

Bodenentstehung und Mineralbildung  
im  
Neckarschwemmlehm der Rheinebene

Von

**Helmut E. Stremme**

Kiel

Mit 3 Tafeln, 35 Abbildungen und 28 Tabellen

Herausgegeben von  
der Direktion des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung  
**Wiesbaden 1955**

Im Vertrieb beim Hessischen Landesamt für Bodenforschung  
Wiesbaden, Mainzer Straße 25

Gedruckt mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung

Herausgegeben von  
der Direktion des Hessischen Landesamtes  
für Bodenforschung

Heft 11

Gedruckt mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

**Bodenentstehung und Mineralbildung  
im  
Neckarschwemmlern der Rheinebene**

Von

**Helmut E. Stremme**

Kiel

Mit 3 Tafeln, 35 Abbildungen und 28 Tabellen

Herausgegeben von  
der Direktion des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung  
Wiesbaden 1955

Im Vertrieb beim Hessischen Landesamt für Bodenforschung  
Wiesbaden, Mainzer Straße 25



## Inhalt

Einleitung .....	7
A. Die Hauptfaktoren der Bodenbildung im Gebiet des Neckarschwemmlerns ....	7
I. Klima .....	7
II. Gesteine .....	8
III. Wasser .....	8
1. Neckar .....	8
2. Grundwasser .....	9
IV. Vegetation und Werden der Kulturlandschaft .....	10
B. Die Bdden, Beschreibung und Entstehung .....	12
I. Junge Auebdden .....	12
II. Braune Steppenbdden .....	13
III. Braune Waldbdden .....	16
IV. Mineralische NaBbdden .....	17
1. Auenwaldbdden .....	17
2. Bruchwaldbdden .....	17
V. Bodenentstehung und Sedimentationszeit .....	19
C. KorngrBzuzusammensetzung und Mineralbestand des Neckarschwemmlerns ..	19
I. KorngrBzen .....	19
II. Mineralbestand .....	21
1. Die Mineralien der groben KorngrBzenfraktionen ober 3 $\mu$ Radius .....	22
2. Die Mineralien der feinen KorngrBzenfraktionen unter 3 $\mu$ Radius .....	29
3. Die Mineralzusammensetzung der C-Horizonte .....	32
D. Zersetzung und Neubildung der Mineralien durch Bodenbildung .....	36
I. Die Mineralumwandlungen im braunen Steppenboden .....	37
II. Die Mineralumwandlungen im braunen Waldboden .....	46
III. Die Mineralumwandlungen im Bruchwaldboden .....	56
E. Bodentypen und Mineralbildung .....	67
I. Brauner Steppenboden .....	68
II. Brauner Waldboden .....	69
III. Bruchwaldboden .....	72
F. Die Entstehungsbedingungen der Tonmineralien .....	73
I. Bildungsbedingungen der einzelnen Mineralien .....	73
II. Die Art der Mineralbildung .....	75
III. Stofftransport .....	75
Zusammenfassung .....	76
Schriftenverzeichnis .....	77

## Einleitung

Die Ergebnisse der mineralogischen Bodenuntersuchungen der letzten Jahrzehnte lassen erkennen, daß zwischen der Bodenentstehung und der Tonmineralbildung Zusammenhänge bestehen, deren Erforschung heute jedoch noch in ihren Anfängen liegt. Die nachstehenden Untersuchungsergebnisse geben einen Beitrag zur Kenntnis der Zusammenhänge von Bodenentstehung und Mineralbildung. Drei charakteristisch ausgebildete Bodentypen aus der Rheinebene zwischen Heidelberg und Mannheim wurden bearbeitet, der braune Steppenboden, der braune Waldboden und der Bruchwaldboden (Glei). Für die mineralogische Vergleichbarkeit war es vorteilhaft, daß die einzelnen Profile der verschiedenen Bodentypen im gleichen Gestein, dem jungdiluvialen bis frühalluvialen Schwemmlehm des Neckars, welcher genügend einheitlichen Mineralbestand innerhalb der einzelnen Korngrößenfraktionen hat, entstanden sind.

In einem ersten Teile der Arbeit (Abschnitte A und B) wird die Wirksamkeit der bodenbildenden Faktoren untersucht und der Entstehungsgang der einzelnen Bodentypen aufgezeigt. Der zweite Teil enthält die Ergebnisse mineralogischer Untersuchungen. Die Ergebnisse quantitativer Mineralbestimmungen für die einzelnen Profile werden vorgelegt. Die Mineralbildungen, Zersetzungen und Neubildungen wurden durch Vergleich der Mineralgehalte der verschiedenen Horizonte der einzelnen Profile ermittelt. Auf die Ergebnisse der Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Bodentypen und der Mineralbildung wird in einem besonderen Kapitel eingegangen. Die Entstehungsbedingungen der Tonminerale werden gesondert behandelt.

Die Untersuchungen erfolgten im Geologisch-Palaeontologischen Institut der Universität Heidelberg. Für die Aufnahme der Debye-Scherrer-Diagramme danke ich Herrn Professor Dr. W. BORCHERT, früher am Mineralogischen Institut der Universität Heidelberg. Mein Dank gilt außerdem Herrn Professor Dr. R. JUZA, früher am Chemischen Institut der Universität Heidelberg für chemische Analysen der Tonfraktion und Herrn Direktor Dr. H. RIEHM von der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Augustenberg für verschiedene chemische Bestimmungen.

## A. Die Hauptfaktoren der Bodenbildung im Gebiet des Neckarschwemmlehms

### I. Klima

Das Untersuchungsgebiet gehört in den milden Bereich der warmen Oberrheinebene mit langjährigen mittleren Jahrestemperaturen von 10° C bei Mannheim und 10,2° C bei Heidelberg. Der westliche Teil mit Mannheim liegt in einem südlichen Ausläufer des Mainzer Trockengebietes, der östliche Teil ist durch seine Lage am Rande des feuchten Odenwaldgebietes bei Heidelberg stärker befeuchtet. In Mannheim be-

tragen die langjährigen mittleren Jahresniederschläge 528 mm, in Heidelberg 718 mm. Die NS-Quotienten (nach A. MEYER 1925) errechnen sich danach für Mannheim ( $S = 1,8$ ) zu 294 und für Heidelberg ( $S = 1,9$ ) zu 378. Mannheim gehört damit sowohl in den Bereich der Schwarzerdebildung (125–350), als auch in den der Braunerdebildung (275–400), Heidelberg mit 378 in den der Braunerden.

Nach der ausgehenden milden Kiefernzeit (S. ROTHSCHILD, 1935 und F. FIBRAS, 1949) folgt die warme Eichenmischwaldzeit, die jetzt als trocken angesprochen wird. Mit der Buchenzeit erfolgt Abkühlung und Zunahme der Feuchtigkeit.

## II. Gesteine

Bodenbildende Gesteine sind im Mündungsgebiet des Neckars in den Rhein innerhalb der Rheinebene hauptsächlich die Ablagerungen des Neckars, an der Oberfläche vorwiegend Lehme und Schlicke und im Unterboden oder Untergrunde ebenfalls Lehme und Schlicke oder Sande und Kiese.

Sande und Kiese sind die Ablagerungen der letzten Glazialzeit. Große Schottermengen gelangten in der Rheinebene zur Ablagerung. Obere Neckarschotter, -sande und -kiese in der Ebene und jüngerer Löß an der Bergstraße sind nach H. THÜRACH (1905) durch gleiche Faunenelemente als gleichaltrig belegt. Die Fauna des Schwemmlehms weist neben glazialen Arten auch eine größere Anzahl postglazialer auf. Der Schwemmlehm ist daher jünger als Schotter und Löß, seine Bildung fällt in die Ausgangszeit des Diluviums und in die frühe Alluvialzeit und ist abgeschlossen mit dem Durchbruche des Neckars zum Rhein bei Seckenheim in früher Kiefernzeit. Geringste Mächtigkeit von weniger als 50 cm hat der Schwemmlehm bei Eppelheim, höchste mit über 300 cm bei Heidelberg, er ist vorwiegend mit 150–200 cm Mächtigkeit verbreitet.

Die an einigen Stellen verbreiteten Dünensande gehören zu Dünen, deren Anlage älter ist als die Ablagerung der Schwemmlehme. Nach erfolgter Sedimentation der Schwemmlehme ist es jedoch zu verschiedenen Zeiten zu Umlagerungen der Dünensande gekommen (A. STRIGEL 1935).

In jungen Neckarauen westlich Ladenburg und Neckarhausen sind alluviale Schwemmlehme in großer Verbreitung abgelagert, ihre Sedimentation begann nach dem Neckardurchbruch bei Seckenheim und dauert bis in die Gegenwart an.

## III. Wasser

Der Hauptfaktor Wasser ist an der Bildung der Böden des Neckarschuttkegels als Oberflächenwasser bei Überschwemmungen von Neckar und Odenwaldbächen und als Grundwasser beteiligt gewesen und zum Teil noch heute tätig.

### 1. Neckar

In früher postglazialer Zeit überschwemmte der Neckar weite Flächen. Nach seinem Durchbruche zum Rhein (in früher Kiefernzeit) vertieft er seine Sohle, die Überschwemmungsgebiete werden trocken und es entstehen westlich von Ladenburg neue Auenflächen, die um 2 m tiefer liegen als die diluvialen. Durchschnittliche Höhen des Hochgestades westlich Ladenburg liegen um 101 m NN, die neuen

Auen um 99 m. Die von A. MANGOLD (1892) rekonstruierte Höhe der Neckarsohle für die Zeit des Bergstraßenlaufes beträgt bei Ladenburg 96 m NN (vgl. Tab. 1). Als Folge des Durchbruches war eine Eintiefung auf 94–95 m möglich.

Seine in der Nähe des neuen Laufes gelegenen Altläufe hat der Neckar unmittelbar nach ihrem Verlassen auf mittlere Wasserhöhe aufgeschlickt. Nicht aufgeschlickt wurden jedoch die vom neuen Stromlauf weit entfernten Altläufe z. B. im Gebiet von Heddesheim und Schwetzingen, die offene Gewässer bildeten und allmählich vermoorten. Diese Moore dienten zur Bestimmung des Zeitpunktes des Neckardurchbruches (P. STARK, 1926; E. OBERDÖRFER, 1934 und S. ROTHSCHILD, 1935).

Weitere Eintiefungen der Sohle des Neckars bewirken die verschiedenen Strombaumaßnahmen (M. RUDOLPH, 1925, A. STRIGEL, 1927 und 1934, M. EISENLOHR, 1921). Besonders wirksame Regulierungen setzten am Ende des 18. Jahrhunderts ein, doch sind bereits römerzeitliche und mittelalterliche überliefert. Durch alle Regulierungen zusammen ist die heutige Sohllentiefe des Neckars bei Ladenburg mit 92 m NN erreicht, die gesamte Eintiefung beträgt 4 m.

## 2. Grundwasser

Die Grundwasserstände im Neckarschuttkegel haben sich seit dem Ende des Diluviums wesentlich verändert. Der Grundwasserhaushalt wird geregelt durch die Zuflüsse aus dem Gebirge und den Abfluß zum Rhein oder Neckar. Von hohen Ständen um 100 m NN bei Heidelberg (vgl. Karte 2) fällt der Grundwasserspiegel zum Rhein bei Mannheim hin bis gegen 87 m ab. Für den Raum südlich Heddesheim ergibt das Grundwasserspiegellhöhen unter Flur von fast durchweg mehr als 5 m (bei Heidelberg mehr als 10 m). Das Grundwasser liegt unterhalb des Neckarschwemmlehms in Kiesen und Sanden und hat in diesem Gebiete daher keine Bedeutung für die Bodenbildung. Das in geringer Tiefe unter Flur anstehende Grundwasser im Gebiet nördlich Heddesheim-Großsachsen tritt in die Schwemmlehme ein und gewinnt dadurch starken Einfluß auf die Bodenbildung. Naßbodentypen, Auenwaldböden, Bruchwaldböden und Moorböden sind in diesem Gebiet verbreitet.

Als Bildungen des Grundwassers erkennbare G-Horizonte haben große Verbreitung auch dort, wo heute das Grundwasser sehr tief unter der Oberfläche liegt und nicht mehr bodenbildend wirkt. G-Horizonte wurden bei fast allen Bodentypen angetroffen, bei Steppenböden und braunen Waldböden ebenso wie bei den Naßbodentypen. Nach der Oberfläche der G-Horizonte wurden für einige Profile mögliche ehemalige höchste Grundwasserstände rekonstruiert und in die Karte 2 eingetragen (Angaben in m über NN). Die hohen Grundwasserstände bei Ladenburg zwischen 100 und 102 m NN werden im Zusammenhange mit dem Neckarwasserspiegel um 99 m im Anfange der Kieferzeit vor dem Durchbruche des Neckars bei Seckenheim gestanden haben, desgleichen die für Edingen und Wieblingen ermittelten Stände um 103–105 m. Neben diesen ältesten sehr hohen Grundwasserständen werden in verlandeten Neckarschlingen jüngere aus der Zeit nach dem Neckardurchbruch angezeigt, die z. B. bei Ladenburg 97–98 m über NN angestanden haben (Tab. 1). Nach den heutigen mittleren Grundwasserständen bei Ladenburg zwischen 95 und 96 m ist eine stufenweise Absenkung des Grundwassers bei Ladenburg mit einem Gesamtbetrage von 4–5 m nachweisbar.

Demgegenüber läßt sich im Gebiet der heutigen Auen- und Bruchwaldböden zwischen Heddesheim und Weinheim ein Grundwasseranstieg nach dem Neckardurchbruch um 1–2 m nachweisen, der mit Erkenntnissen von S. ROTHSCILD (1935) in Übereinstimmung steht. Erst durch neuere Entwässerungsmaßnahmen wird im Gebiet Heddesheim-Weinheim das Grundwasser um etwa 1 m abgesenkt.

Tabelle 1. Änderungen der Höhen von Neckarsohle und Grundwasserspiegel (in m über NN)

	Seckenheim		Ladenburg		Lützelsachsen, alte Neckarschlinge	
	Neckar- sohle	Grundwas- ser (Siedl.)	Neckar- sohle	Grund- wasser	Neckar- sohle	Grund- wasser
Kiefernzeit vor Durchbruch des Neckars . . . . .	95	98—99	96	(99)—100	92	(96—97?)
nach Durchbruch des Neckars . . . . .	(92—93) <sup>1)</sup>		(94—95)	97—98		
Römerzeit . . . . .		95—96		(97—98)		97—98
Gegenwart . . . . .	89	92—93	92	95,50		97

<sup>1)</sup> Geklammert sind die errechneten Werte.

Für Heidelberg fand W. DEECKE (1933) bei der Bearbeitung eines Römerbrunnens, daß sich die Höhe des Grundwasserspiegels seit der Römerzeit (98–99 m) nicht verändert habe. Einen römerzeitlichen Brunnen aus der Suebiansiedlung bei Seckenheim hat H. GROPENGIESSER (1935) beschrieben. Mit einer Wasserspiegelhöhe von mindestens 7 m unter Flur ist zu rechnen. Heute liegt der mittlere Wasserspiegel an der gleichen Stelle (vgl. auch Karte 2) 10,20 m unter Flur. Eine Grundwasserabsenkung seit der Römerzeit um mindestens 3,20 m ist danach für diese Stelle anzunehmen. Die im Zusammenhange mit der Eintiefung der Neckarsohle erfolgte Grundwasserabsenkung bei Ladenburg seit der Römerzeit ist entsprechend der etwas geringeren Eintiefung der Sohle gegenüber Seckenheim mit 2–2,50 m anzusetzen. Bei heutigem Grundwasserstande um 95,50 m würde sich ein römerzeitlicher von 97,50–98 m errechnen. Diese Höhe stimmt überein mit der für fossile G-Horizonte für Ladenburg aus mehreren Profilen gewonnene Höhe von 97,40–98 m.

#### IV. Vegetation und Werden der Kulturlandschaft

Das Verbreitungsgebiet der Neckarschwemmlerne steht heute überall in Acker-nutzung. Die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen wirken sich auf die Bodenbildung ähnlich aus wie die natürlichen Steppenpflanzen. Sie können zur Ausbildung von Steppenböden oder zu Veränderungen in Richtung auf den Steppenboden führen. Als natürliche Vegetationsformen gelten für das ganze Gebiet der Schwemmlerne Wälder (G. SCHWARZ, 1941 und R. KNAPP, 1946). KNAPP rechnet den Raum der Wuchsraum-einheit des Mainzer Trockengebietes zu mit drei verschiedenen Waldassoziationen. Die Neckarauen westlich Ladenburg wären im Naturzustande mit Auen-Ulmen-

Mischwald bestockt. In den Altläufen des Neckars mit hohem Grundwasserstand nördlich Heddeshelm würde Erlen-Ulmen-Mischwald heimisch sein. Auf den Schwemmlehmen des Neckarschuttkegels würden Hainbuchen-Ulmen-Mischwälder in Übergangsformen zum Eichen-Hainbuchen-Mischwald verbreitet sein.

Über die Geschichte der Wälder des Untersuchungsgebietes sind wir durch E. OBERDÖRFER (1934), P. STARK (1926), F. FIRBAS (1934) und vor allem durch S. ROTHSCILD (1935) unterrichtet. Der Kiefernwald wurde durch Eichenmischwald mit reichem Vorkommen der Hasel abgelöst. Buchen haben selbst in der Buchenzeit nur untergeordnete Bedeutung gewonnen. Die Bewaldung in der Kiefernzeit war nach Ansicht von S. ROTHSCILD nicht so dicht, daß sie das Einwandern von Steppenheidearten hätte verhindern können. F. FIRBAS (1949) hält die E. M. W.-Zeit für trockener als die heutige Zeit. In der E. M. W.-Zeit sollen auf tiefgründigen ebenen Böden (Löß und Geschiebemergel) Landschaften mit wiesensteppenähnlicher Vegetation verbreitet gewesen sein, z. B. in der Magdeburger Börde und im oberrheinischen Tiefland. Das Vorkommen der Steppenböden in der Magdeburger Börde wie im Mainzer Becken beweist, daß natürliche Steppeninseln in der E. M. W.-Zeit wirklich bestanden haben. Im Untersuchungsgebiet besteht für trockene Böden ebenfalls die Möglichkeit einer Waldfreiheit in der E. M. W.-Zeit.

Zahlreiche neolithische Funde der verschiedenen Kulturen zeugen von früher und ständiger Besiedlung des Neckarschuttkegels seit dem Neolithikum (G. SCHWARZ, 1941). Besonders zahlreich sind die Funde im Gebiet der Steppenböden. Siedlungen haben im Schwemmlehm an höheren Stellen bestanden, z. B. nördlich und südlich Ladenburg. Andere Siedlungen lagen am Rande des Steppenbodengebietes in Dünen (vgl. Karte 3).

Als neolithische Kulturböden spricht H. THÜRACH (1905) tief humose Lehmböden an wegen ihres reichen neolithischen Fundinhaltes. Diese Kulturböden beschreibt er von zahlreichen Stellen, die fast ausschließlich im Verbreitungsgebiet der heutigen Steppenböden liegen. Das Gebiet der Steppenböden hat in neolithischer Zeit in Ackerkultur gestanden und war wahrscheinlich waldfrei. Die Besiedlung der Neckarufer ist beständig geblieben, wie Funde aus allen späteren Kulturzeiten erkennen lassen. In Übereinstimmung damit steht die Ansicht von E. WAHLE (1932), daß in Süddeutschland vom Neolithikum bis zur Merowingerzeit (6.–8. Jahrhundert) keine wesentliche Vergrößerung der besiedelten Gebiete erfolgt ist. Für das 8. Jahrhundert bezeugt eine historische Urkunde, der Lorscher Kodex, daß zu beiden Seiten des Neckars Ackerland und Wiesen gelegen haben.

Die Karte 3 zeigt die durch Flurnamen und altes Kartenmaterial (für Wieblingen z. B. aus dem 18. Jahrhundert) nachweisbare Bewaldung. Im Bereich der eingetragenen Steppenböden ergeben sich keine Hinweise auf frühere Bewaldung. Dagegen schließen sich dicht an die Grenzen der Steppenbodengebiete zahlreiche große Flächen mit nachweisbarer Bewaldung innerhalb der Waldbodengebiete an. Zusammenhängende Bewaldung im Gebiet der Waldböden bis in späte Zeit ist wahrscheinlich. Deutlich ist der Gegensatz zwischen waldfreiem Ackerland und bewaldetem Gebiet zu erkennen. Die ältesten Ortschaften Ladenburg, Wallstadt, Edingen und Wieblingen (FR. C. FREUDENBERG, 1924) liegen im Steppenbodengebiet.

## B. Die Böden, Beschreibung und Entstehung

Von den fünf unmittelbar wirkenden Hauptfaktoren der Bodenbildung nach H. STREMMER (1936 und 1939) Vegetation (und Fauna), Wasser, Relief, Gestein und menschliche Arbeit haben die beiden Faktoren Vegetation und Wasser in einheitlichem Gestein, dem Schwemmlehm des Neckars, die Ausbildung der verschiedenen Bodentypen mit ihren charakteristischen Profilmerkmalen bestimmt. Der Faktor menschliche Arbeit ist weniger durch direkte Einwirkung auf den Boden für die Ausbildung der Bodentypen entscheidend gewesen als mittelbar durch Beeinflussung der Faktoren Vegetation und Wasser.

Der Einfluß des bodenbildenden Faktors Klima konnte verfolgt werden in seiner mittelbaren Einwirkung über die Faktoren Wasser und Vegetation. Die Wirksamkeit der Zeit bei der Ausbildung der verschiedenen Bodentypen ist ebenfalls zu erkennen.

Im jungdiluvialen (bis frühalluvialen) Neckarschwemmlehm des Hochgestades sind zur Ausbildung gelangt an Vegetationsbodentypen (A in Karte I): braune Steppenböden und braune Waldböden, außerdem, besonders im Norden, Naßbodentypen (B): Auenwaldböden und Bruchwaldböden. Die Profile dieser Bodentypen besitzen alle charakteristisch aufgeformte Horizonte, die in langer Bodenbildungszeit zur Ausprägung gelangt sind.

In den Böden der Niederungen von Neckar und Rhein ist die Horizontbildung dagegen noch in einem jungen Stadium, die Bodenbildung wurde noch bis in jüngste Zeit durch Überschlickungen bei Hochwasser beeinflusst.

Bei der folgenden Beschreibung der Böden und ihrer Entstehung wird hauptsächlich auf die mineralogisch zur Untersuchung gelangten Bodentypen, den braunen Steppenboden, den braunen Waldboden und den Bruchwaldboden eingegangen werden. Zunächst sollen jedoch die jungen Aueböden der Neckarniederung beschrieben werden. Die Kenntnis ihrer Gestaltung ist für die genetische Untersuchung der anderen Bodentypen notwendig, da diese alle einmal junge Aueböden gewesen sind.

### I. Junge Aueböden

Die Aueböden der Neckarniederung wurden als „junge Aueböden“ bezeichnet. Sie werden im Hochwasserbereich des Neckars noch heute in den jüngsten postglazialen Schwemmlehmen des Neckars gebildet. Im Laufe der in ihnen erfolgten Bodenbildung sind die vom Neckar abgelagerten Sedimente nur wenig verändert worden. Gegenüber den in der Literatur beschriebenen Auenwaldböden (H. STREMMER 1936, E. OSTENDORFF 1930 und E. MÜCKENHAUSEN 1936) mit ausgeprägten BG- und G-Horizonten sind in den jungen Aueböden nur stellenweise, bei stärkerer Einwirkung des Grundwassers, G-Horizonte zur Ausbildung gelangt. Auch die Ausbildung der für Waldböden charakteristischen B-Horizonte unterblieb in diesen Aueböden, obwohl sie unter Waldvegetation entstanden sind, weil die bis in jüngste Zeit andauernde regelmäßige Überschlickung mit kalkhaltigem Hochwasserschlamm die zur B-Horizontbildung notwendige Entkalkung verhinderte.

In den Profilen der jungen Aueböden des Neckars folgen unter den humosen A-Horizonten gewöhnlich gleich die von der Bodenbildung nicht betroffenen C-Horizonte.

Als kennzeichnend für die jungen Aueböden mit tiefen Grundwasserständen mag Profil 901 gelten.

*Profil 901, Ilvesheim, Schloßgarten, Gemüseland in ebener Lage.*

A <sub>1</sub>	0—23 cm	lehmiger Sand, graubraun, gut humos, vieleckige bis krümelige Struktur, reichlich durchwurzelt, gut durchfeuchtet und durchlüftet, hoher Kalkgehalt, von Regenwürmern stark durchwühlt, allmählich übergehend in A <sub>2</sub> .
A <sub>2</sub>	23—80 cm	lehmiger Sand, braun, mittel humos (in Wurmgängen Humusanreicherung), vieleckige (bis krümelige) Struktur, gut durchwurzelt, durchlüftet und durchfeuchtet, stark kalkhaltig, stark von Regenwürmern durchwühlt, allmählich übergehend in
C <sub>1</sub>	80—180 cm	lehmiger Sand, gelbbraun, lose, sehr stark kalkhaltig.
C <sub>2</sub>	tiefer als 180 cm	Sand, fein- und mittelkörnig, nach unten gröber.

Die Humusbildung ist für die jungen Aueböden der charakteristischste Vorgang. Unter dem graubraunen humusreichen A<sub>1</sub>-Horizont liegt der nur noch 1,5% organ. Subst. enthaltende braune A<sub>2</sub>-Horizont. Der Kalkgehalt beträgt im A<sub>1</sub> 11,9 und im A<sub>2</sub> 12,5 gegenüber 25,7% im C-Horizont. Die große Mächtigkeit der A-Horizonte von 80 cm ist entstanden durch allmähliche Aufschlickung und anhaltende Humusbildung. Es ist dabei jedoch keine Schichtung entstanden. Die A-Horizonte sind von Regenwürmern stark durchwühlt und durchmischt. Die gut entwässerten Aueböden haben dadurch die Merkmale steppenbodenartig veränderter Profile erhalten, was bereits von K. SCHLACHT (nach STREMMER 1933) beobachtet worden ist.

Die Mächtigkeit von 80 cm wird von den A-Horizonten der Aueböden nur stellenweise erreicht oder überschritten (vgl. Abb. I, S. 14). Abbildung 1 zeigt die Mächtigkeiten aller aufgenommenen Profile in statistischer Auswertung. Die nassen Aueböden der Rheinniederung sind getrennt von den gut entwässerten der Neckarauen aufgezeichnet. Die Anzeichen der Wasserwirkung (Fleckigkeit) treten in den Neckarauen im allgemeinen erst ab 1 m Tiefe unter Flur auf.

## II. Braune Steppenböden

Zu beiden Seiten des Neckars und nördlich Ladenburg an die jungen Aueböden anschließend sind in den jungdiluvialen und frühalluvialen Neckarschwemmlehmen dunkelbraune humose Böden verbreitet. Sie haben die charakteristischen Profile der Steppenböden mit A- und C-Horizonten, wie sie ähnlich von H. STREMMER (1914 und 1936) und V. HOHENSTEIN (1920) beschrieben worden sind. Nach diesen Autoren wurden sie auch als braune Steppenböden bezeichnet. Als charakteristisches Profil der braunen Steppenböden mag Profil 325 beschrieben werden:

*Profil 325* wurde aufgenommen 2 km nordwestlich Ladenburg auf leichtem Höhenrücken am Anschnitt einer Sandgrube. Die Nutzungsart war Acker mit Kartoffeln und Tabak.

A <sub>1</sub>	0—20 cm	toniger Lehm, dunkelgraubraun, mittel humos, krümelige bis (unten) vieleckige Struktur, reichlich durchwurzelt, gut durchlüftet und gut bis mäßig durchfeuchtet, zahlreiche Wurmspuren, mit verdünnter Salzsäure Kalkgehalt feststellbar, allmählich übergehend in
----------------	---------	--

- A<sub>2</sub> 20—80 cm Lehm, dunkelgraubraun, mäßig humos, vieleckige (bis krümelige) Struktur, sonst wie A<sub>1</sub>, stark kalkhaltig, allmählich übergehend in  
 C<sub>1</sub> 80—280 cm lehmiger Sand bis sandiger Lehm (Schwemmlehm), gelbbraun, sehr stark kalkhaltig.  
 C<sub>2</sub> tiefer als 280 cm Kies und Sand (stark kalkhaltig).

Beide A-Horizonte haben dunkelgraubraune vom Humusgehalt geprägte Farbtöne (pl 5, neue Zählung des abgekürzten Kreises nach der Ostwaldschen Farbtafel). Entsprechend dem verminderten Humusgehalt hellt sich die Farbe nach unten auf. In

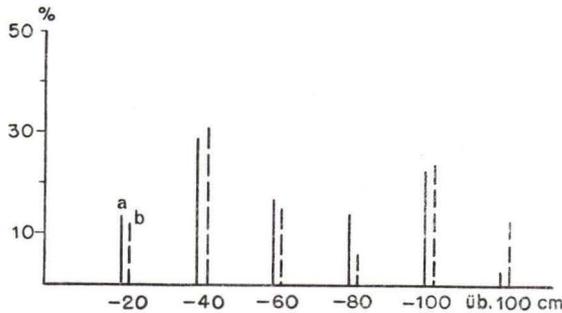


Abb. 1. Mächtigkeit der A-Horizonte der jungen Aueböden  
 a) Rheinniederung  
 b) Neckarauen

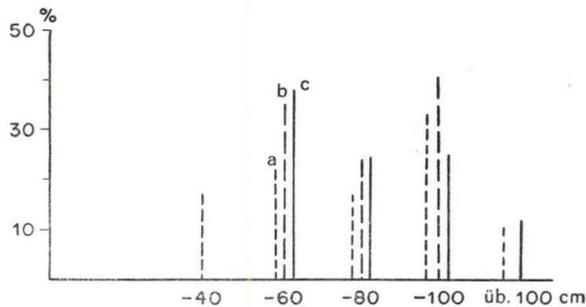


Abb. 2. Mächtigkeit der A-Horizonte der Steppenböden  
 a) sandig-lehmige  
 b) lehmige  
 c) tonig-lehmige

einzelnen Profilen sind die A<sub>2</sub>-Horizonte etwas mehr rötlichbraun getönt. Der Humusgehalt (organische Substanz) beträgt für A<sub>1</sub> 1,8% und für A<sub>2</sub> 1%. In anderen Profilen konnten Gehalte bis etwas über 2% ermittelt werden. Die Humusgehalte entsprechen denen der Steppenschwarzerden der Magdeburger Börde.

Die Bodenarten der A-Horizonte der braunen Steppenböden sind tonige Lehme und Lehme, nur untergeordnet sandige Lehme. Die C-Horizonte sind sandig-lehmig oder lehmig-sandig. Sie reichen im allgemeinen bis über 150 cm Tiefe unter Flur hinab, unter ihnen stehen Sande und Kiese an.

Fast alle untersuchten Profile enthalten in ihren A-Horizonten  $\text{CaCO}_3$ , 61% der untersuchten Profile haben mittlere und hohe Gehalte. Die flachen Profile haben höhere Gehalte als die mächtigeren, die wenig vertonten höhere als die stärker vertonten. Die Erhaltung des Kalkes kann drei Ursachen haben, Überschlickung mit kalkhaltigem Schlamm noch längere Zeit nach dem Neckardurchbruche, Kalkzufuhr (bzw. Rückführung) durch aufsteigende Bodenlösung und Zufuhr durch Regenwürmer aus den C-Horizonten. Die erste Ursache mag auf kleiner Fläche südlich Ladenburg wirksam gewesen sein. Auf die zweite Ursache deuten die verbreiteten Kalkkonkretionen hin. Oft zu beobachten sind gelbliche Schwemmlernenteile in den A-Horizonten, wohin sie durch Regenwürmer verfrachtet wurden. Eine Zufuhr von Kalk erfolgt damit durch die Wurmätigkeit.

Auf den Hochufeln des Neckars liegen die Steppenböden heute außerhalb des Überschwemmungsbereiches. Vor dem Durchbruche des Neckars und bis zur Eintiefung seiner Sohle und damit Absenkung des Wasserstandes wurden die Gebiete der heutigen Steppenböden bei Hochwasser überschwemmt, die Steppenböden waren Aueböden mit den Eigenschaften der jungen Aueböden der heutigen Neckarauen. Auch heute haben die Steppenböden Ähnlichkeit mit den Aueböden, ihre A-Horizonte sind jedoch stärker vertont und entkalkt. Die Steppenböden haben ebenso wie die Aueböden flache und mächtige A-Horizonte. Der Unterschied in der Profilmächtigkeit bei den Steppenböden (vgl. Abb. 2) dürfte die gleiche Ursache haben wie der bei den Aueböden. Flache Profile entstanden auf den hochgelegenen Aueflächen, mächtige in den alten Flußläufen. In den Abbildungen 1 und 2 sind die Mächtigkeiten der A-Horizonte von jungen Aueböden und von Steppenböden dargestellt. Bei den jungen Aueböden haben zahlreiche Profile (30%) die geringe Mächtigkeit zwischen 20–40 cm. Nur wenige Profile der Steppenböden sind so flach, eine große Anzahl (über 30%) hat die größere Mächtigkeit zwischen 40–60 cm. Die flachen Steppenböden sind also etwa 20 cm mächtiger als die flachen Aueböden. Die Vertiefung kann eine Folge der Steppenbodenbildung sein, der Tätigkeit der Bodenfauna.

Steppenbodenbildung ist im Gebiet um Mannheim nach den Klimaverhältnissen grundsätzlich möglich. Da jedoch auch Waldböden unter den gleichen klimatischen Bedingungen entstanden sind, kann das Klima allein nicht entscheidender Faktor der Steppenbodenbildung gewesen sein. Verschieden ist im Gebiet der Steppenböden gegenüber dem der braunen Waldböden das Ausmaß der Grundwasserwirkung gewesen. Heute steht das Grundwasser bei beiden Typen tief (über 5 m) in Kiesen an. Es hat keinen Einfluß mehr auf die Bodenbildung. Frühere Grundwasserwirkung ist jedoch bei beiden Typen noch zu erkennen. Während ehemalige G-Horizonte bei den Steppenböden jedoch fast vollständig in A-Horizonte umgewandelt sind, besitzen die braunen Waldböden vielfach noch fossile G-Horizonte mit deren charakteristischen Merkmalen. Grundwasserabsenkung und Entwässerung haben sich bei den Steppenböden wegen ihrer Lage unmittelbar am entwässernden Neckar bedeutend stärker und früher ausgewirkt als bei den braunen Waldböden. Die Steppenböden sind früher trocken gewesen als die braunen Waldböden. Beim Zusammentreffen der klimatischen Trockenheit mit der natürlichen Bodentrockenheit wäre es durchaus möglich, daß gerade das Gebiet der heutigen Steppenböden schon in der Eichenmischwaldzeit, die trockener und für Steppenbodenbildung günstiger war als die Gegenwart, eine wald-

freie Landschaft oder offene Parklandschaft gewesen ist. In dieser natürlichen offenen Landschaft konnten möglicherweise schon Steppenböden entstehen. Bei zunehmender klimatischer Befeuchtung wäre es später jedoch zu einer Bewaldung und Waldbodenbildung gekommen. Diese ist jedoch nicht erfolgt, weil das Gebiet inzwischen von ackerbautreibenden Neolithikern besiedelt und auch in späterer Zeit waldfrei gehalten worden ist.

Auch ohne die Annahme einer natürlichen waldfreien Landschaft ist die Entstehung der Steppenböden und das Fehlen der B-Horizonte zu erklären. Die Gebiete der Steppenböden sind länger als die der braunen Waldböden, noch einige tausend Jahre nach dem Neckardurchbruch bis zur endgültigen Ausbildung der jungen Auen, gelegentlich überschwemmt worden. Durch die Zuführung der kalkhaltigen Schlamme ist die Bildung von B-Horizonten, also von Waldböden, trotz möglicherweise vorhandener Bewaldung unterblieben, wie das heute noch in den jungen Auegebieten des Rheines zu beobachten ist. Die Steppenbodenbildung hätte sich dann nicht unter der Wirkung einer natürlichen Steppenvegetation vollzogen. Nach der ersten Periode der Auebodenbildung würde die Profilausbildung fortgesetzt sein in einer durch den Menschen geprägten zweiten Periode der Bodenbildung. Diese beginnt im Neolithikum, der sie bestimmende Faktor ist die Vegetation der Kultursteppe

### III. Braune Waldböden

Die braunen Waldböden besitzen große Verbreitung, sie grenzen an die Steppenböden an und gehen im Osten bis an die Bergstraße und im Westen bis an die Rheindünen. Ihre Profile haben mit A- und B-Horizonten im allgemeinen Mächtigkeiten zwischen 40 und 150 cm. In den geringmächtigen, bis zu etwa 60 cm, sind zum Teil schwache Gehalte an  $\text{CaCO}_3$  nachweisbar, die häufig im A-Horizont höher sind als im B. In den A-Horizonten wurden als Bodenarten sandige Lehme bis Lehme, in den B-Horizonten Lehme bis tonige Lehme beobachtet. Völlige Auslaugung (bzw. fehlende Rückführung) des  $\text{CaCO}_3$  zeigen die mächtigen Profile der braunen Waldböden. Ein Beispiel für die mächtigen schwach gebleichten (podsolierten) braunen Waldböden ist das mineralogisch und chemisch untersuchte Profil 900.

*Profil 900*, Heidelberg-Neuenheim, Quinckestraße, Gemüse- und Obstgarten in ebener Lage, frische, 2,50 m tiefe Baugrube.

- |   |                   |  |
|---|-------------------|--|
| A <sub>1</sub>                                  | 0—25 cm           | lehmgiger Feinsand, dunkelbraungrau, gut humos, krümelige bis vieleckige Struktur, reichlich durchwurzelt, gut durchlüftet, sehr viele Regenwurmspuren! Allmählich übergehend in       |
| A <sub>3</sub> (A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> ) | 25—60 cm          | lehmgiger Feinsand, hellgraubraun, schwach humos, vieleckige Struktur, gut durchwurzelt und durchlüftet, viele Regenwurmspuren. Untere 3 cm stellenweise gelblichgrau (naß gebleicht). |
| B <sub>2</sub>                                  | 60—140 cm         | Lehm bis toniger Lehm, rotbraun (beim Zerreiben gelbbraun), vieleckig, gut durchwurzelt, mäßig gut durchlüftet, gut durchfeuchtet, Zahl der Regenwurmspuren geringer als oben.         |
| C <sub>1</sub>                                  | 140—190 cm        | lehmgiger Feinsand (Neckarschwemmelehm), gelblich-graubraun, stark kalkhaltig.   |
| C <sub>2</sub>                                  | tiefer als 190 cm | Kies.  |

Die Bezeichnung  $A_3$  für den nicht gebleichten Auslaugungshorizont wird in Anlehnung an M. SELKE (1934) gewählt.

Die braunen Waldböden sind ebenso wie die Steppenböden im Untersuchungsgebiet in ehemaligen Aueböden ausgebildet. Die Auswirkungen von Neckarüberschwemmungen (Überschlickungen) liegen im Gebiet der braunen Waldböden länger zurück als bei den Steppenböden. Die Grundwasserwirkungen waren dagegen nachhaltiger, wie die weit verbreiteten G-Horizonte in den braunen Waldböden bezeugen. Für die Waldböden konnte Bewaldung an zahlreichen Stellen nachgewiesen werden (Karte 3), so daß mit einer vollständigen Bewaldung des gesamten Waldbodengebietes gerechnet werden kann. Große Flächen sind erst in den letzten Jahrhunderten gerodet worden. Die Waldvegetation ist der entscheidende Faktor bei der Bildung der braunen Waldböden gewesen. Flachgründige Profile sind in der Nähe des Neckars verbreitet, die tiefgründigen stärker ausgelaugten in größerer Entfernung des Neckars, besonders entlang der Bergstraße. Bei den ausgelaugten (podsolierten) hat die Überschlickung durch den Neckar früh aufgehört, richtige Waldbodenbildung und Podsolierung konnten früh einsetzen. Sie wurden am Rande der Bergstraße durch die dort höheren Niederschläge unterstützt.

#### IV. Mineralische Naßböden

##### 1. Auenwaldböden

Im Bereich oberflächennaher Grundwasserstände liegt nördlich Heddeshcim (Karte 1) ein Gebiet mit Auenwaldböden. Ihre Bildung begann in früher Kiefernzeit, als der Neckar seinen Lauf noch entlang der Bergstraße nahm, wie bei den jungen Aueböden mit Aufschlickungen durch den Neckar. Nach dem Durchbruche des Neckars hörten die Überschlickungen auf, die weitere Bildung der Auenwaldböden ist durch starke Wirkung des Grundwassers gekennzeichnet, das zu hohen Ständen bis zu wenigen Dezimetern unter der Oberfläche anstieg. Die kulturbedingte Grundwasserabsenkung schafft heutige Spiegelhöhen des Grundwassers zwischen 1 und 2 m unter Flur.

Die Aueböden am Hange der Bergstraße haben ähnliche Bildungsbedingungen wie die jungen Aueböden der Neckarauen. Sie sind entstanden und bilden sich zum Teil in gleicher Weise noch heute in den Schwemmlehmen und -sanden der Odenwaldbäche unter ständig wiederholten Überschlickungen.

##### 2. Bruchwaldböden

Nördlich der Linie Wallstadt-Heddeshcim sind in den Altläufen des Neckars Bruchwaldböden verbreitet (Gleie). Im Gebiet nordöstlich Heddeshcim steht in den Altarmen auch heute noch das Grundwasser oberflächennah, im Westen liegt es dagegen tief, vorwiegend in Kiesen, ohne die überlagernden Schlick- und Tonhorizonte zu berühren. Es beeinflusst die Bodenbildung in diesem Gebiet heute daher nicht mehr. Die Bruchwaldböden in den Altläufen des Neckars unterscheiden sich nicht wesentlich von früher beschriebenen basenreichen Profilen (H. STREME 1936, E. OSTENDORFF 1930, E. MÜCKENHAUSEN 1936). Als Beispiel der entwässerten Bruchwaldböden sei das Profil 297 herangezogen.

*Profil 297*, nordwestlich Wallstadt, Wiese mit Obstbäumen inmitten einer Niederung (Altlauf des Neckars), in der Nähe eines Entwässerungsgrabens (Sept. 1946 trocken).

A <sub>1</sub>	0—20 cm	Ton bis toniger Lehm, schwärzlich-braungrau, gut humos, klumpige bis vieleckige Struktur, reichlich durchwurzelt, mäßig durchlüftet, trocken, zahlreiche Regenwürmer.
(A <sub>2</sub> )G <sub>1</sub>	20—43 cm	Ton, schwärzlich-blaugrau, mäßig humos, zäh, schwach vieleckige Struktur, wenig durchwurzelt, schlecht durchlüftet, feucht, wenige Regenwürmer, wenige schwarze und rostige Flecken.
G <sub>2</sub>	43—83 cm	Ton, bunt, grau bis hellblaugrau, sehr stark rostfleckig, zäh, sehr wenig durchwurzelt, feucht.
G <sub>3</sub>	83—140 cm	Ton, schwärzlich-blaugrau, mäßig humos, sehr zäh, feucht.
G <sub>4</sub> =C	tiefer als 140 cm	Ton und Sand wechsellagernd, hellgrau, schwarze und rostige Flecken.

Grundwasser 4,60 m tief unter der Oberfläche (nach Grundwasserkarte).

Die Rostfleckigkeit im G<sub>2</sub>- und G<sub>4</sub>-Horizont zeigt Belüftung an. Während der G<sub>2</sub>-Horizont jahreszeitlich von oben her austrocknet, sind die Rostflecken im G<sub>4</sub>-Horizont Anzeichen für Oxydation durch Belüftung aus den unterlagernden Sanden und Kiesen. Vernässung tritt auch heute jahreszeitlich ein durch Stauwasser auf den Tonhorizonten. Im Altlauf des Neckars wird das Wasser aus der gesamten höher liegenden Umgebung gesammelt.

Die Sedimentation durch den Neckar ist bei Wallstadt bald nach dem Neckardurchbruche zum Abschluß gelangt. Für einheitliche Zuschlickung in früher Zeit kurz nach dem Neckardurchbruche spricht die Nähe des Stromlaufes und die Gleichartigkeit der Sedimente innerhalb des alten Neckarlaufes, wie sie Untersuchungen von A. MANGOLD (1892) und A. STRIGEL (1935) bis 5 km nördlich Wallstadt ermittelt haben. In neolithischer Zeit war die Sedimentation lange abgeschlossen, wie STRIGEL zeigen konnte. H. THÜRACH kartierte die Schwemmlöhme und Schlicke beim Profil 297 als jungglazial. Gleichartigkeit der Sedimente gilt für alle G-Horizonte des Profils 297. Ein etwas höherer Humusgehalt in G<sub>3</sub> gegenüber G<sub>2</sub> mit 2,1 gegen 0,8 könnte in dem etwas stärker vertonten Horizonte als Einschwemmung angesehen werden, es müßte jedoch auch die Möglichkeit einer Bildung während einer kurzen Zeit als Oberflächenhorizont in Betracht gezogen werden. Der A-Horizont weicht in seiner sedimentpetrographischen Ausbildung etwas von den G-Horizonten ab, weshalb für ihn eine Entstehung durch Zusammenschwemmung von den ehemaligen Uferböschungen als möglich angesehen werden muß.

Die früheren Wasserstände für das Gelände bei Wallstadt (99–100 m NN) vor dem Neckardurchbruch lassen sich nach den Erfahrungen über Zusammenhänge von Höhen der Flußsohle und Grundwasserspiegelhöhen (Tabelle 1) aus der Sohlenhöhe des Alt-Neckars ableiten. Der Sohlenhöhe des Neckars wären 3–4 m zuzurechnen, zu 94 m NN würde eine Wasserspiegelhöhe für die Zeit vor dem Durchbruche von 97–98 m gehören. Diese Höhe entspricht der Höhe der fossilen G-Horizonte (vgl. Karte 2). Bei einer alten Wasserspiegelhöhe von 97–98 m würde die Absenkung bis heute auf 92 m 5–6 m betragen, etwa gleich viel wie bei Seckenheim. Es können für Wallstadt daher auch etwa gleiche Absenkungen für die nachrömische Zeit angenommen werden. Beim Profil 297 würde bei entsprechender Absenkung noch in römischer und nachrömischer Zeit im G<sub>3</sub>-Horizont Grundwasser gestanden haben.

## V. Bodenentstehung und Sedimentationszeit

Die Entstehung der Bodentypen durch die im Laufe der Zeit geänderte Einwirkung der verschiedenen Hauptfaktoren der Bodenbildung ist in der Tabelle 2 zusammengestellt. Der Beginn und Ablauf der Bodenbildung ist mit dem Sedimentationsvorgang eng verbunden. Im Gebiet der jungen Aueböden setzte die Sedimentation erst nach dem Durchbruche des Neckars ein. Sie hat bis in die jüngste Zeit, bis zur Eindämmung des Neckars, angehalten. Die Bodenbildung erfolgte unter ständig fortschreitender Sedimentation.

Die charakteristische Ausbildung der übrigen Bodentypen begann im Gebiet der braunen Steppenböden erst nach Abschluß der Sedimentation, der in der Kiefernzeit im wesentlichen erreicht war. Bei den braunen Waldböden wie bei den Auenwaldböden war die Sedimentation nach dem Durchbruche des Neckars in früher Kiefernzeit, etwas früher als bei den Steppenböden, beendet. Die Sedimente der Bruchwaldböden bei Wallstadt sind in der Kiefernzeit kurz nach dem Durchbruche des Neckars abgelagert worden.

Steppenböden, braune Waldböden und Bruchwaldböden sind in annähernd gleichaltrigen kiefernzeitlichen und daher auch gleichartigen Schwemmlernen des Neckars entstanden. Bei den braunen Waldböden in größerer Entfernung vom Neckar hat die Sedimentation etwas früher aufgehört. Die charakteristische Bodenbildung der drei Bodentypen begann in oder am Ende der Kiefernzeit.

## C. Korngrößenzusammensetzung und Mineralbestand des Neckarschwemmlerns

### I. Korngrößen

Die Korngrößenfraktionen wurden in dekadisch logarithmischen Intervallen abgetrennt. Die Fraktionen kleiner als  $1\ \mu$ ,  $1-3\ \mu$ ,  $3-10\ \mu$ ,  $10-32\ \mu$  und  $32-100\ \mu$  Radius wurden durch Schlämren in Atterberg-Zylindern, die größeren durch Sieben gewonnen. Die Ergebnisse werden in Blockdiagrammen dargestellt, in denen die Flächengrößen den gefundenen Mengen der einzelnen Korngrößen entsprechen.

Die Korngrößenzusammensetzung der durch Bodenbildung nicht veränderten Schwemmlerne, von drei C-Horizonten, ist in der Abbildung 3 dargestellt. Die Hauptbestandteile aller Schwemmlerne mit gegen 50% und mehr Anteilen am Gesamtbestand sind Feinsande, als weitere Bestandteile sind größere Mengen an Schluff und Ton beigemischt, geringe an Grobsand.

Die jungdiluvialen Schwemmlerne der Profile 325 und 900 aus dem Gebiet nördlich und östlich des Neckars haben, ebenso wie die jungdiluvialen Schwemmlerne südlich und westlich des Neckars (nach A. SAUER), feinen Feinsand mit  $10-32\ \mu$  Radius Korngröße als Hauptbestandteil. Die Korngrößenverteilung des C-Horizontes des Profils 900 (Abb. 3) zeigt eine besondere Auswahlkörnung, in der die Fraktion 10 bis  $32\ \mu$  Radius allein über 46% des gesamten Materials umfaßt. Beim C-Horizont des Profils 325 ist das Maximum nicht so stark auf eine Fraktion eingestellt, es ist hier

Tabelle 2. Entstehung der Böden im Neckarschwemmlern der Rheinebene

Zeit	Junge Aueböden in Neckarauen	Steppenböden	Braune Waldböden	Auenwaldböden	Bruchwaldböden und Moorböden
Kiefernzeit vor dem Durchbruch d. Neckars	—	Sedimentation durch Überschlickung bei Hochwasser wahrscheinlich Waldvegetation Aueböden entstehen			offene Gewässer
nach dem Durchbruch	Beginn der Sedimentation, Überschlickung bei Hochwasser, Wald, Auebodenbildung	gelegentliche Überschlickung, Wald (?) anfangs noch Auebodenbildung	Überschlickung hat aufgehört, hohe Grundwasserstände, Wald, Auenwaldböden entstehen, allmähliche Absenkung des Grundwassers		Zuschlickung in der Nähe des Neckarlaufes, Entstehung von Bruchwaldböden, Vermooring der übrigen Altläufe
Eichenmischwaldzeit vor Neolithikum	Anhaltende Sedimentation, Waldvegetation, Auebodenbildung	Überschlickung nur an tiefen Stellen (z. B. Ladenburg) Grundwasser stark abgesenkt, Lichtung der Wälder möglich (Beginn der Steppenbodenbildung?)	Waldvegetation Waldbodenbildung		Bruchwaldböden und Moorböden
seit Neolithikum		Kultursteppe, Steppenbodenbildung	wie vor, einzelne gerodete Stellen		
Buchenzeit		(Überschlickung selten an einzelnen Stellen)			
Historische Zeit	Rodung, Überschlickung und Auebodenbildung halten an bis zur	Kultursteppe, Steppenbodenbildung	Große Rodungen, Abschluß 18.–19. Jahrhundert,  Ende der Waldbodenbildung	bestehen fort als Naßböden	

etwas niedriger auf Kosten der nächst feineren und gröberen Fraktionen. Diese Unterschiede in der Korngrößenzusammensetzung entsprechen den an verschiedenen Stellen früher wirksamen andersartigen Sedimentationsbedingungen. Gegenüber dieser Verschiedenartigkeit zeigen sich innerhalb der einzelnen Profile annähernd gleichbleibende Sedimentationsbedingungen und darum im gesamten Profil jeweils nur wenig veränderte oder gleichartige Korngrößenzusammensetzungen, wie das in den Abbildungen 16 (S. 37) und 22 (S. 46) zum Ausdruck kommt. Die Bodenbildung hat sich auf die Korngrößenverhältnisse der einzelnen Horizonte verschieden ausgewirkt. Einige Horizonte haben die Zusammensetzung der C-Horizonte behalten (A in Profil 900), andere zeigen Änderungen, die durch die im Laufe der Bodenbildung erfolgten Mineralwandlungen zustande gekommen sind.

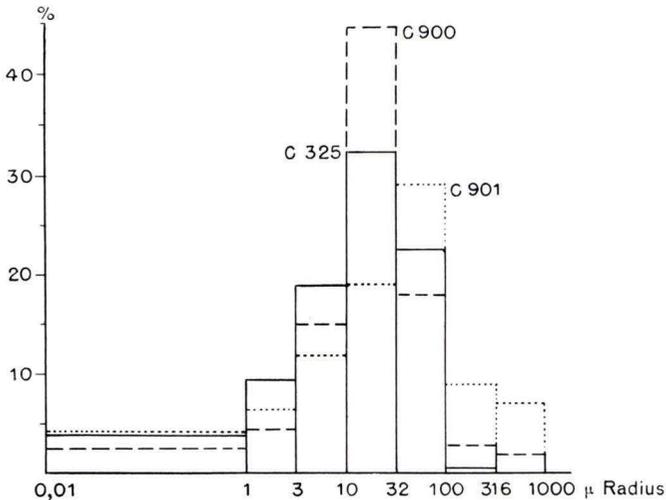


Abb. 3. Korngrößenzusammensetzung von drei C-Horizonten.

Der rezente Schwemmlehm (Horizont C 901, Abb. 3) ist in seiner gesamten Körnung gröber als der jungdiluviale, seine Hauptkomponente ist nicht der feine, sondern der grobe Feinsand mit 32–100  $\mu$  Radius Korngröße. Die Gehalte an Bestandteilen der feinsten Korngrößenfraktionen sind im rezenten Schwemmlehm gleich hoch wie in dem älteren.

## II. Mineralbestand

Die Mineralien wurden innerhalb der einzelnen Korngrößenfraktionen bestimmt und ausgezählt, wobei die in der Literatur enthaltenen Methoden und Daten angewandt wurden (C. W. CORRENS 1940, C. W. CORRENS und F. K. SCHLÜNZ 1936, C. W. CORRENS und M. MEHMEL 1936, M. MEHMEL 1938 und 1939, W. v. ENGELHARDT 1940/41). Die Mineralien der Fraktionen größer als 1  $\mu$  Radius wurden in Kanadabalsam-Dauerpräparaten unter dem Polarisationsmikroskop für jede Probe in mehreren Zählungen an durchschnittlich zusammen 400–500 Körnern ausgezählt.

Die Mineralgehalte der Tonfraktion kleiner als  $1\mu$  Radius wurden durch Auswertung der Debye-Scherrer-Diagramme, unter Berücksichtigung der Ergebnisse chemischer Analysen, bestimmt.

In den Fraktionen mit Korngrößen über  $3\mu$  Radius sind Quarz und Feldspat mit einem Anteil von vorwiegend mehr als 80%, sicher mehr als 60%, die herrschenden Mineralien (vgl. Abb. 4). Neben diesen beiden ist im allgemeinen nur der Kalkspat in größeren Mengen vertreten.

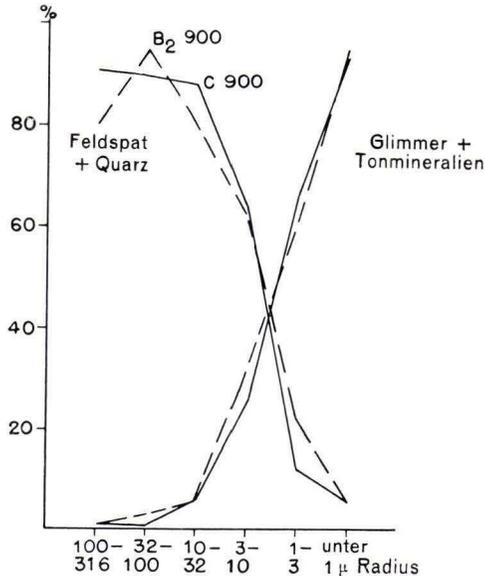


Abb. 4. Mineralverteilung innerhalb der Korngrößenfraktionen ( $B_2$  900 u. C 900).

Während in der Fraktion  $3-10\mu$ , z. B. des  $B_2$ -Horizontes des Profils 900, Quarz und Feldspat mit zusammen 62% enthalten sind, hat die Fraktion  $1-3\mu$  Radius nur noch 21% Quarz und Feldspat. Die Tonmineralien einschließlich der Glimmer sind die vorherrschenden Mineralien in der Tonfraktion unter  $1\mu$  und der Fraktion  $1-3\mu$  Radius.

Die Vorherrschaft an Tonmineralien und Glimmer in der Fraktion  $1-3\mu$  Radius erklärt das Anwachsen auch dieser Fraktion bei der Tonbildung.

In der nachfolgenden Beschreibung der Mineralien werden zunächst die Mineralien der Fraktionen über  $3\mu$  Radius Korngröße behandelt und dann die unter  $3\mu$ .

### 1. Die Mineralien der groben Korngrößenfraktionen über $3\mu$ Radius

Der Gehalt an Feldspat beträgt in den einzelnen Horizonten für die verschiedenen Fraktionen 10–25%. Höchste Feldspatgehalte haben die Fraktionen  $3-10$  und  $10$  bis  $32\mu$  Radius. Nach größeren wie nach feineren Korngrößen nehmen die Gehalte allmählich ab. An zwei Beispielen ( $A_1$ -Horizont des Profils 325 und  $A_3$  des Profils 900) zeigt diese Verhältnisse die Abb. 5.

In den Darstellungen und in den quantitativen Berechnungen werden die verschiedenen Feldspäte zusammengefaßt. Nur 10–20% der Feldspäte sind Plagioklase, die an hoher Lichtbrechung bzw. an Zwillingsbildungen zu erkennen waren.

Die Alkalifeldspäte sind vorwiegend klar, an ihren Rändern, weniger auf den Oberflächen, sind serizitische Leisten und Flecken verbreitet, die Zersetzung anzeigen. Gelblichgrüne Beläge von Eisenmineralien sind häufig zu beobachten. Die Zersetzungsmerkmale ließen sich auch an einzelnen Körnern der C-Horizonte, dem Ausgangsmaterial der Bodenbildung, beobachten.

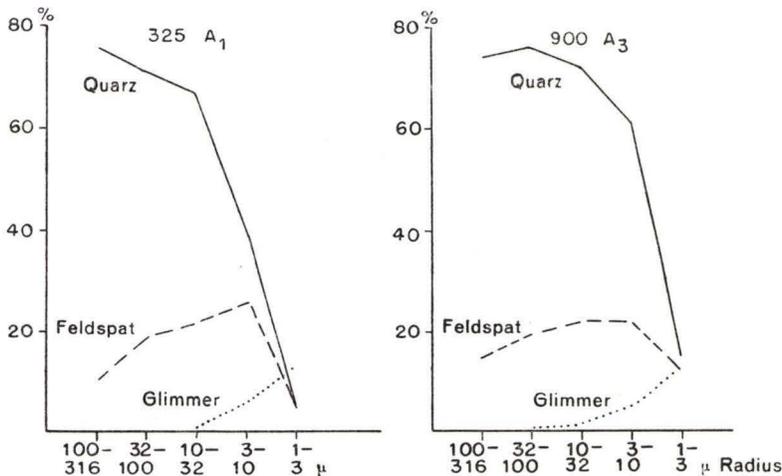


Abb. 5. Gehalte an Quarz, Feldspat und Glimmer innerhalb der einzelnen Fraktionen (325 A<sub>1</sub> u. 900 A<sub>3</sub>).

Die Quarze sind in den größeren Fraktionen vorwiegend abgerollte Körner, in den feineren überwiegen eckige Körner und Splitter. Neben klar durchsichtigen Quarzkörnern sind andere mit Belägen von Eisenmineralien versehen. Der Gehalt an Quarz schwankt zwischen 40–80% und nimmt von den groben zu den feinen Korngrößen ab (vgl. Abb. 5).

Opal wurde in Korngrößen unter 10 µ angetroffen. Er tritt in Form poröser Stäbchen oder auch Blättchen auf. In den A-Horizonten ist Opal am häufigsten zu beobachten, er fehlt in den Untergrundhorizonten. Der Opal ist ein Mineral der Bodenbildung.

Von Glimmern tritt hauptsächlich Muskowit auf, andere Glimmerminerale wurden nur in geringer Zahl beobachtet. In den groben Fraktionen über 100 µ Korngröße sind Glimmer selten, sie fehlen darin in den meisten Horizonten. Nach den feineren Korngrößen hin werden sie allmählich zahlreicher, in der Fraktion 10–32 µ erreichen sie Mengenanteile von durchschnittlich 2%. Mit 5–10% sind sie in der nächst feineren Fraktion in reicher Menge enthalten.

Illite und Tonminerale der Montmorillonit- und der Kaolinitgruppe wurden in den Fraktionen über 3 µ Korngröße nur als vereinzelte Blättchen beobachtet.

Kalkspat tritt in verschiedenen Formen auf. In den gröberen Fraktionen sind vor allem abgerollte Kalksteinkörner verbreitet, in den feineren Fraktionen überwiegen Kalkspatspaltstücke. Neben diesen beiden Formen des Kalkspates, die im Schwemmlern seit seiner Sedimentation enthalten sind, gehören im Verlaufe der Bodenbildung neu gebildete Kalkspatkriställchen und Kalkspatkonkretionen zu den Hauptbestandteilen einiger Horizonte. Neugebildete Kalkspatkristalle als Einzelindividuen sind auf die feinen Korngrößen beschränkt. In den groben Fraktionen sind stattdessen Kalkkonkretionen häufig. Zwei Arten der Konkretionen lassen sich unterscheiden, kalkige Verbackungen anderer Mineralien und reine Kalkspatkonkretionen (Aggregate). Die Verbackungen sind gelblichgrau und bestehen hauptsächlich aus verkitteten Quarzkörnchen, sie zeigen im allgemeinen Röhrenform und lassen sich als Konkretionsbildungen um Wurzeln deuten.

Die reinen Kalkspatkonkretionen bestehen aus Häufungen von Kalkspatkristallen zu rundlichen Formen, oft zu regelmäßig gestalteten Kugeln mit Durchmessern bis über 1 mm.

Die Anzahl von Konkretionen im Verhältnis zur Zahl der anderen Kalkbestandteile ist aus der Abb. 6 zu entnehmen, für die C-Horizonte der Profile 325 und 900 als Beispielen. Die Abbildung zeigt, daß der Gesamtkalkgehalt bei den groben Fraktionen zu großem, teilweise überwiegendem Teile aus Konkretionen besteht.

Unter den hochlichtbrechenden Mineralien sind Granat und Turmalin am häufigsten anzutreffen. Ihr Mengenanteil am Gesamtmaterial ist gering, sie werden mit opaken Mineralien zusammengefaßt. Den opaken Mineralien werden in den groben Fraktionen der A-Horizonte auch Kohlestückchen zugezählt. In der Fraktion 100 bis  $316\mu$  Radius sind hochlichtbrechende und opake Mineralien in so geringer Zahl vertreten, daß ihr Anteil unter 1% des Gesamtmaterials bleibt. In den feineren Korngrößen 3– $32\mu$  werden sie zahlreicher und erreichen Anteile zwischen 2,5–6% am Gesamtmaterial der Fraktionen. In den feineren Korngrößen unter  $3\mu$  ist ihr Anteil wieder geringer.

Die Fraktion 100– $316\mu$  Korngröße enthält um 5% Gesteinsbruchstücke wie Granit, Sandstein und Schiefer. Sie werden bei der Zählung in einer Zahl zusammengefaßt. In der feineren Fraktion 32– $100\mu$  wurden Gesteinsbruchstücke nur in einigen Horizonten beobachtet, in den noch feineren Fraktionen spielen sie keine Rolle mehr.

Unbestimmbare Körner, die in den feinsten Fraktionen häufig vorkommen, wurden gesondert als unbestimmbar gezählt.

#### Eisenillit.

Die rostbraunen Eisenmineralien im Boden wurden bisher im allgemeinen als Eisenhydroxyde betrachtet. In einigen Horizonten (B und G), in denen sie angereichert sind, wurden sie im Verlaufe der vorliegenden Untersuchung sehr zahlreich angetroffen und einer genaueren Bearbeitung unterzogen. Über die Verteilung der Eisenmineralien innerhalb der einzelnen Korngrößenfraktionen von zwei Anreicherungs-horizonten gibt die Abb. 7 Aufschluß.

Für die Horizonte  $B_2$  des Profils 900 und  $G_2$  des Profils 297 sind die Prozentanteile der Eisenmineralien an den Gesamtmineralgehalten der einzelnen Fraktionen dargestellt. Beim  $B_2$ -Horizont sind Anteile von 2,5 bis zu 20% aufgezeichnet, beim  $G_2$

von 17 bis zu 34%. Der Gehalt an Eisenmineralien ist in den groben Fraktionen hoch, in den mittleren niedrig und in den feineren hoch und erreicht darin seine höchsten Werte. Diese Schwankungen zeigen in gleicher Weise sowohl der B<sub>2</sub>- als auch der G<sub>2</sub>-Horizont. Minimale und maximale Gehalte treten bei den beiden Horizonten jedoch in verschiedenen Fraktionen auf.

In den groben Korngrößen über 32  $\mu$  Radius sind die Eisenmineralien überwiegend in Aggregaten und Konkretionen verbreitet, in den feineren als Kristallblättchen. Im

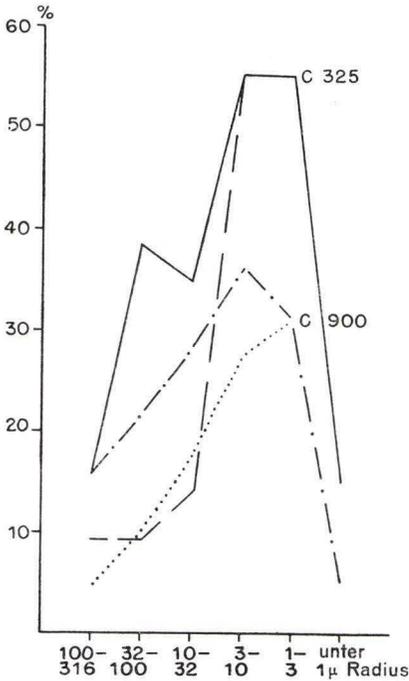


Abb. 6

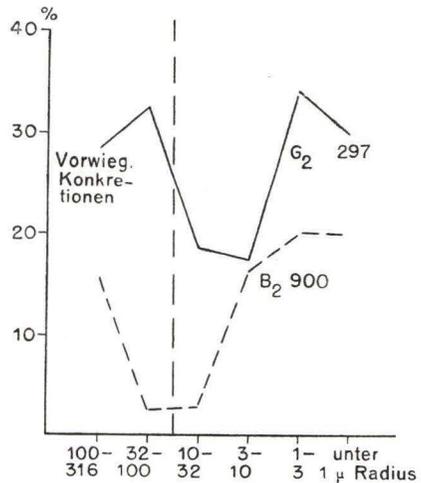


Abb. 7

Abb. 6. Kalkgehalte (CaCO<sub>3</sub>) der C-Horizonte der Profile 325 und 900 (gestrichelt bzw. punktiert: Kalkgehalte ohne Konkretionen).

Abb. 7. Eisenillitgehalte der Horizonte B<sub>2</sub> (Profil 900) und G<sub>2</sub> (Profil 297).

G<sub>2</sub>-Horizont sind auch in der Fraktion 32–100  $\mu$  Kristallblättchen sehr zahlreich, ihr Durchmesser erreicht oft 200  $\mu$ . Eisenmineralien spielen außerdem eine große Rolle als Beläge anderer Mineralien. Sie werden von Salzsäure angegriffen.

#### a) Aggregate und Konkretionen

Die Aggregate sind verschiedenartig geformt, sie sind rundlich oder blättchenförmig. Ihre Oberflächenbeschaffenheit ist vorwiegend glatt und fettigglänzend. Die Konkretionen sind rau und körnig, bei ihnen ist zu erkennen, daß sie hauptsächlich aus verkitteten Quarzen bestehen, die Eisenmineralien bilden nur das Bindemittel zwischen den Quarzkörnern. Die Aggregate mit glatter, fettigglänzender Oberfläche

sind demgegenüber einheitlich aus Eisenmineralien zusammengesetzt. Die Farbe der Konkretionen ist überwiegend hell rostbraun, die Aggregate mit glänzender Oberfläche sind im allgemeinen dunkler. Rötlichbraune Farbtöne sind oft anzutreffen, gelblichbraune kommen ebenfalls vor. Die braunen Farben zeigen vereinzelt einen Anklang an olivgrüne Tönung. Ein kleiner Teil der Konkretionen ist schwarz. An einzelnen Stücken, Blättchen wie rundlichen Aggregaten, wurden sowohl braune als auch schwarze Farbtöne nebeneinander festgestellt. Die Aggregate zeigten vorwiegend tafelförmigen Habitus und blätterigen Bruch. Als Härte konnte für sie 2–3 ermittelt werden, sie sind geschmeidig, leicht zerdrückbar. Die Dichten wurden mit Schwerelösungen bestimmt zu 2,6–2,8.

#### b) Kristallblättchen

Die Blättchenebene mit der Hauptspaltbarkeit ist die Basis (001). Die Farbe der Blättchen ist im auffallenden Licht gelblichgrün oder olivgrün bis blaugrün oder hellbraun. Im durchscheinenden Licht wechseln die Farbtöne von hell-grünlichgelb bis zu braun. Seltener sind helle Blättchen mit blaßgrünen Farbtönen zu beobachten. Die dunkleren Farben hellen zum Rande hin auf, in der Mitte braune Blättchen können am Rande grünlichgelb sein. Bei den Aggregaten und Konkretionen erkennt man an den dünnen gelblichen Rändern, daß sie aus dem gleichen Material bestehen wie die Kristallblättchen. Ein Kristallblättchen (grau), zwei Konkretionen, einen Feldspat und drei Quarze zeigt Abbildung 8.

Die Lichtbrechung wurde nach der Einbettungsmethode mit 1,59 (Gemisch von Zimtöl mit Dimethylanilin) bestimmt. Die negative Doppelbrechung senkrecht zur Blättchenebene ist niedrig. Die Achsenbilder lassen einen kleinen Achsenwinkel erkennen. Unter gekreuzten Nicols zeigt ein Teil der Blättchen Auslöschung, die meisten hellen jedoch strichweise auf (Abb. 9). Die Aufhellung entsteht i. a. durch leichte Wölbung der Blättchen.

Durch Debye-Scherrer-Aufnahmen von ausgelesenen Blättchen sowie von Konkretionen konnten Glimmerstrukturen sowohl für die Blättchen als auch das braune Bindemittel der Konkretionen nachgewiesen werden. Die gemessenen Interferenzen sind mit ihren Netzebenen-Abständen ( $d$ ) in der nachstehenden Tabelle 3 im Vergleich zu Illiten, mit denen sie übereinstimmen, dargestellt.

Alle mittleren und starken Interferenzen zeigen die Eisenmineralien mit gleicher Intensität. Die bei den Illiten nicht vorhandene schwache Linie bei 7,13 Ångström in der Aufnahme des Eisenminerals kann durch zentrale Schwärzung vorgetäuscht sein. Die zusätzlich bei 4,08 Ångström erscheinende schwache Linie entspricht einer schwachen Linie des Biotits bei 4,09 (E. MAEGDEFRAU und U. HOFMANN 1937). Die gegenüber den schwachen bis mittleren Interferenzen des Illits bei 2,45 und 2,37 stärkeren Interferenzen des Eisenminerals sind auch beim Biotit intensiver. Die beiden sehr schwachen Linien bei 1,54 und 1,34 sind auch beim Biotit vorhanden. Das Eisenmineral unterscheidet sich vom Biotit durch das Fehlen oder viel schwächere Auftreten einer starken (2,86) und von vier mittleren Interferenzen (3,86; 3,58; 3,07; 2,12). Die beim Biotit sehr starke Interferenz bei 3,31 ist bei der Aufnahme des Eisenminerals nur als mittlere bis starke zu bezeichnen, wie das von E. MAEGDEFRAU und U. HOFMANN (1937) für die Illite angegeben worden ist.

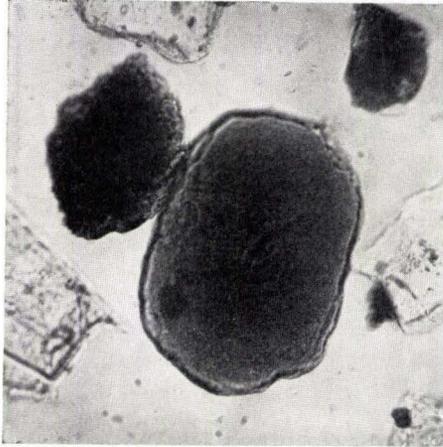


Abb. 8. Eisenillit, Blättchen und zwei Konkretionen (Vergrößerung: 250×).



Abb. 9. Eisenillit unter gekreuzten Nicols (Vergrößerung: 220×).

Tabelle 3. Interferenzen von Eisenillit und Illit

stst = sehr stark, st = stark, m = mittel, s = schwach, ss = sehr schwach, v = verwaschen

Eisenillit	Eisenillit- konkretionen (mit Quarz)	Illit, Glimmer v. Sarospatak (MAEGDE- FRAU-HOFMANN)	Illit (NAGELSCHMIDT)
d Intens.	d Intens.	d Intens.	d Intens.
10,19 stst v	10,25 m-st v	10,09 m	10,2 st
7,13 s v	7,34 s v		
4,95 s		5,01 s-m	5,0 m
4,50 stst	4,52 st	4,45 stst	4,46 stst
4,34 stst	4,41 st		
	(4,20 m Qu.)		
4,08 s			
3,55 ss	3,75 s	3,64 s-m	
3,28 m-st	3,32 m (Qu.)	3,31 m	3,34 stst
2,98 ss		3,07 s-m	2,97 ss
			2,80 ss
2,54 st	2,54 m-st	2,56 stst	2,55 stst
2,45 m-st	2,42 m (Qu.)	2,46 s	2,44 s
2,37 m		2,38 s-m	2,37 s-m
2,25 s	2,27 s   (Qu.)	2,24 s	2,23
2,15 s	2,12 s   (Qu.)	2,13 s-m   <sup>v</sup>	2,17
			2,14 m
1,98 m	1,96 s (Qu.)	2,00 ss	1,98 m
	(1,81 m Qu.)		
1,70 s-m	1,71 s	1,69 s	
1,64 s-m	1,66 s	1,63 s   <sup>v</sup>	1,64 m
1,54 ss			
	(1,53 m-st Qu.)		
1,49 st	1,49 m-st	1,50 st	1,49 stst
1,44 ss	1,44 s (Qu.)		
	(1,37 st Qu.)		
1,34 ss			1,34 s
1,29 m	1,29 s	1,29 s-m	1,29 m
1,24 s		1,24 s	1,24 s
1,19 ss			
1,17 ss			
1,11 ss			

Die Übereinstimmung der Debye-Scherrer-Diagramme der Eisenminerale mit denen der Illite spricht ebenso wie die Ergebnisse der optischen Untersuchungen dafür, daß glimmerartige Minerale, also Illite, vorliegen. Sie werden als eine besondere Art der Illite angesehen und sollen daher als „Eisenillite“ bezeichnet werden. Das Eisen gehört zu den charakteristischen Bestandteilen dieses in seinen rostfarbigen (bis schwarzen) Konkretionen bisher im allgemeinen als Eisenhydroxyd angesehenen Minerals. Die chemische Analyse der G-Horizonte des Profils 297 (Tabelle 26, S. 64) bestätigt den hohen Eisengehalt. Die beiden Horizonte mit geringeren Mengenanteilen an Eisenillit enthalten z. B. 6,06 und 6,68%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , während der  $\text{G}_2$ -Horizont mit hohem Gehalt an Eisenillit 11,27%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hat.

Die Eisenillite sind Neubildungen im Boden, wie die Konkretionen, die nicht von fließendem Wasser sedimentiert sind, erkennen lassen. Sie entstehen durch Ausfällung aus ionogener Lösung. Die großen Blättchen in der Fraktion 32–100  $\mu$  können ebenfalls nur aus Lösung ausgefällt sein. Die Möglichkeit einer direkten Entstehung aus Glimmern kann ausgeschlossen werden, da die Eisenillitblättchen, z. B. im  $\text{G}_2$ -Horizont, mit dem hohen Anteil von 5–10% am Mineralgehalt der Fraktion 32–100  $\mu$  beteiligt sind, während Glimmer in der gleichen Fraktion aller untersuchten Proben, selbst in C Horizonten, nur in Anteilen von unter 1% enthalten sind.

Von den Illiten unterscheiden sich die Eisenillite deutlich durch ihre charakteristische Färbung, höhere Lichtbrechung und durch kleinen Achsenwinkel.

## 2. Die Minerale der feinen Korngrößenfraktionen unter 3 $\mu$ Radius

Als feine Fraktionen werden die zwei von 1–3  $\mu$  und kleiner als 1  $\mu$  Radius Korngröße zusammen beschrieben, sie haben beide hohe Gehalte an Tonmineralien.

Unter dem Mikroskop sind in der Fraktion 1–3  $\mu$  noch zahlreiche Eigenschaften der Minerale zu erkennen, Beobachtungen im konvergenten Licht sind nicht mehr möglich. Die Tonmineralien sind im allgemeinen noch voneinander zu unterscheiden. In dieser Fraktion können daher durch mikroskopische Beobachtungen quantitatives Auftreten der Tonmineralien und ihre Bildungsbedingungen untersucht werden.

Bei der Auswertung der Debye-Scherrer-Diagramme, die durchweg mit Kobaltstrahlung belichtet worden sind, wurden die errechneten Netzebenenabstände mit den in der Literatur von M. MEHMEL (1938 und 1939), E. MAEGDEFRAU und U. HOFMANN (1937) und G. NAGELSCHEIDT (1944) veröffentlichten verglichen. Vom Eisenillit wurden besondere Standarddiagramme von reinem Material aufgenommen. Die Mengen wurden geschätzt unter Berücksichtigung der z. B. von E. MAEGDEFRAU und U. HOFMANN (1940) an Vergleichspräparaten gewonnenen Erfahrungen.

Die zur Bestimmung der Mineralgehalte für die Fraktionen 1–3  $\mu$  und kleiner als 1  $\mu$  verwendeten verschiedenen Untersuchungsmethoden boten die Möglichkeit der Kontrolle der Ergebnisse, wobei sehr gute Übereinstimmung erzielt werden konnte.

Feldspäte und Quarze wurden in allen Horizonten (nur in einem fehlte der Feldspat) innerhalb der Fraktion 1–3  $\mu$  Radius beobachtet, sie sind darin Hauptbestandteile oder untergeordnete Beimengungen (zusammen zwischen 3 und 30%). In der Fraktion kleiner als 1  $\mu$  Radius wurde Feldspat röntgenographisch nur zwei-

mal als geringe Beimengung nachgewiesen. Die Interferenzlinien des Quarzes sind dagegen in den meisten Röntgenaufnahmen sichtbar, wenn auch oft nur schwach. Sein Anteil wurde im allgemeinen mit zwischen 2–10% gemessen.

Der Opal erreicht in der Fraktion 1–3  $\mu$  höchste Gehalte. Im  $A_3$ -Horizont steigt sein Anteil auf 6,2% des Gesamtbestandes der Fraktion.

Als Hauptbestandteile der feinen Fraktionen sind Glimmer mit im allgemeinen 10–20% an der Zusammensetzung der 1–3  $\mu$  Fraktion beteiligt. Gegenüber den Gehalten in der gröberen Fraktion bedeutet das für die meisten Horizonte eine Steigerung. In drei Horizonten ist jedoch eine Abnahme zu erkennen und für einige weitere sind etwa gleich hohe Gehalte ermittelt worden. Der Muskowit ist auch in dieser Fraktion der Hauptvertreter der Glimmer.

#### Illite.

Illite sind in den Fraktionen kleiner als 3  $\mu$  Radius Hauptbestandteile. Die Bezeichnung „Illit“ wird nach Vorschlag von R. GRIM, R. H. BRAY und W. F. BRADLEY (1937) für das „glimmerartige Tonmineral“ gebraucht, das auch „Sarospatit“, „sericitelike Mineral“ und „Bravaisit“ genannt worden ist.

Die optische Bestimmung der Illite konnte nach den Angaben von W. NOLL (1938), R. GRIM und Mitarbeitern (1937) sowie E. MAEGDEFRAU und U. HOFMANN (1937) vorgenommen werden. In der mit dem Mikroskop noch faßbaren Fraktion 1–3  $\mu$  Radius wurde Illit sehr reichlich angetroffen. Das Mineral konnte erkannt werden an seiner Lichtbrechung, die etwa der des Muskowits entspricht und an seiner hohen Doppelbrechung, welche an hohen Interferenzfarben zu erkennen war. Diese ließen die Illite auch vom Muskowit unterscheiden, da dieser im Dauerpräparat im allgemeinen keine Interferenzfarben zeigt.

Die Illite sind vor allem als Blättchen oder Schüppchen verbreitet. Außerdem bilden sie Beläge an den Rändern und zum Teil auf den Oberflächen von Feldspäten, was auch in den gröberen Fraktionen häufig zu erkennen war. Diese an den Rändern der Feldspäte sitzenden Illite sind häufig die als Serizite gedeuteten Zersetzungsprodukte der Feldspäte.

Neben Feldspäten mit geringer Zersetzung und schmalem Illitrand konnten Feldspäte mit starker Zersetzung und breitem Illitrand und auch Illitblättchen mit kleinem Feldspat Kern beobachtet werden. In dieser Reihe sind sämtliche Übergänge vom Feldspat bis zum Illitblättchen vorhanden, so daß daraus geschlossen wurde, daß die Illitblättchen durch direkte Umwandlung aus Feldspäten entstehen können. Abbildung 10 zeigt die zwei entscheidenden mittleren Stadien der Illitbildung im  $A_2$ -Horizont des Profils 325.

Die Illitgehalte schwanken in der Fraktion 1–3  $\mu$  von 15–60%, im allgemeinen betragen sie gegen 20%. In den C-Horizonten, dem nicht veränderten Ausgangsgestein, sind weniger als 20% Illite enthalten, sie sind jedoch auch darin Hauptbestandteile mit zweithöchstem Prozentgehalt nach Muskowit (und Kalzit, der bei diesen Untersuchungen nicht berücksichtigt werden soll). In den übrigen durch Bodenbildung betroffenen Horizonten sind sie herrschende Bestandteile, in den stark zersetzten Horizonten des Bruchwaldbodens (Profil 297) erreichen sie die hohen Gehalte von 60%. Im  $G_2$ -Horizont des gleichen Profils wird ihr Gehalt mit 37,1% fast von dem

des Eisenillits mit 34,2 erreicht. Lediglich im  $A_1$ -Horizont des Profils 325 wird die Menge der Illite von derjenigen der Montmorillonite übertroffen.

Für die Fraktion kleiner als  $1\mu$  wurde die Bestimmung der Gehalte an Illit neben Glimmer besonders nach den Angaben von MAEGDEFRAU und HOFMANN (1937) über die Unterschiede der beiden Mineralien vorgenommen. Bei den vorliegenden Gemischen von zahlreichen verschiedenen Bodenmineralien waren in dieser Richtung nur rohe Schätzungen möglich. Die chemische Analyse wurde daher zur quantitativen Bestimmung mit herangezogen. Die Gehalte an Illit für die Horizonte  $G_1$  und  $G_3$  des Profils 297 (Analyse in Tabelle 26, S. 64) wurden auf diese Weise zu 58 und 53% berechnet. Die anfänglichen Schätzungen aus den Röntgendiagrammen (für  $G_3$  Tabelle 25, S. 63) mußten danach wesentlich heraufgesetzt werden. Die durch Berechnung gewonnenen Zahlen stimmen fast vollständig mit den für die gröbere Fraktion nach Zählungen unter dem Mikroskop erzielten von 60,2 und 60,5% überein, so daß beide Ergebnisse als annähernd richtig betrachtet werden können.

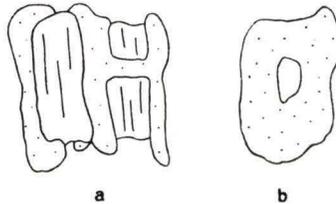


Abb. 10. Entstehung von Illit aus Feldspat (Fraktion  $1-3\mu$  Radius)

- a) Feldspat mit breitem Rand von Illit  
b) Illitblättchen mit kleinem Feldspatkern

### Eisenillit.

Die Eisenillite sind in der Fraktion  $1-3\mu$  vor allem durch ihre grünlichgelbe Färbung mikroskopisch noch gut zu erkennen, ihr Anteil am Mineralgehalt liegt in dieser Fraktion im allgemeinen zwischen 5–10% und ist etwas höher als in der gröberen. In den beiden Anreicherungshorizonten  $G_2$  und  $B_2$  werden mit 34,2 und 20% besonders hohe Gehalte erreicht. Der Eisenillit ist darin Hauptbestandteil.

Die Bestimmung der Eisenillitgehalte der feinsten Fraktion nach den Debye-Scherrer-Diagrammen ist wegen der mit Illit fast gleichen Interferenzlinien schwierig. Geringe Unterschiede wie die stärkere Intensität der Linie  $2,45\text{ \AA}$  oder das Auftreten der Linie  $4,08$  (Tabelle 17 und 24, S. 52 und 62) lassen auf das Vorhandensein von Eisenillit Schlüsse zu. Die charakteristische Färbung der Präparate gibt ihrerseits Hinweise auf möglichen Gehalt an Eisenillit.

### Montmorillonit.

Einzelne Montmorillonitblättchen konnten in der gröberen Fraktion mit  $3-10\mu$  Radius beobachtet werden, in der Fraktion  $1-3\mu$  werden sie bedeutend zahlreicher und erreichen als Hauptbestandteile einzelner Horizonte hohe Anteile am Mineralbestand. Der hohe Eisengehalt, den die chemische Analyse nachweist, macht wahrscheinlich, daß als eisenreicher Montmorillonit Beidellit vorliegt. In fast allen Horizonten wurden außer Montmorillonit Aggregate beobachtet, die wahrscheinlich Non-

tronit sind. Herrschender Bestandteil ist Montmorillonit im  $A_1$ -Horizont des Steppenbodenprofils 325 mit 23%. In zwei weiteren Horizonten erreicht er einen Anteil am Mineralgehalt von 10%.

In der Fraktion unter  $1 \mu$  Radius Korngröße wurde nach dem Debye-Scherrer-Diagramm (Tabelle 7, S. 38) für den Horizont  $A_1$  des Profils 325 höchster Montmorillonitgehalt mit etwa 40% bestimmt. Hauptbestandteil ist der Montmorillonit mit 20 und 10–20% außerdem in den gleichen Horizonten, für die er auch innerhalb der größeren Fraktionen als Hauptbestandteil ermittelt werden konnte (z. B. im  $A_2$ -Horizont 325, Tabelle 6, S. 38).

#### Kaolinit.

Kaolinit spielt in den untersuchten Horizonten als Tonmineral eine untergeordnete Rolle. Es wurden nur wenige Blättchen als Kaolinit, noch weniger als Halloysit oder Metahalloysit, die mit Kaolinit zusammengefaßt werden, bestimmt. In der Fraktion  $1-3 \mu$  lagen die Gehalte an Kaolinit bei einer Ausnahme alle unter 4%. Nur ein Horizont wies einen höheren Gehalt von 8,6% auf, der  $A_3$ -Horizont des Profils 900. Für den gleichen Horizont wurde durch das Debye-Scherrer-Diagramm (Tabelle 16, S. 51) der höchste Kaolinitgehalt der Fraktion kleiner als  $1 \mu$  mit gegen 40% angezeigt.

Beim Mikroskopieren können einzelne Kaolinitblättchen als Illitblättchen gezählt worden sein, da sie ähnlich sind.

#### Kalkspat.

Bei den feinen Korngrößen spielt der Kalkspat in der größeren Fraktion  $1-3 \mu$  noch eine ähnlich große Rolle mit hohen Gehalten wie in der Fraktion  $3-10 \mu$  im C-Horizont des Profils 900 mit z. B. 31,7% gegen 36,8. In der feinsten Korngröße (kleiner als  $1 \mu$ ) ist die Menge des Kalkspats, wie die Debye-Scherrer-Diagramme und die chemischen Analysen zeigen, gering.

In fünf Horizonten wurde Kalkspat gefunden. Den geringen Gehalt an Kalkspat in der feinsten Fraktion zeigt das Beispiel des C-Horizontes des Profils 900, er betrug nur etwa 6% bei einem Gesamtprozentgehalt von 23,4%.

### 3. Die Mineralzusammensetzung der C-Horizonte

Über die Mineralzusammensetzung des nicht veränderten Ausgangsmaterials der Bodenbildung, des Neckarschwemmelhms, unterrichten die Ergebnisse der Mineralbestimmung der C-Horizonte von den Profilen 325, 900 und zum Vergleich des Profils des jungen Auebodens 901. Die beiden jungdiluvialen (bis frühalluvialen) Schwemmelhme der Profile 325 und 900 zeigen gleichartige, wenn auch nicht völlig gleiche Mineralgehalte. Der spätalluviale C-Horizont des Profils 901 (Tabelle 4) läßt dagegen charakteristische Unterschiede erkennen.

Die Quarzgehalte der einzelnen Fraktionen sind im Diagramm (Abb. 11) in kalkfreien Prozenten dargestellt. In der größeren Fraktion zeigt der C-Horizont 325 gegenüber dem C-Horizont 900 höhere Quarzgehalte, in den feineren Fraktionen dagegen geringere. Dieser Unterschied läßt sich durch weiteren Transportweg für den Schwemmelhm des Profils 325 gegenüber dem des Profils 900 erklären. Die Quarze

können sich in größeren Korngrößen erhalten wegen ihrer größeren Beständigkeit gegenüber anderen Mineralien, wie vor allem den Feldspäten, die bei Transport schneller zerkleinert werden. Die Feldspäte reichern sich daher in den feineren Korngrößen gegenüber Quarzen an, wie das aus dem Diagramm der Feldspatzahlen (Feldspat zu Quarz gleich 100) zu erkennen ist (Abb. 12).

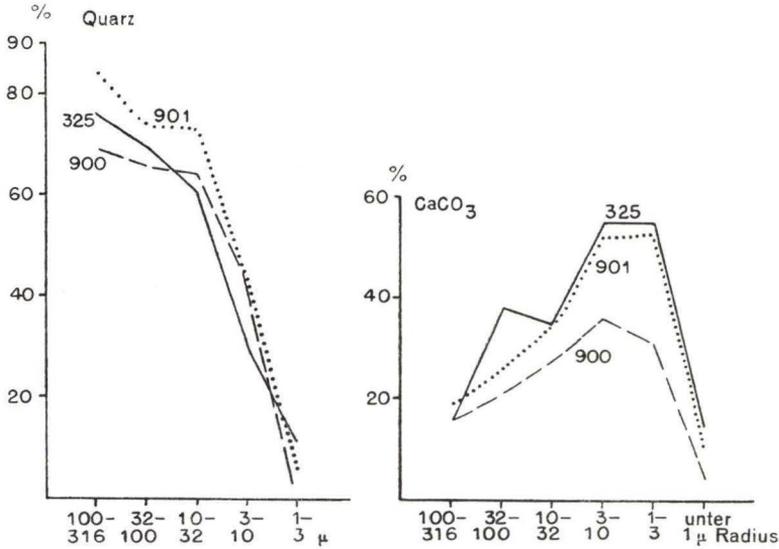


Abb. 11. Gehalte der C-Horizonte an Quarz (kalkfrei berechnet) und Kalzit.

Die kalkfreien Prozentgehalte an Feldspat stimmen für die Profile 325 und 900 (Abb. 12) in allen fünf Fraktionen überraschend gut überein.

Der Gehalt an Glimmer ist im Profil 325 gegenüber 900 gesteigert (Abb. 13), wahrscheinlich wegen seiner hohen Widerstandskraft gegen mechanische Zerstörung beim Transport, ähnlich dem Quarz.

Tabelle 4. Alluvialer Schwemmlern, C-Horizont des Profils 901  
Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen in Prozenten

Mineralien	100-316	32-100	10-32	3-10	1-3	unter 1
Feldspat . . . . .	9,7	14,3	11,2	7,9	—	—
Quarz . . . . .	67,7	53,8	46,9	19,8	2,3	5
Opal . . . . .	—	—	—	—	—	—
Glimmer . . . . .	—	0,9	2,5	11,4	6,5	10-20
Illit . . . . .	—	—	—	—	26,8	30
Eisenillit . . . . .	—	0,6	0,9	2,7	5,3	5
Montmorillonit . . . . .	—	—	—	0,6	1,5	10-20
Kaolinit . . . . .	—	—	—	1,2	1,5	20
Kalzit . . . . .	19,5	26,9	35,7	52,6	53,8	10
hochlichtbrech. und opak .	0,4	3	2,4	2,6	2,3	—
Gesteine . . . . .	2,8	—	—	—	—	—
? . . . . .	—	0,5	0,4	1,2	—	—

Gegenüber den beiden jungdiluvialen C-Horizonten 325 und 900 zeigt der postdiluviale C-Horizont des Profils 901 als charakteristischen Unterschied wesentlich höheren Quarzgehalt in den groben Fraktionen (Abb. 11). Dieser hohe Quarzgehalt im jungen alluvialen Schwemmlehm ist auf die Verwitterung des zusammengeschwemmten Materials am Orte der Abtragung zurückzuführen. In den alluvialen Schwemmlehmen sind daher auch die Feldspatzahl und der Feldspatgehalt in allen

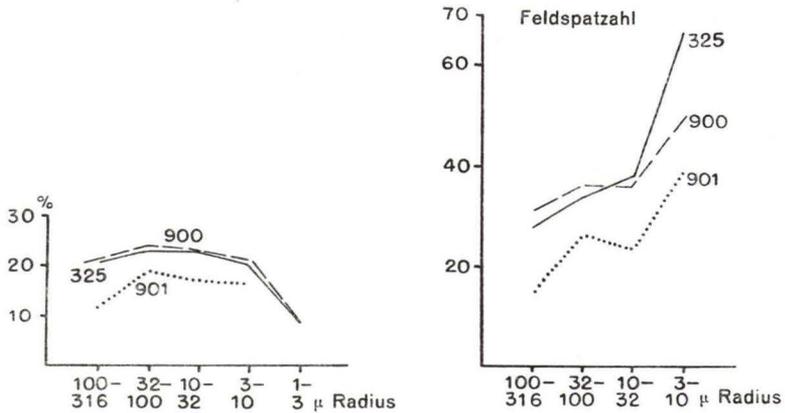


Abb. 12. Prozentgehalt an Feldspat und Feldspatzahl für die C-Horizonte.

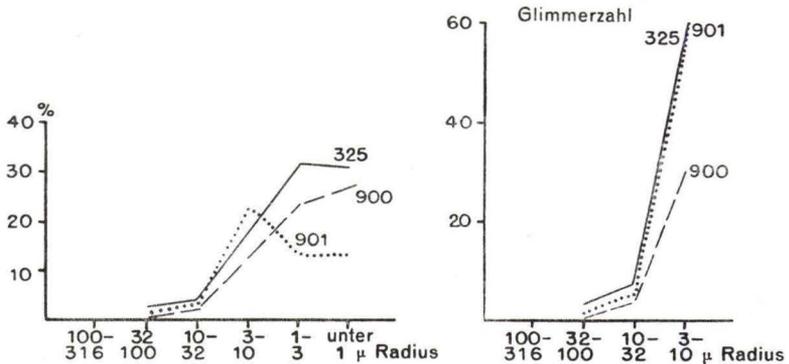


Abb. 13. Prozentgehalt an Glimmer und Glimmerzahl für die C-Horizonte.

Fraktionen geringer als in den jungdiluvialen (Abb. 12). Die Glimmergehalte sind in den feinsten Fraktionen des Profils 901 ebenfalls geringer als in den Profilen 325 und 900 (Abb. 13).

Für die Kalzitgehalte besteht kein Unterschied zwischen diluvialen und alluvialen Horizonten (Abb. 11). Der alluviale C-Horizont 901 zeigt ganz ähnliche Verhältnisse in den einzelnen Fraktionen wie der diluviale C-Horizont 325, beide unterscheiden sich darin beträchtlich vom C-Horizont 900, der einen bedeutend geringeren Kalkgehalt aufweist.

Die hohen Kalkgehalte in 901 und 325 sind durch starke Anreicherung infolge Ausfällung von Kalzit aus absinkender Bodenlösung zu erklären. Bei beiden Profilen kann die Anreicherung noch heute erfolgen, da die überlagernden  $A_2$ -Horizonte noch stark kalkhaltig sind. Im C-Horizont 900 ist in den gröbereren Fraktionen auch eine Ausfällung von Kalzit in Form von Konkretionen zu beobachten. Neben dieser Aus-

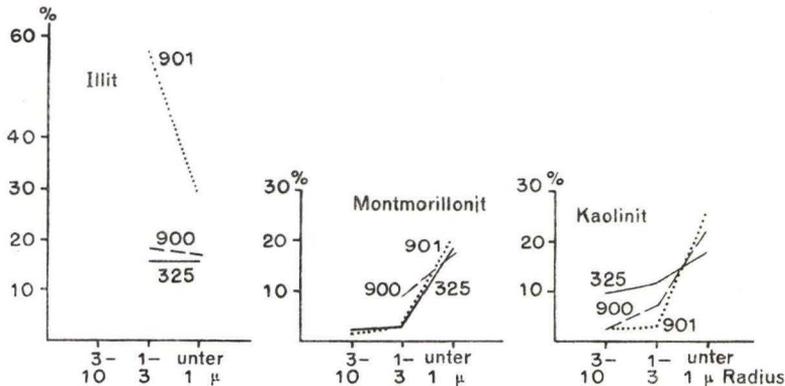


Abb. 14. Gehalt der C-Horizonte an Illit, Montmorillonit und Kaolinit.

fällung besteht jedoch die Möglichkeit, daß die aus kalzitfreien überlagernden Horizonten absinkende kalkfreie Bodenlösung Kalzit auch gelöst haben kann.

Die Gehalte an Kalzit und Kalzitkonkretionen, wie auch die an Eisenillit und Eisenillitkonkretionen, sind in den oberen Lagen der C-Horizonte durch Bodenbildung etwas verändert, und zwar sind sie im allgemeinen erhöht.

Tonmineralien (Abb. 14) haben in den Profilen 325 und 900 etwa gleiche Verteilung. Kalkfrei berechnet enthalten die beiden C-Horizonte in der feinsten Fraktion

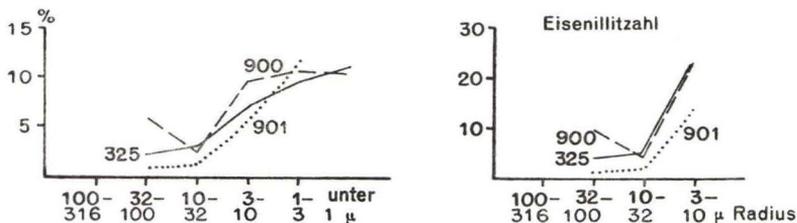


Abb. 15. Prozentgehalt an Eisenillit und Eisenillitzahl für die C-Horizonte.

zwischen 15 bis 22% je an Illit, Montmorillonit und Kaolinit. Der alluviale Schwemmlehm des Profils 901 hat ähnliche Gehalte an Montmorillonit und Kaolinit, wesentlich höhere dagegen an Illit mit 50 und 30%.

Die Eisenillitgehalte (Abb. 15) sind in den C-Horizonten 325 und 900, den älteren Sedimenten, höher als im alluvialen C901. Den hohen Gehalt des C-Horizontes an Eisenillit von über 6% in der Fraktion 32-100 μ bilden Konkretionen, die sicher durch gegenwärtige Bodenbildung entstanden sind.

In ihrer Mineralführung innerhalb der einzelnen Fraktionen stimmen die beiden jungdiluvialen C-Horizonte 325 und 900 gut überein. Der alluviale C-Horizont 901 zeigt dagegen eine etwas andere Mineralführung. Die unterschiedliche Mineralzusammensetzung der verschiedenen Fraktionen ergibt bei andersartiger Korngrößenzusammensetzung für die beiden Profile 325 und 900 trotzdem größere Abweichungen im Anteil der Mineralien am Gesamtprozentgehalt. Beispielsweise hat der C-Horizont 325 Gesamtgehalte an Feldspat und Glimmer von 17,7 und 12,4%, der C-Horizont 900 dagegen solche von 19,5 und 7,8%.

### **D. Zersetzung und Neubildung der Mineralien durch Bodenbildung**

Die Vorgänge der Zersetzung und Neubildung von Mineralien durch Bodenbildung sollen an drei Bodenprofilen verfolgt werden, dem Steppenbodenprofil Nr. 325, dem Profil des braunen Waldbodens 900 und dem Profil des Bruchwaldbodens (Bruchmarschbodens) 297. Bei diesen Untersuchungen werden die Minerale Quarz, Feldspat, Glimmer, Illit, Montmorillonit, Kaolinit, Eisenillit und Kalkspat als Hauptbestandteile der Böden besonders berücksichtigt. Art und Ausmaße der Mineralumwandlungen werden erschlossen aus dem Vergleich der nach Gewichtsanteilen berechneten Mineralgehalte der einzelnen Horizonte mit den Mineralgehalten der durch Bodenbildung nicht veränderten C-Horizonte. Die Vergleiche werden für die einzelnen Fraktionen und für Gesamtmineralgehalte durchgeführt.

Um Veränderungen unabhängig von den Einflüssen der stark wechselnden Kalkgehalte beobachten zu können, werden die Berechnungen im allgemeinen auf kalkfreie Substanzmengen bezogen. Die Änderungen der Kalkgehalte werden gesondert in ihren Prozentanteilen an den einzelnen Fraktionen und der Gesamtsubstanz betrachtet.

Die Quarzgehalte ändern sich, trotzdem der Quarz durch die Bodenbildung nicht angegriffen wird, durch die Zersetzung und Auswaschung bzw. Neubildung und Anreicherung an anderen Mineralien. Die Änderung der Quarzgehalte gibt daher einen Einblick in die Art der Bodenbildung, über vorherrschende Auswaschung oder Anreicherung innerhalb der einzelnen Horizonte.

Um für die einzelnen Mineralien tatsächlich erfolgende Veränderungen bestimmen zu können, unabhängig von Zu- oder Abnahme im Gehalt an anderen Mineralien, werden zu Vergleichen nach Möglichkeit nicht Prozentzahlen verwendet, sondern Verhältniszahlen zum nicht veränderten Quarz, der als 100 eingesetzt wird. Dieses Verfahren konnte für die Mineralien Feldspat, Glimmer und Eisenillit innerhalb der größeren Fraktionen über  $3\ \mu$  Radius benutzt werden. Die Verhältniszahlen werden im Folgenden als „Feldspatzahl“, „Glimmerzahl“ und „Eisenillitzahl“ bezeichnet.

Für die Tonmineralien der Fraktionen unter  $3\ \mu$  Radius ist kein unveränderliches Mineral, das als Hauptbestandteil für die Bildung einer Verhältniszahl in Frage käme, vorhanden. Zersetzungen und Neubildungen werden daher an den kalkfreien Prozentzahlen der einzelnen Fraktionen verfolgt.

Die vollständige prozentuale Mineralzusammensetzung der einzelnen Fraktionen der verschiedenen Horizonte wird in den Tabellen 5–8, 13–16 und 21–24 mitgeteilt. Die Ergebnisse der Debye-Scherrer-Aufnahmen der Tonfraktion von Horizonten mit besonders charakteristischer Mineralführung sowie die Ergebnisse einiger chemischer Analysen der Tonfraktion sind in den Tabellen 9 + 10, 17–19 und 25–27 enthalten.

Die quantitativen Ausmaße von Zersetzungen und Neubildungen an Mineralien werden aus den Gesamtmineralgehalten der einzelnen Horizonte errechnet.

## I. Die Mineralumwandlungen im braunen Steppenboden

### 1. Die Änderungen der Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen

Das Profil 325 des braunen Steppenbodens von Ladenburg (Straße nach Wallstadt) ist auf Seite 13 eingehend beschrieben. Es zeigt in seinen A-Horizonten Vertonung und schien geeignet, mit mineralogischen Methoden charakteristische Merkmale der braunen Steppenböden erarbeiten zu lassen. Alle drei unterschiedene Horizonte, der  $A_1$ , der  $A_2$  und der C-Horizont wurden untersucht.

Ihre Korngrößenzusammensetzung ist in der Abbildung 16 dargestellt, sie bestehen hauptsächlich aus Feinsand und Schluff. Die beiden A-Horizonte zeigen weitgehende

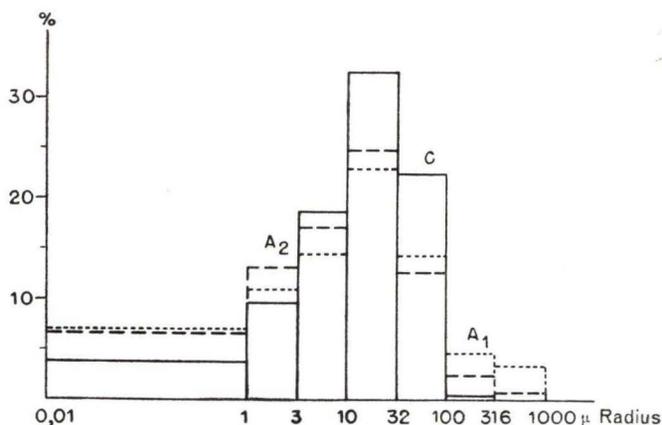


Abb. 16. Korngrößenzusammensetzung des Profils 325 (Steppenboden).

Übereinstimmung in der Kornverteilung, gegenüber dem C-Horizonte haben sie geringere Gehalte an groben Korngrößen und höhere an feinen, an feinem Schluff und an Ton. Die Unterschiede liegen in Richtung der durch Bodenbildung zu erwartenden Änderungen der Korngrößenverhältnisse. Die A-Horizonte werden vor der Bodenbildung wahrscheinlich annähernd die gleiche Korngrößenzusammensetzung gehabt haben wie der C-Horizont. Die bei den mikroskopischen Auszählungen erhaltenen Mineralgehalte (%) für die einzelnen Fraktionen der verschiedenen Horizonte sind in den Tabellen 5–7 wiedergegeben. In einer weiteren Tabelle (8) ist das Debye-Scherrer-Diagramm für die Tonfraktion des Horizontes  $A_1$  ausgewertet. Die Ergebnisse der chemischen Analysen für die Tonfraktion der Horizonte  $A_1$  und C enthält die Tabelle 9.

Tabelle 5. Steppenboden, Profil 325, A<sub>1</sub>-Horizont  
Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen in %

Mineralien	100-316	32-100	10-32	3-10	1-3	unter 1
Feldspat . . . . .	10	19,2	21,9	26,2	4,5	—
Quarz . . . . .	76,2	71,4	67,2	39,5	4,5	5
Opal . . . . .	—	—	—	1,3	0,5	—
Glimmer . . . . .	—	—	1,1	5,8	13,1	15
Illit . . . . .	—	—	—	—	16,7	20
Eisenillit . . . . .	—	0,8	1,3	3,8	6,3	5-10
Montmorillonit . . . . .	—	—	—	3,9	23	40
Kaolinit (Metahalloysit) . . . . .	—	—	—	4,7?	2,7	10
Kalzit . . . . .	6,2	7,1	5,6	4,3	5,7	5
hochlichtbrech. und opak . . . . .	2,2	1,2	3	6	3,6	—
Gesteine . . . . .	5,4	0,3	—	—	—	—
? . . . . .	—	—	—	4,5	19,4	—

Tabelle 6. Steppenboden, Profil 325, A<sub>2</sub>-Horizont  
Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen in %

Mineralien	100-316	32-100	10-32	3-10	1-3	unter 1
Feldspat . . . . .	8,1	16	20,6	19,8	3,9	—
Quarz . . . . .	66,3	62,3	56,9	30,2	1,7	—
Opal . . . . .	—	—	—	—	—	—
Glimmer . . . . .	—	0,5	1,4	7,1	9,2	15
Illit . . . . .	—	—	0,2	—	17	20-30
Eisenillit . . . . .	—	0,9	1	5	7,8	10-15
Montmorillonit . . . . .	—	—	—	2,6	10,4	20-30
Kaolinit . . . . .	—	—	—	1,5	0,4	15
Kalzit . . . . .	21,2	17	16,5	24,1	26,6	5-10
hochlichtbrech. und opak . . . . .	1,5	2,9	3,4	6,3	6,5	—
Gesteine . . . . .	4,1	0,4	—	—	—	—
? . . . . .	—	—	—	3,4	16,6	—

Tabelle 7. Steppenboden, Profil 325, C-Horizont  
Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen in %

Mineralien	100-316	32-100	10-32	3-10	1-3	unter 1
Feldspat . . . . .	17,4	14,5	15	9,1	4,3	5
Quarz . . . . .	64	42,4	39,4	13,4	4,8	—
Opal . . . . .	—	—	—	—	—	—
Glimmer . . . . .	—	1,4	2,8	7,8	14,4	25
Illit . . . . .	—	—	—	—	7	10-15
Eisenillit . . . . .	—	1,4	2,1	3,1	4,3	10
Montmorillonit . . . . .	—	—	—	1	1,3	15
Kaolinit . . . . .	—	—	—	4,3	3	15
Kalzit . . . . .	15,7	38,5	35,1	55,3	55,2	15
hochlichtbrech. und opak . . . . .	0,4	1,6	4,5	3	—	—
Gesteine . . . . .	2,6	0,2	—	—	—	—
? . . . . .	—	—	1,2	3	5,7	—

Tabelle 8. Steppenboden, Profil 325, A<sub>1</sub>-Horizont,  
 Interferenzen der Korngrößenfraktion kleiner als 1μ Radius  
 (Mh = Metahalloysit, Gl = Glimmer, Ca = Calzit, No = Nontronit, Qu = Quarz,  
 K = Kaolinit, EI = Eisenillit, b = breit)

A <sub>1</sub> -Horizont d Intens.	Illit Intens.	Montmorillonit Intens.	andere Mineralien Bezeichn. Intens.
13,49 m-st	—	st	
10,25 m	m-st	—	
7,55 s v	—	—	Mh st
5,15 ss	s-m	(st)	
4,54 m v	—	st	
4,36 stst	stst	stst	
4,23 s	—	—	Mh stst
3,79 ss	—	—	Gl s / Ca s-m
3,66 ss	s-m	s	
3,38 m-st	—	—	(Mh m / Gl s-m)
3,26 st	m-st	—	
2,98 s-m	s-m	m-st	
2,83 s	(ss)	—	
2,61 m	—	—	No st
2,55 stst	stst	m-st	
2,41 m b	s	st	
2,39 s	s-m	(m)	
2,24 s	s	s-m	
2,12 ss	s-m	—	
2,00 s	—	m	
1,98 s-m	m	—	
1,94 ss	—	—	
1,87 ss	—	—	
1,81 s-m	—	(s)	Qu st
1,71 m	s	m	
1,63 m	m	—	
1,62 s v	—	—	K m
1,54 s v	—	—	Qu st
1,51 s v	—	—	No st
1,49 st	st	st	
1,486 s	—	st	
1,45 ss	—	—	EI s / (Qu s)
1,37 s	—	m	(Qu st)
1,34 ss	s	—	
,29 m b	m	m	
1,25 s b	s	s-m	
1,20 ss	—	—	Qu m-st
1,19 ss	—	—	EI ss

In Auswertung der in den Tabellen enthaltenen Untersuchungsergebnisse werden die Änderungen der Gehalte an Hauptmineralen näher betrachtet und in Diagrammen dargestellt.

Die Gehalte an Quarz sind in den einzelnen Korngrößenfraktionen der beiden A-Horizonte etwa gleich hoch (Abb. 17). Die größte Fraktion enthält über 80% Quarz,

die feinste Fraktion 1–3  $\mu$  Radius weniger als 5%. In beiden A-Horizonten sind die Quarze in den Fraktionen über 3  $\mu$  gegenüber den im C-Horizont enthaltenen wesentlich angereichert, im A<sub>1</sub> im allgemeinen stärker als im A<sub>2</sub>. Die geringste Anreicherung weist die grösste Fraktion auf von 76,2 auf 81%, die stärkste die Fraktion 3–10  $\mu$

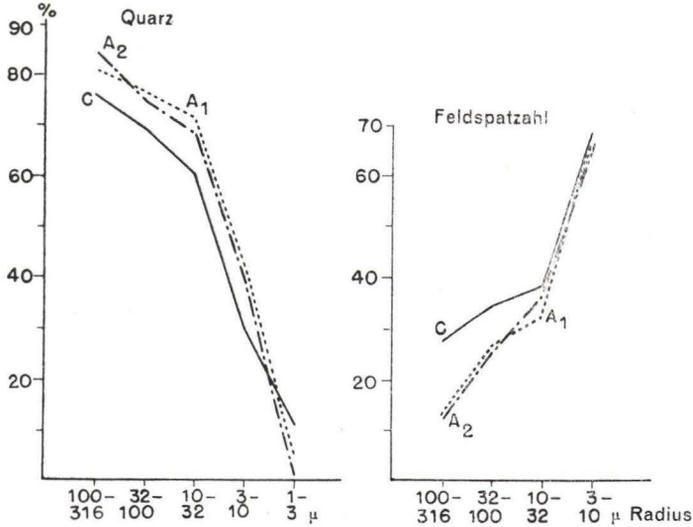


Abb. 17. Prozentgehalt an Quarz und Feldspatzahl der Horizonte des Profils 325 (Steppenboden).

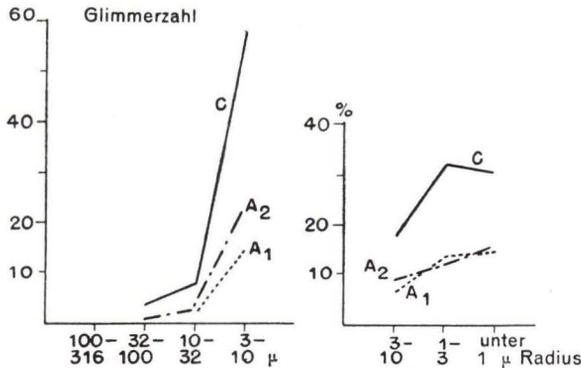


Abb. 18. Glimmerzahl und Prozentgehalt an Glimmer der Horizonte des Profils 325 (Steppenboden).

von 30 auf 41,3%. Die Zunahme des Quarzgehaltes ist auf die Fraktionen über 3  $\mu$  Radius beschränkt. In den feineren Fraktionen hat der Gehalt an Quarz in den A-Horizonten gegenüber C abgenommen, von 10,7% in C auf 2,3 und 4,8% in den A-Horizonten. Diese Abnahme ist durch die Anreicherung an Illit und Montmorillonit in den A-Horizonten durch die Bodenbildung zu erklären.

Aus den Änderungen der Feldspatzahlen (Abb. 17) ist die Abnahme in den A-Horizonten gegenüber dem C-Horizont gut zu ersehen. Am stärksten nehmen die

Feldspatzahlen in den groben Fraktionen ab, z. B. von 28 auf 12, am geringsten in der feinsten Fraktion von 68 auf 65,7. Die Abnahme an Feldspat ist durch Zersetzung der Feldspäte bei der Bodenbildung bedingt.

Auch der Gehalt an Glimmer zeigt in den A-Horizonten eine deutliche Abnahme durch die Bodenbildung (Abb. 18). Der Glimmer wird bei der Bodenbildung ebenso wie der Feldspat zersetzt bzw. umgewandelt. Die Glimmerzahlen zeigen eine Verminderung in der Fraktion 32–100  $\mu$  von 3,3 im C-Horizont auf 1,4 bzw. 0 in den A-Horizonten, in der Fraktion 3–10  $\mu$  von 58,2 in C auf 23,5 in A<sub>2</sub> und 14,9 in A<sub>1</sub>. Im A<sub>2</sub>-Horizont sind die Gehalte an Glimmer höher als im A<sub>1</sub>, entsprechend der geringeren Zersetzung bei weniger intensiver Bodenbildung.

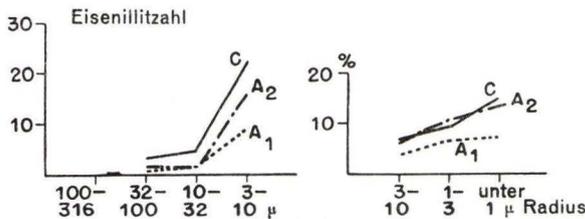


Abb. 19. Eisenillitzahl und Prozentgehalt an Eisenillit der Horizonte des Profils 325 (Steppenboden).

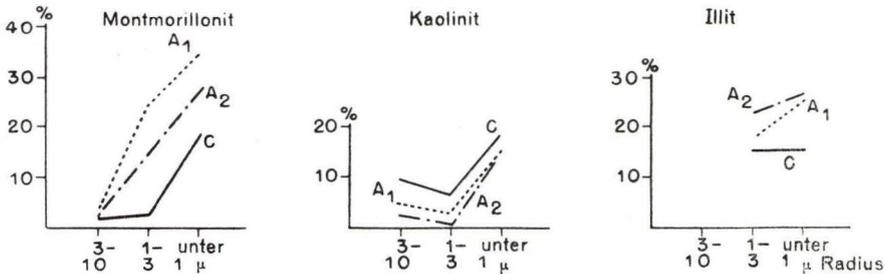


Abb. 20. Prozentgehalte an Montmorillonit, Kaolinit und Illit der Horizonte des Profils 325 (Steppenboden).

Für den Eisenillit lassen die Darstellungen (Abb. 19) ähnliche Verminderungen seiner Mengen durch die Bodenbildung erkennen wie beim Glimmer. Im A<sub>2</sub>-Horizont sind in den feinen Fraktionen die Prozentgehalte an Eisenillit etwa gleich hoch wie im C-Horizont, in der Fraktion 1–3  $\mu$  sogar wenig höher, so daß auch eine Zunahme an Eisenillit durch Bodenbildung im A<sub>2</sub>-Horizont erfolgt sein kann.

An Illit (Abb. 20) haben die A-Horizonte höhere Gehalte als der C-Horizont, Illite sind also durch Bodenbildung entstanden. Ihr Anteil ist im A<sub>2</sub>-Horizont noch höher als im A<sub>1</sub>-Horizont.

Besonders starkes Anwachsen in den A-Horizonten ist für den Montmorillonit zu beobachten (Abb. 20). In der Fraktion 1–3  $\mu$  steigt sein Gehalt von 3% im C-Horizont auf etwa 14% im A<sub>2</sub> und über 24% im A<sub>1</sub>-Horizont an.

Für Kaolinit ergeben die Darstellungen scheinbar Verminderung (Abb. 20). Wahrscheinlich ist keine wirkliche Verminderung der Kaolinitmenge erfolgt, sondern nur

Tabelle 9. Steppenboden, Profil 325

Gehalt der Fraktion kleiner als  $1\mu$  Radius an einigen chemischen Verbindungen in %

	325 A <sub>1</sub>	325 C
SiO <sub>2</sub> .....	44,75	39,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	15,60	14,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	10,46	8,92
CaO .....	3,89	8,28
MgO .....	4,13	4,16
Na <sub>2</sub> O .....	0,67	1,26
K <sub>2</sub> O .....	2,90	1,30
H <sub>2</sub> O + CO <sub>2</sub> .....	14,53	18,28
SiO <sub>2</sub> .....		
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3,42	3,36
SiO <sub>2</sub> .....		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	4,88	4,71

eine Verminderung des Prozentgehaltes durch starkes Anwachsen der Gehalte an Montmorillonit und Illit.

Beide A-Horizonte zeigen gegenüber dem C-Horizont an Änderungen (ohne die des Kalzits) im Gehalt an den einzelnen Mineralien:

1. Starke Verminderung an Feldspat und Glimmer, geringere an (Eisenillit und) Kaolinit.
2. Starke Zunahme an Montmorillonit und Illit.

## 2. Die quantitativen Ausmaße der Mineralumwandlungen

Die Ergebnisse aus den Untersuchungen der Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen sind ohne Berücksichtigung der Unterschiede der Korngrößenzusammensetzung gewonnen, sie erfassen nicht die durch die Umwandlungen betroffenen Gesamtmengen der Mineralien. Die quantitativen Ausmaße von Mineralzersetzung und -neubildung sind zu ermitteln aus den Mineralgehalten der Gesamtsubstanz, zu denen die einzelnen Gehalte aller Korngrößensfraktionen zusammengefaßt sind.

Die Mineralgehalte der Gesamtsubstanz wurden für jeden einzelnen Horizont in Prozentanteilen errechnet (Tabelle 10, S. 43). Für die kalkhaltigen Horizonte wurden die kalkfreien Werte kalkfreier Korngrößenzusammensetzung (Tab. 11, S. 43) bestimmt. Die errechneten Prozentanteile für die Mineralien sind, da die Substanzmenge durch die Bodenbildung verändert sein kann, für einen genauen quantitativen Vergleich der verschiedenen Horizonte grundsätzlich nicht geeignet. Vergleichbar sind mit einer bestimmten Menge an Ausgangssubstanz (z. B. 100 Teilen) des C-Horizontes nur die tatsächlich aus dieser hervorgegangenen Substanzmengen der A-Horizonte, deren Ermittlung auf zwei Wegen erfolgte:

1. Als Voraussetzung kann angenommen werden, daß der im C-Horizont enthaltene Quarzmenge eine gleiche in den A-Horizonten entspricht, da die Quarze durch die Bodenbildung nicht angegriffen werden. Aus den Prozentzahlen der A-Horizonte lassen sich durch Gleichsetzung der Quarzgehalte die aus 100 Teilen des C-Horizontes entstandenen Gesamtsubstanzmengen errechnen.

2. Der Feldspatgehalt der A-Horizonte läßt sich für 100 Teile des C-Horizontes über die Feldspatzahl der A- und C-Horizonte unter Verwendung des Feldspatgehaltes des C-Horizontes errechnen. Die Gesamtsubstanzmenge kann wie bei der abgeleiteten Quarzmenge über die Prozentzahlen ermittelt werden.

Die nach diesen beiden Methoden gewonnenen Werte müßten theoretisch übereinstimmen. Für den A<sub>1</sub>-Horizont ist die erzielte Abweichung 3–4%. Der niedrigere über den Quarzgehalt errechnete Wert wird im Folgenden verwendet. Beim A<sub>2</sub>-Horizont ist die Abweichung mit 8% noch größer. Der Quarz-Prozentgehalt ist durch die Untersuchungen wahrscheinlich als zu niedrig bestimmt worden. Für den A<sub>2</sub>-Horizont ist daher zum Vergleich mit dem C-Horizont die über die Feldspatzahl gewonnene Substanzmenge heranzuziehen.

Tabelle 10. Steppenboden, Profil 325  
Gesamtmineralgehalte in Gewichtsprozenten, kalkfrei berechnet

Mineralien	325				
	a) Gewichtsprocente			b) Mineralgehalte für C = 100	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	C	A <sub>1</sub> *)	A <sub>2</sub> **)
Feldspat . . . . .	13,3	13,2	17	14,4	15,4
Quarz . . . . .	40,7	34,9	44	44	41
Glimmer . . . . .	8,1	9,5	13,3	8,8	11,1
Illit . . . . .	9,4	11,3	4	10,2	13,2
Eisenillit . . . . .	4,5	7,5	6,3	4,9	8,8
Montmorillonit . . . . .	12,4	9,6	3,5	13,4	11,2
Kaolinit . . . . .	5,7	6,5	5,2	6,2	7,6
Übrige . . . . .	6,1	7,5	6,7	6,6	8,8
Summe	100,2	100,0	100,0	108,5	117,1
zersetzt . . . . .	11,3	7,6	—	8,6	3,8
neugebildet . . . . .	14,8	16,7	—	17,1	23,9
Differenz	+ 3,5	+ 9,1	—	+ 8,5	+ 20,1

Tabelle 11. Korngrößenzusammensetzung der kalkhaltigen Horizonte  
kalkfrei berechnet

Korngrößen in $\mu$	Profil 325			900	901
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	C	C	C
316–1000 . . . . .	3,2	0,8	—	1,1	9,3
100–316 . . . . .	4,7	2,4	0,9	3,5	10,4
32–100 . . . . .	14	13	23,6	19,9	31,3
10–32 . . . . .	22,7	23,2	36	45	17,8
3–10 . . . . .	14,5	16,2	14,3	13	8,4
1–3 . . . . .	11,1	12	7,3	4,2	4,4
unter 1 . . . . .	29,8	32,4	17,9	13,3	18,4

\*) A<sub>1</sub> ist über Quarzgehalt berechnet.

\*\*) A<sub>2</sub> über Feldspatzahl.

Mit 100 Teilen des C-Horizontes sind dann zu vergleichen 108,5 Teile des  $A_1$ -Horizontes und 117,1 des  $A_2$ -Horizontes, also größere Substanzmengen (Tab. 10).

Der  $A_1$ -Horizont zeigt gegenüber dem C-Horizont starke Abnahme an Feldspat und an Glimmer, geringe an Eisenillit. Sehr starke Zunahme ist an Montmorillonit, starke an Illit und ganz geringe an Kaolinit erfolgt.

Von 100 Gewichtsteilen des C-Horizontes sind durch die Bodenbildung zersetzt und im  $A_1$ -Horizont weniger enthalten 2,6 Teile an Feldspat, 4,5 an Glimmer und 1,4 an Eisenillit, zusammen, 8,5. Höher ist im  $A_1$ -Horizont der Gehalt an Montmorillonit mit 9,9 Teilen, Illit mit 6,2 und Kaolinit mit 1 Teil, zusammen 17,1 Gewichtsteilen. Die Gesamtmenge der im  $A_1$ -Horizont mehr als im C-Horizont enthaltenen Tonminerale ist mit 17,1 doppelt so groß wie die Gewichtsmenge der im  $A_1$ -Horizont zersetzten Feldspäte, Glimmer und Eisenillite.

Bei Erhaltung aller aus der Zersetzung der Mineralien frei werdenden Bestandteile in den gebildeten Tonmineralien ist eine Vermehrung der Substanzmenge durch die Bodenbildung ohne Zufuhr aus anderen Horizonten möglich durch die Aufnahme von Wasser und Kalzium und Magnesium aus den bei der Rechnung nicht berücksichtigten Karbonaten. Die Vermehrung wird 20% nicht überschreiten. Bei Abzug dieser 20% von der im  $A_1$ -Horizont gegenüber C mehr enthaltenen Menge an Tonmineralien, bleibt noch ein Überschuß an Tonmineralien von 5,2 Gewichtsteilen gegenüber der Gesamtmenge an zersetzten Mineralien.

Da durch Bodenbildung eine Zufuhr an Tonmineralien aus anderen Horizonten nicht stattgefunden haben kann, ist zu vermuten, daß der  $A_1$ -Horizont vor der Bodenbildung einen höheren Gehalt an Feinmaterial gehabt hat als der heutige C-Horizont.

Eine genaue quantitative Bestimmung der Mineralumwandlungen würde der Vergleich mit dem C-Horizont dann nicht erbringen können. Der Vergleich führt zu Fehlern, welche durch die vorgenommene Umrechnung des Mineralgehaltes des  $A_1$ -Horizontes auf 100 Teile des C-Horizontes noch vergrößert werden. Die durch die Umrechnung aufgezeigte starke Vermehrung der Gesamtsubstanz ist sicher nicht erfolgt. Der Vergleich von 100 Teilen des  $A_1$ -Horizontes mit 100 Teilen des C-Horizontes kann daher wahrscheinlich bessere quantitative Näherungswerte für die Mineralumsetzungen liefern.

Beim Vergleich der Prozentzahlen ist für den  $A_1$ -Horizont eine Abnahme an Mineralien durch Zersetzung infolge Bodenbildung zu erkennen in Höhe von 11,3% vom Gesamtmaterial. Der Überschuß an Tonmineralien beträgt 14,8% vom Gesamtmaterial, bei Abrechnung einer möglichen Gewichtszunahme durch Bodenbildung von 20% würden als Überschuß 11,8% anzusetzen sein. Den 11,3% an zersetzten Mineralien würde eine etwa gleich große Menge an neu gebildeten Tonmineralien von 11,8% gegenüberstehen. Aus dieser Überschlagsrechnung würde sich ergeben, daß im  $A_1$ -Horizont im Laufe der Bodenbildung alle aus der Zersetzung der Mineralien frei werdenden Stoffe (außer den Karbonaten) zur Neubildung von Tonmineralien verbraucht werden.

Für den  $A_2$ -Horizont ergibt ein Vergleich der Gesamtmineralgehalte Abnahme nur für Feldspat und Glimmer. Die stärkste Zunahme hat der Illit erfahren, starke der Montmorillonit, geringe der Kaolinit und der Eisenillit.

Die auf 100 Teile des C-Horizontes umgerechneten Mineralgehalte zeigen gegenüber dem C-Horizont geringe Abnahme durch Zersetzung an Feldspat und Glimmer von zusammen 3,8%. Der Überschuß an Tonmineralien ist sehr hoch mit 23,9. Wahrscheinlich hat der A<sub>2</sub>-Horizont vor der Bodenbildung etwas andere Korngrößenzusammensetzung gehabt als der heutige C-Horizont, so daß beim A<sub>2</sub>-Horizont durch die Umrechnung auf C gleiche Fehler erzielt werden, wie beim A<sub>1</sub>-Horizont. Daher seien auch für A<sub>2</sub> als Annäherungswerte die Ergebnisse des Vergleichs der Prozentzahlen angegeben. Zersetzt wären danach 7,6% des Gesamtmaterials. An Tonmineralien sind im A<sub>2</sub>-Horizont 16,7% vom Gesamtmaterial mehr enthalten als im C-Horizont. Nach Abzug von 20% würde eine Zunahme von 13,4% an Tonmineralien dem Verlust von 7,6% an Feldspat und Glimmer gegenüberstehen. Die starke Zunahme wäre durch Neubildung aus den durch Zersetzung frei gewordenen Stoffen nicht zu erklären. Die Höhe des durch diese Überschlagsrechnung aufgezeigten Überschusses an Tonmineralien macht wahrscheinlich, daß im A<sub>2</sub>-Horizont bei der Bodenbildung eine Stoffzufuhr erfolgt sein wird.

### 3. Ergebnisse der Mineralumwandlungen

Im Steppenboden werden durch die Bodenbildung an Hauptbodenmineralen Feldspat und Glimmer zersetzt. Montmorillonit und Illit werden als Tonmineralien neu gebildet. Die quantitative Berechnung der Mineralumwandlungen durch Vergleich der A-Horizonte mit dem C-Horizont macht wahrscheinlich, daß die Bildung der A-Horizonte in etwas anderem Ausgangsmaterial stattgefunden hat, als es der heutige C-Horizont darstellt. Daher ist keine genaue Berechnung der Zersetzung

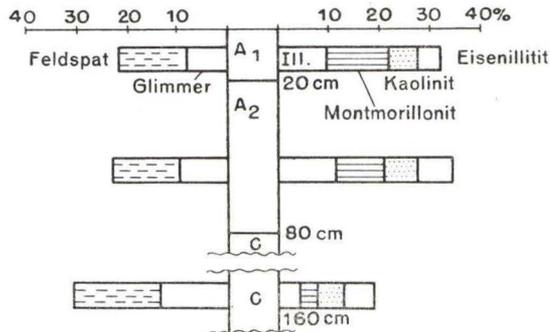


Abb. 21. Gesamtmineralgehalte (%) der Horizonte des Profils 325 (Steppenboden).

und Neubildung möglich, durch Vergleich der Prozentgehalte der A-Horizonte mit denen des C ist nur ein annähernd richtiges Bild über die quantitativen Mineralumwandlungen zu erzielen, wie es in der Abb. 21 dargestellt ist.

Für den A<sub>1</sub>-Horizont sind Abnahme durch Zersetzung der Mineralien und Zunahme durch Neubildung der Tonmineralien fast gleich groß. Das Tonmineral des A<sub>1</sub> mit höchstem Prozentgehalt ist der Montmorillonit, mit nächst hohem Gehalt folgt der Illit.

Beim  $A_2$ -Horizont überwiegt die Zunahme an Tonmineralien stark die Abnahme an zersetzten Mineralien. Höchste Prozentgehalte hat der Illit, hohe daneben der Montmorillonit.

Die Überschlagsrechnung zeigt, daß im  $A_1$ -Horizont die große Menge an neugebildetem Montmorillonit und Illit durch Festlegung fast aller aus der Mineralzersetzung freierwerdenden Stoffe zu entstehen scheint. Beim  $A_2$ -Horizont ist die Zunahme an Montmorillonit und Illit so stark, daß sie nur erklärt werden kann durch eine Anreicherung infolge Bodenbildung mit Material aus dem überliegenden  $A_1$ -Horizont. Für den  $A_1$ -Horizont muß danach auf wahrscheinlich geringen Verlust an Bestandteilen geschlossen werden, der in der angenäherten Prozentrechnung nicht zum Ausdruck kommt.

## II. Die Mineralumwandlungen im braunen Waldboden

Die mineralogischen Untersuchungen für den braunen Waldboden erfolgten an dem auf Seite 16 beschriebenen Profile 900 mit seinen vier Horizonten  $A_1$ ,  $A_3$ ,  $B_2$

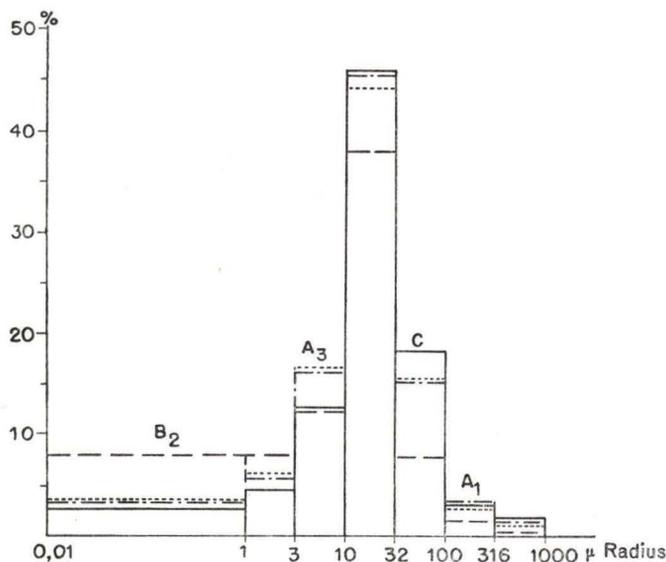


Abb. 22. Korngrößenzusammensetzung des Profils 900 (brauner Waldboden).

und C. Die Korngrößenbestimmung erbrachte für dieses Profil eine ausgezeichnete Bestätigung der Konstanz der Sedimentationsbedingungen an einem Standorte innerhalb der verschiedenen Horizonte eines Bodenprofils (Abb. 22). Der aus 1,65 m Tiefe untersuchte C-Horizont entspricht in seiner Korngrößenzusammensetzung fast völlig den aus 10–60 cm Tiefe untersuchten Horizonten  $A_1$  und  $A_3$ . Der  $B_2$ -Horizont besitzt ebenfalls die charakteristische Hauptkorngröße, ihr Anteil am Gesamtmineralbestand ist gegenüber den anderen Horizonten jedoch vermindert.

Die Gleichartigkeit in der Korngrößenzusammensetzung von A- und C-Horizonten darf nicht darüber hinwegtäuschen daß trotzdem im Laufe der Bodenbildung Zer-

setzungen und Umlagerungen größeren Ausmaßes vor sich gegangen sind. Viele Bestandteile, z. B. alle Kalkkörner, sind aus dem A-Horizont verschwunden. Feldspäte sind zerkleinert, aufgelöst und die gelösten Teile in tiefere Horizonte abgewandert. Über 25% der ursprünglich enthaltenen Bestandteile sind verschwunden. Tonminerale sind nur in geringer Menge neu gebildet. Die geringe Erhöhung der Anteile an den feinsten Fraktionen in den A-Horizonten gegenüber denen in C kann damit erklärt werden. Durch Bodenbildung vermindert ist der Gehalt an Feinsand, nicht der an Grobsand.

Der B<sub>2</sub>-Horizont zeigt im starken Anwachsen des Gehaltes an Bestandteilen der Tonfraktion unter 1  $\mu$  Radius und der feinen Schlufffraktionen 1–3  $\mu$  Radius intensive Tonbildung. Die mineralogischen Untersuchungen ergaben, daß die Anreicherung nur in geringem Maße auf Mineralneubildung aus den Bestandteilen der im gleichen Horizont zersetzten größeren Mineralien zustande kommt, in der Hauptsache erfolgt sie durch Zufuhr von Mineralien und gelösten Stoffen aus den oberen Horizonten, also durch Illuvialbildung. Die Verminderung im Gehalt an größeren Korngrößen durch Zersetzung ist mengenmäßig sehr gering. Tatsächlich bleiben die größeren Bestandteile erhalten. Die Abnahme im Diagramm ist vorgetäuscht durch die starke Zunahme an feinen Korngrößen.

### 1. Die Änderungen der Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen (hierzu Tabellen 12–18)

Im braunen Waldboden haben die Gehalte an Quarz in allen von der Bodenbildung betroffenen Horizonten eine Anreicherung erfahren, wie die Darstellung der Prozentgehalte der einzelnen Fraktionen erkennen läßt (Abb. 23). Die Änderungen in den Horizonten A<sub>1</sub> und A<sub>3</sub> sind gegenüber C fast gleich groß, die Zunahme beträgt für jede Fraktion gegen 10%, z. B. geht sie bei der Fraktion 32–100  $\mu$  von 65% auf 76, bei der Fraktion 10–32  $\mu$  von 64 auf 72% und bei der Fraktion 3–10  $\mu$  von 42 auf 54 bzw. 61%.

Im B<sub>2</sub>-Horizont sind die Quarzgehalte gegenüber dem C-Horizont weniger angestiegen, nur halb so hoch, wie in den A-Horizonten. Der mit 64% gegenüber C niedrigere Quarzgehalt in der größten Fraktion (100–316  $\mu$ ) ist nicht durch eine Abnahme der Quarze bedingt, sondern durch die starke Anreicherung von Eisenillitkonkretionen, welche den Gehalt an Quarz stark herabmindert. Die Zunahme im Quarzgehalt in den übrigen Fraktionen ist, wie schon früher gezeigt werden konnte, nicht durch tatsächliche Vermehrung der Quarze bedingt, sondern durch Abnahme im Gehalt an zersetzten Mineralien wie Feldspäten und Glimmern.

Die Feldspatzahlen (Abb. 23) zeigen beträchtliche Abnahmen gegenüber ihren im C-Horizont höchsten Werten in allen anderen Bodenhorizonten, in den A-Horizonten stärkere als im B<sub>2</sub>, größte im A<sub>1</sub>-Horizont. Gegenüber einer Feldspatzahl von 31 in der Fraktion 100–316  $\mu$  im C-Horizont hat der A<sub>1</sub>-Horizont nur noch eine solche von 13. Von 37 in der Fraktion 10–32  $\mu$  im C-Horizont wird die Feldspatzahl bis auf 30 im A<sub>1</sub> vermindert, in der Fraktion 3–10  $\mu$  von 50 bis auf 33. Die Zersetzung der Feldspäte ist für alle Horizonte und alle Fraktionen nachweisbar.

Der Glimmergehalt ist in den A-Horizonten gegenüber C bedeutend vermindert (Abb. 24). Der B<sub>2</sub>-Horizont hat dagegen die gleichen Glimmerzahlen wie der C-Horizont. Glimmer werden im B<sub>2</sub>-Horizont bei der weniger intensiven Bodenbildung möglicherweise weniger leicht zersetzt als die Feldspäte.

In den Prozentgehalten für die feinen Fraktionen zeigen die Glimmer Abnahme in allen durch Bodenbildung veränderten Horizonten, stärkere in den A-Horizonten, schwächere im B<sub>2</sub>.

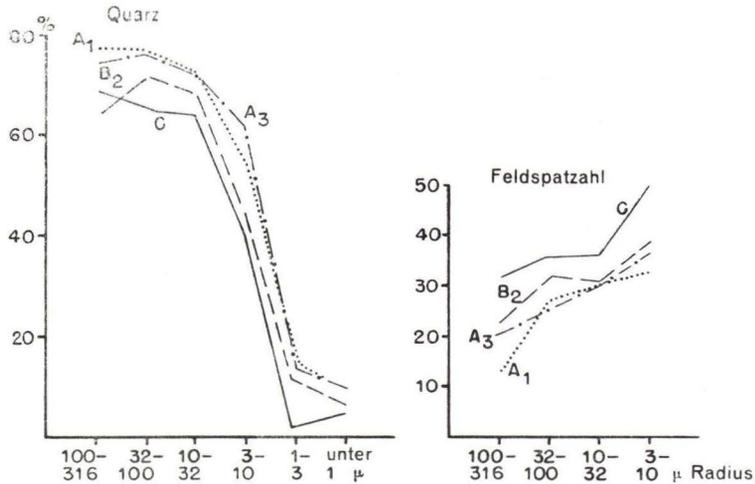


Abb. 23. Prozentgehalt an Quarz und Feldspatzahl der Horizonte des Profils 900 (brauner Waldboden).

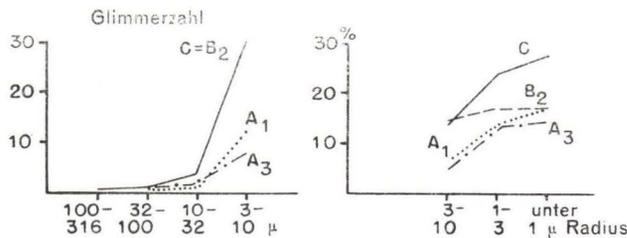


Abb. 24. Glimmerzahl und Prozentgehalt an Glimmer der Horizonte des Profils 900 (brauner Waldboden).

Der Eisenillit hat in den braunen Waldböden große Bedeutung als Hauptbestandteil der B-Horizonte (Abb. 25). In der größten Korngrößenfraktion (100–316 μ) sind gegenüber dem C-Horizont in allen anderen Horizonten Anhäufungen von Eisenillitkongregationen zu beobachten. In den mittleren Korngrößen sind die Eisenillitzahlen gering, in den A-Horizonten geringer als im C-Horizont. In den Korngrößen unter 10 μ sind im B<sub>2</sub>-Horizont starke Anreicherungen an Eisenillit nachweisbar, die als Neubildungen im Verlaufe der Bodenbildung zu deuten sind. Sie sind an den Eisenillitzahlen und an den Prozentgehalten in den feinsten Fraktionen zu erkennen.

In den A-Horizonten ist andererseits der Gehalt an Eisenillit gegenüber dem C-Horizont, wie aus Eisenillitzahlen und aus Prozentgehalten hervorgeht, vermindert, der Eisenillit ist in den A-Horizonten also zersetzt. Er ist mit stärkster Zunahme im Prozentgehalt das charakteristische Mineral der Tonfraktion in B-Horizonten.

Die Illite (Abb. 26) sind in allen durch Bodenbildung veränderten Horizonten gegenüber C angereichert, wobei im B<sub>2</sub>-Horizont stärkste Anreicherung stattgefunden hat. Illitbildung ist erfolgt bei der Zersetzung von Feldspäten und Glimmern.

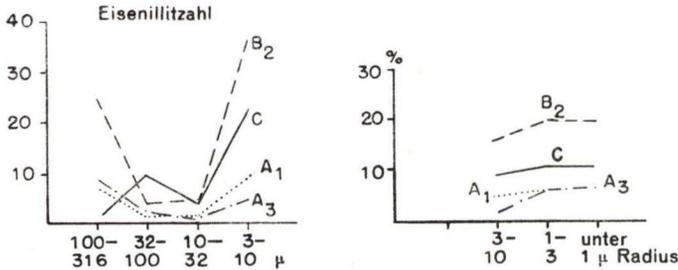


Abb. 25. Eisenillitzahl und Prozentgehalt an Eisenillit der Horizonte des Profils 900 (brauner Waldboden).

An Montmorillonit (Abb. 26) zeigt der C-Horizont höchste Gehalte, die anderen Horizonte haben geringere, untereinander etwa gleiche Prozentanteile. Montmorillonit ist damit als Neubildung nicht nachweisbar.

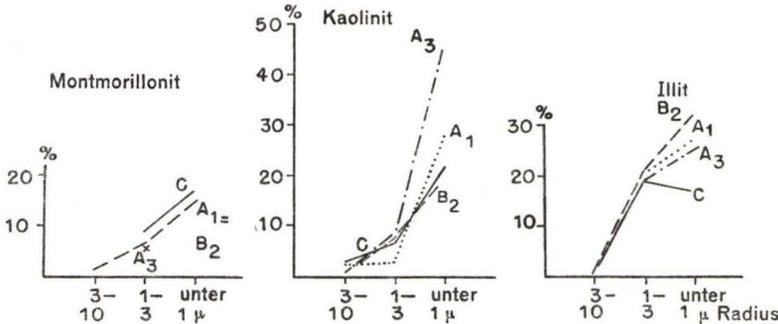


Abb. 26. Prozentgehalte an Montmorillonit, Kaolinit und Illit der Horizonte des Profils 900 (brauner Waldboden).

Kaolinit (Abb. 26) ist dagegen in einzelnen Fraktionen der A-Horizonte gegenüber C-angereichert. Die Zunahme im Prozentgehalt ist beim A<sub>1</sub>-Horizont nur gering und auf die feinste Fraktion beschränkt, in der Korngrößenfraktion 1-3 μ ist gegenüber C eine Abnahme zu verzeichnen. Stärkere Anreicherung an Kaolinit zeigt der A<sub>3</sub>-Horizont für die beiden feinsten Fraktionen, wobei die der Tonfraktion kleiner als 1 μ besonders stark ist. Im Debye-Scherrer-Diagramm dieser Fraktion waren die Kaolinitlinien klar ausgeprägt, sie deuteten höchste Kaolinitgehalte von allen untersuchten Horizonten an (Tab. 16).

Tabelle 12. Brauner Waldboden, Profil 900, A<sub>1</sub>-Horizont  
Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen in %

Mineralien	100-316	32-100	10-32	3-10	1-3	unter 1
Feldspat .....	9,9	20,8	22,2	18	14,2	—
Quarz .....	77,5	77	72,3	54,5	15,5	10
Opal .....	—	—	—	3,8	4,3	—
Glimmer .....	—	0,2	0,9	6,7	14,2	15-20
Illit .....	—	—	—	—	19,8	25
Eisenillit .....	5,2	0,6	0,9	5	6,5	5
Montmorillonit .....	—	—	—	1,5	6,5	15
Kaolinit .....	—	—	—	? 2,7	2,6	30
Kalzit .....	—	—	—	—	—	—
hochlichtbrech. und opak .	1,9	1,4	3,6	5,9	0,9	—
Gesteine .....	5,1	—	—	—	—	—
? .....	0,4	—	—	1,9	15,2	—

Tabelle 13. Brauner Waldboden, Profil 900, A<sub>3</sub>-Horizont  
Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen in %

Mineralien	100-316	32-100	10-32	3-10	1-3	unter 1
Feldspat .....	15,4	20,1	22,2	22,3	12	—
Quarz .....	74,2	76,4	72,5	61,4	14,7	10
Opal .....	—	—	—	2,8	6,2	—
Glimmer .....	—	0,3	1,3	5,1	13,7	15
Illit .....	—	—	—	—	18,5	25
Eisenillit .....	6,4	1,4	0,4	2,8	6,8	10
Montmorillonit (Nontronit)	—	—	—	—	5,8	?
Kaolinit .....	—	—	—	0,2	? 8,6	40-50
Kalzit .....	—	—	—	—	0,3	—
hochlichtbrech. und opak .	0,5	1,7	3,6	4	0,7	—
Gesteine .....	3,5	—	—	—	—	—
? .....	—	—	—	1,4	12,7	—

Tabelle 14. Brauner Waldboden, Profil 900, B<sub>2</sub>-Horizont  
Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen in %

Mineralien	100-316	32-100	10-32	3-10	1-3	unter 1
Feldspat .....	15,1	23,1	21,6	17,3	8,5	—
Quarz .....	64,3	71,9	68,4	44,8	10,6	5
Opal .....	—	—	—	0,2	0,4	—
Glimmer .....	0,2	0,2	2,3	14	15	20
Illit .....	—	—	—	0,7	18,3	25
Eisenillit .....	15,7	2,7	3,1	16,2	20	20
Montmorillonit (Nontronit)	—	—	—	—	5,7	10-20
Kaolinit (Metahalloysit)...	—	—	—	0,4	6,1	10-20
Kalzit .....	—	—	—	—	—	—
hochlichtbrech. und opak .	—	2,2	4,1	5,2	0,8	—
Gesteine .....	4,6	—	—	—	—	—
? .....	—	—	0,6	1,1	14,6	—

Tabelle 15. Brauner Waldboden, Profil 900, C-Horizont  
Mineralgehalt der einzelnen Fraktionen in %

Mineralien	100-316	32-100	10-32	3-10	1-3	unter 1
Feldspat . . . . .	18,2	18,8	16,9	13,4	6,4	5
Quarz . . . . .	58	51,6	45,8	26,8	1,4	5
Opal . . . . .	—	—	—	0,2	0,4	—
Glimmer . . . . .	0,5	0,2	1,9	8,2	16,1	25
Illit . . . . .	—	—	—	0,2	11,9	15
Eisenillit . . . . .	—	5,1	2,1	6,1	7,3	10
Montmorillonit . . . . .	—	—	—	—	5,5	15
Kaolinit . . . . .	—	—	—	1,6	4,1	20
Kalzit . . . . .	15,9	21,4	28,6	36,8	31,7	5
hochlichtbrech. und opak .	0,3	1,8	4,7	3,8	1,3	—
Gesteine . . . . .	7,2	—	—	—	—	—
? . . . . .	—	1,1	—	2,9	13,9	—

Tabelle 16. Brauner Waldboden, Profil 900, A<sub>3</sub>-Horizont  
Interferenzen der Korngrößenfraktion unter 1 μ Radius

A <sub>3</sub> -Horizont d Intens.	Illit Intens.	Kaolinit Intens.	Andere Mineralien Bez. Intens.
10,25 st	st	—	
7,08 m	—	stst	
5,10 s	s-m	—	
4,54 m } 4,36 stst }	stst	stst	
4,17 m	—	st	
3,78 s	—	m	
3,57 s	s-m	—	
3,40 st	—	stst	
3,26 stst	(m)-stst	s	
3,15 s	—	—	Gl s-m
2,94 s	s-m	—	
2,76 ss	ss	—	
2,60 s-m } 2,54 st }	—	—	(No st)
2,42 m-st }	stst	st	
2,36 s-m }	s	st	
2,26 s-m }	s-m	st	
2,07 s-m }	s	st	
2,00 s-m }	s-m }	—	
1,96 m	m	m	
1,87 ss	—	s	
1,79 m	—	—	(El ss)
1,70 s }	—	s-m	(Qu st)
1,68 m }	s }	st	
1,62 m }	m }	m	
1,52 m	—	—	Qu st, Gl m, No st
1,49 st	st	st	
1,44 s	—	—	Qu s
1,40 ss	—	—	Qu ss
1,36 m-st	—	—	Qu stst
1,34 s	s	s-m	
1,28 m	m	m	
1,24 s	s	m	
1,22 ss	—	—	Qu s-m
1,19 s	—	s-m	
1,17 s	—	—	El ss

Tabelle 17. Brauner Waldboden, Profil 900, B<sub>2</sub>-Horizont  
Interferenzen der Korngrößenfraktion unter 1 $\mu$  Radius

B <sub>2</sub> -Horizont d Intens.	Illit Intens.	Eisenillit Intens.	Andere Mineralien Bezeichn. Intens.
10,20 st	st	stst	
4,64 s	—	—	Mh m
4,27 m-st	stst	stst	
4,05 s	—	s	
3,39 ss	(s-m)	ss	
3,21 st	m-st	m-st	
2,51 st	stst	st	
2,40 m	s	m-st	
2,34 m	s-m	m	
2,20 s	s	s	
2,09 s	s-m <sup>v</sup>	s	
1,98 s			
1,94 m	m	m	
1,79 s	—	(ss)	(Qu ? st)
1,68 s-m	s	m	
1,61 s-m	s-m	m	
1,52 s-m	—	—	Gl m/No st / Qu st
1,48 st	st	st	
1,43 ss	—	ss	(Qu s)
1,36 s(-m)	—	—	Qu stst
1,33 ss	s	ss	
1,29 m	m	m	
1,28 m	—	—	Qu s-m
1,26 ss	s	s	(Qu m)

Tabelle 18. Brauner Waldboden, Profil 900  
Chemische Zusammensetzung der Fraktion kleiner als 1 $\mu$  Radius

	900 A <sub>3</sub>	900 B <sub>2</sub>	900 C
SiO <sub>2</sub> . . . . .	46,44	45,14	43,93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	22,49	22,07	20,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	11,66	10,88	9,04
CaO . . . . .	1,28	1,48	3,75
MgO . . . . .	2,55	2,37	3,51
N <sub>2</sub> O . . . . .	1,52	1,35	0,72
K <sub>2</sub> O . . . . .	2,56	2,86	2,25
H <sub>2</sub> O + CO <sub>2</sub> . . . . .	11,22	13,49	14,89
SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	2,63	2,65	2,78
SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,51	3,48	3,55

## 2. Die quantitativen Ausmaße der Mineralumwandlungen

Die Beurteilung der quantitativen Ausmaße der Mineralzersetzung und -neubildung erfolgte beim braunen Waldboden nach den gleichen Methoden, die für den Steppenboden angewendet worden sind. Die Änderungen für Mineralgehalte gegenüber dem C-Horizont werden ermittelt für die aus 100 Teilen von C entstandenen Substanzmengen der einzelnen Horizonte (Tabelle 19). Die für jeden Horizont über Quarz und über Feldspat errechneten Substanzmengen stimmen in allen Fällen sehr gut überein, was die nach den beiden Methoden errechneten Feldspatgehalte beweisen, die für A<sub>1</sub> bei 14,8 und 14,7 liegen, für A<sub>3</sub> bei 14,8 und 15 und für B<sub>2</sub> bei 16,1 und 16,2. Im folgenden werden die über Quarz ermittelten Werte verwendet werden.

Tabelle 19. Brauner Waldboden, Profil 900  
Gesamtmineralgehalte (kalkfrei) in Gewichtsprozenten

Mineralien	a) Gewichtsprocente				b) Mineralgehalte für C = 100		
	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>2</sub>	C	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>2</sub>
Feldspat . . . . .	17	16,9	12,5	19,2	14,8 (14,7) <sup>1)</sup>	14,8 (15)	16,1 (16,2)
Quarz . . . . .	59,4	59,2	40,2	51,8	51,8	51,8	51,8
Glimmer . . . . .	5,2	4,7	10,1	8,2	4,5	4,1	13
Illit . . . . .	4,8	4,8	9,1	2,8	4,2	4,2	11,7
Eisenillit . . . . .	2,8	2,5	12	5,9	2,4	2,2	15,5
Montmorillonit..	2,2	0,3	4,7	1,9	1,9	0,3	6,1
Kaolinit . . . . .	3,9	6,8	6,9	3	3,4	6	8,9
Übrige . . . . .	5,2	4,6	4,3	6,8	4,5	4	5,5
Summe	100,5	99,8	100,0	99,6	87,5	87,4	128,6
zersetzt . . . . .	—	—	—	—	13,9	16,6	4,4
neugebildet . . . .	—	—	—	—	1,8	4,4	33,4
Differenz	—	—	—	—	—12,1	—12,2	+29

<sup>1)</sup> Zum Vergleich aus Feldspatzahlen ermittelt.

A<sub>1</sub>-Horizont.

Für die Bodenbildung im A<sub>1</sub>-Horizont sind aus den Mineralgehalten der einzelnen Fraktionen gegenüber denen des C-Horizontes an Veränderungen ersichtlich:

1. Verminderung im Gehalt an Feldspat, Glimmer, Eisenillit und Montmorillonit.
2. Zunahme an Illit und Kaolinit.

Die Änderungen der Gesamtmineralgehalte bestätigen gut diese für die einzelnen Fraktionen erzielten Ergebnisse. Die Verminderung ist bei Feldspat, Glimmer und Eisenillit stark, sie geht beim Feldspat von 19,2 in C auf 14,8; beim Glimmer von 8,2 auf 4,5 und beim Eisenillit von 5,9 auf 2,4. Für den Montmorillonit zeigen die Gesamtzahlen, anders als die Einzelzahlen der Fraktionen, keine Verminderung, sondern gleiche Gehalte, die jedoch nicht durch wirkliches Gleichbleiben im Laufe der Bodenbildung zu erklären sein werden, sondern wahrscheinlich durch Neubildung in jüngerer Zeit (Ackerkultur), welcher eine Zeit der Zersetzung vorausgegangen ist.

Anreicherung durch Neubildung zeigen die Gesamtzahlen für Illit und für Kaolinit. Die Zunahme geht beim Illit von 2,8 auf 4,2, sie ist mit 1,4 deutlich erkennbar, wenn berücksichtigt wird, daß die Menge der Tonmineralien insgesamt mit 12,7 gegen 13,3 abgenommen hat. Die Zunahme an Kaolinit von 3 auf 3,4 ist unbedeutend.

Von 100 Teilen des C-Horizontes sind im  $A_1$  insgesamt 13,9 Teile zersetzt. Neubildet sind 1,8 Teile. Demnach sind im  $A_1$ -Horizont mit 12,1 von 100 Teilen des C-Horizontes fast alle aus der Zersetzung der Mineralien frei gewordenen Bestandteile im Laufe der Bodenbildung abgewandert und für den  $A_1$ -Horizont verloren gegangen. Nur ein kleiner Teil, etwas mehr als 10%, hat zur Neubildung von Tonmineralien im gleichen Horizonte geführt.

#### $A_3$ -Horizont.

Die Ergebnisse der Untersuchungen der einzelnen Fraktionen zeigen für den  $A_3$ -Horizont ähnliche Umwandlungen der Mineralien wie beim  $A_1$ .

Die Gesamtgehalte der Mineralien auf C bezogen ergeben für  $A_3$  etwa gleiche Verminderungen wie beim  $A_1$  für Feldspat und Eisenillit. Der Gehalt an Glimmer ist stärker vermindert, desgleichen der Gehalt an Montmorillonit von 1,9 auf 0,3.

Die Zunahme im Gesamtgehalt ist für den Illit gleich hoch wie in  $A_1$ , dagegen ist der Gehalt an Kaolinit von 3 auf 6 wesentlich stärker erhöht. Im  $A_3$ -Horizont ist damit Kaolinitbildung nachgewiesen.

Von 100 Teilen des C-Horizontes sind im  $A_3$  insgesamt 16,6 zersetzt, also etwas mehr als im  $A_1$ . Diesem Verlust steht eine Zunahme an neugebildeten Mineralien von nur 4,4 Teilen gegenüber. Der Gesamtverlust infolge Bodenbildung durch Zersetzung und Auswaschung mit der Bodenlösung ist mit 12,2 Teilen etwa gleich hoch wie im  $A_1$ -Horizont. Zur Neubildung an Mineralien wurden nur 25% der zersetzten Mineralbestandteile verbraucht.

#### $B_2$ -Horizont.

Die gegenüber den A-Horizonten andere Art der Mineralumwandlungen im  $B_2$ -Horizont ist in ihren Hauptzügen aus den Darstellungen der verschiedenen Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen ersichtlich:

1. Verminderung ist erfolgt fast nur beim Feldspat. Geringe Verminderung der Prozentgehalte an Glimmer, Montmorillonit und Kaolinit war für die feinen Fraktionen ersichtlich.
2. Zunahme an neugebildeten Mineralien ist für Illit und Eisenillit zu erkennen, letzterer ist in der größten Korngrößenfraktion mit Konkretionen, in den feinen Fraktionen mit Blättchen nachgewiesen.

In den auf C = 100 berechneten gesamten Mineralgehalten hat nur der Gehalt an Feldspat von 19,2 auf 16,1 abgenommen, der Gehalt aller übrigen Mineralien hat zugenommen, selbst der an Glimmer. Diese Zunahme des Glimmers müßte als Einschlämmung aus den oberen Horizonten in Solform erfolgt sein. Der Gehalt an Glimmer ist von 8,2 auf 13 beträchtlich angewachsen. In den groben Fraktionen ist der Glimmergehalt ebenso hoch wie im C-Horizont, in den feinen ist er niedriger. Der Gesamtgehalt an Glimmer wird nur gesteigert mit der starken Zunahme des  $B_2$ -Horizontes am gesamten Feinmaterial.

Die mengenmäßig am meisten vertretenen Mineralien, zugleich die charakteristischen des B-Horizontes, sind der Eisenillit mit 15,5 Teilen (auf 100 von C) und, neben dem Glimmer, der Illit mit 11,7. Beide haben gegenüber ihrem Gehalt im C-Horizont von 5,9 bzw. 2,8 stark zugenommen. Auch Montmorillonit und Kaolinit nehmen hohe Anteile ein mit 6,1 und 8,9. Sie sind z. T. durch Neubildung im B<sub>2</sub>-Horizont entstanden und wahrscheinlich in größerem Ausmaße aus den überliegenden Horizonten eingeschwemmt.

Der geringen Abnahme im Mineralgehalt von 4,4 steht eine sehr starke Zunahme von 33,4 Teilen auf 100 des C-Horizontes gegenüber. Nur 4,4 Teile sind im B<sub>2</sub>-Horizont durch direkte Umwandlung neu gebildete Mineralien. Die überwiegende Menge der angereicherten Mineralien mit 29 auf 100 Teile von C sind aus den überliegenden Horizonten eingeschwemmt oder aus den in den A-Horizonten gelösten und ausgelaugten Stoffen neu gebildet.

### 3. Die Ergebnisse der Mineralumwandlungen im braunen Waldboden

Für die beiden A-Horizonte des braunen Waldbodens ist starke Mineralzersetzung und Auslaugung bei geringer Mineralneubildung charakteristisch (Abb. 27). Über 12 Teile von 100 des C-Horizontes sind in jedem der beiden A-Horizonte in Verlust geraten. Starke Zersetzung haben erfahren die Feldspäte, die Glimmer und die Eisenillite. Neu gebildet wurden Illite und Kaolinite. Der Kaolinit ist als das charakteristische Mineral der Neubildung im A<sub>3</sub>-Horizont anzusehen.

Im B<sub>2</sub>-Horizont herrschen ganz andere Vorgänge. Die Mineralzersetzen erreichen mit 4,4 Teilen (von 100 in C) ein sehr geringes Ausmaß bei fehlender Auslaugung. Sehr stark ist die Zunahme mit 29 Teilen auf 100 von C durch Zufuhr von Mineralien oder gelösten Stoffen aus den A-Horizonten.

Die Mengenanteile aller Tonmineralien haben zugenommen, auch die der Glimmer. Stärkste Zunahme und zugleich höchste Anteile an Gesamtmineralgehalt erreichen der Eisenillit mit einer Zunahme auf 15,5 von 5,9 Teilen in C und der Illit auf 11,7 von 2,8. Der Eisenillit ist das charakteristische neu gebildete Mineral der B-Horizonte.

Der Eisenillit ist, wie die Bildung von Konkretionen und von größeren Kristallblättchen beweist, durch Ausfällung der von den oberen Horizonten in der Bodenlösung zugeführten ionogen gelösten Stoffe der Mineralzersetzung neu entstanden.

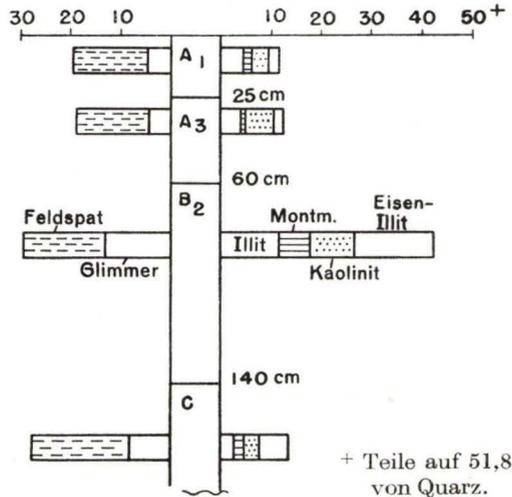


Abb. 27. Gesamtmineralgehalte (berechnet auf C = 100) der Horizonte des Profils 900 (brauner Waldboden).

Für die anderen Mineralien ist Neubildung durch Ausfällung aus der Bodenlösung nicht erweisbar. Ein Teil der Illite wird in direkter Umwandlung aus Feldspäten bei deren Zersetzung hervorgegangen sein. Illite sind sicher neu gebildet, wie die Zunahme ihrer Prozentgehalte innerhalb der einzelnen Fraktionen erkennen läßt.

Auf Wanderung von Mineralien in Solform weist die Zunahme im Gesamtgehalt an Glimmer hin, auf einen Mengenanteil von 13 im  $B_2$ -Horizont gegenüber 8,2 im C. Diese Zunahme an Glimmer kommt nur durch starke Anreicherung an feinen Korngrößen im  $B_2$ -Horizont zustande. Auf gleiche Weise werden auch Kaolinit und Montmorillonit angereichert sein, für sie erscheint Zuwanderung zum  $B_2$ -Horizont in Solform ebenfalls möglich.

### III. Die Mineralumwandlungen im Bruchwaldboden

(hierzu Tabellen 20–27)

Das zur mineralogischen Untersuchung herangezogene Profil des Bruchwaldbodens (Bruchmarschbodens) 297, das auf Seite 18 beschrieben ist, zeigt in allen vier Horizonten ( $A_1$ ,  $G_1$ ,  $G_2$  und  $G_3$ ) tonigen Charakter. An der Korngrößenzusammensetzung

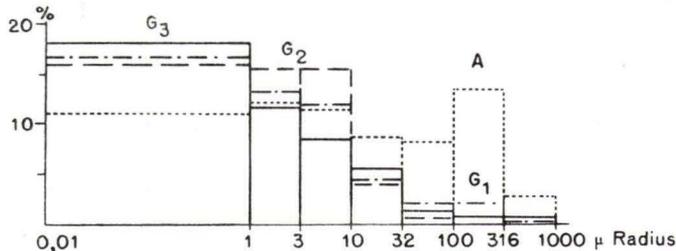


Abb. 28. Korngrößenzusammensetzung des Profils 297 (Bruchwaldboden).

ist die Tonfraktion (kleiner als  $1 \mu$  Radius) mit den sehr hohen Anteilen von 44–72% beteiligt (Abb. 28). Diese gegenüber den Profilen des Steppenbodens und des braunen Waldbodens stark verschiedene Korngrößenzusammensetzung bedingt gegenüber diesen auch eine andere Zusammensetzung des Gesamtmineralbestandes.

Ein C-Horizont wurde beim Bruchwaldboden erst in tief liegenden Sanden und Kiesen erreicht. Mit seiner völlig anderen Korngrößenzusammensetzung kommt er zur Ermittlung der Mineralumwandlungen durch Bodenbildung nicht in Frage.

Die Bestimmung der Änderungen der Mineralgehalte durch Bodenbildung ist für die einzelnen Fraktionen möglich durch Vergleich mit den Mineralgehalten der einzelnen Fraktionen des C-Horizontes des Profils 325 (als nächstgelegenes Profil mit untersuchtem C-Horizont).

Die quantitativen Ausmaße der Mineralumwandlungen werden nur beim  $A_1$ -Horizont durch Vergleich mit der Mineralzusammensetzung des C-Horizontes vom Profil 325 bestimmt. Für die G-Horizonte werden mit Hilfe der Feldspatzahl und der Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen des C-Horizontes 325 die bei maximalen Tonanteilen möglichen C-Horizonte errechnet.

1. Die Änderungen der Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen

Ein Vergleich der Quarzgehalte (Abb. 29) der einzelnen Fraktionen der verschiedenen Horizonte des Bruchwaldbodens mit denen des C-Horizontes des Profils 325 zeigt Anreicherung für den Quarz in den mittleren Korngrößenfraktionen zwi-

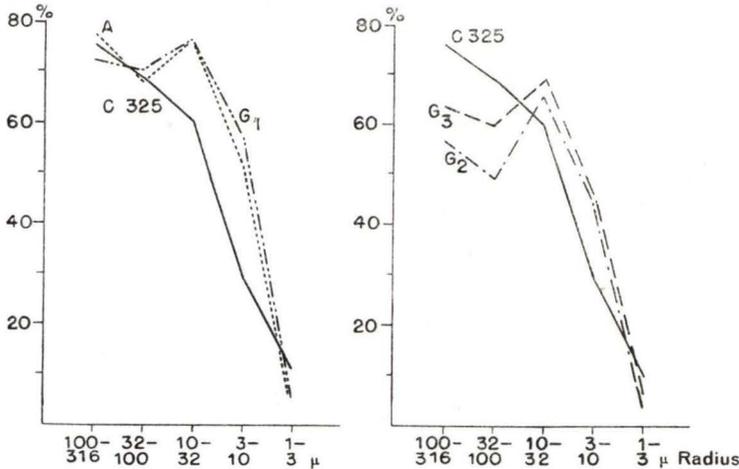


Abb. 29. Prozentgehalt an Quarz der Horizonte des Profils 297 (Bruchwaldboden) und des C-Horizontes von Profil 325.

schen 3 und 32 μ Radius. Der geringere Gehalt an Quarz, besonders der Horizonte G<sub>2</sub> und G<sub>3</sub>, in den groben Fraktionen ist durch hohe Gehalte an Eisenillitkongretionen bedingt. In den feinen Fraktionen unter 3 μ ist der Quarzgehalt durch die Anreicherung an Tonmineralien vermindert.

Die Feldspatzahlen (Abb. 30) sind in den einzelnen Fraktionen aller vier Horizonte sehr niedrig im Vergleich zu den Feldspatzahlen des C-Horizontes 325. Ein Vergleich mit den Feldspatzahlen des A<sub>1</sub>-Horizontes des Profils 900 zeigt, daß die der

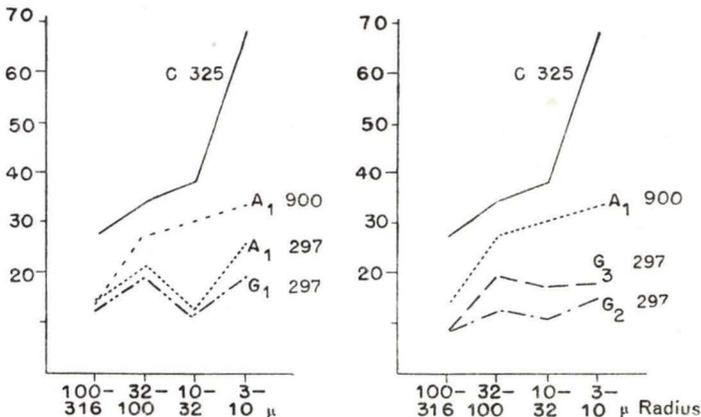


Abb. 30. Feldspatzahlen der Horizonte des Profils 297 (Bruchwaldboden) und der Horizonte A<sub>1</sub> und C von Profil 900 und 325.

A- und G-Horizonte des Profils 297 noch wesentlich niedriger sind als die des A<sub>1</sub> 900. Am stärksten ist der Unterschied in der Fraktion 10–32  $\mu$ , in der einer Feldspatzahl von 30 des A<sub>1</sub>-Horizontes (Profil 900) die Feldspatzahl 10 im G<sub>2</sub>-Horizont des Profils 297 gegenübersteht. Die Horizonte A<sub>1</sub>, G<sub>1</sub> und G<sub>3</sub> haben wenig verschiedene Feldspatzahlen, der G<sub>2</sub> hat im allgemeinen niedrigere.

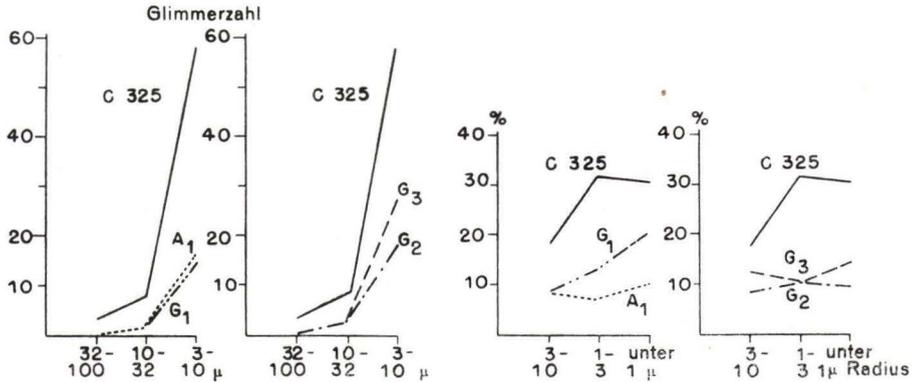


Abb. 31. Glimmerzahlen und Prozentgehalte an Glimmer der Horizonte des Profils 297 (Bruchwaldboden) und des C-Horizontes von Profil 325.

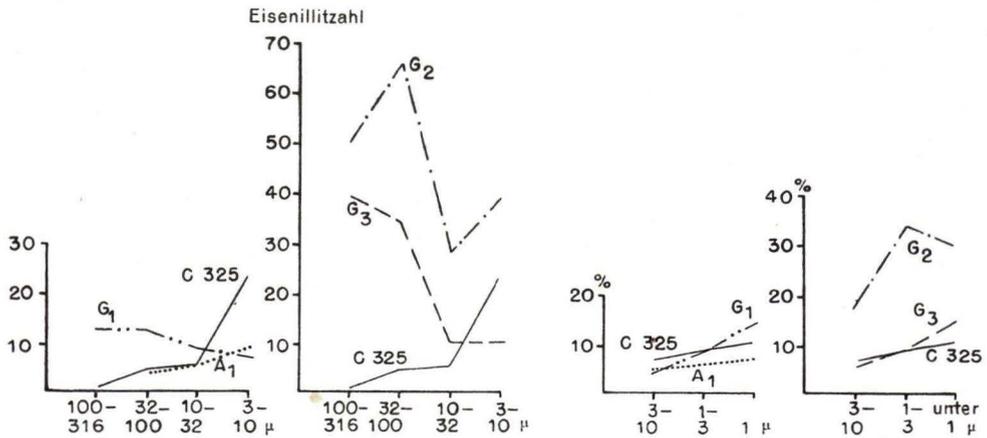


Abb. 32. Eisenillitzahl und Prozentgehalte an Eisenillit der Horizonte des Profils 297 (Bruchwaldboden) und des C-Horizontes von Profil 325.

Die Glimmerzahlen (Abb. 31) sind für alle Horizonte niedriger als die des C-Horizontes 325, sie liegen im Bereich der bei den anderen Profilen für die durch Bodenbildung veränderten Horizonte ermittelten Werte. Das Gleiche gilt für die Prozentzahlen des Glimmers bei den feinen Fraktionen, die bei allen Horizonten niedrige Werte ergaben.

Der Eisenillit ist für die G-Horizonte des Naßbodens von großer Bedeutung. Nur im A<sub>1</sub>-Horizont hat er geringere Gehalte als der C-Horizont 325. Die G-Horizonte

(Abb. 32) zeigen alle Anreicherung an Eisenillit in den Korngrößen über  $10\mu$  für die Eisenillitzahl und in den feinsten Fraktionen für den Prozentgehalt. Gering ist die Anreicherung im  $G_1$ -Horizont, stärker die im  $G_3$ , bei dem vor allem viele Konkretionen in den groben Fraktionen auftreten. Sehr hoch ist der Gehalt an Eisenillit in allen Fraktionen des  $G_2$ -Horizontes, in dem er auch als charakteristisches Tonmineral eine große Rolle spielt. Die höchsten Eisenillitzahlen haben die groben Fraktionen. Für die Korngröße  $32-100\mu$  mit 66 gegenüber 3,3 im C-Horizont 325 ist die Anreicherung besonders stark. Die Hauptmenge der in dieser Fraktion gezählten Eisenillite sind Konkretionen, doch sind gerade im  $G_2$ -Horizont auch zahlreiche Eisenillitblättchen enthalten. In den feinen Fraktionen gehen die Prozentzahlen bis zu 34 im  $G_2$ -Horizont hinauf gegenüber 9,5 im C.

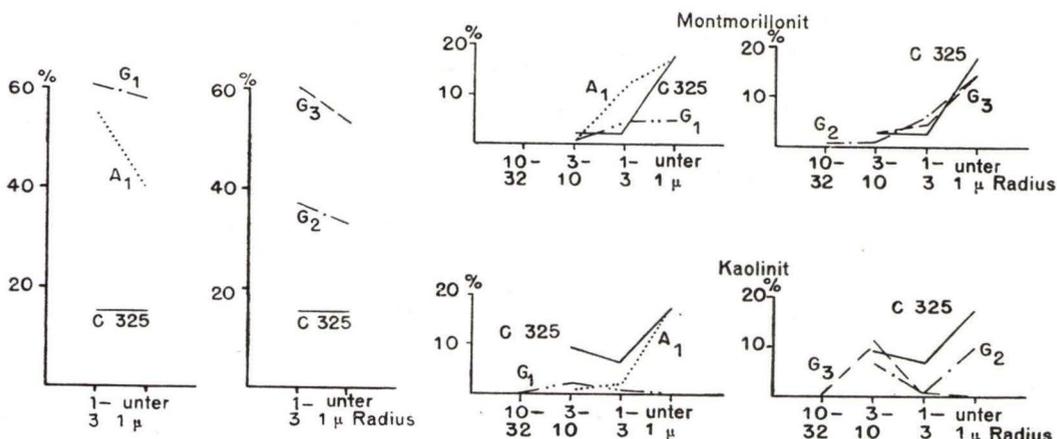


Abb. 33.

Abb. 34.

Abb. 33. Prozentgehalt an Illit der Horizonte des Profils 297 (Bruchwaldboden) und des C-Horizontes von Profil 325.

Abb. 34. Prozentgehalte an Montmorillonit und Kaolinit der Horizonte des Profils 297 (Bruchwaldboden) und des C-Horizontes von Profil 325.<sup>1</sup>

Die Illite (Abb. 33) sind in allen vier Horizonten in den beiden feinsten Fraktionen sehr stark angereichert. Am höchsten ist die Anreicherung im  $G_1$  und im  $G_3$ . Für beide wurden Prozentgehalte bis zu 60 ermittelt gegenüber 15% im C 325. Die Illite sind damit die wichtigsten Tonminerale der untersuchten A- und G-Horizonte der mineralischen Naßböden. Lediglich im  $G_2$ -Horizont wird die Menge der Illite nahezu durch die der Eisenillite erreicht.

Die Montmorillonitgehalte (Abb. 34) zeigen für die einzelnen Fraktionen keine wesentlichen Veränderungen gegenüber C 325. Für den  $G_1$ -Horizont wurden geringere Gehalte in der feinsten Fraktion festgestellt. Der  $A_1$ -Horizont weist in der Fraktion  $1-3\mu$  höhere Gehalte auf.

Der Kaolinit (Abb. 34) ist in den einzelnen Fraktionen der vier Horizonte des Profils 297 gegenüber dem C-Horizont 325 im allgemeinen mit geringeren Gehalten vertreten.

Tabelle 20. Bruchwaldboden, Profil 297, A<sub>1</sub>-Horizont  
Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen in %

Mineralien	100-316	32-100	10-32	3-10	1-3	unter 1
Feldspat .....	13,9	21,4	12,5	25,6	2,8	—
Quarz .....	78,5	68,3	77,1	52,2	4,2	5-10
Opal .....	—	—	—	1,4	0,9	—
Glimmer .....	—	0,3	1,4	8,6	7	10
Illit .....	—	—	—	—	55,5	40
Eisenillit .....	0,5	3	4,2	4,8	6,1	5-10
Montmorillonit .....	—	—	—	0,7	11,3	15-20
Kaolinit .....	—	0,1	—	1	2,3	15-20
Kalzit .....	—	—	—	0,2	? 2,4	—
hochlichtbrech. und opak .	0,8	4,4	4,2	3,4	1,9	—
Gesteine .....	6,3	0,7	—	—	—	—
? .....	—	1,8	0,6	2,1	5,6	—

Tabelle 21. Bruchwaldboden, Profil 297, G<sub>1</sub>-Horizont  
Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen in %

Mineralien	100-316	32-100	10-32	3-10	1-3	unter 1
Feldspat .....	12,5	19,5	11,8	19,1	0,9	—
Quarz .....	73,3	70,4	76,8	57,1	4,7	2
Opal .....	—	—	—	0,9	1,3	—
Glimmer .....	—	0,1	1,8	8,6	13,3	20
Illit .....	—	—	—	—	60,5	58
Eisenillit .....	9,4	9	7,4	4,1	7,7	15
Montmorillonit .....	—	—	—	0,6	4,7	5
Kaolinit .....	—	—	0,4	2,1	0,9	—
Kalzit .....	—	—	—	—	—	—
hochlichtbrech. und opak .	0,4	0,4	1,6	6	2,1	—
Gesteine .....	4,4	—	—	—	—	—
? .....	—	0,6	0,2	1,5	3,9	—

Tabelle 22. Bruchwaldboden, Profil 297, G<sub>2</sub>-Horizont  
Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen in %

Mineralien	100-316	32-100	10-32	3-10	1-3	unter 1
Feldspat .....	7,6	12,3	10,1	14,3	3,8	—
Quarz .....	57	49,6	66	44,4	3	2
Opal .....	—	—	—	—	—	—
Glimmer .....	—	0,2	2	8,5	10,1	10
Illit .....	—	—	—	—	37,1	33
Eisenillit .....	28,5	32,7	18,5	17,3	34,2	30
Montmorillonit (Nontronit)	—	—	? 0,2	1	6,3	15 (No)
Kaolinit .....	—	—	—	6,9	0,4	10
Kalzit .....	—	—	—	—	—	—
hochlichtbrech. und opak .	0,7	4,4	3	3,1	—	—
Gesteine .....	6,3	0,2	—	—	—	—
? .....	—	0,5	0,2	4,5	5,1	—

Tabelle 23. Bruchwaldboden, Profil 297, G<sub>3</sub>-Horizont  
Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen in %

Mineralien	100-316	32-100	10-32	3-10	1-3	unter 1
Feldspat .....	8,1	19,2	17	17,7	3,3	—
Quarz .....	63,2	60	69,2	45,7	6,9	2
Opal .....	—	—	—	—	—	—
Glimmer .....	0,2	—	2	12,5	10,6	15
Illit .....	—	—	—	—	60,2	53
Eisenillit .....	25,2	20,4	8,5	5,7	9,8	15
Montmorillonit (Nontronit)	—	—	—	2,8	4,5	15 (No)
Kaolinit .....	—	—	—	? 9,2	—	—
Kalzit .....	—	—	—	—	—	—
hochlichtbrech. und opak	—	0,2	2,8	2,6	1,2	—
Gesteine .....	3,3	—	—	—	—	—
? .....	—	0,2	0,4	2,8	3,6	—

## 2. Die quantitativen Ausmaße der Mineralumwandlungen

### a) A<sub>1</sub>-Horizont

Beim A<sub>1</sub>-Horizont ist der Prozentgehalt an Feldspat mit 7,6 (Tabelle 27) ebenso hoch wie der über die Feldspatzahl auf 100 Teile des C-Horizontes 325 mit 7,1 zu berechnende Feldspatgehalt. Der Feldspatgehalt im A<sub>1</sub>-Horizont ist daher vor der Bodenbildung von dem des heutigen C-Horizontes 325 nicht viel verschieden gewesen. Da außerdem der Quarzgehalt mit 33,5% (gegenüber 44 im C 325) im Vergleich zu dem der G-Horizonte mit 10-15% noch verhältnismäßig hoch ist, kann der C-Horizont des Profils 325 für eine überschlägige Bestimmung der Umwandlungen von größeren Mineralmengen durch Vergleich der Prozentzahlen beider Horizonte herangezogen werden.

Die Untersuchungen der einzelnen Korngrößenfraktionen ergaben für den A<sub>1</sub>-Horizont im Vergleich zu den Mineralgehalten des C-Horizontes 325:

1. Verminderung im Gehalt an Feldspat, Glimmer und Eisenillit.
2. Bedeutende Zunahme an Illit und geringe an Montmorillonit.

Der direkte Vergleich der Prozentzahlen des Gesamtmaterials von A<sub>1</sub> mit C 325 erbringt die Bestätigung für starke Zersetzung durch Verminderung der Gehalte an Feldspat und Glimmer und für geringfügige Zersetzung des Eisenillits (Tabelle 27, S. 64).

Starke Zunahme ist für den Illit nachweisbar, geringe ist für Montmorillonit und Kaolinit zu erkennen. auch hierin werden die für die einzelnen Fraktionen ermittelten Untersuchungsergebnisse gut bestätigt.

Die gesamten zersetzten Mineralmengen sind mit 19,9% recht hoch. Noch höher sind die Mengen der im A<sub>1</sub>-Horizont neu gebildeten und angereicherten Mineralien mit 29,2%. Dieser hohe Gehalt an Tonmineralien im A<sub>1</sub>-Horizont ist nicht aus der im C-Horizont 325 zersetzten Menge an Mineralien zu erklären, sondern durch höheren Anteil an Feinmaterial im Ausgangsmaterial für die Bildung des A<sub>1</sub>-Horizontes oder durch Einschwemmung durch das Grundwasser im Laufe der Bodenbildung.

Tabelle 24. Bruchwaldboden, Profil 297, G<sub>2</sub>-Horizont  
Interferenzen der Korngrößenfraktion unter 1μ Radius

G <sub>2</sub> -Horizont d Intens.	Illit Intens.	Eisenillit Intens.	Andere Mineralien Bez. Intens.
9,94 st	st	stst	
6,99 s v	—	s v	(K st)
5,10 ss	s-m	s	
4,53 s } 4,30 st }	stst	st } stst }	
4,10 s	—	s	(K st)
3,41 s-m	(s-m)	ss	(K st)
3,25 st	m-st	m-st	
3,15 s	—	—	Gl m/(Mo st)
2,91 ss	ss	ss	
2,79 ss	ss	—	Gl s
2,58 s	—	—	No st
2,52 st	stst	st	
2,40 m-st } 2,34 s }	s s-m	m-st } m }	
2,22 s } 2,09 s }	s } s-m }	s } s }	
1,96 s-m br	m	m	
1,79 s-m	—	(ss)	(Qu ? st)
1,69 m } 1,63 m }	s } m }	s-m } s-m }	
1,51 s	—	—	No st/(Qu ? st)
1,48 st	st	st	
1,43 ss	—	ss	
1,36 s-m	—	—	Qu stst
1,33 s	s	ss	
1,29 m	m	m	
1,24 s	s	s	
1,19 s	—	ss	
1,17 s	—	ss	

Tabelle 25. Bruchwaldboden, Profil 297, G<sub>3</sub>-Horizont  
Interferenzen der Korngrößenfraktion unter 1μ Radius

G <sub>3</sub> -Horizont d Intens.	Illit Intens.	Eisenillit Intens.	Andere Mineralien Bez. Intens.
9,94 st	st	stst	
6,91 s v	—	s v	(K st)
4,49 s } 4,34 stst }	stst	st } stst }	
4,10 s	—	s	(K st)
3,43 s	(s-m)	ss	(K st)
3,25 st	m-st	m-st	
2,98 s } 2,77 s }	s-m ss	ss —	(Gl s)
2,58 s	—	—	No st
2,52 stst	stst	stst	
2,42 s-m } 2,35 s-m }	s s-m	m-st } m }	
2,20 s } 2,10 s }	s } s-m }	s } s }	
1,99 s } 1,96 s-m }	m	m	
1,85 ss	—	(ss)	
1,78 s	—	(ss)	
1,68 s-m } 1,62 s-m }	s } m }	s-m } s-m }	
1,52 s	—	—	No st/Qu st
1,48 st	stst	st	
1,36 s	—	—	Qu stst
1,33 s	s	ss	
1,29 m	m	m	
1,24 s	s	s	
1,19 s } 1,17 s }	— —	ss } ss }	

Tabelle 26. Bruchwaldboden, Profil 297  
Chemische Zusammensetzung der Fraktion kleiner als  $1\mu$  Radius

	297 G <sub>1</sub>	297 G <sub>2</sub>	297 G <sub>3</sub>
SiO <sub>2</sub> .....	48,71	45,08	49,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	24,58	22,62	23,97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	6,06	11,27	6,68
CaO .....	0,90	1,17	0,89
MgO .....	3,47	2,57	2,47
Na <sub>2</sub> O .....	nicht best.	1,14	1,34
K <sub>2</sub> O .....	nicht best.	2,65	3,19
H <sub>2</sub> O .....	12,69	13,08	11,31
SiO <sub>2</sub> .....	2,91	2,57	2,97
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....			
SiO <sub>2</sub> .....	3,37	3,38	3,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....			

Tabelle 27. Bruchwaldboden (mineralischer Naßboden), Profil 297  
Gesamtmineralgehalte in Gewichtsprozenten, Vergleich mit dem C-Horizont 325  
und errechneten G(C)-Horizonten

Mineralien	a) Gewichtsprocente					b) Errechnete C-Horizonte		
	325 C	297				297		
		A <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>
Feldspat .....	17	7,6	3,4	3,1	3	9,2	11,5	7,2
Quarz .....	44	33,5	14,7	12	10,7	23,8	29,8	18,6
Glimmer .....	13,3	7	16,8	9,9	14	26,1	22,3	29,4
Illit .....	4	25,7	47,1	27,5	46,2	7,9	6,7	8,8
Eisenillit .....	6,3	5	12,1	28,6	13,6	12,4	10,5	13,9
Montmorillonit ...	3,5	8,1	3,4	9,2	10	6,9	5,9	7,8
Kaolinit .....	5,2	8,1	0,4	7,3	0,9	10,2	8,7	11,5
Übrige .....	6,1	3,8	2,2	2,1	1,2	3,6	4,5	2,8
Summe	100,2	98,8	100,1	99,7	99,6	100,1	99,9	100
zersetzt .....	—	19,9	—	—	—	30,1	24,6	32,1
neugebildet .....	—	29,2	—	—	—	39,2	42,2	39,5
Differenz	—	+ 9,3	—	—	—	+ 9,1	+ 17,6	+ 7,4

Die Ergebnisse der Mineralwandlungen sind: Starke Abnahme von Feldspat und Glimmer und wahrscheinlich geringe an Eisenillit durch Zersetzung und starke Zunahme an Illit als Umwandlungsprodukt, geringe Zunahme an Montmorillonit und möglicherweise auch an Kaolinit.

#### b) Die G-Horizonte

Die 100 Teilen des C-Horizontes (325) entsprechenden Substanzmengen der G-Horizonte liegen nach Berechnung über die bei der Bodenbildung etwa gleichbleibenden Quarzmengen zwischen 262 und 373. Die über die Feldspatzahlen aus C 325 zu errech-

nenden Substanzmengen der G-Horizonte sind mit 148 bis 237 etwas niedriger. Durch die Bodenbildung erfolgt i. a. keine derartige Vervielfachung der Substanzmengen, wie sie diese Rechnungen verlangen würden bei Annahme einer Ausgangssubstanz für die G-Horizonte mit der Zusammensetzung des C-Horizontes 325. Das Ausgangsmaterial für die Bildung der G-Horizonte muß daher eine andere Zusammensetzung gehabt haben als der C-Horizont 325, es muß wesentlich feinkörniger gewesen sein.

Zur Rekonstruktion der wahrscheinlichen Zusammensetzung des Materials, aus dem die G-Horizonte entstanden sein können, verhelfen die Feldspatzahlen, die für diesen Zweck anders als bisher verwendet werden. Aus den Prozentgehalten an Feldspat in den C-Horizonten wird über die Feldspatzahlen der G-Horizonte und des C-Horizontes 325 der zu 100 Teilen jedes G-Horizontes gehörende Feldspatgehalt von theoretischen C-Horizonten errechnet. Der Quarzgehalt für die bestimmte Feldspatmenge ist aus dem Quarz-Feldspat-Verhältnis des C-Horizontes 325 zu ermitteln. Für die Berechnung der übrigen Mineralmengen ist entscheidend, daß die G-Horizonte sehr hohe Gehalte an neu gebildeten Mineralien, vor allem Illit, enthalten, welche darauf hindeuten, daß keine bedeutenden Stoffabwanderungen stattgefunden haben können, sondern daß die aus der Mineralersetzung frei gewordenen Stoffe vollständig zur Neubildung von Tonmineralien verbraucht worden sind. Die G-Horizonte können also nicht aus größeren Mengen einer Ausgangssubstanz entstanden sein, eher aus einer geringeren Menge, wenn Materialzufuhr aus anderen Horizonten möglich war. Zur Bildung von 100 Teilen G werden daher höchstens 100 Teile eines Ausgangsmaterials am Bildungsort des G-Horizontes vorhanden gewesen sein. Die Mineralien der feinen Fraktionen werden aus diesem Grunde zusammen mit den für Feldspat und Quarz erhaltenen Werten zu 100 Teilen aufgerechnet, wobei die verschiedenen Tonmineralien entsprechend ihrem gegenseitigen Mengenverhältnis im C-Horizont 325 übernommen werden.

#### G<sub>1</sub>-Horizont.

Die Ergebnisse der Vergleiche der Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen vom G<sub>1</sub> mit C 325 sind:

1. Starke Verminderung im Gehalt an Feldspat und Glimmer, geringe Verminderung im Gehalt an Kaolinit und Montmorillonit.
2. Besonders starke Zunahme an Illit. Der Gehalt an Eisenillit hat in den groben und feinsten Fraktionen zugenommen (in den mittleren hat er dagegen etwas abgenommen).

Ein Vergleich der Gesamtmengen der Mineralien des G<sub>1</sub>-Horizontes (Tabelle 27, S. 64) mit denen des berechneten „C-G<sub>1</sub>“ bestätigt diese für die einzelnen Fraktionen möglichen Beobachtungen. Starke Abnahme zeigen Feldspat, Glimmer und Kaolinit, geringere der Montmorillonit. Der Eisenillit ist in seinem Gehalt gleich geblieben. Zugenommen und zwar sehr stark von 7,9 auf 47,1 hat als einziges Mineral der Illit.

Der Menge an zersetzten Teilen von 30,1 im G<sub>1</sub> gegenüber dem C-G<sub>1</sub> steht die an gebildeten Teilen von 39,2 entgegen. Die Zunahme ist also stärker als die Abnahme. Die tatsächliche Zunahme wird wahrscheinlich noch bedeutend stärker sein, da für

den Gehalt an Tonmineralien im C-G<sub>1</sub> maximale Werte angesetzt worden sind, die sicher zu hoch sein werden. Mit einer Anreicherung an Tonmineralien durch Einschwemmung mit dem Grundwasser kann gerechnet werden.

#### G<sub>2</sub>-Horizont.

Wie beim G<sub>1</sub>-Horizont sind beim G<sub>2</sub> aus den Untersuchungen der Mineralgehalte der einzelnen Fraktionen starke Zersetzung mit Verminderung der Gehalte an verwitterbaren Mineralien und große Mengenzunahme an neugebildeten Mineralien zu erkennen.

1. Starke Abnahme zeigen Feldspat und Glimmer, ersterer noch stärkere als im G<sub>1</sub>. Auch der Kaolinitgehalt ist vermindert.
2. Zunahme erfolgt mit großen Mengen für Illit und Eisenillit. Der Gehalt an Montmorillonit ist etwa gleich hoch wie im C 325.

Gleiche Ergebnisse bringt der quantitative Vergleich der Gesamtmineralgehalte des G<sub>2</sub>-Horizontes mit denen des „C-G<sub>2</sub>“. Feldspat und Glimmer haben stark abgenommen, Illit und Eisenillit haben in noch stärkerem Maße zugenommen auf 27,5% und 28,6%. Der Montmorillonitgehalt ist etwas erhöht, der Gehalt an Kaolinit ist wenig vermindert. Die Abnahme an Feldspat ist in diesem Horizont noch stärker als im G<sub>1</sub>.

Zersetzt sind insgesamt 24,6 Teile, hinzugekommen sind dagegen 42,2. Die Zunahme ist bedeutend stärker als die Abnahme, sie ist als Anreicherung durch Einschwemmung mit dem Grundwasser zu erklären. Die charakteristischen Mineralien des G<sub>2</sub>-Horizontes sind Illit und Eisenillit.

#### G<sub>3</sub>-Horizont.

Der G<sub>3</sub>-Horizont gleicht in seiner Mineralzusammensetzung weitgehend dem G<sub>1</sub>. Aus den Mineralgehalten der Gesamtsubstanz sind wie aus denen der einzelnen Fraktionen die gleichen Mineralumwandlungen zu erschließen:

1. Starke Abnahme für Feldspat und Glimmer, geringere für Kaolinit.
2. Zunahme an Illit mit großen Mengen. Für Montmorillonit ist geringe Zunahme erkennbar.

Der Eisenillitgehalt ist gleichgeblieben. Das Haupttonmineral mit einem Gehalt von fast 50% des Gesamtmaterials, zugleich das charakteristische Mineral der Neubildung, ist im G<sub>3</sub> ebenso wie im G<sub>1</sub> der Illit.

### 3. Die Ergebnisse der Mineralumwandlungen im Bruchwaldboden

Ab- und Zunahme der Gesamtmineralgehalte sind in der Abbildung 35 dargestellt. Für den A<sub>1</sub>-Horizont ist zum Vergleich der C-Horizont 325 mit aufgezeichnet, für die G-Horizonte der berechnete C-G<sub>1</sub>, der von den drei für die G-Horizonte ermittelten Ausgangssubstanzen ungefähr mittlere Zusammensetzung hat.

Für die Bodenbildung im mineralischen Naßboden ist kennzeichnend starke Zersetzung von Feldspat und Glimmer, die gegenüber der bei den anderen Bodentypen und auch beim rezenten Schwemmlehm, dem C-Horizont 901, beobachteten bedeutend intensiver ist.

Aus der Zersetzung von Feldspat und Glimmer sind große Mengen an Illit neu entstanden, welche zu der kräftigen Vertonung der einzelnen Horizonte geführt haben. Nur geringe Mengen gelöster Stoffe dürften in Verlust geraten sein, der Stoffbestand ist in der Hauptsache erhalten und durch Zufuhr aus dem Grundwasser wesentlich vermehrt.

Neugebildet und angereichert ist der Illit, welcher als das charakteristische Mineral der G-Horizonte des Profils 297, eines mineralischen Naßbodens, anzusprechen ist.

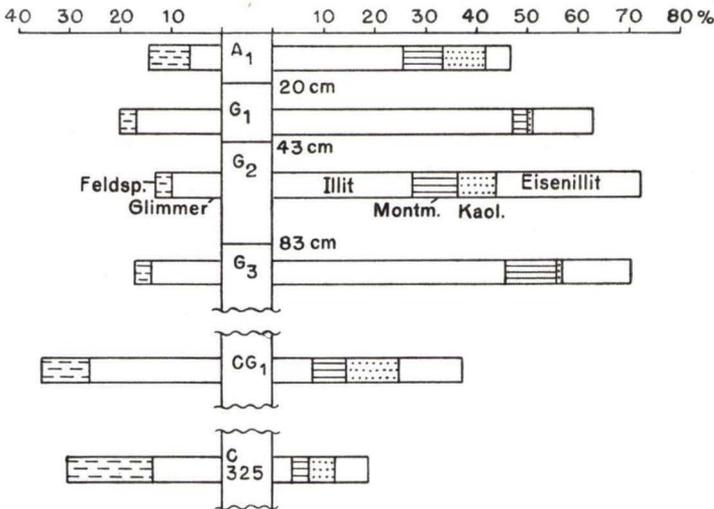


Abb. 35. Gesamtmineralgehalte der Horizonte des Profils 297 (Bruchwaldboden) im Vergleich zu denen des C-Horizontes 325 und eines errechneten CG<sub>1</sub>-Horizontes.

Im Horizont G<sub>2</sub>, der sich durch zahlreiche Rostflecken auszeichnet, erlangt neben dem Illit der Eisenillit hohe Bedeutung, er ist in diesem Horizont das Mineral mit dem höchsten Prozentgehalt von 28,6 vor dem Illit mit 27,5.

Die Entstehung von geringen Mengen an Montmorillonit oder Nontronit ist in den Horizonten A<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> und G<sub>3</sub> möglich.

## E. Bodentypen und Mineralbildung

Die jeweilige Wirkung der bodenbildenden Faktoren führt zur Entstehung der verschiedenen Bodentypen. In den einzelnen Bodenhorizonten spielen sich die charakteristischen physikalischen, chemischen und biologischen Vorgänge ab, von deren Art und Ausmaß Zersetzung und Mineralneubildung abhängig sind.

Eine Zusammenstellung der Eigenschaften der verschiedenen Bodenhorizonte führt zur Darstellung der darin vorgehenden jeweils charakteristischen Zersetzung und Neubildung der Mineralien. Für die einzelnen untersuchten Bodentypen können unter Berücksichtigung früherer Untersuchungsergebnisse allgemeingültige Bildungsbedingungen für die Bodenmineralien abgeleitet werden.

## I. Brauner Steppenboden

Im Profil 325 ist der Typ des „braunen Steppenbodens“ (H. STREMMER, 1936) untersucht, für den als Typenbegriff auch die Bezeichnung Schwarzerde (Tschernosem) gebräuchlich ist. Ihre typische Ausprägung erhielten die braunen Steppenböden im Gebiet des Neckarschwemmelchs durch die Wirkung des Hauptfaktors Vegetation, und zwar der Vegetation der „Kultursteppe“ einschließlich ihrer Fauna nach vorhergehender Periode der Bildung als Aueböden.

Die in den C-Horizonten erhaltenen feinsandig-lehmigen Neckarablagerungen sind in den beim Profil 325 bis 80 cm mächtigen A-Horizonten kräftig verlehmt.

Die Befeuchtung des Steppenbodens geschieht lediglich durch Wasserzufuhr aus der Atmosphäre. Das Grundwasser steht tief in den ab 2,80 m unter Flurhöhe die Schwemmelchs unterlagernden Kiesen und Sanden und beteiligt sich gegenwärtig nicht an der Bodenbildung. Entsprechend den geringen Niederschlagsmengen mit 500–600 mm ist der Boden bei 9–10° C mittlerer Jahrestemperatur und einem NS-Quotienten zwischen 300–350 mäßig durchfeuchtet bei guter Wasserhaltefähigkeit aber Fehlen eines Wasserstauers oder einer Wassersammlungsmöglichkeit.

Die Richtung und die Intensität der Bewegung der Bodenlösung ließen sich aus der Art und Menge des Kalkgehaltes der verschiedenen Horizonte erschließen. Neben der Abwärtsbewegung konnte eine Aufwärtsbewegung nachgewiesen werden. Die Intensität der Abwärtsbewegung überwiegt, sie ist jedoch so gering, daß sie nicht ausgereicht hat, das Profil ganz zu entkalken.

Mit Basen, vor allem mit Ca-Ionen, ist der Steppenboden in allen Horizonten reichlich versorgt. Der Gehalt an Humus (organische Substanz) wurde für A<sub>1</sub> mit 1,8% bestimmt (Tabelle 28, S. 69), er nimmt nach unten allmählich ab, in 55 cm Tiefe beträgt er noch 1%.

Die A-Horizonte des Steppenbodens sind zu charakterisieren als: Mäßig durchfeuchtete, humose, kalkhaltige, basenreiche (z. T. tonige) Lehme mit sehr schwacher nach unten abnehmender Auslaugung.

Die Bodenbildung bewirkt unter diesen Bedingungen Zersetzung der Hauptbodenminerale Feldspat und Glimmer und Neubildung von Montmorillonit und Illit.

Das Ergebnis der Bildung von Montmorillonit als Haupttonmineral in Steppenböden (Schwarzerden) steht in Übereinstimmung mit den Angaben in der Literatur, z. B. von G. NAGELSCHEIDT (1944), I. D. SEDLETZKY (1941, nach NAGELSCHEIDT, 1944) und J. S. HOSKING (1940a). Auf das Vorkommen von Illit in wechselnden Mengen neben Montmorillonit wird von den gleichen Autoren hingewiesen.

Im A<sub>1</sub>-Horizont nehmen die Anteile an Feldspat und Glimmer von 17 und 13,3% (im C-Horizont) auf 14,4 und 8,8 ab. Die Zunahme an Montmorillonit geht von 3,5 auf 13,4, der Gehalt wird vervierfacht, die Zunahme des Illit geht von 4 auf 10,2.

Geringere Intensität der Mineralumwandlung kommt gegenüber A<sub>1</sub> im A<sub>2</sub>-Horizont zur Geltung im weniger starken Absinken der Anteile an Feldspat und Glimmer von 17 und 13,3 auf 15,4 und 11,1. Der Gehalt an Montmorillonit steigt nicht so hoch wie im A<sub>1</sub>, von 3,5 nur um das Dreifache auf 11,2. Dagegen ist der Gehalt an Illit stärker erhöht als im A<sub>1</sub>, von 4 auf 13,2.

Tabelle 28. Verschiedene chemische Bestimmungen für die einzelnen Bodenhorizonte (Augustenberg)

Horizonte	Organische Substanz	CaCO <sub>3</sub>	pH (KCl)	S-Wert	V-Wert
Steppenboden (Profil 325)					
A <sub>1</sub> .....	1,8	5,2	7,9	—	~ 100
A <sub>2</sub> .....	1,0	12,8	7,9	—	~ 100
C .....	0,4	39,3	7,6	—	~ 100
Brauner Waldboden (Profil 900)					
A <sub>1</sub> .....	2,2	—	7,1	15	~ 100
A <sub>3</sub> .....	0,8	—	7,1	14	~ 100
B <sub>2</sub> .....	0,4	—	6,3	22	93,6
C .....	0,2	23,4	7,6	—	~ 100
Bruchwaldboden (Profil 297)					
A <sub>1</sub> .....	2,6	—	6,6	38,0	93,8
G <sub>1</sub> .....	1,9	—	6,6	38,0	93,8
G <sub>2</sub> .....	0,8	—	6,7	39,0	95,1
G <sub>3</sub> .....	2,1	—	6,7	44,0	95,6
Junger Aueboden (Profil 901)					
A <sub>1</sub> .....	2,9	11,9	7,5	—	~ 100
A <sub>2</sub> .....	1,5	12,5	7,5	—	~ 100
C .....	0,7	25,7	7,5	—	~ 100

Im Horizont geringerer Intensität der Bodenbildung sind größere Mengen an Illit gebildet als an Montmorillonit. Bei weiter fortgeschrittener Bodenbildung ist Montmorillonit reichlicher vertreten als der Illit. Dieser Befund bestätigt die Vorstellung vom Wege der Mineralumwandlung während der Bodenbildung, der von Feldspäten über Illit zu Montmorillonit (oder zu Kaolinit) führt (M. L. JACKSON, S. A. TYLER, A. L. WILLIS, G. A. BOURBEAU und R. P. PENNINGTON, 1948).

## II. Brauner Waldboden

Das Profil 900 ist ein schwach gebleichter brauner Waldboden (schwach podsoliger Boden) mit charakteristischen A- und B-Horizonten, die durch die Wirkung der früheren Waldvegetation, des bodenbildenden Faktors Vegetation, geprägt worden sind.

Die Horizonte A<sub>1</sub> und A<sub>3</sub> (A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>) sind wie der C-Horizont lehmige Feinsande, der B<sub>2</sub>-Horizont ist ein Lehm mit wesentlich höherem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen.

Die Befeuchtung erfolgt, wie beim Steppenboden, lediglich durch Wasserzufuhr aus der Atmosphäre, das Grundwasser steht tief, im allgemeinen zwischen 5 und 10 m in Kiesen an. Etwas höhere Niederschläge als beim Steppenbodenprofil 325 bewirken keine wesentlich stärkere Befeuchtung. Für das Profil 900 ist daher mäßige Befeuchtung, ähnlich der des Steppenbodens, charakteristisch. Das Niederschlagswasser wird jedoch, anders als beim Steppenboden, durch die lockeren A-Horizonte hindurch-

sickern und erst im  $B_2$ -Horizont festgehalten bzw. angestaut werden, jedoch ohne dadurch größere Ansammlungen an Wasser zu verursachen.

Die Entkalkung reicht bis 1,40 m Tiefe. Die durch Waldvegetation in früherer Zeit wesentlich geförderte Abwärtsbewegung der Bodenlösung hat ausgereicht, außer dem Kalk auch größere Mengen an weiteren Mineralstoffen aus dem  $A_1$ - und dem  $A_3$ -Horizont auszuwaschen, die im  $B_2$ -Horizont wieder abgesetzt worden sind. Bei der heutigen Bodennutzung unter Ackerkultur besteht die einseitige Abwärtsbewegung der Bodenlösung nicht mehr, sie ist durch Aufsteigen im Sommer unterbrochen.

Die heutigen pH-Werte und V-Werte (Tabelle 28, S. 69) für die Horizonte  $A_1$ ,  $A_3$  und  $B_2$  mit 7,1; (6,5–)7,1 und 6,3 bzw.  $\sim 100$ ;  $\sim 100$  und 93,6 sind als Ergebnisse der Bodenbildung im Waldboden und im späteren Kulturboden zustande gekommen. Die heutigen Werte des  $B_2$ -Horizontes mit schwach saurer Reaktion und nicht vollständiger Basensättigung sind dem Waldbodentyp am meisten angepaßt. Die A-Horizonte mit starker Auslaugung sind zur Zeit der Bewaldung wesentlich saurer gewesen als der  $B_2$ -Horizont, ihre heutige neutrale Reaktion und völlige Basensättigung sind mit dem gegenwärtigen guten Kulturzustande zu erklären, der z. B. am hohen Kaligehalt des  $A_1$ -Horizontes mit 28 mg in 100 g Boden zu erkennen ist.

Der Gehalt an organischer Substanz beträgt für  $A_1$  2,2%, für  $A_3$  noch 0,8 und für  $B_2$  0,4 (Tabelle 28, S. 69).

Die beiden A-Horizonte sind zu charakterisieren als mäßig durchfeuchtete, humose bzw. schwach humose, lehmige Feinsande mit mittelmäßiger Auswaschung und infolge Anreicherung mit Basen durch Kulturmaßnahmen neutraler Reaktion. Zur Zeit der Entstehung als Waldboden haben die A-Horizonte sicher deutliche aktive Azidität gehabt.

Der  $B_2$ -Horizont ist ein etwas stärker durchfeuchteter Lehm mit starker Einschwemmung bei geringer Azidität.

### 1. Die A-Horizonte ( $A_1$ und $A_3$ )

Das Ausmaß der Mineralzersetzung und -neubildung ist in den beiden A-Horizonten fast gleich groß. Feldspat- und Glimmergehalte sind vermindert, der Feldspatgehalt von 19,2 auf 14,8, um 23%, etwas mehr als beim  $A_1$ -Horizont des Steppenbodenprofils 325 mit 21,2%. Der Gehalt an Glimmer hat von 8,2 auf 4,5 im  $A_1$  und auf 4,1 im  $A_3$  abgenommen.

Neu gebildet sind nur geringe Mengen an Illit und Kaolinit. Im  $A_1$ -Horizont zeigt Illit gegenüber dem C-Horizont die stärkere Zunahme, der Kaolinit hat nur wenig zugenommen. Der Montmorillonitgehalt ist im  $A_1$  mit 1,9 ebenso hoch wie im C und höher als im  $A_3$ , was wahrscheinlich nicht durch Erhaltung des Ursprungsmaterials sondern durch Neubildung im Kulturboden zustande gekommen ist, nachdem der ursprünglich enthaltene Montmorillonit durch die Waldbodenbildung zersetzt worden war.

Im  $A_3$ -Horizont ist der Illitgehalt ebenso erhöht wie im  $A_1$ . Der Kaolinit zeigt dagegen starke Zunahme mit Verdoppelung seines Gehaltes von 3 im C auf 6.

Für die A-Horizonte ist charakteristisch starke Zersetzung der Mineralien und Auswaschung der in Lösung gegangenen Stoffe und von Mineralien

feinster Korngrößen. Neugebildet werden geringe Mengen an Illit und Kaolinit. Diese Ergebnisse bestätigen die Angaben von I. D. SEDELETZKY und von L. T. ALEXANDER, S. B. HENDRICKS und R. A. NELSON (1939, nach NAGELSCHMIDT 1944), HOSKING (1940a) und anderen Autoren. Kaolinit fand auch W. von ENGELHARDT (1940/41) als Neubildungsprodukt in A-Horizonten von deutschen Bleicherde-Waldböden.

## 2. Der B<sub>2</sub>-Horizont

Die Mineralzersetzung erreicht im B<sub>2</sub>-Horizont nur ein sehr geringes Ausmaß, bei den Hauptbodenmineralien ist sie nur für den Feldspat nachweisbar. Die Zunahme an Mineralien der Tonfraktion ist andererseits sehr groß.

Den Hauptanteil unter den zur Anreicherung und Neubildung gelangenden Mineralien hat der Eisenillit als charakteristisches Mineral der B-Horizonte. Sehr stark zugenommen hat auch der Gehalt an Illit. Außerdem sind Montmorillonit (Nontronit), Kaolinit und Glimmer angereichert.

Für Eisenillit wurde Neubildung aus den in der Bodenlösung zugeführten Stoffen erkannt. Illite werden nur zu geringem Teil im B<sub>2</sub>-Horizont durch die Zersetzung der Feldspäte entstanden sein, der Hauptteil ist aus den oberen Horizonten zugeführt. Da auch Muskowit angereichert ist, wurde darauf geschlossen, daß eine Einschläm- mung der fertigen Mineralien mit der Bodenlösung in Solform stattgefunden hat. Montmorillonit (Nontronit) und Kaolinit können im B<sub>2</sub> neu gebildet oder ebenfalls durch Einschwemmung angereichert sein.

Über die Mineralien der Tonfraktion der B-Horizonte von Waldböden sind in der Literatur Hinweise auf Kaolinit und Illit zu finden. Kaolinit wird von J. S. HOSKING (1940a), von SEDELETZKY und von ALEXANDER (beide nach G. NAGELSCHMIDT 1944) als Hauptmineral podsolierter Böden angegeben. Auf das Vorkommen von Illit weist vor allem ALEXANDER hin. Während er in der Tonfraktion roter und gelber podsolierter Böden 60–90% Kaolinit und 0–20 Illit fand, enthielten graubraune podsolierte Böden z. B. 40–70% Kaolinit und 30–40% Illit oder 10% Kaolinit und 80% Illit.

Als Haupttonmineralien dreier mecklenburgischer Böden wurden von C. W. CORRENS und F. K. SCHLÜNZ (1936) ebenfalls Glimmer (= Illite) erkannt. Auch W. von ENGELHARDT (1938) beschreibt Glimmer als Haupttonmineral von B-Horizonten eines mecklenburgischen Waldbodens.

W. v. ENGELHARDT fand als Haupttonmineral von Waldböden außerdem Nontronit. Eisenreiche Tonmineralien (Eisensilikate) sind auch nach J. S. HOSKING (1940a) in B-Horizonten von podsolierten Böden in Australien anzutreffen.

Das Auftreten des Eisenillits wie des Nontronits zeigt, daß das Eisen in braunen Waldböden als Bestandteil der Tonmineralien vorkommt. Im B<sub>2</sub>-Horizont des Profils 900 wurde Nontronit nur in geringen Mengen angetroffen. Goethit, Hämatit oder andere oxydische oder hydroxydische Eisenmineralien wurden nicht gefunden. Sie werden wahrscheinlich in geringen Mengen auch vorhanden sein, vorwiegend amorphe, mineralogisch in feiner Verteilung schwer nachweisbare Formen.

Als charakteristische Mineralien der B-Horizonte von braunen Waldböden sind Eisenillit, welcher zugleich färbender Bestandteil ist, und Illit anzusehen.

### III. Bruchwaldboden (mineralischer Naßboden, Glei)

Gegenüber den Profilen des Steppenbodens und des braunen Waldbodens, die ihre charakteristischen Eigenschaften vorwiegend der bodenbildenden Wirkung der Vegetation verdanken, hat der Bruchwaldboden, Profil 297, seine Ausbildung vornehmlich durch die Wirkung des Wassers erhalten.

Die Bodenarten der Horizonte sind für  $A_1$  toniger Lehm, für die G-Horizonte durchweg Ton. Im Laufe der Bodenbildung hat die Menge der Mineralien in den Tonfraktionen wesentlich zugenommen.

Die klimatische Befeuchtung des Bruchwaldbodens ist etwa die gleiche wie die des Steppenbodens, für die Ausbildung des Bruchwaldbodenprofils ist sie ohne Bedeutung gewesen. Die typische Ausprägung der G-Horizonte ist in einer Zeit erfolgt, als das Grundwasser in diesen Horizonten wirksam gewesen ist. Gegenwärtig ist jahreszeitliche Vernässung gegeben durch die von den höher liegenden Geländeteilen zugeführten Wasseransammlungen, die auf den tonigen Horizonten gestaut werden. Die Anwesenheit reichlicher Wassermengen sorgt für schnelle und intensive Zersetzung. Durch Förderung des Stofftransportes wird die Anreicherung großer Mengen von Tonmineralien ermöglicht.

In allen vier Horizonten ist die Basensättigung mit V-Werten über 93,8 hoch, die pH-Werte mit 6,6 und 6,7 (KCl) zeigen neutrale Reaktionen.

An Humus enthält der A-Horizont 2,6% (organische Substanz). Der  $G_1$ -Horizont hat noch 1,9 der  $G_2$  0,8 und der  $G_3$  hat wieder einen höheren Gehalt von 2,1%.

Die Bodenbildung erfolgte in allen Horizonten in basenreichem Material bei neutraler Reaktion unter Beteiligung reichlicher Wassermengen.

Die Gehalte an Feldspat sind sehr stark verringert, die an Feldspat zersetzten Mengen sind in den Horizonten des Naßbodens mit über 60% mehr als doppelt so groß wie die in den A-Horizonten der Vegetationsböden mit weniger als 23%. Die Glimmergehalte sind stark vermindert.

Ein Teil der Tonmineralien ist an Ort und Stelle entstanden, außerdem haben Grundwasser und Stauwasser größere Mengen zugeführt und damit zu starker Anreicherung beigetragen.

1. Im  $A_1$ -Horizont hat der Gehalt an Illit sehr stark zugenommen auf einen Prozentgehalt von 25,7 gegenüber 4 im C-Horizont 325. Daneben scheint etwas Montmorillonit und etwas Kaolinit neugebildet zu sein.
2. In allen drei G-Horizonten ist Illit als Hauptmineral der Tonfraktion gleichfalls in großen Mengen gebildet und eingeschwemmt. In den Horizonten  $G_1$  und  $G_3$  ist der Gehalt an Illit mit 47,1 und 46,2% besonders hoch. Im  $G_2$ -Horizont ist außer Illit und wenig Montmorillonit Eisenillit in großen Mengen neu gebildet und angereichert. Eisenillit ist in diesem Horizont das Mineral mit höchstem Prozentgehalt von 28,6 vor Illit mit 27,5. Der  $G_2$ -Horizont als Anreicherungs-horizont des Eisenillits ist ebenso wie der  $B_2$ -Horizont des braunen Waldbodens durch rostbraune Farbtöne ausgezeichnet, die eindeutig durch den Eisenillit bedingt sind. Die rostbraunen Farbtöne sind im  $G_2$  jedoch nicht einheitlich über den ganzen Horizont verteilt, sondern in sehr zahlreichen Flecken auf grauen Grundfarben. Die Menge an Eisenillit des  $G_2$ -Horizontes übertrifft die des  $B_2$ -Horizontes sowohl innerhalb der einzelnen Fraktionen als auch im Gesamtmaterial.

Als Haupttonmineral der nicht gebleichten Naßböden konnte der Illit ermittelt werden. Daneben ist unter besonderen Bedingungen, vor allem im Zusammenhang mit rostfarbenen Abscheidungen Eisenillit in größeren Mengen verbreitet.

Im Altlauf des Neckars bei Wallstadt sind Schlicke mit höherem Gehalt an Bestandteilen der Tonfraktion abgelagert worden als auf den Aueflächen, so daß die Bildung des Bruchwaldbodens in feineren Sedimenten begann als die Bildung der Vegetationsböden in den ehemaligen Auegebieten. Durch die starke Zersetzung der Mineralien und die intensive Neubildung und Einschwemmung mit dem Grundwasser ist der Gehalt an Tonmineralien im Laufe der Bodenbildung wesentlich erhöht. Durch diese Art der Bodenbildung sind aus den Schlickentönen geworden, wie sie jetzt als G-Horizonte verbreitet sind.

## F. Die Entstehungsbedingungen der Tonmineralien

Bei den drei mineralogisch untersuchten Bodentypen war die Bodenbildung im gleichen Ausgangsmaterial, den feinkörnigen Sedimenten des Neckars erfolgt, und doch waren verschiedene Bodentypen mit jeweils anderen charakteristischen Tonmineralien entstanden. Damit kann das Gesetz von I. D. SEDLETZKY (1941, nach NAGELSCHMIDT, 1944) als bestätigt gelten, daß die Entstehung der kolloiddispersen Mineralien in Sedimenten in keiner Weise durch das Ausgangsgestein bestimmt ist, sondern allein durch den Charakter des Verwitterungsprozesses.

### I. Bildungsbedingungen der einzelnen Mineralien

#### 1. Illit

Illite wurden in allen Horizonten angetroffen, sowohl in Horizonten mit intensiver Auslaugung in saurem Reaktionsbereich als auch bei fehlender Auslaugung in basenreicher Umgebung.

Die Bildung des Illits vollzieht sich als direkte Umwandlung des Feldspats, sie setzt an den Außenteilen des Feldspats ein und schreitet allmählich nach innen fort. Die Auslösung von  $K_2O$  und  $SiO_2$  kann auch bei vorwiegend basischer Bodenlösung erfolgen.

Als Zwischenprodukte der Zersetzung von Feldspat im Laufe der Bodenbildung wurden Illite schon früher angesehen von M. L. JACKSON und Mitarbeitern (1948) auf dem Wege zu Montmorillonit z. B. von NAGELSCHMIDT (1944), auf dem Wege zum Kaolinit von J. S. HOSKING (1940b). Als „dichte Glimmer“ wurden Illite als Zwischenprodukte der Verwitterung von Feldspat zu Kaolinit von H. STREMMER (1926) bezeichnet. Er wies auf ihr Vorkommen in Böden gemäßiger Zonen hin.

Nach DENISON, FRY und GILE (nach HOSKING, 1940b) sind Illite auch die ersten Umwandlungsprodukte der Muskowite und Biotite bei deren Verwitterung.

Illit ist in Steppenböden neben Montmorillonit als Hauptbestandteil enthalten, in den B-Horizonten brauner Waldböden ist er in großen Mengen als Haupttonmineral verbreitet. Charakteristisches Tonmineral ist der Illit für basenreiche Naßböden, in denen er möglicherweise stabiles Endprodukt der Bodenbildung ist.

In Mitteleuropa sind die Illite in fast allen Böden verbreitet, in vielen, nach Untersuchungen von E. MAEGDEFRAU und U. HOFMANN (1937) in 33% der Böden (nach 60 Untersuchungen), sind sie die vorherrschenden Bestandteile. Für die mittleren und östlichen Gebiete der USA werden sie von CL. S. ROSS (1943) als Hauptmaterial der Bodenbildung bezeichnet.

### 2. Eisenillit

Die Bildung von Eisenillit erfolgt in braunen, rostfarbenen oder -fleckigen Horizonten, in denen Eisen aus der Bodenlösung abgeschieden werden kann, bei schwach saurer bis basischer Reaktion. In feuchten Horizonten ist die Bildung am intensivsten, in nassen, besonders zeitlich wechselnd nassen und trockenen, scheint sie auch vor sich zu gehen.

Der Eisenillit kann durch direkte Umwandlung aus anderen Mineralien entstehen. Gelegentlich ist er an Feldspäten als deren Zersetzungsprodukt wie der gewöhnliche Illit zu beobachten. Die großen Blättchen mit 0,15 mm Durchmesser, die Aggregate und die Konkretionen können dagegen nicht als direkte Umwandlungsprodukte anderer Mineralien gedeutet werden. Sie sind unmittelbar aus der Bodenlösung auskristallisiert.

In den B-Horizonten brauner Waldböden sowie in BG- und G-Horizonten nicht gebleichter entwässerter mineralischer Naßböden ist das Eisen hauptsächlich an die Eisenillite gebunden. Bindung an oxydische oder hydroxydische Eisenminerale können daneben nur geringere Mengen des Eisens besitzen. Außer im Eisenillit ist Eisen im Nontronit enthalten, in den A-Horizonten der Steppenböden wahrscheinlich auch in anderen Montmorilloniten.

Nontronit ist wahrscheinlich Hauptträger des Eisens als Hauptbestandteil eines rostfarbenen Waldbodens in Mecklenburg, wie W. von ENGELHARDT (1938) zeigen konnte.

Auch J. S. HOSKING (1940a) hat erkannt, daß das Eisen im Boden an Tonmineralien gebunden ist. Für die B-Horizonte podsolierter Böden in Australien gibt er Eisensilikate als Bestandteile an. Er vermutet, daß dem Cronstedtit ähnliche Eisensilikate vorkommen werden. Eisensilikate unter den Bodenmineralien sind auch die chloritartigen Zersetzungsprodukte von Hornblenden und die serpentinähnlichen Aggregate, die K. JASMUND (1939) beschreibt. Für Böden, die aus eisenreichen Gesteinen mit Augiten und Hornblenden entstanden sind, gab F. STEINRIEDE (1921) Delessit als häufig vorkommendes Mineral an.

Unter diesen verschiedenen eisenreichen silikatischen Mineralien können für verbreitete Bodentypen wie braune und rostfarbene Waldböden und entwässerte nicht gebleichte mineralische Naßböden der Eisenillit und der Nontronit als Hauptbestandteile sicher bestimmt gelten. Oxydische und hydroxydische Eisenminerale werden wahrscheinlich in anderen Bodentypen Bedeutung besitzen.

### 3. Montmorillonit

Montmorillonit entsteht bei mäßiger Durchfeuchtung und fehlender oder schwacher Auslaugung in basenreichen humosen Horizonten, unter Bedingungen, wie sie auch HOSKING (1940a) und andere Autoren (z. B. ROSS, 1943) fordern. In nassen Böden bei Anwesenheit genügender Basenmengen scheint Bildung von Montmorillonit und Nontronit möglich zu sein.

Die Beobachtung von Montmorillonitschüppchen auf Illitblättchen macht Entstehung von Montmorillonit durch direkte Umwandlung aus Illit wahrscheinlich. Die Umwandlung kann als Folge einer Auslösung von Kali und Tonerde oder der Auslösung von Kali und Zufuhr von Kieselsäure zustande kommen. Hohe Illit- und niedrige Montmorillonitgehalte im  $A_2$ -Horizont des Steppenbodens gegenüber niedrigerem Illit-, jedoch hohem Montmorillonitgehalt im  $A_1$ -Horizont bei stärkerer Intensität der Bodenbildung weisen darauf hin, daß aus einem Teil der Illite Montmorillonit entstanden sein wird, also auch auf Bildung von Montmorillonit aus Illit.

Auf die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Montmorillonit aus Illit macht G. NAGELSCHEIDT (1944) aufmerksam nach Angaben von BRAY und nach Untersuchungen von HENDRICKS an Montmorillonit-Illitgemischen. An Illitkörpern wurde beobachtet, daß sie bei Verwitterung innen noch Illite waren, außen jedoch Montmorilloniteigenschaften zeigten.

Bei der vorstehend beschriebenen Art der Entstehung von Montmorillonit aus Illit findet keine direkte Auskristallisation des Minerals aus einer Lösung statt, sondern eine Umwandlung an Mineralkörnern durch Stoffaustausch.

Der Montmorillonit ist charakteristisches Haupttonmineral der Steppenböden.

#### 4. Kaolinit

Kaolinit entsteht in Horizonten starker Auslaugung der Basen und der Kieselsäure. Die Bedingungen der Kaolinitbildung im Boden sind gut bekannt, auf sie ist von verschiedenen Autoren hingewiesen worden, z. B. von CL. S. ROSS (1943) und J. S. HOSKING (1940a). Letzterer fand Kaolinit unter Auslaugebedingungen auf den verschiedensten Gesteinen, sowohl auf Granit als auch auf Basalt.

Über die Art der Kaolinitbildung gibt HOSKING (1940b) an, daß Kaolinit bei der Zersetzung der Feldspäte über die Zwischenstufe der Illite entsteht. Kaolinit wird in direkter Umwandlung der Mineralkörner durch Auslösung von Kali- und Kieselsäure gebildet. Kaolinit ist u. a. Hauptmineral der A-Horizonte von ausgelaugten Waldböden.

## II. Art der Mineralbildung

Die Neubildung der Mineralien im Boden kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen, durch direkte Umwandlung der vorhandenen Mineralien in andere oder durch Auskristallisation von Mineralien aus der Bodenlösung.

Die direkte Umwandlung zu neuen Mineralien in festem Zustande durch Auslösung, Zufuhr oder Austausch einzelner Bestandteile aus dem Gitterverband führt z. B. vom Feldspat über Illit zum Kaolinit oder Montmorillonit.

Durch Auskristallisation aus der Bodenlösung wird als Bodenmineral neu gebildet z. B. der Eisenillit.

## III. Stofftransport

Für den Stofftransport im Boden lassen sich zwei Möglichkeiten nachweisen, Wanderung in ionogener Lösung und in Solform.

In ionogener Lösung wandern die aus den zersetzten Mineralien gelösten Stoffe, die aus dem Boden ganz ausgewaschen werden können, oder an anderen Stellen zur Bildung neuer Mineralien Anlaß geben können.

In Solform wandern u. a. die Mineralien selber. Für den B<sub>2</sub>-Horizont des braunen Waldbodens konnte die Anreicherung von Mineralien aus den oberen Auslaugungshorizonten durch Zufuhr in Solform wahrscheinlich gemacht werden, da auch Muskowit, der durch Bodenbildung nicht neu entstanden sein kann, darin angereichert ist.

### Zusammenfassung

Die Entstehung der verschiedenen Bodentypen im Neckarschwemmlern ist durch die örtlich und zeitlich verschiedenartige Wirkung der bodenbildenden Hauptfaktoren zu erklären.

Junge Aueböden entstanden im Gebiet der heutigen Flußauen durch die bis in jüngste Zeit bei Hochwasser häufig auftretende Überdeckung mit kalkhaltigem Schlamm.

Die Steppenböden haben sich als Vegetationsbodentypen unter der Wirkung von Vegetation und Bodenorganismen im Gebiet der neolithischen Ackerkultur (der alten Kultursteppe) gebildet, in Böden, die bis dahin Aueböden mit den Merkmalen der Überschlammung gewesen sind.

Die Entstehung der braunen Waldböden ist durch die nachweisbare Waldvegetation verursacht.

Die Ausprägung von Naßbodentypen und G-Horizonten ist, wie durch die Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse und ihrer Änderungen belegt werden konnte, durch die Wirkung des Grundwassers erfolgt.

Die Änderungen der Korngrößenverteilung der verschiedenen Horizonte innerhalb der einzelnen Bodenprofile sind weitgehend durch Mineralzersetzung und -neubildung sowie durch Eluvialbildung und Illuvialbildung hervorgerufen.

Mit der Korngröße  $3\mu$  Radius nehmen die Gehalte an charakteristischen Mineralen der groben Fraktionen, an Quarz und Feldspäten, sehr stark ab. In den Fraktionen unter  $3\mu$  Radius sind die vorherrschenden Bestandteile die Tonminerale.

Hauptbestandteil verschiedener rostbrauner und rostfleckiger Bodenhorizonte, zugleich färbendes Mineral, ist nicht ein Eisenhydroxyd oder -oxyd, sondern ein glimmerartiges Mineral, das hohen Gehalt an Eisen hat, ein Illit. Unter Berücksichtigung seiner Eigenschaften wurde für dieses bisher nicht bestimmte Mineral die Bezeichnung „Eisenillit“ eingeführt. Der Eisenillit ist in groben und feinen Korngrößenfraktionen, in mittleren dagegen weniger, angereichert und tritt in Form von Blättchen oder, in groben Fraktionen, von Konkretionen auf.

Feldspäte und Glimmer werden in allen Bodenhorizonten zersetzt. Im Steppenboden werden fast alle durch Zersetzung frei werdenden Stoffe für die Neubildung der Tonminerale innerhalb der A-Horizonte verbraucht. Im braunen Waldboden werden die in den A-Horizonten aus der Zersetzung der Mineralien frei werdenden Stoffe zum größten Teil aus den A-Horizonten ausgewaschen. In den B-Horizonten entstehen daraus neue Minerale. Besonders starke Zersetzung erfolgt im Bruchwaldboden. Große Mengen an Mineralien werden darin gleichzeitig gebildet. Die Menge der neu gebildeten Minerale übersteigt die der zersetzten, so daß mit Zufuhr an Tonmineralen mit dem Grundwasser zu rechnen ist.

Die charakteristischen Minerale des Steppenbodens sind der Montmorillonit und daneben der Illit. Im braunen Waldboden werden in den A-Horizonten Kaolinit

und Illit gebildet, in den B-Horizonten vor allem Eisenillit und Illit. In basenreichen Bruchwaldböden entsteht Illit und daneben Eisenillit.

Die Illite entstehen unter verschiedenen Bedingungen in basischem oder saurem Bereich, sie sind die ersten Umwandlungsprodukte bei der Zersetzung der Feldspäte im Übergang auf dem Wege zu Montmorillonit oder Kaolinit. In B-Horizonten von braunen Waldböden und in basenreichen Naßböden scheinen sie Endprodukte der Bodenbildung zu sein.

Der Eisenillit entsteht als charakteristisches Mineral in Illuvialhorizonten [B und (B)G], in denen Abscheidung von Eisenverbindungen möglich ist.

Der Montmorillonit wird in basenreicher Umgebung bei fehlender oder schwacher Auslaugung in den humosen A-Horizonten der Steppenböden gebildet.

Kaolinit wurde angereichert angetroffen in Horizonten mit starker Auslaugung, den A-Horizonten des braunen Waldbodens.

Die Bildung der Minerale im Boden erfolgt einerseits durch direkte Umwandlung eines Minerals in das andere in festem Zustande als Folge von Stoffverlusten oder eines Stoffaustausches wie z. B. bei Illit, Montmorillonit und Kaolinit und andererseits durch Ausfällung aus ionogener Lösung wie z. B. beim Eisenillit.

Die Umlagerung der Bodenbestandteile erfolgt nicht allein in ionogener Lösung, sondern auch in Solform, in welcher z. B. die Minerale der Tonfraktion mit der Bodenlösung wandern können.

### Schriftenverzeichnis

- CORRENS, C. W.: Mineralogische Untersuchungen an Böden. — Z. Bodenk. u. Pflanzenernähr., **21/22**, S. 656ff., Berlin 1940.
- CORRENS, C. W. und MEHMEL, M.: Über den optischen und röntgenographischen Nachweis von Kaolinit, Halloysit u. Montmorillonit. — Z. Kristallogr., (A) **94**, S. 337—348, 1936.
- CORRENS, C. W. und SCHLÜNZ, F. K.: Mineralogische Untersuchungen dreier mecklenburgischer Böden. — Z. Pflanzenern., Düngung u. Bodenk., **44**, S. 316—326, Berlin 1936.
- DEECKE, W.: Notizen über frühgeschichtliche Brunnen in Oberbaden. — Bad. geol. Abh., **5**, S. 39—46, 1933.
- EISENLOHR, M.: Die Flußkorrektur bei Mannheim und deren Einwirkung auf die Entwicklung der Stadt. — Jber. Hafenbautechn. Ges., **1921**, S. 1—49, 1921.
- ENGELHARDT, W. von: Mineralogische Beschreibung eines mecklenburgischen Bodenprofils. — Chem. Erde, **11**, S. 17—37, 1938.
- Zerfall und Aufbau von Mineralien in norddeutschen Bleicherdealdböden. — Chem. Erde, **13**, S. 1—43, 1940/41.
- FIRBAS, F.: Zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte der Rheinpfalz. — Beih. Botan. Zbl., **52**, S. 119—156, 1934.
- Waldgeschichte Mitteleuropas, **1**. Jena (G. Fischer) 1949.
- FREUDENBERG, FR. C.: Der Lobdengau das Herz von Kurpfalz. Heidelberg (Hörning) 1924.
- GRIM, R., BRAY, R. H. und BRADLEY, W. F.: Mica in Argillaceous Sediments. — Amer. Mineralogist, **22**, S. 813—829, 1937.
- GROPENGEßSER, H.: Reichsautobahn und Urgeschichte bei Mannheim. — Mannheimer Geschichtsbl., **34**, S. 175—196, 1935.
- HOHENSTEIN, V.: Die Löß- und Schwarzerdeböden Rheinhessens. — Jb. u. Mitt. ober-rhein. geol. Ver., N. F., **9**, S. 74—97, 1920.

- HOSKING, J. S.: The Soil Clay Mineralogy of some Australian Soils Developed on Granitic and Basaltic Parent Materials. — Journ. Council sci. industrial Research, **13**, S. 206 bis 216, 1940 (1940a).  
 — The Constitution and Classification of the Clay Minerals. — Australian Chem. Inst., J. a. Proc., **7**, 7, 1940 (1940b).
- JACKSON, M. L. und Mitarb.: Weathering Sequence of Clay-Size Minerals in Soils and Sediments. I. Fundamental Generalizations. — The Journal of Physical and Colloid Chemistry, **52**, S. 1237—1260, 1948.
- JASMUND, K.: Über den Mineralbestand einiger Kaoline unter besonderer Berücksichtigung der kolloiden Größenordnungen. — Diss. 1939. — Chem. Erde, **12**, S. 508—535, 1939.
- KNAPP, R.: Wälder und Landschaften der nordöstlichen Oberrhein-Ebene. Heidelberg 1926.
- MAEGDEFRAU, E. und HOFMANN, U.: Glimmerartige Mineralien als Tonsubstanzen. — Z. Kristallogr., (A) **98**, S. 31—59, 1937.  
 — Quantitative Bestimmung der Mineralien in Tonen auf röntgenographischem Wege. — Ber. deutsch. keram. Ges., **21**, S. 383—412, 1940.
- MANGOLD, A.: Die alten Neckarbetten in der Rheinebene. — Abh. grhzgl. hess. geol. L.-A., **2**, S. 63—114, Darmstadt 1892.
- MEHMEL, M.: Anwendung optischer und röntgenographischer Methoden bei der Untersuchung der Tone. — Ber. deutsch. keram. Ges., **19**, S. 295—328, 1938.  
 — Datensammlung zum Mineralbestimmen mit Röntgenstrahlen. — Fortschr. Mineral., Kristallogr. und Petrogr., **23**, S. 81—118, 1939.
- MEYER, A.: Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. — Chem. Erde, **2**, S. 209—347, 1925.
- MÜCKENHAUSEN, E.: Die deutschen Bodentypen nach dem heutigen Stande der Bodenlehre. — Geol. Rdsch., **27**, S. 129—156, Berlin 1936.
- NAGELSCHMIDT, G.: The Mineralogy of Soil Colloids. — Imperial Bureau of Soil Sci., Techn. Communication, No. **42**, Harpenden 1944.
- NOLL, W.: Fortschritte in der Erkenntnis der Tonmineralien. — Ber. deutsch. keram. Ges., **19**, S. 176—205, 1938.
- OBERDÖRFER, E.: Zur Geschichte der Sümpfe und Wälder zwischen Mannheim und Karlsruhe. — Festschr. Ver. Naturk. Mannheim, **1934**, S. 99—124, 1934.
- OSTENDORFF, E.: Die Grundwasserböden des Weichseldeltas. — Diss. Danzig 1930, Bilder aus Danzigs Landwirtschaft, Danzig 1930.
- ROSS, CL. S.: Clays and Soils in Relation to Geologic Processes. — J. Washington Acad. Sci., **33**, 8, 1943.
- ROTHSCHILD, S.: Zur Geschichte der Moore und Wälder im nördlichen Teil der ober-rheinischen Tiefebene. — Diss. Frankfurt, Beih. Botan. Cbl., **54**, S. 140—184, 1935.
- RUDOLPH, M.: Die Rheinebene um Mannheim und Heidelberg. Heidelberg (Hörning) 1925.
- SAUER, A.: Geol. Spec.-Kte. Grhztg. Baden, Erl. Bl. Schwetzingen-Altlußheim.
- SCHWARZ, G.: Die natürlichen Pflanzengesellschaften des unteren Neckarlandes. — Beitr. naturk. Forsch. Oberrheingeb., **4**, S. 5—114, Karlsruhe 1941.
- SELKE, M.: Die Böden Süd-Niedersachsens. — Diss. Danzig 1932, Braunschweig (Westermann) 1934.
- STARK, P.: Ein altes Moorprofil im Oberrheintal bei Mannheim. — Ber. deutsch. Botan. Ges., **44**, 1926.
- STEINRIEDE, F.: Anleitung zur mineralogischen Bodenanalyse. 2. Aufl. Leipzig (Engelmann) 1921.
- STREMMER, H.: Die Böden der pontischen Pflanzengemeinschaften Deutschlands. — Aus der Heimat, **1914**, S. 1—8, 1914.  
 — Grundzüge der praktischen Bodenkunde. Berlin (Bornträger) 1926.  
 — Die Braunerden. — Handb. Bodenlehre, **3**, S. 160—182, Berlin (Springer) 1930.  
 — Die Böden des Deutschen Reiches und der Freien Stadt Danzig. — Petermanns geogr. Mitt., Ergänzungsheft, **226**, Gotha 1936.

- Die biogenetische Bodenauffassung. — Z. deutsch. geol. Ges., **91**, S. 565—575, 1939.
- STRIGEL, A.: Geologische Gestaltung der Landschaft um Mannheim. — Jber. bad. Heimat „Mannheim“, **1927**, S. 1—16, 1927.
- Geologischer Untergrund und Landschaftsgestaltung von Mannheim und Umgebung. — Festschr. Jahrhundertfeier Ver. Naturk. Mannheim, **1934**, S. 3—40, 1934.
- Junge Flugsandbewegungen in der nördlichen Rheinebene. — Mannheimer Geschichtsbl., **34**, S. 159—175, 1935.
- THÜRACH, H.: Geol. Spec.-Kte. Grhzgt. Baden, Erl. Bl. Ladenburg, 2. Aufl., 62 S., Heidelberg (Winter) 1905.
- WAGNER, E.: Fundstätten und Funde aus vorgeschichtlicher, römischer und allemanisch-fränkischer Zeit im Großherzogtum Baden. Tübingen 1911.
- WAHLE, E.: Deutsche Vorzeit. Leipzig (Kabitze) 1932.

Jb. hydrographischen Büros, Karlsruhe.

Beitr. zur Hydrographie Badens, Karlsruhe.

Deutsch. meteorol. Jb. Baden, Karlsruhe.

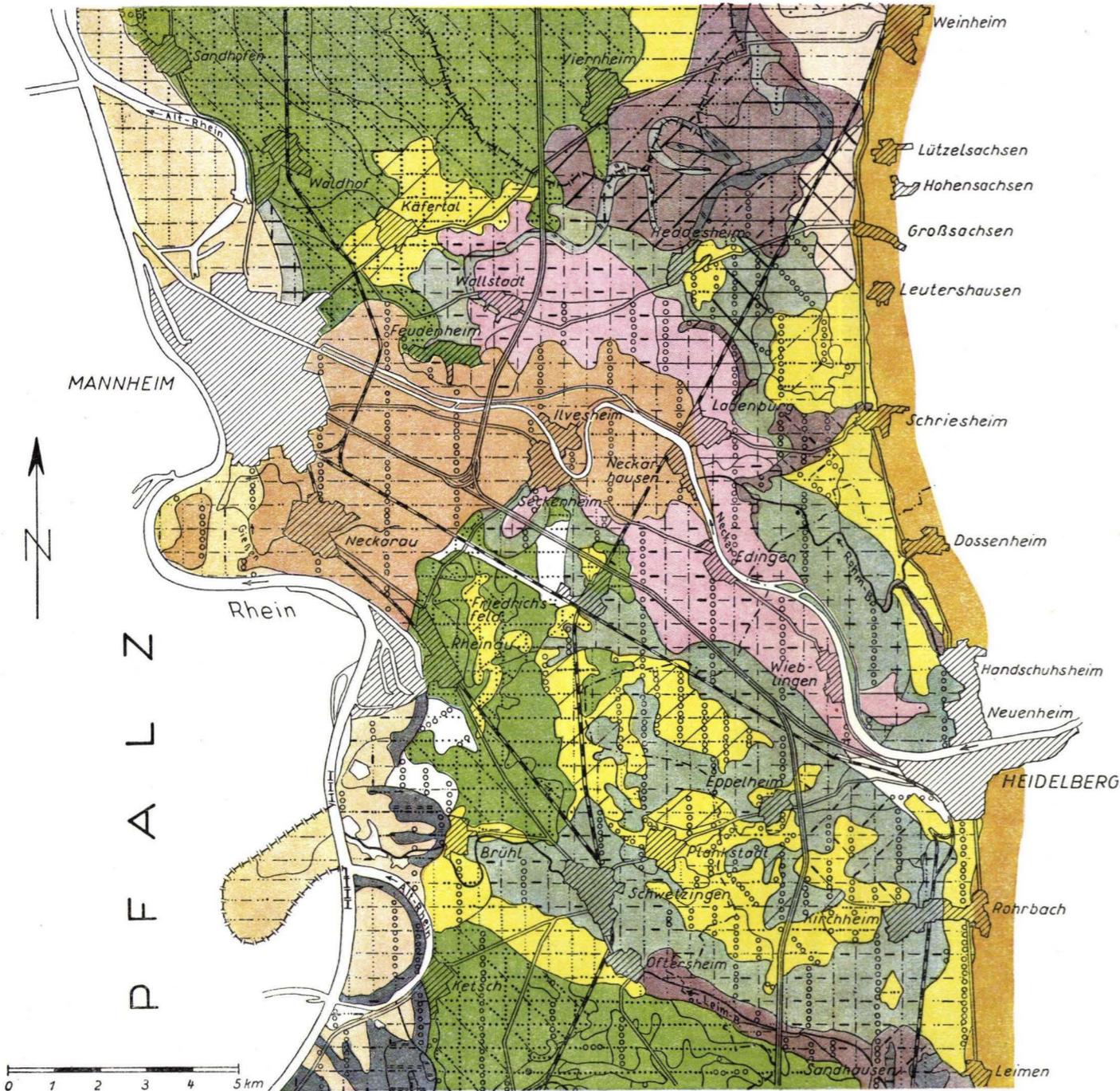
Geol. Spec.-Kte. Grhzgt. Baden, Bl., Mannheim, Ladenburg, Schwetzingen-Altlußheim, Heidelberg und Neckargemünd.

Geol. Kte. Hessen, Bl. Viernheim und Birkenau.

Manuskript eingegangen am 27. 9. 1954

Anschrift des Autors: Dr. HELMUT E. STREMMER, Kiel, Esmarchstraße 7, Bezirksgeologe beim Geologischen Landesamt Schleswig-Holstein, Kiel, Mecklenburger Straße 22/24.

Für die Redaktion verantwortlich: Dipl.-Geol. Dr. FRITZ KUTSCHER, Regierungsgeologe beim Hessischen Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Mainzer Straße 25.



**A Vegetationsbodentypen**

- 1. Brauner Steppenboden. A 40–100 cm humoser Lehm über C Schwemmléhm (-löß) über Kies.
- 2. Brauner Waldboden, nicht gebleicht, flaches Profil. A 20–25 cm humoser Lehm über B 20–70 cm Lehm (stellenweise über BG) über C Schwemmlöß über Kies.
- 3. Brauner Waldboden, nicht oder schwach gebleicht, tief entkalkt. A 20–25 cm humoser feinsandiger Lehm oder lehmiger Sand über B 40–140 cm Lehm oder sandiger Lehm über C Schwemmlöß oder Sand über Kies.
- 4. Rostfarbener Waldboden, nicht bis schwach gebleicht, in Dünengebieten. A 5–30 cm humoser Sand über B 40–120 cm Sand mit Lehmlagen über C Sand oder Kies.

**B Naßbodentypen**

- 5. Auenwaldboden. A 20–60 cm humoser sandiger Lehm oder toniger Lehm über BG 40–120 cm sandiger Lehm oder toniger Lehm über G Ton (fehlt stellenweise) über (C feiner Sand oder Kies).
- 6. Aueböden des Bergstraßenrandes. A 20–30 cm humoser feinsandiger Lehm über B(C<sub>1</sub>) feinsandiger Lehm über (G Ton).
- 7. Junge Aueböden in Rhein- und Neckarauen. A 20–100 cm humoser feinsandiger Lehm über (G feinsandiger Lehm bis toniger Lehm oder lehmiger Feinsand) über C Feinsand oder Lehm über Kies. a) in Rheinauen, Grundwassereinfluß höher als 1 m. b) bes. in Neckarauen, Grundwassereinfluß tiefer als 1 m.
- 8. Bruchwaldböden (Bruchmarschböden), meist nicht gebleicht. A 15–50 cm humoser Ton (bis toniger Lehm) über G Ton, stellenweise mit Moorerde oder Torflagen. a) mit hohen Grundwasserständen, höher als 1 m. b) entwässerte.

**C Reliefbodentypen**

- 9. Flachgründige Hangböden und tiefgründige zusammenschwemmte Böden der Bergstraße.

**D Große ausgebagerte Flächen (Kies)**

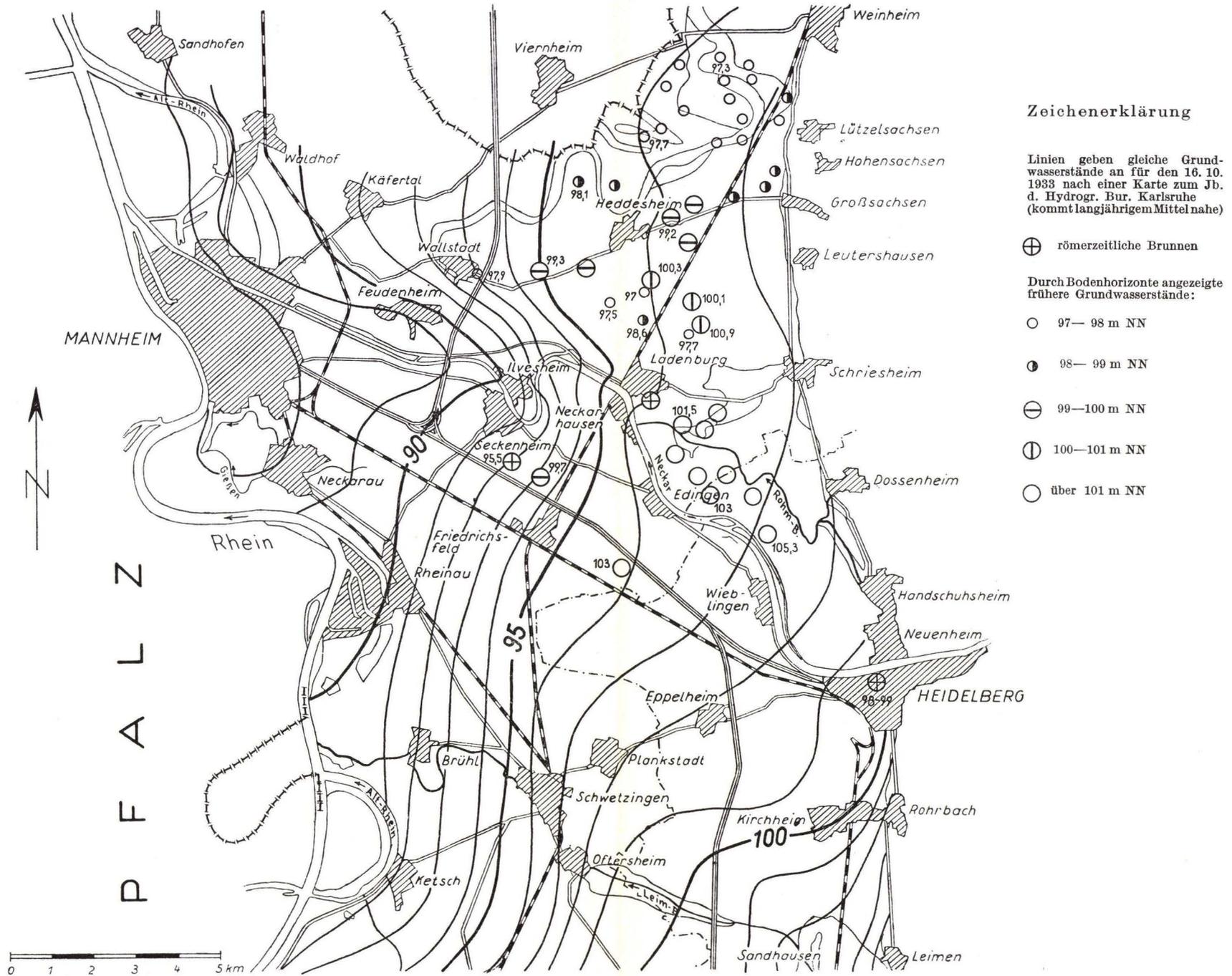
- 10.

**Bodenarten:**

- Kies
- ..... Sand
- ..... Feinsand
- Lehm
- Ton
- ==== Torf und Moorerde.

**Richtung der Schraffen:**

- Horizontal = A-Horizont.
- Links unten nach rechts oben = oberer Horizont des Unterbodens (ab 20–50 cm).
- Links oben nach rechts unten = unterer Horizont des Unterbodens (ab 50–100 cm).
- Senkrecht = C-Horizont.
- Mehrere Schraffen werden nur bei verschiedenen Bodenarten gezeichnet.



Grundwasserstände im Neckarschuttkegel

