 68 % des Gesamtkohlenstoffs extrahiert. Bei nur geringer Konzentrationserhöhung (0.25 n NaOH) nahm die extrahierte Menge auf 50 % des Gesamtkohlenstoffs ab. BARONOVSKAYA (1966) verglich die Methoden von TYURIN (1951) und KONONOVA und BELCHIKOVA (1961) und fand, daß die Ergebnisse beider Methoden durchaus vergleichbar sind. Dabei darf aber nicht vergessen werden, daß Natronlauge bzw. Natriumpyrophosphat-Natronlauge-Lösungen gleicher Konzentration angewandt wurden und der Vergleich auf zwei Böden beschränkt war.

Die nach dem Analysensystem KONONOVA und BELCHIKOVA (1961) erhaltenen Werte sind geeignet für die unterscheidende Charakterisierung von Bodentypen und Untertypen. Jedoch ist diese Methode für eine weitergehende genauere vergleichende Charakterisierung der Huminstoffsysteme und im Rahmen von Untersuchungen der Huminstoffdynamik, auch nach Angaben von KONONOVA (1967), nicht ausreichend. Deswegen wurde ausgehend von dieser Methode im Institut für Biochemie des Bodens, Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode ein erweitertes Analysenschema aufgestellt (SALFELD 1973) (siehe Abschnitt 3.3). Nach dieser Methodenkombination ist eine quantitative Humusextraktion nicht beabsichtigt. Neben dem von KONONOVA und BELCHIKOVA (1961) vorgeschlagenen Extraktionsmittel (0.1 n Natriumpyrophosphat + 0.1 n Natronlauge)-Gemisch, wurde auch 0.1 n Natronlauge-Lösung allein als Extraktionsmittel verwendet, weil verschiedene Bodenproben mit unterschiedlichen Eigenschaften (Humusgehalt, Tongehalt, Fe-sesquioxidgehalt usw.) bei den Extraktionen mit diesen beiden Extraktionsmitteln unterschiedlich reagieren und gerade diese Eigenschaft

für die Charakterisierung der Huminstoffsysteme typische Daten liefert und gute Vergleichsmöglichkeiten bietet.

**4.2.4.1 Kohlenstoffgehalt der Extrakte (C-PNE, C-NLE),
der Huminsäure-Fractionen (C-HSF-PNE, C-HSF-NLE)
und Fulvosäure-Fractionen (C-FSF-PNE,
C-FSF-NLE)**

4.2.4.1.1 Kohlenstoffgehalt der Extrakte (C-PNE, C-NLE)

In Tabelle 10 sind die Werte von C-PNE, C-NLE, C-PNE bezogen auf C-GES und C-NLE bezogen auf C-GES zusammengestellt. Wie man in der Tabelle sehen kann, ist in den obersten Horizonten aller untersuchten Profile die extrahierte Menge an Kohlenstoff am größten. Das entspricht auch dem Gesamt-Kohlenstoffgehalt. In allen Profilen nehmen C-PNE und C-NLE mit der Tiefe ab. In den oberen Horizonten der untersuchten Profile ist ohne Ausnahme C-NLE > C-PNE und das bleibt in der Basalt- bzw. Lockerbraunerde im ganzen Profil so. Aber in allen Teeböden zeigt C-NLE mit der Tiefe eine stärkere Abnahme als C-PNE, d.h. in den unteren Horizonten der Teeböden ist C-PNE > C-NLE. Die in Tabelle 10 zusammengestellten C-Werte beider Extrakte bezogen auf C-GES sind in Abb. 14 als Tiefenfunktion gezeichnet.

Die Extrahierbarkeit des Kohlenstoffs (%) aus den untersuchten Profilen mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge (PNE) und Natronlauge (NLE) ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

	PNE	NLE
Teeböden	34.9 - 48.0	19.7 - 56.2
Basalt-Braunerde	41.0 - 43.9	43.2 - 54.3
Locker-Braunerde	35.5 - 40.5	38.1 - 46.3

Tabelle 10. Kohlenstoffgehalt (in % vom Boden) in den Natriumpyrophosphat-Natronlauge- (C-PNE) und Natronlaugeextrakten (C-NLE), sowie extrahierbarer Kohlenstoff mit beiden Lösungen in % des Gesamtkohlenstoffes (C-GES)

	Horizont	Tiefe (cm)	C-PNE		C-PNE bez.auf C-GES	C-NLE bez.auf C-GES
			C-PNE	C-NLE	C-GES	C-GES
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	4.09	4.44	44.0	47.7
	A ₁₁	5-15	2.83	3.29	39.3	45.6
	A ₁₂	15-30	1.41	1.66	38.4	45.3
	B	30-42	0.67	0.84	39.8	50.4
	C	42-65	0.26	0.24	40.6	37.7
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	3.37	3.66	37.2	40.4
	A ₁₂	10-25	1.72	1.90	35.6	39.3
	A ₃ (B ₁)	25-50	0.38	0.37	38.0	37.4
	B	50-85	0.22	0.15	37.9	25.1
	C	85-120	0.09	0.05	37.9	19.7
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	3.01	3.38	40.2	45.1
	A ₁₂	10-20	2.87	3.15	42.9	47.1
	B ₁	20-40	1.19	1.26	53.0	56.2
	B ₂	40-55	0.62	0.71	48.0	55.2
	C	55-85	0.27	0.24	44.5	39.4
Teeboden P4	A ₁₁	0-10	2.81	3.26	34.9	40.4
	A ₁₂	10-20	1.46	1.70	37.7	43.9
	A ₁₂	20-40	0.51	0.60	36.9	43.7
	B	40-60	0.13	0.14	35.8	37.2
	C	60-80	0.11	0.10	38.0	37.1
Basalt- braunerde	A _h	0-5	2.92	3.50	43.9	52.5
	A _h	5-15	2.00	2.56	42.3	54.3
	A _h	15-30	1.42	1.67	41.0	48.3
	B _v	30-45	0.81	0.92	41.9	47.7
	C	45-60	0.33	0.35	41.5	43.2
Locker- braunerde	A _h	0-4	6.23	7.07	36.1	41.0
	A _h B _v	4-18	2.07	2.38	40.5	46.3
	B _{v1}	18-45	0.70	0.77	35.8	39.5
	B _{v2}	45-65	0.38	0.41	35.5	38.1
	IIB _{v1}	65-90	0.29	0.30	40.4	42.9

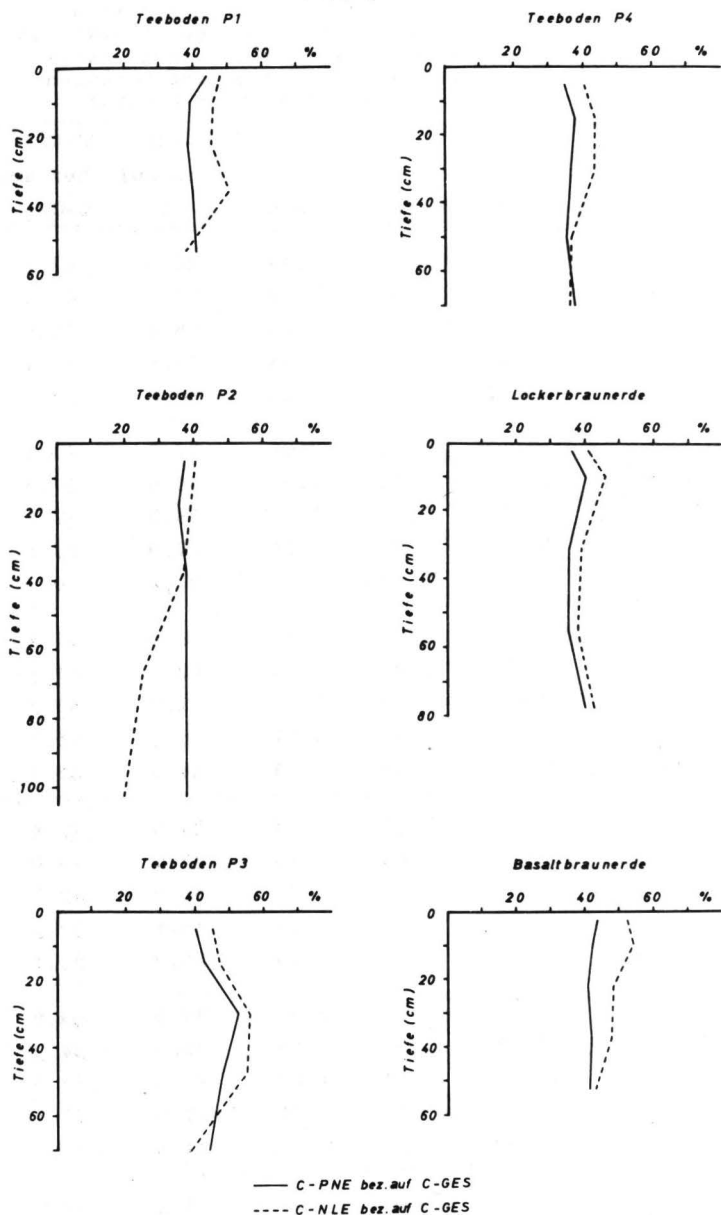


Abb. 14: Mit den alkalischen Lösungen extrahierbarer Kohlenstoff (C-PNE und C-NLE) in % des Gesamtkohlenstoffgehalts des Bodens (C-GES) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

Die Tiefenfunktionen (Abb. 14) dieser Werte zeigen noch deutlicher, daß in allen Teebodenprofilen eine stärkere Extrahierbarkeit mit 0,1 n NaOH-Lösung in den oberen Horizonten gegeben ist, während die mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge extrahierte Menge, außer im 1. Profil im ganzen Profil ungefähr gleich bleibt und bis zu einer bestimmten Tiefe geringer ist als bei dem Natronlauge - Extrakt. Die beiden deutschen Böden (Basalt- bzw. Lockerbraunerden) verhalten sich anders, die Abnahme der Extrahierbarkeit mit der Natronlaugelösung ist mit steigender Tiefe nicht so stark wie bei den Teeböden. In dem Basaltbraunerdeprofil zeigt die Extrahierbarkeit mit Natronlauge eine starke Abnahme, bleibt aber im ganzen Profil höher als die Extrahierbarkeit mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge. In der Lockerbraunerde ist die Extrahierbarkeitsreihe gleich und die extrahierten Mengen der beiden Extrakte laufen im ganzen Profil parallel.

Die Teeböden unterscheiden sich von den deutschen Böden hauptsächlich in den unteren Horizonten, wo die mit Natronlauge extrahierte Menge an Kohlenstoff stärker abnimmt und C-NLE bezogen auf C-GES kleiner wird als C-PNE bezogen auf C-GES. Es ist bekannt (SPRINGER und KLEE 1958), daß bei der Natriumpyrophosphat-Extraktion durch Phosphat-Ionen die an die Humusstoffe gebundenen 2- und 3-wertigen Kationen (in diesem Fall mit der Tiefe zunehmende Mengen an Fe (III)- und Al-Kationen) ausgefällt werden, wodurch die Humin- bzw. Fulvosäuren in Freiheit gesetzt, also löslich werden oder lösliche Komplexe bilden. Nach diesem Befund kann angenommen werden, daß in den unteren Horizonten der Teeböden die Humusstoffe mehr in an Fe(III)- bzw. Al-Kationen gebundener Form vorliegen als bei den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden.

Als ein zusammenfassendes Bild für die Extrahierbarkeit sind in Abb. 15 die in Tabelle 10 angegebenen Werte für C-PNE bezogen auf C-GES und die Werte für C-NLE bezogen auf C-GES in ein Koordinatensystem gegeneinander eingetragen (nach SÖCHTIG 1973 a,b).

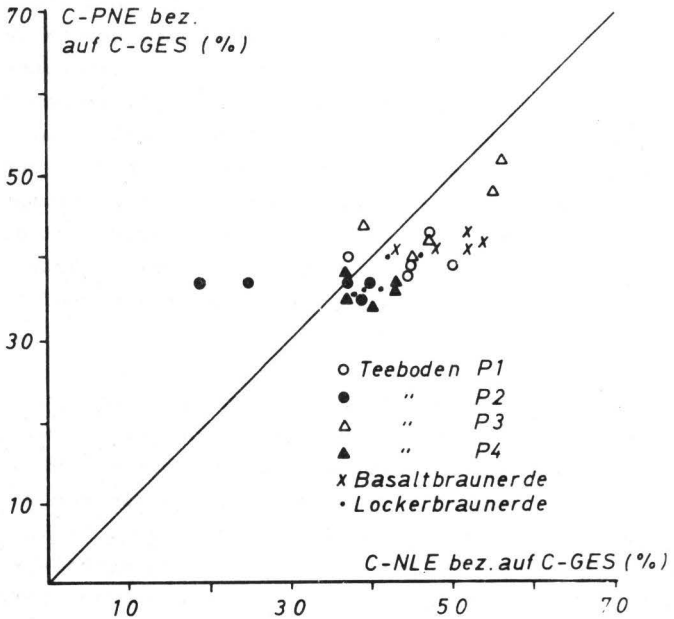


Abb. 15: Gegenüberstellung der mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge (PNE) und Natronlauge (NLE) extrahierbaren Kohlenstoffmengen in % des Gesamtkohlenstoffgehaltes der untersuchten Böden

Die Diagonale kennzeichnet gleiche Extrahierbarkeit in beiden Lösungsmitteln. Fast alle Proben bilden in dieser Darstellung eine gemeinsame Gruppe und liegen unterhalb aber unmittelbar in der Nähe der Diagonale. Nach der Hypothese TIURIN's (siehe KONONOVA und BELCHIKOVA 1961) scheinen die Humusstoffe nicht so sehr an Calcium, sondern vorwiegend an Sesquioxide gebunden zu sein oder in freier Form vorzuliegen.

4.2.4.1.2 Kohlenstoffgehalt der Huminsäurefraktionen (C-HSF-PNE, C-HSF-NLE) bzw. Fulvosäurefraktionen (C-FSF-PNE, C-FSF-NLE)

Der Kohlenstoffgehalt der Humin- bzw. Fulvosäurefraktionen und deren umgerechnete Sekundärwerte (wie C-HSF bzw. C-FSF bezogen auf C-GES bzw. C-PNE, C-NLE und C-HSF/C-FSF-Verhältnisse) sind in Tabelle 11 und 12 zusammengestellt. Die Kohlenstoffgehalte der Huminsäure- bzw. Fulvosäurefraktionen sind je nach C-GES-Gehalt unterschiedlich und nehmen bei allen untersuchten Profilen mit der Tiefe stark ab. Wenn man C-HSF-PNE mit C-HSF-NLE und C-FSF-PNE mit C-FSF-NLE vergleicht, sieht man, daß bei allen untersuchten Profilen in allen Tiefen mit Natronlauge mehr Huminsäuren extrahiert werden als Fulvorsäuren. Dagegen ist es bei der Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextraktion genau umgekehrt (C-HSF-NLE > C-HSF-PNE bzw. C-FSF-PNE > C-FSF-NLE). Vergleicht man C-HSF und C-FSF der Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextrakte dann sieht man, daß bei allen untersuchten Profilen und in allen Tiefen C-FSF > C-HSF ist. Vergleicht man dagegen C-HSF und C-FSF der Natronlaugeextrakte, dann sieht man, daß die Situation bei den einzelnen Profilen bzw. Tiefen unterschiedlich ist. Bei allen Teebodenprofilen ist in den oberen Horizonten C-HSF > C-FSF, aber mit der Tiefe kehrt sich das Verhältnis um und es ist C-FSF > C-HSF. Dagegen zeigen

Tabelle 11. Kohlenstoffgehalt der Huminsäure- und Fulvosäurefraktionen (in % vom Boden)

	Horizont	Tiefe (cm)	C-HSF -PNE	C-HSF -NLE	C-FSF -PNE	C-FSF -NLE
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	1.71	2.58	2.38	1.86
	A ₁₁	5-15	1.21	1.80	1.62	1.49
	A ₁₂	15-30	0.527	0.969	0.882	0.693
	B	30-42	0.189	0.474	0.478	0.371
	C	42-65	0.020	0.049	0.244	0.195
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	1.44	2.18	1.93	1.48
	A ₁₂	10-25	0.611	1.02	1.11	0.879
	A ₃ (B ₁)	25-50	0.036	0.114	0.343	0.259
	B	50-85	0.017	0.023	0.206	0.125
	C	85-120	0.005	0.009	0.085	0.038
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	1.32	1.95	1.69	1.43
	A ₁₂	10-20	1.13	1.72	1.75	1.43
	B ₁	20-40	0.313	0.621	0.878	0.643
	B ₂	40-55	0.119	0.347	0.497	0.361
	C	55-85	0.012	0.061	0.254	0.174
Teeboden P4	A ₁₁	0-10	1.35	1.93	1.46	1.33
	A ₁₂	10-20	0.671	0.994	0.789	0.706
	A ₁₂	20-40	0.208	0.363	0.298	0.237
	B	40-60	0.023	0.062	0.109	0.075
	C	60-80	0.009	0.031	0.094	0.069
Basalt- braunerde	A _h	0-5	1.09	1.45	1.83	2.05
	A _h	5-15	0.592	0.991	1.41	1.57
	A _h	15-30	0.472	0.782	0.946	0.889
	B _v	30-45	0.232	0.400	0.579	0.523
	C	45-60	0.067	0.109	0.266	0.238
Locker- braunerde	A _h	0-4	2.21	3.42	4.02	3.66
	A _h B _v	4-18	0.328	0.610	1.75	1.77
	B _{v1}	18-45	0.112	0.212	0.590	0.562
	B _{v2}	45-65	0.056	0.089	0.325	0.319
	IIB _{v1}	65-90	0.036	0.044	0.251	0.261

die deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden gleiche Verhältnisse wie bei der Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextraktion, in allen Tiefen ist $C\text{-FSF} > C\text{-HSF}$.

Alle diese Werte zeigen:

a) Mit Pyrophosphat-Natronlauge-Gemisch werden überwiegend Fulvosäuren extrahiert, mit Natronlauge dagegen Huminsäuren. SPRINGER und KLEE (1958) haben bei Natriumpyrophosphat-bzw. Natronlaugeextraktionen der Waldhumusformen gleiche Verhältnisse festgestellt.

b) Aus den oberen Horizonten der Teeböden werden verhältnismäßig mehr Huminsäuren extrahiert, als aus den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden, was vermutlich auf klimatische Einflüsse auf die Humusdynamik zurückzuführen ist.

Um die prozentualen Anteile von C-HSF bzw. C-FSF in der extrahierten Menge festzustellen, sind die C-HSF bzw. C-FSF-Werte der beiden Extrakte auf den entsprechenden Extraktkohlenstoff (C-PNE bzw. C-NLE) bezogen (Tabelle 12). Diese Werte sind außerdem als Tiefenfunktion in Abb. 16 gezeichnet. Wie man deutlich sehen kann, steigt Fulvosäure-C bei den Teeböden mit der Tiefe auf über 90 % (95,6 %) des Extraktkohlenstoffes an, dagegen bleibt er in den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden immer unter 90 %, entsprechend nimmt der Huminsäuregehalt ab. Außerdem läßt Abb. 16 erkennen, daß in allen Teebodenprofilen beim Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextrakt der prozentuale Anteil von C-FSF am Extrakt-C immer $> 50 \%$ ($C\text{-HSF} < 50 \%$), aber beim Natronlaugeextrakt in den oberen Horizonten der prozentuale Anteil der C-FSF im Extrakt-C $< 50 \%$, im unteren Horizont $> 50 \%$ ist. Bei den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden ist in den beiden Extrakten der prozentuale Anteil von C-FSF am Extrakt-C im ganzen Profil $> 50 \%$. In Abb. 17 sind C-HSF und C-FSF der beiden Extrakte, bezogen auf C-GES (Tabelle 12), als Tiefenfunktion gezeichnet. Bei den Teebodenprofilen sieht

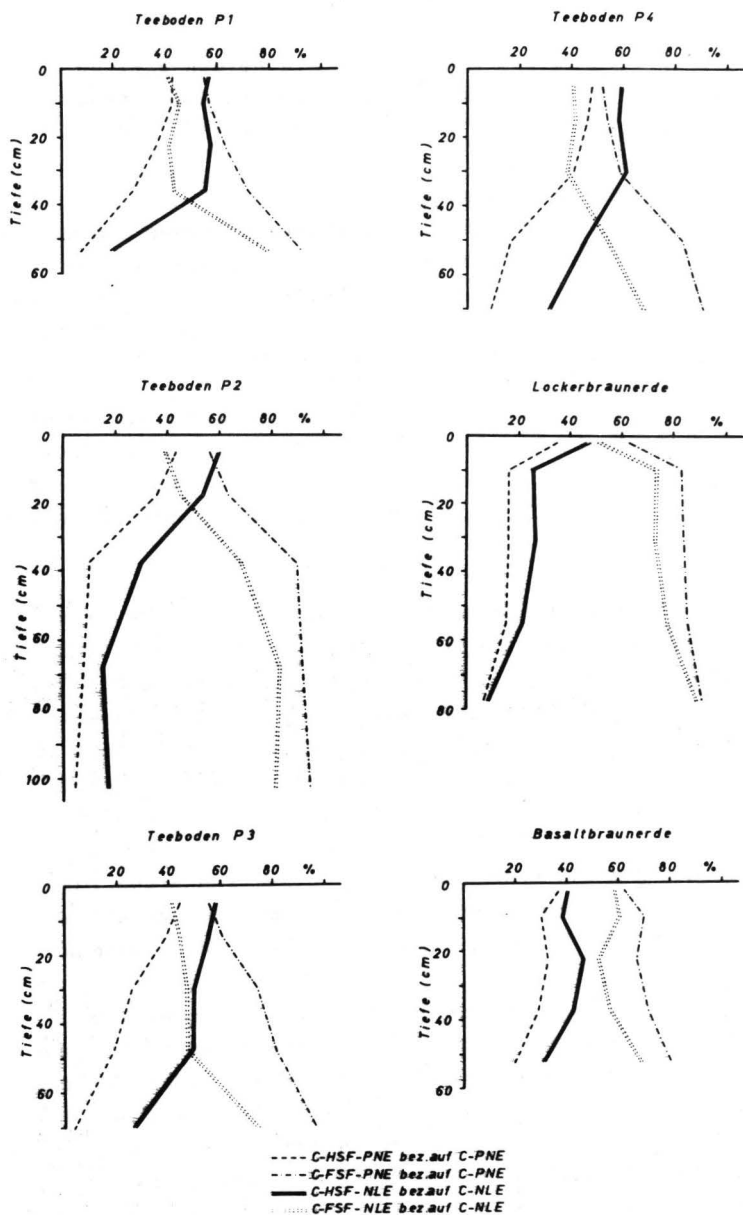


Abb. 16: Kohlenstoffgehalt in den Huminsäure- und Fulvosäurefraktionen (C-HSF und C-FSF) der Natriumpyrophosphat-Natronlauge-(PNE) und Natronlaugeextrakte (NLE) in % des Kohlenstoffgehaltes der entsprechenden Extrakte in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

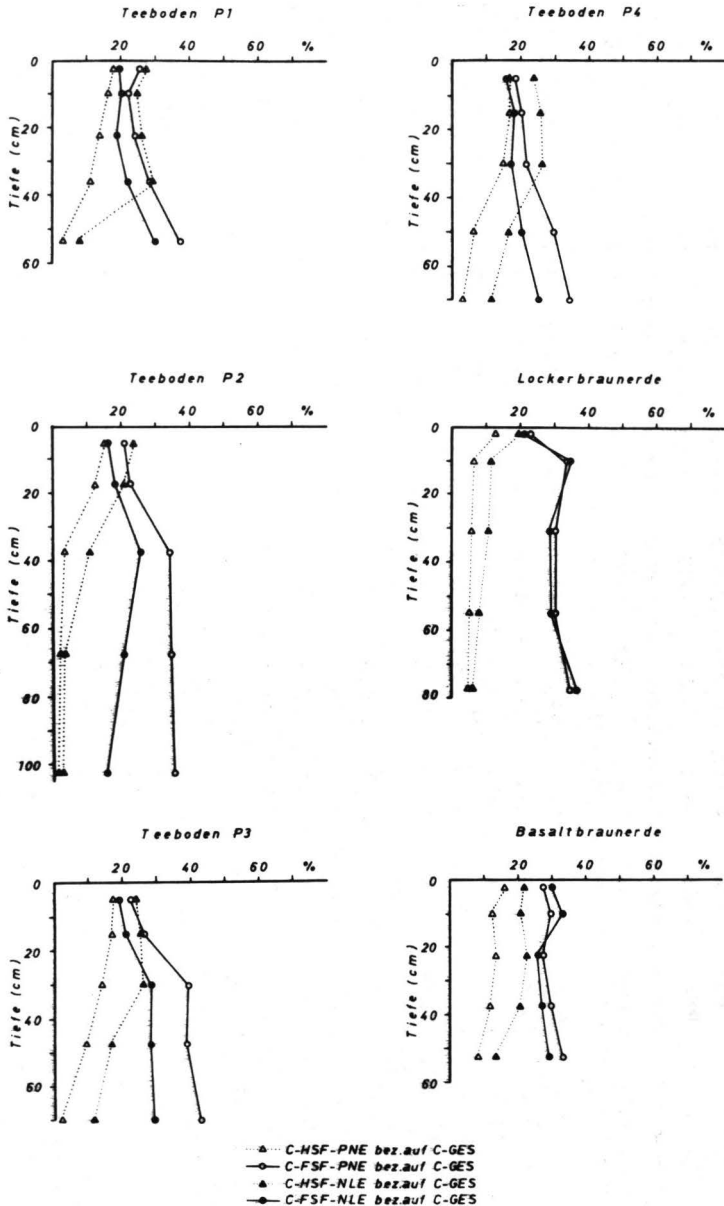


Abb. 17: Kohlenstoffgehalt in den Huminsäure- und Fulvosäurefraktionen (C-HSF und C-FSF) der Natrium-pyrophosphat-Natronlauge-(PNE) und Natronlauge-extrakte (NLE) in % des Gesamtkohlenstoffgehaltes des Bodens (C-GES) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

**Tabelle 12. Kohlenstoff in den Huminsäure- und Fulvosäurefraktionen in % vom Gesamt-
und vom entsprechenden Extrakt - Kohlenstoff , sowie Huminsäuren-
Fulvosäuren - Verhältnisse**

	Horizont	Tiefe (cm)	C-HSF -PNE bez.auf C-GES	C-HSF -NLE bez.auf C-GES	C-FSF -PNE bez.auf C-GES	C-FSF -NLE bez.auf C-GES	C-HSF -PNE bez.auf C-PNE	C-HSF -NLE bez.auf C-NLE	C-FSF -PNE bez.auf C-PNE	C-FSF -NLE bez.auf C-NLE	(C-HSF/C-FSF)	
			-PNE	-NLE								
Teeboden p1	A ₁₁	0-5	18.3	27.7	25.6	19.9	41.7	58.2	58.3	41.8	0.716	1.39
	A ₁₁	5-15	16.8	25.0	22.5	20.7	42.8	54.8	57.2	45.3	0.749	1.21
	A ₁₂	15-30	14.4	26.4	24.1	18.9	37.4	58.3	62.6	41.7	0.597	1.40
	B	30-42	11.3	28.3	28.6	22.1	28.3	56.1	71.7	43.9	0.395	1.28
	C	42-65	3.02	7.60	37.6	30.1	7.44	20.2	92.6	79.8	0.080	0.253
Teeboden p2	A ₁₁	0-10	15.9	24.1	21.3	16.3	42.8	59.6	57.2	40.4	0.748	1.48
	A ₁₂	10-25	12.6	21.1	22.9	18.2	35.5	53.7	64.5	46.3	0.317	1.16
	A ₃ (B ₁)	25-50	3.62	11.4	34.4	25.9	9.52	30.6	90.5	69.4	0.105	0.441
	B	50-85	2.94	3.89	35.0	21.2	7.75	15.5	92.3	84.5	0.084	0.184
	C	85-120	2.06	3.61	35.8	16.1	5.44	18.3	94.6	81.7	0.058	0.225
Teeboden p3	A ₁₁	0-10	17.6	26.0	22.6	19.0	43.8	57.7	56.2	42.3	0.779	1.37
	A ₁₂	10-20	16.8	25.8	26.1	21.3	39.2	54.7	60.8	45.3	0.644	1.21
	B ₁	20-40	13.9	27.6	39.0	28.6	26.3	49.2	73.7	50.9	0.357	0.967
	B ₂	40-55	9.29	27.0	38.8	28.2	19.3	49.0	80.7	51.1	0.240	0.959
	C	55-85	1.95	10.3	42.6	29.1	4.38	26.0	95.6	74.0	0.046	0.352

Teeboden P4	A ₁₁	0-10	16.7	24.0	18.1	16.5	48.0	59.3	52.0	40.7	0.923	1.46
	A ₁₂	10-20	17.3	25.7	20.4	18.2	46.0	58.5	54.0	41.5	0.851	1.41
	A ₁₂	20-40	15.2	26.5	21.7	17.3	41.2	60.5	58.8	39.5	0.700	1.53
	B	40-60	6.13	16.8	29.7	20.4	17.1	45.2	82.9	54.8	0.206	0.825
	C	60-80	3.33	11.6	34.7	25.5	8.77	31.2	91.2	68.8	0.096	0.454
Basalt- braunerde	A _h	0-5	16.3	21.7	27.5	30.8	37.2	41.3	62.8	58.7	0.593	0.704
	A _h	5-15	12.5	21.0	29.8	33.3	29.6	38.6	70.4	61.4	0.421	0.629
	A _h	15-30	13.6	22.6	27.4	25.7	33.3	46.8	66.7	53.2	0.499	0.880
	B _v	30-45	12.0	20.7	29.9	27.0	28.6	43.4	71.4	56.6	0.400	0.766
	C	45-60	8.30	13.6	33.2	29.6	20.0	31.4	80.0	68.6	0.250	0.459
Locker- braunerde	A _h	0-4	12.8	19.8	23.3	21.2	35.4	48.3	64.6	51.7	0.548	0.934
	A _h B _v	4-18	6.39	11.9	34.1	34.5	15.8	25.7	84.2	74.3	0.187	0.345
	B _{v1}	18-45	5.70	10.8	30.1	28.7	15.9	27.4	84.1	72.6	0.189	0.377
	B _{v2}	45-65	5.25	8.32	30.3	29.8	14.8	21.8	85.2	78.2	0.173	0.279
	IIB _{v1}	65-90	5.04	6.14	35.3	36.8	12.5	14.3	87.5	85.7	0.143	0.167

man, daß der prozentuale Anteil des Huminsäurekohlenstoffs (C-HSF-PNE, und C-HSF-NLE) an C-GES mit der Tiefe stark abnimmt, dagegen der prozentuale Anteil des Fulvosäurekohlenstoffs an C-GES in beiden Extrakten zunimmt. Bei den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden ist diese Ab- oder Zunahme nicht so stark wie bei den Teeböden. Das ist vermutlich durch den bei den Teeböden mit der Tiefe zunehmenden Ton- bzw. Fe-sesquioxid-Gehalt begründet. Das bedeutet stärkere Adsorption der organischen Moleküle in den unteren Horizonten. Außerdem zeigt bei den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden C-FSF bezogen auf C-GES in beiden Extrakten keinen einheitlichen Verlauf im Profil, d.h. je nach Tiefe ändert sich das Verhältnis in der einen oder anderen Richtung. In den Teeböden ist in allen Tiefen C-FSF-PNE bezogen auf C-GES $>$ C-FSF-NLE bezogen auf C-GES. Die C-FSF bezogen auf C-GES ist am höchsten bei der Lockerbraunerde.

Huminsäure / Fulvosäure-Verhältnisse:

Der Humin- bzw. Fulvosäuregehalt eines Bodenextraktes ist in erster Linie vom Boden- bzw. Humustyp und dann vom Extraktionsmittel abhängig. Zahlreiche Untersuchungen, die bisher bei unterschiedlichen Böden und mit verschiedenen Extraktionsmitteln durchgeführt wurden, haben gezeigt, daß bei verschiedenen Bodentypen, im Zusammenhang mit Extraktionsmittel bzw. -verfahren, zwischen Humin- und Fulvosäuregehalt für diese Böden ein charakteristisches Verhältnis besteht und diese Verhältnisse in sehr weitem Bereich streuen. So zeigten DURASOV und MARCENKO (1966), daß es zwischen dunkelkastanienfarbigen Böden verschiedener russischer Provinzen erhebliche Unterschiede gibt und die Werte je nach Standort (klimatischen und Vegetationsbedingungen) zwischen 0.5 und 2.3 schwankten. DURASOV (1965) zeigte, daß bei Chernosemen je nach Standort die C-HSF/C-FSF-Verhältnisse sich sogar im Oberboden zwischen 0.7 und 5.3 ändern (Extraktion nach Tyurin). SCHNITZER (1967) zeigte, daß bei den mit

0.5 n NaOH extrahierten "muck"-Proben diese Verhältnisse je nach Typ noch weiter auseinander liegen (0.02 bis 5.44). KONONOVA und BELCHIKOVA (1961) fraktionierten die Huminstoffe einiger Bodentypen unter unterschiedlicher Vegetationsdecke nach der Tyurinschen Methode und fanden je nach Bodentyp unterschiedliche Verhältnisse, darunter bei stark podsolierten Böden (unter Wald, 0-7 cm) 0.46, Chernozem (Acker gepflügt, 0-20 cm) 2.06 und Roterde (Krasnosem = Teeböden, unter Wald 5-10 cm) 0.65. Nach Angaben von ALEKSANDROVA (1960) zeigen die Roterden (0-10 cm) bei $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ -Extraktion ein C-HSF/C-FSF-Verhältnis von 0.5 und bei Natronlauge-Extraktion von 0.4. Diese Ergebnisse von ALEKSANDROVA stimmen teilweise mit den Angaben von KONONOVA und BELCHIKOVA (1961) überein. KONONOVA (1967) extrahierte 4 Böden (stark podsolierter Boden, Chernosem, kastanienfarbiger Boden, Sierosem) mit unterschiedlichen Extraktionsmitteln (a) 0.1 n NaOH nach Behandlung mit 0.1 n H_2SO_4 -, b) 0.1 n $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ bei pH 7.4, 8.3, 9.7 und c) 0.1 n NaOH + 0.1 n $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ bei pH 13) und fand unterschiedliche C-HSF/C-FSF-Verhältnisse (z.B. bei stark podsolierten Böden in der Reihenfolge der angegebenen Extraktionsverfahren: 0.84, 0.37, 0.70, 0.79, 0.75). THOMANN's (1963) Angaben zeigen ebenfalls, daß unterschiedliche Extraktions-Verfahren bzw. -Mittel einen sehr großen Einfluß auf das C-HSF/C-FSF-Verhältnis haben. Bei fast allen von ihm mit $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ extrahierten 32 Bodenproben (meistens unterschiedlicher Herkunft) ergab eine pH-Erhöhung beim Extraktionsmittel von 7 auf 10 je nach Bodentyp eine Erhöhung bis auf den vierfachen Wert, z.B. bei Tirs (Vertisol) aus Marokko von 6.2 auf 25.5.

Alle diese Literaturangaben zeigen deutlich, wie die C-HSF/C-FSF-Verhältnisse von Boden zu Boden unterschiedlich sind und vom Extraktions-Mittel bzw. -Verfahren beeinflusst werden. Gerade diese Eigenschaften dürften einen Beitrag zu der Gruppierung bzw. Charakterisierung von verschiedenen Huminstoffsystemen leisten.

Die Huminsäure/Fulvosäure -Verhältnisse der beiden Extrakte (C-HSF/C-FSF-PNE und C-HSF/C-FSF-NLE) sind in Tabelle 12 zusammengestellt. Die Verhältnisse der beiden Extrakte nehmen in allen untersuchten Profilen mit der Tiefe regelmäßig ab und in allen Profilen bzw. Tiefen bleiben die C-HSF/C-FSF-NLE $\geq$ als C-HSF/C-FSF-PNE.

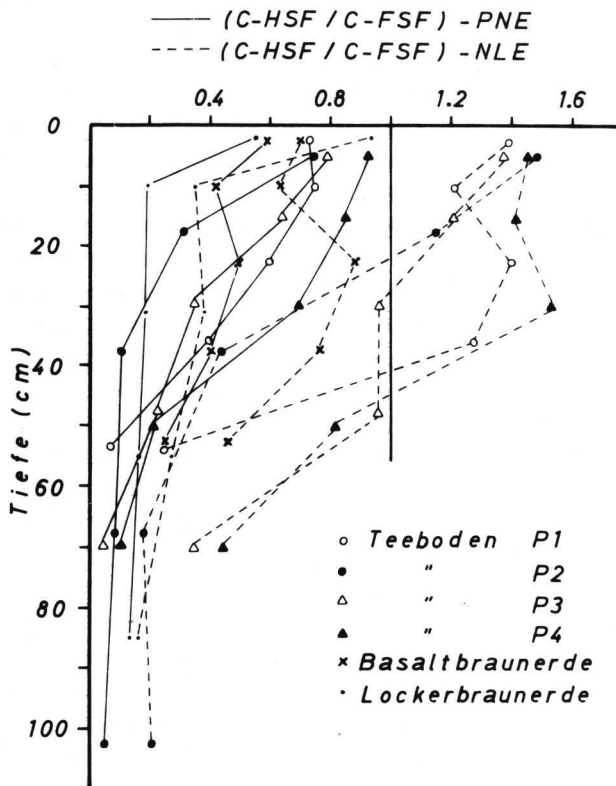
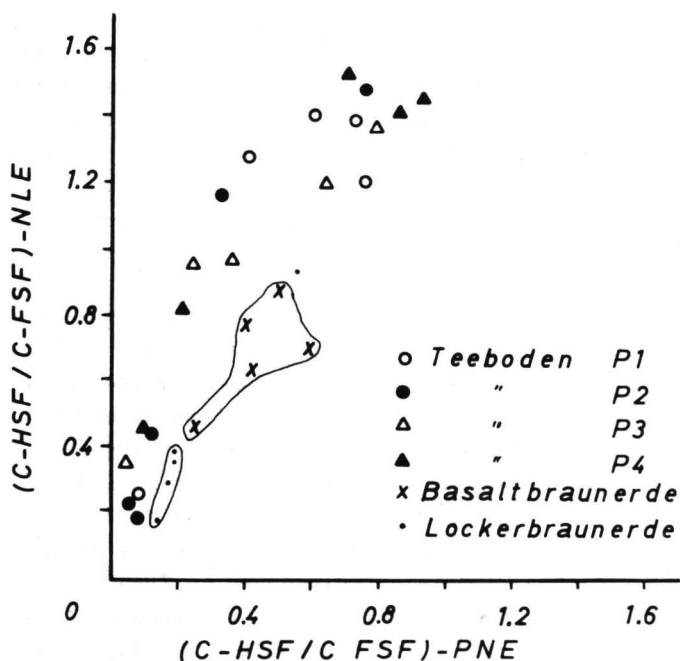


Abb. 18: Huminsäuren-Fulvosäuren-Verhältnisse (C-HSF/C-FSF) im Natriumpyrophosphat-Natronlauge-(PNE) und im Natronlaugeextrakt (NLE) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

In den Teeböden liegt C-HSF/C-FSF -PNE zwischen 0.046 - 0.923, dagegen C-HSF/C-FSF -NLE zwischen 0.225 - 1.48 . Im Basaltbraunerdeprofil ist der Unterschied der Verhältnisse in beiden Extrakten nicht so stark wie bei den Teeböden und C-HSF/C-FSF-PNE nimmt von 0.593 auf 0.250, C-HSF/C-FSF-NLE von 0.704 auf 0.459 ab. Die Verhältnisse in dem Lockerbraunerdeprofil zeigen die gleiche abnehmende Tendenz wie in dem Basaltbraunerdeprofil [C-HSF/C-FSF -PNE 0.548 - 0.143 und C-HSF/C-FSF -NLE 0.934 - 0.167]. Die Werte sind niedriger als in den Teeböden und der Unterschied ist etwas größer als bei Basaltbraunerde.

Alle Werte sind in Abb. 18 als Tiefenfunktion gezeichnet. Bei allen Profilen und beiden Extrakten ist die Abnahme mit der Tiefe deutlich und in den Teeböden stärker als in den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden. Es ist auch deutlich zu sehen, daß bei Natronlaugeextraktion die Verhältnisse aller Teebodenprofile 1.0 überschreiten und in den obersten Horizonten fast gleiche Verhältnisse zeigen. Das ist auch ein Beweis dafür, daß unter gleichen Temperaturbedingungen im Teebaugebiet, obwohl die Profile ziemlich weit voneinander liegen (siehe Karte 1) und die Niederschläge zwischen 800 und 2200 mm schwanken, sehr ähnliche Umsetzungen der organischen Stoffe im Oberboden stattfinden.

In Abb. 19 sind alle C-HSF/C-FSF-Verhältnisse der beiden Extrakte gegeneinander in ein Koordinatensystem eingetragen. Hier sieht man auch, wie die Verhältnisse der Teeböden in einem weiten Bereich streuen, dagegen Basalt- bzw. Lockerbraunerde enge, in sich geschlossene Gruppen bilden.



4.2.4.2 Stickstoffgehalt der Extrakte (N-PNE, N-NLE),
der Huminsäurefraktionen (N-HSF-PNE, N-HSF-NLE)
und der Fulvosäurefraktionen (N-FSF-PNE, N-FSF-NLE)

4.2.4.2.1 Stickstoffgehalt der Extrakte (N-PNE, N-NLE)

Es ist bekannt, daß die aus Böden extrahierte Kohlenstoffmenge von der Extraktionslösung (Art bzw. Konzentration) abhängig und von Boden zu Boden unterschiedlich ist. Einige Untersuchungen zeigten, daß nicht nur der C-Gehalt, sondern auch N-Gehalt von oben genannten Faktoren abhängig ist. LEVESQUE und SCHNITZER (1966) haben in einem Podsol-Bh-Horizont eine Reihe von Extraktionen mit unterschiedlich konzentrierter Natronlauge durchgeführt. Die Autoren fanden die höchste Menge an extrahiertem Stickstoff mit 0.15 n NaOH (53 % vom Gesamtstickstoff). Bei nur geringer Konzentrationserhöhung (0.25 n NaOH) nahm die Menge an extrahiertem Stickstoff um 10 % ab (44 % vom Gesamtstickstoff wurde extrahiert). Das zeigt, daß eine Konzentrationsänderung nicht nur für die extrahierten Mengen an Kohlenstoff sondern auch für Stickstoff eine große Rolle spielt. Vergleicht man bei oben genannter Untersuchung die prozentualen Anteile von Kohlenstoff und Stickstoff in den Extrakten bei den unterschiedlichen Konzentrationen, sieht man, daß diese sich mit der Konzentrationsänderung stark verändern (z.B. wurde mit 0.05 n NaOH ca. 55 % des C-GES und ca. 27 % N-GES dagegen mit 0.25 n NaOH ca. 50 % des C-GES und aber ca. 44 % des N-GES extrahiert). YUAN (1964) zeigte ebenfalls, daß mit unterschiedlichen Extraktionsmitteln aus einem Boden unterschiedliche Mengen Stickstoff extrahiert wurden. YUAN konnte mit 0.5 M NaOH von "Leon fine sand" (Oberboden) 61.4 % des Gesamtstickstoffs extrahieren, dagegen LEVESQUE und SCHNITZER (1966) mit gleich konzentrierter NaOH von einem Podsol-Bh-Horizont nur ca. 35 % des Gesamtstickstoffes.

Tabelle 13. Stickstoffgehalt (mg N / g Boden) der Natriumpyrophosphat-Natronlauge - (N-PNE) und Natronlaugeextrakte (N-NLE), sowie extrahierbarer Stickstoff mit beiden Lösungen in % des Gesamtstickstoffes (N-GES)

	Horizont	Tiefe (cm)			N-PNE bez.auf N-GES	N-NLE bez.auf N-GES
			N-PNE	N-NLE		
Teeboden p1	A ₁₁	0-5	1.36	1.48	24.3	26.6
	A ₁₁	5-15	0.929	1.09	23.9	28.0
	A ₁₂	15-30	0.485	0.559	24.2	27.9
	B	30-42	0.285	0.349	26.2	32.0
	C	42-65	0.140	0.120	21.7	18.6
Teeboden p2	A ₁₁	0-10	1.22	1.39	24.2	27.6
	A ₁₂	10-25	0.678	0.730	26.4	28.4
	A ₃ (B ₁)	25-50	0.171	0.159	25.4	23.7
	B	50-85	0.103	0.065	24.8	15.6
	C	85-120	0.072	0.043	31.2	18.7
Teeboden p3	A ₁₁	0-10	1.36	1.39	24.2	24.8
	A ₁₂	10-20	1.22	1.36	24.3	27.1
	B ₁	20-40	0.530	0.555	27.7	29.0
	B ₂	40-55	0.291	0.315	38.2	41.3
	C	55-85	0.111	0.116	24.7	25.8
Teeboden p4	A ₁₁	0-10	1.10	1.24	20.9	23.6
	A ₁₂	10-20	0.533	0.634	24.5	29.2
	A ₁₂	20-40	0.200	0.224	26.4	29.5
	B	40-60	0.067	0.082	20.7	25.4
	C	60-80	0.064	0.071	23.3	26.0
Basalt- braunerde	A _h	0-5	3.21	3.99	59.5	73.8
	A _h	5-15	2.08	2.92	48.2	67.7
	A _h	15-30	1.71	1.88	53.6	58.9
	B _v	30-45	0.974	1.05	53.8	58.0
	C	45-60	0.441	0.442	52.7	52.8
Locker- braunerde	A _h	0-4	4.58	5.42	55.8	66.0
	A _h B _v	4-18	1.49	1.70	65.1	74.2
	B _{v1}	18-45	0.851	0.898	61.6	65.0
	B _{v2}	45-65	0.543	0.569	59.6	62.6
	IIB _{v1}	65-90	0.282	0.289	59.9	61.3

In Tabelle 13 sind die Werte von N-PNE, N-NLE, N-PNE bezogen auf N-GES und N-NLE bezogen auf N-GES zusammengestellt. Wie man aus der Tabelle entnehmen kann, ist in den obersten Horizonten aller untersuchten Böden die Menge an extrahiertem Stickstoff am größten. In allen Profilen nehmen N-PNE und N-NLE mit der Tiefe ab. In den oberen Horizonten der untersuchten Profile ist ohne Ausnahme $N-NLE > N-PNE$, und dieses Verhältnis bleibt, außer bei den Teeböden P1 bzw. P2, in allen anderen vier Profilen im ganzen Profil bestehen. In den Teebodenprofilen P1 und P2 zeigt N-NLE mit der Tiefe eine stärkere Abnahme als N-PNE. Das bedeutet, in den unteren Horizonten der Teebodenprofile P1 und P2 ist $N-PNE > N-NLE$.

Die in Tabelle 13 zusammengestellten Stickstoffwerte beider Extrakte, bezogen auf Gesamt-Stickstoff, sind in Abb. 20 als Tiefenfunktion gezeichnet. Wie die Tabelle 13 zeigt, wird in den Teeböden mit Natrium-Pyrophosphat-Natronlauge 20.7 - 38.2 % des Gesamtstickstoffes extrahiert, aber mit Natronlauge bis über 40 % (zwischen 15.6 - 41.3 %). Diese Werte sind kleiner als die entsprechenden Kohlenstoffgehalte (bezogen auf C-GES). Das bedeutet, in den Teeböden wird prozentual weniger Stickstoff extrahiert als Kohlenstoff.

In der Basaltbraunerde liegt die mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge extrahierte Menge zwischen 48.2 und 59.5 % und die mit Natronlauge extrahierte Menge zwischen 52.8 - 73.8 % des Gesamtstickstoffes.

In der Lockerbraunerde ist die mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge extrahierte Menge 55.8 - 65.1 % und die mit Natronlauge extrahierte Menge 61.3 - 74.2 % des Gesamtstickstoffes. Diese Werte sind bei den beiden deutschen Böden größer als die entsprechenden Kohlenstoffgehalte (bezogen auf C-GES). Das bedeutet, daß

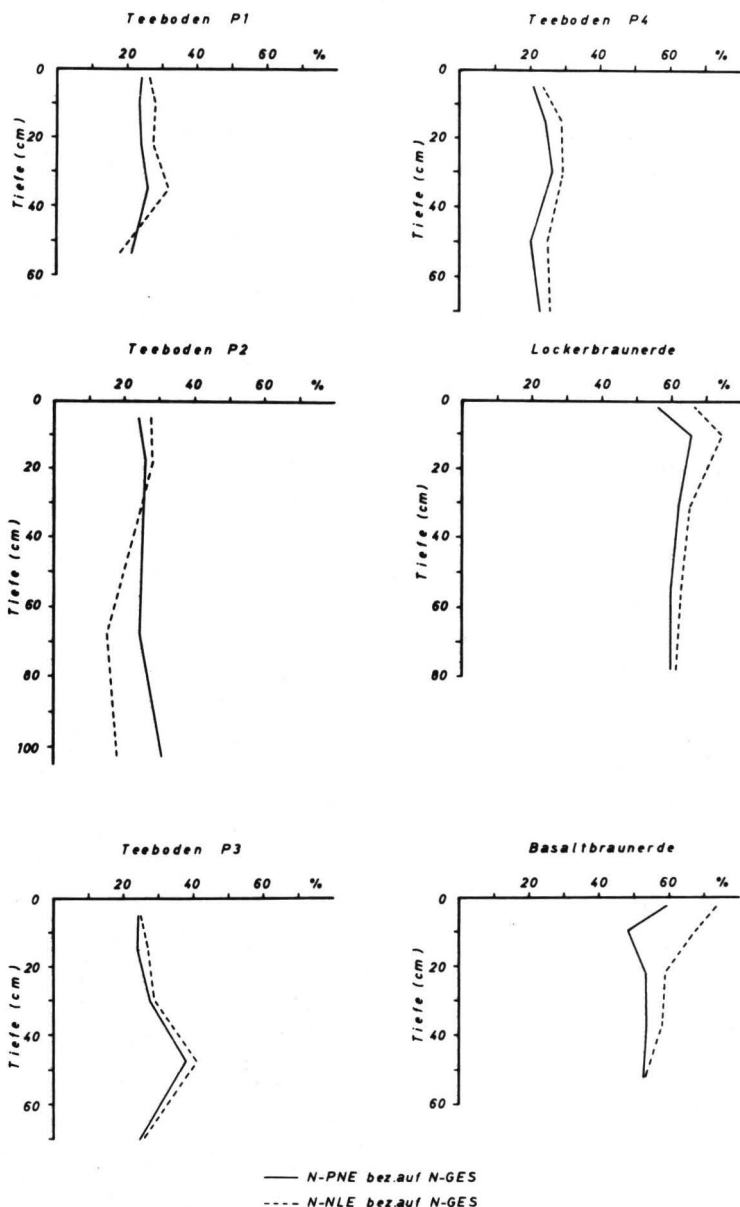


Abb. 20: Stickstoffgehalt in den Natriumpyrophosphat-Natronlauge- (N-PNE) und Natronlaugeextrakten (N-NLE) in % des Gesamt-Stickstoffgehaltes (N-GES) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

in den untersuchten deutschen Böden prozentual mehr Stickstoff als Kohlenstoff extrahiert wird. Die Tiefenfunktionen von N-NLE und N-NPE, bezogen auf N-GES (Abb. 20), zeigen noch deutlicher, daß in den Teebodenprofilen P1 und P2 die stärkere Extrahierbarkeit mit 0.1 n Natronlauge im oberen Horizont mit der Tiefe abnimmt, während bei 0.1 n Natriumpyrophosphat-Natronlauge die extrahierte Menge im ganzen Profil ungefähr gleich bleibt, und bis zu einer bestimmten Tiefe kleiner ist, als mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge. Dagegen sind diese Verhältnisse in den Teebodenprofilen P3 und P4 bzw. den beiden deutschen Profilen anders, die Abnahme der Extrahierbarkeit mit Natronlauge mit der Tiefe ist nicht so stark wie bei den Teeböden P1 und P2. Die Extrahierbarkeiten verlaufen mit den beiden Lösungsmitteln außer bei der Basaltbraunerde fast parallel. Im Basaltbraunerdeprofil zeigt N-NLE bezogen auf N-GES eine Abnahme, aber im ganzen Profil bleibt die Extrahierbarkeit mit Natronlauge größer als mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge. In Abb. 21 sind die in Tabelle 13 angegebenen Werte für N-PNE und N-NLE, bezogen auf N-GES, als ein gemeinsames Bild der Extrahierbarkeit des Stickstoffes in ein Koordinatensystem eingetragen. Die Diagonale kennzeichnet gleiche Extrahierbarkeit in beiden Lösungsmitteln. Wenn man diese Abbildung mit Abb. 15 (Extrahierbarkeit des Kohlenstoffs) vergleicht, sieht man, daß in Abb. 15 alle Böden eine gemeinsame Gruppe bilden, dagegen in Abb. 21 die Teeböden einerseits, die deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden andererseits zwei getrennte Gruppen bilden. Das bedeutet, daß in allen untersuchten Böden die Extrahierbarkeit der Humusstoffe (Extrahierbarkeit des Kohlenstoffs) fast gleich, aber der Stickstoffgehalt der extrahierten organischen Stoffe bei den Teeböden und bei den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden unterschiedlich ist. Die Menge an extrahierbarem Stickstoff ist in der deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerde

erheblich größer als in den türkischen Teeböden. Für diese Eigenschaft dürfte die Humusdynamik unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen verantwortlich sein.

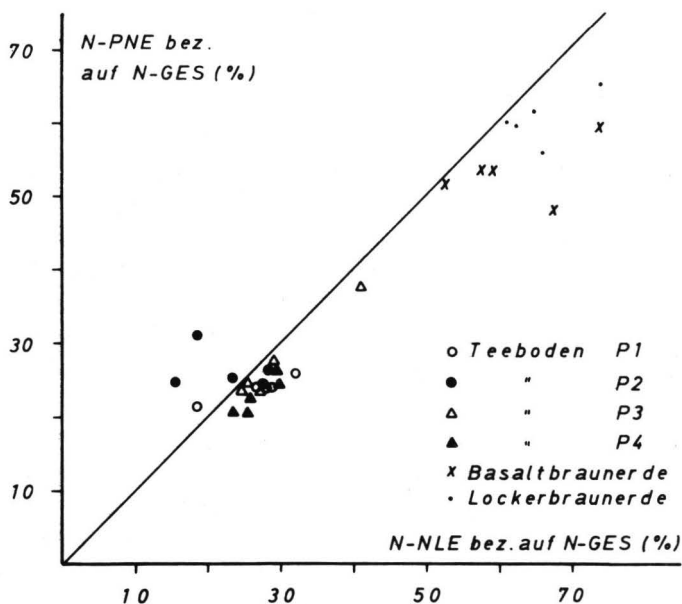


Abb. 21: Gegenüberstellung der mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge (PNE) und Natronlauge (NLE) extrahierbaren Stickstoffmengen in % des Gesamtstickstoffgehaltes der untersuchten Böden

4.2.4.2.2 Stickstoffgehalt der Huminsäurefraktionen (N-HSF-PNE, N-HSF-NLE) bzw. Fulvosäure- fraktionen (N-FSF-PNE, N-FSF-NLE)

Die N-Gehalte der Huminsäurefraktionen der Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextrakte (N-HSF-PNE), der Natronlaugeextrakte (N-HSF-NLE) und die entsprechenden N-Gehalte der Fulvosäurefraktionen (N-FSF-PNE und N-FSF-NLE) sind in Tabelle 14 zusammengestellt. Von diesen primären Daten wurde eine Reihe von sekundären Werten berechnet (wie N-HSF bzw. N-FSF bezogen auf N-GES bzw. entsprechenden Extrakt-N) und in Tabelle 15 zusammengestellt.

Die N-Gehalte der Humin- bzw. Fulvosäurefraktionen sind je nach Gesamt-N-Gehalt unterschiedlich und nehmen bei allen untersuchten Profilen mit der Tiefe stark ab. Wenn man die Stickstoffgehalte in den Fraktionen untereinander vergleicht, sieht man, daß in allen untersuchten Profilen $N\text{-HSF-PNE} < N\text{-HSF-NLE}$ oder umgekehrt $N\text{-FSF-PNE} > N\text{-FSF-NLE}$ ist. Dabei bilden die N-FSF-Werte in den obersten beiden Horizonten der Lockerbraunerde eine Ausnahme. Vergleicht man die N-HSF- und N-FSF-Werte der Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextrakte, sieht man, daß mit einer Ausnahme (Teeboden P4, erste Tiefe) in allen untersuchten Profilen und in allen Tiefen $N\text{-FSF} > N\text{-HSF}$ ist. Vergleicht man dagegen die (N-HSF)- und (N-FSF)-Werte der Natronlaugeextrakte, sieht man, daß die Situation bei den unterschiedlichen Profilen bzw. Tiefen auch unterschiedlich ist. Bei allen Teebodenprofilen ist in den obersten Horizonten $N\text{-HSF} > N\text{-FSF}$, aber mit der Tiefe ergeben sich umgekehrte Verhältnisse $N\text{-FSF} > N\text{-HSF}$. Dagegen zeigen die deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden gleiche Verhältnisse wie bei dem Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextrakt, in allen Tiefen ist $N\text{-FSF} > N\text{-HSF}$. Die N-Gehalte der Humin- bzw. Fulvosäurefraktionen zeigen einen gleichen Verlauf wie die C-Gehalte der Humin- bzw. Fulvosäurefraktionen.

Tabelle 14. Stickstoffgehalt der Huminsäure- und Fulvosäurefraktionen (mgN/g Boden)

	Horizont	Tiefe (cm)	N-HSF -PNE	N-HSF -NLE	N-FSF -PNE	N-FSF -NLE
Teeboden p1	A ₁₁	0-5	0.660	1.07	0.695	0.408
	A ₁₁	5-15	0.444	0.794	0.485	0.297
	A ₁₂	15-30	0.202	0.402	0.283	0.157
	B	30-42	0.076	0.238	0.210	0.110
	C	42-65	0.016	0.050	0.123	0.070
Teeboden p2	A ₁₁	0-10	0.606	0.964	0.613	0.425
	A ₁₂	10-25	0.242	0.471	0.436	0.259
	A ₃ (B ₁)	25-50	0.019	0.092	0.151	0.067
	B	50-85	0.011	0.028	0.092	0.036
	C	85-120	0.010	0.016	0.062	0.027
Teeboden p3	A ₁₁	0-10	0.635	0.958	0.720	0.431
	A ₁₂	10-20	0.518	0.823	0.704	0.536
	B ₁	20-40	0.150	0.342	0.380	0.214
	B ₂	40-55	0.054	0.202	0.237	0.113
	C	55-85	0.016	0.050	0.095	0.066
Teeboden p4	A ₁₁	0-10	0.562	0.830	0.540	0.412
	A ₁₂	10-20	0.264	0.397	0.268	0.237
	A ₁₂	20-40	0.072	0.142	0.128	0.082
	B	40-60	0.012	0.049	0.055	0.033
	C	60-80	0.010	0.035	0.053	0.036
Basalt- braunerde	A _h	0-5	0.921	1.73	2.29	2.05
	A _h	5-15	0.677	1.30	1.40	1.57
	A _h	15-30	0.540	0.837	1.17	0.889
	B _v	30-45	0.262	0.495	0.712	0.523
	C	45-60	0.074	0.160	0.368	0.238
Locker- braunerde	A _h	0-4	1.78	3.18	2.81	3.66
	A _h B _v	4-18	0.240	0.686	1.25	1.77
	B _{v1}	18-45	0.086	0.330	0.765	0.562
	B _{v2}	45-65	0.045	0.167	0.497	0.319
	IIB _{v1}	65-90	0.018	0.090	0.264	0.261

Um die prozentualen Anteile von N-HSF bzw. N-FSF in der extrahierten Menge festzustellen, sind die N-HSF- bzw. N-FSF-Werte der beiden Extrakte auf den entsprechenden Extraktstickstoff (N-PNE, N-NLE) bezogen (Tabelle 15). Diese Werte sind außerdem als Tiefenfunktion in Abb. 22 gezeichnet. Wie die Abb. 22 zeigt, steigt N-FSF-PNE bei den Teeböden mit der Tiefe von 50 % bis auf ca. 90 % (89.2 % in P2) des Extraktstickstoffes, bleibt dagegen in der Basaltbraunerde zwischen 67.4 und 83.3 % relativ gleich mit einer leichten Zunahme mit der Tiefe. Im Lockerbraunerdeprofil zeigen die N-Werte der FSF-PNE bezogen auf N-PNE in den oberen Schichten eine starke Zunahme mit der Tiefe, in den unteren Horizonten bleiben sie relativ gleichmäßig. Die Änderung der N-Werte der FSF-NLE bezogen auf Extrakt-N zeigt in allen Profilen die gleiche Tendenz wie bei FSF-PNE, ist aber kleiner als die Änderung der FSF-PNE-Werte. Für die Huminsäuren gelten natürlich umgekehrte Aussagen. Es ergibt sich somit, daß in dieser Beziehung eine Ähnlichkeit zwischen Teeböden und Lockerbraunerde besteht, die Basaltbraunerde aber eine Sonderstellung einnimmt. In Abb. 23 sind N-HSF und N-FSF der beiden Extrakte bezogen auf N-GES (Tabelle 15) als Tiefenfunktion gezeichnet. In den Teebodenprofilen P1, P2 und P4 ist mit der Tiefe eine leichte Zunahme von N-FSF und eine leichte Abnahme von N-HSF zu erkennen. Im Teeboden P3 ist der Verlauf etwas komplizierter, und zwar nimmt N-HSF-NLE bezogen auf N-GES mit der Tiefe zuerst leicht zu und dann in dem untersten Horizont stark ab. Das gleiche Bild ergibt sich bei N-FSF-PNE bezogen auf N-GES. Beim Teeboden P3 besteht auch eine starke Abnahme der Extrahierbarkeit im untersten Horizont. Im Gegensatz zu den Teeböden ist in den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden der prozentuale Anteil des FSF-Stickstoffes an N-GES wesentlich höher als der Anteil des HSF-Stickstoffes. In der Basaltbraunerde nehmen die N-FSF-Werte der beiden Extrakte, bezogen auf N-GES, mit der Tiefe zuerst ab und dann zu. Die N-HSF-Werte der beiden Extrakte, bezogen

Tabelle 15. Stickstoff in den Huminsäure- und Fulvosäurefraktionen in % vom Gesamt- und vom entsprechenden Extraktstickstoff

	Horizont	Tiefe (cm)	N-HSF -PNE bez.auf N-GES	N-HSF -NLE bez.auf N-GES	N-FSF -PNE bez.auf N-GES	N-FSF -NLE bez.auf N-GES	N-HSF -PNE bez.auf N-PNE	N-HSF -NLE bez.auf N-NLE	N-FSF -PNE bez.auf N-PNE	N-FSF -NLE bez.auf N-NLE
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	11.8	19.3	12.5	7.31	48.7	72.5	51.3	27.5
	A ₁₁	5-15	11.4	20.4	12.5	7.61	47.8	72.8	52.2	27.2
	A ₁₂	15-30	10.1	20.1	14.1	7.84	41.7	71.9	58.3	28.1
	B	30-42	6.94	21.9	19.2	10.1	26.5	68.4	73.5	31.7
	C	42-65	2.55	7.74	19.1	10.8	11.8	41.7	88.2	58.3
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	12.1	19.2	12.2	8.45	49.7	69.4	50.3	30.6
	A ₁₂	10-25	9.41	18.3	16.9	10.1	35.7	64.5	64.3	35.5
	A ₃ (B ₁)	25-50	2.89	13.7	22.5	9.94	11.4	58.0	88.6	42.0
	B	50-85	2.68	6.81	22.1	8.75	10.8	43.8	89.2	56.2
	C	85-120	4.51	6.89	26.7	11.8	14.5	36.9	85.6	63.1
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	11.4	17.1	12.9	7.71	46.9	69.0	53.1	31.1
	A ₁₂	10-20	10.3	16.4	14.0	10.7	42.4	60.5	57.6	39.5
	B ₁	20-40	7.84	17.9	19.8	11.2	28.4	61.6	71.7	38.5
	B ₂	40-55	7.10	26.4	31.1	14.8	18.6	64.1	81.4	35.9
	C	55-85	3.51	11.1	21.2	14.6	14.2	42.2	85.8	56.8

Teeboden p4	A ₁₁	0-10	10.7	15.8	10.3	7.82	51.0	66.8	49.0	33.2
	A ₁₂	10-20	12.2	18.3	12.4	10.9	49.7	62.7	50.4	37.4
	A ₁₂	20-40	9.57	18.7	16.9	10.8	36.2	63.4	63.8	36.6
	B	40-60	3.75	15.1	16.9	10.3	18.1	59.6	81.9	40.4
	C	60-80	3.76	12.9	19.5	13.2	16.2	49.5	83.8	50.5
Basalt- braunerde	A _h	0-5	17.1	32.1	42.4	41.8	28.7	43.4	71.3	56.6
	A _h	5-15	15.7	30.2	32.5	37.4	32.6	44.7	67.4	55.3
	A _h	15-30	16.9	26.2	36.7	32.7	31.6	44.5	68.4	55.5
	B _v	30-45	14.5	27.4	39.3	30.7	26.9	47.1	73.1	52.9
	C	45-60	8.79	19.1	44.0	33.7	16.7	36.2	83.3	63.8
Locker- braunerde	A _h	0-4	21.6	38.7	34.2	27.4	38.8	58.6	61.2	41.4
	A _h B _v	4-18	10.5	29.9	54.7	44.2	16.1	40.4	83.9	59.6
	B _{v1}	18-45	6.25	23.9	55.4	41.0	10.2	36.8	89.9	63.2
	B _{v2}	45-65	4.97	18.4	54.6	44.2	8.32	29.4	91.7	70.7
	IIB _{v1}	65-90	3.90	19.0	56.0	42.3	6.52	31.0	93.5	69.0

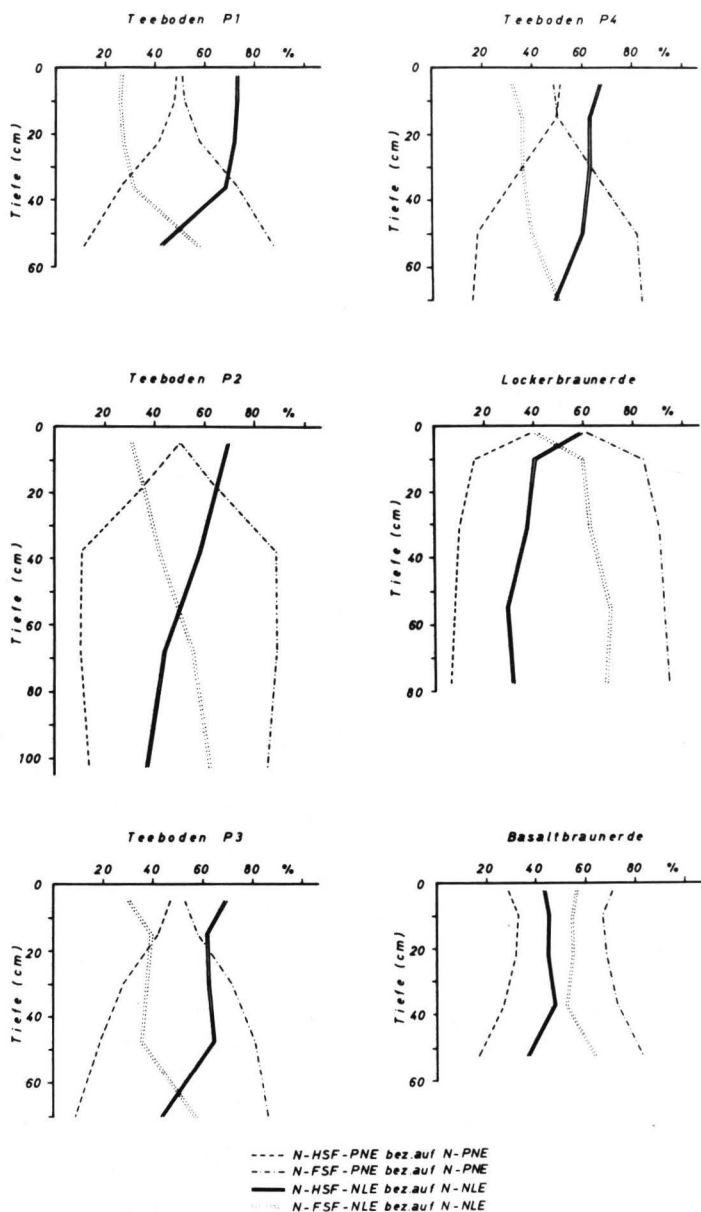


Abb. 22: Stickstoffgehalt in den Huminsäure- und Fulvosäurefraktionen (N-HSF und N-FSF) der Natriumpyrophosphat-Natronlauge-(PNE) und Natronlaugeextrakte (NLE) in % des Stickstoffgehaltes der entsprechenden Extrakte in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

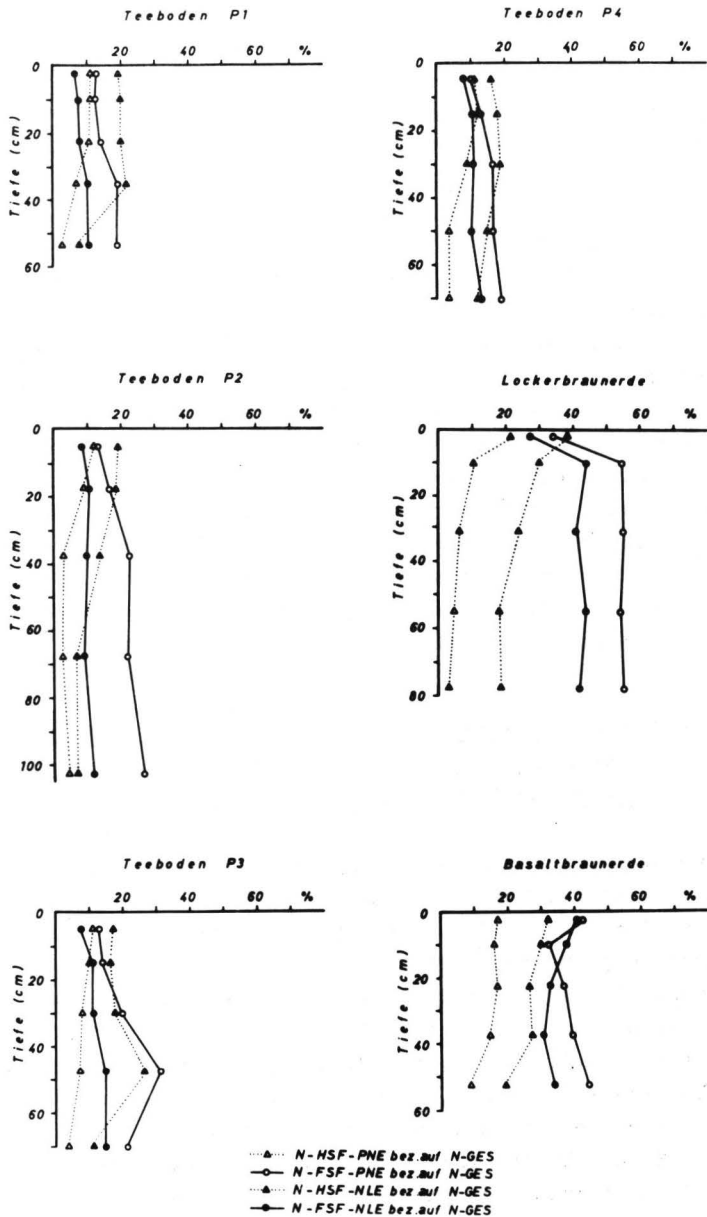


Abb. 23: Stickstoffgehalt in den Huminsäure- und Fulvosäurefraktionen (N-HSF und N-FSF) der Natriumpyrophosphat-Natronlauge- (PNE) und Natronlaugeextrakte (NLE) in % des Gesamtstickstoffgehaltes des Bodens (N-GES) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

auf N-GES, nehmen mit der Tiefe gleichmäßig ab. In der Lockerbraunerde nimmt N-FSF bezogen auf N-GES zuerst mit der Tiefe stark zu und bleibt dann gleich, dagegen nimmt N-HSF bezogen auf N-GES in den beiden Extrakten gleichmäßig ab.

Alle diese Werte zeigen zusammenfassend, daß in beiden deutschen Böden die extrahierbare Stickstoffmenge größer ist, als bei den Teeböden und diese Menge sich überwiegend in den Fulvosäurefraktionen befindet. In den Teeböden befindet sich die größte Menge des extrahierbaren Stickstoffes ebenfalls in der Fulvosäurefraktion, sie ist aber nicht so groß, wie bei den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden. Für diese Eigenschaft könnte eventuell eine stärkere Adsorption der organischen Moleküle (insbesondere Fulvosäuren) in den tieferen Horizonten der Teeböden verantwortlich sein.

4.2.4.3 Die C/N-Verhältnisse der Extrakte (C/N-PNE, -NLE), Huminsäurefraktionen (C/N-HSF -PNE, -NLE) und Fulvosäurefraktionen (C/N-FSF -PNE, -NLE)

Es wurde von LEVESQUE und SCHNITZER (1966) gezeigt, daß die extrahierte Menge an Kohlenstoff bzw. Stickstoff (Extraktion mit NaOH) von der Konzentration der Extraktionslösung abhängig ist und der prozentuale Anteil des extrahierten Kohlenstoffes bzw. Stickstoffs am Gesamt-C bzw. -N bei den unterschiedlichen Konzentrationen nicht parallel läuft. Mit anderen Worten, bei den unterschiedlichen Konzentrationen des Extraktionsmittels ändern sich nicht nur die extrahierte Menge an C und N, sondern auch das C/N-Verhältnis. YUAN (1964) hat gezeigt, daß außer der Konzentration des Extraktionsmittels auch die Art des Extraktionsmittels für das C/N-Verhältnis eine große Rolle spielt.

In Tabelle 16 sind die C/N-Verhältnisse der Extrakte, Humin- und Fulvosäurefraktionen zusammengestellt und in Abb. 24 bzw. 25 als Tiefenfunktionen gezeichnet. Bei den C/N-Verhältnissen der beiden Extrakte gibt es keine großen Unterschiede, aber in den meisten untersuchten Profilen ist im oberen Horizont $C/N-PNE > C/N-NLE$ und im unteren Horizont $C/N-PNE < C/N-NLE$. Die Teeböden haben die weitesten C/N-Verhältnisse (C/N-PNE 12.5 - 30.2, C/N-NLE 10.9 - 29.9), dagegen die Lockerbraunerde erheblich engere (C/N-PNE 7.0 - 13.9, C/N-NLE 7.2 - 14.0) und die Basaltbraunerde die engsten (C/N-PNE 7.5 - 9.6, C/N-NLE 7.8 - 8.9). In allen untersuchten Böden werden allgemein die C/N-Verhältnisse mit der Tiefe kleiner, was besonders bei den Teebodenprofilen P1, P2 und P4 sehr stark ausgeprägt ist. In dem Basaltbraunerdeprofil ist diese Abnahme geringer, ebenso wie bei C/N-PNE des Teebodens P3. Am kleinsten ist die Abnahme bei C/N-NLE des Teebodens P3 und bei den Extrakten der Lockerbraunerde (Abb. 24 bzw. 25). Die C/N-Verhältnisse der beiden Huminsäurefraktionen (C/N-HSF-PNE und C/N-HSF-NLE) sind bei den Teeböden kleiner als die C/N-Verhältnisse der entsprechenden Extrakte. In einigen Tiefen der Basalt- bzw. Lockerbraunerden ist das Verhältnis ebenso in anderen umgekehrt. Die C/N-HSF-PNE-Verhältnisse sind in allen untersuchten Profilen und fast in allen Tiefen größer als die entsprechenden C/N-HSF-NLE-Verhältnisse. Das zeigt, daß mit Natronlauge extrahierte Huminsäurefraktionen stickstoffreicher sind als die mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge extrahierten. In allen Teebodenprofilen wird das C/N-Verhältnis mit der Tiefe gleichmäßig enger, aber in Basalt- und Lockerbraunerde bleibt es entweder in ganzem Profil konstant oder wird sogar weiter. Hier bilden die C/N-HSF-NLE-Verhältnisse der Lockerbraunerden eine Ausnahme, sie werden enger. Die C/N-Verhältnisse der Huminsäurefraktionen der einzelnen Böden zeigen besonders im Oberboden die gleiche Reihenfolge wie bei den Extrakten:

Tabelle 16. Die C/N - Verhältnisse der Extrakte (C/N-PNE, -NLE), der Huminsäure-
[(C/N-HSF)-PNE, -NLE] und der Fulvosäurefraktionen[(C/N-FSF)-PNE, -NLE]

	Horizont	Tiefe (cm)	C/N -PNE	C/N -NLE	(C/N -HSF) -PNE	(C/N -HSF) -NLE	(C/N -FSF) -PNE	(C/N -FSF) -NLE
Teeboden p1	A ₁₁	0-5	30.2	29.9	25.8	24.0	34.3	45.5
	A ₁₁	5-15	30.4	30.1	27.3	22.7	33.3	50.2
	A ₁₂	15-30	29.1	29.7	26.1	24.1	31.2	44.1
	B	30-42	23.4	24.2	25.0	19.9	22.8	33.6
	C	42-65	18.9	20.4	12.0	9.88	19.8	28.0
Teeboden p2	A ₁₁	0-10	27.6	26.3	23.8	22.6	31.4	34.8
	A ₁₂	10-25	25.4	26.1	25.2	21.7	25.4	34.0
	A ₃ (B ₁)	25-50	22.2	23.5	18.6	12.4	22.7	38.8
	B	50-85	21.8	22.9	15.6	8.12	22.5	34.4
	C	85-120	12.5	10.9	4.71	5.41	13.8	14.1
Teeboden p3	A ₁₁	0-10	22.2	24.3	20.8	20.4	23.5	33.1
	A ₁₂	10-20	23.5	23.2	21.8	20.9	24.8	26.6
	B ₁	20-40	22.5	22.8	20.9	18.2	23.1	30.1
	B ₂	40-55	21.2	22.5	22.0	17.2	21.0	32.0
	C	55-85	23.8	20.2	7.34	12.2	26.6	26.3

Teeboden p4	A ₁₁	0-10	25.5	26.2	24.0	23.3	27.0	32.2
	A ₁₂	10-20	27.4	26.8	25.4	25.1	29.4	29.8
	A ₁₂	20-40	25.3	26.8	28.8	25.6	23.4	28.9
	B	40-60	19.8	16.7	18.8	12.7	20.0	22.6
	C	60-80	16.1	14.1	8.74	8.89	17.6	19.1
Basalt- braunerde	A _h	0-5	9.10	8.78	11.8	8.36	8.01	9.10
	A _h	5-15	9.62	8.78	8.74	7.59	10.0	9.74
	A _h	15-30	8.29	8.90	8.73	9.35	8.08	8.53
	B _v	30-45	8.32	8.78	8.86	8.08	8.13	9.40
	C	45-60	7.53	7.84	9.04	6.81	7.22	8.42
Locker- braunerde	A _h	0-4	13.6	13.0	12.4	10.8	14.3	16.3
	A _h B _v	4-18	13.9	14.0	13.6	8.89	13.9	17.4
	B _{v1}	18-45	8.25	8.63	13.0	6.41	7.72	9.91
	B _{v2}	45-65	7.02	7.18	12.5	5.34	6.53	7.94
	IIB _{v1}	65-90	10.2	10.5	19.5	4.87	9.51	13.1

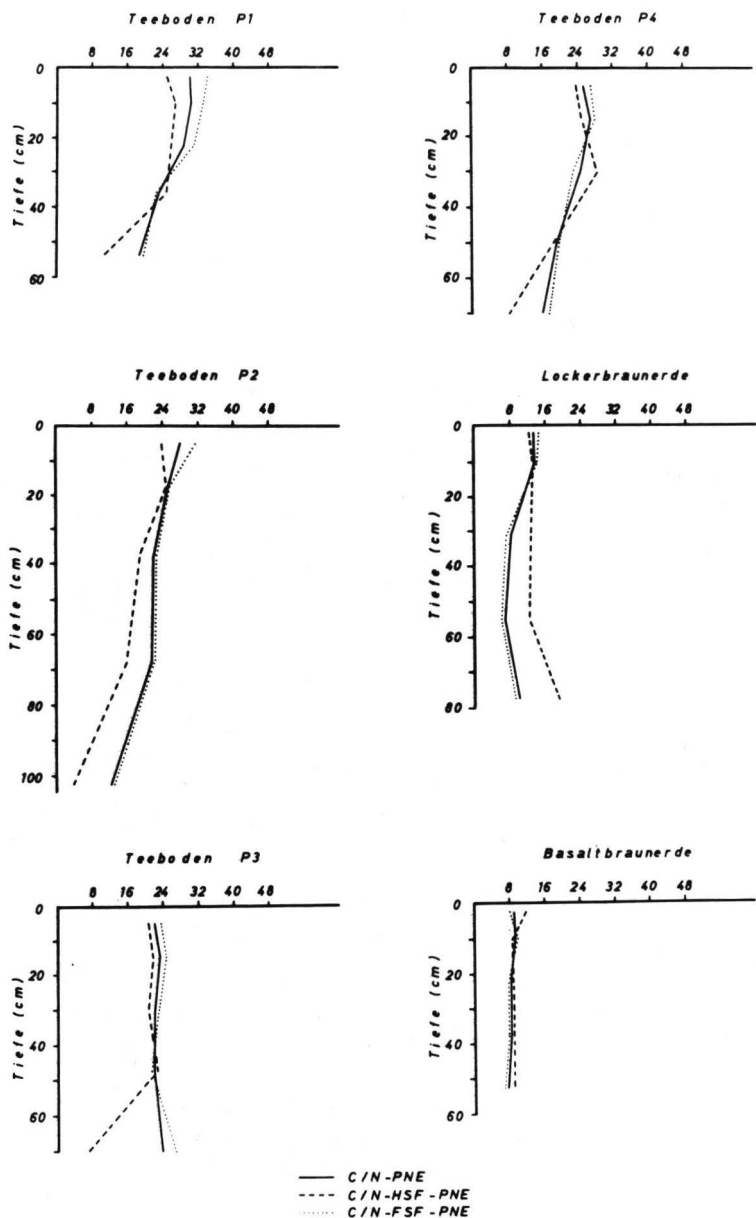


Abb. 24: C/N - Verhältnisse des Natriumpyrophosphat-Natronlauge-extraktes (PNE), der Huminsäure- (HSF-PNE) und Fulvo-säurefraktion (FSF-PNE) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

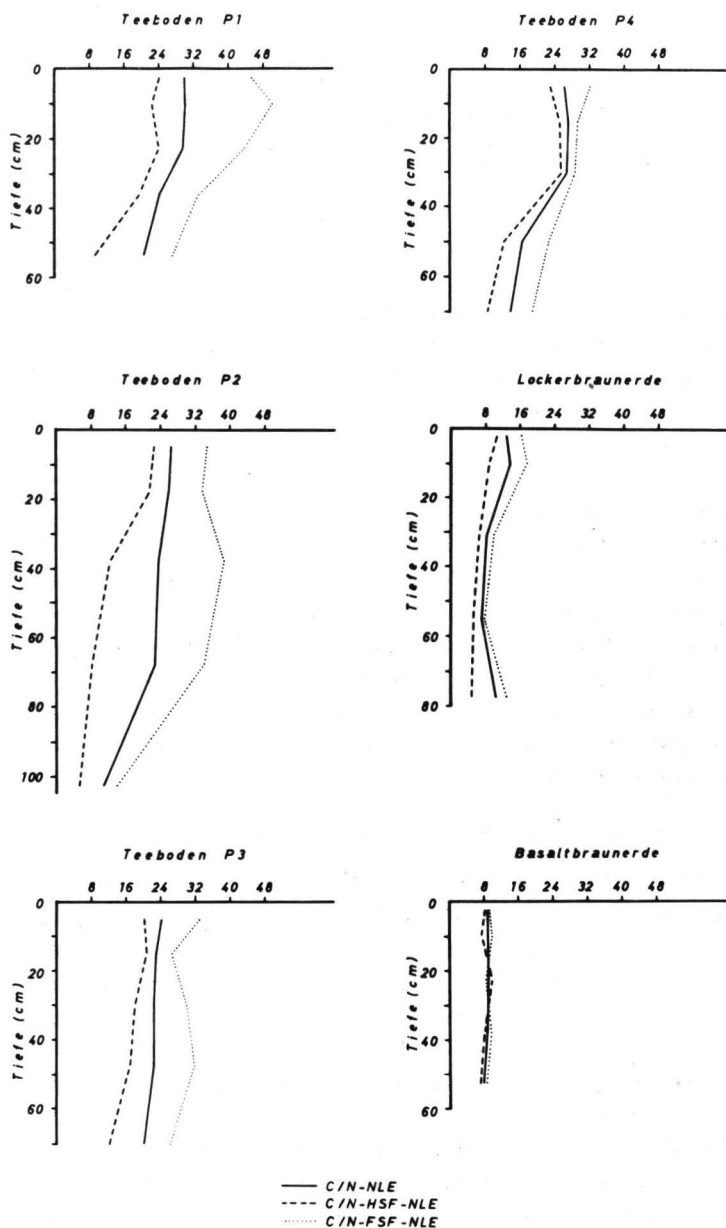


Abb. 25: C/N - Verhältnisse des Natronlaugeextraktes (NLE), der Huminsäure- (HSF-NLE) und Fulvosäurefraktion (FSF-NLE) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

Teeböden > Lockerbraunerde > Basaltbraunerde

Weites C/N-Verhältnis $\longrightarrow$ Enges C/N-Verhältnis

Hier ist interessant, daß die Huminsäurefraktionen in den unteren Horizonten der Teeböden bei Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextraktion, in den unteren Horizonten der Basalt- bzw. Lockerbraunerden aber bei Natronlaugeextraktion sehr enge C/N-Verhältnisse zeigen (in Teeböden bis 4.7, in Basaltbraunerde 6.8, in Lockerbraunerde bis 4.9).

Die C/N-Verhältnisse der Fulvosäurefraktionen der Teeböden und mit einigen Ausnahmen der Lockerbraunerde sind weiter als die C/N-Verhältnisse der Extrakte bzw. Huminsäuren (z.B. in Teeböden C/N-FSF-NLE bis 45.5). Dagegen zeigen die C/N-FSF-PNE bzw. -NLE-Verhältnisse der Basaltbraunerde keine großen Unterschiede zu den C/N-Verhältnissen der Extrakte bzw. Huminsäuren. Die Abhängigkeit des C/N-FSF-Verhältnisses vom Boden zeigt die gleiche Reihenfolge wie bei den Extrakten bzw. Huminsäurefraktionen:

Teeböden > Lockerbraunerde > Basaltbraunerde

Weites C/N-Verhältnis $\longrightarrow$ Enges C/N-Verhältnis

Außerdem sind die C/N-FSF-NLE-Verhältnisse in den Teeböden bzw. der Lockerbraunerde weiter als die C/N-FSF-PNE-Verhältnisse in der Basaltbraunerde aber je nach Tiefe unterschiedlich. In den Teeböden bzw. der Lockerbraunerde nimmt mit Ausnahme von P3 das C/N-FSF-PNE bzw. -NLE-Verhältnis mit der Tiefe ab. In dem tiefsten Horizont der Lockerbraunerde ist, wie bei C/N-Extrakt bzw. C/N-HSF-PNE, das C/N-FSF-Verhältnis weiter als die C/N-FSF-Verhältnisse der oberen Horizonte, was in diesem Horizont vermutlich auf Muttergesteinswechsel bzw. Änderung der Adsorptionsverhältnisse der organischen Moleküle zurückzuführen ist.

Die C/N-FSF-Verhältnisse der Basaltbraunerde zeigen mit der Tiefe keine gleichmäßige Ab- oder Zunahme. Wenn man zuletzt Abb. 24 und Abb. 25 vergleicht, zeigt sich deutlich, daß bei der Natronlauge-Extraktion (Abb. 25) die C/N-Extrakt-, HSF und -FSF-Verhältnisse aller untersuchten Profile mit Ausnahme der Basaltbraunerde in allen Tiefen weit auseinander, aber bei Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextraktion ziemlich eng zusammen liegen. Das bedeutet zusammenfassend, daß bei den Teeböden bzw. der Lockerbraunerde bei der NaOH-Extraktion N-ärmere Fulvosäure-Fractionen, dagegen bei Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextraktion N-reichere Fulvosäure-Fractionen extrahiert werden, wobei bei der Basaltbraunerde die beiden Extraktionsmittel keinen deutlichen Unterschied zeigen.

4.2.4.4 Extinktionsmessungen an den Extrakten und Huminsäurefraktionen

Es ist seit ODEN (1922) von verschiedenen Wissenschaftlern versucht worden, die Huminstoffe nach ihren lichtoptischen Eigenschaften zu identifizieren und zu definieren. ODEN war der Meinung, daß man durch die kolorimetrische Messung der Huminsäuren über den Humifizierungsgrad der organischen Substanz informiert werden könne, da die Dunkelfärbung der Humusextrakte mit fortschreitender Humifizierung zunehme. SPRINGER (1934, 1938), HOCK (1937, 1938 a,b) und FRÖMEL (1938, 1942) haben später über Farbton bzw. Farbtiefe als Hilfsmittel zur Differenzierung der Huminstoffe weiter gearbeitet und stellten fest, daß die logarithmisch aufgetragenen Spektren von Huminsäuren annähernd linear verlaufen und die Steigung und die Extinktionskoeffizienten bei einer bestimmten Wellenlänge ein Charakteristikum für Huminsäuren verschiedener Herkunft darstellen. Bei den weiteren Untersuchungen zeigten KONONOVA und BELCHIKOVA (1950), NEHRING und SCHIEMANN (1952), HOFFMANN (1961, 1964), PAVEL und ZAZVORKA (1956) und KUMADA (1965, 1966), daß die Aufnahme der Absorp-

tionsspektren im Bereich von 400 bis 700 nm eine Differenzierung der Huminstoffe verschiedener Herkunft ermöglichte. Um diese Differenzierung deutlicher zum Ausdruck zu bringen und von den Meßdaten noch informationsreichere Kennzahlen zu gewinnen, wurde von SALFELD (1965, 1968, 1971, 1973) und SALFELD et al. (1974) eine Reihe ergänzender Untersuchungen durchgeführt. Bei genauer Betrachtung der im sichtbaren Bereich (400-700 nm) gemessenen Spektren zeigte es sich, daß sie individuelle Abweichungen von einer Geraden zeigen und offenbar weitere Informationen über die Huminstoffsysteme enthalten (SALFELD 1973). Die Maxima und Minima dieser Abweichungen zeigen Wendepunkte in dem ursprünglichen Spektrum an und ergeben nach SALFELD charakteristische Merkmale für die Huminstoffsysteme. Es wurde gezeigt, daß man durch drei Extinktionsquotienten EQ 4/5 (400/500 nm), EQ 5/6 (500/600 nm) und EQ 6/7 (600/700 nm) mehr Informationen über die stofflichen Eigenschaften der Huminstoffe erhalten kann, als bei Angabe nur eines Extinktionsquotienten, z.B. Q 4/6 nach WELTE (SALFELD 1971).

4.2.4.4.1 Die spezifischen Extinktionen der Extrakte (SE 500-PNE, SE 500-NLE) und der Huminsäurefraktionen (SE 500-HSF-PNE, SE 500-HSF-NLE)

Zur qualitativen Differenzierung von Huminstoffsystemen in einzelnen Profilen bzw. einzelnen Tiefen wurde die Extinktion der Extrakte bzw. Huminsäurefraktionen bei 500 nm gemessen und daraus die Extinktionen für eine Lösung der Konzentration 1 mg C/10 ml Lösung berechnet (spezifische Extinktion, SE 500).

Beispiel:

E 500 in Extrakt = 20.0 in 10 ml Lösung/g Boden,

C-Gehalt in Extrakt = 50 mg/g Boden

SE 500 = $20/50 = 0.4$.

Die spezifischen Extinktionen der Extrakte bzw. Huminsäurefraktionen der untersuchten Böden sind in Tabelle 17 zusammengestellt und in Abb. 26 als Tiefenfunktion gezeichnet. In allen untersuchten Profilen und in allen Tiefen sind die (SE 500-HSF)-PNE bzw. -NLE-Werte größer als die (SE 500)-PNE, -NLE-Werte wegen des Fulvosäureanteils in den Extrakten.

In allen Teeböden ist folgende Reihe für SE 500 typisch:

PNE < NLE < HSF-NLE < HSF-PNE

Hier ist interessant, daß der Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextrakt die kleinsten SE 500-Werte aufweist, die Huminsäurefraktion dieses Extraktes dagegen die größten. Das zeigt, daß mit dem Natriumpyrophosphat-Natronlaugegemisch überwiegend Fulvosäuren extrahiert werden, aber auch tiefer gefärbte Huminsäuren als mit Natronlaugeextraktion. Dafür sollte der chemische Aufbau und die Adsorptionsform der Huminstoffe an mineralische Bestandteile, z.B. Komplexbildungen mit verschiedenen 3-wertigen Kationen, verantwortlich sein.

In den tieferen Horizonten aller Teebodenprofile ändert sich diese Reihe für SE 500 in folgender Weise:

NLE < PNE < HSF-NLE < HSF-PNE

Diese Reihenfolge ist die gleiche wie bei den C-Gehalten der Extrakte bzw. Huminsäuren. Wenn man die Tiefenfunktionen (Abb. 26) betrachtet, ist zu erkennen, daß in allen Teebodenprofilen die SE 500-Werte der Extrakte bzw. Huminsäurefraktionen mit der Tiefe zuerst zu und

Tabelle 17. Die spezifischen Extinktionen (SE 500) der Extrakte (PNE , NLE) und der Huminsäurefraktionen(HSF-PNE , HSF-NLE)

	Horizont	Tiefe (cm)	SE500		SE500	
			-PNE	-NLE	-HSF -PNE	-HSF -NLE
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	0.557	0.659	1.19	0.997
	A ₁₁	5-15	0.715	0.779	1.43	1.32
	A ₁₂	15-30	0.714	0.892	1.66	1.36
	B	30-42	0.568	0.628	1.66	1.09
	C	42-65	0.156	0.127	1.05	0.306
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	0.510	0.583	1.05	0.888
	A ₁₂	10-25	0.576	0.715	1.36	1.16
	A ₃ (B ₁)	25-50	0.153	0.201	0.806	0.228
	B	50-85	0.135	0.128	0.941	0.348
	C	85-120	0.011	0.011	0.200	0.110
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	0.558	0.620	1.09	0.962
	A ₁₂	10-20	0.575	0.685	1.23	1.06
	B ₁	20-40	0.426	0.571	1.22	0.990
	B ₂	40-55	0.403	0.496	1.45	0.879
	C	55-85	0.128	0.123	1.17	0.230
Teeboden P4	A ₁₁	0-10	0.712	0.775	1.29	1.12
	A ₁₂	10-20	0.874	1.02	1.56	1.50
	A ₁₂	20-40	0.889	1.03	1.77	1.53
	B	40-60	0.265	0.279	0.870	0.452
	C	60-80	0.146	0.120	0.889	0.226
Basalt- braunerde	A _h	0-5	0.426	0.392	0.727	0.763
	A _h	5-15	0.502	0.422	1.17	0.899
	A _h	15-30	0.599	0.568	1.27	1.03
	B _v	30-45	0.520	0.522	1.31	1.01
	C	45-60	0.337	0.327	1.22	0.771
Locker- braunerde	A _h	0-4	0.481	0.474	0.640	0.744
	A _h B _v	4-18	0.212	0.235	0.540	0.515
	B _{v1}	18-45	0.101	0.224	0.304	0.462
	B _{v2}	45-65	0.084	0.215	0.304	0.551
	IIB _{v1}	65-90	0.077	0.210	0.306	0.977

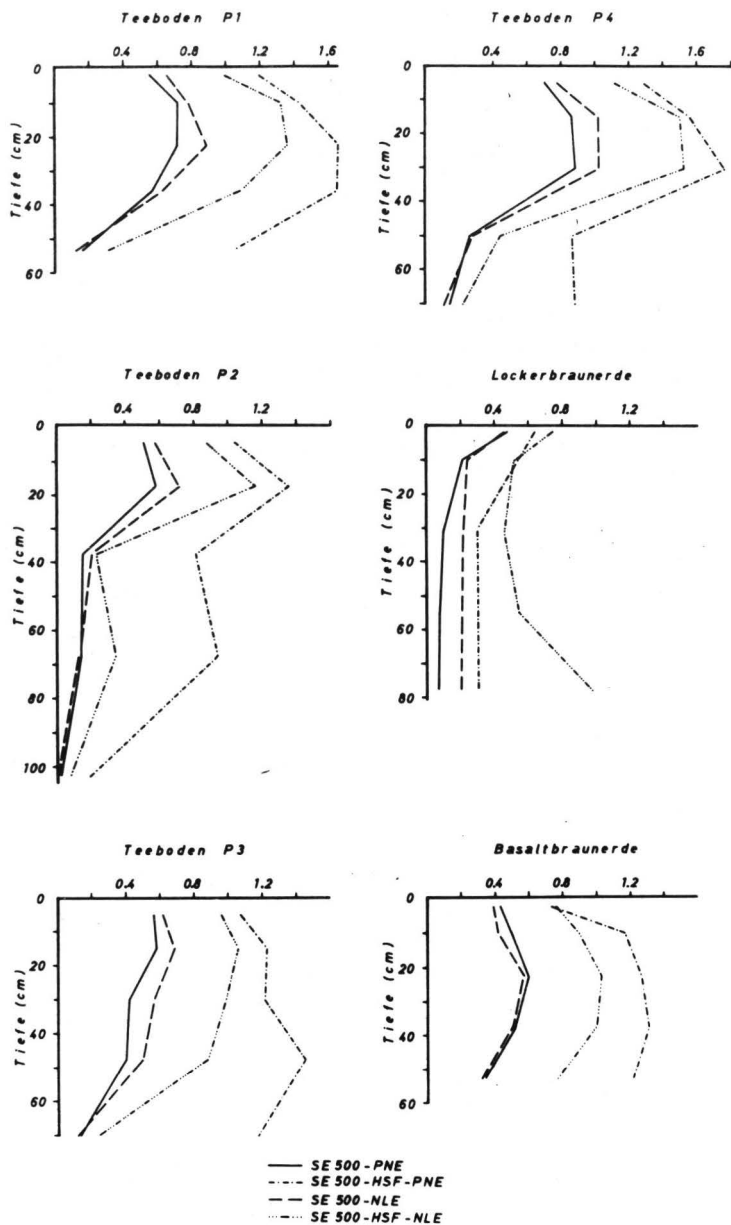


Abb. 26: Die spezifischen Extinktionen (SE 500) der Natriumpyrophosphat-Natronlauge- (PNE) und Natronlaugeextrakte (NLE) und der entsprechenden Huminsäurefraktionen (HSF-PNE und HSF-NLE) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

dann wieder abnehmen. Nach diesem Befund ist anzunehmen, daß sich in diesen Böden in den mittleren Horizonten relativ tief gefärbte Huminstoffe befinden. Diese Eigenschaft ist besonders in dem ersten und vierten Teebodenprofil stark ausgeprägt.

Die Tiefenfunktion bei der Basaltbraunerde zeigt einen ähnlichen Verlauf wie bei den Teebodenprofilen, aber die Reihe der SE 500-Werte ist im ganzen Profil konstant, und zwar wie in den tieferen Horizonten der Teeböden:

$$\text{NLE} < \text{PNE} < \text{HSF-NLE} < \text{HSF-PNE}$$

In der Lockerbraunerde zeigen die SE 500-Werte der Extrakte und Huminsäuren ganz andere Reihenfolgen und Tiefenfunktionen als in den Teeböden oder der Basaltbraunerde. Die Reihe der SE 500 ist wie folgt:

$$\text{PNE} < \text{NLE} < \text{HSF-PNE} < \text{HSF-NLE}$$

Die Tiefenfunktionen der SE 500-PNE und -NLE zeigen mit der Tiefe eine Abnahme, wobei auch SE 500-HSF-PNE parallel abnimmt, aber SE 500-HSF-NLE nur bis zum mittleren Horizont ab- und dann wieder zunimmt. Diese Werte zeigen, daß sich in diesem Profil relativ niedermolekulare organische Stoffe befinden, und zwar mit der Tiefe in zunehmender Menge und die relativ hochmolekularen organischen Stoffe besonders in den oberen Horizonten und überwiegend in freier Form vorliegen.

Wenn man die SE 500-Werte aller untersuchten Profile gemeinsam betrachtet, dann sieht man, daß die Teeböden die größten SE 500-PNE, -NLE (0.889, 1.03) bzw. (SE 500-HSF)-PNE, -NLE-Werte (1.77 , 1.53) zeigen, dagegen zeigt die Basaltbraunerde kleinere SE 500-PNE, -NLE (0.599, 0.568)- bzw. (SE 500-HSF)-PNE, -NLE (1.31, 1.03) - und die Lockerbraunerde die kleinsten SE 500-PNE, -NLE (0.481, 0.474) - bzw. (SE 500-HSF)-PNE, -NLE (0.640,

0.977)-Werte. Nach abnehmendem SE 500 bilden die untersuchten Böden folgende Reihe:

Teeböden > Basaltbraunerde > Lockerbraunerde

4.2.4.4.2 Die Extinktionsquotienten der Extrakte
(EQ 4/5-, EQ 5/6-, EQ 6/7-PNE, -NLE) und
Huminsäurefraktionen [(EQ 4/5-, EQ 5/6-,
EQ 6/7-HSF)-PNE, -NLE]

SPRINGER (1934) hat zum erstenmal zur Charakterisierung von Huminstoffen (Huminsäuren) den "Farbquotienten" eingeführt. Später setzte WELTE (1956) die Untersuchungen über Extinktionsquotienten ($E_{472}/E_{664 \text{ nm}} = Q_{4/6}$) fort. Neuerdings gewannen durch SALFELD (1971, 1975) die Extinktionsquotienten (EQ 4/5, 5/6, 6/7 - siehe 4.2.4.3) eine erhebliche Bedeutung für die Definition von Huminstoffsystemen.

Um eine Wiederholung von Zahlen zu vermeiden, sind statt der bei den vier Wellenlängen (400, 500, 600, 700 nm) gemessenen Extinktionswerte nur die Extinktionsquotienten EQ 4/5 ($E_{400}/E_{500 \text{ nm}}$), EQ 5/6 ($E_{500}/E_{600 \text{ nm}}$) und EQ 6/7 ($E_{600}/E_{700 \text{ nm}}$) der Extrakte (PNE, NLE) bzw. Huminsäurefraktionen (HSF-PNE, HSF-NLE) in Tabelle 18 zusammengestellt. Die Extinktionsquotienten wurden nicht berechnet, wenn die Extinktion < 0.05 und > 1.5 war (in Tabelle 18 ein Strich).

Es ist in der Tabelle 18 zu sehen, daß die Teebodenproben die kleinsten, die Lockerbraunerdeproben die größten EQ-Werte zeigen, und die Basaltbraunerdeproben sich dazwischen befinden. Das ist besonders bei EQ 6/7 ausgeprägt. Um die gegenseitige Abhängigkeit der drei Extinktionsquotienten darzustellen, sind die EQ-Werte der Extrakte und Huminsäurefraktionen in einem Koordinatensystem, mit den Koordinaten EQ4/5, EQ5/6, EQ6/7, einge-

Tabelle 18. Extinktionsquotienten der Extrakte (PNE,NLE) und der Huminsäurefraktionen (HSF-PNE , HSF-NLE)

	Horizont	Tiefe (cm)	EQ	EQ	EQ	EQ	EQ	EQ	EQ	EQ	EQ	EQ	EQ	EQ
			4/5	5/6	6/7	4/5	5/6	6/7	4/5	5/6	6/7	4/5	5/6	6/7
			-PNE	-PNE	-PNE	-NLE	-NLE	-NLE	-PNE	-PNE	-PNE	-NLE	-NLE	-NLE
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	2.60	2.26	2.98	2.45	2.10	2.52	2.19	1.98	2.66	2.25	2.02	2.45
	A ₁₁	5-15	2.23	2.06	2.67	2.16	1.89	2.36	1.99	1.91	2.54	2.01	1.90	2.30
	A ₁₂	15-30	2.16	2.32	2.57	2.16	1.93	2.32	1.91	1.89	2.38	1.96	1.87	2.18
	B	30-42	2.24	2.12	2.94	2.06	2.06	2.21	1.90	1.89	2.62	1.96	1.91	2.31
	C	42-65	2.94	2.43	-	3.25	2.43	-	1.99	1.86	-	2.86	2.09	-
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	2.53	2.28	3.18	2.36	2.12	2.50	2.16	2.09	2.69	2.16	2.02	2.50
	A ₁₂	10-25	2.32	2.20	3.00	2.20	2.01	2.41	2.00	1.97	2.64	2.00	1.94	2.28
	A ₃ (B ₁)	25-50	3.21	2.04	-	3.11	2.44	-	2.04	1.86	-	2.41	2.17	-
	B	50-85	3.11	1.87	-	3.50	-	-	2.06	1.95	-	2.30	-	-
	C	85-120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	2.59	2.29	3.30	2.39	2.17	2.50	2.21	2.13	2.49	2.19	2.18	2.28
	A ₁₂	10-20	2.52	2.26	3.02	2.32	2.09	2.44	2.15	2.09	2.60	2.11	2.01	2.40
	B ₁	20-40	2.58	2.50	3.05	2.29	2.15	2.32	2.07	2.06	2.63	2.07	1.99	2.27
	B ₂	40-55	2.41	2.40	2.77	2.24	2.21	2.43	2.04	2.05	2.79	2.04	2.00	2.33
	C	55-85	3.02	2.44	-	3.30	1.94	-	2.14	1.99	-	2.51	2.08	-

Teeboden P4	A ₁₁	0-10	2.31	2.05	2.63	2.14	1.99	2.34	2.04	1.98	2.45	2.01	1.94	2.22
	A ₁₂	10-20	2.22	1.92	2.73	2.12	1.93	2.12	1.93	1.87	2.30	1.95	1.86	2.15
	A ₁₂	20-40	2.12	1.99	2.42	2.03	1.85	2.07	1.90	1.83	2.21	1.92	1.82	2.02
	B	40-60	2.70	2.18	-	2.75	2.36	-	2.14	1.88	2.20	2.21	1.94	2.73
	C	60-80	3.27	-	-	3.66	-	-	2.55	-	-	2.52	-	-
Basalt- braunerde	A _h	0-5	2.77	1.94	4.48	2.79	2.01	3.57	2.03	1.61	3.85	2.20	1.72	3.67
	A _h	5-15	2.35	1.70	-	2.46	1.79	3.90	1.84	1.50	4.09	2.04	1.63	3.76
	A _h	15-30	2.14	1.63	4.22	2.19	1.71	3.75	1.74	1.49	3.77	1.88	1.59	3.59
	B _v	30-45	2.20	1.66	4.28	2.28	1.79	3.45	1.76	1.50	4.10	1.97	1.64	3.52
	C	45-60	2.45	1.69	4.74	2.63	1.86	4.25	1.75	1.46	3.93	2.17	1.61	4.22
Locker- braunerde	A _h	0-4	2.80	1.96	-	2.83	2.03	4.18	1.95	1.60	4.40	2.32	1.78	4.08
	A _h B _v	4-18	3.58	2.27	-	3.61	2.33	-	2.10	1.53	-	2.42	1.74	3.70
	B _{v1}	18-45	3.23	1.96	-	3.73	2.52	4.28	2.06	1.39	-	3.17	2.01	4.60
	B _{v2}	45-65	3.12	2.04	-	3.64	2.55	-	2.07	1.41	-	3.11	1.95	4.24
	IIB _{v1}	65-90	3.33	-	-	3.85	3.02	-	2.24	1.59	-	3.32	2.22	3.30

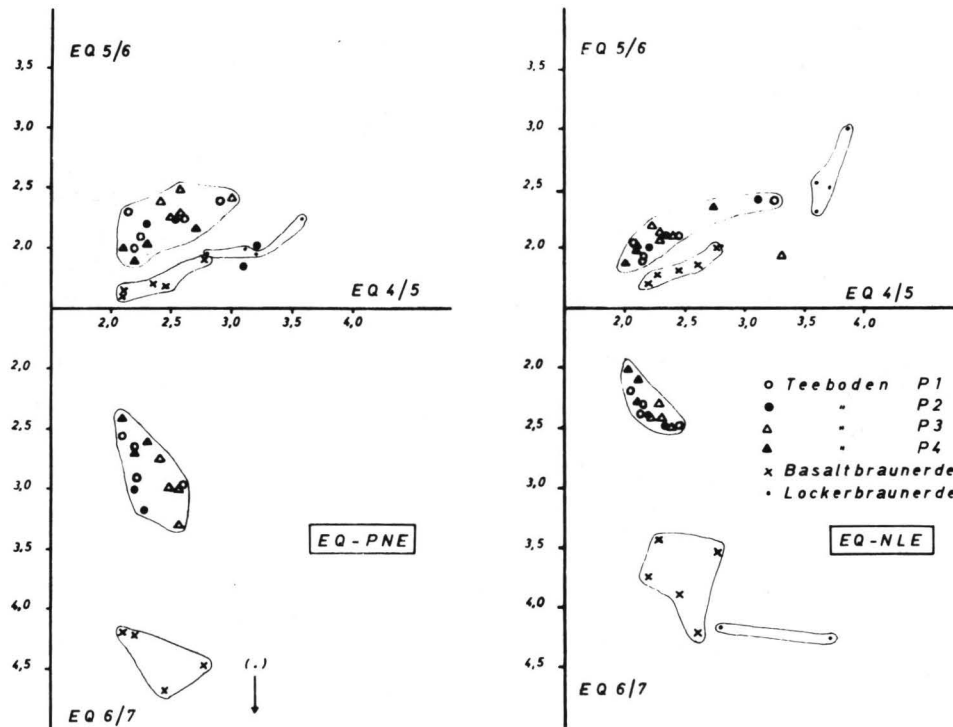


Abb. 27: Spektrendiagramme der Natriumpyrophosphat-Natronlauge-(PNE) und Natronlaugeextrakte (NLE)

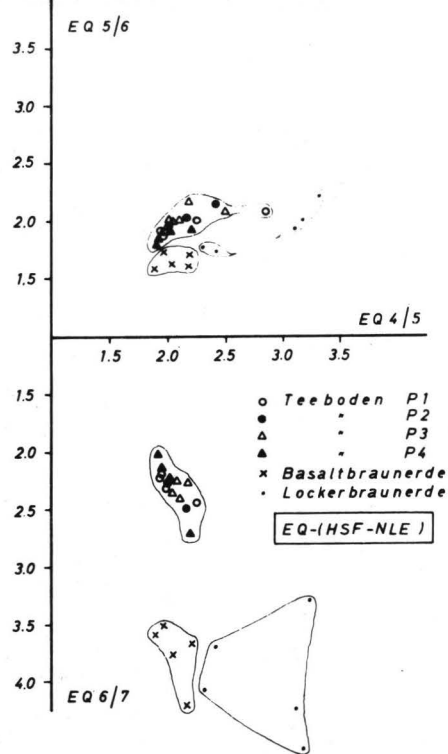
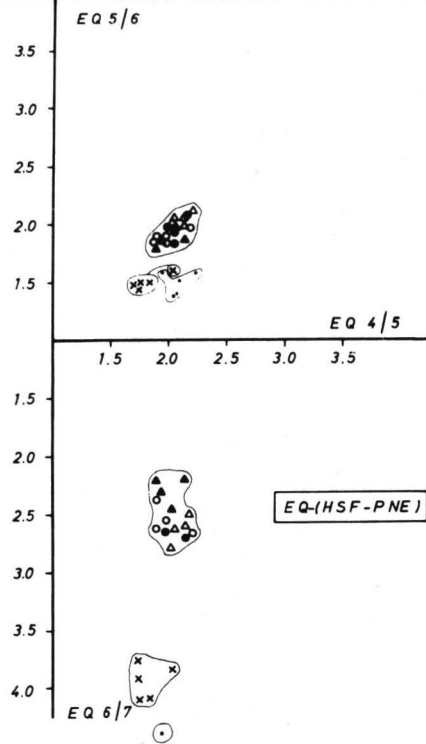


Abb. 28: Spektrendiagramme der Huminsäurefraktionen aus den Natriumpyrophosphat-Natronlauge-(HSF-PNE) und Natronlaugeextrakten (HSF-NLE)

tragen. Dabei liefert unabhängig von dem Profil jede untersuchte Probe bzw. das entsprechende Spektrum allein für sich im zweidimensionalen Koordinatensystem einen Punkt.

In Abb. 27 sind die Extinktionsquotienten der Extrakte und in Abb. 28 die Extinktionsquotienten der Huminsäurefraktionen in ein solches Koordinatensystem eingetragen. Die Proben, die zu den Teeböden gehören, bilden unabhängig von der Tiefe bzw. vom Profil (Standort) eine in sich geschlossene Gruppe, die besonders im (EQ4/5 - EQ6/7) -Koordinatensystem stark ausgeprägt ist. Die Basaltbraunerdeproben bilden auch eine in sich geschlossene zweite Gruppe. Die Proben, die zur Lockerbraunerde gehören, streuen außerhalb dieser beiden Gruppen auf relativ breiter Fläche. Die Spektrendiagramme der Huminsäuren zeigen noch stärker in sich geschlossene Gruppen als bei den Extrakt-Spektrendiagrammen.

Der Vergleich der beiden Extraktionsmittel zeigt in dieser Beziehung im Grunde genommen keinen Unterschied, aber bei der HSF-PNE sind die Proben, die zu einer Gruppe gehören, etwas enger beieinander als HSF-NLE. Das bedeutet, daß bei der Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextraktion Huminstoffe extrahiert werden die ähnlichere lichtoptische Eigenschaften zeigen als die mit Natronlauge allein extrahierten. Diese Gruppierungen zeigen auch, daß die lichtoptischen Eigenschaften der Huminstoffsysteme zu ihrer Definition bzw. Eingruppierung einen wesentlichen Beitrag leisten.

4.2.5 Bodenhydrolysate

Aus den organischen Stoffen, die sich im Boden befinden, werden bei der Behandlung mit Mineralsäuren niedermolekulare, wasserlösliche Anteile abgespalten. Im löslichen Anteil befinden sich Kohlenhydrate, Proteinspaltstücke (Aminosäuren) und Aminosucker. Die in den untersuchten Böden durch Hydrolyse abgespaltenen stickstoffhaltigen Verbindungen und Kohlenhydrate werden in folgenden Abschnitten im einzelnen besprochen.

4.2.5.1 Stickstoff Fraktionierung

Die Stickstofffraktionierungen wurden an den untersuchten Profilen mit der von BREMNER (1965) ausgearbeiteten Methodenkombination (siehe METHODEN) durchgeführt. Dabei wurden nach Hydrolyse des Bodens mit 6 n Salzsäure im Hydrolysat Gesamt-N [HB-GES-N (HB = Hydrolysierbar)], Amid-N (HB-Amid-N), Hexosamin-N (HB-Hexosamin-N) und α -Aminosäure-N (HB- α -Amino-N) bestimmt. (HB-GES-N) - (HB-Amid-N + HB-Hexosamin-N + HB- α -Amino-N) wird als HB-Rest-N bezeichnet.

4.2.5.1.1 Gesamtstickstoff im Hydrolysat (HB-GES-N)

Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, daß in mineralischen bzw. organischen Böden durch Hydrolyse mit Mineralsäuren (meistens 6 n HCl) je nach Bodentyp und Standort zwischen 60 und 85 % des gesamten organisch gebundenen Stickstoffs abgespalten werden (SPRINGER und KLEE 1958, BREMNER 1967, ALDAG und KICKUTH 1973 a,b, SÖCHTIG 1973 a, SÖCHTIG und MACIAK 1971, SADAT 1974). Weitere Untersuchungen zeigten, daß der prozentuale Anteil des durch Hydrolyse abgespaltenen Stickstoffs am Gesamtstickstoff nicht nur vom Bodentyp und Standort abhängt, sondern in einem Profil auch, je nach

Tabelle 19. Hydrolysierbarer Gesamtstickstoff und Stickstoffbindungsformen (in mg/g Boden)

	Horizont	Tiefe (cm)	HB- GES-N	HB- Amid -N	HB- Hexos- amin-N	HB- α -Amino -N	HB- Rest -N
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	3.83	0.948	0.093	1.33	1.46
	A ₁₁	5-15	2.58	0.695	0.092	0.745	1.05
	A ₁₂	15-30	1.27	0.371	0.081	0.351	0.463
	B	30-42	0.600	0.186	0.037	0.139	0.239
	C	42-65	0.294	0.104	0.010	0.030	0.150
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	4.14	0.960	0.286	1.47	1.42
	A ₁₂	10-25	1.91	0.522	0.108	0.678	0.598
	A ₃ (B ₁)	25-50	0.401	0.148	0.008	0.074	0.171
	B	50-85	0.268	0.093	0.007	0.046	0.123
	C	85-120	0.151	0.046	0.024	0.018	0.064
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	3.94	1.05	0.136	1.31	1.44
	A ₁₂	10-20	3.66	0.998	0.187	1.24	1.24
	B ₁	20-40	1.37	0.364	0.092	0.369	0.547
	B ₂	40-55	0.626	0.211	0.032	0.073	0.311
	C	55-85	0.263	0.096	0.025	0.020	0.122
Teeboden P4	A ₁₁	0-10	3.48	0.933	0.227	1.03	1.29
	A ₁₂	10-20	1.48	0.411	0.064	0.412	0.589
	A ₁₂	20-40	0.481	0.163	0.025	0.098	0.196
	B	40-60	0.230	0.093	0.005	0.038	0.095
	C	60-80	0.182	0.085	0.001	0.019	0.077
Basalt- braunerde	A _h	0-5	4.32	1.27	0.250	1.11	1.69
	A _h	5-15	3.50	0.844	0.394	0.720	1.54
	A _h	15-30	2.44	0.682	0.242	0.559	0.959
	B _v	30-45	1.33	0.351	0.120	0.329	0.528
	C	45-60	0.545	0.128	0.067	0.105	0.245
Locker- braunerde	A _h	0-4	7.04	1.41	0.435	2.41	2.79
	A _h B _v	4-18	1.81	0.423	0.084	0.448	0.856
	B _{v1}	18-45	0.926	0.250	0.044	0.280	0.352
	B _{v2}	45-65	0.515	0.133	0.046	0.131	0.205
	IIB _{v1}	65-90	0.214	0.076	0.010	0.011	0.117

Horizont bzw. Tiefe, Unterschiede zeigt. KHAN und SOWDEN (1971) fanden in einem Solonetz-Profil 64.7 - 74.6 %, in einem Solod-Profil 75.2 - 87.0 % und in einem Chernosem-Profil 69.5 - 82.3 % des Gesamtstickstoffes im Hydrolysat. Die Untersuchungen von SÖCHTIG und MACIAK (1971) an einem Torfprofil zeigen mit 53 - 92 % HB-GES-N, bezogen auf GES-N im Boden je nach Tiefe noch größere Unterschiede.

In allen von uns untersuchten Profilen nehmen die HB-GES-N (mg N/g Boden) mit der Tiefe ab (Tabelle 19, Abb. 29). Die auf N-GES bezogenen (HB-GES-N)-Werte zeigen, daß in jedem Profil und in jeder Tiefe unterschiedliche Mengenanteile hydrolysierbar sind. Die hydrolysierbare N-Menge beträgt in dem Teebodenprofil P1 45.6 - 68.7 %, in P2 59.7 - 82.3 %, in P3 58.5 - 82.2 %, in P4 63.5 - 71.4 %, im Basaltbraunerdeprofil 65.1 - 81.1 % und im Lockerbraunerdeprofil 45.3 - 85.7 % des Gesamtstickstoffs (Tabelle 20). Diese Werte sind in Abb. 30 als Tiefenfunktion gezeichnet. Die Tiefenfunktionen zeigen, daß in dem Teeboden P1, in Basaltbraunerde und Lockerbraunerde mit der Tiefe die Abspaltbarkeit des Stickstoffes durch Hydrolyse deutlich abnimmt. Das dürfte nach SCHEFFER und ULRICH (1960) bedeuten, daß in diesen Profilen mit der Tiefe heterocyclisch gebundener Stickstoff bzw. schwer hydrolysierbarer Stickstoff zunimmt. Dieser Anteil ist besonders in den Teeböden und der Lockerbraunerde viel größer als in der Literatur für andere Böden angegeben wird (z.B. ALDAG und KICKUTH 1973). Dieser N-Gehalt nimmt im Teeboden P2 von oben bis zum mittleren Horizont ab, um dann fast stabil zu bleiben. Teeboden P3 zeigt aber mit der Tiefe zuerst eine schwache Zunahme, dann starke Abnahme. Beim Teeboden P4 tritt mit der Tiefe keine wesentliche Änderung ein.

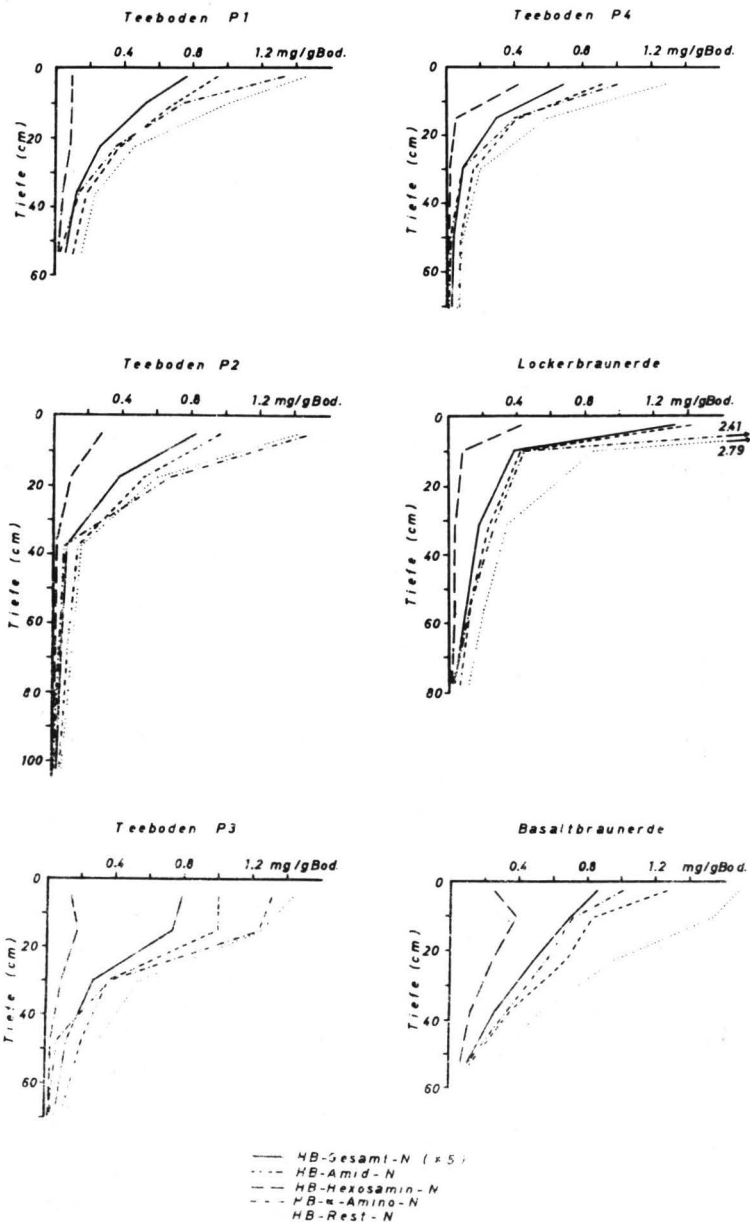


Abb. 29: Hydrolysierbarer Stickstoff (HB-GES-N) und Stickstoffbindungsformen (HB-Amid-N, HB-Hexosamin-N, HB- α -Amino-N und HB-Rest-N) in mg/g Boden in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

4.2.5.1.2 Amid-Stickstoff (HB-Amid-N)

Im Boden vorliegende Ammoniumionen und während der Hydrolyse aus Amidem, aber auch aus einigen anderen Bindungsformen als Ammoniumionen abgespaltener Stickstoff, wird als HB-Amid-N bezeichnet. BREMNER (1965) bezeichnet diese Fraktion als Ammonium-N. Nach bisherigen Untersuchungen macht HB-Amid-N ungefähr 20 % des Gesamtstickstoffs aus (FLAIG und SÖCHTIG 1967, ALDAG und KICKUTH 1973 a).

HB-Amid-N der untersuchten Böden nimmt mit der Tiefe gleichmäßig ab (Tabelle 19, Abb. 29). Die auf GES-N bezogenen (HB-Amid-N)-Werte zeigen, daß im Teebodenprofil P1 (16.1 - 18.5 %) und P2 (19.1 - 22.5 %) mit der Tiefe keine wesentliche Änderung (Ab- oder Zunahme) vorkommt, aber bei P3 (18.8 - 27.6 %) und P4 (17.7 - 30.9 %) schwache Zunahme, bei P3 im letzten Horizont allerdings wieder eine Abnahme erkennbar ist. Im Basaltbraunerdeprofil nimmt HB-Amid-N bezogen auf N-GES (15.3 - 23.6 %) mit der Tiefe schwach ab, dagegen zeigt die Lockerbraunerde fast gleiche Eigenschaften wie die Teeböden P1 und P2 und die Werte bleiben mit der Tiefe konstant (14.6 - 18.4 %) (Tabelle 20, Abb. 30).

4.2.5.1.3 Hexosamin-Stickstoff (HB-Hexosamin-N)

Die als Aminosucker vorliegenden und durch Hydrolyse abgespaltenen Stickstoffanteile sind unter dem Begriff des HB-Hexosamin-N zusammengefaßt. Diese Fraktion ist die kleinste und beträgt 5 - 10 % des Gesamtstickstoffes (BREMNER 1965). Aminosucker wie Chitin bzw. Glucosamin, die als Hauptvorkommen dieser N-Form gelten, werden langsamer zersetzt als z.B. die Proteine (Casein) (SCHEFFER und ULRICH 1960).

Tabelle 20. Hydrolysierbarer Gesamtstickstoff bzw. Stickstoffbindungsformen in % vom Gesamtstickstoff (C-GES), sowie die Stickstoffbindungsformen in % vom hydrolysierbaren Gesamtstickstoff

	Horizont	Tiefe (cm)	HB-GES-N bez.auf N-GES	HB- Amid-N bez.auf N-GES	HB- Hexos- amin-N bez.auf N-GES	HB-Ami- no-N bez.auf N-GES	HB- Rest-N bez.auf N-GES	HB- Amid-N bez.auf HB-GES-N	HB- Hexos- amin-N bez.auf HB-GES-N	HB-Ami- no-N bez.auf HB-GES-N	HB- Rest-N bez.auf HB-GES-N
Teeboden p1	A ₁₁	0-5	68.7	17.0	1.67	23.8	26.2	24.8	2.43	34.7	38.2
	A ₁₁	5-15	66.3	17.9	2.38	19.1	26.9	26.9	3.60	28.9	40.6
	A ₁₂	15-30	63.2	18.5	4.04	17.5	23.1	29.3	6.39	27.7	36.5
	B	30-42	55.1	17.0	3.41	12.8	21.9	30.9	6.20	23.2	39.7
	C	42-65	45.6	16.1	1.51	4.69	23.3	35.2	3.30	10.3	51.2
Teeboden p2	A ₁₁	0-10	82.3	19.1	5.68	29.3	28.2	23.2	6.90	35.6	34.3
	A ₁₂	10-25	74.1	20.3	4.02	26.3	23.2	27.4	5.67	35.5	31.4
	A _{3(B₁)}	25-50	59.7	22.0	1.19	11.1	25.4	36.9	2.00	18.6	42.6
	B	50-85	64.7	22.5	1.75	11.0	29.7	34.7	2.42	17.0	45.9
	C	85-120	65.6	20.1	10.3	7.59	27.6	30.7	15.7	11.6	42.0
Teeboden p3	A ₁₁	0-10	70.4	18.8	2.43	23.5	25.7	26.8	3.45	33.3	36.5
	A ₁₂	10-20	73.0	19.9	3.73	24.6	24.7	27.2	5.11	33.8	33.9
	B ₁	20-40	71.6	19.0	4.78	19.2	28.6	26.6	6.68	26.9	39.9
	B ₂	40-55	82.2	27.6	4.21	9.51	40.8	33.7	5.12	11.6	49.7
	C	55-85	58.5	21.4	5.58	4.38	27.1	36.6	9.53	7.49	46.4

Teeboden P4	A ₁₁	0-10	66.0	17.7	4.30	19.5	24.6	26.8	6.51	29.5	37.2
	A ₁₂	10-20	68.0	18.9	2.93	19.0	27.1	27.9	4.31	27.9	39.9
	A ₁₂	20-40	63.5	21.5	3.25	12.9	25.9	33.9	5.12	20.3	40.7
	B	40-60	71.4	28.8	1.55	11.7	29.4	40.4	2.17	16.4	41.1
	C	60-80	66.6	30.9	0.400	6.98	28.3	46.4	0.610	10.5	42.5
Basalt - braunerde	A _h	0-5	80.0	23.6	4.62	20.5	31.3	29.5	5.77	25.6	39.1
	A _h	5-15	81.1	19.6	9.13	16.7	35.8	24.1	11.3	20.6	44.1
	A _h	15-30	76.5	21.4	7.58	17.5	30.1	27.9	9.91	22.9	39.3
	B _v	30-45	73.3	19.4	6.63	18.2	29.1	26.5	9.04	24.8	39.7
	C	45-60	65.1	15.3	7.95	12.6	29.3	23.5	12.2	19.3	44.9
Locker- braunerde	A _h	0-4	85.7	17.1	5.29	29.3	34.0	20.0	6.17	34.2	39.6
	A _h B _v	4-18	79.0	18.5	3.66	19.6	37.3	23.4	4.64	24.8	47.3
	B _{v1}	18-45	67.0	18.1	3.20	20.3	25.5	27.0	4.77	30.2	38.1
	B _{v2}	45-65	56.5	14.6	5.01	14.3	22.6	25.9	8.86	25.4	39.9
	IIB _{v1}	65-90	45.3	16.1	2.12	2.27	24.8	35.6	4.68	5.01	54.7

HB-Hexosamin-N nimmt mit Ausnahme des Teebodens P3 10 - 20 cm und der Basaltbraunerde 5 - 15 cm in allen untersuchten Böden mit der Tiefe ab (Tabelle 19, Abb. 29). Nur ist diese Abnahme besonders in Teeböden P1, P3 und im Basaltbraunerdeprofil nicht so stark wie bei den anderen N-Formen. Für die ziemlich starke Zunahme des HB-Hexosamin-N in der Basaltbraunerde in 5-15 cm Tiefe dürfte sehr starke Pilzaktivität (*Oudemansiella platyphyllum*) verantwortlich sein. Chitin, ein kettenförmiges Acetylglucosamin, ist eines der Hauptbauelemente der Pilze und kann bis 22 % der Trockensubstanz betragen (SCHEFFER und ULRICH 1960). Das trifft vermutlich auch für Teeboden P3 (10 - 20 cm) zu.

Die auf N-GES bezogene HB-Hexosamin-N-Werte der Teeböden P1 (1.51 - 4.04 %) nehmen zuerst mit der Tiefe schwach zu dann ab, in P2 (1.19 - 10.3 %) zuerst ab und dann zu, in P3 (2.43 - 5.58 %) sehr schwach zu und in P4 (4.30 - 0.40 %) sehr schwach ab. Im Basaltbraunerdeprofil nehmen die prozentualen Anteile des HB-Hexosamin-N am N-GES mit der Tiefe zuerst stark zu, dann ab (4.62 - 9.13 %). Im Lockerbraunerdeprofil sieht man mit der Tiefe keine Ab- oder Zunahme (die Werte liegen zwischen 2.12 und 5.29 %) (Tabelle 20, Abb. 30).

4.2.5.1.4 α -Amino-Stickstoff (HB- α -Amino-N)

Mit der Ninhydrin-Methode wird nur α -Amino-N von Aminosäuren erfaßt. Bisher wurde in zahlreichen Publikationen berichtet, daß 20 - 50 % des Gesamtstickstoffs als Aminosäure-N bei der Hydrolyse frei wird (PREMNER 1965, FLAIG und SÖCHTIG 1967, ALDAG und KICKUTH 1973 a). Hohe α -Amino-N-Gehalte von 50 - 60 % findet man nach SCHEFFER und ULRICH (1960) bei Humusformen mit gehemmter Zersetzung wie Streu, Torf und Rohhumus. JORGENSEN (1967) fand in Waldböden über

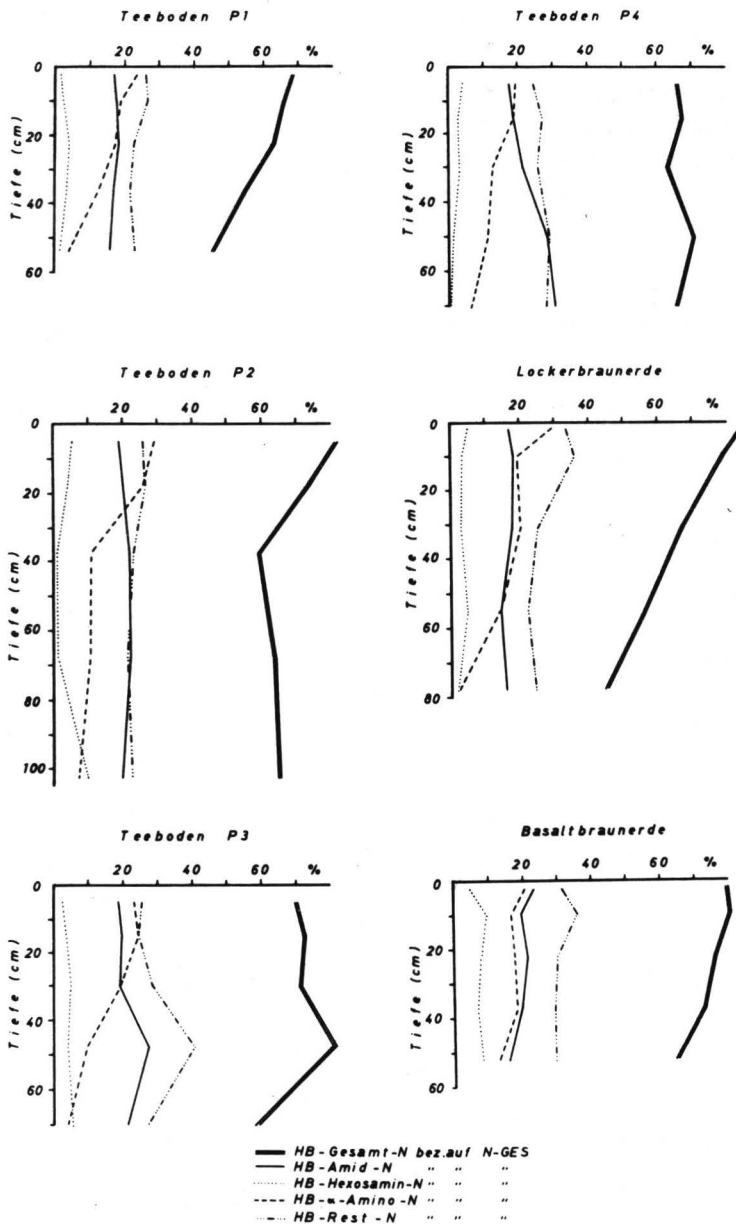


Abb. 30: Hydrolysierbarer Stickstoff (HB-GES-N) und Stickstoffbindungsformen (HB-Amid-N, HB-Hexosamin-N, HB- α -Amino-N und HB-Rest-N) in % des Gesamtstickstoffgehaltes des Bodens (N-GES) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

50 % α -Amino-N. So fanden auch SÖCHTIG und MACIAK (1971) in einem Torfprofil bis ca. 40 % des N-GES als α -Amino-N und dieser Gehalt nahm mit der Tiefe ab. Die Untersuchungen von SCHLICHTING (1953 a) und STEVENSON (1957) zeigten ebenfalls, daß der Anteil des α -Amino-N mit zunehmender Tiefe abnimmt.

In allen von uns untersuchten Profilen nimmt der absolute und der auf N-GES bezogene HB- α -Amino-N mit der Tiefe ab (Tabelle 19, 20, Abb. 29, 30). Diese Abnahme ist in den Teebodenprofilen und in dem Lockerbraunerdeprofil stärker als bei dem Basaltbraunerdeprofil. Wie man in Abb. 29 sehen kann, ist in den oberen Horizonten der Teeböden und der Lockerbraunerde der HB- α -Amino-N-Gehalt höher als HB-Amid-N-Gehalt. Im unteren Horizont ist es umgekehrt, aber in der Basaltbraunerde ist der HB-Amid-N-Gehalt im ganzen Profil größer als der α -Amino-N-Gehalt.

Der prozentuale Anteil des HB- α -Amino-N am N-GES beträgt bei den Teeböden 4.38 - 29.3 %, bei der Basaltbraunerde 12.6 - 20.5 % und bei der Lockerbraunerde 2.27 - 29.3 %. Diese Werte zeigen auch, daß die Zersetzung in und auf der Basaltbraunerde weniger gehemmt ist als bei den Teeböden bzw. der Lockerbraunerde.

4.2.5.1.5 Hydrolysierbarer aber nicht definierter Stickstoff (HB-Rest-N)

Die in Tabelle 19 angegebenen HB-Rest-N-Werte wurden durch Subtraktion ermittelt (siehe 4.2.5.1). Dieser Rest-N dürfte nach ALDAG und KICKUTH (1973 a) in erster Linie in heterocyklischer Form in Purin- und Pyrimidinderivaten vorliegen, und über die Ninhydrinreaktion nicht quantitativ zu erfassen sein. Über diese HB-N-Fraktion liegen jedoch bisher keine ausreichenden Informationen vor.

Wie man in Abb. 29 sehen kann, bildet HB-Rest-N in allen untersuchten Profilen mit Ausnahme des oberen Horizontes des Teebodens P2 den größten Anteil am N-GES. Die absolute Menge an HB-Rest-N nimmt wie bei den meisten anderen HB-N-Formen mit der Tiefe ab. In Abb. 30 ist zusammen mit den anderen HB-N-Formen auch HB-Rest-N, bezogen auf N-GES, als Tiefenfunktion gezeichnet (die Werte in Tabelle 20).

Im Teeboden P1 (21.9 - 26.9 %) zeigen diese Werte mit der Tiefe keine besondere Änderung. Das ist bei P2 (23.2 - 29.7 %) und P4 (24.6 - 29.4 %) auch der Fall. Im Teeboden P3 (24.7 - 40.8 %) nehmen diese Werte zuerst mit der Tiefe zu und dann im untersten Horizont stark ab.

Dagegen sieht man in der Basaltbraunerde in 5-15 cm Tiefe eine Zunahme, dann bleiben die Werte im ganzen Profil annähernd gleich (29.1 - 35.8).

Im Lockerbraunerdeprofil (22.6 - 37.3 %) nehmen die Werte mit der Tiefe zuerst leicht zu, dann ab und im untersten Horizont wieder leicht zu. Zusammenfassend zeigen alle diese Werte, daß in den untersuchten Böden ca. 25 - 30 % des Gesamt-Stickstoffs aus HB-Rest-N besteht.

4.2.5.1.6 Beziehungen zwischen den Stickstoffbindungsformen

Die Stickstoffgehalte der einzelnen Stickstoffbindungsformen wurden auf HB-GES-N bezogen (Tabelle 20) und in Abb. 31 als Tiefenfunktionen gezeichnet. Diese Werte bzw. Tiefenfunktionen zeigen, daß in allen untersuchten Profilen mit wenigen Ausnahmen in allen Tiefen HB-Hexos-

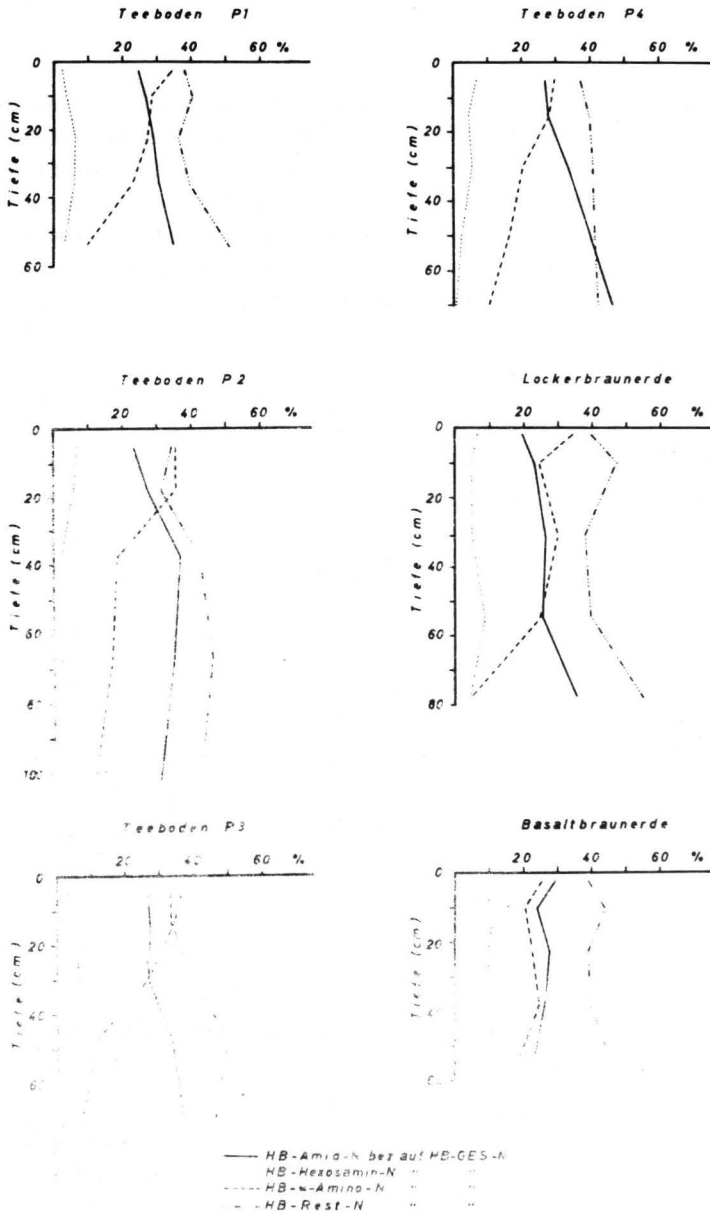


Abb. 31: Stickstoffbindungsformen (HB-Amid-N, HB-Hexosamin-N, HB- α -Amino-N und HB-Rest-N) in % des hydrolysierbaren Stickstoffs (HB-GES-N) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

amin-N den kleinsten Prozentsatz (in Teeböden 0.61 - 15.7 %, in Basaltbraunerde 5.77 - 12.2 % und in Lockerbraunerde 4.64 - 8.86 %), dagegen HB-Rest-N den größten Prozentsatz (in Teeböden 31.4 - 51.2 %, in Basaltbraunerde 39.1 - 44.9 % und in Lockerbraunerde 38.1 - 54.7 %) vom HB-GES-N bildet. Die Prozentsätze von HB-Amid- bzw. HB- α -Amino-N liegen zwischen diesen beiden Formen (HB-Amid-N bezogen auf HB-GES-N, in den Teeböden 23.2 - 46.4 %, in Basaltbraunerde 23.5 - 29.5 % und in Lockerbraunerde 20.0 - 35.6 %, HB- α -Amino-N bezogen auf HB-GES-N, in den Teeböden 7.49 - 35.6 %, in Basaltbraunerde 20.6 - 25.6 % und in Lockerbraunerde 5.01 - 34.2 %). Ihre Tiefenfunktionen zeigen in den Teebodenprofilen und Lockerbraunerden einen ähnlichen Verlauf. Im oberen Horizont ist HB- α -Amino-N $>$ HB-Amid-N aber in den unteren Horizonten HB-Amid-N $>$ HB- α -Amino-N. Die Tiefenfunktionen dieser beiden N-Formen unterscheiden sich bei der Basaltbraunerde von den anderen Profilen. Im ganzen Basaltbraunerdeprofil verlaufen die beiden Werte parallel, und zwar ist HB-Amid-N $>$ HB- α -Amino-N. Dieses Verhalten zeigt, daß die HB-N-Formen in Basaltbraunerde im ganzen Profil ziemlich gleichmäßig verteilt sind, während sich in den Teeböden und in der Lockerbraunerde die Verteilung je nach der Tiefe ändert.

4.2.5.2 Kohlenhydrate im Boden

Die Kohlenhydrate, die sich im Boden befinden, werden relativ rasch (z.B. schneller als Lignin) sowohl durch Bodenmikroorganismen unter Verwertung als Energiequelle im Stoffwechsel wie auch durch Ectoenzyme bzw. durch die von den abgestorbenen Pflanzen freigesetzten Enzyme abgebaut (FLAIG 1966). Die Zersetzungsgeschwindigkeit der Kohlenhydrate ist dabei von Art und Einbau in die pflanzliche Substanz abhängig.

Um einen Anhaltswert für diesen leichter abbaubaren Anteil der organischen Substanz des Bodens, von dem vermutet wird, daß es sich in erster Linie um Kohlenhydrate handelt, zu erhalten, wurden die Bodenproben mit 2 %iger Salzsäure (KH-HCl-C) und mit 72 %iger Schwefelsäure (KH-H₂SO₄-C) hydrolysiert. In der Pflanzenanalyse entsprechen diese Bedingungen der Bestimmung der Stoffgruppen "Hemicellulosen" und "Cellulose". In diesen beiden abgestuften Hydrolysaten wurde ein "Glucosewert" mittels Farbreaktion bestimmt (siehe Methoden). Die Glucosewerte sind, um mit % C-GES bessere Vergleichsmöglichkeiten zu schaffen, in Kohlenhydrat-Kohlenstoff (KH-HCl-C bzw. KH-H₂SO₄-C in % Boden) umgerechnet (Tabelle 21) und in Abb. 32 zusammen mit C-GES (%) als Tiefenfunktionen gezeichnet. Es wäre normalerweise zu erwarten, daß die (KH-H₂SO₄-C)-Werte > als (KH-HCl-C)-Werte sind, aber die Analysenergebnisse zeigen, daß die beiden Werte für alle untersuchten Proben annähernd gleich sind. In manchen Proben sind die (KH-HCl-C)-Werte > als die (KH-H₂SO₄-C)-Werte, aber in manchen kleiner. Nach mehrmaligen Bestimmungen ist festgestellt worden, daß die Unterschiede der in Tabelle 21 angegebenen Werte bei keiner Probe statistisch gesichert sind. Diese Ergebnisse führen, rein theoretisch gesehen, zu dem Schluß, daß in den untersuchten Proben keine durch 72 %ige Schwefelsäure hydrolysierbaren Kohlenhydrate (Cellulose) vorliegen, die quantitativ von den durch 2 %ige HCl hydrolysierbaren Kohlenhydraten (Hemicellulosen) unterscheidbar sind.

Wie man in Abb. 32 sehen kann, nehmen die KH-C-Werte in allen untersuchten Profilen mit der Tiefe ab und laufen mit den auf 1/20 reduzierten C-GES (%) -Werten annähernd parallel (besonders in den unteren Horizonten). Da ist anzunehmen, daß in allen untersuchten Profilen ca. 1/20 der organischen Masse als Kohlenhydrate vorliegen. Um diese Beobachtung genauer prüfen zu können, wurden die KH-HCl-C-Werte auf C-GES bezogen (Tabelle 21) und diese Werte

Tabelle 21. Kohlenhydrat-Kohlenstoff (in % vom Boden) und Kohlenhydrat-Kohlenstoff in % vom Gesamtkohlenstoff (C-GES) im Boden

	Horizont	Tiefe (cm)	KH-HCl-C	KH-H ₂ SO ₄ -C	KH-HCl-C bez. auf C-GES
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	0.504	0.501	5.42
	A ₁₁	5-15	0.314	0.298	4.36
	A ₁₂	15-30	0.160	0.134	4.38
	B	30-42	0.073	0.055	4.33
	C	42-65	0.032	0.024	4.95
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	0.358	0.344	3.95
	A ₁₂	10-25	0.180	0.157	3.73
	A ₃ (B ₁)	25-50	0.055	0.048	5.50
	B	50-85	0.035	0.029	5.92
	C	85-120	0.025	0.021	10.6
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	0.277	0.264	3.70
	A ₁₂	10-20	0.295	0.262	4.41
	B ₁	20-40	0.133	0.121	5.92
	B ₂	40-55	0.074	0.062	5.75
	C	55-85	0.033	0.028	5.46
Teeboden P4	A ₁₁	0-10	0.738	0.735	9.16
	A ₁₂	10-20	0.266	0.224	6.88
	A ₁₂	20-40	0.081	0.062	5.94
	B	40-60	0.036	0.026	9.87
	C	60-80	0.031	0.026	11.4
Basalt- braunerde	A _h	0-5	0.282	0.285	4.22
	A _h	5-15	0.218	0.220	4.62
	A _h	15-30	0.136	0.137	3.93
	B _v	30-45	0.067	0.068	3.45
	C	45-60	0.030	0.032	3.74
Locker- braunerde	A _h	0-4	0.905	0.954	5.25
	A _h B _v	4-18	0.122	0.127	2.38
	B _{v1}	18-45	0.099	0.101	5.04
	B _{v2}	45-65	0.073	0.076	6.83
	IIB _{v1}	65-90	0.028	0.029	3.97

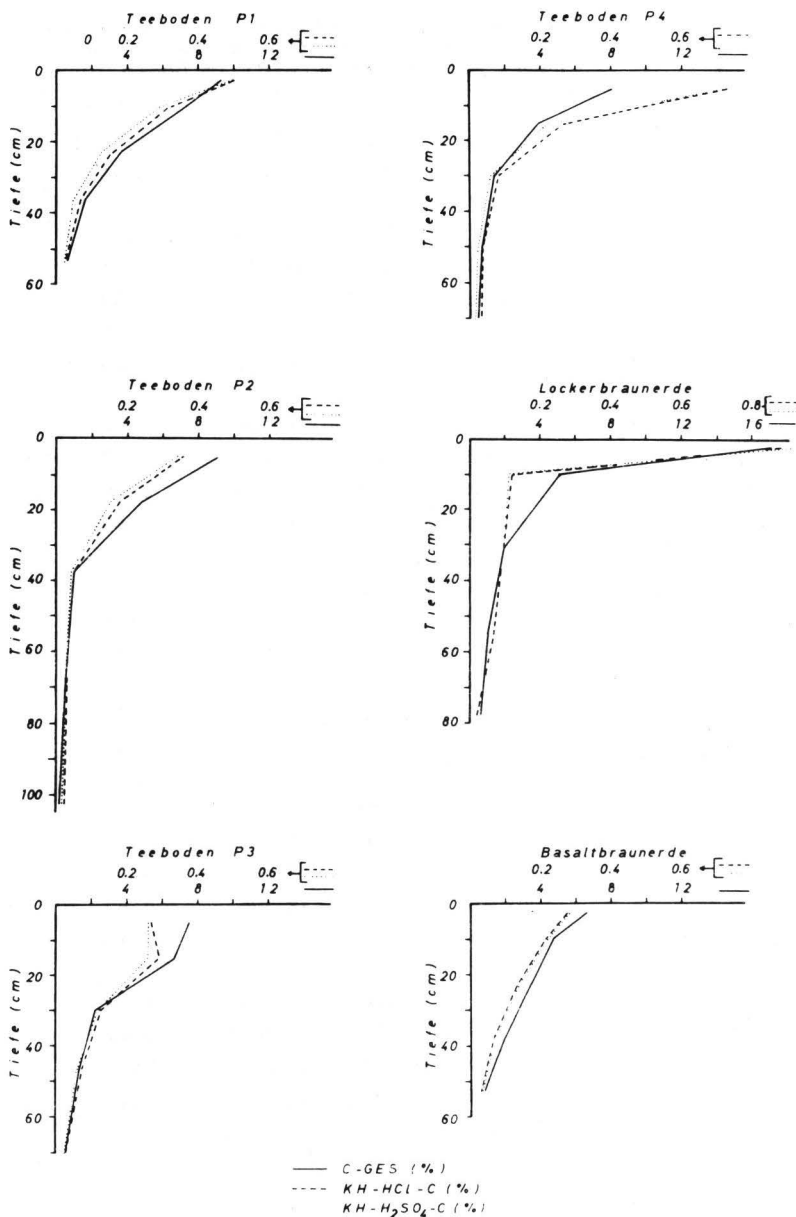


Abb. 32: Gesamtkohlenstoffgehalt im Boden (C-GES)
Kohlenstoff in den leichter (KH-HCl-C) und
in den insgesamt hydrolysierbaren Kohlenhydraten
(KH-H₂SO₄-C) in % des Bodens in den untersuchten
Profilen als Tiefenfunktion

der 6 untersuchten Profile gemeinsam in Abb. 33 als Tiefenfunktion gezeichnet.

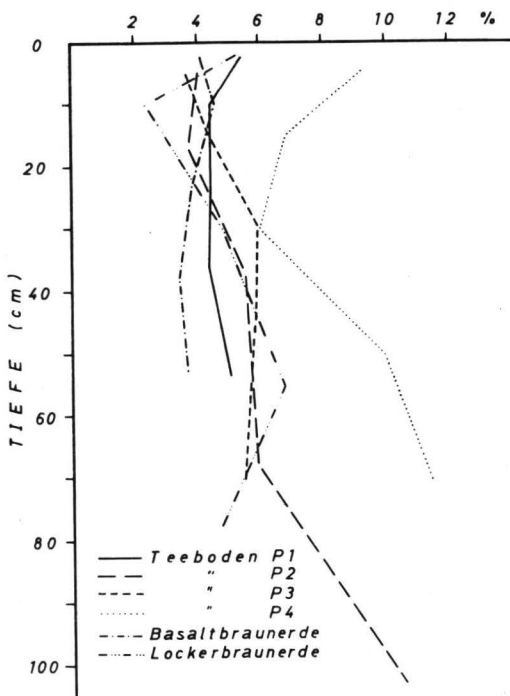


Abb. 33: Kohlenstoff der leichter hydrolysierbaren Kohlenhydrate (KH-HCl-C) in % des Gesamtkohlenstoffgehaltes der Böden in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

Wie man in Tabelle 21 sehen kann, enthalten die Teeböden und die Lockerbraunerde, besonders in den unteren Horizonten, relativ mehr KH-C als die Basaltbraunerde. Die Tiefenfunktion von KH-C bezogen auf C-GES zeigt bei den Teeböden und bei der Lockerbraunerde mit der Tiefe zuerst eine Abnahme aber dann eine Zunahme. Bei Teeboden P3 besteht nur eine Zunahme. Für die Abnahme sollte vermutlich der

Übergang von der auf der Oberfläche liegenden frischen organischen Substanz mit wenig zersetztem Material, d.h. relativ hohem Kohlenhydratgehalt zu der darunter liegenden, relativ alten organischen Substanz mit fortgeschrittener Zersetzung, d.h. relativ wenig Kohlenhydrat, verantwortlich sein. Der mit zunehmender Tiefe wieder zunehmende Kohlenhydratgehalt läßt sich so deuten, daß die im oberen Horizont während der Zersetzung frei gesetzten Kohlenhydrate in die unteren Horizonte transportiert und dort adsorbiert werden. Diese Zunahme entspricht der Zunahme des Ton- bzw. Fe-sesquioxidgehaltes. Für die weitere Abnahme in dem tiefsten Horizont der Lockerbraunerde dürfte Substratwechsel in diesem Horizont verantwortlich sein.

In der Basaltbraunerde sieht man dagegen im ganzen Profil eine ziemlich regelmäßige Verteilung bzw. mit der Tiefe nur leichte Änderung. Für die einzige nennenswerte Zunahme des KH-C-Gehaltes zwischen 5 und 10 cm sollten vorwiegend die in dieser Tiefe massenweise vermehrten Pilze verantwortlich sein (siehe auch HB-Hexosamin-Stickstoff).

4.3 Die Eigenschaften der Fraktion $< 2 \mu$ und Beziehungen zu dem organischen Anteil des Bodens

Die Adsorption der organischen Moleküle an Tonteilchen ist eine bekannte Tatsache. Besonders in tonreichen Böden, in denen gleichzeitig in den oberen Horizonten eine starke Zersetzung der organischen Stoffe stattfindet und eine Verlagerung der organischen Stoffe in Frage kommt, gewinnt diese Adsorption Bedeutung.

In den sechs untersuchten Böden, besonders in den Teeböden und der Lockerbraunerde, wurde in den unteren Horizonten eine relative Anreicherung an wenig gefärbten organischen Substanzen (Fulvosäuren) beobachtet. Um die Rolle der $< 2 \mu$ -Fraktion bei dieser Anreicherung und allgemein bei der Sorption der organischen Stoffe zu klären und überhaupt mineralische Sorptionskomplexe dieser Fraktion näher kennenzulernen, wurden die Proben elektronenoptisch untersucht und in der gleichen Fraktion Kohlenstoff und pedogenes Eisen bestimmt.

Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen wurden bei der Mehrzahl der untersuchten Proben durchgeführt. Die Abb. 34 zeigt vier typische Vertreter der untersuchten Proben (Teeboden P2, P4 und Locker- bzw. Basaltbraunerde). Sie entsprechen ungefähr gleicher Tiefe bzw. gleichen Horizonten ($A_3(B_1)$ bzw. B). Die Aufnahmen wurden einmal mit den unbehandelten und einmal mit den vollbehandelten (siehe Methoden) Proben gemacht.

Eisenoxihydrate befinden sich häufig als Hüllen an der Oberfläche der Tonminerale (SCHEFFER et al. 1957, SCHEFFER und ULRICH 1960, BEUTELSPACHER 1955). Diese Eigenschaft ist auch bei den Teeböden und der Basalt- bzw. Lockerbraunerde zu sehen. Sie äußert sich in den Aufnahmen in Form nicht gutdurchstrahlbarer Flächen. Die Eisenoxide wirken bei den untersuchten Böden als Kittsubstanz und kitteten ganz kleine Tonteilchen untereinander und mit großen zusammen (Aufnahmen der unbehandelten Proben, schwarze Oberflächen). Wenn man die Eisenoxide entfernt, sieht man die sauberen Tonkristalle (in Abb. 34 vollbehandelte Proben). In Abb. 34 ist auch zu sehen, daß die vollbehandelten Proben eine unterschiedliche Korngrößenverteilung zeigen, die bei den unbehandelten Proben nicht so deutlich in Erscheinung tritt.

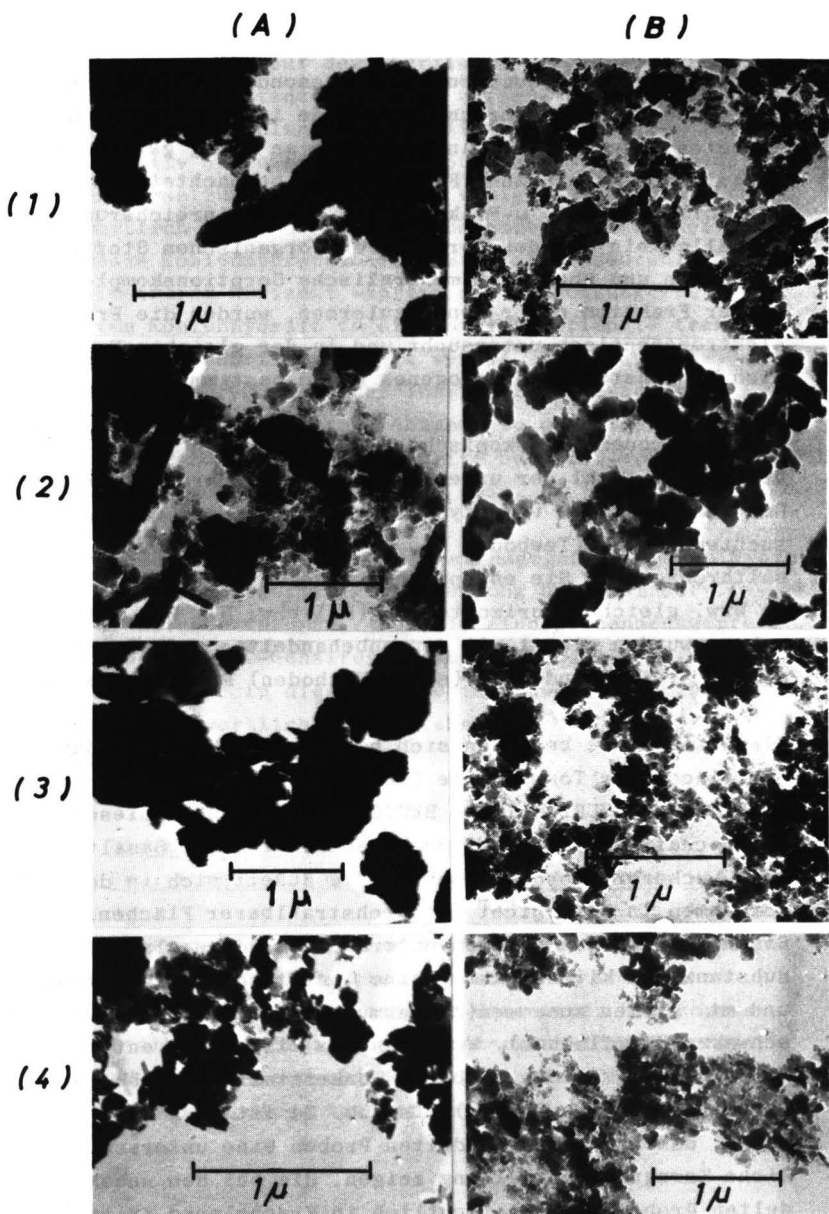


Abb. 34: Elektronenoptische Aufnahmen

A = unbehandelt B = vollbehandelt

1 = Teeboden P2 - A₃(B₁), 25 - 50 cm

2 = Teeboden P4 - B, 40 - 60 cm

3 = Basaltbraunerde- Bv, 30 - 45 cm

4 = Lockerbraunerde- Bv2, 45 - 65 cm

Die $< 2 \mu$ -Fraktion der Teeböden besteht eigentlich aus relativ groben Teilchen, dagegen die der Basaltbraunerde, besonders aber der Lockerbraunerde, aus sehr feinen Teilchen. Die Umhüllung bzw. Ver kittung der Tonkristalle durch Fe-oxide beschränkt die Sorptionskraft der Tonminerale durch Blockierung aktiver Stellen. In diesem Fall übernehmen die Fe-oxid-Hüllen, die stark sorptionsfähig sind (unterhalb IEP als Anionadsorber), besonders die Sorption der organischen Moleküle.

Um einen Eindruck von der Menge des pedogenen Eisens in der $< 2 \mu$ -Fraktion zu gewinnen, wurden die Fe_d -Gehalte (%) dieser Fraktion bestimmt. Von diesem Wert wurde Fe_d in $< 2 \mu$ -Fraktion(% Boden) und Fe_d in $< 2 \mu$ -Fraktion(% Boden) bezogen auf Gesamt- Fe_d berechnet (Tabelle 22). In Abb. 35 sind die prozentualen Anteile des Fe_d in $< 2 \mu$ -Fraktion bezogen auf Gesamt- Fe_d als Tiefenfunktion gezeichnet. Hier sieht man deutlich, daß in den Teeböden Fe_d sich überwiegend (über 50 %) in $< 2 \mu$ -Fraktion befindet (in P2 und P4 über 80 %) und dieser prozentuale Anteil mit der Tiefe zunimmt.

In den Teeböden P1 und P2 wurde mit der Tiefe eine weitere Abnahme beobachtet, was vermutlich aus strukturellen Gründen in diesen Tiefen auf eine Minderung der Fe-Einlagerung zurückzuführen ist. Dieser sehr hohe Anteil des Fe_d -Gehaltes in der $< 2 \mu$ -Fraktion der Teeböden (vermutlich größtenteils auf den Tonoberflächen, siehe EM-Aufnahmen) beweist, daß die Fe-oxide bzw. Oxidhydrate in diesen Böden sehr große Oberflächen besitzen. Diese große Oberfläche bedeutet große Adsorptionsfähigkeit.

Tabelle 22. Dithionitlösliches Eisen (Fe_d) in der Fraktion $< 2 \mu$

	Horizont	Tiefe (cm)	*) Fe_d in $< 2 \mu$ -Fr.	**) Fe_d in $< 2 \mu$ -Fr. im Boden	Fe_d in $< 2 \mu$ -Fr. im Boden bez. auf Gesamt- Fe_d
Teeboden P1	A ₁₁	0-5	4.64	0.950	34.3
	A ₁₁	5-15	4.92	1.00	32.6
	A ₁₂	15-30	4.31	1.79	58.2
	B	30-42	3.88	2.01	58.8
	C	42-65	4.15	2.18	56.6
Teeboden P2	A ₁₁	0-10	8.29	2.41	41.6
	A ₁₂	10-25	8.70	4.35	69.4
	A ₃ (B ₁)	25-50	7.06	4.84	81.6
	B	50-85	7.74	5.19	76.5
	C	85-120	10.5	5.00	65.2
Teeboden P3	A ₁₁	0-10	5.59	1.98	36.7
	A ₁₂	10-20	5.61	1.87	34.6
	B ₁	20-40	6.36	3.03	52.4
	B ₂	40-55	6.20	3.19	55.5
	C	55-85	6.90	4.26	74.9
Teeboden P4	A ₁₁	0-10	3.15	0.370	22.5
	A ₁₂	10-20	4.10	0.900	48.9
	A ₁₂	20-40	4.32	1.28	69.1
	B	40-60	5.40	1.84	81.0
	C	60-80	6.34	2.71	86.5
Basalt- braunerde	A _h	0-5	7.52	2.05	48.0
	A _h	5-15	7.74	2.08	47.4
	A _h	15-30	7.07	1.66	40.8
	B _v	30-45	6.47	1.29	31.9
	C	45-60	5.74	0.880	22.9
Locker- braunerde	A _h	0-4	5.60	1.79	61.3
	A _h B _v	4-18	7.66	2.60	71.0
	B _{v1}	18-45	7.26	2.31	64.7
	B _{v2}	45-65	8.80	2.15	63.8
	IIB _{v1}	65-90	6.98	1.89	31.0

*) in % von der Tonfraktion, **) in % vom Boden

Tabelle 23. Gesamtkohlenstoff in der Fraktion $< 2 \mu$

	Horizont	Tiefe (cm)	*) C in $< 2 \mu$ -Fr.	**) C in $< 2 \mu$ -Fr. im Boden	C in $< 2 \mu$ -Fr. im Boden bez. auf C-GES
Teeboden p1	A ₁₁	0-5	4.01	0.820	8.84
	A ₁₁	5-15	4.82	0.980	13.6
	A ₁₂	15-30	1.57	0.650	17.7
	B	30-42	0.920	0.480	28.5
	C	42-65	0.960	0.500	77.5
Teeboden p2	A ₁₁	0-10	3.80	1.10	12.2
	A ₁₂	10-25	1.79	0.890	18.5
	A ₃ (B ₁)	25-50	0.550	0.380	38.0
	B	50-85	0.440	0.300	50.4
	C	85-120	0.340	0.160	67.3
Teeboden p3	A ₁₁	0-10	3.83	1.36	18.1
	A ₁₂	10-20	4.35	1.45	21.6
	B ₁	20-40	1.93	0.920	40.9
	B ₂	40-55	1.10	0.570	44.2
	C	55-85	0.550	0.340	56.6
Teeboden p4	A ₁₁	0-10	8.04	0.950	11.4
	A ₁₂	10-20	4.02	0.880	22.8
	A ₁₂	20-40	1.71	0.510	37.1
	B	40-60	0.620	0.210	57.4
	C	60-80	0.470	0.200	73.9
Basalt- braunerde	A _h	0-5	8.52	2.33	34.9
	A _h	5-15	6.88	1.85	39.1
	A _h	15-30	5.84	1.37	39.7
	B _v	30-45	3.58	0.720	37.0
	C	45-60	1.87	0.290	35.9
Locker- braunerde	A _h	0-4	15.6	4.99	28.9
	A _h B _v	4-18	5.86	1.99	38.8
	B _{v1}	18-45	2.84	0.900	46.0
	B _{v2}	45-65	1.81	0.440	41.3
	IIB _{v1}	65-90	2.03	0.550	77.4

*) in % von der Tonfraktion, **) in % vom Boden

Der Fe_d - Gehalt in der $< 2 \mu$ -Fraktion zeigt auch bei der Lockerbraunerde einen hohen Anteil (bis 70 %) am Gesamt- Fe_d , dieser Anteil nimmt mit der Tiefe zuerst zu, dann bleibt er ungefähr gleich und in dem untersten Horizont nimmt er wieder stark ab. Das bedeutet, in diesem Profil besitzen Fe-Oxide bzw. Oxidhydrate eine ziemlich große Oberfläche, die aber mit der Tiefe abnimmt. In der Basaltbraunerde ist die Situation ganz anders. Der Fe_d -Gehalt in der $< 2 \mu$ -Fraktion bezogen auf Gesamt Fe_d nimmt mit der Tiefe stark ab, das bedeutet, die Eisenoxide bzw. Oxidhydrate in diesem Profil besitzen eine relativ kleine Oberfläche gegenüber anderen Profilen. Sie wird mit der Tiefe noch kleiner.

In Tabelle 23 ist der Kohlenstoffgehalt der $< 2 \mu$ -Fraktion (C in % $< 2 \mu$ -Fraktion), der Kohlenstoffgehalt der $< 2 \mu$ -Fraktion (% Boden), C in $< 2 \mu$ -Fraktion (% Boden) bezogen auf C-GES zusammengestellt.

In Abb. 36 ist auch C der $< 2 \mu$ -Fraktion (% Boden) auf das Gesamt-C bezogen und als Tiefenfunktionen dargestellt. Hier ist deutlich zu sehen, daß in den Teeböden und in der Lockerbraunerde der C-Gehalt der $< 2 \mu$ -Fraktion mit der Tiefe stark zunimmt und sich in den unteren Horizonten mehr als die Hälfte (in den Teeböden P1 und P4 bzw. der Lockerbraunerde ca. 75 %) des Kohlenstoffs in der $< 2 \mu$ -Fraktion befindet. Dagegen sieht man bei der Basaltbraunerde mit der Tiefe keine Zunahme, sondern sogar Abnahme, und der C-Gehalt in der $< 2 \mu$ -Fraktion bleibt im ganzen Profil unter 40 % des Gesamtkohlenstoffs.

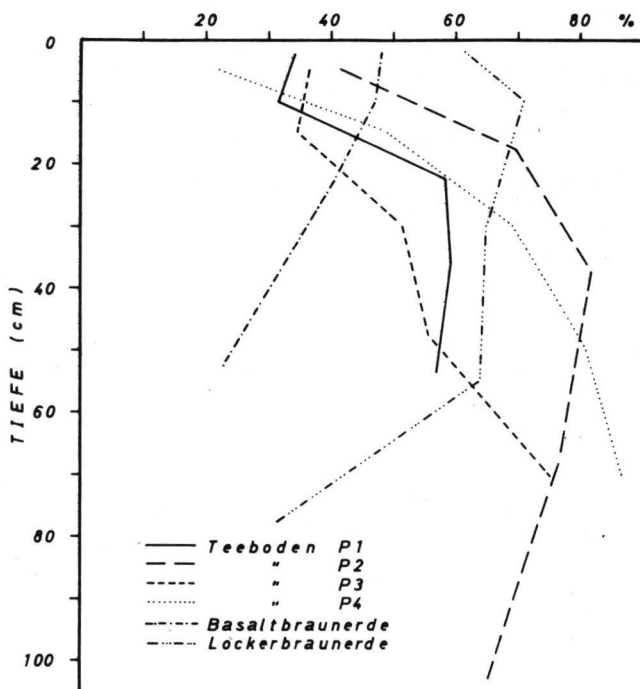


Abb. 35: Dithionitlösliches Eisen (Fe_d) in der Feinfraktion ($< 2 \mu$) in % des Gesamt-dithionitlöslichen Eisen (Fe_d in % Boden) in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

Wenn man alles zusammenfaßt, kann man vermuten, daß in den Teeböden die Fe-sesquioxide wegen ihrer großen Oberfläche sehr adsorptionsfähig sind und die organischen Moleküle stark adsorbieren. In der Lockerbraunerde besitzen die Fe-sesquioxide auch eine große Oberfläche, aber diese nimmt mit der Tiefe ab. Für die Zunahme des C-Gehaltes in der $< 2 \mu$ -Fraktion sollten auch

andere sorptionsfähige Teile (z.B. amorphe Al-, Si-Oxide = Allophan) verantwortlich sein. Nach MEYER und SAKR (1970 a) sind diese in diesem Profil reichlich vorhanden. In der Basaltbraunerde sind dagegen die Fe-Sesquioxide wegen ihrer relativ kleinen Oberfläche nicht so stark adsorptionsfähig wie bei den anderen Böden.

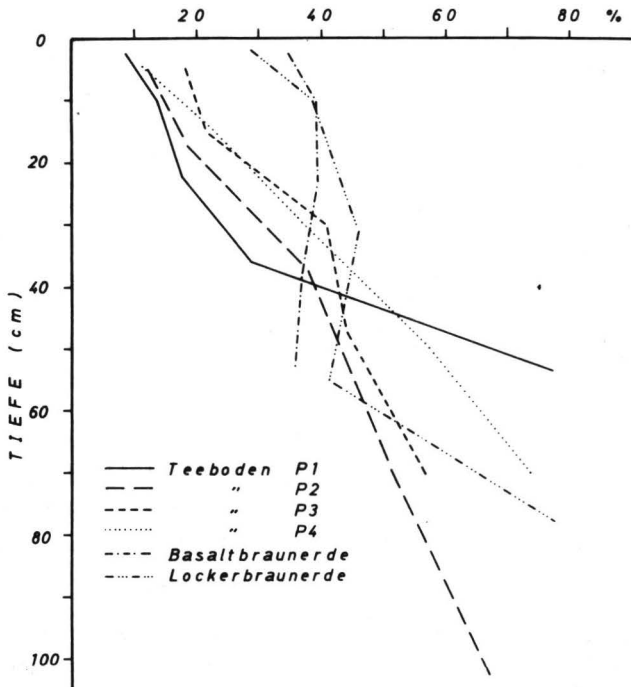


Abb. 36: Kohlenstoffgehalt in der Feinfraktion ($< 2 \mu$)
in % des Gesamtkohlenstoffgehaltes der Böden (C-GES)
in den untersuchten Profilen als Tiefenfunktion

5. Diskussion und Schlußfolgerungen

In der vorliegenden Arbeit soll in erster Linie die Haupteigenschaft der organischen Substanz bzw. die Huminstoffsysteme in den vier türkischen Teeböden und deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden charakterisiert und verglichen werden. Dabei sollen die Ergebnisse unter Betrachtung der äußerlichen Einflüsse (z.B. Klima) herausgearbeitet werden. Eine richtige Eingruppierung und ein guter Vergleich der untersuchten Böden ist nur möglich, wenn man die Verteilung der einzelnen Parameter im ganzen Profil beschreibt. Die einzelnen untersuchten Parameter wurden als Änderungen der Tiefenfunktionen im Profil aufgezeigt. Diese ermöglichen gleichzeitig gute Vergleichsmöglichkeiten mehrerer Parameter bzw. der Bodenprofile.

5.1 Vergleichende Darstellung der Huminstoffsysteme in den untersuchten Böden

Alle untersuchten Profile weisen einen relativ hohen Gehalt an Humus auf (Tabelle 24, Spalte 1). Die vier türkischen Teeböden zeigen einen annähernd gleichen Humusgehalt im Oberboden, die Basaltbraunerde einen niedrigeren, die Lockerbraunerde einen höheren als die Teeböden. Der Humusgehalt nimmt in allen untersuchten Profilen mit der Tiefe ab.

Das C/N-Verhältnis ändert sich in der gleichen Reihenfolge, und zwar wird es mit abnehmendem Gesamtkohlenstoffgehalt enger. Ausnahmen bilden der Teeboden P3, bei dem das C/N-Verhältnis sich mit der Tiefe unregelmäßig ändert und der tiefste Horizont der Lockerbraunerde (Tabelle 24, Spalte 2).

	C-GES in % Bod. (1)	C/N in Bod. (2)	C-PNE	C-NLE	C-HSF/ C-FSF	C-HSF/ C-FSF
			bez.auf C-GES		-PNE	-NLE
			(3)	(4)	(5)	(6)
Tee- *) böden	7.49 9.31 ▽	13.4 18.0 ▽	34.9 44.0 ▽	40.4 47.7 ▽	0.716 0.923 ▽	1.37 1.48 ▽
Basalt- braun- erde	6.66 ▽	12.3 ▽	43.9 ▽	52.5 ▽	0.593 ▽	0.704 ▽
Locker- braun- erde	17.3 ▽	21.0 ▽	36.1 ▽	41.0 ▽	0.548 ▽	0.934 ▽

Tabelle 24.

Übersichtstabelle für einige Eigenschaften der Huminstoffe in den untersuchten Profilen (die Zahlen gehören dem Oberboden)(bei den Teeböden höchste bzw. niedrigste Profil)

-  mit der Tiefe Zunahme
 mit der Tiefe Abnahme
 mit der Tiefe keine wesentliche Änderung
 mit der Tiefe je nach Profil unterschiedliche Änderung

	SE500 -HSF	SE500 -HSF	C/N	C/N	C/N -HSF	C/N -HSF	C/N -FSF	C/N -FSF	HB- Amid	HB- Hexos-	HB- α-Amino	HB- Rest	KH-HCl-C bez.auf C-GES
	-PNE	-NLE	-PNE	-NLE	-PNE	-NLE	-PNE	-NLE	-N	amin-N	-N	-N	
	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	bezogen auf		HB-GES-N		
									(15)	(16)	(17)	(18)	(19)
Tee- *) böden	1.05 1.29	0.888 1.12	22.2 30.2	24.3 29.9	20.8 25.8	20.4 24.0	23.5 34.3	32.2 45.5	24.8 26.8	2.43 6.90	29.5 35.6	34.3 38.2	3.70 9.16
Basalt- braun- erde	0.727	0.763	9.10	8.78	11.8	8.36	8.01	9.10	29.5	5.77	25.6	39.1	4.22
Locker braun- erde	0.640	0.744	13.6	13.0	12.4	10.8	14.3	16.3	20.0	6.17	34.2	39.6	5.25

*)Bei den Teeböden wurde die Tendenz aus dem Mittel der vier untersuchten Profile dargestellt

Vom Humus lassen sich aus den untersuchten Profilen mit alkalischen Lösungsmitteln annähernd gleiche prozentuale Anteile extrahieren, die in fast allen Fällen unter 50 % bleiben. Zwischen den oberen Horizonten der Böden gibt es kaum Unterschiede in der Extrahierbarkeit mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge, während mit Natronlauge aus der Basaltbraunerde mehr, aus der Lockerbraunerde etwas weniger extrahiert wird als aus den Teeböden (Tabelle 24, Spalte 3-4). In den Basalt- bzw. Lockerbraunerden ist die Extrahierbarkeit mit Natronlauge im ganzen Profil größer als mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge. In allen Teeböden dagegen wird im unteren Teil des Profils die Extrahierbarkeit mit Natronlauge kleiner als die mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge. Das ist ein wesentlicher Unterschied zwischen türkischen und deutschen Böden.

Die Extrakte sind nicht nur mengenmäßig verschieden, sondern zeigen auch qualitative Unterschiede. Die Aufteilung der extrahierten organischen Stoffe in die Huminsäure- und die Fulvosäurefraktion macht den Unterschied zwischen den untersuchten türkischen Teeböden und den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden deutlich. Das Huminsäure-Fulvosäure-Verhältnis ist in den Teeböden wesentlich größer als in den deutschen Böden. Es wird mit der Tiefe kleiner. In den Natronlaugeextrakten ist es erheblich größer als in den Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextrakten. Die Huminsäure-Fulvosäure-Verhältnisse der untersuchten Teebodenprofile stimmen mit den von KONONOVA (1958) und VOLOBUYEV (1968) angegebenen Daten für russische Krasnoseme überein (Tabelle 24, Spalte 5-6).

Für den qualitativen Vergleich dieser Fraktionen liefern die Extinktionsmessungen an den Extrakten bzw. Huminsäurefraktionen wertvolle Ergänzungen.

Die spezifischen Extinktionen der Extrakte geben nur bedingt neue Informationen, da sie vom Huminsäure-Fulvosäure-Verhältnis abhängig sind, weswegen hier nur die spezifischen Extinktionen der Huminsäurefraktionen zum Vergleich herangezogen werden. Die spezifische Extinktion der Huminsäurefraktionen nimmt in der Reihenfolge Teeböden, Basaltbraunerde, Lockerbraunerde ab. In den Teeböden und der Basaltbraunerde nimmt die spezifische Extinktion mit der Tiefe zunächst zu und dann wieder ab, während sie in der Lockerbraunerde mit der Tiefe stetig abnimmt, und nur bei der Huminsäurefraktion des Natronlaugextraktes im untersten Horizont wieder zunimmt (Tabelle 24, Spalte 7-8).

Die Extinktionsquotienten (EQ4/5, EQ5/6, EQ6/7) der untersuchten Proben zeigen, daß die Proben der Teeböden unabhängig von der Tiefe eine in sich geschlossene Gruppe bilden und sich dadurch von den anderen Böden unterscheiden. Die Proben der deutschen Böden bilden ebenfalls in sich geschlossene Gruppen (Abb. 27, 28). Am stärksten ist der Unterschied zwischen diesen Gruppen bei dem Extinktionsquotienten EQ 6/7, der für die Teeböden wesentlich kleiner ist, als für die anderen Böden. Andererseits ist der EQ 5/6 bei den Teeböden etwas größer als bei der Basalt- und der Lockerbraunerde.

Auch im C/N-Verhältnis zeigen die Extrakte und deren Fraktionen typische Unterschiede zwischen den drei Bodengruppen. Diese C/N-Verhältnisse sind in allen Fällen bei den Teeböden weiter als bei den beiden

anderen Böden, von denen die Basaltbraunerde in allen Extrakten und Fraktionen das engste C/N-Verhältnis besitzt. Bei den Teeböden und der Lockerbraunerde ist das C/N-Verhältnis in der Fulvosäurefraktion weiter als in der Huminsäurefraktion, während es bei der Basaltbraunerde in beiden Fraktionen etwa gleich ist (Tabelle 24, Spalte 9-14).

Die Fraktionierung des organisch gebundenen Stickstoffs im sauren Hydrolysat des Gesamt-Bodens zeigt ebenfalls Unterschiede zwischen den untersuchten Profilen. Im Oberboden nimmt der prozentuale Anteil des Amid-N am hydrolysierbaren Stickstoff in der Reihenfolge Basaltbraunerde, Teeböden, Lockerbraunerde ab, dementsprechend nimmt der α -Amino-N-Anteil in derselben Reihenfolge zu. Hexosamin- und Rest-N zeigen kaum Unterschiede. In den Teeböden und in der Lockerbraunerde nimmt der Amid-N bezogen auf den hydrolysierbaren Stickstoff mit der Tiefe zu, während der α -Amino-N entsprechend abnimmt. In der Basaltbraunerde zeigen beide N-Formen keine nennenswerte Änderung mit der Tiefe (Tabelle 24, Spalte 15-18).

Wie die Glucose-Bestimmungen im sauren Hydrolysat zeigen, bestehen erhebliche Unterschiede im Gehalt an hydrolysierbaren Kohlenhydraten bei den untersuchten Böden. Die Unterschiede sind jedoch innerhalb der Gruppe der Teeböden größer als zwischen den Teeböden einerseits und der Basalt- bzw. Lockerbraunerde andererseits. Die Kohlenhydrate zeigen jedoch eine unterschiedliche Verteilung in den einzelnen Böden. Während sie in den Teeböden mit Ausnahme von P1 mit der Tiefe zunehmen, bleibt der Kohlenhydrat-Gehalt bei dem Teeboden P1 und Basaltbraunerde annähernd konstant. Bei der Lockerbraunerde streut der Kohlenhydrat-Gehalt in den einzelnen Horizonten unsystematisch (Tabelle 24, Spalte 19).

5.2 Abhängigkeit der Eigenschaften der Huminstoffsysteme von den klimatischen und pedologischen Bedingungen

Für den relativ hohen Gehalt an organischen Stoffen in den oberen Horizonten der untersuchten Böden können folgende Ursachen angeführt werden:

- a) Aufgrund der günstigen klimatischen Bedingungen liefert eine dichte Vegetationsdecke reichlich organische Stoffe. Die Rückstände der Vegetationsart sind auf den Teeböden (überwiegend Rhododendron) und Lockerbraunerde (Fichte) relativ zersetzungsresistent, während auf der Basaltbraunerde (Buche) die Streu leichter abgebaut werden kann.
- b) Die niedrigen pH-Werte in allen untersuchten Böden hemmen die Mikroorganismenaktivität und damit die Mineralisierung der organischen Stoffe. Ein zusätzlicher hemmender Faktor für die Basalt- und Lockerbraunerden ist eine lange Frostperiode.

In den unteren Horizonten der untersuchten Böden ist die Humusakkumulation besonders von der Menge sorptionsaktiver anorganischer Masse (in den Teeböden und Basaltbraunerden Sesquioxide, in der Lockerbraunerde Sesquioxide und andere amorphe Substanzen, die nach MEYER und SAKR (1970 b) zum größten Teil aus Allophanen bestehen) abhängig. In den den Teeböden ähnlichen Krasnosemen in Rußland (im Kaukasus-Gebiet) und in Australien haben auch einige Autoren von hohen Gehalten an sorptionsaktiven Eisen-sesquioxiden berichtet (GERASIMOV und ROMASHKEVICH 1967, Handbook of Australian Soils 1968). Die dithionitlöslichen Eisen- und Gesamtkohlenstoffgehalte der Fraktionen $< 2 \mu$ bestätigen diese Aussage. Besonders in den Teeböden und in der Lockerbraunerde nimmt der C-Gehalt in der $< 2 \mu$ -Fraktion bezogen auf Gesamt-C, parallel mit dem zunehmenden Fe_d -Gehalt bezogen auf

Gesamt-Fe_d in der gleichen Fraktion, mit der Tiefe zu. Außerdem ermöglicht der relativ geringe Tongehalt bzw. die Lockerheit in den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden eine gute Durchwurzelung, so daß die abgestorbenen Wurzelreste zur Humusanreicherung in den unteren Horizonten dieser Böden beitragen.

Im Vergleich mit den anderen Böden lassen die weitesten C/N-Verhältnisse der Lockerbraunerde vermuten, daß der Abbau in diesem Boden am meisten gehemmt ist, dafür dürften Vegetationsart (Fichte) und ungünstige klimatische Bedingungen, z.B. lange Frostperiode verantwortlich sein. Für die engeren C/N-Verhältnisse bei den Teeböden dürften wegen höheren jährlichen Temperaturdurchschnitten relativ günstigere Abbaubedingungen verantwortlich sein. Mit engsten C/N-Verhältnissen ist der Abbau bei der Basaltbraunerde weiter fortgeschritten; als bei anderen Böden. Hier ist für den Abbau vermutlich ein anderer Faktor verantwortlich, und zwar die in diesen Böden in großer Anzahl auftretenden holzerstörenden Pilze (*Oudemansiella platyphillum*).

Die Huminstoffe in den unteren Horizonten der Teeböden zeigen in Natriumpyrophosphat-Natronlauge größere Löslichkeit als in Natronlauge. Das ist ein Hinweis dafür, daß die Huminstoffe in diesen Horizonten der Teeböden mehr an Eisen-sesquioxide gebunden sind als in den oberen Horizonten. Diese Beobachtung stellt man bei den deutschen Böden nicht fest. Demnach ändern sich die Löslichkeitseigenschaften der Huminstoffe in den deutschen Böden mit der Tiefe nicht so stark wie bei den Teeböden.

Wie die Huminsäure-Fulvosäure-Verhältnisse zeigen, sind die Teeböden huminsäurereicher als deutsche Basalt- bzw. Lockerbraunerden. Das Verhältnis wird bei allen Böden mit der Tiefe kleiner. Für die Zunahme der Fulvosäurefraktion mit der Tiefe ist folgende Ursache vorherrschend:

- a) die starke Verlagerung,
- b) die in den unteren Horizonten starke Sorption der leichtlöslichen, relativ niedermolekularen organischen Stoffe (bei den Teeböden hohe Niederschläge, bei den Basalt- und Lockerbraunerden relativ geringer Tongehalt, in der Lockerbraunerde die hohe Lockerheit erleichtern jeweils diese Verlagerung). Bei den Teeböden zeigt mit der Tiefe zunehmender Kohlenhydrat-C, bezogen auf Gesamt-C, mit dem Kohlenstoffgehalt der Fulvosäurefraktion gute Übereinstimmung. Die relative Zunahme des Kohlenhydratkohlenstoffs in diesen Böden ist vermutlich auf starke Verlagerung in den oberen Horizonten und Adsorption in den unteren Horizonten zurückzuführen. Diese Eigenschaft ist bei den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden nicht festzustellen.

Wie man aus den Huminsäure-Fulvosäure-Verhältnissen der Extrakte und den lichtoptischen Eigenschaften der Extrakte bzw. Huminsäuren auch sehen kann, verläuft die Humifizierung in den Teeböden, in den deutschen Basalt- und Lockerbraunerden in verschiedenen Richtungen. Für die ziemlich weiten C/N-Verhältnisse bei den Extrakten bzw. Huminsäure- und Fulvosäurefraktionen der Teeböden kann in diesen Böden wegen hohen Temperaturmittelwerten geförderte N-Mineralisierung und durch hohe Niederschläge die Auswaschung des Stickstoffs der Grund sein. In der Lockerbraunerde sind sie dagegen enger, das zeigt, daß in diesem Boden während der Zersetzung der organischen Stoffe eine relative N-Anreicherung stattfindet. Die Basaltbraunerde zeigt in den Extrakten engste C/N-Verhältnisse wie im Gesamt-Boden und das ist vermutlich auch auf sehr starke aber noch nicht fortgeschrittene Pilzaktivität zurückzuführen.

Die Tiefenfunktionen der Stickstoffbindungsformen, bezogen auf Gesamt hydrolysierbarer-N (besonders α -Amino-N und Amid-N) in den untersuchten Teeböden sind ziemlich einheitlich. So könnte man annehmen, daß unter ähnlichen klimatischen Bedingungen die Stickstoffbindungsformen ähnliche Verteilungen im Profil zeigen. Aber die deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden, obwohl beide sich unter ähnlichen klimatischen Bedingungen befinden, zeigen ganz unterschiedliche Verteilungen der Stickstoffbindungsformen im Profil. Also kann gesagt werden, daß für die prozentuale Verteilung der Stickstoffbindungsformen nicht nur das Klima sondern auch die Vegetationsart und das Edaphon eine wichtige Rolle spielt.

Es ist in dieser Arbeit auch gezeigt worden, daß die organischen Stoffe der untersuchten Böden besonders in den oberen Horizonten am Kationenaustausch stark beteiligt sind, und über 70 % des Gesamtaustausches übernehmen.

Es konnte der Nachweis erbracht werden, daß die auf gleichem Muttergestein aber unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen entwickelten Böden unterschiedliche Huminstoffsysteme besitzen, die typische Unterscheidungsmerkmale aufweisen.

6. Zusammenfassung

Der Zweck dieser Arbeit war die Eigenschaften der organischen Stoffe in den türkischen Teeböden und deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden zu charakterisieren und miteinander zu vergleichen. Es wurden vier Profile aus dem türkischen Teegebiet, ein Basaltbraunerdeprofil aus Dransfeld/Hoher Hagen und ein Lockerbraunerdeprofil aus Vogelsberg/Köhlerwald untersucht. Alle untersuchten Profile befinden sich unter natürlicher Vegetation (Bei den Teeböden überwiegend Rhododendron und Farn, bei der Basaltbraunerde Buche und bei der Lockerbraunerde Fichte) und sind keine kultivierten Böden. Fast alle untersuchten Böden, sowohl die in der Türkei als auch die in Deutschland haben als Muttergestein Basalt (nur ein Teebodenprofil hat metamorphes Gestein). Die untersuchten deutschen und türkischen Böden befinden sich jedoch unter verschiedenen klimatischen Bedingungen. Die Niederschlagsmengen bei den deutschen Böden betragen 800 bis 1300 mm/Jahr, bei den türkischen Teeböden bis 2200 mm/Jahr, die langjährigen Temperaturdurchschnitte bleiben bei den deutschen Böden unter 8° C, liegen aber in türkischem Teebaugebiet über 14° C.

Neben den Untersuchungen an der organischen Substanz wurden für die Kennzeichnung der Böden allgemein üblichen Bestimmungen wie pH, Korngrößenbestimmung, Austauschkapazität und austauschbare Kationen, dithionit-lösliches Eisen, Glühverlust durchgeführt. Außerdem die $< 2 \mu$ -Fraktion der Böden elektronenoptisch untersucht und in der gleichen Fraktion dithionit-lösliches Eisen bzw. Gesamt-Kohlenstoffgehalt bestimmt. Schließlich wurde die Abhängigkeit der Eigenschaften der Huminstoffsysteme von den klimatischen und pedologischen Bedingungen diskutiert.

Die wichtigsten Versuchsergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Alle untersuchten Böden liegen im "stark" bis "sehr stark" sauren Bereich.
2. Nach der Korngrößenverteilung unterscheiden sich die türkischen Teeböden von den deutschen Basalt- bzw. Lockerbraunerden durch höheren Tongehalt bzw. Ton-Verlagerung in den oberen Horizonten.
3. Die totale Austauschkapazität der untersuchten Böden ist ziemlich hoch und bewegt sich bei den Teeböden zwischen 11.8 und 55.3, bei der Basaltbraunerde zwischen 17.2 und 46.7, bei der Lockerbraunerde zwischen 18.1 und 81.9 mval/100g Boden. Die Austauschkomplexe sind in den Teeböden, Lockerbraunerde und in den oberen Horizonten der Basaltbraunerde überwiegend mit $H(Al)$ -Kationen belegt. In den unteren Horizonten der Basaltbraunerde überwiegen $(Ca+Mg)$ -Kationen. In allen untersuchten Böden ist der Unterschied zwischen totalen und realen Austauschkapazitäten ziemlich groß. In allen untersuchten Böden spielen die organischen Stoffe als Kationen-Austauscher besonders in den oberen Horizonten eine wichtige Rolle und in den meisten Böden sind sie zu über 70 % in dem Gesamtaustausch beteiligt.
4. Die Gehalte an dithionitlöslichen Eisenoxiden sind in allen untersuchten Böden hoch (am höchsten in den Teeböden), man stellt bei den Teeböden Eisenoxid- bzw. Oxihydrat-Verlagerung fest, was bei den deutschen Böden nicht der Fall ist.
5. Alle untersuchten Profile weisen einen relativ hohen Gehalt an Humus auf. Der Humusgehalt ist am höchsten bei der Lockerbraunerde, am wenigsten bei der Basaltbraunerde, die Teebödenprofile befinden sich als eine Gruppe in der Mitte. Der Humusgehalt nimmt in allen untersuchten Profilen mit der Tiefe ab.

6. Die C/N-Verhältnisse sind bei der Lockerbraunerde am weitesten, in der Basaltbraunerde am engsten, die Teeböden befinden sich dazwischen.
7. Aus der organischen Bodensubstanz lassen sich aus den untersuchten Profilen mit alkalischen Lösungsmitteln annähernd gleiche prozentuale Anteile extrahieren, aber die Extrahierbarkeit mit verschiedenen Lösungsmitteln zeigt besonders in den unteren Horizonten der untersuchten Böden Unterschiede. In den unteren Horizonten der Teeböden wird mit Natriumpyrophosphat-Natronlauge mehr Kohlenstoff extrahiert als mit Natronlauge, was bei den deutschen Böden im ganzen Profil umgekehrt ist.
8. Das Huminsäure-Fulvosäure-Verhältnis ist in den Teeböden wesentlich größer als in den deutschen Böden. Es wird in allen Böden mit der Tiefe kleiner. Die Verhältnisse in Natronlaugeextrakten bei allen Böden ist auch größer als in Natriumpyrophosphat-Natronlaugeextrakten.
9. Die spezifischen Extinktionen der Huminsäuren nehmen in der Reihenfolge Teeböden, Basaltbraunerde, Lockerbraunerde ab. In den Teeböden und in der Basaltbraunerde nimmt die spezifische Extinktion mit der Tiefe zunächst zu und dann wieder ab, während sie in der Lockerbraunerde mit der Tiefe stetig abnimmt (hier bildet Natronlauge-Huminsäurefraktion in dem untersten Horizont eine Ausnahme).
10. Die Extinktionsquotienten (EQ4/5, EQ5/6, EQ6/7) der untersuchten Profile zeigen, daß die Proben der Teeböden unabhängig von der Tiefe eine in sich geschlossene Gruppe bilden und sich dadurch von den anderen Böden unterscheiden. Die Proben der deutschen Böden bilden ebenfalls in sich geschlossene Gruppen. Der Unterschied zwischen diesen Gruppen ist am stärksten bei dem EQ6/7.

11. Die Extrakte und deren Fraktionen zeigen auch im C/N-Verhältnis typische Unterschiede zwischen den Teeböden, Basaltbraunerde und Lockerbraunerde. Sie sind bei den Teeböden in allen Fällen weiter als bei den beiden anderen Böden, von denen die Basaltbraunerde in allen Extrakten und Fraktionen das engste C/N-Verhältnis besitzt. Bei den Teeböden und bei der Lockerbraunerde sind die Verhältnisse in den Fulvosäure-Fractionen weiter als in den Huminsäurefraktionen. Bei der Basaltbraunerde sind sie in den beiden Fraktionen annähernd gleich.
12. Die Fraktionierung des organisch-gebundenen Stickstoffs im sauren Hydrolysat des Gesamt-Bodens zeigt ebenfalls Unterschiede zwischen den untersuchten Profilen. Hauptunterschied besteht zwischen Amid- und α -Amino-N-Gehalt. In den Teeböden und in der Lockerbraunerde nimmt der Amid-N bezogen auf den hydrolysierbaren Stickstoff mit der Tiefe zu, während der α -Amino-N entsprechend abnimmt. In der Basaltbraunerde zeigen beide N-Formen keine nennenswerte Änderung mit der Tiefe.
13. Im Gehalt an hydrolysierbaren Kohlenhydraten bestehen auch Unterschiede zwischen den untersuchten Böden. Die Unterschiede sind jedoch innerhalb der Gruppe der Teeböden größer als zwischen den Teeböden einerseits und der Basaltbraunerde bzw. Lockerbraunerde andererseits. Die Kohlenhydrate zeigen bei den Teeböden größte absolute Menge und mit der Tiefe zunehmende Tendenz.
14. Die elektronenoptischen Untersuchungen in den $< 2\mu$ -Fraktionen zeigen, daß die Tonminerale in allen untersuchten Böden mit Fe-oxiden umhüllt und zusammengeklebt sind. In den Teeböden und in der Lockerbraunerde befinden sich mit der Tiefe zunehmend (besonders in den Teeböden) bis ca. 80 % des Gesamt-Fe_d (unterster Horizont der Lockerbraunerde ist hier eine Ausnahme)

und bis ca. 75 % des Gesamtkohlenstoffes in dieser Fraktion. In Basaltbraunerde dagegen befinden sich mit der Tiefe abnehmend weniger als 50 % des Gesamt- Fe_d und weniger als 40 % des Gesamtkohlenstoffes in dieser Fraktion.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erzielten Ergebnisse zeigen zusammenfassend, daß die auf gleichem Muttergestein aber unter verschiedenen klimatischen Bedingungen entwickelten Böden unterschiedliche Huminstoffsysteme besitzen und typische Unterscheidungsmerkmale aufweisen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft möchte ich für die finanzielle Hilfe, und den Herren Prof. Dr. W. Flaig, Prof. Dr. B. Meyer, Dr. J. Chr. Salfeld sowie Prof. Dr. H. Söchtig für die Unterstützung bei dieser Arbeit, danken.

7. Literatur

- ACHARD, F.: Chemische Untersuchung des Torfs. - Grell's Chem. Ann. 2, 391 (1786) (Zit. FLAIG 1966)
- AKINCI, M.C.: Untersuchungen an der organischen Substanz der Lockerbraunerden und der sauren Braunerden im Hohen Vogelsberg. - Diss. Giessen (1973)
- ALDAG, R. und R. KICKUTH: Stickstoffverbindungen in Böden und ihre Beziehung zur Humusdynamik, 1. Mitteilung: Fraktionierung und Bilanzierung der Aminosucker und der Aminosäuren in den Ah-Horizonten einer Rendzina und vier Sauer-Braunerden des Göttinger Waldes. - Z. Pflanzenern. Düng.Bodenk. Band 136, H. 3, S. 193-202 (1973 a)
- ALDAG, R. und R. KICKUTH: Stickstoffverbindungen in Böden und ihre Beziehung zur Humusdynamik, 2. Mitteilung: Zur Bestimmung und Zuordnung des Amidstickstoffs. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. Band 136, H. 2, S. 141-150 (1973 b)
- ALEKSANDROVA, L.N.: The use of sodium pyrophosphate for isolating free humic substances and their organic-mineral compounds from the soil. - Soviet Soil Sci. No. 2, 190-197 (1960)
- ALLISON, L.E., W.B. BOLLEN and C.D. MOODIE: Total Carbon. - Methods of Soil Analysis (BLACK, C.A. et al. 1965), Part 2, Chemical and Microbiological Properties, Amer. Soc. of Agronomy, Inc. Publ. Madison, Wis. USA, 1346-1366 (1965)
- ATTERBERG, A.: - Int. Mitt. Bodenkunde 2, 312 (1912)
- BARANOVSKAJA, V.A.: Vergleichende Untersuchungen und statische Bewertung der Bestimmungsmethoden für die Humuszusammensetzung im Boden. - Pochvovedenie H. 10, 66-69 (russ.) (1966)
- BEUTELSPACHER, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über den Ton-Humus-Komplex. - Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 24, Section A, Part II, Allahabad (1955)
- BEUTELSPACHER, H. und H.W. VAN DER MAREL: Atals der Elektronenmikroskopie der Tonminerale und ihrer Beimengungen. - Elsevier Publ. Company, Amsterdam-London-New York (1968)

- BLUME, H.P.: Die Charakterisierung von Humuskörpern durch Streu- und Humus-Stoffgruppenanalysen unter Berücksichtigung ihrer morphologischen Eigenschaften. - Z. Pflanzenern. Düng.Bodenk. 111, S. 95-113 (1965)
- BORATINSKY, K. und K. WILK: Investigations in Complex Use of Different Extractants (NaF , $(\text{NH}_4)_2\text{F}_2$, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, NaOH) for Extraction of Organic Complexes from Soil. - Studies about Humus 27-42, Praha (1962)
- BOUYOUCOS, G.J.: A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soils. - Agronomy Journal 43:9 (1951)
- BREMNER, J.M. und H. LEES: Studies on soil organic matter, II. The extraction of organic matter from soil by neutral reagents. - J.Agric.Sci. 39, 274-279 (1949)
- BREMNER, J.M.: Determination of Nitrogen in soil by the Kjeldahl method. - J. Agric. Sci. 55, 1, 11-33 (1960)
- BREMNER, J.M.: Organic Forms of Nitrogen. - Methods of soil analysis (BLACK, C.A. et al. 1965) Part 2. Chemical and microbiological properties. 85, 1238-1255 American Soc. of Agronomy, Inc., Publisher (1965)
- BRUNNACKER, K.: Die Lockerbraunerden im Bayrischen Wald. - Geol. Bl. No. Bayern 15-2, 65-76, Erlangen (1965)
- BUTLER, J.A.H. and J.N. LADD: Wirkung von Extraktionsmittel und Melekulgröße auf die optischen und chemischen Eigenschaften von Bodenhuminsäuren. - Austral. J. Soil Res. 7, 229-239 (engl.) (1969)
- CAGLAR, K.Ö.: Türkiye Topraklari. - 1972 Ders Yili Takrirler Özeti (Teksir) (türkisch) (1972)
- CICOTTI, M., J.Chr. SALFELD und W. FLAIG: Zur systematischen Beschreibung von Huminstoffsystemen. Eine Untersuchung an Rumänischen Tschernosemen. - Geological Institute Technical and Economical Bulletins. Series C Pedology, No. 18, 239-249 (1970)
- CZERNEY, P.: Über den Einfluß der Kalkdüngung auf die chemischen Eigenschaften von Fichtenhumus. - Arch. Forstwes. Bd. 17, H. 5, 513-530 (1968)

- DABIN, B.: Untersuchung einer Extraktionsmethode der Huminstoffe. - Sci. Sol 1, 47-63 (franz.) (1971)
- DABIN, B., J.C. BRION, G. BELLIER, E. GAVINELLI und J. VERDONI: Les Methodes d'Analyse des Matiers Humiques Utilisees A L'O.R.S.T.O.M. - Deutsch-Französisches Kolloquium, Braunschweig-Völkenrode (FAL) (1973)
- DE LEENHEER, L., J.V. HOVE und M. RUYMBEKE: Determination quantitative de la matière organique du sol.-Pédologie 7, 324-347 (1957)
- DE LEENHEER, L. und J.V. HOVE: Determination de la Teneur en Carbone organique des Sols. - Pédologie 8, 39-77 (1958)
- DUBACH, P., N.C. MEHTA und H. DEUEL: Schonende Extraktion von Huminstoffen und Isolierung der Fulvosäurefraktion aus verschiedenen Bodentypen. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk., Band 102/1, 1-7 (1963)
- DUBIN, V.N. und V.A. FILKOV: Fraktionierung von Huminsäuren mehrerer Moldauböden durch Filtration durch Sephadextypen. - Pochvovedenie 5, 85-93 (russ.) (1968)
- DURASOV, A.M.: Group composition of humus in the chernosems of the Ciscaucasian, trans-volga and west Siberian Provinces. - Soviet Soil Science 11, 1326-1332 (1965)
- DURASOV, A.M. und V.F. MARCENKO: Humusgruppenzusammensetzung und Verhältnis des Kohlenstoffes zum Gesamtstickstoff in dunkelkastanienfarbigen Böden verschiedener Provinzen. - Pochvovedenie 10, 56-63 (1966)
- FLAIG, W., H. BEUTELSPACHER und H. SÖCHTIG: Humus als Kationenaustauscher. - Kalium Symposium 1954, 81-107
- FLAIG, W., F. SCHEFFER und B. KLAMROTH: Zur Kenntnis der Huminsäuren VIII. Mitteilung: Zur Charakterisierung der Huminsäuren des Bodens. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. Band 71 (116), H. 1, S. 33-57 (1955)
- FLAIG, W., H. SÖCHTIG und H. BEUTELSPACHER: Einfluß der Humusstoffe auf die Umtauschkapazität der Böden. - Landbauforschung Völkenrode, 13 Jg., Heft 1, 13-20 (1963)

- FLAIG, W.: Humusstoffe. - Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung, Springer-Verlag, Wien, New York, 382-458 (1966)
- FLAIG, W. und H. SÖCHTIG: Organische Verbindungen als Stickstoffquelle für Ernährung der Pflanzen. - Anales de Edafologia y Agrobiologia, Tomo XXVI, Nums. 1-4, Madrid (1967)
- FLAIG, W.: Fortschritte der Huminstoff-Chemie.-Landbau-forschung Völkenrode, 19. Jg., Heft 2, 53-66 (1969)
- FRÖMEL, W.: Über Absorptionsspektren von Huminsäuren in Lösungen. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 6 (51), 93-119 (1938)
- FRÖMEL, W.: Über Humus und Huminsäuren. Ein methodischer Vergleich aufgrund von Untersuchungen über die Adsorption und von Messungen der Licht-adsorption. - Landw. Jahrbücher 92, 94-154 (1942)
- GASCHO, G.J. und F.J. STEVENSON: Eine verbesserte Methode zur Extraktion organischer Materie aus dem Boden. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32, 1, 117-119 (engl.) (1968)
- GERASIMOV, I.P. und A.I. ROMASHKEVICH: Soil and Weathering Crust in the Genetic Profiles of West-Georgian Red Earths. - Soviet Soil Sci. Nr. 4, 442-450 (1967)
- GÜLCUR, F.: Rize mintikasında, Humit sartlar altında gelişmiş bazı bakter toprakların Kil-Frak-siyonlarında Kimyasal ve Minerolojik Özel-likler üzerine Arastirmalar. - Istanbul Ün. Orman Fak. Dergisi Cilt 8, Sayı 2 (1958)
- HEINONEN, R.: Über die Umtauschkapazität des Bodens und verschiedener Bodenbestandteile in Finnland. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 88, 49 (1960)
- HOCK, A.: Farbtiefen- und Farbtonwerte als charakte-ristische Kennzeichen für Humusform und Humustyp in Böden nach neuen Verfahren. - Z. Bodenk. Pflanzenern. 2, S. 304-315 (1937)
- HOCK, A.: Beziehungen zwischen Konzentration und Farb-werten von Huminsäurelösungen. - Z. Bodenk. Pflanzenern. 7, (52), 99-117 (1938 a)
- HOCK, A.: Grundsätzliches bei Farbmessungen in Humus-lösungen. - Z. Bodenk. Pflanzenern. 7 (52), S. 279-302 (1938 b)

- HOFFMANN, F.: Zur Dynamik von Menge und Qualität der Humusstoffe im Boden. - Wiss. Zeitschrift der Technischen Universität Dresden 10, 1468-1483 (1961)
- HOFFMANN, F.: Farbmessungen an Humin- und Fulvosäuren. - Archiv für Forstwesen 13, 1159-1180 (1964)
- JACKSON, M.L.: Soil Chem. Analysis, Constable und Co. Ltd. 168 (1958)
- JENNY, H.: A study on the influence of climate upon the nitrogen and organic matter content of the soil. - Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. Nr. 152 (1930)
- JORGENSEN, J.R.: Fraktionierung von N in drei Waldböden. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31, 5, 707-708 (engl.) (1967)
- KASAPLIGIL, B.: Kuzey Anadoluda Botanik Gezileri. - T.C. Tarım Bakanligi Orman Genel Md. Yay. Öz., 32, Istanbul I. Horoz Basimevi (1947)
- KHAN, S.U.: Verteilung und Charakteristika von aus schwarzen solonetzigen und schwarzen tschernosemigen Böden Albertas extrahierter organischer Masse: Die Huminsäurefraktion. - Soil Sci. 112, 5, 401-409 (1971) (engl.)
- KHAN, S.U. and F.J. SOWDEN: Distribution of Nitrogen in the Black Solonetzic and Black Chernosemic Soils of Alberta. - Can. J. Soil Sci. 51 185-193 (1971)
- KINEZ, M.: Cay Ziraati. - Tarım Bakanligi Ziraat Isleri Genel Md. Yay. D. 110 (1967)
- KONONOVA, M.M. und N.P. BELCHIKOVA: Versuch einer Charakterisierung der Natur der Bodenhuminsäure mit Hilfe der Spektrophotometrie. - Doklady Akad. Nauk. SSSR 72, No. 1, 125-128 (russ.) (1950)
- KONONOVA, M.M.: Die Humusstoffe des Bodens, Ergebnisse und Probleme der Humusforschung. - Verl. deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, (1958)
- KONONOVA, M.M. und N.P. BELCHIKOVA: Schnellmethoden zur Bestimmung der Humuszusammensetzung von Mineralböden. - Pochvovedenie 10, 75-87 (russ.) (1961)

- KONONOVA, M.M.: Soil Organic Matter.- 2nd Edition, Pergamon Press Oxford, London, Edinburgh, New York, Toronto, Sydney, Paris, Braunschweig (1966)
- KONONOVA, M.M.: Methods of determining humus composition and their rationalisation. - Soviet Soil Sci. 7, 894-902 (1967)
- KUMADA, K.: Studies on the Colour of Humic Acids Part 1: On the Concepts of Humic Substances and Humification. - Soil Sci. and Plant Nutr. 11-12, 151-156 (1965/66)
- LEVESQUE, M. and M. SCHNITZER: Effects of NaOH concentration on the extraction of organic matter and of major inorganic constituents from a soil. - Can. J. Soil Sci. 46, 7-12 (1966)
- MAX, W. und V. BUCH: Vergleichende chemische und mikromorphologische Untersuchungen bei der Extrahierung von Huminstoffen aus Waldböden. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 97, 255-265 (1962)
- MARKGRAF, G.: Vorschlag eines Chromschwefelsäureverfahrens zur serienmäßigen Schnellbestimmung der organischen Substanz und des Huminsäure-Fulvosäure-Verhältnisses in Mineralböden. - Thaer-Arch. 13, 9, 825-837 (1969)
- MEHLICH, A.: Determination of Cation- and Anion exchange Properties of Soils. - Soil Sci. 66, 429-445 (1948)
- MEHLICH, A.: Charge Characterisation of Soils. - 7th Intern. Congr. of Soil Sci. 2, 292-302 (1960)
- MEHRA, O.B. and M.L. JACKSON: Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. - Clays and Clay Minerals. Proc. 7th Conf., 317-327, Natl. Acad. Sci.-Natl. Res. Council Publ. (1960)
- MENDEZ, J. und STEVENSON, F.J.: Reduzierende Spaltung von Huminsäuren mit Na-Amalgam. - Soil Sci. 102, 2, 85-93 (engl.) (1966)
- MENGEL, K.: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. - Gustav Fischer Verlag, Stuttgart (1972)

- MEYER, B. und R. SAKR: Menge, Sitz und Verteilung der extrahierbaren Fe-, Al-, SiO₂- und Humus-Anteile und ihr Einfluß auf die Austausch-Eigenschaften von typischen sauren Lockerbraunerden. - Göttinger Bodenkundliche Berichte 14, 49-83 (1970 a)
- MEYER, B. und R. SAKR: Aggregate, Dispergierungs-Resistenz und Vorbehandlungs-Methoden zur Korngrößen-Analyse saurer allophanhaltiger Lockerbraunerden. - Göttinger Bodenkundliche Berichte 14, 85-105 (1970 b)
- MEYER, B.: Pedomorphologische Wirkungen höherer Pilze. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 18, 262-265 (1974)
- NEHRING, K. und R. SCHIEMANN: Untersuchung zum Humusproblem. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 57, 193-215 (1952)
- ODEN, S.: Die Huminsäure. - Dresden und Leipzig, 96-109 (1922)
- ORLOV, D.S., O.N. ROSANOVA und S.G. MATYUKHINA: Infrarotspektrum-Absorption der Humussäuren. - Pochvovedenie 1, 17-25 (russ.) (1962)
- PAVEL, L. and M. ZAZVORKA: Spectrophotometric determination of the concentration of solution of soil humic acids of various origin.. - Soviet Soil Sci. Heft 10, 1237-1241 (1965)
- POETSCH, T.: Untersuchungen an bodenbildenden Deckschichten unter besonderer Berücksichtigung ihrer vulkanischen Komponente. - Diss. Giessen (1973)
- PREUSSE, H.W.: Über das Eisen in grundwasserfreien Böden unter besonderer Berücksichtigung leichtlöslicher organischer Substanzen. - Habilitationsschrift, Giessen (1969)
- RICHARDS, L.A. et al.: Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. - U.S.D.A. Handbook No. 60 (1954)
- RIEHM, H. und B. ULRICH: Quantitative kolorimetrische Bestimmung der organischen Substanz im Boden. - Landw. Forsch. 6, 173-176 (1954)

- SADAT, B.D.: Untersuchungen zur Stoffdynamik in Ackerböden in Abhängigkeit von verschiedener organischer Düngung und Stickstoffdüngung. - Diss. Giessen (1974)
- SALFELD, J.Chr.: Die Charakterisierung von Huminstoffen durch Differenzspektrogramme. - Mitt. d. Dtsch. Bodenk. Ges., Bd. 4, 289-290 (1965)
- SALFELD, J.Chr.: Untersuchungen zur Klassifizierung der organischen Bodensubstanz. - Mitt. d. Dtsch. Bodenkdl. Ges., Bd. 8, 133-135 (1968)
- SALFELD, J.Chr. und H. SÖCHTIG: Ergänzung zum Exkursionsführer der Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Hannover (1969)
- SALFELD, J.Chr.: Optical Measurements on Humic Systems. - Humus et Planta, 257-266 (1971)
- SALFELD, J.Chr. Methodik zur Charakterisierung von Huminstoffsystemen. - Deutsch-Französisches Kolloquium zum Thema "Problematik ferrallitischer und hydromorpher Böden" vom 5.6.-8.6.1973 in der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig-Völkenrode (1973)
- SALFELD, J.Chr.: Automatisierung der chemischen Charakterisierung von Huminstoffsystemen und ihre statistische Auswertung. - Torf Kolloquium 29.4.1974 im Institut für Biochemie des Bodens, Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, Telma (im Druck) (1974)
- SALFELD, J.Chr., H. SÖCHTIG und W. FLAIG: Automatisierung der Charakterisierung von Huminstoffsystemen und statistische Auswertung der Ergebnisse im Institut für Biochemie des Bodens. - Vortrag auf dem 10. Kongreß Intern. Bodenkundl. Ges. MOSICAM (1974)
- SALFELD, J.Chr.: Ultraviolet and visible absorption spectra of humic systems. - Proc. int. meet. Humic Substances, Nieuwersluis 1972, 269-280, Holland-Pudoc (1975)
- SCHEFFER, F., B. ULRICH, B. MEYER und J. OEHMICHEN: Natronlauge-Extraktion von Modellschubstanzen und Waldhumusformen. Ein Beitrag zur Frage der Huminsäureextraktion. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 74, 2, 157-161 (1956)

- SCHEFFER, F., E. WELTE und F. LUDWIG: Zur Frage der Eisenoxydhydrate im Boden. - Chemie der Erde 19, 51-64 (1957)
- SCHEFFER, F. und B. ULRICH: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, Band III, Humus und Humusdüngung. - Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart (1960)
- SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL: Lehrbuch der Bodenkunde. - Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart (1970)
- SCHLICHTING, E.: Zur Kenntnis des Heidehumus.
1) Fraktionierung und Untersuchung des ganzen Humuskörpers. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 61, 1, 1-12 (1953 a)
- SCHLICHTING, E.: Zur Kenntnis des Heidehumus. 2) Die Fulvosäurefraktion. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 61, 97-107 (1953 b)
- SCHLICHTING, E.: Zur Kenntnis des Heidehumus.
3) Die Huminsäurefraktion. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 61, 193-204 (1953 c)
- SCHLICHTING, E. und H.P. BLUME: Bodenkundliches Praktikum. - Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin (1966)
- SCHNITZER, M., D.A. SHEARER and J.R. WRIGHT: A Study in the Infrared of High Molecular Weight Organic Matter Extracted by Various Reagents from a Podsollic B-Horizon. - Soil Sci., Vol. 87, No. 5 252-257 (1959)
- SCHNITZER, M. and J.R. WRIGHT: Studies on the oxidation of the organic matter of the Ao and Bh-Horizons of a Podsol. - 7th Intern. Congress of Soil Science, Madison, Wisc. USA, 112-119 (1960)
- SCHNITZER, M.: Humic-Fulvic acid relationships in organic soils and humification of the organic matter in these soils. - Can. J. Soil Sci. 47, 245-250 (1967)
- SCHÖNHALS, E.: Spätglaziale äolische Ablagerungen in einigen Mittelgebirgen Hessens. - Eiszeitalter und Gegenwart 8, 5-17 (1957)
- SCHÖNHALS, E.: Ein äolisches Sediment der jüngeren Dryaszeit auf dem Laacher See-Tuff. - Fortschr. Geolog. Rheinland. u. Westf. 4, 337-340, Krefeld (1959)

- SCHWERTMANN, U. und E.A. NIEDERBUDE: Der Mineralbestand der Fraktion 2 einiger Böden aus basaltischen Magmatiten und seine Eigenschaften. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 122, 193-206 (1969)
- SIMON, K.: Über die Herstellung von Humusextrakten mit neutralen Mitteln. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 14, 252-257 (1929)
- SPRINGER, U.: 1. Farbtiefe und Farbcharakter von Humusextrakten in ihrer Abhängigkeit von der Alkalikonzentration, zugleich ein Beitrag zur Kenntnis der Humustypen. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 34, 1-14 (1934)
- SPRINGER, U.: Der heutige Stand der Humusuntersuchungsmethodik mit besonderer Berücksichtigung der Trennung, Bestimmung und Charakterisierung der Huminsäuretypen und ihre Anwendung auf charakteristische Humusformen. - Bodenk. u. Pflanzenern. 6, 312-373 (1938)
- SPRINGER, U. und J. KLEE: Die Charakterisierung und Unterscheidung von Waldhumusformen mittels der Natronlauge- und Natriumpyrophosphat-Extraktion und der Stickstoff-Fraktionierung. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. Band 80, H.2, 109-126 (1958)
- SÖCHTIG, H. und J.Chr. SALFELD: Characterization of humic systems in a Black Earth-Griseerde-Morphosequence in the area of Hildesheim. - Humus et Planta, 247-256 (1971)
- SÖCHTIG, H. und F. MACIAK: Bindung des Stickstoffs und Vorkommen phenolischer Verbindungen im Torf. - Telma, Band 1, 49-61 (1971)
- SÖCHTIG, H.: Charakterisierung der Huminstoffsysteme von mitteleuropäischen Böden. - Deutsch-Französisches Kolloquium, 5.6.-8.6.1973, Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode (1973 a)
- SÖCHTIG, H.: Erste Ergebnisse der Charakterisierung von Huminstoffsystemen ferrallitischer Böden. - Deutsch-Französisches Kolloquium, 5.6.-8.6.1973, Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode (1973 b)

- STEVENSON, F.J.: Distribution of the forms of nitrogen in some soil profiles. - Proc. Soil Sci. Amer. Proc. 21, 283-287 (1957)
- STEVENSON, F.J.: Carbon-Nitrogen relationships in soil. - Soil Sci. 88, No. 4, 201-208 (1959)
- TEKELI, S.T.: Cay Teknolojisi. - Ankara Ün. Ziraat Fak. Yayinlari 190, Ankara (1962)
- THOMPSON, L.M.: Soils and Soil fertility. - Mac Graw Hill. N.Y. (1957)
- THOMANN, Ch.: Quelques observations sur l'Extraction de l'Humus dans les Sols Methode au pyrophosphate de Sodium. - Cahier de Pedologie, Nr. 3, (O.R.S.T.O.M.) (1963)
- TINSLEY, J. und A. SALAM: Extraction of soil organic matter with aqueous solvents. - Soils and Fertilizers 24, 81-84 (1961)
- TYURIN, I.V.: Eine analytische Methode für den Vergleich der Humuszusammensetzung. - Tr. Pochv. Inst. Im V.V. Dokuchayev, Vol. 38 (zit. KONONOVA 1966) (russ.) (1951)
- ULRICH, B.: Kationenaustausch-Gleichgewichte in Böden. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 113, 141-159 (1966)
- ÜNAL, H.: Rize Cay Topraklarinin Anzim Aktiviteleri ve bu Aktivitelerle Önemli Toprak Özellikleri Arasindaki Ilgiler. - A.Ü. Ziraat Fak. Yayinlari 306/191, Ankara (1967)
- VOLOBUYEV, V.R.: Use of Data on the group and fractional Composition of Humus for soil identification. - Soviet Soil Sci. Nr. 8, 1056-1077 (1968)
- WALTER, H. und H. LIETH: Klimadiagrammweltatlas. - VEB-Gustav Fischer Verlag, Jena (1967)
- WELTE, E.: Über die Entstehung von Huminsäuren und Wege ihrer Reindarstellung. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 56, 105 (1952)
- WELTE, E.: Zur Konzentrationsmessung von Huminsäuren. - Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 74, H. 3, 219-227 (1956)
- WIESEMÜLLER, W.: Untersuchungen über die Fraktionierung der organischen Bodensubstanz. - Albrecht-Thaer-Archiv 9, 419-436 (1965)

- WITTICH, W.: Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzung auf einem Boden mit Mullzustand. - Forstarchiv, 15. Jg., H. 5/6, 96-111 (1939)
- WITTICH, W.: Die Aktivierung von Rohhumus extrem ungünstiger Beschaffenheit. - Z. Forst- und Jagdwesen, Heft 7/8, 74. Jg., (1942)
- WITTICH, W.: Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzung auf einem Boden mit Mullzustand II. - Forstarchiv 19, 1, 1-18, Verlag Mu.H Schaper, Hannover (1943)
- WITTICH, W.: Untersuchungen über die Streuzersetzung auf einem Boden mit Mullzustand IV (Die Streu der Bodenflora). - Forstarchiv, Heft 5/6, Jg. 20, 110-114 (1944)
- YUAN, T.L.: Vergleichende Untersuchung von Reagentien zur Extraktion der organischen Substanz von Böden und die Wirkung des pH-Wertes auf die Trennung von Humin- und Fulvosäuren. - Soil Sci. 98, 133-141 (engl.) (1964)
- ZIHNIOGLU, A.: Cay ve İklimi. - Tekel Genel Md. Yayinlari (1960)
- anonym: Methodenblatt G 21, Braun, Melsungen
- anonym: A Handbook of Australian Soils. - Publ. Rellim, Glenside, S. Australia (1968)
- anonym: III. Plan Dönemi Cay Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ekim 1971
- anonym: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft -Exkursionsführer-. - Band 17 (1973)

