

**Beitrag zur Kenntnis der
Humuskarbonatböden und Rendzinen
im Schweizer Jura**

Von der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
zur Erlangung der
Würde eines Doktors der Technischen Wissenschaften genehmigte

PROMOTIONSARBEIT

vorgelegt von

RUDOLF LEUENBERGER

von Walterswil (Kt. Bern)

Referent: Herr Prof. Dr. H. Pallmann
Korreferent: Herr Prof. Dr. H. Deuel

1950

Juris-Verlag, Zürich

Leer - Vide - Empty

Meinen lieben Eltern

Leer - Vide - Empty

INHALTSVERZEICHNIS

I. Einleitung	7
II. Allgemeines	9
A. Der Jura als Ort der Bodenbildung	9
1. Geographische Lage	9
2. Geologische Verhältnisse	9
3. Klimatische Verhältnisse	11
4. Pflanzendecke	12
B. Historisches zur Klassifikation der Humuskarbonatböden und Rendzinen	12
C. Untersuchungsmethoden	17
1. Physikalische Untersuchungsmethoden	17
a) Schlämmanalyse	17
b) Bestimmung der physikalischen Zusammensetzung des gewachsenen Bodens	19
2. Chemische Untersuchungsmethoden	19
a) Pauschalanalyse	19
b) Karbonatanalyse	21
c) Humusanalyse	21
d) Bestimmung der sorbierten basischen Kationen und der Anionen	21
e) Bestimmung der Gesamtazidität	22
f) Bestimmung der Umtauschkapazität	23
g) Bestimmung des Boden-pH	23
III. Untersuchungsergebnisse	24
A. Herkunft und Charakter der Tonsubstanz in den untersuchten Bodenprofilen	24
1. Herkunft der Tonsubstanz	24
2. Charakter der Tonsubstanz	24
a) Umtauschkapazität	24
b) Verhalten gegen Salzsäure	26
c) Röntgenographische Untersuchungen	28
B. Humuskarbonatboden	31
1. Wald-Humuskarbonatboden, Profil «Eiletten»	31
a) Oertliche Verhältnisse	31
b) Profilmorphologie	31
c) Physikalische Eigenschaften	33
d) Chemische Eigenschaften	35
e) Dynamil und systematische Einordnung dieses Humuskarbonatbodens	41
2. Freiland-Humuskarbonatboden, Profil «Sennweid»	44
a) Oertliche Verhältnisse	44
b) Profilmorphologie	44

c) Physikalische Eigenschaften	45
d) Chemische Eigenschaften	47
e) Dynamil und systematische Einordnung	49
3. Bildungsbedingungen des Humuskarbonatbodens im Jura	49
C. Rendzina	51
1. Wald-Rendzina, Profil «Zwischenberg»	51
a) Oertliche Verhältnisse	51
b) Profilmorphologie	51
c) Physikalische Eigenschaften	53
d) Chemische Eigenschaften	55
e) Dynamische und systematische Einordnung	59
2. Bildungsbedingungen der Rendzina im Jura	61
D. Braunerde im Jura	62
1. Vorkommen	62
2. Wald-Braunerde, Profil «Halmet»	63
a) Oertliche Verhältnisse	63
b) Profilmorphologie	64
c) Herkunft des mineralischen Bodenmaterials, die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Profils	64
d) Dynamik und systematische Einordnung	68
3. Freilandbraunerde, Profil «Sennweid»	68
a) Oertliche Verhältnisse	68
b) Profilmorphologie	69
c) Herkunft des mineralischen Bodenmaterials, die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Profils	70
d) Dynamik und systematische Einordnung	73
IV. Abgrenzung des Humuskarbonatbodens und der Rendzina unter sich und gegen die Braunerde	74
V. Zusammenfassung	79
VI. Literaturverzeichnis	83

I. EINLEITUNG

Die Schweiz umfasst drei Landschaften eigener Prägung: die Alpen, das Mittelland und den Jura. Sie sind verschieden in den geologischen Verhältnissen, in der Geländeform, im Klima und in der natürlichen Pflanzendecke. Entsprechend den unterschiedlichen Gegebenheiten bilden sich in den einzelnen Gebieten Böden verschiedener Bodenserien aus.

Böden der Alpen und des Mittellandes wurden unter G. Wiegner und besonders unter seinem Nachfolger H. Pallmann durch zahlreiche Mitarbeiter des Agrikulturchemischen Institutes der Eidgenössischen Technischen Hochschule untersucht und systematisch geordnet.

Die vorliegende Arbeit ist ebenfalls auf Anregung von Herrn Professor Dr. H. Pallmann entstanden. Sie hat die Untersuchung der Böden zum Gegenstand, die sich auf den Karbonatgesteinen des Jura bilden, nämlich der Humuskarbonatböden und Rendzinen. Das Ziel der Arbeit besteht darin, diese beiden Bodentypen auf Grund von chemischen und physikalischen Untersuchungen zu charakterisieren, ihre Bildungsbedingungen und ihre Dynamik kennen zu lernen und sie in das Bodensystem von H. Pallmann einzugliedern.

In Zusammenarbeit mit den Herren Dr. M. Moor, Pflanzensoziologe in Basel, und R. Bach, Assistent für Bodenkunde am Agrikulturchemischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule, wurde eine grosse Zahl von Bodenprofilen an Standorten von definierten Wald-Pflanzengesellschaften geöffnet. Diese Feldarbeiten erstreckten sich praktisch über den ganzen Schweizer Jura. Ausser in Wäldern wurden auch Profile im Freiland auf Karbonatunterlage geöffnet. Dank diesem Vorgehen war es möglich, die Vielfalt der Erscheinungsformen der Böden des Jura und ihre Bildungsfaktoren kennen zu lernen. Auf Grund dieser Kenntnisse sind wir in der Lage, die Grenzen des Humuskarbonatboden- und Rendzina-typs sowohl unter sich, als auch gegen die Braunerde festzulegen.

Es wurden in der Folge fünf Profile mit kennzeichnenden Eigenschaften ausgewählt und analysiert.

Die verschiedenen Untertypen und Varietäten des Humuskarbonatboden- und des Rendzinatyps, d. h. ihre Entwicklung und Vielfalt in den Erscheinungsformen, werden von R. B a c h in einer demnächst erscheinenden Arbeit ausführlich beschrieben. Die Zusammenhänge zwischen Vegetations- und Bodenentwicklung werden auch in einer demnächst erscheinenden Arbeit von M. M o o r behandelt.

II. ALLGEMEINES

A. Der Jura als Ort der Bodenbildung

1. Geographische Lage

Auf Schweizergebiet erstreckt sich der Jura als Gebirgszug in grossem Bogen von der Dôle im Kanton Waadt bis in den Kanton Schaffhausen. Er schliesst die Schweiz im Westen und Nordwesten als natürlicher Grenzwall ab. Seine Länge beträgt 250 km; seine durchschnittliche Breite 25 km. Die Höhe nimmt von Südwesten nach Nordosten dauernd ab (Mont Tendre 1680 m, Weissenstein 1399 m, Lägern 883 m). Die innere Bogenlinie des Gebirgszuges stösst an das schweizerische Mittelland, die äussere an die Senken der Saône, des Doubs und des Rheins (vgl. J. Fröh¹⁴).

2. Geologische Verhältnisse

«Marine Sedimentation, später Dislokation und Erosion haben dieses Gebirge geschaffen» (A. Heim²¹). Tektonisch gliedert sich der Jura in den Tafeljura und den Kettenjura.

Der Tafeljura ist tektonisch mit dem Schwarzwald verbunden. Sein Gebiet setzt sich zusammen aus drei stufenförmig angeordneten, von West nach Ost sich hinziehenden Zonen, die durch Erosion in einzelne Tafelberge zerlegt sind, wobei das Gesamtbild auch durch tektonische Störungen beeinflusst wird. Die Schichten zeigen ein flaches Abfallen nach Süd-Südost, so dass auch die Oberfläche der Tafelberge nach Süden einsinkt. Gegen Norden finden sich als Stufengrenzen der einzelnen Tafeln Steilabstürze, als Felswände oder mehr oder weniger steile Schutthalden ausgebildet. Der Tafeljura wird begrenzt: im Norden durch die Wutach und den Rhein, im Westen durch den östlichen Rheintalgrabenbruch, im Süden durch den Kettenjura von der Birs bis an das Quertal der Aare. Im Osten, auf der Linie Brugg — Kaiserstuhl — Thayngen, taucht er ohne scharfe Grenze unter das Molasseland.

Der Kettenjura verdankt seine Faltung einer Horizontaldislokation der Alpen. Er besteht aus einer Schar von langen, unter sich mehr oder weniger parallel verlaufenden Gebirgsketten. Der

innere Bau des Gebirges kennzeichnet, trotz starker Erosion, das Landschaftsbild des Jura. Antiklinale Ketten mit teils scharfen Kämmen und steilen Flanken wechseln mit breiten synklinalen Längstälern. Durch enge Quertäler (Klusen) erfolgt die Wasserabfuhr aus dem Gebirge.

Doch im ganzen gesehen ist der Jura eher gemässigt in seinen Formen. Die postjurassischen Ablagerungen sind nach der Gebirgsbildung wieder weitgehend abgetragen worden. Sie finden sich heute zum Teil als Muldenkerne hauptsächlich in den grossen Längstälern und als Relikte auf den Hochflächen (vgl. H. Buxtorf und R. Koch⁷). Die heute zutage tretenden Schichten gehören grösstenteils der Juraformation an. Entsprechend dem raschen Schichtwechsel der Jurasedimente sind die an der Oberfläche vorhandenen Gesteine von unterschiedlicher petrographischer Zusammensetzung. Tone, Mergel und geschichtete Kalke wechseln in rascher Folge miteinander ab. Die verschiedenen Gesteinsarten können allmählich ineinander übergehen oder als einzelne Schichtreihen scharf abgegrenzt sein. Dolomit ist im Jura nicht vorhanden mit Ausnahme der oberen Portlandstufe. Ebenso gibt es fast keine echt terrigenen Gesteine im Jura. Ob die Tone als solche eingeschwenmt wurden oder ob sie sich erst im Jurameer durch Ausflockung der Sole ihrer Hauptkomponenten unter nachheriger Kristallisation gebildet haben, ist noch nicht abgeklärt (vgl. A. Jacob²⁷). Die Kalksteine können das Produkt sowohl rein chemischer als auch biogener Ausscheidung sein.

Die Oberflächengestaltung des Jura steht in enger Abhängigkeit vom petrographischen Charakter der Gesteine der anstehenden Schicht.

Der Lias oder schwarze Jura, die stratigraphisch unterste Schicht der drei Juraformationen, besteht zur Hauptsache aus dunkelfarbigem tonigen und mergeligem Gesteinen. Er bildet flache, fruchtbare Hänge.

Der Dogger oder braune Jura besteht vorwiegend aus Tonschiefern mit vielen festen Kalkbänken (Rogenstein). Er bildet felsige Hänge, die mit Wald bekleidet sind.

Der Malm oder weisse Jura, die oberste stratigraphische Schicht, zeigt im untern Teil ebenfalls tonige und mergelige Ablagerungen, die auch flache Hänge ausbilden. Der obere Malm mit harten

Kalken ist das Gestein der Felswände, Felsrippen und der felsigen Bergflanken.

Die älteren Schichten des Jura sind nur im östlichen Gebiet stark entblöst; gegen Westen und Süden treten sie immer mehr zurück, so dass nur noch der Malm und teilweise die Kreide an die Oberfläche treten.

In bezug auf die Verwitterung im Jura sagt A. Heim, dass die Oberflächengestaltung des Juragebirges heute relativ sehr langsam vor sich geht. Er begründet diese Erscheinung damit, dass die grosse Durchlässigkeit der meisten mesozoischen Gesteine das Niederschlagswasser rasch in die Tiefe bringt, so dass die Oberfläche nicht stark erodiert wird. Es findet langsam innere Auslaugung, aber wenig Abspülung statt. Deshalb gibt es im Jura keine Wildbäche. Der Jura hat in der Regel auch weniger Niederschläge als die Alpen. (Vgl. im weitem A. Heim²¹.)

3. Klimatische Verhältnisse

Das Juragebirge ist durch seinen Verlauf längs der westlichen und nordwestlichen Grenze der Schweiz als Sperrzone der westlichen, maritimen Winde anzusprechen, die uns nördlich der Alpen den weitaus grössten Teil der jährlichen Niederschlagsmenge bringen. Die eigentliche Luvseite des Jura liegt zum grössten Teil in Frankreich, so dass auch dort die grössten Jahres-Niederschläge festzustellen sind. Auf der Leseite, gegen Südosten, tritt eine rasche Abnahme ein. Von Südwesten nach Nordosten ist ein sukzessiver Rückgang der Jahresniederschläge festzustellen, wohl im Zusammenhang mit der im gleichen Sinne abnehmenden Gebirgshöhe. Der Mont Risoux, der westlichste Punkt des Schweizer Jura, weist eine mittlere Niederschlagsmenge von 2000 mm pro Jahr auf. Im mittleren Jura (Solothurn und Neuenburg) schwankt sie zwischen 1300 und 1500 mm. Im Nordwesten, im Gebiete des Tafeljura, haben wir Jahresniederschläge von 900—1000 mm. Im Norden, im Kanton Schaffhausen, betragen sie 800—900 mm. Sommerregen sind vorherrschend. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt im Tafeljura rund 8° C; im Kettenjura darf sie mit 5—6° C angenommen werden. Die einzelnen Stationen zeigen in bezug auf die mittlere relative Luftfeuchtigkeit nur geringe Unterschiede. Sie liegt bei 80%.

Diese Werte kennzeichnen wohl das Generalklima; die Lokalklimate können jedoch von diesen Werten erheblich abweichen, entsprechend den extremen orographischen Verhältnissen. (Vgl. hierzu: J. Maurer, R. Billwiller jr. und Ch. Hess⁴⁴, sowie H. Uttinger⁹².)

4. Pflanzendecke

Der Jura ist ein ausgesprochenes Waldgebirge. Landwirtschaftlich genutzt werden meist nur die ebenen Hochflächen oder schwachgeneigte Flächen am Fusse von Steilhängen. M. Moor unterscheidet im grossen gesehen folgende Waldpflanzengesellschaften als Klimax-Vegetationen. Die weitaus wichtigste und für den Jura charakteristische ist der Buchenwald im engern Sinne, das Fagetum. Dieses erstreckt sich auf der Nordwestseite, der Luvseite, als breites Band zwischen 400 und 1200 m Höhe. Unten wird der Buchenwald auf der Luvseite begrenzt durch den Eichen-Hagebuchenwald der Hügelstufe; oben durch den Hochstauden-Buchenwald, das Rumiceto-Fagetum. Auf der Südostseite, der Leeseite, sind die Grenzen um rund 300 m nach oben verschoben, und es schiebt sich zwischen Buchenwald und Eichen-Hagebuchenwald der Seggen-Buchenwald (an Steilhängen noch der Flaumeichenbusch). (Vgl. die pflanzensoziologischen Untersuchungen im Schweizer Jura von M. Moor^{47, 48}.)

B. Historisches zur Klassifikation der Humuskarbonathöden und Rendzinen

Die Karbonathöden der gemässigt humiden Klimate sind, vielfach unter dem Sammelbegriff Rendzina, in der Bodentypenlehre schon lange bekannt. Ob es selbständige Bodentypen sind, ist auch heute noch umstritten. Die Forscher der dynamischen Richtung sprechen ihnen den Charakter selbständiger Typen zu, während die Anhänger der Bodenzonenlehre sie nur als Vorstufen eines klimatischen Bodentyps gelten lassen. Ohne vorerst auf diese Frage einzugehen, sei festgestellt, dass die Klassifikationen der Karbonat-

böden die deutliche Tendenz erkennen lassen, sie in zwei grosse Gruppen zu trennen.

Die erste Gruppe umfasst diejenigen Böden, die sich auf Trümmern harter Kalke bilden. Sie zeichnen sich aus durch einen hohen Karbonatgehalt und reichlich Humus, der ihnen eine dunkle Farbe verleiht. Der Tongehalt und der Gehalt an primären Silikaten ist im Bodenprofil von untergeordneter Bedeutung.

Zur zweiten Gruppe gehören Böden, die auf mergeligen Unterlagen entstehen. Ihre kennzeichnenden Komponenten sind Karbonat und Ton. Der Anteil an primären Silikaten ist auch hier nebensächlich. Der Humusgehalt ist geringer als in den Böden der ersten Gruppe.

Die Böden beider Gruppen sind solche mit AC-Profilen.

E. R a m a n n⁶⁹ teilt die Karbonatböden ein in Kalkböden, Lehm- und Tonböden auf Kalk.

K. G l i n k a¹⁸ sagt: «Die kristallinen und halbkristallinen Kalksteine können, wie es scheint, wohl infolge ihrer geringen Löslichkeit des kristallinen Kalziumkarbonates keine Rendzina bilden.»

H. S t r e m m e⁸⁵ hat zwei Varietäten von Kalkböden ausgeschieden: dunkle Böden auf reinen Kalken und hellere auf mergeligen Unterlagen.

H. P u c h n e r⁶⁸ nennt kalkreiche Humusböden Rendzina und versteht darunter einen schweren, zähen, tonigen Boden.

F. S c h u c h t⁸⁰ unterscheidet Kalkböden im engern und weitern Sinne: «Unter Kalkböden im engern Sinne verstehen wir alle diejenigen Verwitterungsböden von Kalkgesteinen, bei denen sich die Eigenschaften des Gesteins, welche auf dem hohen Gehalt von CaCO_3 beruhen, ausschlaggebend durchsetzen. Hieher gehören die mehr oder weniger humosen, etwas verlehnten steinig-grusigen Kalkböden. Unter Kalkböden im weitern Sinne sind die lehmigen und tonigen Restböden zu verstehen, die nach Auslaugung der Karbonate als Deckbildungen zurückbleiben und in extremen Fällen so weit ausgelaugt sein können, dass sie trotz ihrer Entstehung aus Kalkgestein bereits kalkarm geworden sind.»

G. F r e b o l d¹² spricht von Kalk- und Mergelböden, wobei die ersteren einen Kalkgehalt von 80% und mehr aufweisen, während

die Mergelböden einen geringeren Karbonat-, aber höheren Tongehalt zeigen.

F. Scheffer⁷⁶ sagt, dass Rendzinen überall im Gebirge auf weichem Kalk und Mergel vorkommen.

W. L. Kubiena³² nennt karbonat- und humusreiche, tonarme Kalkböden Protorendzina und tonreiche Karbonatböden mit weniger Humus Mullrendzina. Die ersteren bilden sich auf harten Kalken, die letzteren auf weichen Mergeln.

M. Gračanin¹⁰ spricht einerseits von mineralischen Karbonatböden, die auf lehmig-tonigen Mergeln entstehen und anderseits von lithogenen Humuskarbonatböden, die sich auf Trümmern von hartem Kalkstein bilden.

Das Bestreben, die Karbonatböden in zwei grosse Gruppen zu trennen, geht aus der Literatur eindeutig hervor. Weniger einheitlich ist die Benennung der Böden der beiden Gruppen. E. Ramann⁷⁰ sagt in bezug auf Trennung und Namengebung folgendes: «Eine humusreiche Form der Karbonatböden wird in Polen als Rendzina bezeichnet, was etwa schwerer, toniger Boden bedeuten soll; in neuerer Zeit ist unter dem Einfluss russischer Bodenforscher die Bezeichnung Rendzina für alle aus der Verwitterung von Karbonatgesteinen hervorgegangenen Böden gebraucht worden; dies ist nicht zu empfehlen, da die Kalkböden doch zu weit in ihren Eigenschaften voneinander abweichen, um eine andere als genetische Namengebung zu rechtfertigen.»

In Anlehnung an die historische Benennung versteht H. Pallmann⁵⁹ unter *Rendzina* einen Karbonatboden, der auf Mergel entstanden ist, also einen Boden, der der zweiten Gruppe der Karbonatböden angehört. Ein Boden, der der ersten Gruppe zugeordnet wird, wird von H. Pallmann als *Humuskarbonatboden* bezeichnet (vgl. B. Aarnio und H. Stremme¹). Beide Böden verkörpern im Bodensystem von H. Pallmann⁶⁰ (auch Zürcher System genannt) auf Grund seiner Kriterien der Bodenklassifikation selbständige Typen. Die Typenzugehörigkeit eines Bodens in diesem System wird bedingt durch folgende Eigenschaften des Bodens als Perkolationsystem:

1. Die Richtung des Perkolationsstromes bzw. der Verlagerung hochdispenser Verwitterungs- und Humifizierungsprodukte im

Profil. Sie bestimmt die Zugehörigkeit des Bodens zur *Bodenklasse*.

2. Den Verwitterungsgrad der mineralischen Bodenbestandteile und durch den Anteil an Humus. Darnach werden die Klassen unterteilt in *Bodenordnungen*.
3. Den Chemismus des anorganischen Bodengerüstes, der über die Aufteilung der Bodenordnungen in *Bodenverbände* entscheidet.
4. Das kennzeichnende Perkolat. Darnach werden die Verbände unterteilt in *Bodentypen*; diese werden mit Trivialnamen bezeichnet.

Der *Bodenuntertyp* charakterisiert den genetischen Entwicklungszustand des Bodenprofils.

Die *Bodenvarietät* macht Aussagen über Besonderheiten des Bodenprofils.

Nach H. Pallmann sind nun Humuskarbonatboden und Rendzina wie folgt definiert, wobei zum Vergleich noch die Braunerde angeführt sei:

	<i>Humus-</i> <i>karbonatboden</i>	<i>Rendzina</i>	<i>Braunerde</i>
<i>Klasse:</i>	endo-perkolativ		
<i>Ordnung:</i>	organo-petrogen	organo-minerogen	
<i>Verband:</i>	terralkitisch	siallit-terralkitisch	ferri-siallitisch
<i>Typ:</i>	Terralk	Terralk	Terralk

Alle drei Typen gehören zur Klasse der endoperkolativen Böden, d. h. unter dem gemässigt-humiden Klima werden die hochdispersen Verwitterungs- und Humifizierungsprodukte mit dem Niederschlagswasser im Profil in die Tiefe verlagert.

Seiner Entstehung nach ist der Humuskarbonatboden organo-petrogen, d. h. das Profil erhält seine kennzeichnenden Eigenschaften vom Humus und vom Muttergestein, dessen chemische Eigenschaften durch die Verwitterung praktisch nicht verändert worden sind. Rendzina und Braunerde hingegen sind organo-minerogen, d. h. ihre kennzeichnenden Eigenschaften erhalten sie von Humus und von chemisch stark verwittertem Gestein.

Der Chemismus des mineralischen Bodengerüstes ist beim Humuskarbonatboden gekennzeichnet durch die Erdalkal karbonate,

er ist terralkitisch. Bei der Rendzina sind neben den Eralkalikonarbonaten die Tone (Alumosilikate) von entscheidender Bedeutung, sie ist siallit-terralkitisch. Die Braunerde enthält neben Alumosilikaten noch freigelegtes Eisen als kennzeichnenden Bestandteil, sie ist ferri-siallitisch.

Die kennzeichnenden Perkolate sind in allen drei Bodentypen die Erdalkalien (Terralk), doch vollzieht sich die Erdalkaliverlagerung in den drei Böden in verschiedenen Filtern und ist darum nicht in allen drei Typen dieselbe.

Die systematisch gleichwertige Stellung des Humuskarbonatbodens und der Rendzina neben Braunerde und Podsol in der Zone des gemässigt humiden Klimas ist gerechtfertigt. Eine Reihe von Bodenforschern, wie H. Stremme⁸⁵, W. Laatsch³⁴, E. Scherf⁷⁷, F. Scheffer⁷⁶, K. v. See⁸¹, V. Hohenstein²⁵ und A. Meyer⁴⁵, haben festgestellt, dass sich unter den gemässigt humiden Klimaverhältnissen mehrere Bodentypen gleichzeitig und in unmittelbarer Nachbarschaft entwickeln können und zwar in Abhängigkeit von den chemischen und physikalischen Eigenschaften des mineralischen Bodenmaterials. Aus ihren Beobachtungen lässt sich schliessen, dass unter den gemässigt humiden Klimabedingungen der Faktor Klima nicht von genügender Durchschlagskraft ist, um die eindeutige Ausbildung eines einzigen, zonalen Bodentyps zu erzwingen. Es wird somit auch fraglich, ob weiterhin von endodynamomorphen und ektodynamomorphen Böden im Sinne Glinkas¹⁸ gesprochen werden darf. Nach Glinka gehören beispielsweise die Braunerden Ramanns⁶⁹ zu den ektodynamomorphen, die Karbonatböden zu den endodynamomorphen Böden. Nach F. Scheffer⁷⁶ lässt sich keine scharfe Grenze ziehen. «Die Braunerden sind in ihrem Verbreitungsgebiet sehr verschiedenartig ausgebildet, und zwar sind sie nicht mehr allein als Klimatypen aufzufassen, sondern in vielen Fällen tritt der Einfluss des Muttergesteins sehr stark in den Vordergrund. Man kann daher die Braunerde als labilen Klimatypus auffassen, der durch Einflüsse wie Muttergestein oder Vegetation verhältnismässig leicht in Richtung der Schwarzerde oder des Podsoles verschoben werden kann.»

Wenn neben ausgedehntem Braunerde-Vorkommen die übrigen Bodentypen des gemässigt humiden Klimagebietes flächenmässig zurücktreten, so ist dies zur Hauptsache zufälliger Natur: Frühere

geologische Epochen der Gesteinsverwitterung und Gesteinsneubildung haben ein mineralisches Substrat hinterlassen, das die Ausbildung von Böden des Braunerdetypus bedingt.

Die Zuteilung der Humuskarbonatböden zu den Gesteinsböden (H. Stremme⁸⁵, E. Mückenhausen⁴⁹), den Skelettböden (F. Scheffer⁷⁶), den steinigen Böden (C. C. Nikiforoff⁵⁵), wird den natürlichen Gegebenheiten nicht gerecht. Ein steiniger Boden, dessen Skelett aus Urgestein besteht, ist etwas anderes als ein Humuskarbonatboden. Im ersten Falle ist das Skelett lediglich mechanischer Bestandteil des Bodenkörpers (E. J. Russell⁷⁵), im zweiten Falle hat das Skelett ausser statischen Eigenschaften auch dynamische Funktionen, entsprechend seinem chemischen Charakter. Die Bodenbildung wird auf den beiden Substraten in verschiedener Richtung verlaufen. Der Tongehalt ist bei nichtkarbonathaltigen Böden etwas weitgehend Unveränderliches (H. Stremme⁸⁶). Bei den Karbonatböden wird durch die Entkarbonatung eine mehr oder weniger grosse Menge an eingeschlossener Tonsubstanz freigelegt.

C. Untersuchungsmethoden

Die Analysendaten sind Grössen von Zustandseigenschaften des Bodenkörpers zur Zeit der Probeentnahme. Zusammengefasst und im Rahmen der ganzen Bodenserie betrachtet, können sie Aufschluss über die Dynamik und den genetischen Zustand des untersuchten Objektes geben. In diesem Sinne werden die Analysendaten auch als Hilfsmittel der Bodenklassifikation verwendet.

Selbstverständlich dürfen die Ergebnisse der Laboratoriumsarbeit nicht losgelöst vom Bodenprofil in der Natur betrachtet werden. H. P a l l m a n n⁶³ fordert denn auch neben der Profilbetrachtung eine «grosszügige Aufsichtsbetrachtung, die die Zusammenhänge zwischen den Bodentypen und ihrer Umwelt zu erkennen versucht».

1. Physikalische Untersuchungsmethoden

a) Schlämmanalyse

Die Bestimmung der Korngrössenverteilung in der Feinerde, die

durch Aussieben mit dem Sieb von 2 mm gewonnen wurde, erfolgte nach der Pipettmethode von Eisenwein (vgl. Wiegner-Pallmann⁹⁴).

Der hohe Grad der Sättigung mit zweiwertigen Kationen der zu untersuchenden Böden erschwerte eine vollständige Dispergierung der Feinerde. Natriumhexametaphosphat, im Handel bekannt unter dem Namen «Calgon», hat sich als der wirksamste Dispergator erwiesen. Calgon besitzt die Eigenschaft, mit den Erdalkalitionen Komplexverbindungen einzugehen, wodurch die betreffenden Ionen aus der Lösung verschwinden. Einzelheiten über dieses Reagens finden sich bei K. Karbe und G. Jander³⁰, sowie bei F. Leutwyler³⁸. Calgon wurde von uns angewendet in einer Konzentration von 0,01 molar in der Bodensuspension. (Der Zusatz von Calgon muss bei der Berechnung der Fraktionen berücksichtigt werden.)

Als vorbereitende Massnahme zur Schlämmanalyse war die Oxydation des Humus unbedingt notwendig. Die grosse Menge an organischer Substanz, besonders in Humuskarbonatböden, wirkt sich störend auf die Dispergierung und auf die Sedimentation aus. Die Feinerdeprobe wurde in einer Porzellanschale mit 30 % igem H_2O_2 zu einem Brei angerührt und leicht erwärmt. Das verbrauchte H_2O_2 wurde laufend ersetzt, bis keine weitere Aufhellung des mineralischen Rückstandes mehr erfolgte. Hierauf wurde die Probe in ein Becherglas übergeführt, mit der nötigen Menge Calgon versetzt und kurz erwärmt. Nach dem Erkalten wurde die Probe in den Pipettapparat eingefüllt und wie üblich verfahren.

Die Berechnung der einzelnen Fraktionen wurde auf die humusfreie Substanz bezogen, um für alle Horizonte eine einheitliche Bezugsbasis zu erhalten. Als Fraktionen wurden unterschieden:

Grobsand	2 — 0,2	mm Ø
Feinsand	0,2 — 0,02	mm Ø
Schluff (Silt)	0,02 — 0,002	mm Ø
Ton	kleiner als 0,002	mm Ø

(Vgl. hierzu Atterberg², Niggli⁵³ und Tommerup⁸⁹.)

b) Bestimmung der physikalischen Zusammensetzung des gewachsenen Bodens

Die Anwendung dieser Analyse sollte zwei Zwecke erfüllen: Einmal sollte sie Aufschluss geben über Porenvolumen und Luft- und Wasserkapazität, zum andern wünschten wir quantitative Werte über Skelett- und Feinerde-Anteil pro Volumeneinheit gewachsenen Bodens, um eine Vergleichsbasis zu erhalten, auf die alle Analysendaten bezogen werden können. Es genügt beispielsweise nicht, zu wissen, wieviel Ton in der Feinerde vorhanden ist; die absolute Menge pro Volumeneinheit ist massgebend. Der Wasserhaushalt, ein Hauptfaktor des Bodenklimas, steht in direkter Abhängigkeit von den physikalischen Eigenschaften des mineralischen Bodenmaterials. Die Probeentnahme durch Zylinder, wie sie von *Burger* angewendet werden, ist nur solange durchführbar, als das Skelett eine Grösse von höchstens 5 cm nicht übersteigt und solange es nicht den Hauptbestandteil der festen Bodensubstanz ausmacht. In den eigentlichen, skelettreichen Humuskarbonatböden ist die Methode, wie *Burger* selbst betont, nicht brauchbar. An Stelle der Zylinderprobe haben wir im Waldbodenprofil «Eiletten» ein bestimmtes Volumen ausgegraben und durch Aussieben den Skelett- und Feinerdeanteil pro Volumeneinheit Boden bestimmt. Es ist allerdings nicht möglich, bei diesem Vorgehen das Porenvolumen in Luft- und Wasservolumen zu trennen (vgl. *H. Burger*⁶).

2. Chemische Untersuchungsmethoden

a) Pauschalanalyse

Die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung des Skelettes, der Feinerde und der Kolloidfraktion ist besonders für die Abklärung der Bodenentwicklung wichtig. Spezifische chemische Eigenschaften des Bodenprofils entscheiden oft über die Zugehörigkeit des Bodens zu einem bestimmten Bodentyp.

Die Interpretation der Ergebnisse der Pauschalanalyse muss mit aller Vorsicht geschehen. Vor allem ist auseinanderzuhalten, ob Unterschiede im Chemismus die Folge von Bodenbildungsvorgängen sind, oder ob sie bedingt sind durch ungleiche chemische Zusam-

mensetzung des mineralischen Ausgangsmaterials der Bodenbildung, kurz gesagt, ob es sich um eine dynamisch-genetische Profildifferenzierung oder um zufällige Schichtunterschiede handelt. Ob das mineralische Bodenmaterial zu Beginn der Bodenbildung homogen war, ist in der Natur wohl selten mit Sicherheit festzustellen.

Ein Vergleich der Molekularverhältnisse von Kieselsäure und Sesquioxiden aus Skelett, Feinerde und Tonfraktion der verschiedenen Horizonte des Profils vermag darüber Aufschluss zu geben, ob das Skelett als Muttergestein des Bodens anzusprechen ist, oder ob die mineralische Feinerde aus anderem Material entstanden und mit dem Skelett vermischt worden ist. Bei einheitlichem Muttergestein geht aus dem Vergleich der Molekularverhältnisse von Kieselsäure und Sesquioxiden hervor, ob die eine oder andere dieser Komponenten im Profil verlagert worden ist.

Nach G. Robinson⁷³ und J. Geering¹⁶ ist in Profilen, die sich aus allochthonem Material entwickelt haben, unter gemässigt humiden Klimabedingungen die Kolloidfraktion im ganzen Profil in bezug auf die Molekularverhältnisse von Kieselsäure und Sesquioxiden weitgehend einheitlich, weil der Ton als Produkt früherer Verwitterungsepochen durch mechanische Mischung im Profil verteilt wurde. Es genügt daher, das $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ -Verhältnis der Tonfraktion zu kennen, um sagen zu können, ob eine Wanderung von Kieselsäure oder Sesquioxiden im Profil stattgefunden hat oder nicht. Bei Profilen, die auf autochthonem Material entstanden sind, ist diese Schlussfolgerung nicht zulässig, weil in diesem Falle verschiedene $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse durch Schichtunterschiede bedingt sein können.

Die Pauschalanalyse wurde nach der Anleitung von J. Jakob²⁸ ausgeführt. Damit die Analysendaten der einzelnen Horizonte eines Profils verglichen werden können, wurden die Prozentzahlen auf Molekularzahlen und Molekularwerte nach P. Niggli⁵⁴ umgerechnet. Die Niggliwerte geben Aufschluss über die Aenderung im Chemismus der mineralischen Bodenbestandteile, da Humus und Wasser, die nur Verdünnungsmittel sind, bei der Berechnung der Werte von si, al, fm, c und alk nicht berücksichtigt werden. Der Verlauf der Verwitterung wurde im Verwitterungsdiagramm graphisch dargestellt. Um einen Vergleich der nichtkarbonatigen Bestandteile besser zu ermöglichen, wurden die Analysen auch kar-

bonatfrei berechnet. In der Tonfraktion wurden nur Kieselsäure und Sesquioxyde bestimmt.

b) Karbonatanalyse

Der Karbonatgehalt wurde gasvolumetrisch nach der Methode von Lunge und Rittener bestimmt (vgl. D. W. Treadwell⁹⁰). Er wurde ermittelt im Skelett, in der Feinerde und in den einzelnen Fraktionen der Feinerde. Dies ermöglichte eine genaue Karbonatbilanz in den einzelnen Horizonten und Fraktionen. Die Bestimmung des Karbonatgehaltes in den einzelnen Fraktionen wurde vorgenommen an Proben der Pipettanalyse nach Eisenwein. Die für die Ermittlung der Korngrösse bestimmten 10 ccm wurden in zylinderförmige Gläschen von 15—20 ccm Inhalt abgelassen und wie üblich nach dem Eintrocknen das Gewicht der Fraktion bestimmt. Hierauf wurden die Gläschen mit dem Inhalt in den Zersetzungskolben des Lunge-Rittener-Apparates gebracht und das CO₂ bestimmt. Ausgehend vom Gesamt-Karbonatgehalt der Feinerde wurde nach dem gleichen Rechnungsgang, wie er angewendet wird zur Ermittlung der Korngrössenverteilung, der Karbonatgehalt der zugehörigen Fraktion bestimmt.

c) Humusanalyse

Der Humusgehalt wurde als Gesamthumus (vgl. H. Pallmann⁶⁴, A. Schmuziger⁷⁹) durch die nasse Verbrennung mit Bichromat-Schwefelsäuregemisch ermittelt (vgl. Wiegner-Pallmann⁹⁴, E. Frei¹³).

d) Bestimmung der sorbierten basischen Kationen und der Anionen

Der Sorptionskomplex der normal sich entwickelnden Humuskarbonathöden und Rendzinen ist zum überwiegenden Teil mit Ca-Ionen besetzt. Die Bestimmung des umtauschbaren Kalziums wird durch die Gegenwart von CaCO₃ sehr erschwert. Die üblichen Methoden der Verdrängung durch Säuren oder Neutralsalzlösungen sind nicht anwendbar, weil diese Agenzien so bedeutende Mengen an Kalziumkarbonat lösen, dass eine quantitative Bestimmung des sorbierten Kalziums unmöglich wird. Die für den Fall der An-

wesenheit von Karbonat in der Literatur angegebenen Methoden lieferten keine befriedigenden Resultate.

Wir arbeiteten in der Folge mit einer gepufferten Umtauschlösung von pH 8,2, bestehend aus $n/2$ NH_4Cl und NH_4OH . Die Löslichkeit von CaCO_3 ist in diesem Medium so gering, dass der dadurch verursachte Fehler vernachlässigt werden darf. Es wurde festgestellt, dass nach dem Schütteln von 20 g gefällttem CaCO_3 mit 1 Liter der angegebenen Lösung während 48 Stunden 1,6 Mval Ca in Lösung gegangen sind. Die Löslichkeit ist abhängig vom Dispersitätszustand des CaCO_3 . Wir glauben, dass es sich nicht um eine reine Löslichkeit von CaCO_3 handelt, sondern vielmehr um einen Umtauschvorgang am CaCO_3 -Kristall, denn es konnte in der Lösung nicht die dem gefundenen Kalzium äquivalente Menge CO_2 festgestellt werden.

Anwendung der Methode

Damit beim Austausch kein Kalzium ausgefällt wird, wurde die Umtauschlösung von NH_4Cl und NH_4OH karbonatfrei hergestellt. Dies wird erreicht durch Auskochen des destillierten Wassers und Verwendung von reinem NH_4Cl . NH_4OH wird so lange durch Destillation in die NH_4Cl -Lösung eingeleitet, bis das gewünschte pH erreicht ist. An Stelle der Perkolation wurde die Bodenprobe mit der Umtauschlösung ausgeschüttelt. 25 g lufttrockene Feinerde, wenn dieselbe ton- und humusreich war, oder 50 g, wenn Grob- und Feinsand vorherrschten, wurden in einen mit Stickstoff ausgespülten 1-Liter-Erlenmeyer-Kolben eingewogen, mit 1000 ccm Umtauschlösung versetzt und während 48 Stunden geschüttelt. Hernach wurde die Suspension auf einer Nutsche abfiltriert. Es wurde nicht ausgewaschen, um nicht Karbonat in Lösung zu bringen. 900 ccm des Filtrates, entsprechend 22,5 bzw. 45,0 g Feinerde, wurden zur Bestimmung der basischen Kationen und der Anionen verwendet. Der Umtausch darf bei diesem Vorgehen als praktisch vollständig angenommen werden. Ein Ionenangebot von mindestens 500 Mval steht einer Menge von höchstens 30 Mval austauschbarer Ionen gegenüber (vgl. P. V a g e l e r⁹³, A. H o f m a n n und K. G i e s e²²).

e) Bestimmung der Gesamtazidität

Humusbildung und hydrolytische Verwitterung schaffen H-Ionen im Sorptionskomplex. Die fest sorbierten H-Ionen des Umtausch-

komplexes werden erst durch Erhöhung des pH der Umtauschlösung aktiviert und austauschbar. (Vgl. H. Riehm⁷², K. Endell und P. Vageler⁸.) Es ist nun eine Ermessensfrage, bei welchem pH die austauschbaren H-Ionen bestimmt werden sollen. E. Frei¹³ nennt denn auch mit Recht die Umtauschwerte konventionelle Kennzahlen. Sie sind vergleichbar, wenn die pH-Werte des Umtausches mit angegeben werden.

Die umtauschbaren H-Ionen wurden durch Titration mit $\text{Ba}(\text{OH})_2$ unter Zusatz von BaCl_2 bestimmt. Im einzelnen wurde wie folgt vorgegangen: In 8 Erlenmeyerkolben von 300 ccm Inhalt wurden je 20 g Feinerde eingewogen und mit steigenden Mengen von $\text{Ba}(\text{OH})_2$ von 0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 3, 4 und 5 Mval in 100 ccm n/10- BaCl_2 -Lösung beschickt und unter zeitweiligem Umschwenken 48 Stunden stehen gelassen. Nach Ablauf dieser Zeit wurde in jeder Probe das pH gemessen. Die Arbeiten wurden zwecks CO_2 -Ausschluss in Stickstoff-Atmosphäre durchgeführt. Mval zugesetzten $\text{Ba}(\text{OH})_2$ und zugehöriges pH wurden als Kurve graphisch dargestellt. Bei pH 8,2 wurde die Anzahl verbrauchter Mval $\text{Ba}(\text{OH})_2$ pro 20 g Boden graphisch ermittelt und auf 100 g Boden umgerechnet. Die Anzahl Mval verbrauchter $\text{Ba}(\text{OH})_2$ wurde den bei pH 8,2 ausgetauschten Mval H-Ionen gleichgesetzt. Die Titrationmethode wird von R. Bradfield⁵, L. Baver³, W. Laatsch³⁵ und S. Mattson⁴² zur Bestimmung der Umtauschkapazität dialysierter Tone angewendet.

f) Bestimmung der Umtauschkapazität

Die Summe der gesamten umtauschbaren Kationen (T-Wert nach P. Vageler⁹³) in Mval pro 100 g lufttrockener Feinerde wurde bestimmt durch Addition der basischen Kationen (S-Wert nach P. Vageler⁹³) und der H-Ionen.

g) Bestimmung des Boden-pH

Die pH-Bestimmung erfolgte in der Suspension der frischen Bodenprobe nach der Chinhydrin-Methode (vgl. Wiegner-Pallmann⁹⁴).

III. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

A. Herkunft und Charakter der Tonsubstanz in den untersuchten Bodenprofilen

1. Herkunft der Tonsubstanz

Die Tonsubstanz der Böden des Jura ist bereits im Muttergestein als Gemengteil der marinen Sedimente in wechselnden Mengen vorhanden. Im Verlauf der Bodenbildung werden diese Tonbestandteile durch die Lösungsverwitterung der Karbonate freigelegt und im Profil angereichert oder durch Erosion in entkarbonatisiertem Zustand verfrachtet. Ausser diesen Tonmineralien und geringen Mengen von Quarz enthalten die Juragesteine in nennenswerter Menge keine primären Silikate, aus denen sich sekundär Tonbestandteile bilden könnten.

2. Charakter der Tonsubstanz

Die Tonsubstanz wurde untersucht auf ihre Umtauschkapazität, ihre Salzsäurebeständigkeit, das Molekularverhältnis von Kieselsäure und Sesquioxiden vor und nach der Behandlung mit Salzsäure, sowie auf die Art der kristallinen Bestandteile. Aus dem Profil «*Halmet*» wurden aus dem Tonanreicherungshorizont durch Schlämmen und Abpipettieren ca. 100 g Ton (0,002 mm Ø und kleiner) gewonnen, mit Wasserstoffsperoxyd von allfällig vorhandenen Humusstoffen befreit und hernach erschöpfend elektrodialysiert (vgl. S. Mattson⁴³ und S. Odén⁵⁸). Der getrocknete und pulvrige H-Ton diente als Ausgangsmaterial der folgenden Untersuchungen:

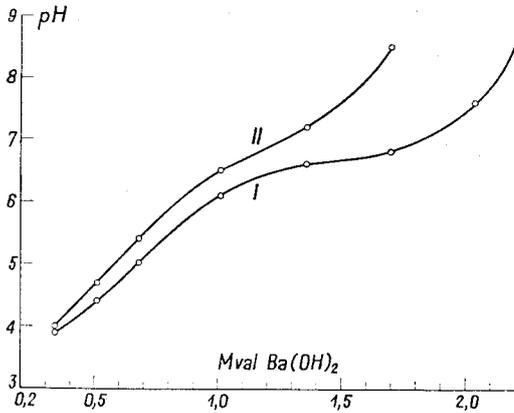
a) Umtauschkapazität

Die Umtauschkapazität (vgl. Tabelle 1, Figur 1) für Kationen wurde durch Titration mit $\text{Ba}(\text{OH})_2$ unter Zusatz von $n/10 \text{ BaCl}_2$ bestimmt (vgl. R. Bradfield⁵, L. Baver³, S. Mattson⁴², W. Laatsch³⁵), und zwar am natürlichen wie an dem mit normaler Salzsäure behandelten Ton. Die bei pH 8,2 zugesetzten

Mval $\text{Ba}(\text{OH})_2$ wurden als Umtauschkapazität angenommen. Die Umtauschkapazität des Halmet-Tones betrug vor der Behandlung 71 Mval/100 g, nach der Behandlung 57 Mval/100 g.

Tabelle 1. Titration eines Tones aus der Doggerformation zur Bestimmung der Umtauschkapazität vor und nach der Behandlung mit normaler HCl. 3 g Ton mit steigenden Mengen $\text{Ba}(\text{OH})_2$ versetzt.

I Vor der Behandlung mit HCl		II Nach der Behandlung mit HCl	
Mval $\text{Ba}(\text{OH})_2$	pH	Mval $\text{Ba}(\text{OH})_2$	pH
0,34	3,9	0,34	4,0
0,51	4,4	0,51	4,7
0,68	5,0	0,68	5,4
1,01	6,1	1,01	6,5
1,36	6,6	1,36	7,2
1,70	6,8	1,70	8,5
2,04	7,6	—	—
2,21	8,7	—	—



Figur 1. Titrationskurven zu Tabelle 1.
Mval $\text{Ba}(\text{OH})_2$ bei pH 8,2 = Umtauschkapazität.

b) Verhalten gegen Salzsäure

Um Aufschluss darüber zu erhalten, ob als Hauptbestandteil der Tonfraktion kristalline Tonminerale oder andere Körper vorliegen, wurde der Ton folgenden Behandlungen mit Salzsäure unterworfen: die Tonfraktion wurde im einen Falle mit normaler Salzsäure, im andern Falle mit konzentrierter Salzsäure während 30 Minuten auf dem Wasserbade erwärmt. Der Rückstand wurde durch Dekantieren und Filtrieren von den gelösten Sesquioxiden befreit, durch Elektrodialyse gereinigt, getrocknet und hernach gemahlen, um anschliessend der Umtauschkapazitätsbestimmung, dem Sodaufschluss und der Röntgenanalyse zu dienen. Wie aus Tabelle 2 ersichtlich ist, sind 26 % bzw. 27 % Sesquioxyde in Lösung gegangen. Die Tonsubstanz verlor durch die Behandlung mit Salzsäure ihre ursprünglich gelbrötliche Farbe, sie wurde grau. Das $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ -Verhältnis hatte sich vergrössert. Wie erwähnt, war die Umtauschkapazität kleiner geworden. Ähnliche Feststellungen haben bei der Salzsäurebehandlung von Tonen A. Jacob, U. Hofmann, H. Loofmann und E. Maegdefrau²⁶ gemacht.

Zur Erklärung der Auflösung der Sesquioxyde in HCl (und evtl. auch der Kieselsäure, vgl. P. Urbain⁹²) gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Die vorgenannten Autoren nehmen an, dass die gelösten Produkte von beigemengten Oxyden stammen, die am Gitteraufbau der Tonminerale keinen Anteil haben, und schlagen daher vor, die Berechnung der Molekularverhältnisse von Kieselsäure und Sesquioxiden auf den salzsäureunlöslichen Rückstand zu beziehen. Diese Ansicht ist geeignet, den Ueberschuss an Eisen und Aluminium in den Doggermergeln zu erklären.

2. R. H. J. Roborgh und N. H. Kolkmeijer⁷⁴ vertreten die Ansicht, dass die kristallinen Tonminerale von einer stabilen Schicht eines Al-Fe-Si-Geles, das ein Hydrolyseprodukt ist, umgeben seien. Durch die HCl-Behandlung soll einzig diese lockere Oberflächenschicht der Tonpartikel gelöst werden. Das Vorhandensein einer permutoiden Oberflächenschicht könnte die höhere Umtauschkapazität des nicht mit Salzsäure behandelten Tones erklären.

Tabelle 2. Kieselsäure- und Sesquioxydgehalt eines Tones aus der Doggerformation (Halmet-Ton) vor und nach der Behandlung mit normaler und konzentrierter Salzsäure. Zum Vergleich zwei Analysen glimmerartiger Tone aus der Literatur.

	Gewichtsprozente, bezogen auf Ausgangsmaterial unbehandelt					Verlust in %, bezogen auf Ausgangsmaterial unbehandelt					Molekularverhältnisse			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	total	SiO ₂ : R ₂ O ₃	SiO ₂ : Al ₂ O ₃	SiO ₂ : Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ : Fe ₂ O ₃			
Vor der Behandlung	36,22	38,03	8,85	—	—	—	—	1,43	1,64	11,05	6,75			
Mit HCl n/1 30 Minuten gekocht	36,22	17,71	3,52	—	20,32	5,33	25,65	3,08	3,47	27,4	7,90			
Mit HCl konz. 30 Minuten gekocht	36,22	17,08	2,35	—	20,95	6,50	27,45	3,31	3,60	41,1	11,4			
Glimmer von Goeschwitz *	51,65	21,67	6,20	1,24	—	—	—	3,29**	4,06	17,2**	4,24**	5,44		
Grims «sericite-like mineral» Illit *	50,10	25,12	5,12	1,52	—	—	—	2,86**	3,39	18,2**	5,35**	7,69		

* Entnommen aus: E. M a e g d e f r a u u n d U. H o f m a n n, Glimmerartige Mineralien als Tonsubstanzen. Z. Kristallogr. (A) 98, 1937, 31—59.

** In diesen Werten ist das FeO als Fe₂O₃ enthalten.

Durch Umrechnung aus der Umtauschkapazität vor und nach der Behandlung mit Salzsäure ergibt sich für die Grenzschicht eine Umtauschkapazität von 112 Mval pro 100 g ihrer Substanz, wenn mit einer Löslichkeit von 26,0% gerechnet wird. Die Gegenwart von Gelen ist, wie aus den Arbeiten von Tamm⁸⁷, Pallmann⁶⁵ und andern Forschern hervorgeht, sichergestellt.

Roborgh und Kolkmeijer⁷⁴ vertreten auf Grund ihrer Versuche den Standpunkt, es sei die Frage noch unentschieden, ob die zuvor erwähnte Hydrolysehaut tatsächlich röntgenamorphen Charakter habe oder aber sich in einem Zustand beginnender Kristallinität befinde, der sich mit den heute verfügbaren Mitteln noch nicht mit Sicherheit nachweisen lasse. Daneben müssen jedoch die in der Natur der Sache liegenden, fließenden Uebergänge von echt-amorphen Zuständen zu mesomorphen und feinst kristallinen beachtet werden, wie es P. Niggli⁵² mit besonderem Nachdruck hervorhebt, wenn er zur hier interessierenden Frage schreibt: «Eine strenge Klassifikation und Abgrenzung dieser Mineralarten — nämlich der Tonminerale — ist aber wahrscheinlich nicht nur heute noch nicht möglich, sondern prinzipiell undurchführbar, da alles unter dem Begriff des Werdens, Aufbauens und Ineinanderübergehens verschiedener Schichtkonfigurationen betrachtet werden muss.»

Im übrigen halten auch E. Maegdefrau und U. Hofmann⁴⁰ es durchaus für möglich, dass in Tonen sich gewisse Anteile amorpher Substanzen vorfinden.

c) Röntgenographische Untersuchungen

Die röntgenographischen Untersuchungen wurden am Mineralogischen Institut der ETH von Herrn Professor Dr. E. Brandenberger durchgeführt, wofür ihm hier besonders gedankt sei.

Die Röntgendiagramme der Tonfraktionen aus den einzelnen Profilen stimmten weitgehend überein. Die ersten Aufnahmen von unbehandelten Tonen zeigten jedoch eine intensive Grundschwärzung. In der Folge wurden die Aufnahmen an Proben wiederholt, die, wie oben angegeben, mit normaler Salzsäure behandelt worden waren. Sie ergaben dieselben Interferenzbilder, indessen war die

Grundschwärzung merklich geringer geworden. Diese Feststellung deckte sich mit den Beobachtungen von A. Jacob, U. Hofmann, H. Loofmann und E. Maegdefrau²⁶, sowie N. H. J. Roborgh und N. A. Kolkmeijer⁷⁴.

Auf Grund der Röntgendiagramme, speziell der letzten Art, liess sich feststellen, dass neben einem geringen Quarzgehalt die Hauptmenge der kristallinen Anteile der Tonfraktion der Gruppe glimmerartiger Tonminerale zuzuordnen ist. Die Netzebenen-Abstände stimmen mit den von E. Maegdefrau und U. Hofmann⁴⁰ und R. E. Grim²⁰ gemachten Angaben weitgehend überein (vgl. Tab. 3). Nach E. Maegdefrau⁴¹ sind diese glimmerartigen Tonminerale in der Tat Hauptbestandteil der kalkigen Tone von der Art, wie sie hier untersucht wurden. E. Maegdefrau⁴¹ gibt für diese Gruppe der Tonmineralien eine Umtauschkapazität von 10—40 Mval (bis 60 Mval?) pro 100 g an. Die Umtauschkapazität wie auch die Molekularverhältnisse von $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ der salzsäurebehandelten Tone aus den von uns untersuchten Böden liegen grössenordnungsmässig im Bereich der glimmerartigen Tonmineralien. Allgemein sind sie in Böden unter gemässigtem Klima neben Montmorillonit am häufigsten anzutreffen. Von den Amerikanern werden sie Illite genannt, dabei wird aber die nahe Verwandtschaft von Illit mit den Glimmer-Mineralien durchaus auch von jener Seite anerkannt (vgl. R. E. Grim²⁰).

Tabelle 3. Röntgendiagramm des «Halmet»-Tones im Vergleich mit den Diagrammen von zwei glimmerartigen Tonmineralien. (Illit, vgl. R. E. Grim²⁰, und Glimmer von Goeschwitz, vgl. E. Maegdefrau und U. Hofmann⁴⁰.)

«Halmet»-Ton		Illit		Glimmer von Goeschwitz	
d	I	d	I	d	I
10,10	5	9,98	s	10,25	4
4,92	1	4,97	w	4,95	1/2
4,46	5	4,47	s	4,46	5
		4,11	ww		
3,68	2	3,70	ww		
*		3,40	ww		
3,32 Q	3	3,31	m	3,30	3
		3,20	ww		
		2,98	w		
2,84	2	2,84	ww		
2,57 *	5	2,56	s	2,57	5
2,45 Q	1	2,44	w		
2,40	1	2,38	m	2,40	1
2,33 *	1				
2,23 Q	1	2,24	m	2,25	1/2
2,18	1	2,18	w	2,20	1/2
2,12	2	2,11	w	2,12	3
1,99	1	1,98	m	1,98	1/2
1,81 Q	3				
1,70	2			1,70	1
1,65	1	1,65	w		
		1,64	m	1,64	2
1,54 Q	3				
1,49	5	1,50	s	1,50	4
1,37 Q	3				
		1,34	ww		
1,29	3	1,29	m	1,30	2
1,25	1	1,24	w	1,25	1

Zeichenerklärung: d = Netzebenenabstand in Å⁰
 I = Intensität
 Q = reine Quarzlinie (vgl. C. Nagelschmidt⁵¹)
 $*Q$ = Quarzlinie mit Illitinterferenzen koinzidierend

B. Humuskarbonatboden

1. Wald-Humuskarbonatboden, Profil «Eiletan»

a) Oertliche Verhältnisse

Lokalität: Ca. 200 m unterhalb des Plateaurandes des Berges Eiletan, Gemeinde Arisdorf, BL., Top. Atlas Bl. 28, Koord. 625,5/261,3. Höhe ü. M. 570 m. Exposition SSW, Neigung 60%.

Geländeform: Steilhang, ausgebildet als riesiges, offenes Amphitheater.

Geologische Unterlage: Dogger, Hangkolluvium, mittel- und feinkiesige Trümmer von Hauptrogenstein, vermischt mit tonigem Material aus mergeligen Zwischenlagen der Doggerformation.

Klima: mittlere jährliche Niederschlagsmenge: ca. 900 mm, mittlere Jahrestemperatur: ca. 8° C. Klimatyp Köppen³³: Cfb.

Vegetation: Cariceto-Fagetum caricetosum albae.

Profilmerkmale:

Mächtigkeit: tiefgründig.

Hauptwurzelraum: 25 cm.

Nebenwurzelraum: 70 cm.

Entkarbonatungstiefe: 0 cm.

Horizontdifferenzierung: deutlich.

Horizontgrenzen: diffus.

Wasserregime: trocken.

Biologische Aktivität: zeitweilig gehemmt durch Austrocknung.

b) Profilmorphologie*

Streudecke: deckt ca. 80% (Juli 1947) in ungleicher, bis 8 cm mächtiger Schicht. Laubstreu gerollt, extrem locker, stellenweise durchsetzt mit splittigerem Feinskelett.

kA₀: deckt ca. 60%. Meist nur schwach lagig, in grobblättrigem Zerfall mit Skelett vermischt. Oft mit Wurmexkrementen durchsetzt und von Faserwurzeln durchzogen. In Nestern schwach lagig, gebleicht und verpilzt.

* Die Profilbeschreibung stammt von R. Bach, die Analysendaten sind vom Verfasser.

kA_1 : insgesamt 90 cm mächtig.

kA_1^1 : 0—25 cm.

Skelett: fein- und mittelkiesig, ca. $\frac{4}{5}$ des Gesamtbodens.

Feinerde: leichter Ton.

Humus: 23 %, Kopromull.

Gefüge: Feinerde vollständig gekrümelt, Krümel durchschnittlich 8 mm gross, polyedrisch, sehr stabil, nur schwach aggregiert, aber intensiv wurzelverheftet.

Hauptwurzelraum der Bäume.

Vereinzelte Mausgänge nahe der Oberfläche.

Farbe: rauchschwarz mit Braunstich.

kA_1^2 : 25—70 cm.

Skelett: mittel- und feinkiesig, ca. $\frac{5}{6}$ des Gesamtbodens.

Feinerde: sandiger Ton.

Humus: 10 %, Kopromull.

Gefüge: Feinerde vollständig gekrümelt, Krümel etwas kleiner als im kA_1^1 , wenig stabil, polyedrisch, stärker aggregiert, weniger wurzelverheftet.

Nebenwurzelraum der Bäume.

Kalkflaum nesterweise angereichert in Feinerde.

Farbe: dunkelbraunschwarz mit Graustich.

kA_1^3 : 70—90 cm.

Skelett: mittel- und feinkiesig, splittrig-kantig, ca. $\frac{4}{5}$ des Gesamtbodens.

Feinerde: sandiger Ton.

Humus: 6 %, Kopro- bis Chemomull.

Gefüge: Feinerde gekrümelt, Krümel ca. 3 mm gross, polyedrisch, mässig stabil, nicht aggregiert, nur schwach wurzelverheftet.

Farbe: graubraun.

kA_2B_{ca} : 90—140 cm.

Skelett und Feinerde durch $CaCO_3$ -Ausscheidung (wohl grösstenteils aus dem Hangwasser) fast zu einer Brekzie verfestigt.

kC : über 140 cm Tiefe.

Kolluviales Skelett und mineralische Feinerde.

c) Physikalische Eigenschaften

Neben der dunklen Farbe ist der Skelettanteil die auffälligste Erscheinung des Humuskarbonatbodenprofils. Das Skelett besteht aus einem feinkörnigen Hauptrogenstein von hoher mechanischer Festigkeit. Die Lösungsverwitterung vollzieht sich nur an der Oberfläche. Das vorwiegend fein- und mittelkiesige Material ist kantig-splittig, von regelloser Form und, entsprechend seiner Natur als Hangkolluvium, in hohlraumreicher Lagerung (vgl. Tabellen 4, 5). Das Skelett hat stützenden Charakter und bewahrt so das Profil vor einer Dichtsackung. Die Feinerde, deren tonige Bestandteile von unten nach oben zunehmen (vgl. Tabelle 6), ist mehr oder weniger lose in den Hohlräumen zwischen dem Skelett gelagert und durchwegs gekrümelt. Die Krümel sind im obern Horizont infolge des höheren Ton- und Humusgehaltes stabiler als in tieferen Profillagen. Eine mechanische Durchschlammung von Bodenkolloiden ist nicht feststellbar. Die innere Lockerheit des Profils gewährleistet eine gute Wasser- und Gasführung.

Die durch CaCO_3 -Ausscheidung verfestigte Schicht in 90 cm Tiefe ist nicht als Illuvial-Horizont anzusprechen, weil ihre Entstehung wahrscheinlich eine Folge des zirkulierenden Hangwassers ist. Derartige Karbonatausscheidungen sind rein zufälliger Natur und nicht charakteristisch für einen Humuskarbonatboden, der auf jeden Fall ein Boden mit AC-Profil bleibt.

Der Wasserhaushalt des Profils wird durch diese verfestigte Schicht nicht wesentlich beeinflusst wegen der grossen Steilheit des Hanges. Das Profil zeigt eine grosse Stabilität trotz der Lockerheit des Materials und trotz des grossen Hangwinkels. Die kräftige Durchwurzelung, das kantig-sperrige Skelett und die bindende Feinerde in der Profilverlagerung gewährleisten eine mechanische Ruhe. Ausserdem wird das überschüssige Hangwasser dank der guten innern Profildrainage rasch durch das Profil abgeführt, so dass keine Erosion erfolgen kann.

Eine geringfügige Skelettverschiebung dürfte an der Oberfläche möglich sein, doch ist sie von untergeordneter Bedeutung und nicht in der Lage, die Profilreifung zu hemmen. Ein Nachschub an neuem Skelettmaterial ist nicht möglich, da eine überstehende Felswand fehlt.

Tabelle 4. Physikalische Zusammensetzung: Wald-Humuskarbonatboden, Profil «Eileten».

Horizonte	Gewicht von 1 dm ³ gewachsenen Bodens, bei 105° C getrocknet g			Volumen der festen Bodenbestandteile ccm				Wasser- gehalt des gesättigten Bodens ccm	Poren- volumen ccm	Luft- kapazität ccm	Verhältnis Skelett: Feinerde gewichte- mässig	
	Feinerde	Skelett	Wurzeln	total	Feinerde	Skelett	Wurzeln					total
0—10 cm	178	714	16	908	81	274	11	366	634	283	4,0:1	
30—40 cm	252	1204	4	1464	92	474	3	569	428	n. b.	4,8:1	
70—80 cm	361	1192	2	1555	134	458	1	593	405	n. b.	3,8:1	

Tabelle 5. Körnung des Skelettes: Wald-Humuskarbonatboden, Profil «Eileten».

Horizonte	Feinkies 0,2—2 cm Ø %	Mittelkies 2—10 cm Ø %	Grobkies 10—20 cm Ø %
0—10 cm	63	37	0
30—40 cm	25	68	7
70—80 cm	30	65	5

Tabelle 6. Schlämmanalyse der Feinerde und pH: Wald-Humuskarbonatboden, Profil «Eileten».

Horizonte	Grobsand 2—0,2 mm Ø %	Feinsand 0,2—0,02 mm Ø %	Schluff 0,02—0,002 mm Ø %	Ton 0,002 mm Ø und kleiner %	pH	Ton im Gesamt- boden %
0—10 cm	11,6	14,6	31,3	42,5	7,4	7
30—40 cm	36,7	11,2	21,4	30,7	7,3	5
70—80 cm	41,9	10,8	18,7	28,6	7,5	6

d) Chemische Eigenschaften

Das *Skelett* besteht zu 98% aus Kalziumkarbonat (vgl. Tab. 7). Die Molekularverhältnisse von Kieselsäure zu Sesquioxiden von Skelett und von Feinerde weichen sehr stark voneinander ab (vgl. Tab. 8). Die Feinerde besitzt einen Wert von 3,7, das Skelett einen solchen von 0,86. Wäre die Feinerde durch die Verwitterung aus dem Skelett hervorgegangen, so hätte neben der Karbonatlösung eine Wegfuhr von Eisen und Aluminium stattfinden müssen, um das höhere Kieselsäure-Sesquioxydverhältnis in der Feinerde herbeizuführen. Gegen eine Wanderung von Sesquioxiden während der gegenwärtigen Profildifferenzierung spricht aber die Konstanz der Molekularverhältnisse zwischen Kieselsäure und Sesquioxiden sowohl in der Kolloidfraktion als auch in der Feinerde im ganzen Profil. Die vorhandene Feinerde ist eher als ursprüngliche Beimischung von Material aus mergeligen Zwischenlagen anzusehen. Die heute vorliegende Vermengung von Mergeln und harten Kalken ist das Ergebnis der Gebirgsabtragung (vgl. F. M ü h l b e r g⁵⁰). Diese Annahme ist naheliegend, wenn man sich vergegenwärtigt, wie rasch die Schichten von Kalkstein und Mergel sich in der Doggerformation ablösen (vgl. H. S c h m a s s m a n n⁷⁸; R. N o t z⁵⁷). Ausserdem ist der Anteil an mineralischer Feinerde im Profil weitgehend konstant und auch in der Profilunterlage bis in mehrere Meter Tiefe vorhanden; ein Aufschluss in einer Schottergrube ca. 300 m unterhalb des Profils macht dies sichtbar.

Zur Abklärung der dynamischen Vorgänge der Bodenbildung untersuchen wir deshalb nur die Feinerde der einzelnen Horizonte.

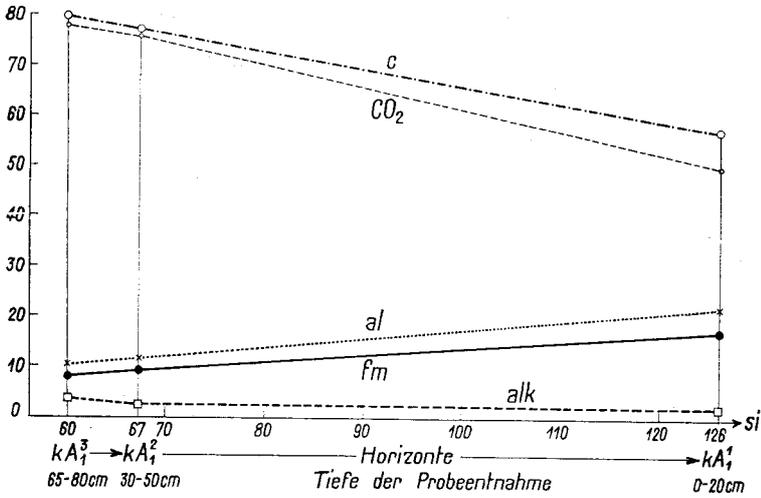
Das Verwitterungsdiagramm zeigt eine *Entkarbonatung von oben nach unten im Profil* (vgl. Figur 2). Wie zu erwarten, wird zuerst das hochdisperse Kalziumkarbonat gelöst (vgl. Tabelle 9). Während die Tonfraktion des kA_1^3 -Horizontes noch 13% Kalziumkarbonat enthält, ist diejenige des kA_1^1 -Horizontes samt der Schluff-Fraktion karbonatfrei. Die Grobsand-Fraktion besteht zur Hauptsache aus Kalkoolithen des Hauptrogensteins, sowie aus kalzitischen Splittern. Die Feinsand- und Schluff-Fraktion enthalten neben Kalziumkarbonat ca. die Hälfte bis ein Drittel Quarz, dem Eisenooolithe beigemischt sind. Als Folge der Kalklösung macht sich eine relative Anreiche-

rung von nichtkarbonatigen Bestandteilen, vorwiegend Kieselsäure und Sesquioxyden, bemerkbar, was in der Tonanreicherung zum Ausdruck kommt (vgl. Tabelle 6). Die molekularen Verhältnisse von Kieselsäure zu den Sesquioxyden aus Feinerde und Kolloidfraktion der einzelnen Horizonte bleiben konstant. Es hat demnach keinerlei Verlagerung der einen oder andern dieser Komponenten im Profil stattgefunden.

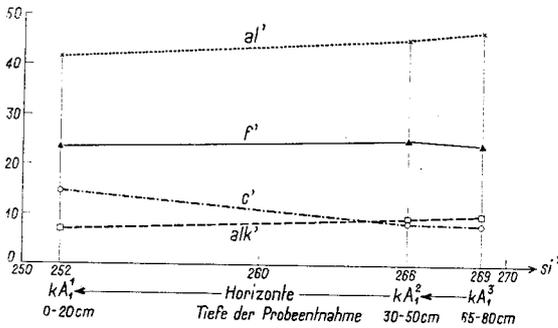
Tabelle 7. Pauschalanalyse: Wald-Humuskarbonatboden, Profil «Eileten».

Horizonte cm	Gewichtsprozent				Molekularwerte				
	I 0—20	II 30—50	III 65—80	Skelett		I 0—20	II 30—50	III 65—80	Skelett
SiO ₂	30,64	25,39	24,06	0,29	si	126	67	60	0,5
TiO ₂	0,55	0,13	0,15	0,01	al	21,9	11,5	10,4	0,2
Al ₂ O ₃	9,04	7,45	7,16	0,22	fm	17,3	9,0	8,0	1,1
Fe ₂ O ₃	3,98	3,31	3,10	0,34	c	57,3	77,1	79,4	98,5
MnO	0,06	0,04	0,05	Spuren	alk	3,5	2,4	2,2	0,18
MgO	0,82	0,61	0,57	0,29	f	12,0	6,5	5,8	0,4
CaO	12,94	27,31	29,81	55,21	m	5,0	2,4	2,1	0,7
Na ₂ O	0,46	0,52	0,59	0,08	CO ₂	50,1	75,6	77,5	99,0
K ₂ O	0,64	0,63	0,58	0,05					
H ₂ O+	6,29	2,70	3,20	0,16					
H ₂ O—	2,56	1,48	1,58	—					
CO ₂	8,81	20,81	22,86	43,53					
SO ₃	—	—	—	—					
P ₂ O ₅	0,10	0,08	0,08	Spuren					
Org. Subst.	23,40	9,85	6,35	—					
	100,29	100,31	100,14	100,18					
Karb. CaO	11,21	26,49	29,11						
CaO karb. fre	1,73	0,82	0,70						
CaO aus Umtausch	1,50	0,70	0,50						

Horizonte cm	I 0—20	II 30—50	III 65—80	Skelett
si'	252	266	269	64,1
al'	43,9	45,9	47,0	25,6
fm'	34,6	35,9	34,8	51,3
alk'	7,2	9,4	10,0	23,1
c'	14,3	8,8	8,2	0
f'	23,9	25,8	24,8	51,2
m'	10,1	9,4	9,4	0



Figur 2. Verwitterungsdiagramm des Wald-Humuskarbonatbodens, Profil «Eiletan».



Figur 2 a. Verwitterungsdiagramm des Wald-Humuskarbonatbodens, Profil «Eiletan». Karbonatfrei berechnete Molekularwerte.

Tabelle 8. Molekularverhältnisse in Feinerde, Kolloidfraktion und Skelett im Wald-Humuskarbonatboden, Profil «Eiletan».

Horizonte cm	SiO ₂ : R ₂ O ₃		SiO ₂ : Al ₂ O ₃		SiO ₂ : Fe ₂ O ₃		Al ₂ O ₃ : Fe ₂ O ₃	
	Fein- erde	Kolloid- fraktion	Fein- erde	Kolloid- fraktion	Fein- erde	Kolloid- fraktion	Fein- erde	Kolloid- fraktion
0—20	3,71	1,38	5,75	1,58	10,50	10,68	1,82	6,72
30—50	3,72	1,34	5,83	1,54	10,31	10,67	1,77	6,93
70—90	3,70	1,27	5,77	1,46	10,34	9,89	1,79	6,72
Skelett	0,86		2,50		1,25		0,50	

Tabelle 9. Verteilung des Karbonates in der Feinerde des Wald-Humuskarbonatbodens, Profil «Eileten». (Anteil der einzelnen Fraktion am Karbonatgehalt der Feinerde, ausgedrückt in % der Fraktion und in % des Gesamtkarbonates der Feinerde, die gleich 100 % gesetzt wurde. Sämtliches CO₂ ist auf CaCO₃ umgerechnet, da der absolute Gehalt an MgCO₃ gering ist.)

Horizonte cm	Karbonatgehalt der Fraktion								Karbonat- gehalt der Feinerde %
	2—0,2 mm Ø		0,2—0,02 mm Ø		0,02—0,002 mm Ø		0,002 mm u. kleiner		
	% der Frakt.	% des CaCO ₃	% der Frakt.	% des CaCO ₃	% der Frakt.	% des CaCO ₃	% der Frakt.	% des CaCO ₃	
0—20	97,5	55,83	61,23	44,17	0	0	0	0	20,20
30—40	97,1	75,0	75,36	17,75	12,43	5,59	2,54	1,64	47,52
70—80	95,3	77,18	44,81	9,33	16,68	6,02	13,63	7,53	51,95

Aus den karbonatfrei berechneten Molekularwerten (vgl. Tabelle 7 a, Figur 2 a) geht bezüglich des Verhaltens der Alkalien, des Magnesiums und des Kalziums folgendes hervor. (Berechnung der karbonatfreien Molekularwerte: das Karbonat-CO₂ wurde gesamt-haft auf CaCO₃ umgerechnet; die dem CaCO₃ äquivalente Menge CaO wurde vom gesamten CaO subtrahiert und das verbleibende CaO und alles MgO in die CO₂-freie Berechnung einbezogen.)

Die *Alkalien* erleiden im kA₁¹-Horizont einen absoluten Verlust durch Auswaschung.

Das *Magnesium* wird sehr schwach relativ angereichert im kA₁¹-Horizont. Diese Erscheinung kann zwei Ursachen haben:

1. Die grössere Haftfestigkeit des Magnesiums am Sorptionskomplex, wie sie von K. Fajans¹¹ und H. Jenny²⁹ angenommen wird, vermindert eine Verdrängung des Magnesiums durch die andern Kationen der Bodenlösung.

2. Das Magnesium kann Gitterbestandteil der kristallinen Tonsubstanz sein und ist somit vor Auslaugung geschützt, solange das Tonmineral nicht angegriffen wird (vgl. U. Hofmann, K. Endell und D. Wilm²³; U. Hofmann und W. Bilke²⁴; W. Kelley und H. Jenny³¹; W. v. Engelhard⁹).

Das *karbonatfreie Kalzium* zeigt eine starke Anreicherung im kA₁¹-Horizont. Diese Zunahme lässt sich erklären aus der vorherrschenden Stellung, die das Kalzium bei der Belegung des Sorptions-

komplexes einnimmt (vgl. Tabelle 10). Der Gehalt an karbonatfreiem Kalzium ist im kA_1^1 -Horizont deshalb am grössten, weil dort der Anteil an Sorptionskörpern am Gesamtboden am höchsten ist.

Der absolute Nährstoffvorrat (Na, K, Mg, Ca und P_2O_5) pro Volumeneinheit Boden ist im Humuskarbonatboden geringer als in einer Braunerde (vgl. J. Geering¹⁶).

Die *pH-Werte* liegen im ganzen Profil über dem Neutralpunkt (vgl. Tabelle 5).

Der *hohe Humusgehalt* (23 % im kA_1^1 -Horizont) ist neben dem dominierenden Karbonatgehalt das sichtbare Kennzeichen des Humuskarbonatbodens. Der Grad der *Humifizierung* zeigt alle Uebergänge vom rohen Mull bis zum koprogenen, hemorganischen und holorganischen Mull (vgl. *Humussystematik* von H. Pallmann und E. Frei⁶⁶).

Der hohe Humusgehalt im Oberhorizont ist eine Folge der zeitweilig durch Austrocknung des Oberbodens gehemmten biologischen Aktivität. Der Regenwurm ist nur spärlich vertreten. Die Durchmischung der Humusstoffe geht deshalb nur zögernd vor sich (vgl. A. Stöckli³⁴). Der Sättigungsgrad von 84 % im kA_1^1 -Horizont dürfte bei höherer Aktivität der Bodentiere noch grösser sein.

Die *Humusstoffe* zeigen insgesamt eine grosse Stabilität. U. Springer⁸² zählt die Humusstoffe der Humuskarbonatböden zum Typus des «Schwarzerdehumus». Sie haben mit jenem gemeinsam den hohen Grad der Sättigung mit Erdalkalitionen. In der Folge sind sie schwer löslich und schwer oxydierbar. Er nennt sie deshalb statisch, im Gegensatz zur leicht-beweglichen, dynamischen Form im Podsol. Die Stabilität der Humusstoffe vom «Schwarzerdetypus» hat nach U. Springer⁸³ zwei Gründe:

1. Bei Gegenwart von Erdalkalitionen in der Bodenlösung findet eine chemische und sorptive Festlegung dieser Ionen durch Huminsäuren statt.

2. Die gesättigten Huminsäuren bilden mit den ebenfalls gesättigten Tonerdesilikaten einen beständigen organisch-anorganischen Komplex, den Th. Tyulin⁹¹ das organomineralische Bodenkolloid nennt. L. Meyer⁴⁶ hat die Bildung stabiler Ton-Humus-Komplexe experimentell nachgewiesen.

Beim Humuskarbonatboden dürften *organomineralische Kom-*

plexe hinter den Kalzium- (oder Magnesium-)Humatbildungen *zurücktreten*. Der Ton fehlt oft, um diese zu bilden.

Die schwarze Farbe des Humuskarbonatbodens ist den freien Kalziumhumaten zuzuschreiben.

Der *Sorptionskomplex* ist gekennzeichnet durch einen relativ hohen Sättigungsgrad, wobei die Kalziumionen in der Komplexbelegung weit im Vordergrund stehen (vgl. Tabelle 10). Die *Umtauschkapazität* pro 100 g lufttrockene Feinerde steht in direkter Abhängigkeit vom Ton- und insbesondere vom Humusgehalt. Nach Th. Tyulin⁹¹ ist nicht allein der absolute Humusgehalt für die Höhe der Sorptionskapazität massgebend, sondern auch die Form, in der der Humus vorliegt. Er hat am Tschernosem festgestellt, dass nach Entfernung der freien Humate die Umtauschkapazität schroff abfällt, proportional den ausgeschiedenen organischen Kolloiden. Den freien Humaten schreibt er eine Sorptionskapazität von 400 bis 500 Mval pro 100 g Umtauschsubstanz zu; die organomineralischen Kolloide dagegen zeigen eine solche von 70—80 Mval pro 100 g.

Ähnliche Verhältnisse scheinen im typischen Humuskarbonatboden vorzuliegen. Der obere Horizont möge dies veranschaulichen. Seine Feinerde hat bei einem Tongehalt von 32,5 % (42,5 % Ton auf mineralische Feinerde bezogen) und einem Humusgehalt von 23,4 % eine Umtauschkapazität von 64,2 Mval pro 100 g. Die von uns am reinen Ton aus Doggermergeln bestimmte Umtauschkapazität beziffert sich auf 71 Mval pro 100 g Tonsubstanz (vgl. Abschnitt: Herkunft und Charakter der Tonsubstanz in den untersuchten Bodenprofilen). Unter Zugrundelegung dieses Umtauschvermögens des Tones ergibt sich für 100 g Humussubstanz eine Umtauschkapazität von 176 Mval. Die 64,2 Mval der Feinerde verteilen sich demnach wie folgt: Ton 23,1 Mval, Humus 41,1 Mval. Auf 100 g reine Umtauschsubstanz der Feinerde entfallen 114 Mval. Die grosse Umtauschkapazität freier Humusstoffe wurde von E. Frei¹³ am subalpinen Humuspodsol eindeutig nachgewiesen. Die als sehr günstig zu bezeichnenden Umtauschverhältnisse in der Feinerde des Humuskarbonatbodens bedingen ein grosses Nährstoffbindevermögen. Der geringe Feinerdegehalt pro Liter Boden wird durch die höhere Qualität des Nährstoffträgers und durch die Tiefgründigkeit des Profils teilweise kompensiert (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10. Belegung des Sorptionskomplexes mit umtauschbaren Ionen in der Feinerde des Wald-Humuskarbonatbodens, Profil «Eiletten».

Horizonte cm	Mval sorbierter Ionen je 100 g lufttrockener Feinerde Anteil der einzelnen bas. Kationen an der Summe der bas. Kationen							Umtausch- Kapazität (T-Wert nach Vageler)	Summe der basischen Kationen (S-Wert nach Vageler)	Sättig- grad in %	Umtausch- Kapazität je Liter gewach- senen Bodens
	H	Na	K	Mg	Ca	PO ₄	SO ₄				
0—20	10,5	0,22 0,4%	0,68 1,3%	0,88 1,6%	51,92 96,7%	1,65	0,43	64,20	53,70	83,6	114
30—40	3,4	0,16 0,6%	0,36 1,3%	0,24 0,8%	26,48 97,3%	0,28	0,19	30,64	27,24	88,9	77
70—80	1,9	0,21 1,0%	0,32 1,6%	0,15 0,8%	19,30 96,6%	0,12	0,18	21,88	19,98	91,3	79

e) *Dynamik und systematische Einordnung
dieses Humuskarbonatbodens*

Obwohl das Standsortsklima des untersuchten Humuskarbonatbodens nicht auf Grund von durchgeführten Messungen definiert werden kann, so sei doch folgender Ueberblick gegeben.

Die *Neigung* des Hanges reduziert die absolute Niederschlagsmenge pro Flächeneinheit um rund 15 % gegenüber horizontaler Lage. Die *Exposition Süd-Südwest*, in Verbindung mit der Hangneigung, bewirkt *intensivere Sonnenbestrahlung* und als Folge davon wird sich eine raschere Erwärmung mit thermischen Aufwinden im Gefolge einstellen (vgl. W. Georgii¹⁷). Diese Faktoren bedingen zusammen eine höhere Wasserverdunstung als auf ebener Lage unter sonst gleichen generalklimatischen Verhältnissen. Die mühelose Wasser- und Gaszirkulation im Bodenprofil und die lockere Bodenoberfläche begünstigen die Wasserabgabe nach aussen. Hinzu kommt noch die Abfuhr des überschüssigen Wassers im Profil dank seiner grossen inneren Drainage und dank der Hanglage. Hieraus folgt ein trockenes Bodenklima. Humuskarbonatböden werden denn auch als hitzige Böden bezeichnet.

Im Zusammenhang mit dem physikalischen Zustand des Boden-

körpers ist zu sagen, dass A. Meyer⁴⁵ unter Berücksichtigung des Versickerungsfaktors auf Terrassenschotter eine Verminderung des NS-Quotienten um 50% festgestellt hat. Die dem Standort zunächst gelegenen meteorologischen Stationen, Liestal, Basel, Rheinfelden und Buus, zeigen im Mittel einen NS-Quotienten von 520. Für den Standort darf er unter Berücksichtigung der gegebenen Verhältnisse auf 250 reduziert werden. Dies ergibt eine bedeutende Verschiebung des Standortsklimas in arider Richtung.

Die *Humusanhäufung im Wald-Humuskarbonatboden «Eiletan»* ist demnach eine *Folge* des in den Sommermonaten *periodisch wiederkehrenden Wassermangels*. In welchem Sinne das *alkalische Milieu* und der hohe Sättigungsgrad der Humusstoffe das Leben der Bodenorganismen, insbesondere der Mikroorganismen, in diesem Profil beeinflusst, ist noch nicht abgeklärt.

Die Dynamik lässt sich wie folgt charakterisieren:

1. *Langsam fortschreitende Entkarbonatung des Oberbodens* unter gleichzeitiger *Anreicherung der nichtkarbonatigen Komponenten*. Der Oberhorizont enthält im Skelett und in der Feinerde eine grosse Reserve an Kalziumkarbonat, die den Boden noch für lange Zeit vor einer Degradation in Richtung Braunerde bewahren wird.

2. *Gleichgewicht zwischen Humusabbau und Anlieferung von organischer Substanz* nach Massgabe des durch den Humusgehalt beeinflussten Wasserhaushaltes des Bodens.

3. *Der Sorptionskomplex bleibt gesättigt*. Die Bodensäuren werden durch das Kalziumkarbonat neutralisiert.

4. Die *Bodenkolloide* befinden sich in einem *stabilen Zustand*. Es findet keine Wanderung einzelner Komponenten statt.

Der Boden stellt ein voll entwickeltes Profil vom Typus Humuskarbonatboden dar. Geologisch gesehen ist der Boden noch verhältnismässig jung. E. Blösch⁴ ist der Ansicht, dass der Gehängeschutt im Tafeljura zum grössten Teil im Diluvium abgelagert worden ist. Dieser Zeitraum dürfte genügen, um auf dem konsolidierten Hangkolluvium einen reifen Humuskarbonatboden entstehen zu lassen. Die Entwicklung vom Rohboden zum reifen Serierglied darf auf dem physikalisch gut aufbereiteten Substrat als sehr rasch verlaufend angenommen werden. Der Verwitterungsprozess

geht offensichtlich bedeutend langsamer vor sich als der Aufbau des Mullhorizontes. Der letztere Vorgang kann sich wohl innerhalb einiger Jahrhunderte vollziehen; die Entkarbonatung auch nur des Oberhorizontes dürfte das Mehrfache an Zeit beanspruchen. Anteil und Form des Humus sind deshalb vor allem entscheidend für den Entwicklungszustand des Profils innerhalb des Humuskarbonatbodentyps.

Die Stellung des Humuskarbonatbodens «Eiletan» im Zürcher System wird durch folgende Eigenschaften des Perkolationssystems festgelegt.

Bodenklasse: Endoperkolativ.

Die Bodenlösung zirkuliert von oben nach unten im Profil, entsprechend dem humiden Klima. Zeitweiliger Aufstieg von Wasser aus dem Profil zur Zeit der Trockenheit kann den Endeffekt nicht aufheben, sondern nur abschwächen.

Bodenordnung: Organo-petrogen.

Das Bodengerüst besteht aus Trümmern harter, chemisch unveränderter Kalke, sowie aus Humus. Der Tongehalt ist absolut klein und nicht von spezifischer Bedeutung.

Bodenverband: Terralkitisch.

Das anorganische Bodengerüst besteht zum überwiegenden Teil aus Kalziumkarbonat.

Bodentyp: Terralk.

Das kennzeichnende Perkolat ist das Kalziumion, das als Kalziumbikarbonat mit der Bodenlösung aus dem Profil weggeführt wird.

Die Kombination dieser vier Merkmale charakterisiert den Humuskarbonatboden als Bodentyp.

Bodenuntertyp: Auf Grund des genetischen Profilstandes erweist sich der Boden als hochentwickelt.

Bodenvarietät: Fein- und mittelmäßig, feinerdereich, trocken, mit hangwasserbedingtem B_{ca} . Lokalform «Eiletan».

2. Freiland-Humuskarbonatboden, Profil «Sennweid»

a) Oertliche Verhältnisse

Lokalität: Sennweid, Gemeinde Olsberg/AG. Top. Atlas Bl. 28, Koord. 626,6/262,6, Höhe ü. M. 470 m, Exposition WNW, Neigung 5%.

Geländeform: schwachgeneigte Hangterrasse.

Geologische Unterlage: Dogger, Hangkolluvium, feinkiesig, Trümmer von Hauptrogenstein, vermengt mit tonigem Material aus mergeligen Zwischenlagen der Doggerformation.

Klima: mittlere jährliche Niederschlagsmenge ca. 900 mm, mittlere Jahrestemperatur ca. 8° C. Klimatyp **K ö p p e n**³³: Cfb.

Nutzungsart: Ackerbau.

Profilmerkmale:

Mächtigkeit: tief.

Entkarbonatungstiefe: 0 cm.

Horizontdifferenzierung: deutlich.

Horizontgrenzen: scharf.

Wasserregime: trocken.

b) Profilmorphologie

rkA₁: 0—20 cm.

Skelett: feinkiesig, ca. 1/3 des Gesamtbodens.

Feinerde: schwerer Ton.

Humus: 7%, Kopro- und Chemomull.

Gefüge: Feinerde vollständig gekrümelt, Krümel 5 mm gross, polyedrisch, scharfkantig, druckfest, teilweise aggregiert. Viele Würmer.

Hauptwurzelraum der Kulturpflanzen.

Farbe: braunschwarz.

kA₁₋₂: 20—35 cm.

Skelett: feinkiesig, ca. 2/3 des Gesamtbodens.

Feinerde: sandiger Ton.

Humus: 2,5%, Chemomull.

Gefüge: Feinerde vollständig gekrümelt, Krümel mässig stabil, aggregiert.

Farbe: braungelb.

kA_2 : 35—110 cm.

Skelett: feinkiesig, ca. $\frac{2}{3}$ des Gesamtbodens.

Feinerde: sandiger Ton.

Humus: 0,6%, Chemomull.

Gefüge: Feinerde gekrümelt, Krümel wenig druckfest, aggregiert.

Farbe: bräunliches Gelb.

D : ab 110 cm Liaston.

c) Physikalische Eigenschaften

Das mineralische Bodenmaterial besteht auch hier aus Hangkolluvium. Der Hauptrogenstein des Skelettes ist weniger dicht als derjenige des Profils «Eiletan». Das vorwiegend feinkörnige Skelett zerfällt an der Profilloberfläche und wird der Feinerde einverleibt. Das Skelett ist in diesem Boden deshalb ein dynamisch wichtiger Bestandteil, doch kommen im Profilunterteil zusätzlich seine statischen Eigenschaften zur Geltung. Wie aus den Daten der Analysen der physikalischen Zusammensetzung (vgl. Tabelle 11, 12) hervorgeht, ist das Profil infolge seines höheren Feinerdeanteils bei gleichzeitig feinerkörnigem Skelett etwas dichter gelagert als das Waldbodenprofil. Burger⁶ hat bei vergleichenden Untersuchungen von Wald- und Freilandböden einwandfrei festgestellt, dass bei vergleichbarer physikalischer und chemischer Zusammensetzung des Bodens Vegetation und Nutzungsart die entscheidenden Ursachen der unterschiedlichen Dichte sind. Die innere Drainage des Profils ist trotz der relativ höheren Dichte gross, da die Feinerde vollständig gekrümelt ist. In sommerlichen Trockenperioden leidet dieser Boden bald an Wassermangel. Wenn die Pflanzen auf dem Humuskarbonatboden bereits unter Wassermangel leiden, so stehen sie auf der in geringer Entfernung gelegenen Braunerde, die ebenfalls untersucht wurde (vgl. Freiland-Braunerde, Profil «Sennweid»), noch in bestem Wachstum.

Was diesen Humuskarbonatboden der ackerbaulichen Nutzung zugänglich macht, ist seine physikalische Zusammensetzung. Das feinkiesige Skelett erlaubt eine relativ leichte Bearbeitbarkeit. Ein grob- oder mittelkiesiger, feinerdearmer Humuskarbonatboden ist der Beackerung nicht zugänglich.

Tabelle 11. Physikalische Zusammensetzung: Freiland-Humuskarbonathoden, Profil «Sennweid».

Horizonte	Gewicht von 1 dm ³ gewachsenen Bodens, absolut trocken g		Volumen Bodenbestandteile ccm		Wassergehalt des mit H ₂ O gesättigten Bodens g	Porenvolumen des gewachsenen Bodens ccm	Luftkapazität ccm	Verhältnis von Feinerde zu Skelett (gewichtsmässig)	Anteil der Feinerde an gewachsenen Bodenbestandteilen (gewichtspromzentual)	Spez. Gewicht der festen Bodenteile
	Feinerde	Skelett	total	total						
0—10 cm	789	228	1017	89	445	585	140	3,5 : 1	77 %	2,45
20—30 cm	531	929	1460	366	231	432	201	1 : 1,7	36 %	2,57
60—70 cm	720	960	1680	378	313	349	36	1 : 1,3	43 %	2,58

Tabelle 12. Körnung des Skelettes: Freiland-Humuskarbonathoden, Profil «Sennweid».

Horizonte	feinkiesig 0,2—2 cm %	mitteltiesig 2—10 cm %
0—10 cm	97	3
20—30 cm	86	14
60—70 cm	88	12

Tabelle 13. Schlämmanalyse der Feinerde: Freiland-Humuskarbonathoden, Profil «Sennweid».

Horizonte	Fraktionen der Schlämmanalyse ϕ in mm			pH	Tongehalt des Gesamtbodens %
	2—0,2 %	0,02—0,002 %	< 0,002 %		
0—20 cm	9,8	19,2	27,2	7,1	34
20—30 cm	40,4	10,5	19,9	7,4	10
60—80 cm	41,0	18,5	20,5	7,4	9

d) Chemische Eigenschaften

Das *Skelett* besteht aus einem mittelkörnigen Hauptrogenstein mit einem Kalziumkarbonatgehalt von 95 %. Die *Feinerde* des Oberhorizontes enthält noch 10 % Kalziumkarbonat. Die nichtkarbonatigen Bestandteile der Feinerde stammen hier ebenfalls, wie im Waldbodenprofil «Eiletten», nur zum kleinsten Teil aus dem verwitterten, tonarmen Hauptrogenstein, sondern aus Mergelschichten. Es hat eine bedeutende Anreicherung der karbonatfreien Komponente im Oberhorizont durch Weglösung des Kalziumkarbonates stattgefunden (vgl. Tabellen 11, 15), so dass der Tongehalt im rkA₁-Horizont 44 %, im kA₁₋₂ dagegen nur 29 % beträgt. Eine Wanderung von Kieselsäure oder Sesquioxiden findet nicht statt (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14. Molekularverhältnisse von Kieselsäure und Sesquioxiden in der Kolloidfraktion des Freiland-Humuskarbonatbodens, Profil «Sennweid».

Horizonte cm	SiO ₂ : R ₂ O ₃	SiO ₂ : Al ₂ O ₃	SiO ₂ : Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ : Fe ₂ O ₃
0—20	1,13	1,25	11,75	9,4
30—40	1,13	1,25	10,90	8,62
60—80	1,24	1,38	12,17	8,83

Der *Humusgehalt* beträgt im rkA₁-Horizont 7,2 %. Er verleiht diesem Horizont die *schwarzbraune* Farbe. Die Humussubstanz ist innig vermengt mit der tonreichen Feinerde, dank der lebhaften Regenwurmätigkeit und der periodischen Beackerung. Der Humus liegt vor als hemorganischer, koprogener und chemogener Mull.

Tabelle 15. Humus- und Karbonatgehalt des Freiland-Humuskarbonatbodens, Profil «Sennweid».

Horizonte cm	Humusgehalt	Karbonatgehalt	pH
	% der Feinerde	% der Feinerde	
0—20	7,15	10,15	7,1
20—30	2,50	46,84	7,4
60—80	0,64	49,36	7,4
		Karbonatgehalt des Skelettes 94,97 %	

Der *Sorptionskomplex* ist im rkA_1 -Horizont zu 80% gesättigt (vgl. Tabelle 16), wobei das Kalziumion im Vordergrund steht. Die Umtauschkapazität pro 100 g Feinerde aus dem Oberhorizont beträgt 35 Mval (pH 8,2). Auf 100 g reine Umtauschsubstanz ergibt sich angenähert eine Umtauschkapazität von 72 Mval. Sie liegt bedeutend tiefer als im Humuskarbonatboden des Waldes (Profil «Eileten» 114 Mval). Diese Tatsache kann auf zwei Ursachen zurückgeführt werden:

1. auf den absolut kleineren Gehalt an Humusstoffen in der Feinerde;
2. auf das Vorliegen der Humusstoffe als organomineralische Komplexe.

Wenn an die Ausführungen über die Adsorptionseigenschaften der freien und komplex gebundenen Humusstoffe erinnert wird, so ist verständlich, dass die Umtauschkapazität des Sorptionskörpers im Freilandboden absolut kleiner sein muss, weil der höhere Tongehalt des Freilandbodens den niedrigeren Humusgehalt nicht auszugleichen vermag. Wenn der Tonsubstanz ein Umtauschvermögen von 71 Mval pro 100 g zuerkannt wird, so ergibt sich für 100 g Humusstoffe im Freilandboden eine Umtauschkapazität von 83 Mval gegenüber 176 Mval im Humuskarbonatboden des Waldes. Diese Resultate stehen im Einklang mit den Ergebnissen der Humusforschung. Pro Liter des gewachsenen Bodens im Freiland-Humuskarbonatboden beträgt die Umtauschkapazität im rkA_1 -Horizont dank des Feinerdereichtums 275 Mval.

Tabelle 16. Belegung des Sorptionskomplexes im Freiland-Humuskarbonatboden, Profil «Sennweid».

Horizonte cm	Mval adsorbierter Ionen je 100 g lufttrockener Feinerde Anteil der bas. Kationen an der Summe der bas. Kationen in %							Umtausch- kapazität T-Wert	Summe der basischen Kationen S-Wert	Sätti- gungs- grad %	Umtausch- kapazität je Liter gewach- senen Bodens
	H	Na	K	Mg	Ca	PO ₄	SO ₄				
0—20	7,2	0,11 0,4%	0,77 2,8%	1,03 3,7%	25,66 93,1%	1,09	0,34	34,77	27,57	79,3	275
20—30	1,2	0,15 1,1%	0,56 3,1%	0,42 3,0%	13,00 92,8%	0,08	—	15,33	14,13	92,1	81
60—70	0,9	0,24 2,1%	0,34 3,0%	0,56 5,0%	10,12 89,9%	—	—	12,16	11,26	92,6	88

e) Dynamik und systematische Einordnung

Die Dynamik dieses Bodens ist prinzipiell die gleiche wie die des Waldbodenprofils. Die Entkarbonatung des Oberhorizontes wird durch das Pflügen verzögert, weil stets wieder Feinskelett an die Oberfläche befördert wird. Eine Wanderung von Sesquioxiden oder Kieselsäure findet nicht statt, wie aus den Molekularverhältnissen der Tonfraktion ersichtlich ist. Der Sorptionskomplex bleibt gesättigt. Die Bodensäuren reagieren mit dem CaCO_3 . Das Profil zeigt eine scharfe Differenzierung in einen eigentlichen rkA_1 -Horizont und einen wenig mächtigen kA_{1-2} -Horizont, der allmählich in die Unterlage übergeht. Der rkA_1 -Horizont entspricht in seiner Mächtigkeit der Furchentiefe und stellt den Hauptwurzelraum der Kulturpflanzen dar. Seine Entstehung ist aber nicht die Folge der Beackerung, sondern das Ergebnis einer seit Jahrhunderten bestehenden Wiesenvegetation, denn das betreffende Areal wird erst seit etwa 30 Jahren regelmässig beackert. Der Humusgehalt ist im Oberhorizont höher als in den umliegenden Braunerden. Bodenklima und alkalische Reaktion der Bodenlösung begünstigen eine Humusanreicherung.

Die systematische Stellung ist auf Grund der chemischen und physikalischen Eigenschaften wie folgt gegeben:

Der Horizont von 0—20 cm wird seines hohen Tongehaltes wegen als rendzinoid bezeichnet (rkA_1 -Horizont).

Der Untergrund entspricht den Gegebenheiten im Humuskarbonatboden. Der hohe Tongehalt im Oberhorizont ist ein Varietätsmerkmal. Der Boden wird wie folgt bezeichnet.

Bodentyp: Humuskarbonatboden.

Bodenuntertyp: reif.

Bodenvarietät: rendzinoider kA_1 , feinskelettig, flachgründig, Freilandboden, der beackert wird.

3. Bildungsbedingungen des Humuskarbonatbodens im Jura

Die petrographischen Eigenschaften und der Grad der physikalischen Zerteilung des mineralischen Ausgangsmaterials der Bodenbildung sind entscheidende Faktoren für die Entstehung des typischen Humuskarbonatbodens.

Das Ausgangsmaterial ist stets ein harter Kalkstein (im Jura selten Dolomit) mit mehr als 90% Karbonat. Er verwittert hauptsächlich durch oberflächliche Karbonatlösung, sofern es sich um ein dichtes chemisches Sediment handelt. Ein Hauptrogenstein wird, wenn er porös ist, vor allem durch Spaltenfrost zu einem Grob- oder Feinsand zerteilt, je nach der Grösse der Kalkoolithe. Der typische Humuskarbonatboden entsteht nur auf physikalisch verwittertem Material, vorwiegend fein- und mittelkiesiger Beschaffenheit. Die Hohlräume zwischen dem Skelett können mehr oder weniger von karbonatreicher und tonhaltiger Feinerde ausgefüllt sein, die ihrer Herkunft nach nicht mit dem Skelett im Zusammenhang stehen muss. Es kann sich um Beimengungen von Material aus weicheren Schichten der petrographisch reich gegliederten Juraformation handeln (Kitt- und Kluftmergel). Das Skelett des Humuskarbonatbodens hat statische und dynamische Funktionen im Profil. Es verleiht dem Profil grosse innere Lockerheit und Wasserdurchlässigkeit (innere Drainage). Meist ist auch der Untergrund schon an und für sich ziemlich wasserdurchlässig (äussere Drainage). Der Humuskarbonatboden neigt deshalb zur Austrocknung. Das mineralische Substrat des eigentlichen Humuskarbonatbodens besteht in seiner Gesamtheit zu mindestens 80% aus Erdalkalikal karbonaten. Steigt der Tonanteil über 20% im gesamten Profil, wobei das Skelett jedoch nach wie vor aus harten Kalken besteht, so sprechen wir von einem rendzinoiden Humuskarbonatboden. Er ist dichter gelagert und flachgründiger als der reine Humuskarbonatboden und zeigt in seinen chemischen und physikalischen Eigenschaften Anklänge an die Rendzina, deren Eigenschaften hauptsächlich durch den Ton bedingt sind. Mit steigendem Tongehalt wird der Boden feuchter. Es besteht kein genetischer Zusammenhang zwischen einem skelettreichen, tonarmen Humuskarbonatboden, der aus sehr hartem Kalk entstanden ist, und einem rendzinoiden Humuskarbonatboden und einer Rendzina, die nur aus tonreicheren Ausgangsmaterialien entstehen. Die Genese oder Sukzession im engeren Sinne ist beschränkt auf die Glieder der Serie (vgl. H. P a l l m a n n ^{61, 62}), die sich aus gleichem Muttergestein entwickeln.

C. Rendzina

1. Wald-Rendzina, Profil «Zwischenberg»

a) Oertliche Verhältnisse

Lokalität: Zwischenberg, nördlich Balmfluh, Weissenstein. Top. Atlas Bl. 112, Koord. 608,15 / 233,8. Höhe ü. M. 1030 m. Exposition Nordost. Neigung 110 %.

Geländeform: Treppig-stufige Partie im Steilhang im Kerbtälchen.

Geologische Unterlage: Effinger-Mergel (vgl. L. Rollier, Geolog. Karte Weissenstein, 1904).

Klima: Mittlere jährliche Niederschlagsmenge ca. 1450 mm.

Mittlere Jahrestemperatur ca. 5° C. Klimatyp Köppen³³: Cfb.

Vegetation: Taxeto-Fagetum.

Profilmerkmale:

Entkarbonatungstiefe: 0 cm.

Horizontdifferenzierung: deutlich.

Horizontgrenzen: schwach.

Wasserregime: frisch.

Biologische Aktivität: hoch.

b) Profilmorphologie *

L: Diesjährige Streu deckt schon (am 10. Oktober 1947) 10—20 % in einfacher Lage. Von der letztjährigen Streu sind nur noch spärliche Reste vorhanden, in Nestern, die da und dort oberhalb Grashorsten und Sträuchern gestaut sind. Sie ist schon stark blättrig zerfallen und vermischt mit der Feinerde.

Bodenoberfläche: Durch Gräserhorste feintreppig, durch Bäume und Sträucher grosstreppig; daneben sind noch einige Hauptstufen im Wulst. Dicht unterhalb den Horsten und Sträuchern ist der Boden nackt und zeigt Rieseln von Feinerdekrümeln. Oberhalb wird herabrieselndes Material gestaut. Der Boden ist ganz bedeckt mit Wurmexkrementen, diese lose, frisch bis zerfallen. An Re-

* Die Profilbeschreibung stammt von R. Bach, die Analysendaten sind vom Verfasser.

gressionsstellen liegen auch spitzkantig flache bis stumpfkantig körnige Krümel. Unmittelbar unter der losen Schicht von Wurmlösungen dichter Wurzelfilz der Gräser. Bodenoberfläche zu ca. 80 % von Grashorsten bedeckt. Tote Blätter decken ca. 10 %, Moose ca. 5 %, nackte Stellen ca. 5 %.

rA_1 : 0—30 cm.

Skelett: nur wenig vorhanden, in Feinerde eingebettet.

Feinerde: schwerer Ton.

Humus: 12 % Kopro- und Chemomull.

Gefüge: vollständig gekrümelte Feinerde. Krümel polyedrisch bis kantig, 3 mm gross, mässig aggregiert, intensiv wurzelverheftet durch Faserwurzeln der Gräser. Im untern Teil Krümel kantig bis scharfkantig, über 5 mm gross, bedeutend stärker aggregiert, verheftet durch dichtes Wurzelwerk und mässiges Faserwurzelgeflecht der Bäume.

Hauptwurzelraum der Bäume und Gräser. Viele weisse Pilznester.

Farbe: braungrau bis rauchschwarz.

rA_{1-2} : 30—50 cm.

Skelett: nur wenig vorhanden, in Feinerde eingebettet.

Feinerde: schwerer Ton.

Humus: 3,6 %, Kopro- und Chemomull.

Gefüge: stark bindig, stark feinrissig, mit deutlichem Rendzinagefüge. Viele 2—10 mm grosse Kalkbröcklein eingeschlossen.

Viele Wurmgänge mit frischen Losungen. Material aus dem oberen und unteren Horizont schlecht vermischt, deutlich umgrenzte Flecken. Farbe: schmutzig grau bis braun.

rA_2 : 50—100 cm.

Skelett: wenige Brocken in Feinerde eingebettet.

Feinerde: schwerer Ton.

Humus: 1,1 %, Chemomull.

Gefüge: bindig, mit feinen, senkrechten Schwundrissen. Relativ viele Wurmlöcher mit frischen Losungen, auch aus rA_1 . Nur noch vereinzelte Wurzeln. Einzelne schwache Oxydationsflecken.

rAC : anstehendes Muttergestein in allen Stadien der Verwitterung.

Farbe: schmutzig, gelblich bis hellgrau, mit einzelnen, schwachen Oxydationsflecken.

c) Physikalische Eigenschaften

Das Vorherrschen von Ton und Schluff bei gleichzeitigem Fehlen eines stützenden Bodenskelettes bestimmt die physikalische Eigenschaft der Rendzina. Wie die Burger-Analyse (vgl. Tabelle 12) zeigt, ist allein der Oberhorizont, dank seinem Krümel- bis Schwammgefüge, durch günstige Luft- und Wasserführung ausgezeichnet. Das rasche Absinken der Luftkapazität bei zunehmendem Wasserhaltevermögen des Bodens in den unteren Profillagen verrät ein kapilläres Hohlräumssystem. Die Wasserzirkulation im Profil ist gehemmt, das heisst die innere Profildrainage (und auch die äussere) ist eher ungünstig. Eine Dichtschlammung des Bodens wird jedoch durch die koagulierende Wirkung der Kalziumionen in der Bodenlösung verhindert. Eine mechanische Tonverlagerung im Profil kann nicht festgestellt werden. Die vorliegende Rendzina ist eher ein schwerer, kalter Boden, der auf ebener Lage zu zeitweiliger Vernässung neigen kann.

Tabelle 17. Schlämmanalyse: Wald-Rendzina, Profil «Zwischenberg».

Horizonte cm	Fraktionen der Schlämmanalyse, ϕ in mm				pH
	Grobsand 2—0,2 %	Feinsand 0,2—0,02 %	Schluff 0,02—0,002 %	Ton < 0,002 %	
0— 10	4,0	7,2	24,5	64,3	7,1
30— 40	5,9	11,0	31,5	51,6	7,1
50— 60	6,2	15,8	37,8	40,2	7,3
90—100	10,0	15,9	28,3	45,6	7,8

Tabelle 18. Physikalische Zusammensetzung: Wald-Rendzina, Profil «Zwischenberg».

Horizonte cm	Gewicht von 1 dm ³ gewachsenen Bodens, bei 105,0 C getrocknet g				Volumen der festen Bestandteile ccm			Wasser- gehalt des mit H ₂ O gesättigten Bodens g	Poren- volumen des gewach- senen Bodens ccm	Lauf- kapazität ccm	Spezifisches Gewicht der festen Boden- substanz	
	Feinerde	Skelett	Wurzeln	total	Feinerde	Skelett	Wurzeln					total
0—10	690	130	12	832	283	50	8	341	659	113	2,44	
30—40	1102	200	—	1312	410	81	—	491	509	48	2,68	
50—60	1573	52	—	1625	584	20	—	604	396	1	2,70	

Tabelle 19. Anteil der einzelnen Fraktionen der Feinerde am Karbonatgehalt der Feinerde aus der Wald-Rendzina «Zwischenberg», ausgedrückt in % der Fraktion und in % des Gesamtkarbonates der Feinerde, welches gleich 100 % gesetzt wurde. Sämtliches CO₂ ist auf CaCO₃ umgerechnet, da der absolute Gehalt an MgCO₃ gering ist.

Horizonte cm	Karbonat in der Fraktion							
	2—0,2 mm Korndurchmesser		0,2—0,02 mm Korndurchmesser		0,02—0,002 mm Korndurchmesser		0,002 mm und kleiner Korndurchmesser	
	% der Fraktion	% des Gesamtkarbonates	% der Fraktion	% des Gesamtkarbonates	% der Fraktion	% des Gesamtkarbonates	% der Fraktion	% des Gesamtkarbonates
0—10	55,00	34,21	34,40	38,63	5,47	20,99	0,62	6,22
30—40	70,50	13,32	62,18	21,76	46,79	46,88	11,04	18,3
50—60	77,37	11,43	68,66	27,70	49,09	41,09	20,29	19,76
70—80	78,00	19,07	64,11	24,98	52,93	36,62	17,26	19,33

d) Chemische Eigenschaften

Das mineralische Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist ein Mergel mit 40% Kalziumkarbonat. Die nichtkarbonatigen Bestandteile bestehen zum grössten Teil aus Ton (vgl. Tabelle 17). Neben einem geringen Gehalt an Quarz in der Feinsand- und Schluff-Fraktion sind praktisch *keine primären Silikate* vorhanden. Im Unterschied zu einem harten Kalkstein kann das Wasser in diesen Mergel eindringen. Er zerfällt bei Befeuchtung in wasserbeständige Aggregate. Die reaktionsfähigen Karbonatoberflächen sind im Muttergestein einer Rendzina unvergleichlich grösser als in einem Humuskarbonatboden. Ueber die Verteilung des Karbonates in den einzelnen Fraktionen der Schlämmanalyse ist folgendes zu sagen (vgl. Tabelle 19): In den Horizonten, wo noch keine Karbonatlösung stattgefunden hat, befinden sich rund zwei Drittel des gesamten Karbonates in der Schluff- und Ton-Fraktion. Die Karbonatlösung im Rendzinaprofil erstreckt sich nicht auf grössere Profiltiefen wie im lockeren Humuskarbonatboden. Sie ergreift nur eine dünne Bodenschicht von oben her fortschreitend. Verzögerte Wasserzirkulation und genügend fein zerteiltes Kalziumkarbonat begünstigen eine Reaktion zwischen dem Karbonat und der Kohlensäure in der Bodenlösung schon nach kurzer Zeit und kurzem Weg. (Vgl. hiezu: J. Tillmans, P. Hirsch und A. Eschenbrenner⁸⁸: Ueber die Geschwindigkeit der Entsäuerung kohlenstoffhaltiger Wässer beim Marmorrieselungsverfahren.) Aus dem Verwitterungsdiagramm (vgl. Figur 3) ist ersichtlich, dass nur der oberste Horizont der Entkarbonatung tatsächlich unterworfen ist.

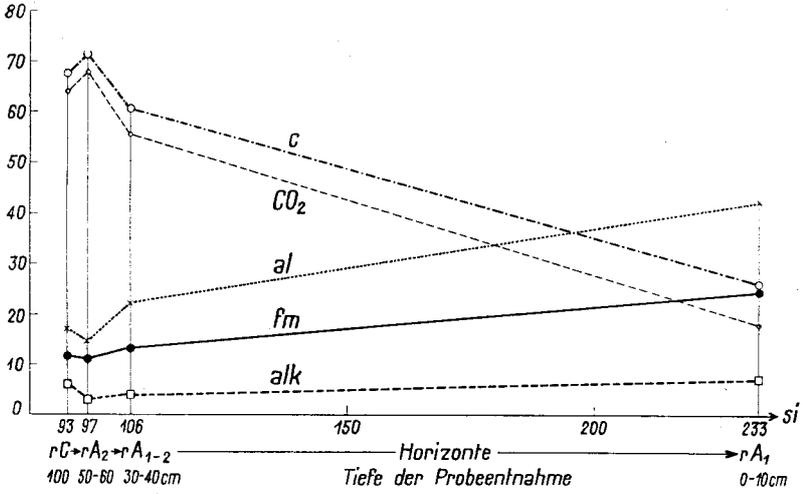
Aus der Pauschalanalyse (vgl. Tabelle 20) geht im einzelnen folgendes hervor: Die Molekularverhältnisse von Kieselsäure zu den Sesquioxiden zeigen im Gesamtboden und in der Tonfraktion eine gewisse Schwankung, doch lässt diese keine Gesetzmässigkeit erkennen, die auf eine Filtrationsverlagerung einzelner Komponenten hindeuten würde (vgl. Tabelle 21). Die Unterschiede in den Molekularverhältnissen dürften eher auf eine wechselnde chemische Zusammensetzung des Sedimentes zurückzuführen sein, denn das Profil ist auf autochthonem Material entstanden (vgl. Abschnitt: Bestimmung des Pauschalchemismus, S. 19). H. Puchner⁶⁸ gibt

für die Rendzina eine Wanderung von Eisen an. Wir konnten im «Zwischenberg»-Profil eine solche nicht feststellen und ebensowenig eine Verlagerung von Aluminium oder Kieselsäure. Eisenoxydhydrate sind im Profil noch nicht freigelegt. Die Farbe des Mergels ist grau und nur in vereinzelt Zonen durch Eisenoxydhydrat rötlichbraun gefärbt. W. L a a t s c h³⁶ hat darauf hingewiesen, dass die Braunfärbung der Rendzina erst mit der Degradation gegen Braunerde eintrete als

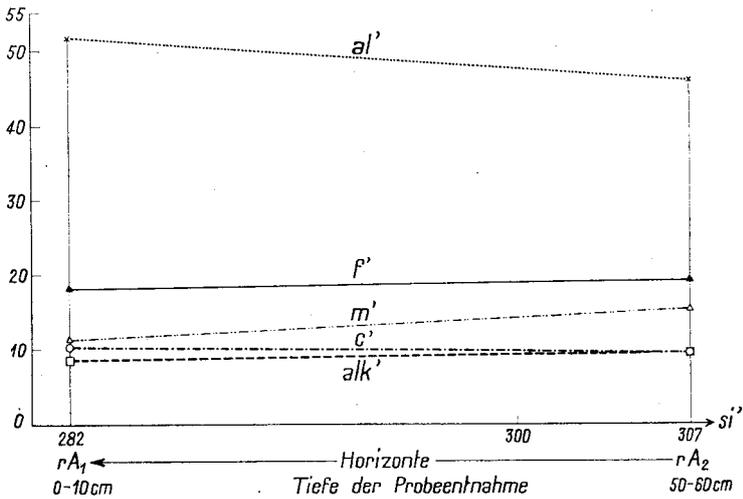
«Ergebnis einer Stabilisierungsreaktion, die als Folge verminderter Ca-Ionensättigung eintreten muss. In den kalkreichen Meeressedimenten ist das Eisen sehr locker an Kiesel-

Tabelle 20. Pauschalanalyse: Wald-Rendzina, Profil «Zwischenberg».

Horizonte	Gewichtsprozente					Molekularwerte			
	I 0-10 cm	II 30-40 cm	III 50-60 cm	IV Mutter- gestein		I 0-10 cm	II 30-40 cm	III 50-60 cm	IV Mutter- gestein
SiO ₂	46,34	35,51	35,79	35,01	si	233	106	97	93,3
TiO ₂	0,69	0,72	0,49	0,49	al	42,3	22,3	14,5	17,2
Al ₂ O ₃	14,53	12,58	9,09	10,96	fm	24,4	13,3	11,1	11,6
Fe ₂ O ₃	4,01	3,52	2,97	3,07	c	26,0	60,5	71,3	67,5
MnO	0,06	0,06	0,06	0,07	alk	7,3	3,9	3,1	3,7
MgO	1,23	1,25	1,22	1,33	f	14,9	7,8	6,2	6,2
CaO	4,90	18,97	24,51	23,65	m	9,2	5,5	4,9	5,3
Na ₂ O	0,40	0,45	0,38	0,43	CO ₂	18,0	55,5	68,0	64,1
K ₂ O	1,70	1,38	1,10	1,50	k	0,73	0,69	0,66	0,72
H ₂ O ⁺	6,40	5,80	1,94	2,40	Tabelle 20 a. Molekularwerte karbonatfrei berechnet.				
H ₂ O ⁻	3,37	2,10	2,20	2,25					
CO ₂	2,66	13,87	18,46	17,64					
SO ₃	0,29	0,36	0,37	0,44					
P ₂ O ₅	0,13	0,10	0,02	0,02					
Org.									
Subst.	12,50	3,65	1,15	0,58					
	99,81	100,49	99,80	99,84					
Karb.-									
CaO	3,31	1,67	23,51	22,45					
CaO									
ads.	1,59	1,30	1,00	1,20					



Figur 3. Verwitterungsdiagramm der Wald-Rendzina, Profil «Zwischenberg».



Figur 3 a. Verwitterungsdiagramm der Wald-Rendzina, Profil «Zwischenberg». Karbonatfrei berechnete Molekularwerte.

säure als leicht löslicher, nicht färbender Komplex gebunden. Da wir das Ferrieisen schon häufiger als ein Basoid kennen gelernt haben, dessen basische Bindungskräfte viel schwächer als diejenigen des Aluminiums sind, wird sofort verständlich, dass es bei der Auswaschung der als Klammern wirkenden Ca-Ionen nicht mehr im vollen Umfange an Kieselsäure gebunden bleiben kann, sondern als freies, kressgelb bis braun färbendes Eisenoxydhydrat in Erscheinung tritt.»

Dass tatsächlich leichtlösliches Eisen (und Aluminium) vorhanden ist, ergab sich aus der Behandlung einer Tonprobe mit normaler HCl, wobei 16 % Sesquioxyde in Lösung gingen. Das Vorliegen des Eisens als nichtfärbender Bestandteil ist eines der Merkmale, die die Rendzina von der Braunerde scheiden. Das pH liegt in allen Horizonten über dem Neutralpunkt.

Die karbonatfrei berechneten Molekularwerte (vgl. Tabelle 20 a) zeigen ein ähnliches Bild wie im Humuskarbonatboden «Eileten». (Bei der Berechnung der karbonatfreien Molekularwerte wurde die gesamte Menge an Magnesium als silikatisch oder adsorptiv gebunden angenommen. Die Karbonat-CO₂ wurde gesamthaft dem Kalziumoxyd zugeschrieben; die dem CaCO₃ äquivalente Menge CaO wurde vom gesamten CaO in Abzug gebracht und der verbleibende Rest als adsorptiv oder silikatisch gebundenes CaO in Rechnung gesetzt.) Das karbonatfreie Ca wird angereichert und zwar im Oberhorizont am stärksten. Die Alkalien werden etwas ausgewaschen. Eine Abnahme zeigt ebenfalls das Magnesium. Die Gegenwart von Schwefel lässt bezüglich des Verhaltens des Magnesiums und des karbonatfreien Kalziums keine sicheren Schlüsse zu. Die Werte für karbonatfreies Kalzium übersteigen diejenigen, die durch den Umtausch mit NH₄Cl erhalten wurden. Die Differenz könnte als schwer gebundenes, nicht austauschbares Ca angesprochen werden, eventuell als Gitterbestandteil der Tonmineralien.

Tabelle 21. Molekularverhältnisse von Kieselsäure und Sesquioxyden in Feinerde und Kolloidfraction der Wald-Rendzina, Profil «Zwischenberg».

Horizonte cm	SiO ₂ : R ₂ O ₃		SiO ₂ : Al ₂ O ₃		SiO ₂ : Fe ₂ O ₃		Al ₂ O ₃ : Fe ₂ O ₃	
	Fein- erde	Kolloid- fraktion	Fein- erde	Kolloid- fraktion	Fein- erde	Kolloid- fraktion	Fein- erde	Kolloid- fraktion
0—10	4,07	2,52	5,51	3,10	15,60	13,37	2,84	4,31
30—40	3,56	1,42	4,81	1,79	13,59	6,83	2,82	3,81
50—60	4,68	2,30	6,69	2,85	15,65	12,06	2,34	4,24

Der *Humusgehalt* der Rendzina beträgt im rA_1 -Horizont 12,5%. Der Humus liegt vor als hemorganischer und koprogener und evtl. chemogener Mull. Die Humate sind weitgehend mit dem Tonkomplex verbunden. Der Abbau der Humusbildner verläuft rasch infolge der verhältnismässig hohen Feuchtigkeit im Profil, die durch die Exposition des Profilortes noch gefördert wird. Nach Kubiena³² und nach unseren eigenen Beobachtungen ist die Bodenfauna verschieden zusammengesetzt in der Rendzina und im Humuskarbonatboden. Die vorliegende Rendzina beherbergt Würmer und Mäuse, die den Boden intensiv durchwühlen; im Humuskarbonatboden treten diese zurück und es finden sich Collembolen, Juliden und Glomeriden.

Die *Farbwirkung* der Humusstoffe ist in der Rendzina weniger intensiv als im Humuskarbonatboden. Neben dem geringeren Gehalt an Humus mag das weitgehende Fehlen von freien Humaten die Ursache davon sein. Die vorherrschende Farbe des Bodens ist grau.

Der *Sorptionskomplex* ist charakterisiert durch einen hohen Sättigungsgrad (vgl. Tabelle 22). Das Kalziumion überwiegt bei weitem unter den adsorbierten Ionen. Die Umtauschkapazität pro 100 g Feinerde ist mit 50 Mval im rA_1 -Horizont kleiner als im Humuskarbonatboden (64 Mval). Pro Liter gewachsenen Bodens dagegen ist sie höher (345 Mval gegenüber 114). Die kleinere Umtauschkapazität pro 100 g Feinerde hat ihre Ursache im kleineren Humusgehalt. Ausserdem sind die Humate in hohem Masse komplex an Ton gebunden, wodurch die Umtauschkapazität der Humusstoffe herabgesetzt wird. Bei einer Umtauschkapazität der reinen Tonsubstanz von 71 Mval errechnet sich für die Humusstoffe eine solche von rund 80 Mval pro 100 g Humusstoffe gegenüber 176 Mval im Humuskarbonatboden des Waldes («Eiletan»).

e) *Dynamik und systematische Einordnung*

Die Dynamik dieses Bodens wird durch folgende Eigenschaften charakterisiert:

1. *Fortschreitende Entkarbonatung des Oberhorizontes unter Anreicherung der nichtkarbonatigen Bestandteile, vorwiegend Ton.* Die Entkarbonatung und damit Verbraunung (Degradation) wird

Tabelle 22. Beladung des Sorptionskomplexes in der Wald-Rendzina, Profil «Zwischenberg».

Profil- Horizonte cm	Milliäquivalente adsorbierter Ionen je 100 g lufttrockener Feinerde Anteil der basischen Kationen an der Summe der basischen Kationen in %												Umtausch- kapazität pro Liter gewachs. Bodens	Sättigungs- grad %	Summe der basischen Kationen (S-Wert)	Umtausch- kapazität (T-Wert)
	Na		K		Mg		Ca		H	PO ₄	SO ₄					
	Mval	%	Mval	%	Mval	%	Mval	%								
0—10	0,39	0,9	0,79	2,0	1,05	2,6	38,02	94,5	9,54	0,94	9,00	49,95	40,41	80,8	345	
30—40	0,25	0,7	0,51	1,5	0,62	1,8	33,06	96,0	2,10	0,12	3,02	36,54	34,44	94,3	402	
50—60	0,45	1,5	0,59	1,9	0,65	2,1	28,76	94,5	1,40	0,20	3,25	31,86	30,45	95,6	502	

rascher vor sich gehen als im Humuskarbonatboden, da alles Karbonat in fein-disperser Form vorliegt. Eine nachhaltige Reserve an Karbonat fehlt, da nur wenig Skelett vorhanden ist. Die Entkarbonatung vollzieht sich aber trotzdem langsam, so dass — infolge geringer Durchlässigkeit — sich die Rendzina lange im reifen Zustand erhalten kann.

2. Die *Humifizierung* der anfallenden Humusbildner *verläuft rasch*, dank der Feuchtigkeit und dem hohen Sättigungsgrad des oberflächlich lockeren Profils.

3. Der *Sorptionskomplex* bleibt weitgehend gesättigt. Die Bodensäuren reagieren mit dem Kalziumkarbonat.

4. Die *Bodenkolloide* befinden sich in einem *stabilen Zustand*, so dass *keine Wanderung einzelner Komponenten* stattfindet.

Die Stellung im Bodensystem von H. P a l l m a n n ist durch folgende Kriterien gegeben:

Bodenklasse: Endoperkolativ, entsprechend der Zirkulation der Bodenlösung von oben nach unten im Profil.

Bodenordnung: Organo-minerogen. Das Bodengerüst besteht aus chemisch stark verwittertem Material, das mit Humus vermischt ist.

Bodenverband: Sial-terralkitisch. Das anorganische Bodengerüst besteht aus Alumosilikaten und Kalziumkarbonat. Freie Sesquioxyde treten in den Hintergrund.

Bodentyp: Terralk ist das kennzeichnende Perkolat. Diese Kriterien ergeben zusammen die Rendzina.

Bodenuntertyp: Der Boden stellt eine reife Rendzina dar.

Bodenvarietät: Autochthon, tiefgründig, biologisch hochaktiv.

2. Bildungsbedingungen der Rendzina im Jura

Die eigentliche Rendzina bildet sich auf weichen Mergeln mit einem Karbonatgehalt von 30—60%, die bei Befeuchtung mehr oder weniger leicht zerfallen. Die nichtkarbonatigen Bestandteile sind zum überwiegenden Teil Ton. Primäre Silikate sind, ausser etwas Quarzsand, keine vorhanden. Skelett aus harten Kalken kann zuweilen vorkommen, doch darf es nur in der Feinerde eingebettet

sein. Beträgt der Karbonatgehalt des Ausgangsmaterials der Bodenbildung weniger als 30%, dann wird die Weiterentwicklung nach Braunerde beschleunigt, weil die Entkarbonatung so rasch vor sich geht, dass ein *reifes Rendzinastadium*, bei dem Karbonat bis zu oberst im Profil vorhanden ist, nicht erreicht oder dann sehr rasch durchlaufen wird. Uebersteigt der Karbonatgehalt 60%, so verliert der Mergel oft die Weicherdigkeit, die in bezug auf die Ausbildung der Rendzina günstig ist. Das Gestein ist härter und wird weniger leicht zerfallen; es bildet sich eine humose Rendzina oder ein rendzinoider Humuskarbonatboden.

D. Braunerde im Jura

I. Vorkommen

Das Verbreitungsgebiet der Humuskarbonatböden und Rendzinen im Jura ist nicht geschlossen. Die mechanischen Kräfte der Gebirgsabtragung im Verein mit der chemischen Verwitterung haben in Muldenlagen, auf Hangterrassen und am Fusse der Steilhänge ein entkarbonatetes, mineralisches Substrat angehäuft, das die Bildung der Braunerde bedingt. Ueber das Vorkommen der drei in Frage stehenden Bodentypen gibt in vielen Fällen das Relief Aufschluss. Sehr häufig bildet die Grenze zwischen Wald und Freiland auch die Grenze zwischen Humuskarbonatboden oder Rendzina und Braunerde, indem sich das Freiland auf Braunerde findet, während der Wald auf Humuskarbonatboden oder Rendzina stockt. Im Walde selbst ist die Pflanzengesellschaft ein massgeblicher Indikator für den Bodentyp (vgl. H. P a l l m a n n⁶⁷, H. E t t e r¹⁰). Diese Grenzziehung ist nicht für jeden Fall gültig. Ein Humuskarbonatboden und eine Rendzina können sich sehr wohl auf schwach geneigtem oder ebenem Terrain bilden. Dieser Fall ist jedoch im Jura seltener anzutreffen. Es soll damit nur hervorgehoben werden, dass die Bildung eines Humuskarbonatbodens oder einer Rendzina nicht an steile Lagen gebunden ist.

Wenn sich ein Profil in den untersuchten Juragebieten aus entkarbonatet abgelagerten Rückständen ehemaliger Karbonatgesteine

entwickelt, dann entstehen ausgesprochene Braunerden. Es kommt dabei nicht darauf an, wie mächtig die entkarbonatet abgelagerte Schicht ist, sondern ob die Profildifferenzierung am Ort nur in dieser Schicht stattgefunden hat. Ist auch der Karbonatuntergrund in die Profildifferenzierung einbezogen, so handelt es sich um ein Uebergangsprofil.

Wird eine Rendzina oder ein Humuskarbonatboden im Oberhorizont teilweise oder ganz entkarbonatet, so bezeichnen wir dies als eine Degradation (vgl. W. L a a t s c h ³⁶).

Folgende zwei Beispiele sollen die Bildungsbedingungen und Eigenschaften von Braunerden im Jura charakterisieren.

2. Wald-Braunerde, Profil «Halmet»

a) Oertliche Verhältnisse

Lokalität: «Halmet», Gemeinde Magden, Kt. Aargau. Top. Atlas Bl. 28, Koord. 626,7/262,5. Höhe ü. M. 510 m. Exposition und Neigung: eben.

Geländeform: Hangterrasse.

Geologische Unterlage: 65 cm mächtige, entkarbonatet abgelagerte, skelettfreie Schicht von Rückständen aus verwitterten Gesteinen des Doggers. Unter dieser Schicht skelett- und tonreiche Mergel als Hangkolluvium vorliegend.

Klima: mittlere jährliche Niederschlagsmenge ca. 900 mm, mittlere Jahrestemperatur ca. 8° C. Klimatyp K ö p p e n ³³: Cfb.

Vegetation: Querceto-Carpinetum.

Profilmerkmale:

Mächtigkeit: tief.

Hauptwurzelraum: 30 cm.

Nebenwurzelraum: 60 cm.

Entkarbonatungstiefe: 65 cm.

Horizontdifferenzierung: deutlich.

Horizontgrenzen: diffus.

Wasserregime: frisch.

Biologische Aktivität: gross.

b) Profilmorphologie

L: stark zerfallene Blätter bedecken ca. $\frac{1}{5}$ der Bodenoberfläche in einfacher Lage. Die Bodenoberfläche ist lose gekrümelt. Viele Wurmexkreme und vereinzelte Maushaufen.

bA₁: 0—30 cm.

Skelettfrei.

Feinerde: leichter Ton.

Humus: 3,4 %, Kopromull.

Gefüge: Feinerde vollständig gekrümelt, Krümel 2 mm gross, nicht aggregiert, wenig druckfest, mässig wurzelverheftet.

Hauptwurzelraum der Bäume.

Etliche Wurmrohren.

Farbe: braungelb.

bA₁₋₂: 30—50 cm.

Skelettfrei.

Feinerde: leichter Ton.

Humus: 1 %, Kopromull.

Gefüge: Feinerde vollständig gekrümelt, Krümel teils aggregiert, wenig druckfest, sehr schwach wurzelverheftet.

Nebenwurzelraum der Bäume.

Farbe: ockergelb.

bB₇: 50—65 cm.

Skelettfrei.

Feinerde: schwerer Ton, Tonanreicherungshorizont.

Humus: 0,5 %, Chemomull.

Gefüge: dicht, das Material zerfällt zu scharfkantigen Krümeln, wenn es vom Bodendruck befreit wird.

Wurmrohren sind vorhanden und einzelne Wurzeln.

Farbe: ockergelb.

Ab 65 cm mergelige Schicht.

c) Herkunft des mineralischen Bodenmaterials, die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Profils

Aeusserlich gesehen ist zunächst die Zweischichtigkeit des Aufschlusses auffallend. Der Unterteil besteht aus toniger Feinerde mit

23,7% Kalziumkarbonat. Mit zunehmender Tiefe steigt der Gehalt an fein- und mittelkiesigem Skelett. Das Skelett hat einen wechselnden Kalziumkarbonatgehalt von 64—96%. Diesem Untergrund ist eine vollständig karbonat- und skelettfreie, tonreiche Schicht von 65 cm Mächtigkeit scharf aufgesetzt. Dass es sich um eine Schichtfolge und nicht um eine Horizontdifferenzierung handelt, geht aus folgenden Tatsachen hervor. Die Längswand des Profils (2,5 m) zeigt, dass die Grenzlinie der beiden Schichten nicht regelmäßig verläuft, sondern sich der Bodenoberfläche bald nähert, bald wieder entfernt. Die dadurch zustandekommende ungleich mächtige karbonatfreie Oberschicht spricht gegen eine Entkarbonatung an Ort und Stelle, ebenso das Fehlen jeglichen Skelettes, die scharfe Schichtgrenze und die fast gleichen pH-Werte in der Schicht. Die aufgelagerte Schicht muss vom Hang des «Halmet» eingeschwemmt worden sein, wahrscheinlich zu einer Zeit, da der Hang noch nicht durch eine Vegetation von der heutigen Zusammensetzung stabilisiert und vor Erosion geschützt war. Der «Halmet» gehört der Doggerformation an. Dass das vorliegende Hangkolluvium entkarbonatet verfrachtet wurde, darf aus dem Grund angenommen werden, weil die Tone in Karbonatgesteinen erst frei und beweglich werden, nachdem das Karbonat weggelöst worden ist. Bei der karbonat- und skelettfreien Schicht handelt es sich nicht um eine reliktsche Lössablagerung; dies geht auch aus der Korngrößenverteilung hervor (vgl. Tabelle 24). Die Möglichkeit wurde deshalb diskutiert, weil sich das Profil in unmittelbarer Nachbarschaft von interglazialen Lössablagerungen befindet. Gegen die Möglichkeit, dass es sich um eine Lössauflage handeln könnte, sprechen auch die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Tonsubstanz, die sich nicht von den Tonen der übrigen Profile auf Doggerunterlage unterscheiden.

Nur die entkarbonatet abgelagerte Schicht von 65 cm Mächtigkeit ist im wesentlichen von der heutigen Bodenbildung erfasst und daher allein zum eigentlichen Profil gehörig. Man kann deshalb nicht von einer degradierten, verbrauchten Rendzina sprechen.

Die *physikalischen Eigenschaften* des Profils sind aus der Burgeranalyse (vgl. Tabelle 23) ersichtlich. Der an Ton verarmte bA_1 -Horizont zeigt eine günstige Wasser- und Luftkapazität. Mit zu-

Tabelle 23. Physikalische Zusammensetzung: Wald-Braunerde, Profil «Halmet».

Horizonte cm	Gewicht von 1 dm ³ gewachsenen Bodens, bei 105° C getrocknet				Volumen der festen Bodenbestandteile ccm				Wassergehalt des mit H ₂ O gesättigten Bodens g	Porenvolumen des gewachsenen Bodens ccm	Luftkapazität ccm
	Feinerde		Wurzeln		Feinerde		Wurzeln				
	Skelett	total	Skelett	total	Skelett	total	Skelett	total			
0—10	1050	0	5	1055	407	0	3	410	436	590	154
30—40	1315	0	3	1318	502	0	2	504	434	496	62
50—60	1520	0	0	1520	567	0	0	567	428	433	5
90—100	1411	290	0	1701	531	116	0	647	351	353	2

Tabelle 25. Molekularverhältnisse von Kieselsäure und Sesquioxiden in der Feinerde und Kolloidfraktion der Wald-Braunerde, Profil «Halmet».

Horizonte cm	SiO ₂ : R ₂ O ₃				SiO ₂ : Al ₂ O ₃				SiO ₂ : Fe ₂ O ₃				Al ₂ O ₃ : Fe ₂ O ₃			
	Feinerde		Kolloidfraktion		Feinerde		Kolloidfraktion		Feinerde		Kolloidfraktion		Feinerde		Kolloidfraktion	
	Feinerde	Kolloidfraktion	Feinerde	Kolloidfraktion	Feinerde	Kolloidfraktion	Feinerde	Kolloidfraktion	Feinerde	Kolloidfraktion	Feinerde	Kolloidfraktion	Feinerde	Kolloidfraktion	Feinerde	Kolloidfraktion
0—10 cm	8,79	1,37	12,23	1,59	33,62	9,56	2,75	6,00								
30—40 cm	8,52	1,30	11,91	1,53	30,00	8,16	2,52	5,32								
50—60 cm	2,56	1,43	3,16	1,64	13,54	11,05	4,28	6,75								
90—100 cm	2,75	1,60	3,36	1,86	14,61	11,35	4,35	6,11								

nehmender Profiltiefe sinkt die Luftkapazität bei praktisch gleichbleibender Wasserkapazität auf nur mehr 0,5%. Trotz dieses verdichteten Horizontes ist der Wasserhaushalt des Profils günstig, was in der hohen biologischen Aktivität zum Ausdruck kommt. Der Tonanreicherungs-horizont ist wasserdurchlässig genug, um das überschüssige Niederschlagswasser durch den Profilvertrag abfließen zu lassen.

Die *chemischen* und *physikalischen Eigenschaften* des Profils entsprechen einer Braunerde, die in der Entwicklung weit fortgeschritten ist. Die pH-Werte liegen im eigentlichen Profil um 5 herum (in der karbonathaltigen Schicht betragen sie 7,5). pH-Werte von 5 können für Braunerden als durchaus normal bezeichnet werden (vgl. J. Geering¹⁶, K. Lundblad³⁹).

Der *Humusgehalt* beträgt im bA₁-Horizont 3,4% im bA₁₋₂- und bA₂-Horizont macht sich die Mineralfarbe des Bodens als ein leuchtendes Ockergelb geltend, die von freigelegten Eisenoxydhydraten bewirkt wird.

Tabelle 24. Schlämmanalyse, Humusgehalt und pH: Wald-Braunerde, Profil «Halmet».

Horizonte cm	Fraktionen der Schlämmanalyse, Ø in mm				Humus- gehalt %	pH
	2—0,2 %	0,2—0,02 %	0,02—0,002 %	< 0,002 %		
0— 10	8,8	31,4	30,2	29,6	3,40	5,2
30— 40	12,8	24,3	27,3	35,6	1,05	5,1
50— 60	7,6	17,9	14,6	59,9	0,50	5,4
90—100	17,5	26,2	19,2	37,1	0,51	7,4

Der *Sorptionskomplex* (vgl. Tabelle 26) zeigt, entsprechend der sauren Reaktion des Bodens, einen niedrigen Sättigungsgrad im bA₁- und bA₁₋₂-Horizont (37 bzw. 34%). Die Umtauschkapazität ist vom Tongehalt abhängig (20 — 26 — 39 — 20 Mval / 100 g). Wie aus der Umtauschgarnitur ersichtlich ist, wurde das Kalium am wenigsten ausgelaugt.

Im Gefolge der Entbasung stellte sich eine *starke Durchschlammung von mineralischen Kolloiden* ein (vgl. Tabelle 24). In einer Tiefe von 50—65 cm hat sich ein deutlicher Tonanreicherungs-

horizont gebildet. Er weist einen doppelt so hohen Tongehalt auf als der bA_1 -Horizont (60% bzw. 30%). Die Molekularverhältnisse von SiO_2/R_2O_3 bleiben in der Tonfraktion konstant; in der Feinerde dagegen werden sie von oben nach unten zunehmend enger (vgl. Tabelle 25).

Es handelt sich also um eine mechanische Entmischung der Feinerde, die im Oberhorizont eine Anreicherung von Quarz und im untern Horizont eine Anreicherung von Ton zur Folge hatte. Eine Wanderung von Sesquioxiden oder Kieselsäure hat nicht stattgefunden. J. Geering¹⁶ hat auch auf diese Erscheinung als für Braunerden normal hingewiesen.

d) Dynamik und systematische Einordnung

Die Dynamik ist gekennzeichnet durch folgende Punkte:

1. *Fortschreitende Entbasung des Sorptionskomplexes, begleitet von Tonverlagerung.*

2. *Sesquioxide und Kieselsäure sind noch in stabiler, ortsgebundener Form vorhanden. Eisen ist freigelegt als Eisenoxydhydrat.*

3. Die anfallenden Humusbildner werden fortlaufend abgebaut.

Die systematische Stellung des Bodens ist gegeben durch folgende Eigenschaften:

Die Perkolationsrichtung (*Bodenklasse*) ist endoperkolativ. Das Bodenfiltergerüst ist organominerogen (*Bodenordnung*). Das mineralische Bodengerüst ist ferri-siallitisch (*Bodenverband*). Das kennzeichnende Perkolat ist Terralk (*Bodentyp*).

Der *Boden* ist demnach als Braunerde zu bezeichnen.

Der *Bodenuntertyp* entspricht einer reifen Braunerde.

Die *Bodenvarietät* ist als skelettfreie, biologisch aktive Braunerde mit starker Tonverlagerung anzusprechen.

3. Freiland-Braunerde, Profil «Sennweid»

a) Oertliche Verhältnisse

Lokalität: Sennweid, Gemeinde Olsberg, Kt. Aargau. Top. Atlas Bl. 28, Koord. 626,6 / 262,4. Höhe ü. M. 495 m. Exposition West-Nordwest. Neigung 10%.

Geländeform: Hang, unregelmässig gewellt.

Geologische Unterlage: 80 cm mächtige, entkarbonatet abgelagerte, sehr skelettarme Schicht von Rückständen aus verwitterten Gesteinen des Doggers. Unter dieser Schicht skelett- und tonreiche Mergel als Hangkolluvium vorliegend.

Klima: mittlere jährliche Niederschlagsmenge ca. 900 mm, mittlere Jahrestemperatur ca. 8° C. Klimatyp Köppen³³: Cfb.

Nutzungsart: Ackerbau.

Profilm Merkmale:

Mächtigkeit: tief.

Entkarbonatungstiefe: 80 cm.

Horizontdifferenzierung: schwach.

Horizontgrenzen: kaum sichtbar.

Wasserregime: feucht.

b) Profilmorphologie

kA₁: 0—20 cm.

Skelett: nur sehr wenig vorhanden.

Feinerde: sandiger Ton.

Humus: 4,7%, Kopromull.

Gefüge: Feinerde vollständig gekrümelt, Krümel aggregiert, stabil, scharfkantig, polyedrisch bis würfelig.

Hauptwurzelraum der Kulturpflanzen. Entspricht der Furchentiefe.

Viele Wurmrohren, Mausgänge.

Farbe: schokoladebraun.

bA₁₋₂: 20—60 cm.

Unterscheidet sich nur durch eine etwas hellere Farbe vom bA₁.

Skelett: spärlich vorhanden.

Feinerde: schwerer Ton.

Humus: 1,7%, Kopromull.

Gefüge: Feinerde vollständig gekrümelt, Krümel bis 1 cm gross, ziemlich druckfest, scharfkantig, würfelig, muscheliger Bruch. Nebenwurzelraum der Kulturpflanzen, namentlich der Luzerne.

Wurmrohren, Mausgänge.

Farbe: helles Schokoladebraun.

bA₂: 60—80 cm.

Schwache Tonanreicherung in dieser Tiefe.

Skelett: spärlich vorhanden.

Feinerde: schwerer Ton.

Humus: 1,3 %, Chemomull.

Gefüge: dichtes Primitivgefüge, bricht scharfkantig, mit muscheliger Bruchfläche.

Farbe: helles Schokoladebraun.

Ab 80 cm: skelett- und karbonatreiche Schicht.

*c) Herkunft des mineralischen Bodenmaterials,
die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Profils*

Vom «Halmet»-Hügel entkarbonatet abgetragene Rückstände von verwittertem Doggermaterial bedecken den Westhang des oberen Goldentales. Die Mächtigkeit der karbonat- und praktisch skelettfreien kolluvialen Schicht beträgt in der Talsohle stellenweise mehrere Meter. Sie liegt auf einem skelettigen Mergeluntergrund. Gegen den bewaldeten und steiler werdenden Hang des «Halmet» läuft diese Schicht aus, so dass in den höhern Lagen die Doggerschichten des Berges anstehen, auf denen sich teils feinerdearme, skelettige, teils rendzinoide Humuskarbonatböden entwickelt haben.

Im vorliegenden Fall hat die karbonatfreie Oberschicht eine Mächtigkeit von 80 cm. Sie bildet das Profil. Das Profil ist kaum in Horizonte gegliedert. Die dunkelschokoladebraune Farbe der Ackerkrume geht diffus nach unten in ein leicht helleres Schokoladebraun über. Eine geringfügige Tonverlagerung ist feststellbar (vgl. Tabelle 27).

Tabelle 27. Schlämmanalyse, Humusgehalt und pH der Freiland-Braunerde, Profil «Sennweid».

Horizonte cm	Fraktionen der Schlämmanalyse, ϕ in mm				Humus %	pH
	2—0,2 %	0,2—0,02 %	0,02—0,002 %	0,002 und kleiner %		
0—20	20,4	13,2	24,9	41,5	4,70	6,6
30—40	5,4	23,1	16,6	54,9	1,68	6,7
60—70	4,8	20,3	17,7	57,2	1,30	6,6
120—130	7,1	23,4	28,7	40,8	0,75	7,3

Tabelle 26. Komplexbelegung in der Wald-Braunerde, Profil «Halmet».

Horizonte cm	Mval adsorbierte Ionen je 100 g lufttrockene Feinerde Anteil der basischen Kationen an der Summe der basischen Kationen in %												Umtausch- Kapazität T-Wert	Summe der basischen Kationen S-Wert	Sättigungs- grad %	Umtausch- Kapazität je Liter gewachsenen Bodens
	H	Na		K		Mg		Ca		PO ₄	SO ₄					
		Mval	%	Mval	%	Mval	%	Mval	%							
												Mval				
0—10	12,90	0,02	0,3	0,47	6,0	0,12	1,5	7,22	92,2	0,31	0,08	7,83	37,7	217		
30—40	17,20	0,08	0,9	0,27	3,0	0,09	1,0	8,45	95,1	0,03	0,15	8,89	34,1	342		
50—60	16,10	0,24	1,0	0,32	1,3	0,24	1,0	22,73	96,7	0,22	0,25	23,53	59,4	601		
90—100	3,50	0,11	0,6	0,32	1,8	0,19	1,1	16,60	96,5	0,11	0,10	17,22	85,5	283		

Tabelle 28. Physikalische Zusammensetzung: Freiland-Braunerde, Profil «Sennweid».

Horizonte cm	Gewicht von 1 dm ³ gewachsenen Bodens, absolut trocken g				Volumen der festen Bodenbestandteile ccm				Wassergehalt des mit H ₂ O gesättigten Bodens g	Porenvolumen des gewachsenen Bodens ccm	Luftkapazität ccm	Spezifisches Gewicht der festen Boden- bestandteile
	Feinerde		Skelett		Feinerde		Skelett					
	total	Skelett	total	Skelett	total	Skelett	total	Skelett				
0—10	1080	104	1184	40	420	460	460	432	540	108	2,57	
30—40	1200	167	1367	66	467	514	514	399	486	87	2,66	
60—70	1480	24	1504	10	566	563	563	397	437	40	2,67	
120—130	1204	402	1606	154	494	606	606	344	394	50	2,65	

Tabelle 29. Belegung des Sorptionskomplexes der Freiland-Braunerde, Profil «Sennweid».

Horizonte cm	Mval adsorbierte Ionen je 100 g lufttrockene Feinerde Anteil der basischen Kationen an der Summe der basischen Kationen in %										Umtausch- Kapazität T-Wert	Summe der basischen Kationen S-Wert	Sättigungs- grad %	Umtausch- Kapazität je Liter gewachsenen Bodens		
	H	Na		K		Mg		Ca		PO ₄					SO ₄	
		Mval	%	Mval	%	Mval	%	Mval	%							
0—20	12,5	0,30	2,0	3,9	0,60	3,9	2,31	15,0	12,22	79,1	1,83	1,20	27,93	15,43	55,3	302
30—40	17,1	0,35	1,9	2,6	0,48	2,6	2,75	15,1	14,61	80,4	0,94	0,34	35,29	18,19	51,5	424
60—70	13,7	0,29	1,3	1,4	0,32	1,4	2,18	9,7	19,69	87,6	0,15	0,56	36,18	22,48	62,1	536
120—130	4,0	0,26	2,2	1,6	0,19	1,6	0,25	2,1	10,98	94,1	0,05	0,06	15,68	11,68	74,5	189

Tabelle 30. Molekularverhältnisse von Kieselsäure und Sesquioxiden in Feinerde und Kolloidfraktion der Freiland-Braunerde, Profil «Sennweid».

Horizonte cm	SiO ₂ : R ₂ O ₃				SiO ₂ : Al ₂ O ₃				SiO ₂ : Fe ₂ O ₃				Al ₂ O ₃ : Fe ₂ O ₃			
	Feinerde		Kolloidfraktion		Feinerde		Kolloidfraktion		Feinerde		Kolloidfraktion		Feinerde		Kolloidfraktion	
	Mval	%	Mval	%	Mval	%	Mval	%	Mval	%	Mval	%	Mval	%	Mval	%
0—20 cm	5,21	1,39	7,14	1,61	19,23	10,14	2,65	6,28	4,27	1,41	5,67	1,66	3,04	5,74	3,10	6,00
30—40 cm	4,37	1,32	5,78	1,53	17,96	9,20	2,81	5,49	4,37	1,32	5,78	1,53	3,10	6,00	2,81	5,49
60—70 cm	4,52	1,16	6,13	1,37	17,23	7,55	2,81	5,49	4,52	1,16	6,13	1,37	2,81	5,49	2,81	5,49
120—130 cm																

J. Geering¹⁶ und W. Laatsch³⁴ haben darauf hingewiesen, dass es sich bei der Tonanreicherung in der Braunerde nicht um einen B-Horizont im Sinne einer Illuvialzone handelt, wie er im Podsol gefunden wird, sondern um eine mechanische Durchschlämmung von Ton. Wie die Burgeranalyse (vgl. Tabelle 28) zeigt, sind die physikalischen Eigenschaften dieses Bodens in bezug auf den Ackerbau eher ungünstig. Er ist ein sogenannter «Stundenboden» wegen seines hohen Tongehaltes und seiner relativen Wasserarmut. Er ist sehr resistent gegen Austrocknung.

Der Sorptionskomplex weist einen Sättigungsgrad von rund 55% auf. Die Umtauschkapazität von 28–36 Mval pro 100 g Feinerde ist weit niedriger als im Humuskarbonatboden. Dagegen ist die Summe der umtauschbaren Ionen je Volumeneinheit Boden ca. dreimal grösser als im Humuskarbonatboden. Die Kolloidfraktion zeigt auch hier durch das ganze Profil keine Aenderung der Molekularverhältnisse.

d) Dynamik und systematische Einordnung

Die Entbasung geht nur sehr langsam vor sich, dank der hohen Pufferkapazität des Bodens (hoher Tongehalt pro Volumeneinheit). Eine rege Maus- und Wurmtätigkeit schafft immer wieder Material aus grösserer Bodentiefe an die Oberfläche. Ausserdem dringt bedeutend weniger Wasser in den Boden ein als im Wald. Hanglage und grössere Dichte begünstigen den Abfluss an der Oberfläche.

Die systematische Stellung ist gegeben durch dieselben Eigenschaften wie bei der Waldbraunerde.

Bodentyp: Braunerde.

Bodenuntertyp: reif.

Bodenvarietät: tonreiche, sehr skelettarme, tiefgründige Freilandbraunerde, beackert.

IV. ABGRENZUNG DES HUMUSKARBONATBODENS UND DER RENDZINA UNTER SICH UND GEGEN DIE BRAUNERDE

Die Selbständigkeit des Humuskarbonatbodens und der Rendzina als Bodentypen ist durch folgende Kriterien gegeben.

1. Auf Grund der *verschiedenen chemischen Eigenschaften* nehmen die beiden Böden eine *verschiedene Stellung im Bodensystem* von H. Pallmann ein.

In der *Entstehungsart des Bodenfilters* (Bodenordnung):

Humuskarbonatboden: Organo-petrogen.

Rendzina: Organo-minerogen.

Im *Chemismus des mineralischen Filtergerüsts* (Bodenverband):

Humuskarbonatboden: Terralkitisch.

Rendzina: Sial-terralkitisch.

2. In *physikalischer Hinsicht* stellen die beiden Böden *zwei Extreme* dar.

Der *Humuskarbonatboden* ist (bei normalerweise grossem Skelettgehalt und wenig Feinerde) *sehr durchlässig* und *neigt zu rascher Austrocknung*. Sein *Bodenklima* ist daher *trocken*.

Die *Rendzina* ist *tonreich* und bei *kleinem Skelettgehalt* dicht gelagert und daher *stark wasserhaltend*. Ihr *Bodenklima* ist *frisch*.

3. Der *Gehalt an Humus* in der Feinerde und die *Eigenschaften* der *Humusstoffe* sind verschieden.

Der *Humuskarbonatboden* hat einen *höheren Gehalt an Humus*. Es handelt sich hauptsächlich um *koprogenen Mull*. Die *Humusstoffe* liegen vor als *freie Kalziumhumate* von *hoher Stabilität* und mit grossem Ionenadsorptionsvermögen.

Der *Humus* in der *Rendzina* ist *koprogener bis chemogener Mull*. Die *Humusstoffe* sind ebenfalls gesättigt, aber grösstenteils als *organo-mineralische Komplexe* mit Ton verbunden. Ihr *Vermögen, Ionen adsorptiv zu binden*, ist *kleiner als im Humuskarbonatboden*.

4. Die *biologische Aktivität*, sowie die *Art der Bodentiere* ist *verschieden*, entsprechend den *verschiedenen Bodenklimate*.

Ueber die Zusammenhänge zwischen *Bodenklima* und *biologischer Aktivität* gibt die Arbeit von F. Richard ⁷¹ Aufschlüsse.

Die *Abgrenzung* des *Humuskarbonatbodens* und der *Rendzina* gegen die *Braunerde* ist wiederum durch die *Kriterien der Boden-*

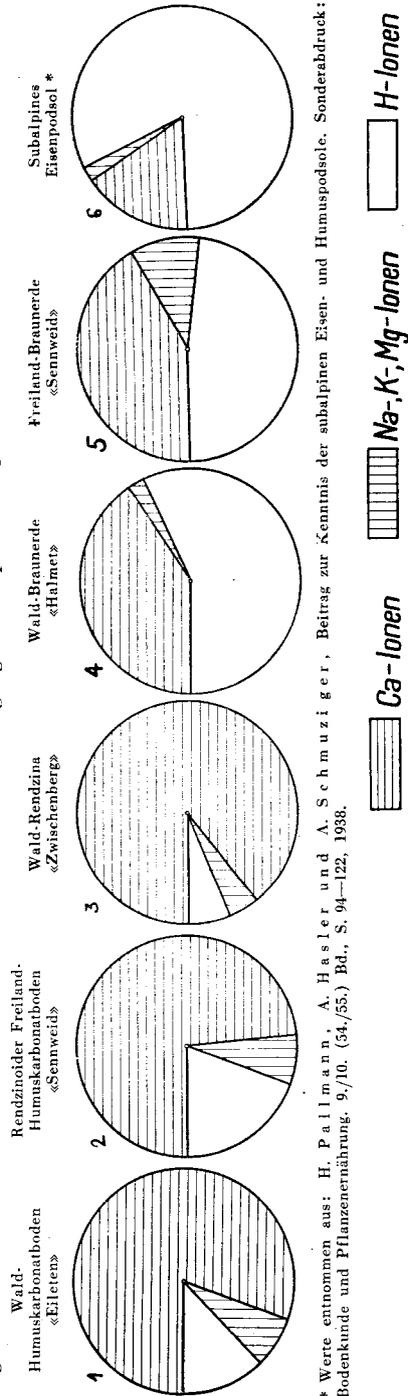
klassifikation nach H. Pallmann gegeben. Die Braunerde ist in ihrem mineralischen Gerüst ferri-siallitisch. Im Gegensatz zur Rendzina sind in der Braunerde wesentliche Mengen Eisenoxydhydrate ortsfest freigelegt. Die beiden Karbonatböden unterscheiden sich von der Braunerde auch in der Dynamik: Humuskarbonatboden und Rendzina besitzen wegen der Gegenwart von Kalziumkarbonat in der Feinerde einen hochgesättigten Sorptionskomplex, im Gegensatz zur Braunerde. K. K. Gedroiz¹⁵ und V. Nowak⁵⁶ haben die Böden nach dem Sättigungsgrad klassiert. In der Braunerde zeigt sich des weiteren oft eine mechanische Verlagerung von Ton, eine Erscheinung, die in den untersuchten Humuskarbonatböden und in der Rendzina nicht zu beobachten ist.

Zum Schluss seien einige wichtige Eigenschaften der untersuchten Bodenprofile einander gegenübergestellt. Die Angaben beziehen sich auf den Wurzelraum unter 1 Quadratmeter Bodenoberfläche. Der Wurzelraum entspricht angenähert dem Mullhorizont, der sich nicht immer deutlich abgrenzen lässt. Zu Vergleichszwecken in bezug auf die Umtauschgarnitur werden die Werte eines subalpinen Eisenpodsols angeführt.

Fortsetzung Tabelle 31.

	Wald-Humuskarbonatboden «Eileten»		Rendzinoider Freiland-Humuskarbonatboden «Sennweid»		Wald-Rendzina «Zwischenberg»		Wald-Braunerde «Halmet»		Freiland-Braunerde «Sennweid»		Subalpines Eisen-podsol *	
	Mval absolut	%-Anteil Kationen	Mval absolut	%-Anteil Kationen	Mval absolut	%-Anteil Kationen	Mval absolut	%-Anteil Kationen	Mval absolut	%-Anteil Kationen	Mval absolut	%-Anteil Kationen
15. Mval austauschbarer Ionen												
H	9 830	12,5	12 336	19,8	17 916	7,0	105 785	57,3	75 060	47,5	81,5	
Na, K, Mg	2 131	2,7	3 907	6,8	11 427	4,0	3 590	1,9	16 252	10,4	2,4	
Ca	66 677	84,8	41 006	73,4	226 506	89,0	75 397	40,8	65 740	42,1	16,1	
Summed. Kationen	78 638	100,0	57 249	100,0	255 849	100,0	184 732	100,0	156 052	100,0	100,0	
Summed. bas. Kat.	68 808		44 913		237 933		78 947		81 992			
Sättigungsgrad	87,5		78,4		93,0		42,5		52,5		18,5	
PO ₄	1 128		1 802		1 676		867		5 328			
SO ₄	534		537		26 377		1 055		2 520			

Figur 4. Prozentualer Anteil der einzelnen Kationen an der Belegung des Sorptionskomplexes der untersuchten Böden.



* Werte entnommen aus: H. Pallmann, A. Hasler und A. Schmutzger, Beitrag zur Kenntnis der subalpinen Eisen- und Humuspodsole, Sonderabdruck: Bodenkunde und Pflanzenernährung, 9./10. (54./55.) Bd., S. 94-122, 1938.

Wald-Humuskarbonatboden, Profil «Eiletten»



Phot.: R. Leuenberger

Wald-Rendzina, Profil «Zwischenberg»



Phot.: Dr. F. Richard

Maßstab: 1 Einheit des Jalons = 10 cm

V. ZUSAMMENFASSUNG

1. In einem kurzen Ueberblick wird der Schweizer Jura als Ort der Bodenbildung beschrieben. Die Juragesteine bestehen vorwiegend aus Kalksedimenten, die wechselnde Mengen von Ton enthalten. Das Klima ist gemässigt-humid, die natürliche Vegetations-Klimax besteht zum grössten Teil aus Buchenwaldgesellschaften.

2. Von jeher bestand die Tendenz, bei den Karbonatböden des gemässigt-humiden Klimas zwei grosse Gruppen zu unterscheiden:

- a) Böden, die sich auf Trümmern harter Kalke bilden, viel Humus und wenig Ton enthalten;
- b) Böden, die auf weichen Mergeln entstehen, tonreich sind und viel Karbonat und nur wenig Humus enthalten.

Die Unterscheidung und Benennung dieser Böden waren nicht einheitlich. Die Böden der ersten Gruppe wurden zuweilen Humuskalkböden oder Humuskarbonatböden genannt, während «Rendzina» sich ursprünglich auf die Böden der zweiten Gruppe bezog. Später wurde «Rendzina» für beide Gruppen verwendet und die Unterscheidung verwischt.

3. Eine scharfe Trennung hat H. Pallmann vorgenommen. Auf Grund der Kriterien seiner Bodenklassifikation sind Humuskarbonatboden und Rendzina zwei selbständige Bodentypen.

Der Humuskarbonatboden ist nach dem System von H. Pallmann wie folgt charakterisiert:

Perkolationsrichtung (Klasse)	: endoperkolativ
Entstehungsart des Bodengerüsts (Ordnung)	: organo-petrogen
Chemismus des mineral. Gerüsts (Verband)	: terralkitisch
Kennzeichnendes Perkolat (Typ)	: Terralk

Die Rendzina ist wie folgt charakterisiert:

Perkolationsrichtung (Klasse)	: endoperkolativ
Entstehungsart des Bodengerüsts (Ordnung)	: organo-minerogen
Chemismus des mineral. Gerüsts (Verband)	: sial-terralkitisch
Kennzeichnendes Perkolat (Typ)	: Terralk

4. Aus einer grossen Zahl von Bodenprofilen, die im Jura geöffnet worden waren, wurden fünf Profile ausgewählt und analysiert. Als Analysenmethoden wurden angewendet: Schlämmanalyse, Burgeranalyse, Röntgenanalyse der Tone, Pauschalanalyse, Karbonatana-

lyse, Humusanalyse, Bestimmung der Umtauschkapazität und der Umtauschgarnitur, sowie pH-Messung.

5. Die Tonsubstanz der untersuchten Böden, die durch Lösungsverwitterung der Doggergesteine (Hauptrogenstein und Mergel) und Effingermergel freigelegt wird, gehört auf Grund der Röntgenanalyse zur Gruppe der glimmerartigen Tonminerale (Illite). Die Umtauschkapazität des Tons beträgt 71 Mval/100 g. Daneben finden sich amorphe Tonsubstanzen (Allophan-Tone).

6. Der untersuchte *Humuskarbonatboden* «Eiletan» ist fein- bis mittelkiesig, skelettreich ($\frac{4}{5}$ des Gesamtbodengewichtes). Das Skelett besteht zu mehr als 95 % aus CaCO_3 . Es beeinflusst sowohl die physikalischen, als auch die chemischen Eigenschaften des Profils. Die vollständig gekrümelte Feinerde ist mehr oder weniger lose in den Hohlräumen zwischen dem Skelett eingelagert. Der Humuskarbonatboden ist dementsprechend locker und durchlässig; sein Bodenklima ist trocken.

Chemisch besteht das Profil zu rund 80 % aus Kalk. Durch die Karbonatlösung und die periodische Austrocknung findet im Oberhorizont eine Ton- und Humusanreicherung statt (42 % Ton und 23 % Humus im kA_1^1 , 29 % Ton und 6 % Humus im kA_1^3). Die Umtauschkapazität der Feinerde ist hoch (64 Mval/100 g im kA_1^1), was auf die Gegenwart von freien oder lose gebundenen Humaten zurückzuführen ist. Der Sorptionskomplex ist weitgehend gesättigt (85 %), vorwiegend mit Ca-Ionen. Eine Wanderung von Kieselsäure oder Sesquioxiden im Profil konnte nicht festgestellt werden, ebenso keine mechanische Tonverlagerung.

7. Die untersuchte *Rendzina* «Zwischenberg» stellt einen tonreichen Boden mit reichlich Karbonat in feiner Zerteilung dar. Skelett ist nur in geringer Menge vorhanden und für die Bodeneigenschaften praktisch ohne Bedeutung. Nur der Oberhorizont zeigt, dank seinem Krümel- bis Schwammgefüge, eine günstige Luft- und Wasserführung, sonst ist das Profil stark wasserhaltend infolge seines kapillaren Hohlraumsystems.

Chemisch besteht die Rendzina aus ca. 40 % Kalk. Der Humusgehalt (12 % im rA_1) ist kleiner als im Humuskarbonatboden, aber grösser als in der Braunerde. Die Entkarbonatung führt zu einer Tonanreicherung im Oberhorizont, doch ist Karbonat bis zu oberst

im Profil vorhanden. Die Humusstoffe liegen hauptsächlich als Tonhumuskomplexe vor. Die Umtauschkapazität der Feinerde ist mit 50 Mval/100 g trotz des höheren Tongehaltes kleiner als im Humuskarbonatboden, was auf das Zurücktreten der freien und lose gebundenen Humate zurückzuführen ist. Der Sorptionskomplex ist hoch gesättigt (81 % im rA_1), vorwiegend mit Ca-Ionen. Eine Wanderung von Sesquioxiden oder Kieselsäure oder eine mechanische Tonverlagerung im Profil ist nicht festzustellen. Das Eisen liegt nicht als freies Eisenoxydhydrat vor. Der Boden reagiert alkalisch.

8. Das Verbreitungsgebiet des Humuskarbonatbodens und der Rendzina im Schweizer Jura ist nicht geschlossen. Auf entkarbonatet abgelagerten Rückständen der Lösungsverwitterung von Kalkstein bilden sich tonreiche, sehr skelettarme Braunerden. Sie finden sich meist in Mulden, auf Hangterrassen und am Fuss von steilen Hängen. Die untersuchten Braunerden zeigten einen niedrigen Humusgehalt (4 % im bA_1) und einen niedrigen Sättigungsgrad des Sorptionskomplexes (35 %, bzw. 55 % im bA_1). Ferner war in dem einen Profil bei einem pH von 5,1—5,4 eine starke Tonverlagerung (30 % Ton im bA_1 und 60 % im bB_T) zu beobachten. Bei einem pH von 6,5 weist das andere Profil nur eine unbedeutende Tonverlagerung auf. Das Eisen ist in beiden Profilen als freies Eisenoxydhydrat vorhanden; eine Wanderung hat jedoch nicht stattgefunden.

9. Die physikalischen und chemischen Untersuchungsergebnisse haben bestätigt, dass eine Trennung der Karbonatböden in Humuskarbonatboden und Rendzina durch die Kriterien der Bodenklassifikation nach H. Pallmann gegeben ist. Ebenso ist ihre Sonderstellung der Braunerde gegenüber sichergestellt.

Unter gemässigt-humidem Klima können die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Muttergesteins die Ausbildung verschiedener Bodentypen bedingen.

Leer - Vide - Empty

LITERATURVERZEICHNIS

- 1 Aarnio, B. u. Stremme, H., Suom. geol. kom. Agrogeol. julk. No. 17, 1924.
- 2 Atterberg, A. (siehe Wiegner-Pallmann. Anleitung zum quantitativen agrikulturchemischen Praktikum. Gebr. Bornträger, Berlin 1938).
- 3 Baver, L. D., Soil Sci. 29, 1930, 291—309.
- 4 Blösch, E., Mitt. Aarg. nat.forsch. Ges. 11, 1911, 137—140.
- 5 Bradfield, R. u. Covan, E. W., Soil Sci. 24, 1927, 365—372.
- 6 Burger, H., Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Diss. ETH. 1922.
- 7 Buxtorf, H. u. Koch, R., Verh. nat.forsch. Ges. Basel. 31, 1920, 113.
- 8 Endell, K. u. Vageler, P., Ber. Dtsch. Keram. Ges. 13, H. 9, 377—411.
- 9 Engelhard v., W., Fortschr. Mineralogie, Krist. u. Petrographie. 21, 1937, 276—340.
- 10 Etter, H., Pflanzensoziologische und bodenkundliche Studien an schweizerischen Laubwäldern. Diss. ETH. 1943.
- 11 Fajans, K., Z. prakt. Chemie. 97, 1921.
- 12 Frebold, G., Grundriss der Bodenkunde. W. de Gruyter & Co., Berlin 1926.
- 13 Frei, E., Ber. Schweiz. Bot. Ges. 54, 1944, 267—346.
- 14 Früh, J., Geographie der Schweiz. I. Fehr'sche Buchhandlung, St. Gallen 1930.
- 15 Gedroiz, K. K., Koll. Beih. 24, H. 5—12, 1929, 149—260.
- 16 Geering, J., Beitrag zur Kenntnis der Braunerdebildung auf Molasse im schweizerischen Mittelland. Diss. ETH. 1935.
- 17 Georgii, W., Flugmeteorologie. Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig 1927.
- 18 Glinka, K., Die Typen der Bodenbildung. Gebr. Bornträger, Berlin 1914.
- 19 Gracanic, M., Revisio Scientifica agriculturae. H. 4, 1941, 22—43.
- 20 Grim, R. E., Amer. Mineral. 22, 1937, 821.
- 21 Heim, A., Geologie der Schweiz. I, H. Tauchnitz, Leipzig 1919.
- 22 Hofmann, A. u. Giese, K., Koll. Z. 87, 1939, 21—36.
- 23 Hofmann, U., Endell, K. u. Wilm, D., Z. Krist. A 86, 1933, 340—348.
- 24 Hofmann, U. u. Bilke, W., Koll. Z. 77, 1936, 238—251.
- 25 Hohenstein, V., Int. Mitt. Bodenk. 9, 1919, 1—31 und 125—178.
- 26 Jacob, A., Hofmann, U., Looftmann, H. u. Maegdefrau, E., Angew. Chem. Beih. No. 21, 1935, 11—19.
- 27 Jacob, A., Verh. Int. Bodenk. Ges. Helsinki, 26.—30. 7. 1938, Teil B, 73—87.
- 28 Jakob, J., Anleitung zur chemischen Gesteinsanalyse. Gebr. Bornträger, Berlin 1928.
- 29 Jenny, H., Koll. Beih. 23, H. 11—12, 1926, 462.
- 30 Karbe, K. u. Jander, G., Koll. Beih. 54, 1942, 1—146.
- 31 Kelley, W. P. u. Jenny, H., Sci. 41, 1936, 367—382.
- 32 Kubiëna, W. L., Entwicklungslehre des Bodens, J. Springer, Wien 1948.
- 33 Köppen, W., Grundriss der Klimakunde. W. de Gruyter & Co., Berlin u. Leipzig 1931.
- 34 Laatsch, W., Koll. Beih. 46, 1937, 143—228.
- 35 Laatsch, W., Z. Angew. Chem. 51. Jahrg., No. 35, 1938, 584—589.
- 36 Laatsch, W., Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden. Th. Steinkopf, Dresden u. Leipzig 1938.

- 37 Lang, R., Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1920.
- 38 Leutwyler, R., Zur Kenntnis der polymeren Metaphosphorsäuren. Diss. ETH. 1941.
- 39 Lundblad, K., Soil Sci. 37, 1934, 137—155.
- 40 Maegdefrau, E. u. Hofmann, U., Z. Krist. 98, 1937, 31—50.
- 41 Maegdefrau, E., Sprechsaal 74, No. 39—42, 1941.
- 42 Mattson, S., Soil Sci. 34, 1932, 495.
- 43 Mattson, S., J. agric. Res. 33, 1926, 552.
- 44 Maurer, J., Billwiller, R. jr. und Hess, Cl., Das Klima der Schweiz. I u. 2, 1909.
- 45 Meyer, A., Chemie d. Erde. 2, 1926, 210—347.
- 46 Meyer, L., Z. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenk. 39, H. 3/4, 1935, 211—224.
- 47 Moor, M., Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen No. 1, 1947.
- 48 Moor, M., Verh. nat.forsch. Ges. Basel, 16, 2. Teil, 1945, 187—203.
- 49 Mückenhausen, E., Geolog. Rundschau. 27, H. 2, 1936, 142.
- 50 Mühlberg, F., Festschrift zur Feier des hundertjährigen Bestandes der Aarg. nat. forsch. Ges., 1911.
- 51 Nagelschmidt, G., Z. Krist. 87, 1934, 120.
- 52 Niggli, P., Schweizer Archiv. H. 4, 1938.
- 53 Niggli, P., Erdbaukurs ETH. 1938. Herausgegeben vom Inst. für Erdbauforschung der Eidg. Techn. Hochschule Zürich.
- 54 Niggli, P., Gesteins- und Mineralprovinzen. Gebr. Bornträger, Berlin 1923.
- 55 Nikiforoff, C. C., Soil Sci. 66, No. 5, 1948, 347—364.
- 56 Novak, V., Ueber Bodentypen. Landwirtetagung in Bratislava 1937. Verlag Land- u. volkswirtschaftl. Wochenblatt «Gazda».
- 57 Notz, R., Geologische Untersuchungen an der östlichen Lägern. Diss. 1924.
- 58 Odén, S. u. Wijkström, T., Medd. Centralanst. Försöksväs. Jordbrukssamrådet. No. 393, Avdelingen för lantbrukskemii, No. 42, Stockholm 1931.
- 59 Pallmann, H., Vorlesung Bodenkunde ETH.
- 60 Pallmann, H., Pédologie et Phytosociologie. Extrait des C. R. du Congrès de Pédologie (Montpellier-Alger) 1947.
- 61 Pallmann, H., Lebensmittelunters. u. Hyg. 24, 1933, 8—20.
- 62 Pallmann, H., Z. Ernähr. d. Pflanze. 30, 1934, 225—234.
- 63 Pallmann, H., Schweiz. Landwirtschaftl. Monatshefte. No. 2, 1934, 47—55.
- 64 Pallmann, H., (siehe E. Frei, Literaturangabe No. 13, sowie Wiegner-Pallmann, Literaturangabe No. 94).
- 65 Pallmann, H., Frei, E. u. Hamdi, H., Koll. Z. 103, H. 2, 1943, 111—119.
- 66 Pallmann, H., u. Frei, E., Ber. Schweiz. Bot. Ges. 54, 1944, 267—346.
- 67 Pallmann, H., u. Haffter, P., Ber. Schweiz. Bot. Ges. 42, 1933, 357—466.
- 68 Puchner, H., Bodenkunde für Landwirte. F. Enke, Stuttgart 1923.
- 69 Ramann, E., Bodenkunde. J. Springer, Berlin 1911.
- 70 Ramann, E., Bodenbildung und Bodenentwicklung. J. Springer, Berlin 1918.
- 71 Richard, F., Mitt. Schweiz. Anstalt fortl. Versuchswesen, 24, I. H., 1945, 297—396.
- 72 Riehm, H., Kongr. Veterinär-Landsboljskole Aarskr. 1932, 21.
- 73 Robinson, G., J. Agric. Sc. 20, 1930, 618—639.
- 74 Roborgh, R. H. J. u. Kolkmeijer, N. H., Z. Krist. A 94, 1936, 74—79.
- 75 Russell, E. J., Boden und Pflanze. Th. Steinkopf, Dresden u. Leipzig 1936.
- 76 Scheffer, F., Agrikulturchemie, Teil a: Boden. F. Enke, Stuttgart 1937.
- 77 Scherf, E., Institutii Regii Hungarici Geologici, 14, 1930.
- 78 Schmassmann, H., Stratigraphie des mittleren Doggers der Nordschweiz. Diss. Basel, 1945.

- 79 Schmuziger, A., Ueber die Verteilung und den Chemismus der Humusstoffe in Profilen einiger schweizerischer Bodentypen, Diss. ETH. 1935.
- 80 Schucht, F., Grundzüge der Bodenkunde. P. Parey, Berlin 1930.
- 81 See v., K., Int. Mitt. Bodenk. 8, 1918, 123—152.
- 82 Springer, U., Z. Pflanzenernährg. Düng. u. Bodenk. 42, H. 5/6 1936, 303—322.
- 83 Springer, U., Z. Pflanzenernährg. Düng. u. Bodenk. 45, H. 5/6 1936, 327—352.
- 84 Stöckli, A., Landw. Jahrbuch d. Schweiz, 42, 1928, 1—121.
- 85 Stremme, H., Petermanns Mitt. Ergänzungsheft No. 226, 1936, 18 u. 37.
- 86 Stremme, H., Planungswissenschaftl. Arbeitsgemeinschaft, H. 3, 1934. (Entnommen aus: Laatsch, W., Entwicklungstendenzen und System der deutschen Acker- und Waldböden, Koll. Beih. 46, 1937.)
- 87 Tamm, O., Medd. Stat. Skogsförs. H. 27, No. 1, 1932.
- 88 Tillmans, J., Hirsch, P. u. Eschenbrenner, A., «Vom Wasser, VI». 1932, Verlag Chemie, G. m. b. H., Berlin W 35.
- 89 Tommerup, E. C., Verh. I. Kom. Int. Bodenk. Ges. 1934 (Paris) 155.
- 90 Treadwell, W. D., Lehrbuch der analytischen Chemie. F. Deutike, Leipzig u. Wien 1943, 2, 336.
- 91 Tyulin, Th., Bodenk. u. Pflanzenernähr. H. 21/22, 1940, 444—468.
- 92 Urbain, P., Roches Argileuses I, 1937, 25.
- 93 Uttinger, H., Niederschlagskarte der Schweiz (1901—1940). Schweiz. meteorologische Zentralanstalt, Zürich.
- 94 Vageler, P., Der Kationen- u. Wasserhaushalt des Mineralbodens. J. Springer, Berlin 1932.
- 95 Wiegner-Pallmann, Anleitung zum quantitativen agrikulturchemischen Praktikum. Gebr. Bornträger, Berlin 1938.

Leer - Vide - Empty

CURRICULUM VITAE

Ich, Rudolf Leuenberger, von Walterswil (Kt. Bern) wurde am 1. Mai 1919 auf dem Hofgut Sennweid bei Olsberg (Kt. Aargau) geboren. Im benachbarten Arisdorf (Kt. Baselland) besuchte ich 8 Jahre die Primarschule. Nach dem Schulaustritt war ich in der Landwirtschaft tätig. In den Winterhalbjahren 1936/37 und 1937/38 besuchte ich die Landwirtschaftliche Winterschule Rüti-Zollikofen (Kt. Bern). Im Januar 1940 trat ich in das Institut Minerva in Basel ein. Im Oktober 1941 bestand ich die vollständige Aufnahmeprüfung an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich und begann mit dem Studium an der Abteilung für Landwirtschaft. Im Herbst 1945 erhielt ich das Diplom als Ingenieur-Agronom. Hierauf besuchte ich das Schweizerische Tropeninstitut in Basel. Im November 1946 wurde ich Mitarbeiter von Herrn Prof. Dr. H. Pallmann, unter dessen Leitung die vorliegende Promotionsarbeit entstand. Vom 1. Mai 1948 bis zum Abschluss der Arbeit war ich Assistent am Agrikulturchemischen Institut.

Zürich, im September 1949.

Meinem hochverehrten Lehrer,

HERRN PROFESSOR DR. H. PALLMANN,

ehemals Vorsteher des Agrikulturchemischen Institutes der Eidgenössischen Technischen Hochschule, jetzt Präsident des Schweizerischen Schulrates, danke ich für das Wohlwollen und die leitende Unterstützung, die ich von ihm stets erfahren habe.