

GÖTTINGER
BODENKUNDLICHE
BERICHTE
41

Wolfgang Hetsch

**DIE BEZIEHUNG VON NIEDERSCHLAG UND BODENBILDUNG
IN DER ANDENKORDILLERE VENEZUELAS**

1976

Im Selbstverlag der Anstalten für
Bodenkunde der Universität Göttingen

Herausgeber: B. Meyer und B. Ulrich

Schriftleitung: P. Hugenroth

Bestellungen über:

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

Institut für Bodenkunde und Waldernährung

Göttingen, Büsgenweg 2

oder den Buchhandel (Gewährung von Wiederverkäufer-Rabatt)

Selbstkostenpreis

DM

GÖTTINGER BODENKUNDLICHE BERICHTE

41

Wolfgang Hetsch

**DIE BEZIEHUNG VON NIEDERSCHLAG UND BODENBILDUNG
IN DER ANDENKORDILLERE VENEZUELAS**

1976

Wolfgang Hetsch

**DIE BEZIEHUNG VON NIEDERSCHLAG UND BODENBILDUNG
IN DER ANDENKORDILLERE VENEZUELAS**

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 41, 1-167
(1976)**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Methoden	5
2.1	Die Geländearbeit	5
2.2	Analytik	7
3	Die Böden des Trockengebiets im Raum Lagunillas - San Juan	9
3.1.1	Klima	9
3.1.2	Zur geomorphologischen Struktur dieses Gebiets	9
3.2	Beschreibung der Bodenprofile	13
3.3	Diskussion der Ergebnisse	35
3.3.1	Beobachtungen zu spätpleistozänen und holozänen Erosions- und Bodenbildungsphasen	35
3.3.2	Verwitterung und Tonbildung	39
3.3.3	Humusbildung	41
3.3.4	Gefügebildung	41
3.3.5	C _{Ca} -Horizont	42
3.3.6	Tonverlagerung	43
4	Der Übergangsbereich vom Trockengebiet zur Wolkenwaldstufe	48
4.1	Beschreibung des Gebiets	48
4.2	Beschreibung der Profile	49
4.3	Diskussion der Ergebnisse	59
5	Die Böden der Wolkenwaldstufe	62
5.1.1	Die Mucuy	62
5.1.2	Das Valle	63
5.1.3	Die Carbonera	65
5.1.4	Beobachtungen zur jüngeren Landschafts- geschichte	65
5.2	Beschreibung der Bodenprofile	72
5.2.1	Das Gebiet der Mucuy	72
5.2.2	Die Böden der Flußterrassen im Valle	81
5.2.3	Die Böden im Gebiet von La Carbonera	91
5.2.4	Der Wasserhaushalt als wichtigster differenzierender Faktor	99
5.2.5	Die sandigen Profile SEU 34 und SEU 36	107

5.3 Diskussion der Ergebnisse	111
5.3.1 Verwitterung und Tonbildung	111
5.3.2 Humus	114
5.3.3 Podsolige Prozesse	119
5.3.4 Gefüge	125
6 Die Böden der Paramos	128
7 Zusammenfassung und Diskussion	137
7.1 Die unterschiedlichen Typen des Wasser- haushalts	137
7.2 Die Humusdynamik in ihrer Abhängigkeit von den geographischen Faktoren Niederschlag und Höhe (Temperatur)	140
7.3 Die Bodenversauerung und damit zusammen- hängende Prozesse	145
7.4 Einige Betrachtungen zur Eisendynamik	151
Literaturverzeichnis	153
Anhang: Chemische Profildaten	160

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abb.1 Karte des Arbeitsgebiets	3-5
Abb.2 Niederschlagsverteilung	6
Abb.3 Sedimentfolge Lag 13	26
Abb.4 T II-Terrasse Valle	70
Abb.5 Profile Val 54,55,56	70
Abb.6 Hangmodell SEU	99
Abb.7 Bodenphysikalische Kenndaten	103
Abb.8 Tensiometermeßreihen	104
Abb.9 Häufigkeitsverteilung der Saugspannung und pedogene Oxide	106
Abb.10 Eisenfraktionierung	115-116
Abb.11 Humusprofile Wolkenwald	121
Abb.12 Bodenwasserhaushalt	141
Abb.13 Korrelation C/Höhe	144
Abb.14 Korrelation C/Niederschlag	144
Abb.15 Korrelation C/N - Höhe	146
Abb.16 Humusmodell	146
Abb.17 Versauerung	149
Abb.18 Tonverlagerung	149
Tab.1 Tonminerale	42
Tab.2 Tonminerale	118

1 Einleitung

Die Frage der Abhängigkeit der Bodenbildung vom Klima ist seit DOKUTSCHAJEWS klassischen Arbeiten schon vielfach untersucht worden. Dennoch können die hiermit zusammenhängenden Fragen keinesfalls als bereits gelöst betrachtet werden. Dies mag daran liegen, daß die klimatischen Faktoren einmal global gesehen eine große Variation aufweisen, zum andern durch Vegetation, bodeninterne Eigenschaften und landschaftsgeschichtliche Prozesse stark modifiziert werden können.

Ein einjähriger Aufenthalt in den venezolanischen Anden ermöglichte mir die Untersuchung der Bodenbildungsbedingungen unter vor allem durch Höhe und Niederschlag bedingten wechselnden klimatischen Bedingungen.

Die venezolanischen Anden stellen einen nach Osten streichenden Ausläufer der Ostkordillere der kolumbianischen Anden dar, der hier noch einmal Höhen bis 5000 m erreicht. Gegliedert ist die venezolanische Andenkordillere in zwei etwa parallel von West nach Ost verlaufende Gebirgszüge mit der Sierra del Norte bzw. Sierra de la Culata im Norden und der Sierra Nevada im Süden. Zwischen diesen beiden Kordilleren liegt ein System innerandiner Täler, die stellenweise ein semiarides Klima haben.

Das Tal des Flusses Chama liegt im mittleren Abschnitt der venezolanischen Anden. Der Fluß kommt aus dem Paramo de Mucuchies und fließt zunächst nach Westen. Größere Seitenflüsse sind der Mucujun, der aus dem Valle Grande de Mucujun kommend bei Merida, der größten Stadt im Talbereich, in etwa 1500 m Höhe in den Chama mündet. Weitere Nebenflüsse sind der Rio Nuestra Senora und der Rio Mocoties.

Flußabwärts wird das Tal immer trockener. Um die Orte Lagunillas und San Juan ist eine semiaride Trockeninsel ausgebildet, die bereits von TROLL (1952) beschrieben wird.

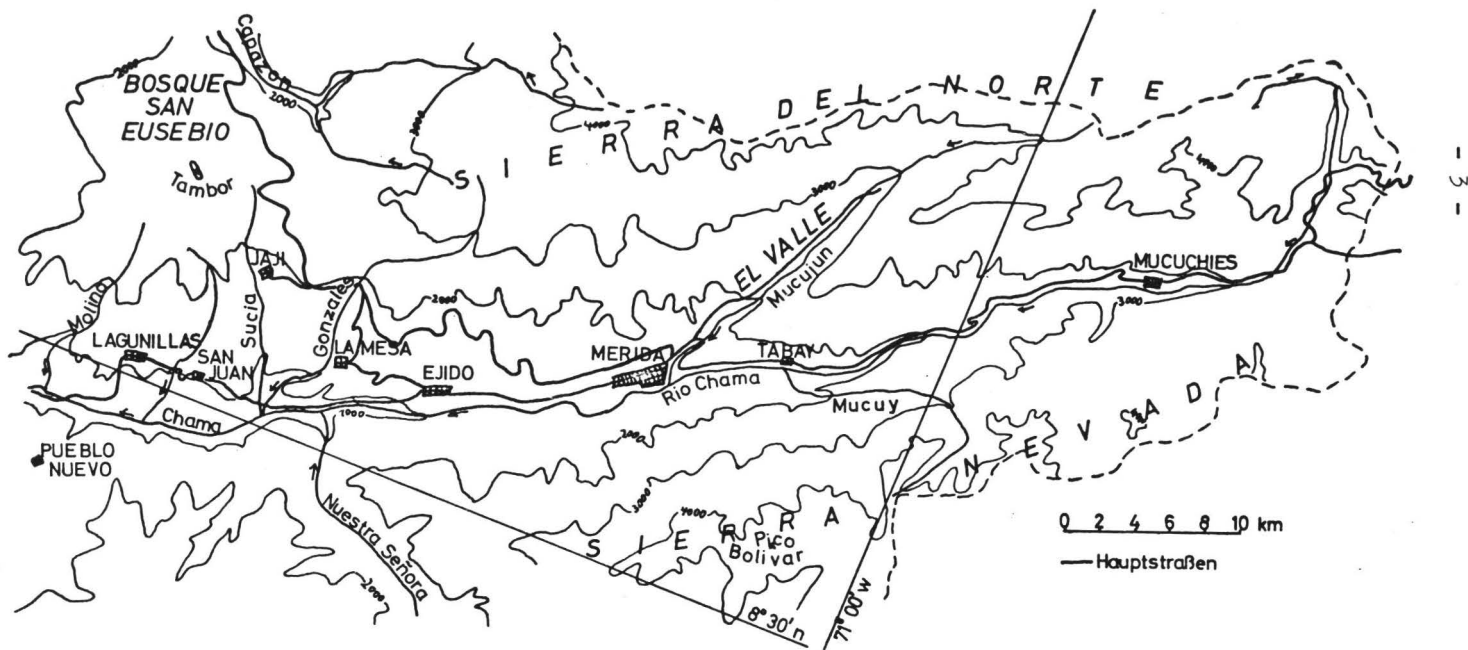
Bei El Vigia durchbricht der Chama in einem schluchtartigen Tal das Gebirge nach Norden und mündet in den Lago de Maracaibo.

Das andine Einzugsgebiet des Chama stellt in etwa den geographischen Raum dar, dessen Bodendecke Gegenstand vorliegender Arbeit ist. Das Arbeitsgebiet wurde in vier klimatologisch unterschiedliche Zonen gegliedert: Die kühl-feuchten Paramos oberhalb der Waldgrenze in etwa 3200 bis über 4000 m Höhe, die darunter folgende humide Stufe der Wolkenwälder und schließlich das Trockengebiet um Lagunillas und San Juan, das durch eine Übergangszone, die gesondert dargestellt wurde, an den Wolkenwald anschließt.

Für jeden dieser Räume wird in den folgenden Kapiteln eine kurze physiogeographische Beschreibung gegeben, dann werden die beobachteten Böden anhand typischer Profile vorgestellt und schließlich die gewonnenen Ergebnisse diskutiert.

Ziel der Arbeit ist es, die typischen Böden dieses Bereichs zu beschreiben und die pedogenen Prozesse in ihrer Abhängigkeit von den Umweltbedingungen und der zeitlichen Entwicklung aufzuzeigen.

Abb.1 Geographische Skizze des mittleren und oberen Chamatals



zu Abb. 1
Teilgebiet Lagunillas-San Juan
und Übergangsbereich

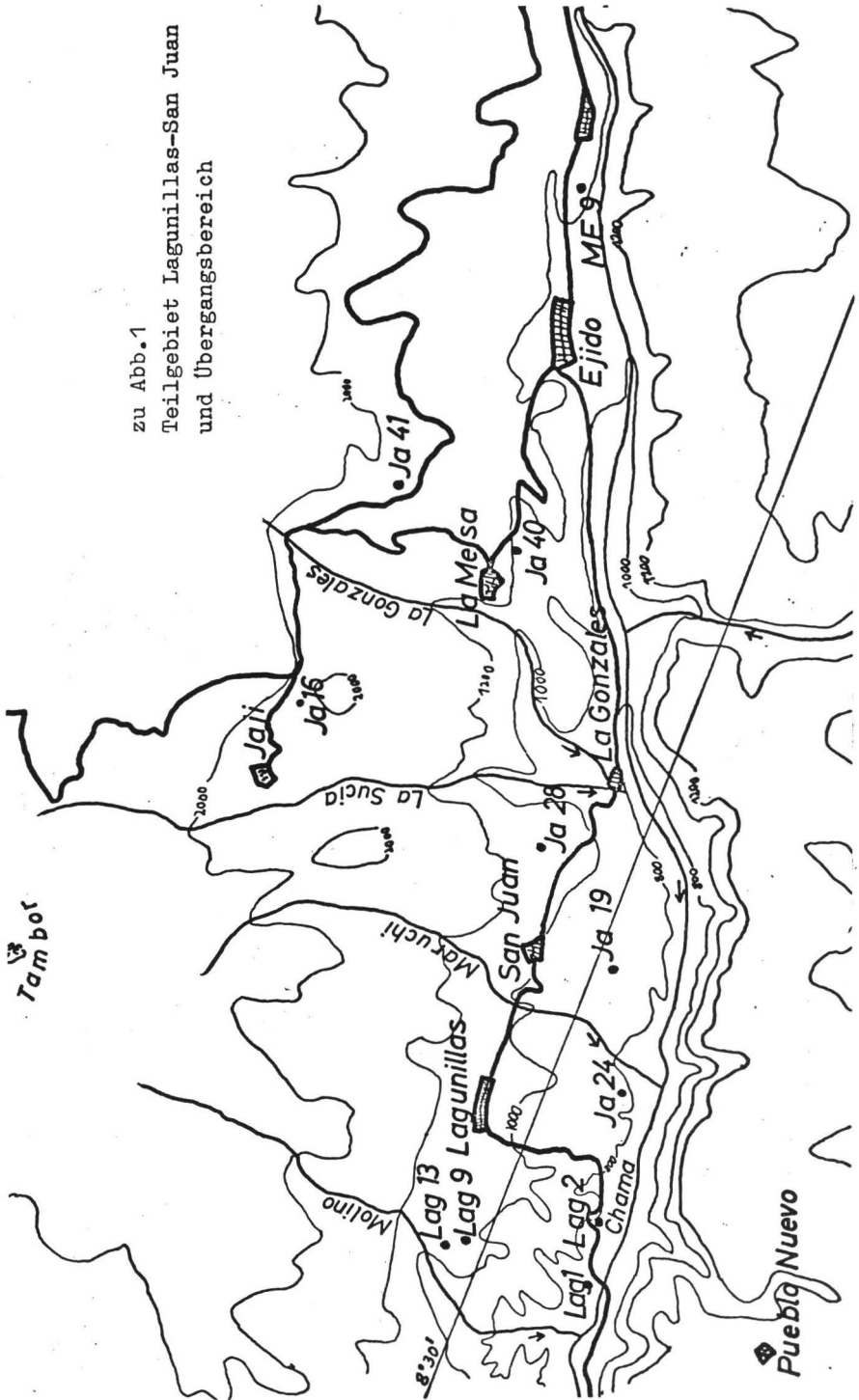
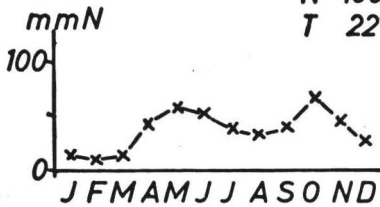


Abb. 2 Niederschlagsverteilung

Lagunillas

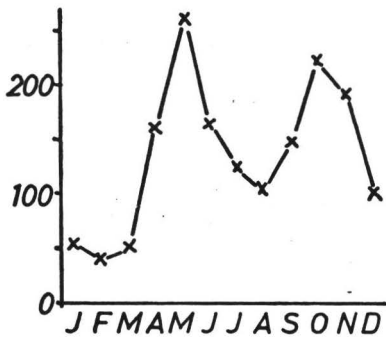
Höhe 1080 m
N 460 mm
T 22°C

Daten aus
CLIMATOLOGIA, 1973
FLOHN, 1968



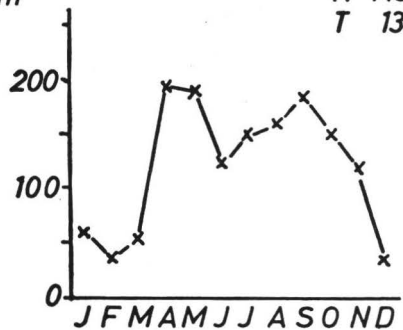
Merida

Höhe 1480 m
N 1630 mm
T 19°C



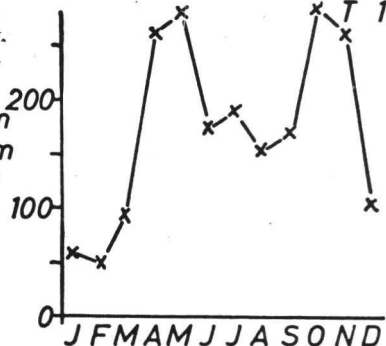
Bosque
San Eusebio

Höhe 2250 m
N 1490 mm
T 13°C



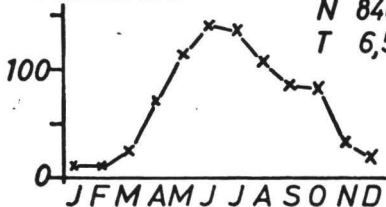
La Mucuy

Höhe 2200 m
N 1950 mm
T 13°C



Paramo de
Mucuchies

Höhe 3500 m
N 840 mm
T 6,5°C



2 Methoden

2.1 Die Geländearbeit

Von grundlegender Bedeutung für die vorliegende Arbeit sind die Untersuchungen im Gelände, deren Methodik deshalb hier kurz zu schildern ist.

Als erster Schritt wurde versucht, einen Überblick über die vorhandene Formenvielfalt der Bodendecke eines Gebiets zu erhalten. Um möglichst zahlreiche Beobachtungen machen zu können, wurden zunächst weitgehend vorhandene Aufschlüsse genutzt, die zudem den Vorteil besitzen, eine bessere stratigraphische Beurteilung zu ermöglichen. Denn es zeigte sich schon sehr bald, daß Hangsedimente das bei weitem dominierende Ausgangsmaterial der Bodenbildung darstellten. Die heterogene Materialzusammensetzung und der unterschiedliche Verwitterungsgrad, z.T. bedingt durch unterschiedliches Alter der Hangsedimente, zeigen die Wichtigkeit einer stratigraphischen Analyse für die Beurteilung der Frage, was an postsedimentärer Veränderung im Boden stattgefunden hat.

Die in einer Region zu findenden Bodenformen sind nicht beliebig zahlreich, sondern bestimmte, in ihrem Erscheinungsbild sich ähnelnde Böden kehren immer wieder. Diese wurden als typisch für die jeweilige Zone angesehen und anhand repräsentativer Profile beschrieben und analysiert. Die Intensität der Bearbeitung und die Feinheit der Differenzierung ist dabei selbstverständlich auch von der Größe des Gebiets abhängig. In dem relativ begrenzten Waldgebiet von San Eusebio war ein sehr dichtmaschiges Beobachtungsnetz vorhanden, das es gestattete, unter Berücksichtigung der auftretenden kleinflächigen Inhomogenitäten und Variationen stärker von den einzelnen

Profilen, die allerdings auch hier die Basis der Bodenansprache darstellten, zu abstrahieren und stärker flächenbezogene Einheiten (Peden) zu beschreiben. In den übrigen Gebieten mußte kleinmaßstäblicher gearbeitet werden, und so stehen einzelne Profile stärker im Vordergrund.

Trotz der Bemühungen um eine möglichst objektive Beschreibung und Auswahl der Profile ist dieses Verfahren weithin subjektiv. Eine objektivere Methode scheint mir jedoch bei dem heterogenen Faktorenkomplex, der die tatsächlich vorliegende Bodendecke bestimmt, mit vernünftigem Aufwand nicht erreichbar.

Besonders schwierig ist die Feststellung jüngerer Abtrags. Dies erfordert eine Beurteilung des Humusprofils, was nur aufgrund vergleichender Geländeuntersuchungen möglich ist. Dabei bleibt dann immer noch die Zeitdauer, die zur Ausbildung eines vollen Humusprofils nötig ist, eine offene Frage, die nur durch Kenntnis der Landschaftsgeschichte beantwortet werden kann.

Von den so ausgesuchten Profilen wird auf induktivem Wege versucht, die stattfindenden pedogenen Prozesse zu erfassen und ihre gegenseitige Bedingtheit sowie die Abhängigkeit von weiteren Umweltfaktoren, besonders klimatischen, zu erkennen. So erhält man schließlich ein verallgemeinerndes, schematisches Konzept, das als ein theoretisches Modell der Pedogenese angesehen werden kann. Die Qualität dieses Modells und damit die Beurteilung der hier gewählten Methode muß davon abhängen, inwieweit dieses Modell die vorhandenen Beobachtungen widerspruchsfrei erklärt und inwieweit auch zukünftige bodenkundliche Befunde dieses geographischen Raums mit dem Modell übereinstimmen.

Die Beschreibung der Bodenprofile erfolgte in Anlehnung an die KARTIERANLEITUNG (1971), die Mikromorphologie wurde nach BREWER (1964) beschrieben.

Klassifiziert wurden die Profile nach SOIL TAXONOMY (7.Appr.U.S.D.A., 1973). Dieses Klassifikationssystem wurde gewählt, da die Typenbezeichnung hierbei weitgehend durch nachprüfbare Kriterien erfolgt, die sich vor allem auf den aktuellen Boden beziehen, wobei bodengenetische Konzepte nicht so stark im Vordergrund stehen. So lassen sich anschließend die bodengenetischen Prozesse vorurteilsfreier diskutieren.

Daß jedoch auch dieses System nicht frei von genetischen Vorstellungen ist, die in bestimmten Fällen nicht nachprüfbar sind, wird z.B. anhand der Alfisols deutlich. Da Tonverlagerung als genetischer Prozeß sich nicht immer zweifelsfrei nachweisen läßt, erscheint dieses Merkmal besonders problematisch und im Widerspruch zu dem Konzept dieser Klassifikation. Diese Schwierigkeiten wären jedoch bei anderen Klassifikationssystemen in mindestens gleichem Umfang vorhanden gewesen.

2.2 Analytik

Folgende bodenphysikalische Analysen wurden durchgeführt:

a) Texturbestimmung nach vorheriger Dispergierung in 0,05n Na-Hexametaphosphat (bei kalkhaltigen Böden zusätzlich Kalkbeseitigung mit Na-Azetatpuffer) nach der Pipett-Methode und anschließender Trockensiebung der Fraktionen größer 0,02 mm.

b) Bestimmung von pF-Kurve, gesättigter Leitfähigkeit und spez. Dichte an ungestörten Bodenproben in 200 cm³ Stechzylindern. Die Wassergehalte bei Saugspannungen bis 300 cm WS wurden mit einer Unterdruckapparatur ermittelt, höhere Saugspannungen im Drucktopf nach RICHARDS. Messung der gesättigten Leitfähigkeit mittels Haubenpermeameter.

c) Bodenwassersaugspannungswerte im Gelände wurden mit Quecksilbertensiometern gemessen.

d) Die röntgenographische Analyse des Tons erfolgte an Pulverpräparaten mit einer Co-Elektrode und Fe-Filter in einer Debye-Scherrer-Kamera. Auswertung der Filme nach BROWN (1961).

Chemische Analysen:

a) Messung des pH-Werts in 0,01n CaCl₂.

b) Gesamteisen wurde im Flußsäureaufschluß bestimmt (SCHLICHTING u.a., 1966), nichtsilikatisches Eisen im Dithionit-Zitrat-Extrakt nach JACKSON und amorphes Eisen im Oxalsäureextrakt (nach SCHWERTMANN, 1964). Die Fe-Konzentrationen wurden in einem Atomabsorptionsspektrometer gemessen.

c) Extraktion von nichtsilikatischem Aluminium mit 0,5n NaOH und Messung photometrisch nach Anfärbung mit Aluminon (modifiziert nach JACKSON; Extraktionsdauer 1 h bei 60°C).

d) Kohlenstoffbestimmung nach WÖSTHOFF.

e) Messung von N und P nach Kjedahl aufschluß kolorimetrisch mit Autoanalyser.

f) Austauschbare Kationen: Extraktion mit 1n NH₄Cl und Messung von Na, K, Ca, Mg und Mn mit einem Spektrometer für atomare Absorption; Al und Fe kolorimetrisch mit Aluminon bzw. Phenanthrolin.

g) Bestimmung des Kalkgehalts in der Scheibler-Apparatur.

3 Die Böden des Trockengebiets im Raum Lagunillas

- San Juan

3.1.1 Klima

Eine klimatische Beschreibung und Interpretation des gesamten Chamatals gibt FLOHN (1968). Zwischen den Mündungen der Nebenflüsse Rio Nuestra Senora und Rio Mocoties ist im mittleren Chamatal ein Trockengebiet ausgebildet, dessen Niederschläge zwischen 500 und 600 mm liegen. Ringsum steigen die Niederschläge rasch an. Am wenigsten ausgeprägt ist der Anstieg in südlicher Richtung. Der Wasserscheidenbereich der Sierra Nevada, mit Höhen von 3000 bis 3500 m, erhält hier nur Niederschläge von 1000 bis 1100 mm Höhe.

Rasch erfolgt jedoch der Anstieg der Niederschläge in nördlicher und östlicher Richtung. Chama-aufwärts werden nach nur 15 km 1600 mm erreicht, in nördlicher Richtung ist der Anstieg ähnlich steil.

Die Jahresdurchschnittstemperaturen betragen in Lagunillas (1050 m ü.NN) 22°C, in Puente Real (600 m ü.NN) 24°C (CLIMATOLOGIA, 1973).

3.1.2 Zur geomorphologischen Struktur dieses Gebiets

Zwar verzeichnet die geologische Karte von MARTINEZ (1963) eine verwirrende Vielfalt von Verwerfungen, im Gelände sind jedoch nur zwei Hauptlinien deutlich erkennbar.

Die südliche Hauptverwerfungslinie ist etwa durch den Lauf des Rio Chama gekennzeichnet. Der Fluß fließt hier unmittelbar an dem steil aufsteigenden Massiv der Sierra Nevada, das aus Gneisen und kristallinen Schiefern aufgebaut ist (Formation Sierra Nevada). Flußterrassen findet

man südlich des Chama nur in Resten schmaler Bänder längs des Flusses. Es handelt sich immer um jüngere Terrassen. Bei Pueblo Nuevo finden sich jedoch 800 m über dem heutigen Flußbett Terrassenreste, die Zeugnis für die enormen Hebungsbeträge im Pleistozän geben.

Im Norden läuft eine strukturelle Grenze in etwa 1200 m Höhe entlang des Hangfußes der Nordkordillere. Geologisch gehören die Hänge zur Formation La Quinta. Anstehende Gesteine sind sandige, harte Konglomerate und Breccien.

Zwischen diesen beiden Linien liegt ein ca. 4 km breiter Talbereich, eine Breite, die sonst nirgends mehr im Chama-Tal erreicht wird.

Im Talbereich finden sich kalkhaltige Chloritschiefer der Formation Mucuchachi (Devon). Sie sind jedoch großflächig durch Terrassenmaterial überlagert. Die Schotter der Terrassen stammen überwiegend von der Fm. La Quinta. Außerdem findet man Schotter aus kristallinem Material und Schiefertönen der Kreide.

TRICART (1963) unterscheidet 5 verschieden alte Terrassen (T IV, T IIIa, T IIIb, T II, T I).

Zur Bildung der Terrassen vermerkt er folgendes:

Als die T IV-Terrassen aufgeschüttet wurden (Übergang Pliozän/Pleistozän), hatte der Chama ein weiter nördlich gelegenes Flußbett, das etwa über San Juan - Lagunillas führte. Die abgelagerten Schotter sind überwiegend kristallin, entstammen also dem Oberlauf des Chama. Schotter der Formation La Quinta und der Kreide finden sich dagegen kaum, die talseitigen Hänge wurden also höchstens schwach erodiert.

Vor bzw. mit Beginn der T III-Akkumulationen verlegt der Chama sein Bett nach Süden an die Hauptverwerfungslinie unmittelbar am Fuß der Sierra Nevada. Die jetzt in großer Mächtigkeit abgelagerten Sedimente entstammen in diesem Gebiet überwiegend der Sierra del Norte. Je nach Einzugsgebiet der Seitenbäche sind es stark tonige Sedimente der Kreide (z.B. Quebrada La Sucia) oder härtere Gesteine der Formation La Quinta (z.B. Qdas. San Miguel und El Molino).

Diesen starken Materialtransport erklärt TRICART durch eine gleichzeitige Haupt-Hebungsphase der Sierra del Norte, die eine verstärkte Erosion auslöste.

Wegen des starken Gefälles auf dem kurzen Transportweg ist das Material sehr heterogen - Feinmaterial bis große Blöcke - und nur wenig zugerundet.

Die größten Ablagerungen stammen von der Qda. La Sucia, die die weiten Terrassenflächen um San Juan schuf. Diese großen Massen übten eine Stauwirkung auf den Chama aus, so daß die kristallinen Schotter des oberen Chama bereits weiter flußaufwärts abgelagert wurden.

Bei den T III-Terrassen wird ein älteres T IIIa-Niveau und ein jüngerer T IIIb-Niveau unterschieden.

Die anschließenden Abtragungs- und Aufschüttungsperioden, die zur Bildung der T II- und T I-Terrassen führten, waren in ihrer Wirkung schwächer, haben an dieser Stelle die T III-Terrasse nur partiell ausgeräumt und selbst nur kleinere Terrassenansätze gebildet.

Das Alter der Terrassen wird als Pleistozän angenommen (TRICART 1963, CABELLO 1966), ohne daß jedoch eine absolute Datierung vorläge.

Der Erhaltungszustand der großen Terrassenflächen um Lagunillas und San Juan ist erstaunlich, besonders wenn man berücksichtigt, daß Terrassen dieses Niveaus im Chama-tal sonst nirgendwo erhalten geblieben sind. TRICART (1963) konnte jedoch zeigen, daß die Bäche, die diese Terrassen geschüttet haben (La Sucia, San Miguel), ihren Lauf verlegt und dann die Terrassen nicht mehr beeinflußt haben.

Das Einzugsgebiet des Gewässernetzes, das die Terrassen nach ihrer Bildung überformte, wurde damit so stark reduziert, daß seine Wirkung gering blieb. Vor allem fand keine erhebliche Tieferlegung des Erosionsniveaus mehr statt, sondern nur ein mäßiger flächenhafter Abtrag, der das morphologische Bild der Terrassen nicht veränderte, für die Bodendecke jedoch von großer Bedeutung war.

Insgesamt gesehen ist das Trockengebiet um Lagunillas ein Raum, der durch rezente Erosion und durch ältere intensive Erosionsphasen entscheidend geprägt wird.

Die heutige Bodendecke ist stark gestört, was die bodenkundliche und besonders bodengenetische Arbeit sehr erschwert. An steileren Hängen über 10° Neigung sind die Böden in der Regel vollständig ausgeräumt. So sind die Hügel der Formation Mucuchachi und der T IV-Terrassenreste erodiert bis auf das unverwitterte Material oder geringe Verwitterungsreste, stellenweise überzogen mit einem unterschiedlich mächtigen Hangsediment, in dem noch keine Bodenbildung in situ stattgefunden hat.

Die jüngeren Terrassen sind von den Steilrändern vom Rio Chama und den größeren Nebenflüssen her durch Gully-Erosion eingeschnitten und teilweise zu Badlands ausgeräumt.

Wie oben schon angedeutet ist die Situation auf den weniger geneigten Terrassenflächen etwas günstiger. Hier ist die Erosion schwach. Man findet in der Regel ein Bodenprofil, jedoch kaum ungestörte Böden. Meist sind nur gekappte Bodenreste vorhanden, oder Bodensedimente, die deutliche Spuren postpedogener Verlagerung zeigen. Offenbar findet hier ein geringer flächenhafter Abtrag statt. Darauf deuten auch die Gewässerformen hin, die hier als flache, wenig eingetiefte Rinnen ausgebildet sind.

Vor diesem Hintergrund müssen die im folgenden Abschnitt beschriebenen Böden gesehen werden. Sie sind typisch nur in dem Sinne, daß an ihnen die für diesen Raum charakteristischen bodengenetischen Prozesse gezeigt werden können. In ihrem relativ vollständigen Ausprägungsgrad sind sie dagegen flächenhaft betrachtet eine Ausnahme.

3.2 Beschreibung der Bodenprofile

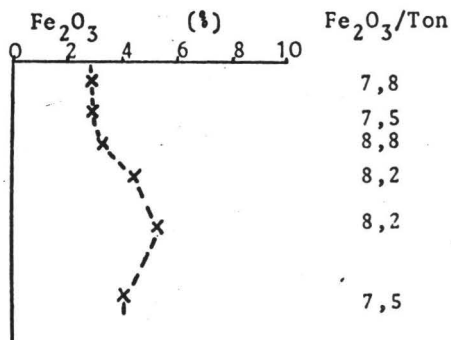
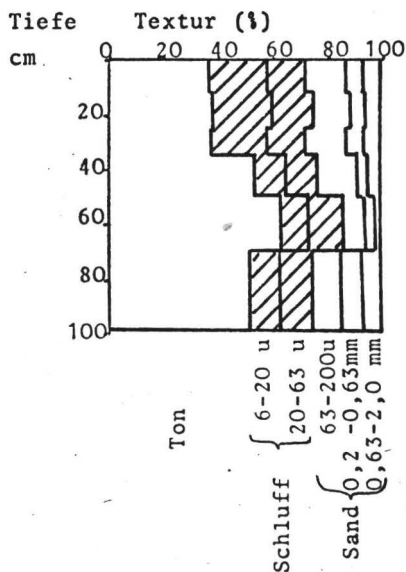
Die Lokalisierung der Profile ist auf Abb. 1 dargestellt.

Profil Ja 28

Wenn auch der relativ gute Erhaltungsgrad dieses Profils nicht mehr als repräsentativ für größere Flächen gelten kann, so ist dieses Profil doch typisch für die tonigeren Terrassen im Bereich von San Juan.

Profil Ja 28 Typic Rhodustalf

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _h	0-12	dunkelbraun, geschlossenes, grobes Subpolyeder-gefüge
2	A _h (A ₁)	12-25	dunkelbraun, Subpolyeder- bis Polyedergefüge
3	A _h (A ₁)	25-35	dunkelbraun, Subpolyeder- bis Polyedergefüge
4	II B (t)	35-50	rotbraun, feines Polyedergefüge, dicht
5	II B (t)	50-70	rotbraun, feines bis mittl. Polyedergefüge
6	II B _v	70-100	rötl. braun, wenig ausgeprägtes Polyedergefüge, mäßig dicht



Nr.	pH	C	C/N	V	CaCO ₃	Na ⁺
1	7,4	1,9	9,2	100	-	0,5
2	7,5	1,8	8,5	100	-	0,6
3	7,5	1,3	7,1	100	-	0,6
4	7,35	0,8	5,9	100	-	0,9
5	7,35	0,6	4,5	100	Sp.	1,3
6	7,25	0,3	6,3	100	-	2,0

Das Profil liegt östlich San Juan am NO-Rand der T IIIa-Terrasse, die eine Neigung von etwa 3° nach Süden aufweist. Über der Terrasse liegt hier ein 35 cm mächtiges, intrapedogenes Sediment mit 30-40 % groben, unverwitterten Schottern, möglicherweise mit einer postpedogenen Störung. Der Boden reicht darunter in die Terrasse hinein, deren Skelett (50 %) deutlich stärker verwittert ist. Besonders weichere Gesteine wie Schiefertone sind angewittert und mürbe.

Hierin hat sich ein rotbrauner Boden (Farbe im trockenen Zustand nach MUNSELL 2,5YR4,6) entwickelt. Das Gefüge ist in den schwach humos gefärbten oberen drei Horizonten geschlossen subpolyedrisch mit wenigen sichtbaren Poren. Darunter (Hor. 4 und 5) folgt ein feines bis mittleres, dicht geschlossenes Polyedergefüge mit nach unten zu seltener werdenden humusfarbenen Überzügen auf den Aggregatoberflächen und humosen Hohlraumfüllungen.

Der Sedimentwechsel wird auch durch einen Textursprung von tL zu 1T bemerkbar. Das Maximum des Tongehalts liegt in Horizont 5 mit auch einem maximalen Gehalt an freiem Eisen. Tongehalte und Eisengehalte scheinen in etwa eine parallele Tiefenfunktion aufzuweisen, mit einer verwitterungsbedingten Abnahme in Horizont 6. Da die auf den Tongehalt umgerechneten Eisenwerte sehr viel ausgeglichener sind, muß mit einer gewissen Tonverlagerung gerechnet werden. Der Sedimentwechsel erschwert jedoch die Beurteilung.

Im Dünnschliff zeigt sich bei insgesamt dichtem, intertextischem Gefüge eine mit steigendem Tongehalt immer ausgeprägter werdende lattisepische Matrix. Schmale, vosepische Separationen finden sich entlang feiner Poren und, teilweise zerquetscht, an Aggregaträndern.

Der Boden weist im gesamten Profil neutrale Reaktion auf. Karbonat ließ sich jedoch nur in Horizont 5 in ganz geringen Spuren nachweisen.

Der Austauschkomplex ist entsprechend zu über 90 % mit Ca und Mg belegt. Der Anteil von Na liegt unter 5 %.

Die auf den Ton umgerechnete Austauschkapazität liegt bei 25-49 mval/100 g Ton. Röntgenographisch (Tab. 1) ließ sich in der Tonsubstanz neben Quarz Illit und Kaolinit nachweisen.

Nicht einfach ist die Klassifizierung des Profils nach der 7. Appr. des USDA. Da ein Tongradient über 20 % des maximalen Tongehalts und eine sepische Matrix mit vosepischen Separationen vorhanden ist, muß der Boden als Typic Rhodustalf klassifiziert werden. Auf die tatsächlich stattgefundenen Tonverlagerungen kann damit jedoch noch nicht geschlossen werden. Diese Frage soll jedoch noch weiter unten diskutiert werden.

Profil Ja 19

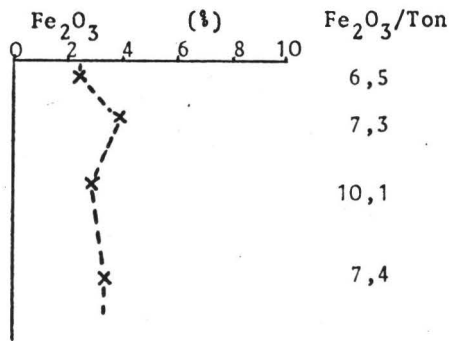
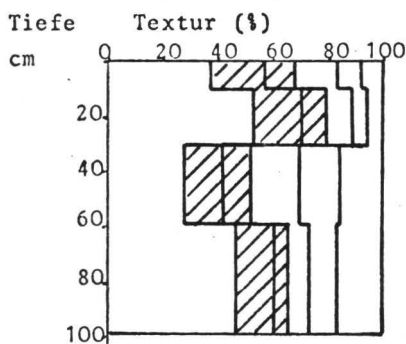
Ja 19 stellt eine Parallele zu Ja 28 dar.

Das Profil liegt ca. 1 km südlich von Ja 28 auf der tiefer liegenden T IIIb-Terrasse, die ebenfalls eine Neigung von 3° in südlicher Richtung aufweist.

Das Profil hat einen sedimentär bedingten, stark wechselnden Ton- und Skelettgehalt, wobei es schwierig zu erkennen ist, inwieweit hierbei unterschiedliche Sedimente vorliegen oder ob die Unterschiede teilweise durch besonders große Heterogenität eines Sediments bedingt sind. In Horizont 1 und 2 beträgt der Skelettgehalt etwa 20 %, Horizont 3 und 4 sind

Profil Ja 19 Typic Rhodustalf

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _h	0-10	dunkelbraun, mäßig dichtes, grobes Subpolyeder-gefüge
2	A _h /(A ₁)	10-30	dunkel rotbraun, mittl., geschlossenes Polyeder-gefüge
3	II B _(t)	30-60	rotbraun, feines, geschlossenes Polyedergefüge
4	II B _(t)	60-100	rotbraun, feines, geschlossenes Polyedergefüge



Nr.	pH	C	C/N	V	CaCO_3	Na^+
1	keine Analysendaten				0,21	
2					0,14	
3					0,48	
4					0,48	

skelettreich (80-90 %) mit wechselnder Zusammensetzung, in Horizont 3 hartes, grobes Gestein, in 4 kleinere Schiefertonestücke. Möglicherweise stellen die Horizonte 1 und 2 und andererseits 3 und 4 insgesamt 2 in sich sehr heterogene Sedimente dar.

Das Gefüge ist im stärker humosen Oberboden (Horizont 1 und 2) ein geschlossenes, mittleres Subpolyedergefüge, in den unteren Horizonten ein dichtes, in der Ausprägung stark durch das Skelett beeinflusstes Polyedergefüge.

Die Eisenverteilung spiegelt die Heterogenität des Ausgangsmaterials ebenfalls wider. Aus den analytischen Daten kann deshalb nur schwer auf eine Tonverlagerung geschlossen werden. Im Dünnschliff zeigt sich jedoch ähnlich Profil Ja 28 eine deutlich doppelbrechende argillasepische bis lattisepische Matrix mit dünnen vosepischen Separationen.

Beachtenswert ist auch der zwar geringe aber im gesamten Profil meßbare Karbonatgehalt.

Zu klassifizieren ist das Profil ebenfalls als Typic Rhodustalf.

Vereinzelte findet man in dem Trockengebiet Sedimente und Böden mit hohem Kalkgehalt. Flächenmäßig spielen sie zwar keine große Rolle, jedoch knüpfen sich daran interessante landschaftsgeschichtliche und bodengenetische Fragen.

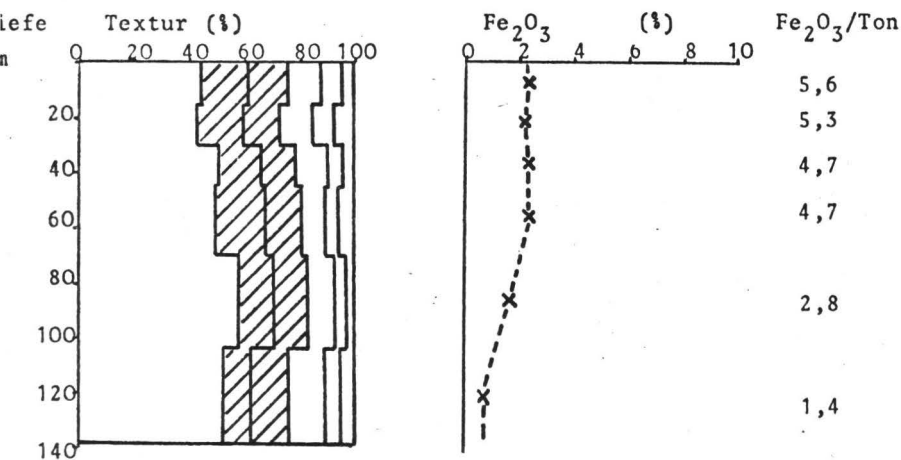
Im Folgenden werden als Beispiel zwei solcher Profile dargestellt.

Profil Ja 24

Das Profil liegt an der neugebauten Fernstraße (Transandina) südlich San Juan, der geomorphologischen Karte TRICARTs

Profil Ja 24 Typic Ustropept

Hor.	Tiefe	Beschreibung
A _h	0-15	dunkelbraun, subpolyedrisch, mäßig dicht
B _{v1}	15-30	rötl. braun, grobe, dicht geschlossene Subpolyeder
B _{v2}	30-45	rötl. braun, grobe, dicht geschlossene Subpolyeder
B _{v3}	45-70	rötl. braun, dicht polyedrisch-prismatisch bis kohärent
B _{v4}	70-105	hellbraun, polyedrisch-prismatisch bis kohärent
C _{Ca}	105-140	weißlich, schwach subpolyedrisch bis kohärent, porös, mit Kalkanreicherungen



	pH	C	C/N	V	CaCO ₃	Na ⁺
		%		%	%	%
1	7,5	0,9	8,2	100	7,12	1,2
2	7,5	0,6	6,7	100	4,43	1,8
3	7,6	0,4	5,4	100	7,68	1,2
4	7,6	0,2	3,1	100	10,6	1,4
5	7,6	0,2	8,4	100	12,0	1,7
6	7,7	0,0	-	100	41,5	1,6

nach auf einer T II-III-Terrassenfläche, also einer T III-Terrasse, die während der Bildung von T II stark überprägt wurde.

Über dem unverwitterten Terrassenmaterial findet sich in einer breiten flachen Rinne ein skelettarmes (2 %), kalkhaltiges Feinsediment.

Der in diesem kalkhaltigen Sediment entwickelte Boden ist rötlich-braun. Mit der Tiefe wird die Farbe blasser, parallel dazu steigt der Kalkgehalt kontinuierlich an. Horizont 6 ist schließlich ein weißlicher C_{Ca} -Horizont mit 42 % $CaCO_3$.

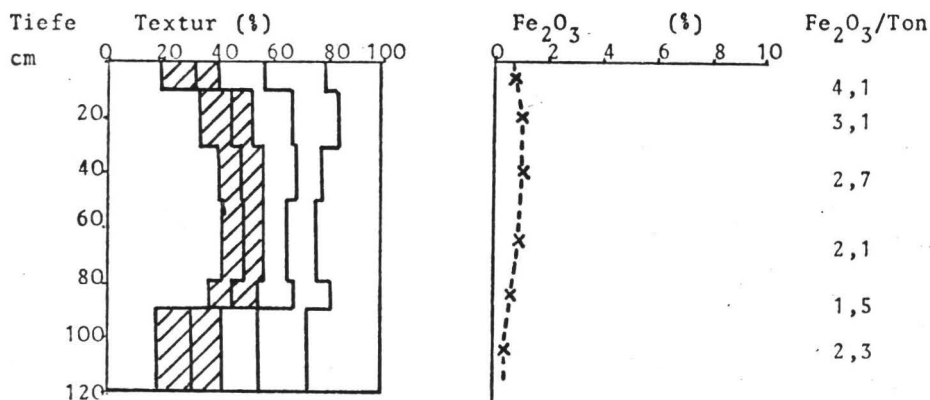
Das Gefüge des obersten Horizonts ist ein halboffenes, poröses, feines Subpolyedergefüge. Nach unten wird es dicht geschlossen polyederisch-prismatisch bis kohärent. Die Matrix ist überwiegend aseptisch mit nur wenigen Separationen. Kutanen sind nirgends vorhanden. Auch sonst gibt es keinen Hinweis für eine Tonverlagerung. Die nach unten gering zunehmenden Tongehalte müssen als präpedogen sedimentbedingt angesehen werden. Der Gehalt an freiem Eisen hat sein Maximum im Oberboden mit nach unten abnehmenden Werten - entsprechend der höchsten Verwitterungsintensität im Oberboden.

Profil Lag 9

Auf der T IIIa-Terrasse südwestlich von Lagunillas liegt am Rand zu einem jüngeren Einschnitt das Profil Lag 9. Die etwa 6° geneigte Terrasse wird hier von einem Sediment überlagert, daß in seinem Skelett einen großen Anteil an kristallinem Material von den etwa 100 m östlich anschließenden T IV-Terrassenresten aufweist. Daneben findet man

Profil Lag 9 Typic Ustropept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _(h)	0-10	braun, locker, mittl. Subpolyedergefüge
2	II A _h	10-30	dunkelbraun, mäßig dichtes Subpolyedergefüge
3	II B _{v1}	30-50	rötl. braun, mäßig dichtes, mittl. Polyedergefüge
4	II B _{v2}	50-80	rötl. braun, mäßig dichtes, mittl. Polyedergefüge
5	II C _{Ca}	80-90	bräunl. weiß, dichtes, grobes bis kohärentes Polyedergefüge
6	II C _{Ca} /C _v	90-120	hellbraun, mäßig dichtes, zerbröckelndes Polyedergefüge



Nr.	pH	C	C/N	V	CaCO ₃	Na ⁺
		%		%	%	%
1	7,3	1,0	11,4	99	0,0	1,4
2	7,65	1,1	11,6	100	2,57	0,3
3	7,7	0,6	9,5	99,5	13,07	0,2
4	7,75	0,5	11,4	100	7,16	0,4
5	7,75	0,3	11,2	100	29,8	0,3
6	7,8	0,3	-	100	16,0	1,0

Skelettstücke der Formation La Quinta (T III-Terrasse). Das Skelett ist teilweise grusig verwittert.

Wie der immer noch vorhandene Kalkgehalt und der stark kalkhaltige C_{Ca} -Horizont zeigen, muß auch dieses Sediment ursprünglich kalkhaltig gewesen sein.

Die obersten 10 cm stellen ein postpedogenes kalkfreies Hangsediment dar.

Der durch das jüngste Sediment wohl etwas gekappte Boden hat eine bräunliche (5YR4,6) Farbe. In Horizont 5 und 6 treten zusätzlich kalkige weißliche (5YR8,2) Partien auf. Der Gehalt an freiem Eisen ist mit max. 1,1 % in Horizont 3 gering und nimmt nach unten noch weiter ab.

Der Feinboden ist ein sT, nur das oberste Sediment (Horizont 1) und auch Horizont 6 haben geringere Tongehalte.

Der Kalkgehalt nimmt nach unten stark zu. In den Horizonten 2 bis 4 tritt er visuell vor allem in den Poren und an Oberflächen als weißer Überzug in Erscheinung, wobei aber insgesamt noch die braune Farbe der Matrix überwiegt. Horizont 5 und 6 sind als C_{Ca} -Horizont ausgebildet, z.T. mit konkretionären Kalkanreicherungen.

Der deutlichste Unterschied zu Profil Ja 24 ist das unterschiedliche Ausgangsmaterial der Bodenbildung. In Lag 9 bedingt der hohe, z.T. grusig verwitterte Skelettgehalt ein insgesamt poröses, lockeres Gefüge. Der Feinboden ist in Form und Ausprägungsgrad seiner Aggregate durch diesen Skelettanteil stark beeinflusst, da die Grenzflächen der polyedrischen Aggregate meist an Skelettstücken anliegen. Eine stärkere Dichtlagerung des skelettbedingten Porenraums findet offenbar aufgrund der geringen Plasmamobilität nicht statt.

Profil Lag 13

Auf der gleichen Terrasse wie Lag 9, aber der geomorphologischen Karte TRICARTs nach auf einem jüngeren Niveau (T IIIb), liegt der Profilkomplex Lag 13.

Zwischen Lag 9 und Lag 13 verläuft quer durch die um 5° geneigte Terrasse eine etwa 30 m eingetiefte Rinne, die die Entwässerung aus dem Bereich der Laguna de Lagunillas und den nördlich anschließenden Hängen darstellt. Im NW ist die Terrasse durch einen ca. 100 m tiefen Einschnitt des Bachs El Molino abgeschnitten.

Die Entwässerung dieses westlichen Terrassenteils und der südwestlich anschließenden herausragenden T IV-Terrassenreste erfolgt über eine sehr flach in die Terrasse eingetiefte Mulde, die durch Feinsedimente aufgefüllt wurde. Darin sind die im folgenden beschriebenen Böden entwickelt, die durch eine rezente Gully-artige Erosion aufgeschlossen sind.

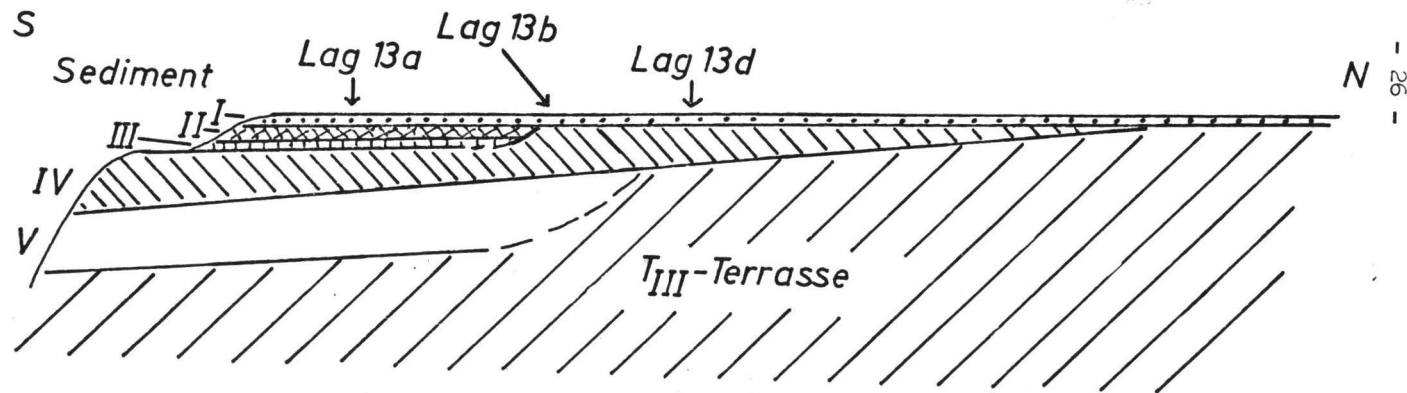
Die Sedimentabfolge ist in Abb. 3 skizziert und ist auch vollständig in Profil Lag 13a vertreten.

Über der erodierten Terrasse aus den groben, unverwitterten Schottern der Formation La Quinta folgt ein dichtgelagertes weißes Sediment (V) mit eingeschlossenen größeren weißlichen Knollen und einem geringen Skelettgehalt. Das Sediment besteht zu 27 % aus CaCO_3 .

Darüber folgt scharf abgesetzt, und auch durch eine Steinsohle getrennt, ein Sediment (IV) aus einem stL mit einem Skelettgehalt, der im unteren Zentrum der Rinne gering ist (10-20 %), terrassenaufwärts und zur Seite hin jedoch auf über 50 % ansteigt. Darüber folgen durch Steinsohlen ebenfalls wieder deutlich getrennt, zwei Sedimente III und II

Abb. 3

Die Sedimente der Profilserie Lag 13
(schematischer Querschnitt)



ähnlicher Materialzusammensetzung, die jedoch nur im unteren Zentrum der Rinne erhalten sind und seitlich rasch auskeilen. Den oberen Abschluß bildet ein jüngstes Sediment I, das ein geringmächtiges, lockeres Kolluvium darstellt.

Wie sehen die hierin ausgebildeten Böden aus?

Das vollständigste Profil ist Lag 13a.

Horizont 1 umfaßt das Kolluvium, das eine lockere staubige Konsistenz besitzt und sich damit sehr deutlich von den darunter folgenden Horizonten absetzt, obwohl kein Unterschied in der Textur besteht.

Horizont 2 ist ein Humushorizont, der auffallend dunkel gefärbt ist (7,5YR5-6,1). Unter der Stereolupe zeigt sich eine grobporenreiche Matrix, die gröbere Körner dicht umschließt. Die Matrix macht insgesamt einen gebleichten, ganz schwach gefleckten Eindruck, die Oberflächen sind feinkörnig rau. Wahrscheinlich bewirkt die Bleichung der Matrix, daß der wohl nicht besonders hohe Humusgehalt (Analysendaten liegen nicht vor) so deutlich zur Geltung kommen kann.

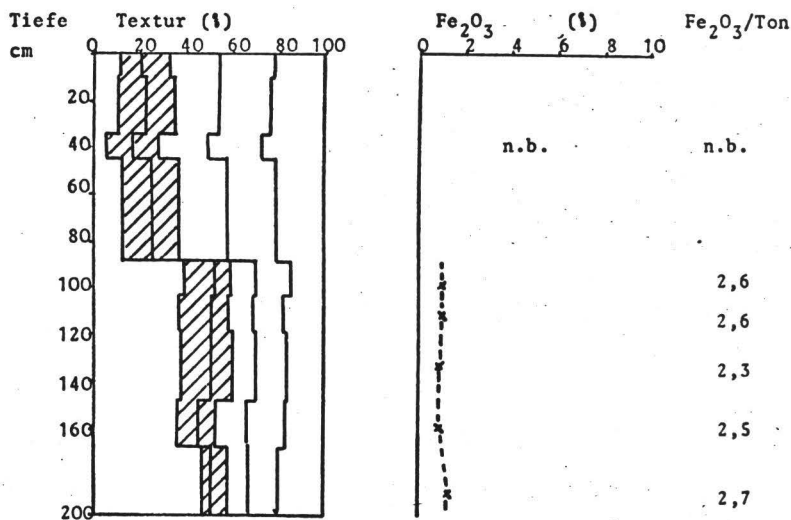
Der darunter folgende Horizont 3 ist der Übergang von Sediment II zu Sediment III. Der Boden wird hier deutlich heller, ist aber dennoch humusfarben, die Matrix erscheint stärker gebleicht. In einigen größeren Poren treten deutliche Tonbeläge auf.

Horizont 4 umfaßt das Sediment III. Das Gefüge ist ähnlich Horizont 2. Der Horizont ist aber nur noch schwach humusfarben und etwas ausgeprägter gefleckt. Einige Teile des Skeletts sind stärker verwittert. Ein hoher Anteil der Grobporen ist mit dünnen Kutanen ausgekleidet.

In Sediment IV wurden die Horizonte 5 bis 8 unterschieden.

Profil Lag 13a Aquic Natrustalf

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _(h)	0-10	braun, locker, mittl. Subpolyedergefüge
2	II A _h	10-35	dunkelgrau, poröses, festes Kohärentgefüge
3	II/III A ₁	35-45	grau, in sich kohärente, grobe Subpolyeder
4	III A ₁	45-90	dunkelgraubraun, poröses, festes Kohärentgefüge
5	IV SB _t	90-105	fleckig graubraun, mäßig dichtes, polyederisches bis kohärentes Prismengefüge
6	IV SB _t	105-120	fleckig rötli. braun bis grau, dicht geschlossenes, polyedrisches Prismengefüge
7	IV B _t	120-150	rötli. braun, geschlossenes, polyedr. Prismengefüge
8	IV B _t	150-170	rötli. braun, geschlossenes, grob polyedrisches Prismengefüge
9	V D	170-250	weiß, dicht kohärent



Nr.	pH	C	C/N	V	CaCO ₃	Na ⁺
1	n.b.	n.b.	n.b.	100	n.b.	15,8
2	"	"	"	99,5	"	31,9
3	"	"	"	100	"	45,3
4	"	"	"	100	"	70,4
5	7,95	0,2	3,5	100	0,28	48,7
6	8,05	0,2	3,8	100	0,14	49,8
7	8,0	0,1	2,4	100	0,21	48,8
8	7,95	0,1	3,0	99	0,10	45,9
9	n.b.	n.b.	n.b.	100	n.b.	15,9

Während Horizont 5 noch überwiegend einen gebleichten Eindruck macht (5YR6,2) mit größeren rötlichbraunen Flecken, haben die Horizonte 6 bis 8 eine orangebraune dichte Matrix (5YR5-6,7), wobei durch dicke graue Tonhäutchen in Poren und auf Oberflächen noch ein fleckiger Eindruck entsteht. Auch in Horizont 6 ist ein hoher Anteil der grauen Oberfläche durch Tonkutanen bedingt. Von Horizont 6 bis 8 nimmt jedoch die Häufigkeit der Kutanen und damit der fleckige Gesamteindruck ab.

Das Gefüge des in Horizont 2 bis 8 entwickelten Bodens ist in trockenem Zustand sehr fest kohärent und nur schwer in unregelmäßige größere Prismen zerlegbar. Der Eluvialbereich (Horizont 2-4) ist reich an größeren, deutlich sichtbaren Poren. Der B_t -Horizont dagegen ist dicht geschlossen polyedrisch-prismatisch bis kohärent. Sichtbare Poren fehlen. In Wasser dispergiert dieser Boden jedoch von selbst, ohne weitere chemische oder mechanische Dispergierungsmittel (Effekt der Na-Belegung der Tonminerale).

Darunter folgt das bereits beschriebene kalkhaltige Sediment V, das durch eine deutliche scharfe Grenze abgesetzt ist.

Die Analysendaten zeigen einen steilen Anstieg des Tongehalts von Horizont 4 zu Horizont 5. Es ist jedoch nicht möglich, diesen Unterschied als quantitatives Maß für die ja offenbar vorhandene Tonmobilität und Tonverlagerung zu benutzen. Dies verbieten die unterschiedlichen Sedimente, deren ursprüngliche Textur unbekannt ist.

Der auffallend niedrige Eisengehalt ist korreliert mit der insgesamt blassen Farbe. Seine Differenzierung im Profil folgt in etwa dem Tongehalt. Die deutliche pseudogleyartige Morphologie des Profils mit ausgeprägter Bleichung des Ober-

bodens dürfte Ursache des Eisenverlusts sein.

Bei der Kationenbelegung des Austauscherkomplexes fällt der sehr hohe Natrium-Anteil auf, der etwa 50 % beträgt.

Auch der pH-Wert liegt deutlich höher als bei den bisherigen Profilen.

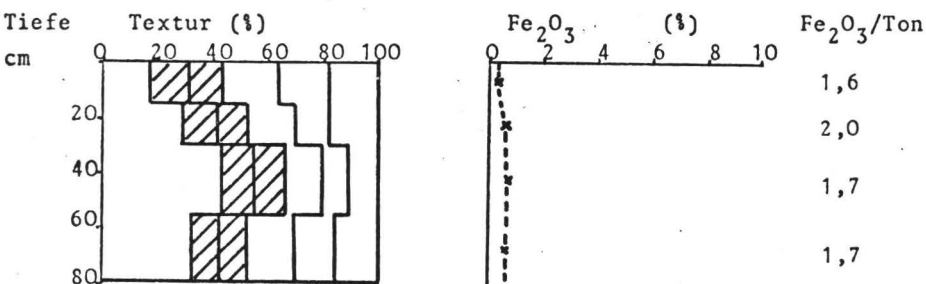
Prinzipiell ähnlich sind auch die anderen Profile dieses Komplexes. Das Profil Lag 13b liegt seit ich von Lag 13a in einem oberflächlich stärker erodierten Bereich.

Unter einem lockeren Agro-Kolluvium folgt ein skelettarmes (5-10 %) Sediment. Hierin ist ein Boden entwickelt, der im Oberboden sehr hell ist und dann unter einer Fleckenzone wieder homogen braune Farben zeigt. Die gebleichte Matrix ist in Horizont 1 grobporenreich kohärent. Nach unten zu wird sie mit zunehmendem Tongehalt dichter und prismatisch. Tonhäutchen finden sich in Horizont 1 in einigen Poren, an Häufigkeit mit der Tiefe rasch zunehmend. In Horizont 2 und 3 sind praktisch alle Poren mit dicken graubraunen Belägen ausgekleidet, die auch zum Teil fleckenhaft Bruchflächen überziehen. Die roten Flecken (2,5YR5/6) sind in Horizont 2 dünne Überzüge, in Horizont 3 bereits ganze Bereiche der Matrix mit diffusen Übergängen. Horizont 4 ist wieder homogen graubraun und weist erheblich weniger Ton-überzüge auf. Die Tonverteilungskurve der Texturanalyse stimmt mit diesen morphologischen Befunden überein. Noch deutlicher als im vorigen Profil zeigt sich hier also der Einfluß einer hydromorphen Fleckung, die die Färbungs-kontraste aufgrund der Tonverlagerung noch erheblich verstärkt.

Eine Besonderheit dieses Profils stellen harte, dünne Kalklamellen (30 % CaCO_3) entlang von Vertikalspalten des

Profil Lag 13b Aquic Natrustalf

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1a		0-40	weißliche, harte kohärente Kalklamellen in vertikalen Spalten
1	A ₁	0-15	hellbraun, mäßig dichtes, feinpolyedrisches bis kohärentes Säulengefüge
2	SA ₁ /B _t	15-30	hellbraun, z.T. fleckig rötlich-braun, dichtes, polyedrisches Prismengefüge
3	SB _t	30-55	fleckig rötlich-braun bis hellbraun, dichtes polyedrisches Prismengefüge
4	B _t /B _v	55-80	braun, poröses, mäßig dichtes Kohärentgefüge



Nr.	pH	C	C/N	V	CaCO ₃	Na ⁺
		%		%	%	%
1a	7,9	1,0	30,1	100	31,3	2,1
1	8,4	0,1	5,0	100	0,0	54,8
2	8,8	0,1	2,1	99	"	63,7
3	8,65	0,1	2,4	100	"	59,6
4	8,5	0,04	1,3	100	"	57,1

Oberbodens (Horizont 1 und 2) dar, der selbst sonst praktisch kalkfrei ist und auch nur bis 30 % austauschbares Ca^{++} besitzt. Die Textur dieser Lamellen ist viel grobsandreicher und schluffärmer als die des umgebenden Bodenkörpers, so daß es sich offensichtlich um eine Einwaschung eines bodenfremden Materials in oberflächliche Spaltrisse (Trockenrisse) des Bodens handelt.

Auffallend ist auch in diesem Profil wieder der hohe Na-Gehalt am Austauschkomplex von 55-64 %. Der pH-Wert erreicht hier mit 8,8 in Horizont 2 den höchsten Wert.

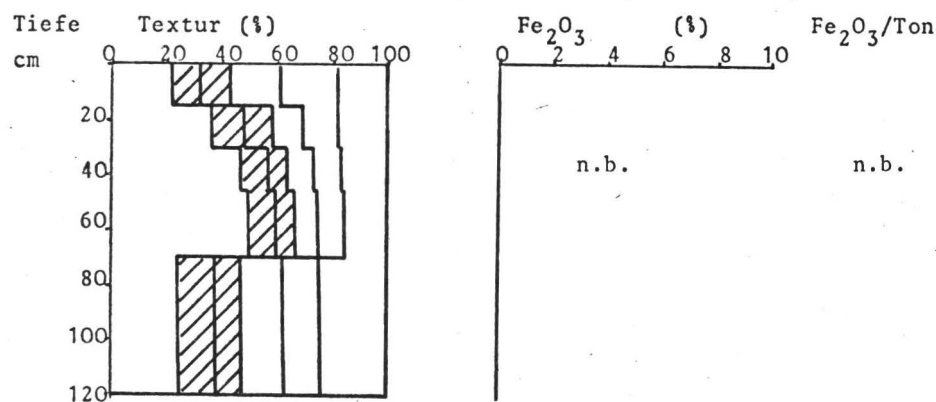
Die Rinne aufwärts werden die Sedimente insgesamt skelettreicher. Ein Beispiel hierfür ist Lag 13d.

Das bodenbildende Sediment liegt direkt unter dem lockeren Kolluvium. Der Boden zeigt einen Farbübergang von grau im Oberboden über fleckig zu braun im Unterboden. Unter der Stereolupe zeigt Horizont 1 eine gebleichte porös-kohärente Matrix mit allerdings bereits zahlreichen grauen Tonüberzügen auf Spaltflächen und in Poren. Offenbar ist der oberste Teil des ursprünglichen Profils bereits erodiert. Horizont 2 ist bereits sehr dicht. Die rötlichbraune Matrix ist größtenteils von grauen Tonüberzügen bedeckt, stellenweise ist die Matrix selbst jedoch grau gebleicht. Horizont 3 ist homogen braun. Der Boden ist dicht geschlossenen polyedrisch-prismatisch. In Horizont 5 nimmt das Ausmaß der Kutanen ab, die Matrix ist homogen braun und weniger dicht.

Zusammenfassend läßt sich zu dem Bodenkomplex Lag 13 feststellen, daß hier Böden mit einem hohen Na-Anteil am Austauscher vorliegen, wobei der pH-Wert bis 8,8 steigt. Es läßt sich eine deutliche Tonverlagerung nachweisen. Über dem dichten B_t -Horizont sind die Böden hydromorph überprägt.

Profil Lag 13d Typic Natrustalf

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _h /A ₁	0-15	dunkelgrau mit hellgrauen Bleichzonen, poröses kohärentes Säulengefüge
2	A ₁ /B _t	15-30	rötl.braun mit graubraunen Tonhäutchen, geschlossenes Polyedergefüge
3	B _{t1}	30-45	rötl.braun mit graubraunen Tonhäutchen, dicht geschlossenes Polyedergefüge
4	B _{t2}	45-70	rötl.braun, dicht geschlossenes Polyedergefüge
5	B _v	70-120	braun, wenig ausgeprägtes, poröses, grobpolyedrisches Prismengefüge



Nr.	pH	C	C/N	V	CaCO ₃	Na ⁺
		!		!	!	!

keine Analysendaten

Zum Schluß seien noch zwei Profile vorgestellt, die etwas weiter Chama-abwärts nahe bei Puente Real in 650-700 m Höhe liegen. Bodenklimatisch stellen sie wegen der erhöhten Jahresdurchschnittstemperatur wohl die trockensten Profile dar. Sie sind auf Hangsedimenten über der Formation Mucuchachi entwickelt, kalkhaltigen Chloritschiefern.

Lag 2

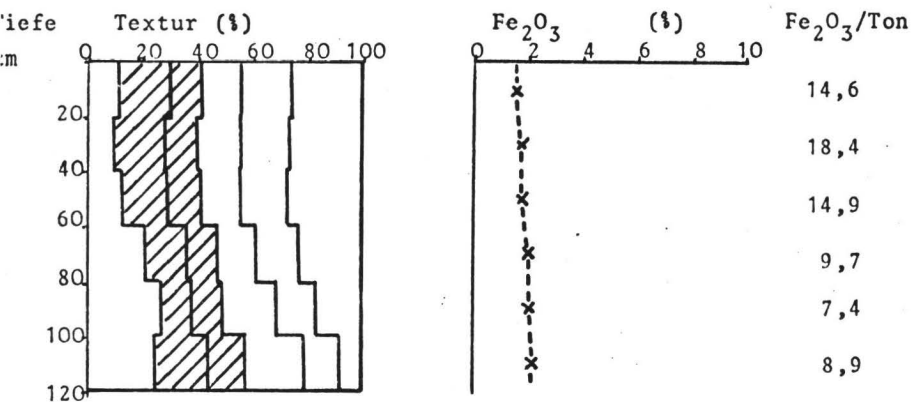
ist in einem Sediment entwickelt, das eine breite Ausräumungsrinne einer T III-Terrasse teilweise wieder aufgeschüttet hat. Das Sediment ist mindestens 10 m mächtig und wird heute durch eine Gully-artige Erosion wieder abgetragen. Im oberen Teil des Sediments befinden sich mindestens zwei Böden übereinander. Lag 2 ist ein Beispiel für den oberen Boden. Die Texturverteilung im Profil zeigt einen Sprung von $\overline{1S}$ zu $\overline{sL}$ von Horizont 3 zu Horizont 4. Hier liegt sicherlich ein Sedimentwechsel vor, wahrscheinlich stellen die oberen 3 Horizonte ein jüngerer Sediment dar.

Der Boden ist insgesamt rötlichbraun, die unteren 3 Horizonte sind etwas kräftiger gefärbt.

Unter der Stereolupe zeigt auch dieser Boden eine Tonmobilität. Horizont 1 hat noch eine einheitlich braune Grundmasse, in Horizont 2 zeigen größere Poren und einige Oberflächen rötlichbraune Tonkutanen, die Matrix dazwischen erscheint demgegenüber deutlich heller braun. Die dadurch erzeugte Fleckigkeit ist in Horizont 3 noch ausgeprägter. Einflüsse einer hydromorphen Fleckung sind dagegen nicht erkennbar. Am stärksten mit Tonkutanen belegt erscheinen die Horizonte 4 und 5. Horizont 6 ist wieder homogen rötlichbraun ohne deutliche Kutanen. Am Austausch findet man wieder eine sehr hohe Na-Belegung mit Werten um etwa 50 %, die pH-Werte liegen über 8. In Horizont 5 ist eine geringe Kalkakkumulation vorhanden.

Profil Lag 2 Typic Natrustalf

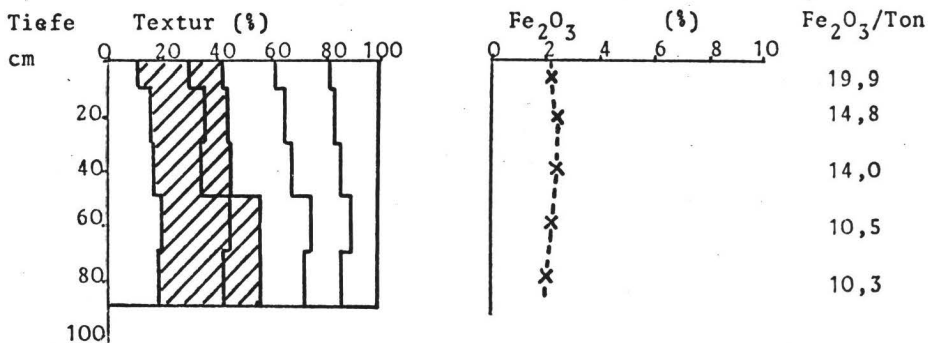
r.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
	A ₁	0-20	rötl.braun,poröses,kohärentes Prismengefüge
	A ₁	20-40	" "
	A ₁	40-60	fleckig hellbraun bis rötl.braun,Prismengefüge
	B _t	60-80	rotbraun,diffuse hellbraune Flecken,feinpolyedrisches Prismengefüge
	B _t	80-100	rötl.braun,feinpolyedrisches Prismengefüge
	B _t	100-120	rötl.braun,feinpolyedrisches bis kohärentes Prismengefüge



r.	pH	C	C/N	V	CaCO ₃	Na ⁺
		%		%	%	%
1	7,8	0,1	2,5	100	0,80	24,6
2	8,05	0,1	3,0	100	0,07	53,5
3	8,1	0,1	2,9	99	0,31	50,0
4	8,35	0,1	1,9	100	0,14	63,6
5	8,45	0,05	1,5	100	3,74	22,9
6	8,5	0,05	1,2	99,5	2,35	35,5

Profil Lag 1 Typic Natrustalf

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _h /A ₁	0-10	dunkel rötlichbraun, poröses, kohärentes Prismengefüge
2	A ₁	10-20	rötlichbraun, mäßig dichtes, kohärentes Prismengefüge
3	A ₁ /B _t	20-50	rötlichbraun, feinpolyedrisches bis kohärentes Prismengefüge
4	B _t	50-70	rötlichbraun, feinpolyedrisches bis kohärentes Prismengefüge
5	B _v	70-90	braun, lockeres, schwach ausgeprägtes Prismengefüge



Nr.	pH	C	C/N	V	CaCO ₃	Na ⁺
		%		%	%	%
1	n.b.	n.b.	n.b.	100	1,21	36,6
2	"	"	"	100	0,86	58,5
3	"	"	"	100	0,28	60,5
4	"	"	"	100	3,22	53,9
5	"	"	"	100	3,53	49,5

Prinzipiell das gleiche Bild zeigt auch das Profil Lag 1. Dieser Boden ist in einem etwas weniger stark verwitterten Hangsediment entwickelt, der rötliche Farbton ist schwächer trotz der sogar etwas höheren freien Eisengehalte. Das Profil ist wohl etwas gekappt.

Horizont 1 zeigt eine Fleckung zwischen Bereichen mit Toneluvation und Kutanen auf Oberflächen und Poren. Am stärksten mit Kutanen belegt ist Horizont 3. Die Horizonte 4 und 5 sind wieder homogen braun.

3.3 Diskussion der Ergebnisse

3.3.1 Beobachtungen zu spätpleistozänen und holozänen Erosions- und Bodenbildungsphasen

Bei bodengenetischen Fragen spielt das Alter der bodenbildenden Sedimente und die Beeinflussung durch Erosion eine wichtige Rolle. Deshalb seien hier einige Beobachtungen zur jüngsten Landschaftsgeschichte gegeben, die allerdings aufgrund der wenigen sicheren Daten lückenhaft und in den daraus gezogenen Folgerungen weitgehend hypothetisch sind.

Die Oberflächenformung geschieht weitgehend durch einen Wechsel von Phasen stärkerer Erosion mit Stillstandsphasen, in denen sich ein volles Bodenprofil entwickeln kann. ROHDENBURG (1970) hat dies als Wechsel von morphodynamischen Aktivitäts- und Stabilitätszeigen beschrieben. Zurückgeführt wird der Wechsel auf eine Änderung des Verhältnisses von Oberflächenabfluß zu Versickerung (und Transpiration). Ursachen der Änderung können eine andere Niederschlagsverteilung, andere Niederschlagshöhe oder Temperaturänderungen sein, die sich wieder auf die Vitalität der Pflanzendecke, die vor allem eine Oberfläche stabilisiert, auswirken können.

Beispiele für solche Phasenwechsel im jüngsten Pleistozän und Holozän liegen für den tropisch-subtropischen Bereich bereits vor. (BIGARELLA u.a., 1966; FÖLSTER, 1964, 1969; ROHDENBURG, 1969, u.a.), Pollendiagramme aus der Sabana de Bogotá machen diesen Wechsel ebenfalls deutlich (v.d. HAMMEN, 1968).

Betrachten wir nun das Trockengebiet von Lagunillas. Agro-Kolluvium (Bezeichnung nach GAOUAR, 1976). Weit verbreitet ist eine rezente, offenbar in Zusammenhang mit der menschlichen Landnutzung stehende Erosion, die das heutige Landschaftsbild stark prägt. Auf den flacheren Terrassen hat diese Erosionsphase zu einer unterschiedlich tiefen, meist jedoch nur oberflächlichen Kappung des Bodenprofils geführt, an steileren Hängen jedoch zur oft völligen Ausräumung des Bodens. Das hierdurch umgelagerte Material ist ein lockeres, braunes Sediment unterschiedlicher Mächtigkeit, in dem noch keine bodengenetische Differenzierung erkennbar wird. Mächtigere Ablagerungen finden sich vor allem an Unterhängen. In den beschriebenen Profilen stellt dieses Sediment meist nur eine dünne, etwa 10 cm starke obere Decke dar.

Die bodenbildenden Sedimente

Der rezente Boden ist auch auf den Terrassen in einem über dem eigentlichen Terrassenkörper liegenden Sediment entwickelt. Bei größerer Mächtigkeit dieses Sediments zeigt der darunter folgende Terrassenkörper kaum Spuren einer Verwitterung, bei geringerer Sedimentüberdeckung wurde er mit in die Bodenbildung einbezogen. Reste einer tiefgründigen stärkeren Verwitterung sind dagegen nur sehr selten in ganz geringem Umfang zu finden. Dies läßt auf eine starke Abtragsphase schließen, die im vorliegenden Gebiet eine ältere Bodendecke weitgehend abgetragen hat und

das Sediment abgelagerte, in dem sich der rezente Boden entwickelt hat. An einigen Stellen gibt es Hinweise für eine intrapedogene Störung mit partiellem Abtrag und Ablagerung eines geringmächtigen Sediments, das dann mit in die Bodenbildung einbezogen wurde (Ja 19, Lag 13a).

Es ist also mit einer längeren morphodynamischen Stabilitätszeit mit Bodenbildung zu rechnen, die nur kurz durch eine instabile Phase unterbrochen wurde, mit anschließend wieder gleichartigen Bodenbildungsbedingungen wie vor der Störphase.

Weiter östlich im feuchteren Bereich bei Merida ließ sich eine jüngere Erosionsphase durch gefundene Holzkohle auf etwa 2600 Jahre B.P. datieren. Eine Zeitgleichheit hiermit scheint möglich.

Die bodenbildenden Sedimente sind hinsichtlich der Art des Materials, des Skelettgehalts und des Verwitterungsgrads sehr heterogen. Das Ausgangsmaterial der rezenten Bodenbildung ist also in sehr unterschiedlichem Maße vorgeprägt. Präpedogene Einflüsse können damit für die rezente Bodenentwicklung eine wichtige Rolle spielen. Hierbei ist vor allem an die beobachteten Na-Böden zu denken. Jegliches Fehlen von Salzausblühungen zeigt bereits im Gelände, daß es sich um weitgehend salzfreie Böden handelt, bei denen nur der Austauschkomplex eine erhöhte Na-Belegung hat (Solonetz). Dies muß als reliktsches Merkmal angesehen werden, da nur über eine hohe Konzentration von Natriumsalzen im Boden eine stärkere Austauscherbelegung möglich ist.

Eine Versalzung im grundwasserfernen Bereich wäre in Senken mit lateraler Hangwasserbewegung bei oberflächlicher,

starker Durchfeuchtung des Bodens in aridem bis semi-aridem Klima denkbar. Von der Reliefposition her könnte Profil Lag 13 dieser Vorstellung entsprechen. Auch die stärker ausgeprägte Hydromorphie dieses Profils deutet darauf hin. Der fehlende Salzgehalt und die andersartige Bodendynamik der umgebenden Böden lassen es jedoch als wahrscheinlicher erscheinen, daß hier eine ältere Bodenbildung in durch Abtrag geschützter Position konserviert wurde. Unter dem aktuellen Klima wurden die Salze weitgehend ausgewaschen und es trat eine Tonverlagerung ein, die ja ebenfalls nicht zu dem Prozess der Versalzung zu passen scheint, da hierfür eine stärker abwärts gerichtete Wasserbewegung vom A- zum B-Horizont Voraussetzung ist.

Die an anderen Stellen gefundenen Böden mit hoher Na-Belegung (Lag 1, Lag 2) sind deshalb als Böden aufzufassen, die sich in aus solchen Salzböden umgelagerten Sedimenten entwickelt haben. Sie sind jedenfalls weder in einer ähnlichen Senkenposition wie Lag 13, noch zeigen sie eine hydromorphe Fleckung, sondern stellen vielmehr homogen rotbraune Böden dar.

Pollenanalytische Beobachtungen in Kolumbien (GEEL u.a., 1973) sowie auch Paläobodenreste (FÖLSTER, 1976) machen eine trockenere (und zumindest in höheren Lagen auch kühlere) Klimaphase im ausgehenden Pleistozän (etwa 30 000 bis 10 000 B.P.) wahrscheinlich. Es ist denkbar, daß in dieser Phase im Trockengebiet von Lagunillas sich eine stärkere Versalzung entwickelte, deren meist umgelagerte Relikte die heutigen Na-Böden darstellen.

Diese These bleibt vorläufig spekulativ, sie scheint mir jedoch plausibel, besonders auch im Hinblick auf die sonst kaum verständliche Erscheinung der Na-Böden.

Eine ähnliche Vorstellung scheint auch für die kalkhaltigen Sedimente berechtigt, die ebenfalls nur lokal, oft in flachen Rinnen, akkumuliert und erhalten sind.

Kreidezeitliche Kalke stehen nordöstlich von San Juan oder weiter Chama-abwärts bei Chiguara an. Als Kalkquelle kämen diese bei flugsandartigen Auswehungen in den unmittelbar benachbarten Raum in Frage. Ungewiß muß bei den wenigen Beobachtungen auch eine zeitliche Einordnung bleiben. In Profil Lag 13a ist das unterste Sediment (V) kalkhaltig. Sekundäre spätere Umlagerungen solcher Sedimente sind jedoch keinesfalls auszuschließen.

Diese sehr allgemeinen und unsicheren Überlegungen müssen zunächst genügen. Zumindest zeigen sie jedoch, wie groß die Rolle des Faktors Zeit und damit auch möglicher vorzeitiger, also historischer Prozesse für die Ausprägung eines Bodens sein kann, auch in einem Gebiet mit ausgeprägten Abtragsphasen und entsprechender "Verjüngung" der Bodendecke.

3.3.2 Verwitterung und Tonbildung

Ausdruck der Verwitterung ist ein Anstieg des Tongehalts und als sichtbares Merkmal eine Rotfärbung, d.h. Eisenfreisetzung im Boden.

Da die bodenbildenden Sedimente bereits mehr oder weniger stark vorverwittertes Material enthalten, läßt sich die pedogene Veränderung jedoch nicht quantifizieren.

Tonmineralogisch dominiert Illit in allen untersuchten Profilen (Tab. 1). Daneben ist überall ein deutlicher

Tab. 1: Röntgenanalyse der Tonfraktion einzelner Proben

Probe	Kaolinit	Quarz	Illit	Sonstige
Lag 2/6	(+)		+++	
Lag 9/4			+++	Carbonat +
Lag 13a/7	+	++	+++	
/9	(+)		+++	Carbonat +
Lag 13b/3	(+)		+++	
Ja 24/3	+	++	+++	
/5	+	(+)	+++	
Ja 28/3	++	++	++	
/5	+		+++	
Ja 40/3	+	(+)	++	
SC 1/5	+++	++	-	

semiquantitative Angaben: +++ dominant
 ++
 +
 (+) Spuren

Anteil von Kaolinit nachzuweisen. Das Vorkommen von Illit wird durch den Glimmeranteil der bodenbildenden Substrate verständlich. Ein Teil der Illite dürfte in aufgeweiteter Form vorliegen. Das läßt die teilweise hohe Kationenaustauschkapazität erwarten.

Nach SCHWERTMANN (1966) kann aufgrund der rötlichen Farbtöne der Böden auf Hämatit als überwiegendes Eisenoxidmineral geschlossen werden. Jedoch kann auch ein höherer Anteil amorpher Eisenoxide eine Rotfärbung verursachen (SCHWERTMANN 1966, SEGALÉN 1969). Innerhalb des Trockengebiets scheint der Grad der Färbung von der Höhe des nichtsilikatischen Eisengehalts abhängig zu sein. So haben die Profile Ja 19 und Ja 28, die am stärksten rot gefärbt sind, auch die höchsten Eisengehalte mit etwa 3-4 % Fe_2O_3 . Am schwächsten gefärbt sind die Senkenböden des Komplexes Lag 13 als Folge einer hydromorphen Bleichung. Die Eisengehalte liegen hier bei unter 1 %. Mittlere Werte finden sich in den Böden der kalkhaltigen Sedimente.

3.3.3 Humusbildung

Durch die starke menschliche Beeinflussung und die erosive Störung der Profile läßt sich zum Humusprofil nicht allzuviel sagen. Die überall gefundenen niedrigen C/N-Verhältnisse lassen auf einen raschen Abbau schließen. Die Vorräte sind niedriger als 2 % C.

3.3.4 Gefügebildung

Insgesamt sind die Böden des Trockengebiets dicht gelagert mit einer nur undeutlichen Gefügebildung.

Das relativ stabilste, porenreichste Gefüge haben die Böden der kalkhaltigen Sedimente mit einem wenig ausgeprägten polyedrisch-prismatischen bis kohärenten Gefüge.

Ein deutlicher ausgeprägtes, feines bis mittleres, dicht geschlossenes Polyedergefüge haben die Tonböden. Porös-kohärent und im B_t -Horizont sehr dicht und fein polyedrisch bis kohärent sind die Na-Böden. In trockenem Zustand ist der Boden massiv hart und nur schwer in größere unregelmäßige Prismen zerlegbar.

3.3.5 C_{Ca} -Horizont

Die Böden der kalkhaltigen Sedimente zeigen die Ausbildung eines C_{Ca} -Horizontes. Zur Bildung und Deutung von C_{Ca} -Horizonten im semiariden Bereich siehe auch ROHDENBURG u.a. (1969) und WERNER (1971).

Dieser Horizont entsteht durch Auflösung von Kalk im Bodenprofil und vertikaler oder lateraler Verlagerung mit dem Sickerwasser. Bei Aufhören der Versickerung aufgrund höherer Saugspannung wird der Kalk wieder ausgefällt, wobei ein initialer C_{Ca} -Horizont durch seine wasserstauende Wirkung zur verstärkten Kalkausfällung an dieser Stelle führt.

Eine Verhärtung im Bereich dieses Horizonts war im Gelände nirgends festzustellen. Die Kalkauswaschung aus dem Profil scheint nur sehr langsam abzulaufen, da diese Profile auch im Oberboden noch kalkhaltig sind und der Kalkgehalt nach unten allmählich zunimmt, wobei der C_{Ca} -Horizont nur durch ein Maximum des Kalkgehalts deutlich wird. Allerdings tritt der Horizont auch optisch durch auffallend hellere Farben in Erscheinung.

3.3.6 Tonverlagerung

Ausführlicher diskutiert werden soll hier der Prozeß der Tonverlagerung.

Daß auch in ariden bis semiariden Regionen Böden mit Tonverlagerung gefunden werden, ist eine bekannte Tatsache. BUOL (1965) gibt hierzu eine Übersicht und diskutiert mögliche Prozesse. Eine genauere Beschreibung von konkreten Böden mit B_t -Horizonten in Trockengebieten geben z.B. SMITH u.a. (1968), GILE u.a. (1968) und GILE (1975). Die Analyse stützt sich hierbei neben einer makromorphologischen Beschreibung auf Daten der Texturanalyse und auf die Auswertung von Bodendünnschliffen, in denen eingeregelter Tonkutanen beobachtet wurden. Leider fehlen Daten über die Kationenbelegung am Austauscher. Zum Mechanismus der Tonverlagerung werden keine Angaben gemacht. GILE (1975) weist jedoch darauf hin, daß bei höheren Kalkgehalten keine Tonverlagerung stattfindet.

Im folgenden sei deshalb versucht, eine kurze und sicher auch unvollständige Übersicht über die Vorstellungen zu geben, unter welchen Bedingungen Tonverlagerung im Boden tatsächlich stattfindet.

Von primärer Bedeutung scheinen zwei Größen zu sein, die Konzentration der Bodenlösung und die Kationenbelegung am Austauschkomplex (MOHR u.a. 1972). So fand man im kühl-gemäßigten Klima Mitteleuropas, daß in Mergeln und kalkhaltigen Lössen nach der Entkalkung eine Tonverlagerung einsetzt. Zurückgeführt wird die Verlagerung auf die Abnahme der Elektrolytkonzentration der Bodenlösung nach Auswaschung des Kalks. Dieser Prozeß kommt zum Stillstand, wenn durch stärkere Versauerung Aluminium freigesetzt wird, das stark aggregierend wirkt (BLUME 1964, FÖLSTER u.a. 1963, SCHWERTMANN 1965).

Daß Na-belegte Böden sehr viel leichter dispergieren, wird allgemein angenommen (SCHEFFER u.a. 1966, S. 366 f; BURINGH 1968, S. 40 ff).

Ausführlich diskutieren TYURIN u.a. (1967) die Problematik der Salz- und Natriumböden.

Da außer den im folgenden genannten weitere Kationen am Austauscher natürlicher Böden praktisch nie dominieren, läßt sich vereinfacht folgendes Schema aufstellen:

1) Bei hoher Na-Belegung (Grenzwert nach 7. Apr. 15 %) ist mit leichter Mobilisierbarkeit des Tons zu rechnen. Im Boden sind Tonmigration und Dichtlagerung zu erwarten. Ausfällung dispergierten Tons nur bei hohen Elektrolytkonzentrationen der Bodenlösung.

2) Dominiert Ca am Austauscher, so ist eine Mobilisierung des Tons nur nach Reduktion der Ca-Konzentration möglich, d.h. nur bei geringen Konzentrationen der Bodenlösung. Der Flockungsschwellenwert ist gegenüber Na-belegten Tonen erheblich kleiner.

3) Bei einer höheren Al-Belegung am Austauscher ist meiner Kenntnis nach nirgendwo eine Tonverlagerung beobachtet worden. Die Aggregation durch das Aluminiumion ist also so stark, daß auch bei sehr verdünnten Bodenlösungen keine Tonverlagerung mehr möglich ist.

Auf physikochemischem Niveau werden diese Prozesse von ZIMMERMANN (1962) und MOHR u.a. (1972) diskutiert. Die entscheidende Größe ist hier Art und Dicke der Doppelschicht.

Dieses vereinfachte Schema wird durch verschiedene Faktoren modifiziert. Dies ist auch der Grund, warum sich keine festen Grenzwerte angeben lassen.

Die einzelnen Tonminerale zeigen deutliche Unterschiede in ihrem Dispergierungs- und Flockungsverhalten (HALLSWORTH 1963, BLUME 1964, FÖLSTER u.a. 1964, GEBHARDT 1968).

Neben der Konzentration der Bodenlösung scheint das Flockungsverhalten auch von der Ionenzusammensetzung abzuhängen. ZIMMERMANN (1962) beobachtet eine Erniedrigung des Flockungsschwellenwertes bei höherem Ca-Anteil. HALLSWORTH (1963) zeigt einen Effekt von Fe- und Al-Lösungen. Allerdings ist es wohl schwierig festzustellen, inwieweit hier auch durch Austauschvorgänge die Kationenbelegung am Tonmineral verändert wurde.

Die Wirkung von Schutzkolloiden bei der Tonverlagerung - besonders Humusstoffe - wird verschiedentlich diskutiert (BLUME 1964). Von erheblicher Bedeutung scheint auch das Bodengefüge für die Tonverlagerung zu sein. BLUME (1964) fand eine Tonverlagerung nur in Poren über 20 μ Durchmesser.

Bei Bodenaggregaten kommt der Oberfläche besondere Bedeutung zu. Eine Dispergierung ist nur von der Oberfläche möglich (ZIMMERMANN 1962). Die Klüfte zwischen den Aggregaten stellen oft die dränenden Grobporen dar. Verwitterung und Entkalkung mit möglicher folgender Tonverlagerung können hier deshalb früher einsetzen (BLUME 1964).

MOHR u.a. (1972, S. 463) weist besonders darauf hin, daß in Trockengebieten zu Beginn der ersten starken Niederschläge die Trockenrisse ein Kluftsystem darstellen, in das die Niederschläge rasch eindringen können. Da für die Gleichgewichtseinstellung zwischen Niederschlagswasser und Boden eine gewisse Zeit benötigt wird, kann kurzzeitig an den Oberflächen eine Dispergierung durch elektrolytarmes Wasser auftreten, selbst in kalkhaltigen Böden.

Diese Vorstellung steht in Übereinstimmung mit der Beobachtung, daß in Regionen mit ausgeprägtem Wechsel zwischen Trocken- und Regenzeit eine Tonverlagerung verstärkt zu beobachten ist.

Eine Ausfällung des Tons aus dem soldispersen Zustand erfolgt bei Eintritt in Horizonte mit höheren Elektrolytkonzentrationen, oder wenn das Bodenwasser in Bereiche höherer Saugspannung gelangt und in kleinere Poren strömt. Hierbei wird der Ton an den Aggregatwänden ausgefiltert. Dieser Prozeß wird durch die Reduzierung des Grobporenvolumens bei Toninfiltration verstärkt (BLUME 1964, FÖLSTER u.a. 1963).

Dieser kurze Überblick zum Problem der Tonverlagerung muß genügen.

Im Falle der Profile Lag 1, Lag 2 und Lag 13 haben wir also eine Tonmobilisierung aufgrund der hohen Na-Belegung des überwiegend illitischen Tons.

Die Verlagerungstiefe dürfte bei Lag 1 und Lag 2 durch die in den unteren Horizonten deutlich ansteigende Kalkmenge und die dadurch bedingte Erhöhung des Elektrolytgehalts bedingt sein.

Bei Lag 13 ist vielleicht die Abnahme des Grobporenvolumens entscheidend. Möglicherweise erreicht der vertikale Sickerstrom hier fast nie größere Tiefen. Dies wird durch die Pseudovergleyung im oberen Profilteil wahrscheinlich.

Während bei den Na-belegten Böden eine starke Tonverlagerung bereits makromorphologisch leicht feststellbar ist, bleibt die tatsächlich verlagerte Tonmenge in den tonigen Profilen Ja 19 und Ja 28 ungewiß. Das mikromorphologische

Bild zeigt eine Tonmobilität, die schwach ausgebildeten Kutanen deuten eine geringe Verlagerung an. Der Ausprägungsgrad der Kutanen ist jedoch in tonigen Böden ein sehr unsicheres Merkmal (NETTLETON u.a. 1969). Die geringe Tonverlagerung wird wohl vor allem durch das dichte Gefüge, d.h. das reduzierte Grobporenvolumen bedingt sein. Es sei hier noch einmal auf die Beobachtung von BLUME (1964) verwiesen, wonach Tonverlagerung nur in Poren mit über 0,02 mm Durchmesser auftritt. Das bedeutet gleichzeitig, daß in sandigeren Böden unter diesem Klima mit einer relativ stärkeren Tonverlagerung gerechnet werden muß. Die Böden enthalten außerdem geringe Mengen an Kalk. Daraus muß auf eine noch reduzierte Dispergierungsbereitschaft geschlossen werden, da die Bodenlösung hier noch eine relativ hohe Elektrolytkonzentration hat.

4 Der Übergangsbereich vom Trockengebiet zur Wolkenwaldstufe

4.1 Beschreibung des Gebiets

Klimatisch ist dieser Bereich durch Niederschläge von 700 bis 1300 mm pro Jahr gekennzeichnet. Da Meßstationen außer im Bereich des Chamatals weitgehend fehlen, müssen die auf der Niederschlagskarte (CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA, 1973) eingezeichneten Isohyeten als Annäherungen bzw. Schätzungen angesehen werden, so daß im Einzelfall, bedingt durch die gebirgige Topographie, größere Abweichungen auftreten können (siehe Profil Ja 16).

In diese Niederschlagszone fallen die Terrassen im Bereich des Städtchens Ejido, sowie die Talhänge rund um das Trockengebiet.

Die gesammelten Profile stammen einmal von diesen Terrassen (ME 9), zum andern aus der Umgebung der Straße von Merida nach Jaji, die an den Südhängen der Nordkordillere nord-östlich des Trockengebiets verläuft (Ja 16, Ja 40, Ja 41). Ein weiteres Profil (SC 1) wurde außerhalb des Chamatals in der Nähe der etwa 100 km weiter östlich gelegenen Stadt San Cristobal gesammelt, wo etwa ähnliche klimatische Voraussetzungen gegeben sind.

Die Terrassen um Ejido bestehen aus kristallinen Schottern aus dem Bereich des oberen Chama. Es finden sich nur die beiden jüngeren Niveaus I und II (siehe voriges Kapitel).

Geologisches Ausgangsmaterial der Profile Ja 16, Ja 40 und Ja 41 ist die Formation La Quinta mit Breccien aus Glimmerschiefern, Tonschiefern und granitoidem Material.

Die insgesamt nicht sehr ausgedehnten Terrassen dieses Bereichs sind intensiv bewirtschaftet. Angebaut wird überwiegend Zuckerrohr, daneben auch Kaffee und Bananen.

Die steileren Hänge dagegen sind stark erodiert und mit einer buschartigen Sekundärvegetation bewachsen. Sie werden beweidet. In flacheren Hängen findet man noch einzelne Äcker, zur feuchteren Zone hin auch besser gepflegte Weiden.

4.2 Beschreibung der Profile

Profil Ja 40

Das Profil liegt bei La Mesa auf einem flachen Rücken in 1200 m Höhe. Der jährliche Niederschlag beträgt hier etwa 800 bis 900 mm. Die oberen 40 cm bestehen aus einem braunen, postpedogenen Hangschutt. Darunter folgt ein gekapptes Bodenprofil aus einem sandigen Ton mit einem Skelettgehalt von etwa 40 %.

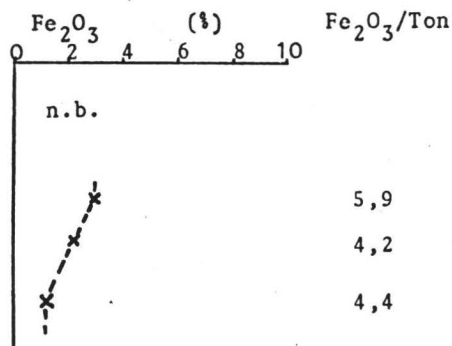
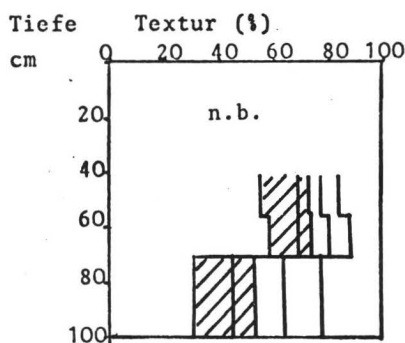
Auffallend an diesem Profil ist eine Fleckung, die teils Ausdruck einer geringen Hydromorphie ist, teils jedoch rotbraune Tonkutanen darstellt. Im untersten Horizont sind Kutanen nur noch vereinzelt zu beobachten. Auch die diffuse Fleckung ist seltener und nur noch schwach ausgeprägt.

Das Gefüge des Bodens ist ein feines, dicht zusammenschließendes Polyedergefüge.

Im Dünnschliff wird die hohe Mobilität des Tons in diesem Boden besonders deutlich. Innerhalb einzelner Aggregate hat Horizont 1 eine schwach argillasepische Matrix mit wenigen Separationen. Poren und Skelettstücke sind dagegen mit dicken Tonkutanen umgeben. Horizont 2 ist aufgrund einer omnisepischen Matrix und ausgeprägten skel- und vosepischen Plasmaseparationen als typischer B_t -Horizont zu bezeichnen.

Profil Ja 40, Aquic Haplustalf

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
Das Profil liegt unter 40cm jüngerem, homogen braunem Hangschutt			
1	(A ₁)/B _t	40-55	fleckig rotbraun bis hellbraun, fein subpolyedrisch, mäßig dicht
2	B _t	55-70	fleckig rotbraun bis hellbraun, dicht, feines Polyedergefüge
3	B _t /B _v	70-100	homogen rötlichbraun, stellenweise schwach fleckig, feines Polyedergefüge, mäßig dicht



Nr.	pH	C	C/N	V	CaCO ₃
		§		§	§

Keine Analysendaten vorhanden

Das gleiche Bild zeigt Horizont 3, wenn auch die Menge und Dicke der Kutanen geringer ist.

Das Mikrogefüge im gesamten Profil ist intertextisch.

Profil SC 1

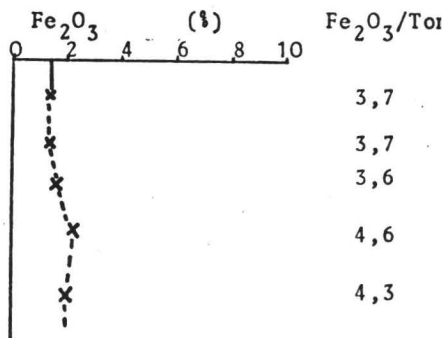
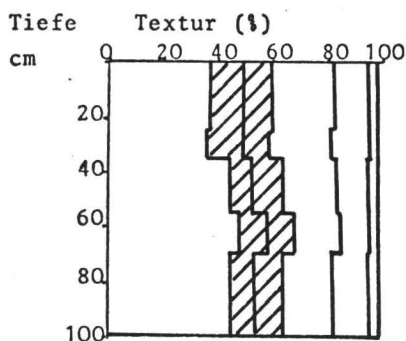
Das Profil liegt nahe der kolumbianischen Grenze bei der Stadt San Cristobal in einem Hangschutt aus feinsandigen bis tonigen tertiären Sedimenten in etwa 800 m Höhe. Die Niederschläge dürften etwa 800-1000 mm/Jahr betragen.

Der A-Horizont ist auffallend dunkel gefärbt, obwohl der Humusgehalt gering ist (2,3 % C). Der Übergang zu dem darunter folgenden rotbraunen B-Horizont (3) ist allmählich. Zahlreiche humusfarbene Wurmgänge und eine starke bis mittlere Durchwurzelung deuten auf eine hohe biologische Aktivität.

Die beiden darunter folgenden Horizonte 4 und 5 sind dagegen ausgesprochen fleckig blaßbraun bis braunrot. Wie im vorigen Profil stellen auch hier die roten Partien zum Teil Tonkutanen dar. Diese Ähnlichkeit zeigt sich ebenfalls im Dünnschliff. Nach unten zu erfolgt eine Zunahme der Tonkutanen bei stärker ausgeprägter latti-sepischer bis omnisepischer Matrix. Das Maximum der Kutanen liegt in Horizont 4. Das Gefüge des Bodens ist ein größeres Polyedergefüge. Die Horizonte 1-3 sind mäßig locker, darunter ist der Boden dicht. Die bis Horizont 3 reichende biologische Homogenisierung des Bodens verhindert offenbar sowohl eine Dichtlagerung mit möglicher Hydromorphie als auch eine längere Erhaltung gebildeter Tonkutanen. Das Profil hat nur einen geringen, nach unten bis auf 10 % zunehmenden Skelettgehalt.

Profil SC 1, Aquic Haplustalf

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _h	0-25	grauschwarz, grobe Subpolyeder, mäßig locker stark durchwurzelt
2	A _h /A ₁	25-35	dunkelbraun, grobe Subpolyeder, mäßig locker
3	B _t	35-55	rötlichbraun, polyedrisch, mäßig locker
4	B _t	55-70	fleckig orangerot bis blaßbraun, grobe bis mittlere Polyeder, mäßig dicht
5	B _t	70-100	fleckig orangerot bis blaßbraun, grobe bis mittlere Polyeder, mäßig dicht



Nr.	pH	C %	C/N	V %
1	5,55	2,3	8,9	100
2	5,45	1,5	9,5	100
3	5,2	0,9	7,6	100
4	4,7	0,6	8,8	93,8
5	4,2	0,5	6,4	71,9

Bei den chemischen Daten des Profils fällt die noch hohe Basensättigung auf. Al^{3+} ist nur in den unteren beiden Horizonten in geringer Menge am Austauscher vorhanden. Dies scheint parallel mit der Änderung des pH-Werts (5,5 bis 4,2) im Profil zu verlaufen.

Profil ME 9

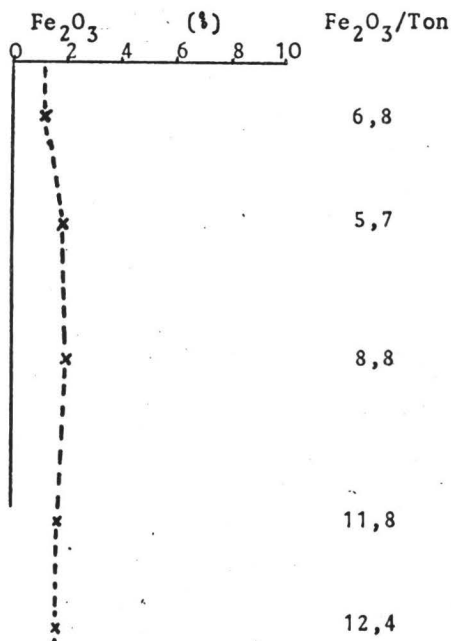
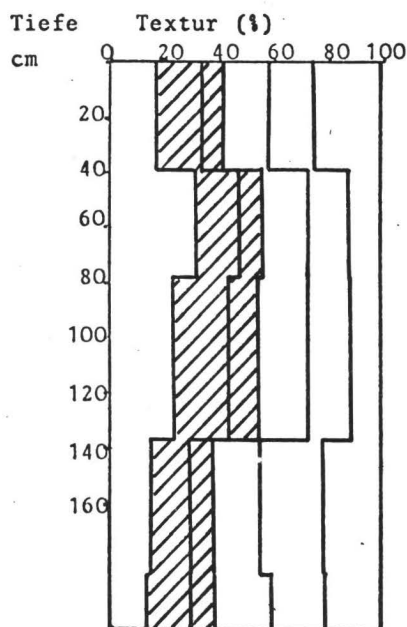
Profil ME 9 liegt auf dem westlichen Teil der T_{II}-Terrasse von Merida in 1250 m Höhe. Der Niederschlag beträgt hier etwa 1200 mm/Jahr. Das Profil ist zum größten Teil im Zersatz der Terrasse entwickelt, bis auf einige quarzitisches Schotter sind auch die größeren Blöcke bereits vergrust. Die oberen 40 cm stellen ein intrapedogenes Sediment mit unverwittertem, grobblockigem Skelett dar. Der Skelettgehalt beträgt etwa 30 % im oberen Sediment, darunter 40-50 %. Auffallend ist auch hier wieder der trotz geringer C-Gehalte sehr mächtige, dunkle A-Horizont.

Auch dieses Profil zeigt im Dünnschliff Tonmobilität mit Tonkutanen, die in Zusammenhang mit der Tonverteilung das typische Bild eines Alfisols ergeben.

Dieser Boden ist lockerer als die beiden vorhergehenden Profile, bedingt wohl durch den hohen grusigen Skelettgehalt und die sandigere Textur. Makroskopisch sind keine Tonkutanen sichtbar, mikroskopisch zeigt sich eine stark skelsepische Matrix, d.h. der Ton wandert vor allem in die feineren Poren entlang der Skelettkörner. Die Matrix selbst ist lattisepisch bis omniseptisch. Der pH-Wert des Bodens liegt bei 5,6 bis 5,2, die Basensättigung ist noch hoch, Al^{3+} ist nur in geringer Menge (unter 10 %) am Austauscher vorhanden.

Profil ME 9, Typic Tropudalf

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _h /A ₁	0-40	dunkel graubraun, subpolyedrisch, mäßig locker stark durchwurzelt
2	II B _{t1}	40-80	dunkelbraun, subpolyedrisch, mäßig locker
3	II B _{t2}	80-140	dunkelbraun, subpolyedrisch, mäßig locker
4	II B _v /C _v	140-200	hellbraun, schwach subpolyedrisch
5	II C _v	200-260	blaußbraun, bröckelig kohärent, z.T. Einzelkorngefüge, locker



Nr.	pH	C	C/N	V
		%		%
1	5,55	1,6	14,7	98,0
2	5,65	0,9	14,7	98,0
3	5,4	0,4	9,0	92,0
4	5,2	0,2	8,5	93,7
5	5,2	0,2	6,0	95,2

Profil Ja 41

Das Profil liegt an der Straße Merida-Jaji in etwa 1700 m Höhe. Der Jahresniederschlag beträgt etwa 1200-1300 mm. Der Boden ist in einem tonigen, nicht ganz homogenen Hangsediment entwickelt, sein Skelettgehalt nimmt nach unten von 30 auf 8 % ab. Die primäre Tonverteilung ist unsicher.

Unter einem dunkelbraunen, grob subpolyedrischen A-Horizont folgt der gelbbraune, dicht polyedrische B-Horizont, der eine schwache blaßbraune bis rötliche hydromorphe Fleckung zeigt. Die Fleckung verstärkt sich nach unten.

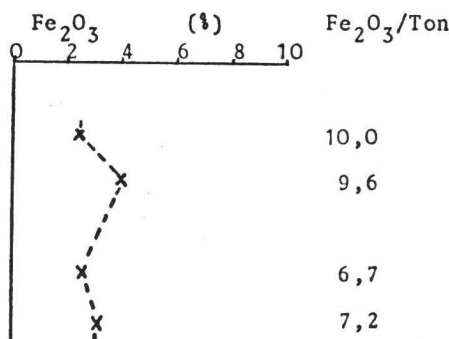
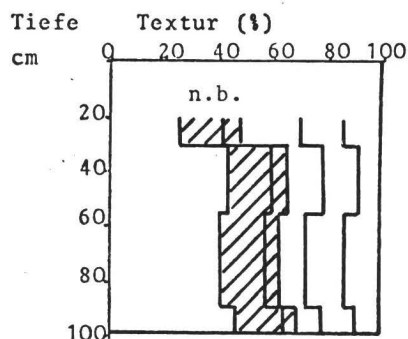
Betrachtet man das Profil von oben nach unten im Dünnschliff, so zeigt sich eine zunehmende Tonmobilität. Während in Horizont 2 eine insepische, durch Humus etwas maskierte Matrix zu beobachten ist, wobei keine Kutanen vorhanden sind, ist die Matrix in den tonigeren Horizonten stark omnisepisch mit teilweise mächtigen, reinen Tonseparationen. Diese liegen jedoch oft mitten in Aggregaten oder an Skeletteilen angequetscht, z.T. auch in sehr feinen Poren. In etwas größeren Poren findet man dagegen keine durchgehenden Tonkutanen. Dies zeigt zusammen mit der beobachteten Aggregierung der Matrix im oberen Profiltail, daß die Tonmobilität in diesem Profil als aktueller Prozeß zum Stillstand gekommen ist. Dem entspricht auch die Versauerung des Profils mit pH-Werten von 3,9 und einer Basensättigung von 8-20 %.

Profil Ja 16

Deutlicher wird die im vorangehenden Profil beobachtete Entwicklung im Profil Ja 16. Noch in räumlich enger Nachbarschaft zum trockeneren Bereich in einem offenbar homogenen Hangsediment gelegen, zeigte es bereits bei der

Profil Ja 41, Aquic Tropudult

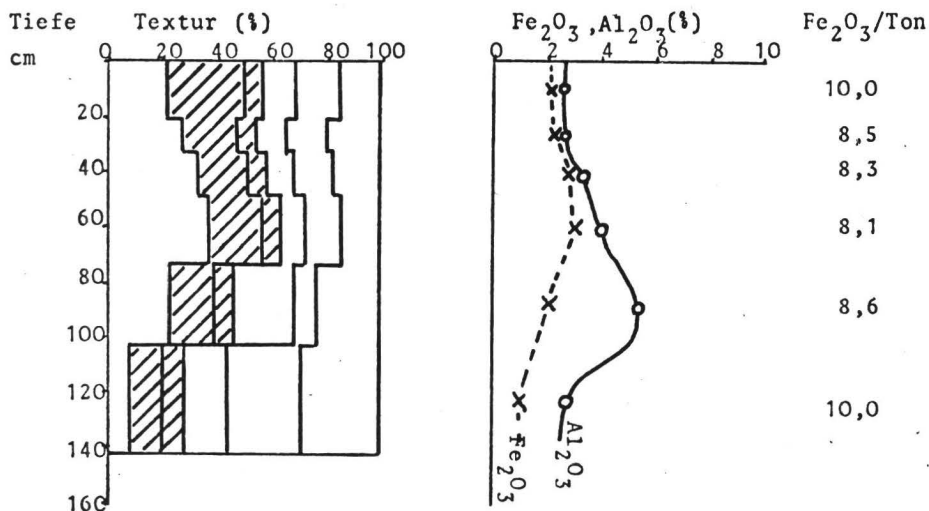
Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _h	0-20	dunkelbraun, subpolyedrisch, mäßig locker, stark durchwurzelt
2	A _h /A _t	20-30	dunkelbraun, subpolyedrisch, mäßig locker
3	B _t	30-55	fleckig blaßbraun bis rötlichbraun, dicht, fein polyedrisch
4	B _t	55-90	fleckig blaßbraun bis rötlichbraun, fein polyedrisch bis kohärent, dicht
5	B _v /C _v	90-100	gelblichbraun, schwach fleckig, kohärent, dicht



Nr.	pH	C	C/N	V
		%		%
1		nicht bestimmt		
2	3,9	2,0	12,5	21,2
3	3,9	0,9	12,2	21,0
4	3,9	0,5	10,5	16,5
5	3,9	0,4	8,1	8,4

Profil Ja 16, Oxic Dystropept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _h	0-22	dunkelbraun, Krümelgefüge, locker, stark durchwurzelt
2	A _h /B _v	22-34	graubraun, subpolyedrisch, mäßig locker
3	B _{v1}	34-50	gelblich graubraun, bröckeliges Subpolyedergefüge, mäßig locker
4	B _{v2}	50-75	braun, bröckeliges Subpolyedergefüge, mäßig locker
5	B _v /C _v	75-105	bläß gelbl. braun, bröckeliges Subpolyedergefüge, locker
6	C _v	105-145	hell graubraun, schwach kohärentes Einzelkorngefüge, locker



Nr.	pH	C	C/N	V
1	4,3	4,1	15,0	39,2
2	4,25	2,0	14,5	15,5
3	4,3	1,4	11,3	16,9
4	4,35	1,2	13,2	21,4
5	4,75	1,3	15,4	20,2
6	4,7	0,4	15,6	28,2

Geländeansprache deutlich ein Tonmaximum im B-Horizont, so daß mit einer Tonverlagerung gerechnet werden konnte. Tonkutanen waren jedoch makromorphologisch nicht sichtbar.

Betrachten wir zunächst die geographische Situation des Profils. Es liegt in 1900 m Höhe bei Las Cruces im Mittelhang unterhalb eines Sattels. Anstehendes Gestein ist wieder die Formation La Quinta, die hier eine granitartige Zusammensetzung hat. Etwas schwieriger ist die Niederschlagshöhe einzuschätzen. Nach der Karte (CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA, 1974) beträgt der Niederschlag hier nur etwa 1000 mm, die Meßstation liegt jedoch in dem deutlich trockeneren Talkessel von Jaji.

Der Vegetation nach, einer Weide mit geschlossener grüner Rasendecke und dichten Sekundärwaldbeständen in unmittelbarer Nähe, dürfte der Niederschlag deshalb bei etwa 1300-1400 mm/Jahr liegen.

Das Profil zeigt unter einem dunklen A-Horizont einen homogen braun gefärbten (trocken 5-7,5YR6,4) B-Horizont, der dann in den wenig verwitterten hellgraubraunen Hangschutt übergeht.

Eine Tonverlagerung kann aufgrund der Texturverteilung und der Eisenwerte angenommen werden. In den Dünnschliffen ergab sich jedoch folgendes Bild: Man findet durchaus eine anisotrope, sepische Matrix, die wohl am besten als lattisepisch zu bezeichnen ist, am ausgeprägtesten in Horizont 4, jedoch gibt es keine Tonkutanen an Poren oder Skeletteilen. Eine einem sol lessivé entsprechende Tiefenfunktion liegt also nicht mehr vor. In den humosen oberen Horizonten findet eine biogene Aggregatzerstörung und Homogenisierung statt, wobei eine Umwandlung der asepischen

Matrix in eine isotische, stark aggregierte Matrix erfolgt. Im Unterboden zeigen die fehlenden Tonkutanen, daß aktuell keine Tonverlagerung mehr stattfindet. Die aseische Matrix wird hier jedoch stärker konserviert.

Betrachtet man zusätzlich die chemischen Profildaten, so wird deutlich, daß man bereits im Bereich der stärker versauerten Böden ist. Das pH beträgt etwa 4,5, die Basensättigung liegt bei 15-30 %, am Austauscher dominiert Al^{3+} . Die Tonverlagerung in diesem Profil ist also offenbar fossil.

So zeigt sich bereits eine Al-Verlagerung im Profil, ein Prozeß, der im folgenden Kapitel diskutiert wird. Auch das Gefüge entspricht bereits dem der Böden der Wolkenwaldzone. Die Matrix ist stark aggregiert zu einem hohlraumreichen, krümeligen Gefüge, das nach unten nur wenig dichter wird. Im Dünnschliff ist es agglomeroplasmisch.

Damit gehört dieses Profil eigentlich bereits zu den Böden der Wolkenwaldzone. Es wurde jedoch an dieser Stelle belassen, nicht nur wegen seiner räumlichen Nachbarschaft zum Trockengebiet, sondern auch, um den raschen Wechsel in dieser Zone zu zeigen.

4.3 Diskussion der Ergebnisse

Wie bereits beschrieben, ist der Übergangsbereich aufgrund der sich rasch ändernden klimatischen Bedingungen nur schmal. Da die Bodendecke durch die meist steile Reliefposition häufig durch rezente Erosion gestört ist, liegen nur punktuelle Beobachtungen aus diesem

Bereich vor. Dies gestattet nur die Darstellung einiger besonders deutlich werdender Züge dieses Übergangsbereichs, die im folgenden diskutiert werden sollen.

Wie im Trockengebiet ist auch hier das Klima durch eine deutliche Trockenzeit von Dezember bis März gekennzeichnet. Die Niederschläge sind jedoch merklich höher und liegen bei etwa 700-1300 mm/Jahr. Bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von etwa 16-20°C dürfte dabei während der Regenzeit ein vertikaler Sickerwasserstrom durch den Boden hindurch auftreten, während in der Trockenzeit mit stärkerer Austrocknung zu rechnen ist. Diese klimatisch bedingte Wechselfeuchte macht sich auch im Bodenprofil deutlich bemerkbar. Einmal wird dies in der oft vorhandenen Fleckigkeit des oberen B_t-Horizonts deutlich. Während der Regenzeit kann hier offenbar Stauwasser auftreten, das zu lokaler Eisenmobilität führt.

Die Wechselfeuchte bedingt eine starke Gefügedynamik, welche das ausgeprägte Polyedergefüge erklärt. Ein ähnliches Bild des Wasserhaushalts der wechselfeuchten Tropen Afrikas zeichnet FÖLSTER (1971).

Von besonderer Bedeutung ist dieser Klimatyp für den Prozeß der Tonverlagerung. In allen beobachteten Profilen dieses Bereichs ließ sich eine hohe Tonmobilität feststellen. Die besonderen Verhältnisse der Profile Ja 16 und Ja 41 wurden bereits in der Profilbeschreibung besprochen. Betrachtet man die pH-Bereiche dieser Böden, so liegen sie im Bereich des Austauschs basischer Kationen vom Sorptionskomplex bzw. im Bereich beginnender Al-Pufferung (ULRICH, 1975). Die Bodenlösung ist deshalb besonders elektrolytarm, der Ton leicht dispergierbar. Dieser Bereich ist damit prädestiniert für eine Tonverlagerung.

Während jedoch unter ausgeprägt humidem Klima sehr rasch eine stärkere Versauerung erreicht wird, scheint dieser Pufferbereich unter den hier vorliegenden klimatischen Bedingungen sehr viel länger stabil. Dies hängt einmal sicherlich von der erheblich geringeren Perkolationsrate ab, vielleicht verbunden mit einem gewissen kapillaren Aufstieg während der Trockenzeit. Besonders begünstigt dürften darüberhinaus tonreiche Böden mit einer hohen Austauschkapazität pro Bodenvolumen sein, sowie Böden mit einem hohen Anteil an leichter verwitterbaren Silikaten, wodurch Auswaschungsverluste teilweise wieder kompensiert werden können.

Möglicherweise läuft auch aufgrund einer günstigeren Humusdynamik die Versauerung weniger rasch ab.

Wie die Profile Ja 16 und Ja 41 zeigen, kommt die Tonverlagerung sehr rasch zum Stillstand, wenn eine höhere Al-Belegung am Ton erreicht wird. Die dadurch bedingte geringere Mobilität kann jedoch zumindest im Unterboden, wo auch eine biologisch bedingte Gefügezerstörung fehlt, das Bild eines B_t -Horizonts noch lange konservieren.

Der Humusgehalt dieser Böden ist niedrig, ein A-Horizont von dunkler bis schwarzer Farbe ist jedoch z.T. in einer Mächtigkeit von mehreren dm entwickelt. Das C/N-Verhältnis ist eng.

5 Die Böden der Wolkenwaldstufe

In den tropischen Gebirgen findet man in einer bestimmten Höhenstufe oft eine Zunahme der Feuchtigkeit, die besonders an der Vegetation deutlich wird. Hier wachsen Epiphyten- und farnreiche Wälder, die in Südamerika als selva nublada (d.h. Nebelwald oder Wolkenwald) bezeichnet werden.

Im Gebiet um Merida kann man dieser Vegetationszone in etwa die Höhenstufe von 1800-3200 m Höhe zuordnen. Bei 3200 m liegt gleichzeitig auch etwa die Waldgrenze. Die mittleren Jahrestemperaturen betragen entsprechend der Höhe etwa $17-8^{\circ}\text{C}$.

Es ist jedoch nicht exakt, von einer durchgehenden Höhenstufe zu reden, denn eine Häufigkeit der Wolkenbildung und die Höhe der Niederschläge ist abhängig von der Lage der Gebirgszüge zu den herrschenden Windrichtungen sowie von anderen mesoklimatischen Faktoren. Wie schon erwähnt, gibt FLOHN (1968) für diesen Raum eine kurze Darstellung.

Aus drei Gebieten, die diesem Wolkenwald-Klimatyp zugeordnet werden können, liegen bodenkundliche Beobachtungen vor. Sie sollen im folgenden wegen ihrer ähnlichen klimatischen Voraussetzungen gemeinsam vorgestellt werden.

5.1.1 Die Mucuy

Das niederschlagsreichste Gebiet im Raum Merida sind die Nordhänge der Sierra Nevada de Merida (südliche Kordillere). In der Höhenstufe von ca. 1800-3200 m im Bereich von Merida an weiter Chama-aufwärts bis etwas über den Ort

Tabay hinaus fallen jährliche Niederschläge von 1800 bis 2200 mm, wobei die höchsten Werte in der Höhenlage von 2500-3000 m erreicht werden. Nach einem der Hauptseitenbäche wird dieses Gebiet auch als La Mucuy bezeichnet. Die Hänge sind sehr steil (vom Chama in 1700 m Höhe bis zur Waldgrenze in 3200 m Höhe beträgt die Entfernung in Luftlinie nur 6 km) und immer noch überwiegend mit Primärwald bestanden.

Geologisch gehört das Gebiet zur Formation Sierra Nevada, die aus Paragneisen und kristallinen Schiefern aufgebaut ist.

5.1.2 Das Valle

Das Valle, ein etwa 28 km langes Tal, stellt das Einzugsgebiet des Flusses Mucujun dar, der von NNO nach SSW fließend, bei Merida in den Chama mündet. Die Wasserscheide im NW bildet die Sierra de la Culata mit Höhen über 4000 m. Im SO bildet ein Höhenzug zwischen Chama und Mucujun die Grenze. Die Mündung des Mucujun in den Chama liegt bei etwa 1500 m Höhe.

Der Talbereich ist durch zwei Hauptverwerfungslinien von den seitlichen Erhebungen abgetrennt. Diese Verwerfungen lassen ein langgestrecktes Dreieck frei, das von Gesteinen der Kreide und des Tertiärs ausgefüllt wird.

Petrographisch bestehen die seitlichen Gebirgszüge aus Gneisen und Graniten, die Sedimente der Kreide und des Tertiär dagegen aus Schiefertönen und Sandsteinen.

Die kreidezeitlichen und tertiären Sedimente bilden Hügel geringerer Höhe, die durch Verwerfungen quer zum Talverlauf gegliedert sind. Der Talboden ist aus großflächigen Terrassen aufgebaut, die vom Mucujun und - sehr viel steiler - seinen Nebenflüssen geschüttet wurden. Es sind kristalline Schotter mit geringen Anteilen von tertiären und kreidezeitlichen Gesteinen.

Die geomorphologische Karte, Blatt Merida (CABELLO, 1966), unterscheidet 2 verschieden alte quartäre Terrassenniveaus im Talbereich, wobei jedoch nur eine Terrasse am Talausgang (Vallecito) dem älteren Niveau entspricht. Alle anderen Terrassen liegen auf dem jüngsten Niveau. An den seitlichen Hängen sind jedoch stellenweise noch stärker überformte Reste älterer Terrassen erkennbar.

Gegenüber der Mucuy ist das Valle deutlich trockener, im unteren Talbereich (1800-2500 m Höhe) liegen die Jahresniederschläge bei etwa 1800-1500 mm, nehmen talaufwärts noch weiter ab und betragen in 3000 m Höhe noch 1200 mm.

Die hier besprochenen Böden befinden sich auf den kristallinen Schotterterrassen in ca. 2000-2600 m Höhe. Diese Terrassen sind heute alle unter landwirtschaftlicher Nutzung. Im feuchteren Bereich wird vor allem Weidewirtschaft getrieben, im oberen trockeneren Talbereich nimmt dagegen der Kartoffelanbau große Flächen ein. Der Primärwald ist vollständig auf die steilen Seitenhänge des Tals zurückgedrängt.

5.1.3 Die Carbonera

Das Gebiet von "La Carbonera" umfaßt den Nordosthang des Tambormassivs in der Nordkordillere. Hier liegt in etwa 2200-2500 m Höhe das Waldreservat San Eusebio der Forstlichen Fakultät der Universität Merida mit einer Größe von etwa 400 ha.

Die Niederschläge betragen hier etwa 1500 mm und steigen zum Gipfel des Tambor hin auf über 1800 mm an.

Der untere Teil des Waldes ist aus Schiefertonen der Formation Colon, Kreide, aufgebaut. Diese Schiefertone verwittern rasch zu einem schluffigen Ton. Darüber folgt nach einer schmalen Schicht der Formation Mito Juan, Kreide, die reich an Schluffsteinen ist, die tertiäre Formation Mirador. Sie zeigt einen häufigen Wechsel rein toniger Schichten mit Sandsteinlagen. Diese Sandsteine bestehen zum Teil aus sehr hartem quarzitischem Material. Im Gipfelbereich des Tambor überwiegen die Sandsteine bei weitem (MARTINEZ, 1963).

Vom geologischen Aufbau ist auch das Relief beeinflusst, das aus einem Wechsel von Verebnungen und steileren Stufen besteht, in das als weitere Überformung das heutige Gewässernetz eingeschnitten ist.

5.1.4 Beobachtungen zur jüngeren Landschaftsgeschichte

Im Gebiet der Carbonera lassen sich zwei geomorphologisch aktive Phasen nachweisen, deren Auswirkung stark durch das Relief beeinflusst wurde.

Deutlich erkennbar ist eine ältere durchgehende Abtragungsphase, die auf den flacheren Geländepartien einen älteren Boden bis in den B/C-Horizont abgetragen hat. Die Abtragungsebene ist stellenweise durch eine Steinsohle aus Sandsteinstücken markiert. Die noch vorhandenen Reste des alten Bodens sind in der Regel stark hydromorph gefleckt, wobei graue Reduktionsfarben überwiegen. Darüber wurde ein 40-80 cm mächtiges Hangsediment (HS II) abgelagert. Stellenweise hat es einen deutlich geringeren Tongehalt von ca. 25-50 % Ton. Eine Abtrennung des Hangsediments von dem älteren Material nur aufgrund der Textur ist jedoch nicht möglich.

An steileren Hängen wurde der ältere Boden vollständig ausgeräumt. Die darüber gelagerte Hangschuttdecke (HS II) ist meist über 60 cm mächtig.

Eine zweite jüngste Abtragungsphase ist an den Steilhängen über 25° Neigung zu erkennen. Während in dem älteren Hangsediment keine Schiefertonsstücke mehr zu finden sind, ist das jüngste Sediment (HS I) an diesen steilen Hängen durch seinen hohen Skelettgehalt bis in den Oberboden von z.T. nur schwach verwitterten Schiefer-tonen charakterisiert.

An anderer Stelle im Bereich des Chamatals bei Merida ließ sich eine jüngere Erosionsphase durch Radiokarbon-Datierung auf 2580 ± 60 Jahre B.P.* schätzen. Daß die hier gefundene Erosionsphase zeitgleich ist, erscheint möglich.

* Analysen durch das Niedersächsische Landesamt für
Bodenforschung, Hannover

Auf flacheren Geländeteilen läßt sich diese jüngste Störung höchstens kleinflächig und oberflächennah feststellen.

Die heutige Bodenoberfläche unter Primärwald erscheint stabil. Erosion erfolgt linienhaft durch die Bäche, die kerbtalartig bis in das frische Gestein eingeschnitten sind.

Im Valle ließen sich besonders gut an zwei Stellen Aussagen zu Fragen der jüngeren Oberflächenformung machen.

a) Die Überformung der T_{II}-Terrasse des Vallecito (Abb.4). Die Terrasse liegt zwischen dem Fluß Mucujun und einem etwa 200-500 m weiter zurückliegenden, steil aufragenden Hügel aus tertiären Sedimenten (überwiegend Schiefer-tonen). Eine quer über die Terrasse laufende im Bau befindliche Wasserleitung bot einen kontinuierlichen Aufschluß. Besonders tief war die Terrasse zudem durch einen am Terrassenrand abwärts führenden Weg aufgeschlossen. Hier beginnen die kristallinen Terrassenschotter in 3 m Tiefe, ohne daß an dieser Grenze Spuren einer Verwitterung oder Bodenbildung feststellbar sind.

Sediment IV: Darüber liegt ein 1,5 m mächtiges Sediment ebenfalls kristalliner Schotter mit einzelnen Schiefer-tonstücken (Tertiär) und unregelmäßiger Schüttung. Das Feinmaterial hat eine gelbbraune Farbe. Den oberen Abschluß dieses Sediments bildet eine hell ockerbraune sandige Lage wechselnder Mächtigkeit (0-40 cm).

Die gelbbraune Farbe des Feinsediments ist sicher durch Einbeziehung in eine Bodenbildung entstanden. Im Westen der Terrasse stellt dieses Feinsediment immer noch den

Abb.4 Überformung der T II-Terrasse im Valle

(Länge des dargestellten Ausschnitts ca.1km,überhöht)

unter akkum.dunklem unter Agro-Kolluvium
A-Hor.gelbbrauner 2 Pseudogley-Profile
b B-Hor. in Sed.IV darunter Reste von Sed.IV

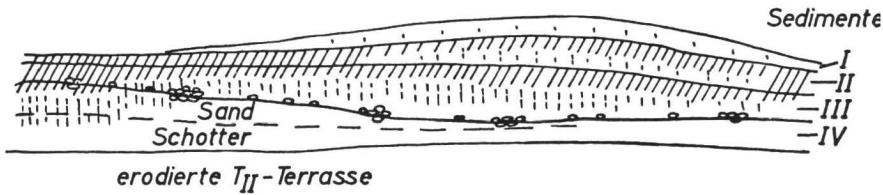
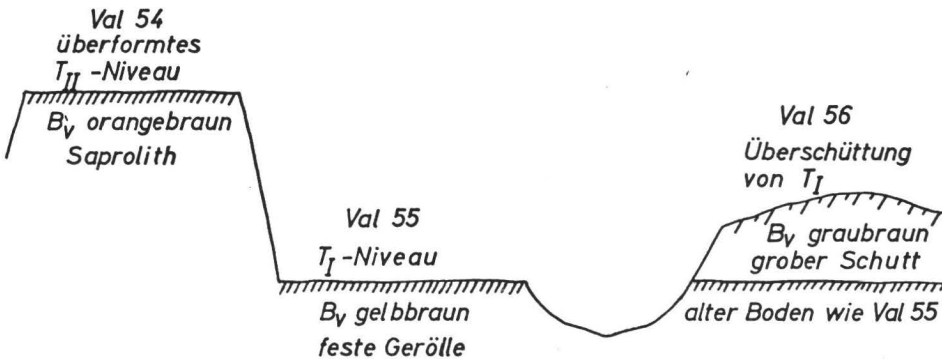


Abb.5 Skizze zur Lage der Profile Val 54-56 (überhöht)



aktuellen B-Horizont dar. Hier erfolgte keine weitere Überschüttung der Terrassenoberfläche mehr, da sich entlang des Tertiärhangs eine Rinne ausgebildet hat, über die der Abtransport erodierten Materials erfolgen konnte. Die gelbbraune Farbe entspricht dem B-Horizont des normalen Bodens der Schotterterrassen im Valle. Daß sich in den darüberliegenden Sedimenten II und III ein grauer gleyartiger Boden entwickelt hat, liegt an der anderen Textur. Dieses Sediment ist sandig, die darüber folgenden sind tonig.

Sediment II und III: Darüber folgt eine Steinlage, die stellenweise zu mächtigeren Steinlinsen aufgeweitet ist. Die Steinlage ist der Beginn einer neuen Sedimentationsphase, bei der in weiten Teilen der alte Boden bis in den B-Horizont erodiert wird. Die jetzt zur Ablagerung kommenden Sedimente sind skelettarme tonige Hangsedimente, die als breiter, 5-6° geneigter Schuttfächer die Terrasse im Osten von dem steilen Tertiärhang her überziehen. Eine erste Sedimentationsphase (III) mit anschließender Bodenbildung wird durch ein voll entwickeltes Gleyprofil gekennzeichnet, in dem unter einem mächtigen Humushorizont ein reduzierter Gr-Horizont folgt.

Darüber liegt (zweite Sedimentationsphase II mit anschließender Bodenbildung) nochmals ein Pseudogley-Profil, das jedoch im oft etwas gestörten A- und auch noch im S-Horizont orangebraune Flecken zeigt, Reste des saprolithartigen rötlichen Tertiärmaterials. Das Sediment ist weniger mächtig und der Boden erscheint schwächer entwickelt.

Sediment I: Darüber folgt als jüngstes Sediment ein mehr gelbbraunes Material, in dem noch kein voller Boden

entwickelt ist, wenn man auch nach oben zu eine etwas dunklere Färbung findet. In einer Kieslinse etwa 1 m unter einem Maisacker fand sich eine Schuhsohle und ein zugesägtes Brett. Das Sediment ist also ein junger Hangschutt, der sich im Zusammenhang mit der Rodung und Landnutzung am Tertiärhang durch den Menschen gebildet hat. Entsprechend findet man an dem Tertiärhang keinen Boden mehr, sondern es steht direkt das z.T. saprolithartig verwitterte Tongestein an.

Wir haben also seit einer alten sehr starken Überformung der Terrasse mit anschließender Bodenbildung zwei instabile Phasen mit folgender Stabilität und Bodenbildung und schließlich als jüngstes eine Agroschutt-Phase.

b) Unterschiedlich alte Terrassenoberflächen als Ausgangsmaterial der Bodenbildung

Weiter unten werden die Profile Val 54, Val 55 und Val 56 beschrieben, die auf unterschiedlich alten Niveaus entwickelt sind. In Abb. 5 ist eine Lageskizze der 3 Profile aufgezeichnet.

Das Profil Val 54 liegt auf einem T_{II} -Terrassenrest mit nur geringer oberflächlicher Überformung.

Val 55 ist ein Bodenprofil auf der gegenüber T_{II} tiefer gelegenen T_I -Terrasse, die an der Stelle von Val 56 eine jüngere Überschüttung erfuhr, ohne dass der alte Boden beseitigt wurde. Das oberflächennahe Material der T_{II} ist deutlich stärker verwittert und entsprechend stärker gefärbt als das der T_I -Oberfläche.

Eine ähnliche Situation wie die zuletzt geschilderte findet man auch im Gebiet der Mucuy.

Auf den Rücken, also im Bereich der lokalen Wasserscheiden,

haben sich unter jüngeren Sedimenten mit intaktem Skelett ältere Hangsedimente mit saprolithartig verwittertem Skelett erhalten und bilden das Ausgangssubstrat der Bodenbildung (ME 20, ME 3). In den Mittel- bis Unterhängen dagegen bilden jüngere, weniger stark vorverwitterte Sedimente das Ausgangsmaterial der Bodenbildung (ME 32).

Eine zusammenfassende Betrachtung der jüngeren Landschaftsgeschichte erscheint aufgrund der wenigen Beobachtungen noch kaum möglich. Wie jedoch bereits für das Trockengebiet gezeigt, findet man auch hier wieder einen Wechsel von Aktivitäts- und Stabilitätszeiten, als dessen bodenkundlich relevantes Ergebnis wir vor allem die unterschiedlich alten Hangsedimente betrachten müssen. Ältere Böden wurden hierdurch mehr oder weniger ausgeräumt und die neu abgelagerten Sedimente enthalten in unterschiedlichem Ausmaß selbst vorverwittertes Material. Auch im Wolkenwaldbereich gab es also eine stärkere Ausräumungsphase mit weitgehendem Abtrag des Bodens. Das zeigt die älteste Sedimentationsphase in der Carbonera, die nur Reste eines älteren grauen Bodens übrig ließ. Ältere, stark hydromorph geprägte Böden fanden FÖLSTER u.a. (1976a,b) auch in den kolumbianischen Anden. Aufgrund von C^{14} -Datierungen an Holzkohle konnte dort ein Wechsel der Bodenbildung von grauen zu gelben Böden nach etwa 20.000 Jahren B.P. angenommen werden. Ob dieser Zeitpunkt auch für die Carbonera zutrifft, bleibt fraglich, obwohl die damit verbundenen klimatischen Änderungen als globale Erscheinung angesehen werden müssen (ROHDENBURG, 1969; FÖLSTER, 1969).

Man ist versucht, die grauen, gleyartigen Böden der Sedimente II und III des Valle ebenfalls andersartigen Klimabedingungen zuzuordnen, d.h. sie als ältere Bodenbildungen einzustufen. Dem widerspricht jedoch, daß darüber nur ein

sehr junges Sediment ohne deutliche Bodenbildung (Agro-Kolluvium) lagert. In ebener Lage ist eine entsprechende hydromorphe Ausprägung toniger Böden auch durchaus als aktueller Prozeß zu beobachten (siehe San Eusebio). Eine zeitliche Zuordnung muß jedoch auch hier zunächst offenbleiben. Wie bereits erwähnt, gibt es auch an anderen Stellen Hinweise für eine jüngere intraholozäne instabile Phase. Allerdings ist in diesem feuchteren Bereich der Wolkenwaldstufe auch damit zu rechnen, daß eine Sedimentation aufgrund lokal begrenzter Rutschungen und Hochwässer erfolgte. Dies zeigt die durch Profil Val 56 repräsentierte Überschüttung entlang eines Seitenbachs, die an den Nachbarbächen nicht zu finden war. Eine Parallelisierung einzelner Sedimentabfolgen ist deshalb hier besonders problematisch.

Die derzeitige Bodendecke ist stabil. Auch der menschliche Eingriff führte nur an besonders gefährdeten Stellen, d.h. vor allem an steilen Hängen, zu lokal begrenztem Abtrag.

5.2 Beschreibung der Bodenprofile

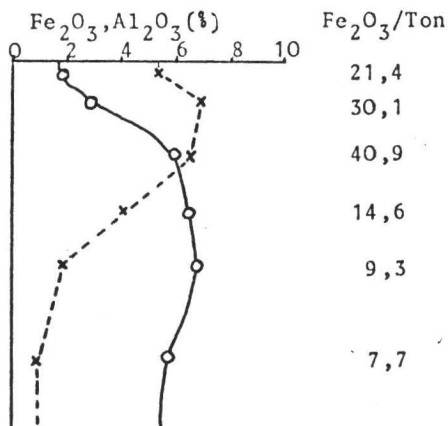
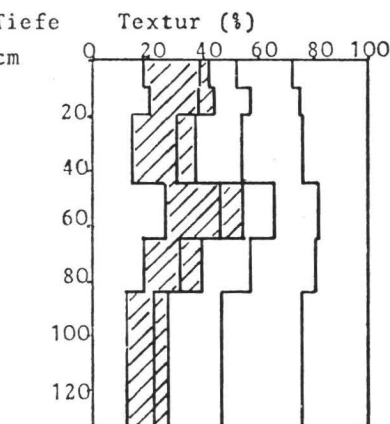
5.2.1 Das Gebiet der Mucuy

Profil ME 20

Das Profil liegt in 2450 m Höhe an einem etwa 38° geneigten Hang in der Nähe des Rückens, also in Oberhanglage. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist ein Hangsediment, das aufgrund der Texturanalyse bei 45 cm einen Wechsel im Sediment vermuten läßt, auf den auch einige feste Skelettstücke in den oberen Horizonten hinweisen. Im Gelände war allerdings keine Sedimentgrenze feststellbar.

Profil ME 20 Sombric Humitropept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
0/1	$O_F O_H$	25	dunkel violettbraun, locker, s. dicht durchwurzelt
0/2	A_{he1}	0-10	schwarzbraun, schwach subpolyedrisch
0/3	A_{he2}	10-20	dunkelbraun, schwach subpolyedrisch
0/4	B_v	20-45	dunkel orangebraun, krümelig, locker
0/5	IIB_{v1}	45-65	kräftig orangebraun, krümelig, locker
0/6	IIB_{v2}	65-85	orangebraun, krümelig, locker
0/7	IIB_v/C_v	85-130	hellgraubraun, Einzelkorngefüge, z.T. schwach kohärent, mäßig dicht



Nr.	pH	C %	C/N	V %
1	2,75	44,4	23,6	n.b.
2	3,2	13,5	19,8	7,1
3	3,6	6,2	13,4	6,0
4	4,2	6,4	22,7	5,7
5	4,55	3,2	23,7	5,0
6	4,5	1,6	24,5	5,0
7	4,65	0,6		6,7

Im unteren Teil (unter 1 m) enthält das Sediment einen hohen Anteil an Gesteinsblöcken, die bereits saprolith-artig vergrust sind, jedoch nach Farbe und Textur noch das Ausgangsmaterial (Gneise) erkennen lassen.

Das Bodenprofil ist unter geschlossenem Primärwald entwickelt. Unter einer geringen O_L -Lage findet sich eine 25 cm mächtige O_F/O_H -Lage aus einem dunkel violett-braunen, intensiv durchwurzelten Feinhumus in sehr lockerer Lagerung.

Der sehr dunkle A-Horizont mit einem breiten, fließenden Übergang zum B-Horizont ist an diesem Profil besonders auffallend. Die chemischen Daten geben ein entsprechendes Bild mit 27 % Humus in Horizont 2 und einer nur langsamen Abnahme nach unten. So beträgt der Humusgehalt im B-Horizont noch 6-12 %. Das C/N-Verhältnis liegt in der Humusaufgabe bei 24 und nimmt nach unten zu ab. Ein anderes auffallendes Geländemerkmal des Profils ist der kräftig orangebraun gefärbte B-Horizont. Die Analysen der Sesquioxide ergaben in diesem Horizonten einen sehr hohen Anteil des freien Eisens von bis zu 7 % Fe_2O_3 , wobei der oberste Mineralbodenhorizont eine gewisse Verarmung erkennen läßt. Im Profil ist der Prozeß an gebleichten Quarzkörnern erkennbar.

Das Gefüge des Mineralbodens läßt sich folgendermaßen beschreiben: Horizont 2 zerfällt in kleine subpolyedrische Aggregate, mit nur geringer Festigkeit. Die Matrix ist dunkel humos und locker. Horizont 3 ist sehr ähnlich mit einer etwas helleren Matrix. Ebenfalls noch dunkel, kräftig orangebraun gefärbt ist Horizont 4. Der Boden ist schwach aggregiert in leicht zerreibbare krümelige bis schwach subpolyedrische Aggregate.

Horizont 5 und 6 ist aus kleinen bis sehr kleinen gerundeten Aggregaten aufgebaut, die untereinander nur schwach kohärent sind. Der Boden ist immer noch locker, eine Humusfärbung ist nicht mehr erkennbar. Horizont 7 besteht überwiegend aus grusig verwittertem Skelett mit noch deutlich erkennbaren Gesteinsstrukturen. Einzelne Wurzeln gehen bis in diese Tiefe.

Profil ME 32

In der Nähe des vorigen Profils liegt ME 32. Die Reliefposition entspricht jedoch mehr einem Unterhang mit einer Hangneigung von 30° .

Im Gegensatz zu ME 20 handelt es sich hier um ein jüngeres Sediment. Das Sediment enthält noch unverwitterte harte Skelettstücke, der B-Horizont ist weniger kräftig gefärbt (10YR7/3 gegenüber 7,5YR6/6 bei ME 20) und enthält weniger dithionithlösliches Eisen.

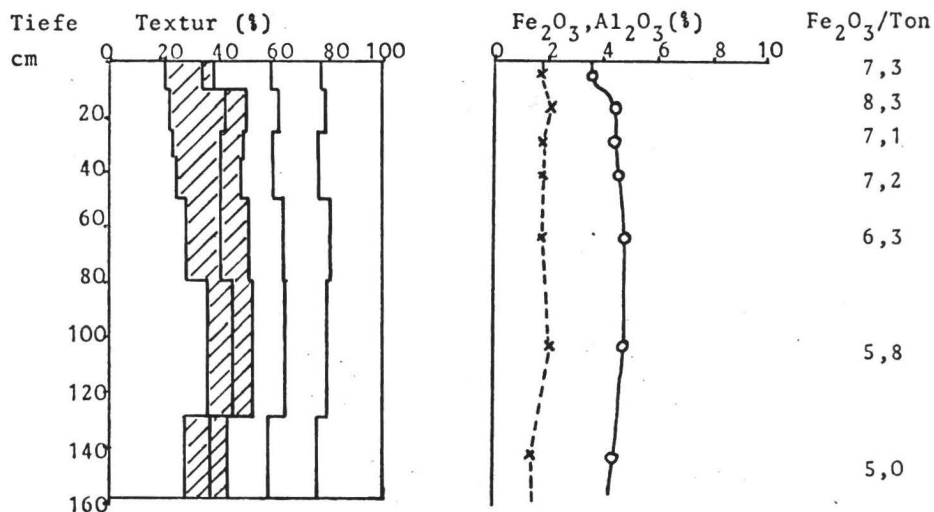
Bei 80 cm Tiefe liegt ein Sedimentwechsel zu einem verlagerten älteren Hangsediment.

Das Profil befindet sich ebenfalls unter Primärwald. Eine Humusaufgabe ist nicht vorhanden. Humusgehalte und -verteilung im Profil sind ähnlich wie in ME 20.

Der A_h -Horizont hat als Gefüge große krümelige feste Aggregate mit einzelnen gebleichten Quarzkörnern. Im Übergang zum B-Horizont wechselt das Gefüge zu kleineren subpolyedrischen Aggregaten. Im B-Horizont (Horizont 4 und 5) ist die Tendenz zur Ausbildung dieser subpolyedrischen Aggregate nur noch schwach, das Gefüge ist stärker kohärent. Die Horizonte 6 und 7 in dem älteren Sediment

Profil ME 32 Oxic Humitropept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _{h1}	0-10	schwarzbraun, große, krümelige Aggregate, locker
2	A _{h2}	10-25	dunkel graubraun, krümelig, mäßig locker
3	A _h /B _v	25-35	dunkel graubraun, subpolyedrisch
4	B _{v1}	35-50	dunkel gelblichbraun, subpolyedrisch
5	B _{v2}	50-80	gelblichbraun, bröckelig kohärent, mäßig locker
6	II B _v /C _v	80-130	gelblichbraun, subpolyedrisch, mäßig dicht
7	II B _v /C _v	130-160	gelblichbraun, subpolyedrisch, mäßig dicht



Nr.	pH	C	C/N	V
		%		%
1	2,8	11,1	14,8	37,4
2	3,9	7,3	15,0	12,2
3	4,15	4,5	18,4	10,0
4	4,25	2,6	17,0	6,5
5	4,3	2,0		6,5
6	4,35	1,2		6,4
7	4,45	0,9		4,9

haben dagegen wieder ein deutlicher subpolyedrisches Aggregatgefüge. In dem oberen Sediment I beträgt der Skelettanteil etwa 30 % mit überwiegend Feinkies. Sediment II hat dagegen einen höheren Anteil gröberer Blöcke, die z.T. jedoch bereits saprolithartig vergrust sind.

Profil ME 56

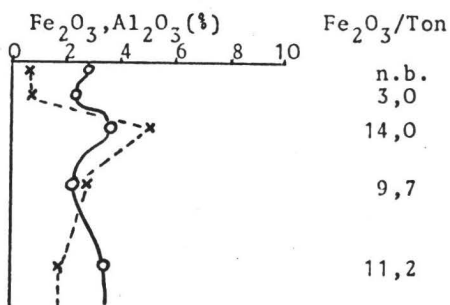
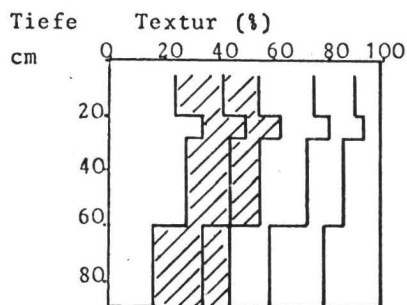
Dieses Profil liegt südlich von Merida in 3000 m Höhe in der Nähe der Waldgrenze unter einer niedrigen (10-12 m hohen) Waldvegetation, auf einem etwas abgeflachten Hang von 20° Neigung. Der Boden ist in einem Hangsediment entwickelt, das keine Sedimentgrenzen erkennen läßt.

Der Boden zeigt das morphologische Bild eines Podsolprofils. Unter einer geringen Laubstreu folgt ein 30 cm mächtiger (O_F)/ O_H -Horizont (Horizont 1 und 2), bestehend aus einer dunkelviolettbraunen Feinsubstanz, schwach aggregiert, sehr locker und von einem dichten Wurzelfilz durchzogen.

Horizont 3 stellt einen Übergang vom O_H zum A_h -Horizont dar. Kleinflächig wechselt hier schwarze schmierige Humussubstanz mit dunkelhumosem Mineralboden. Das Gefüge ist schwach kohärent. Darunter folgt ein A_e -Horizont. Die Lagerung ist mäßig dicht mit noch einem hohen Grobporenanteil und mittlerer Durchwurzelung, das Gefüge ist kohärent, zerlegbar in einzelne größere unregelmäßige Aggregate. Der Horizont ist hellgrau gebleicht mit einer dunkleren Humusinfiltration in den obersten cm. Nach unten zu tritt die Humusfärbung nur noch an Spaltoberflächen oder entlang von Grobporen (Wurzelröhren) auf. Diese Humusüberzüge auf Oberflächen lassen sich in abnehmender Menge über das gesamte Profil bis in den untersten Horizont beobachten.

Profil ME 56 Spodic Dystropept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	$O_F O_H$	10	dunkel violettbraun, locker, sehr dicht durchwurzel
2	$O_F O_H$	20	" " "
3	O_H/A_{he}	0- 5	grauschwarz, brüchig kohärent, z.T. schmierig
4	SA_e	5-20	hellgrau, humusfleckig, brüchig kohärent, mäßig dicht
5	SB_s	20-28	fleckig braunorange bis grau, brüchig kohärent, mäßig dicht
6	B_v	28-60	gelblich hellbraun, brüchig kohärent, mäßig dicht
7	B_v/C_v	60-90	fahlbraun, brüchig kohärent, mäßig dicht, noch schwach durchwurzelt



Nr.	pH	C %	C/N	V %
1	3,05	47,3	30,1	n.b.
2	2,85	46,2	28,3	n.b.
3	3,05	21,6	22,6	n.b.
4	3,5	2,8	23,1	6,7
5	3,75	2,7	27,9	2,1
6	3,6	1,3		2,3
7	3,9	1,0		6,1

Im unteren Teil des A_e-Horizonts finden sich entlang einzelner Poren orangebraune diffuse Eisenanreicherungen. Sie werden im darunter folgenden Horizont noch ausgeprägter und häufiger. Außerdem ist die Matrix nicht mehr so stark gebleicht, obwohl sich blasser gelbliche Zonen von gelbbraunen Zonen unterscheiden lassen. Die Übergänge sind diffus, die stärker reduzierten Partien überwiegen. Neben der Eisenanreicherung, die auch analytisch deutlich wird, liegt offenbar auch noch ein Stauwassereinfluß vor. Das Gefüge ist kohärent bis fein subpolyedrisch.

Horizont 6 hat eine weitgehend homogen gelbbraune Matrix ohne Fleckung, jedoch noch mit zahlreichen humosen Überzügen. Das Gefüge ist kohärent.

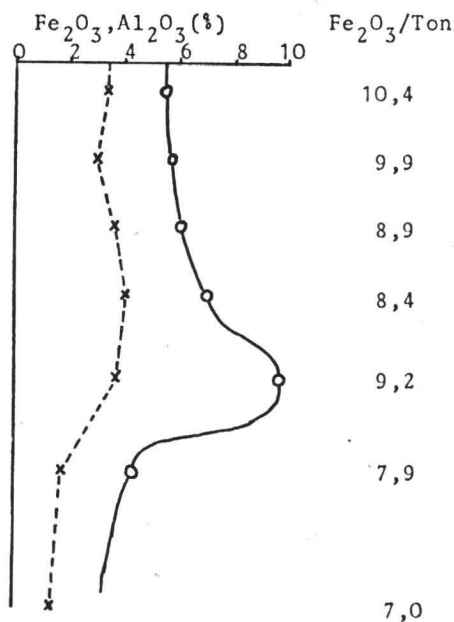
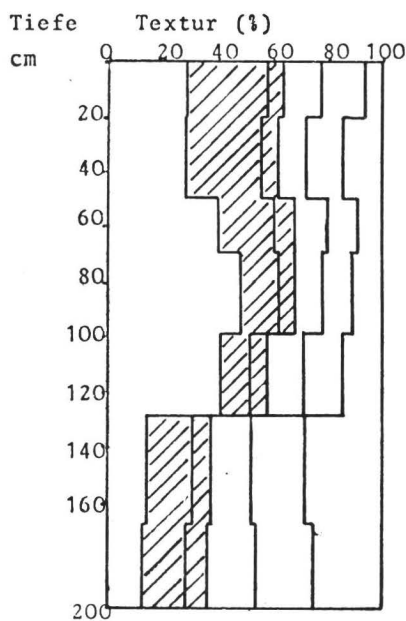
Der unterste Horizont hat einen höheren Anteil (30 %) an grobem Skelett, das großenteils Saprolithcharakter zeigt. Die Farbe ist homogen gelbbraun mit noch vereinzelten Humusüberzügen. Das Gefüge ist kohärent und dichter als die darüber liegenden Horizonte.

Profil ME 3

Das Profil ME 3 liegt in nur 1700 m Höhe, also bereits etwas unterhalb der Wolkenwaldstufe. Bis in diese Höhenlage ist der Primärwald gerodet und als Weide genutzt. Heute liegt das Profil unter einem lichten Sekundärwald mit einer noch fast geschlossenen Grasnarbe. Von der Reliefposition her liegt das Profil mitten auf einem flachen, etwa 20° geneigten Rücken. Zu den seitlichen, stärker geneigten Hängen hin ist der Boden deutlich erodiert.

Profil ME 3 Oxie Humitropept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _{h1}	0-20	dunkelbraun, krümelig bis subpolyedrisch, mäßig locker, sehr stark durchwurzelt
2	A _{h2}	20-50	dunkelbraun, subpolyedrisch
3	II B _{v1}	50-70	dunkel orangebraun, subpolyedrisch, mäßig locker
4	II B _{v2}	70-100	kräftig orangebraun, subpolyedrisch
5	II B _v /C _v	100-130	orangebraun, schwach subpolyedrisch
6	III C _{v1}	130-170	gelblich braun, subpolyedrisch, mäßig dicht
7	III C _{v2}	170-240	hell graubraun, subpolyedrisch bis bröckelig kohärent, noch schwach durchwurzelt



Nr.	pH	C %	C/N	V %
1	3,85	5,1	17,3	16,7
2	3,9	3,9	19,7	11,4
3	4,05	1,6	15,2	5,9
4	4,1	1,0	13,2	4,9
5	4,1	0,6		5,5
6	4,05	0,2		8,4
7	4,0	0,1		30,6

Wie auch die Texturanalyse zeigt, ist der Boden in drei Sedimenten entwickelt. Das obere Sediment umfaßt den ca. 50 cm mächtigen A_h -Horizont. Es enthält etwa 30 % Skelett in Form von harten Kiesen.

Das Sediment II ist toniger und skelettärmer.

Ab 130 cm folgt ein blockreicher Hangschutt, der weitgehend zu einem Saprolith verwittert ist.

Der dunkelbraune A_h -Horizont hat ein subpolyedrisches Aggregatgefüge mit einzelnen Kotkrümeln. Der Übergang zum B-Horizont ist unscharf, die Aggregate werden kleiner.

Die Farbe des B-Horizonts ist kräftig orangebraun mit nach unten abnehmender Intensität. Im Saprolithbereich unter 130 cm dominieren hellgraubraune Farben, meist noch die Ausgangsfarbe der Gneise. Biotitreiche Partien haben stellenweise feine rötliche Eisenkrusten. Das Gefüge ist bröckelig kohärent mit mäßig dichter Lagerung.

5.2.2 Die Böden der Flußterrassen im Valle

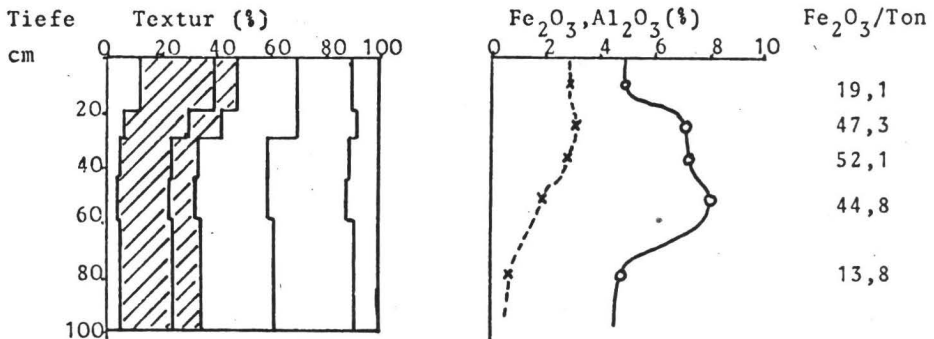
Profil Val 55

Auf einer langgestreckten, etwa 8° geneigten Schuttfächerartigen Seitenterrasse nördlich des Mucujun liegt das Profil Val 55 in 2250 m Höhe. Die Terrasse ist hier durch einen etwa 10 m tief eingeschnittenen Bach aufgeschlossen. Der Boden ist in einer sandigen skelettfreien Überdeckung des aus groben Schottern aufgebauten Schuttfächers entwickelt. Innerhalb des Bodenprofils erscheint das Sediment homogen.

Auffallend ist der fast schwarze A_h -Horizont aus subpolyedrischen bis krümeligen Aggregaten. Er ist mäßig locker,

Profil Val 55 Typic Humitropept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _{h1}	0-20	schwarz, humos kohärent bis subpolyedrisch, sehr dicht durchwurzelt
2	A _{h2}	20-30	schwarz, kohärent bis schwach subpolyedrisch
3	(A _h)B _v	30-45	dunkelbraun, schwach subpolyedrisch, mäßig lock
4	B _v	45-60	gelblichbraun, bröckelig kohärent, mäßig locker schwach durchwurzelt
5	B _v /C _v	60-100	graubraun, Einzelkorngefüge, z.T. schwach kohäre mäßig dicht



Nr.	pH	C	C/N	V
		%		%
1	4,15	10,5	20,8	10,6
2	4,4	7,2	20,1	8,7
3	4,7	5,0	18,7	10,7
4	4,9	3,2	19,0	11,0
5	5,0	1,4		13,3

stark durchwurzelt und hat einzelne gebleichte Quarzkörner. Nach unten geht er in einer breiten, diffusen Zone mit dunkelbrauner Färbung in den B-Horizont über. Dieser ist gelblichbraun, bröckelig kohärent und besonders im oberen Teil auch noch mit kleineren subpolyedrischen Aggregaten.

Der C_v-Horizont hat ein Einzelkorngefüge mit bereits einem Kiesanteil von 10 %. Es ist ein hellgraubrauner Sand in mäßig dichter Lagerung.

Die aktuelle Vegetation des Profils ist Weide.

Profil Val 56

Dieser Boden ist in einem jungen, skelettreichen (70 %) Sediment entwickelt, das entlang eines Seitenbachs über den Schuttfächer geschüttet wurde, in dem das nur 50 m entfernte Profil Val 55 liegt. Das Material ist durch einen Anteil von Schiefertönen im Skelett charakterisiert, es enthält also neben den überwiegenden kristallinen Schottern auch tertiäres Material.

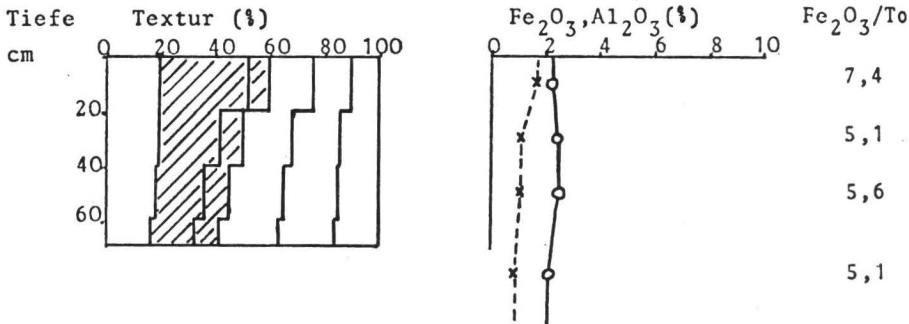
Der Boden hat gegenüber Val 55 einen deutlich geringeren Entwicklungsgrad. Der A-Horizont ist zwar schon stark ausgeprägt, der B-Horizont dagegen farblich noch kaum vom Ausgangsmaterial abgesetzt. Der dunkelgraubraune A-Horizont hat eine schwach kohärente, mäßig lockere Matrix, die in mittelgroße, klumpige Aggregate zerfällt. Der blaßbraune B-Horizont ist ebenfalls schwach kohärent.

Zum C_v-Horizont hin wird die Farbe noch blasser, das Gefüge ist schwach kohärent, das Skelett dicht von Feinmaterial umschlossen, so daß eine dichte, hohlraumarme Lagerung entsteht.

Das Profil liegt unter Weide.

Profil Val 56 Oxic Humitropept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _h	0-20	schwarz, bröckelig kohärent, mäßig locker, dicht durchwurzelt
2	B _{v1}	20-40	blaßbraun, schwach kohärent, mäßig dicht
3	B _{v2}	40-60	blaßbraun, kohärent, mäßig dicht
4	C _v	60-70	graubraun, kohärent, dicht, sehr schwach durchwurzelt



Nr.	pH	C	C/N	V
		%		%
1	4,0	6,8	17,1	25,6
2	4,25	2,0	14,8	13,1
3	4,3	1,2	14,0	11,2
4	4,4	0,6		14,6

Profil Val 54

Ebenfalls in der Nähe von Val 55 liegt am unteren Rand einer höher gelegenen und älteren Terrasse das Profil Val 54.

Die heutige Vegetation ist Weide.

Im Profilbereich lassen sich zwei Sedimente unterscheiden. Bis 50 cm liegt ein etwa 10 % Skelett enthaltendes Sediment. Das Skelett ist fest, in der untersten Zone finden sich harte kristalline Schotter, die außen eine rotbraune Eisenkruste haben. Sediment II hat einen nach unten zunehmenden Skelettgehalt von 40 % mit z.T. bereits saprolithartig vergrusten Blöcken.

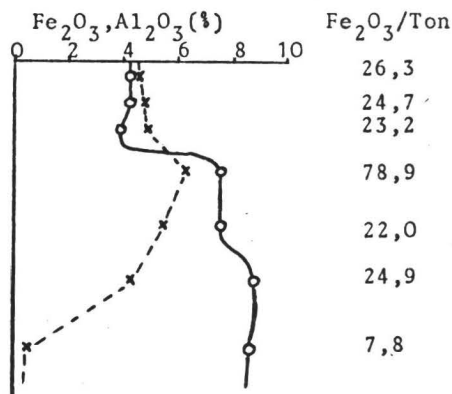
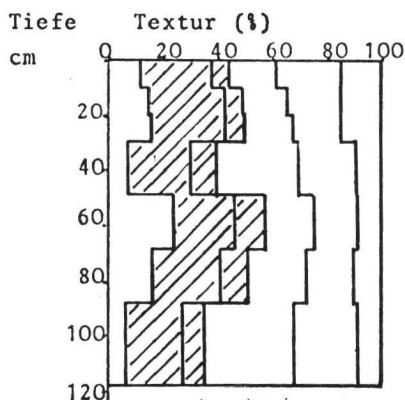
Die Eisenverteilung im Profil, und zwar sowohl das Gesamteisen als auch das Dithionit-lösliche Eisen, zeigt zwei Unregelmäßigkeiten, die wohl sedimentär bedingt sind und deshalb hier mit diskutiert werden sollen. Der höhere Eisengehalt in Horizont 4 ist wahrscheinlich durch die eisenreichen Skelettanteile - die teilweise, vielleicht auch durch die Probenaufbereitung verstärkt, noch zur Sandfraktion gehören - bedingt. Zum Teil stellt dieses Skelett wohl eine Steinsohle dar, die bei der partiellen Ausräumung eines älteren, stärker verwitterten Bodens zurückgeblieben ist. Eventuell kann hier auch noch eine geringe laterale Eisenverlagerung und Anreicherung dazukommen, die eindeutig im nächsten Profil (Val 53) gezeigt werden kann, das auf der gleichen Terrasse nur etwa 200 m entfernt liegt.

Im untersten Horizont von Val 54 treten nur sehr geringe Mengen freien Eisens bei einem auch etwas verringerten Gesamteisengehalt auf. Dafür ist wohl die Heterogenität des Saproliths verantwortlich.

Der Boden ist auffallend kräftig gefärbt.

Profil Val 54 Oxic Humitropept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _{h1}	0-10	schwarz, humos kohärent, mäßig locker, Wurzelfilz
2	A _{h2}	10-20	schwarz, humos kohärent, stark durchwurzelt
3	A _{h3}	20-30	schwarz, humos kohärent, mäßig locker
4	B _{v1}	30-50	dunkel orangebraun, bröckelig kohärent bis schwach subpolyedrisch, mäßig locker, mäßig durchwurzelt
5	II B _{v2}	50-70	kräftig orangebraun, bröckelig kohärent, mäßig locker
6	II B _{v3}	70-90	kräftig orangebraun, bröckelig kohärent
7	II C _v	90-120	fahlbraun, schwach kohärentes Einzelkorngefüge, mäßig dicht



Nr.	pH	C	C/N	V
1	3,9	12,6	18,3	18,9
2	3,9	10,3	19,0	5,3
3	3,9	9,9	33,0	4,2
4	4,6	4,6	22,6	9,5
5	4,8	2,4	19,8	9,0
6	4,85	2,0	19,5	6,8
7	5,0	1,3	18,3	7,7

Der schwarze A-Horizont besteht aus kleinen Krümeln. Mit der Tiefe wird er stärker kohärent. Es zeigen sich einzelne gebleichte Quarzkörner. Der Horizont ist locker und stark durchwurzelt. Horizont 4 ist durch den Humus noch dunkelbraun gefärbt, das Gefüge ist kohärent bis schwach subpolyedrisch.

Der B-Horizont ist orangebraun, das Gefüge ist locker aus sehr kleinen subpolyedrischen Aggregaten aufgebaut. Mit der Tiefe wird die Farbe blasser und die Kohärenz der porösen Matrix nimmt ab.

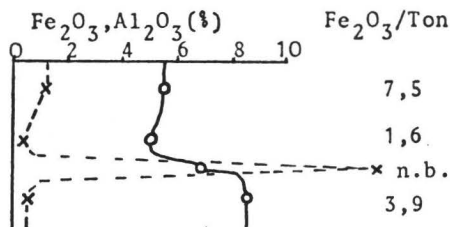
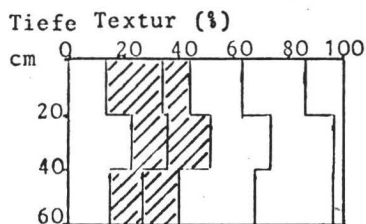
Horizont 7 ist ein C_v -Horizont im Saprolith mit den Farben des Ausgangsgesteins, das weitgehend grusig zerfallen ist. Er hat ein Einzelkorngefüge und ist mäßig dicht gelagert.

Profil Val 53

Wie bereits erwähnt, liegt dieses Profil auf der gleichen Terrassenfläche wie Val 54, jedoch in einer fast skelettfreien sandigen Schicht. Unter einem dunkel graubraunen A-Horizont folgt ein hellgrauer Horizont mit einer diffusen Humusfleckung und kleineren ungebleichten Zonen. In 40 cm Tiefe liegt ein 2 cm dickes, diffuses Eisenband. Daß es durch Podsolierung der darüber liegenden Horizonte entstanden ist, erscheint unwahrscheinlich, da der darunter folgende Horizont ebenfalls gebleicht ist, mit einer mehr diffus bräunlichen Fleckung. Das gesamte Profil ist also deutlich hydromorph beeinflusst. Das Eisenband ist deshalb wohl durch laterale Verlagerung und Anreicherung entstanden. Dies zeigt sich am eindeutigsten anhand der Eisenfraktionen (Abb. 10). Das silikatische Eisen läßt im gesamten Profil keine Änderungen erkennen, der Gesamteisengehalt ist im A-Horizont sogar gegenüber Horizont 2

Profil Val 53 Spodic Tropaquept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _h	0-20	dunkel graubraun, bröckelig kohärent, mäßig locker, dicht durchwurzelt
2	SA _e	20-39	fleckig hellgrau bis blaßbraun, kohärent, mäßig dicht
3	B _s	39-41	kräftig rotorange, gleichmäßig diffuses Eisenband kohärent, mäßig dicht
4	SB _v	41-60	grau, kohärent, mäßig dicht



Nr.	pH	C %	C/N	V %
1	3,95	5,9	n.b.	n.b.
2	3,9	1,5	n.b.	n.b.
3	4,1	n.b.	n.b.	n.b.
4	4,4	n.b.	n.b.	n.b.

und 4 erhöht. Es ist also kein durch Verwitterung und Verlagerung entstandener Gradient von oben nach unten erkennbar.

Ein weiteres Indiz ist die Aluminiumverteilung, die im Bereich des Eisenbands einen mittleren Wert hat, also keinesfalls ein Maximum erkennen läßt, wie das für einen Podsol-B_s-Horizont zu erwarten wäre.

Nicht klar erkennbar ist die Ursache für die Bildung des Eisenbands gerade an dieser Stelle. Im Bereich der Paramos findet man Eisenbänder fast ausschließlich an der Grenzfläche zu geringer durchlässigen Schichten. Ein Gradient in der Wasserleitfähigkeit muß wohl auch in diesem Falle angenommen werden, wenn auch die Texturverteilung und das makroskopisch ansprechbare Gefüge keine deutlichen Unterschiede zwischen den Horizonten 2 und 4 zeigen.

Profil Val 45

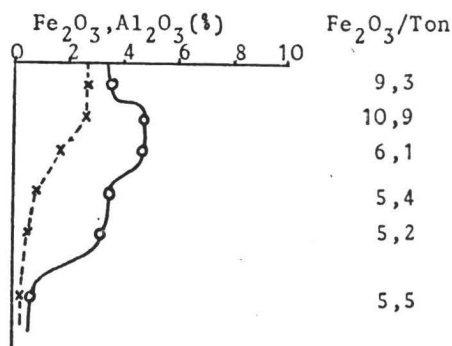
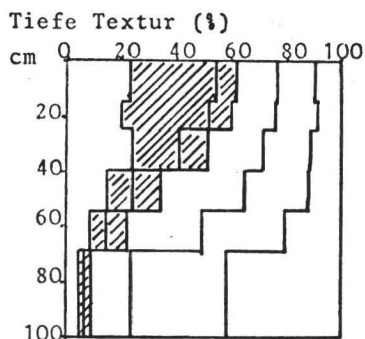
In 2600 m Höhe unter einer Sekundärbusch-Vegetation liegt das Profil Val 45. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist ein grober Schotter, der nach oben feinsandenreicher wird. Der Skelettgehalt nimmt von etwa 20 % in Horizont 1 auf etwa 80 % in Horizont 6 zu.

Unter einem mächtigen schwarzen A-Horizont folgt ein breiter dunkelgraubrauner Übergang zu dem gelblichbraunen B_v-Horizont, der nach unten allmählich in den hellgraubraunen C_v-Horizont übergeht.

Das Gefüge im gesamten Boden ist brüchig kohärent. Mit abnehmendem Humusgehalt wird die Kohärenz jedoch immer schwächer. Der C_v-Horizont hat ein schwach kohärentes Einzelkorngefüge.

Profil Val 45 Typic Humitropept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _{h1}	0-15	schwarz, kohärent, mäßig locker, dicht durchwurzelt
2	A _{h2}	15-25	braunschwarz, bröckelig kohärent, mäßig locker
3	A _h /B _v	25-40	dunkelgraubraun, bröckelig kohärent,
4	B _{v1}	40-55	gelblichbraun, schwach kohärentes Einzelkorngefüge
5	B _{v2}	55-70	hellbraun, schwach kohärentes Einzelkorngefüge
6	C _v	70-100	hell graubraun, Einzelkorngefüge, mäßig locker



Nr.	pH	C	C/N	V
1	4,5	9,6	n.b.	n.b.
2	4,5	7,8	n.b.	n.b.
3	4,6	5,1	n.b.	n.b.
4	4,7	2,7	n.b.	n.b.
5	4,75	2,2	n.b.	n.b.
6	4,85	0,8	n.b.	n.b.

5.2.3 Die Böden im Gebiet von La Carbonera

Bisher wurden nur einzelne Profile beschrieben. Was fehlte, war das Aufzeigen kleinflächiger Änderungen des Bodens z.B. durch das Relief. Dies verbot sich einmal durch die Größe des Untersuchungsgebiets, zum andern besteht die Schwierigkeit, daß die Ursache für unterschiedliche Ausprägungen des Bodens am Hang vor allem der modifizierte Wasserhaushalt ist, der bei einer normalen Profilansprache im Gelände in der Regel nicht hinreichend genau erfaßt werden kann. Da von anderer Seite in dem Universitätswald San Eusebio punktuelle ökosystemanalytische Untersuchungen durchgeführt wurden, war es hier möglich, detailliertere kleinflächige Untersuchungen unter Einbeziehung des Wasserhaushalts durchzuführen. Neben der bodengenetischen Fragestellung stand bei diesem Teil der Arbeit von Anfang an eine standortskundliche Betrachtung mit im Vordergrund.

Die Vegetation dieses Gebiets, noch überwiegend Primärwald, zeigt eine große Heterogenität, die die Frage, welche Faktoren diese Vielfalt bedingen, besonders interessant erscheinen ließ. Deshalb wurde nach den bodenkundlichen Untersuchungen gemeinsam mit Herrn H. Hoheisel geprüft, ob aufgrund der bodenkundlichen Gliederung auch eine sinnvolle Vegetationsgliederung möglich ist. Dies konnte auch tatsächlich gezeigt werden (Hetsch u. Hoheisel, 1976).

Die zusätzlich vorhandene standortskundliche Fragestellung erforderte ein anderes methodisches Vorgehen. So wurde zunächst anhand einer Serie von ca. 150 Bohrungen entlang von 4 Schneisen quer durch das Gebiet versucht, sich ein Bild von der vorhandenen Variation der Boden-
decke zu machen.

Als Ergebnis kann für die bodengenetische Fragestellung eine Hydrosequenz vorgestellt werden, die sich in 7 Bodeneinheiten (Pedon 1 bis Pedon 7) gliedern läßt.

Im folgenden sollen zunächst diese Glieder der Sequenz beschrieben werden, wobei nicht wie bisher konkrete Profile vorgestellt werden, sondern aufgrund der zahlreichen Beobachtungen wird der jeweilige Typ als Mittelwert der einzelnen Bohrprofile beschrieben. Lediglich die Analysendaten beziehen sich dann wieder auf konkrete Profile. Diese 7 Einheiten repräsentieren die tonigen Substrate mit Tongehalten über etwa 20 %. Diese sind flächenmäßig weitaus am häufigsten, während schluffig-sandige Substrate mehr sporadisch auftreten. Um auch für letztere ein Beispiel zu geben, werden am Schluß die beiden Profile SEU 34 und SEU 36 beschrieben.

Beschreibung der Hydrosequenz

Zur Gliederung der Bodeneinheiten muß zunächst noch einmal an die verschiedenen Hangsedimente erinnert werden. Pedon 1 ist charakterisiert durch das jüngste Hangsediment HS I.

Man findet hier typischerweise noch unverwitterte Schiefer-tonstücke bis in den A-Horizont.

Das ältere Hangsediment (HS II) ist fast vollständig Ausgangsmaterial für Pedon 2 und 3, während es bei den restlichen Peden meist nur noch den oberen Teil des Profils einnimmt. Gegenüber dem darunterfolgenden sehr tonigen Material (über 50 % Ton, Paläobodenreste) ist es deutlich schluffreicher.

Der Humushorizont ist bei Pedon 1 und 2 etwa 30-40 cm mächtig, dunkel ockerbraun mit einem gleichmäßigen,

allmählichen Übergang zum B-Horizont. Humusfarbene Tiergänge finden sich noch bis etwa 60 cm Tiefe.

Bereits in Pedon 2 findet man jedoch im A-Horizont bis zu kieselgroße, gebleichte Bodenaggregate, die von einer dünnen rostbraunen Zone umgeben sind. Diese Bleichungstendenz des A-Horizont wird bei den Peden 3 bis 5 immer ausgeprägter. Pedon 5 ist dann (wie auch Pedon 6) bereits vollständig gebleicht und hat in Abhängigkeit vom Humusgehalt eine mittel- bis dunkelgraue Farbe.

Die biologische Aktivität ist bei diesen Typen noch hoch, jedoch scheint sie sich zunehmend auf den oberflächennäheren Bereich zu beschränken. Entsprechend findet man nirgendwo eine mächtigere Humusauflage außer einer nur wenige cm mächtigen L-Schicht und stellenweise eine sehr geringe F-Schicht.

Pedon 7 ist natürlicherweise waldfrei. Der Mineralboden des A-Horizontes ist auch gebleicht, erhält jedoch durch den Humus eine fast schwarze Farbe. Das ist wohl auf die melanisierende Wirkung der Grasflora zurückzuführen, denn der Humusgehalt ist gegenüber Pedon 5 und 6 nicht erhöht.

Eine hydromorphe Ausprägung des B-Horizontes läßt sich folgendermaßen beschreiben:

Die steile Hanglage und das besonders lockere Hangsediment von Pedon 1 verhindern offenbar jeglichen Wasserstau im Boden. Auch Pedon 2 zeigt im B-Horizont keine Fleckung. Er ist homogen kräftig orangegelb gefärbt.

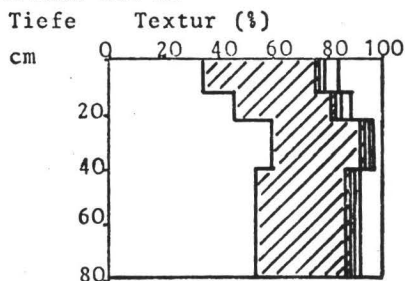
Pedon 3 ist blasser gefärbt und zeigt im Unterboden eine deutliche, wenn auch schwach ausgeprägte Fleckung.

Bei Pedon 4 ist der gesamte Boden hydromorph überprägt.

Pedon 1 Oxic Humitropept

Hor.	Tiefe	Beschreibung
A _h	0-20	dunkelbraun, subpolyedrisch mit Kotkrümeln, locker, stark durchwurzelt
A _h /B _v	20-30	braun, subpolyedrisch, locker, stark durchwurzelt
B _v	30-60	gelbbraun, schwach subpolyedrisch, locker
B _v /C _v	60-100	gelbbraun, schwach subpolyedrisch, mäßig locker, schwach durchwurzelt

Profil SEU 32

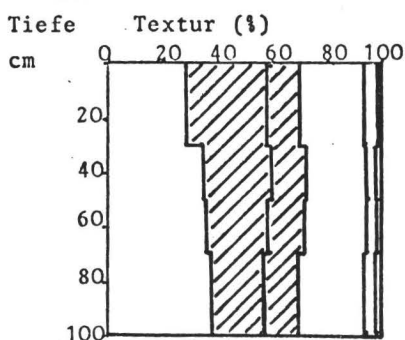


Tiefe cm	Nr.	pH	C %	C/N	V %
0-5	1	3,6	14,2	13,5	22,4
5-12	2	3,7	10,0	9,7	9,9
12-22	3	3,7	6,4	9,1	6,8
22-40	4	3,8	2,4	6,6	3,9
40-80	5	3,8	1,3	6,6	2,7

Pedon 2 Oxic Humitropept

Hor.	Tiefe	Beschreibung
A _h	0-15	dunkelbraun, subpolyedrisch, locker, stark durchwurzelt
A _h /B _v	15-25	dunkel orangebraun, subpolyedrisch bis kohärent, mäßig locker, stark durchwurzelt
B _v	25-60	orangebraun, kohärent bis schwach subpolyedrisch, mäßig dicht, schwach durchwurzelt
B _v /C _v	60-100	orangebraun, kohärent, mäßig dicht, schwach durchwurzelt

Profil SEU 11



Tiefe cm	Nr.	pH	C %	C/N	V %
0-15	1	3,5	7,8	12,2	13,6
15-30	2	3,7	4,8	12,9	10,4
30-50	3	3,8	1,9	11,4	4,7
50-70	4	3,8	0,9	9,3	2,4
70-95	5	3,8	0,7	10,4	3,6

Pedon 3 Aquic Humitropept

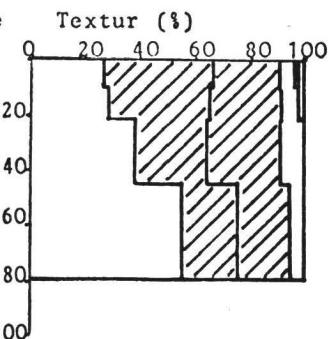
Hor.	Tiefe	Beschreibung
A _h	0- 8	dunkelbraun, schwach subpolyedrisch, locker, sehr stark durchwurzelt
A _h /B _v	8-15	blau gelbbraun, kohärent, mäßig locker, stark durchwurzelt
B _v	15-45	blaußbraun, kohärent, mäßig locker, mäßig durchwurzelt
S _w B _v	45-100	blaußbraun, teilweise fleckig marmoriert, mäßig dicht, sehr schwach durchwurzelt

(Keine Analysendaten vorhanden)

Pedon 4 Aquic Humitropept

Hor.	Tiefe	Beschreibung
A _h	0- 6	dunkelgrau braun, subpolyedrisch, locker, sehr stark durchwurzelt
A _h S _w	6-20	grau braun, kohärent, mäßig locker, stark durchwurzelt
S _w	20-40	blaußbraun, orange marmoriert, kohärent, mäßig dicht, schwach durchwurzelt
S _d	40-70	grau braun bis orangebraun marmoriert, mäßig dicht
II S _d	70-100	hellgrau bis orangebraun marmoriert, kohärent, dicht, keine Wurzeln

il SEU 29

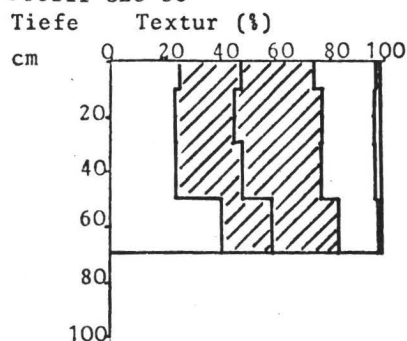


Tiefe cm	Nr.	pH	C %	C/N	V %
0- 5	1	3,3	7,8	16,2	16,7
5-10	2	3,2	6,3	15,1	n.b.
10-22	3	3,4	4,3	10,9	5,4
22-45	4	3,5	1,1	9,5	2,9
45-80	5	3,5	0,5	5,3	2,5

Pedon 5 Typic Tropaquept

Hor.	Tiefe	Beschreibung
A _h S _w	0-20	dunkelgrau, kohärent, locker, stark durchwurzelt
S _w	20-60	hellgrau, kohärent, mäßig dicht, schwach durchwurzelt
II S _d	60-100	grau, orange marmoriert, dicht ohne Wurzeln

Profil SEU 30

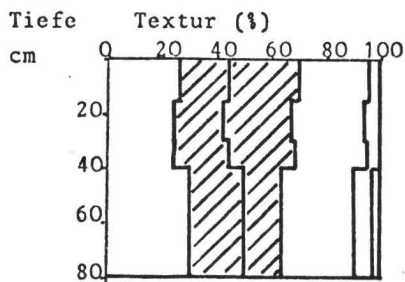


Tiefe cm	Nr.	pH	C %	C/N	V %
0-5	1	3,3	7,3	23,4	44,0
5-10	2	3,0	6,2	21,5	n.b.
10-20	3	3,0	5,9	20,2	11,4
20-30	4	3,1	4,1	17,8	7,8
30-50	5	3,5	1,2	18,3	4,8
50-70	6	3,5	0,6	12,6	3,3

Pedon 6 Typic Tropaquept

Hor.	Tiefe	Beschreibung
A _h S _w	0-20	dunkelgrau, kohärent, locker, stark durchwurzelt
S _w	20-40	hellgrau, kohärent, mäßig dicht, schwach durchwurzelt
II S _d	40-100	grau, orange marmoriert, dicht, ohne Wurzeln

Profil SEU 31

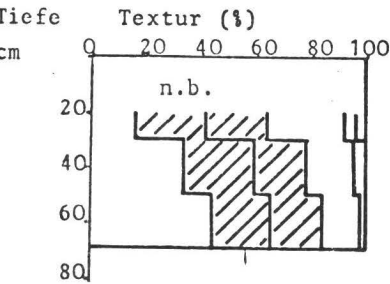


Tiefe cm	Nr.	pH	C %	C/N	V %
0-5	1	3,6	5,4	19,4	25,8
5-15	2	3,6	4,6	16,6	20,2
15-30	3	3,5	3,6	17,3	7,8
30-40	4	3,6	1,1	15,0	3,9
40-80	5	3,6	0,5	11,4	4,2

Pedon 7 Typic Trophaequept

Hor.	Tiefe	Beschreibung
S _w A _h	0-20	grauschwarz, kohärent, mäßig locker, mit Wurzelfilz
A _h S _w	20-30	dunkelgrau, kohärent, mäßig locker, stark durchwurzelt
S _w	30-40	hellgrau, kohärent, mäßig dicht, schwach durchwurzelt
II S _d	40-100	grau, orange marmoriert, kohärent, dicht, keine Wurzeln

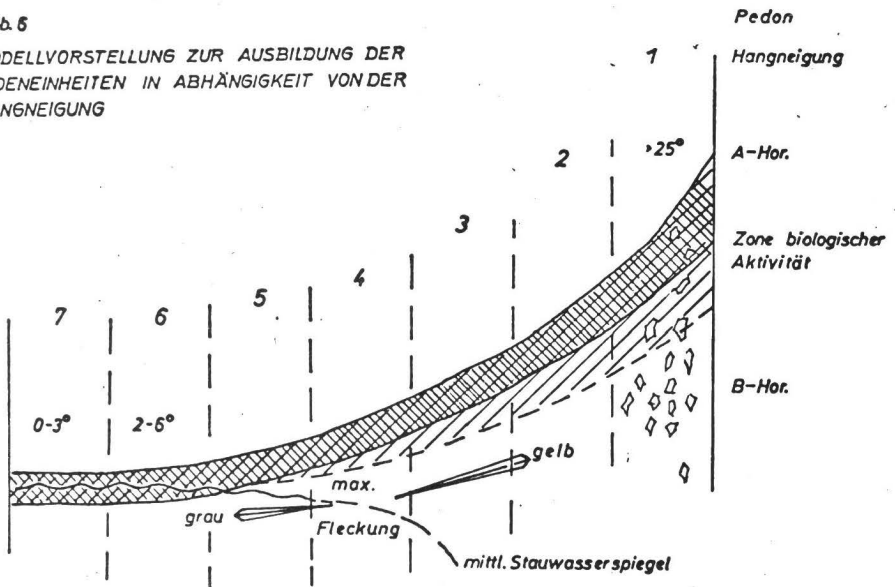
Profil SEU 25



Tiefe cm	Nr.	pH	C %	C/N	V %
0-5	1	3,2	7,5	16,6	10,9
5-10	2	3,2	6,6	17,2	6,2
10-20	3	3,2	5,1	16,5	5,5
20-30	4	3,3	2,9	16,9	4,4
30-50	5	3,3	1,7	12,9	3,3
50-70	6	3,3	1,2	12,8	3,4

Abb. 5

MODELLVORSTELLUNG ZUR AUSBILDUNG DER
BODENEINHEITEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER
HANGNEIGUNG



Die Fleckung ist kleinflächig mit geringen Kontrasten (rosa - hell bräunlich grau).

Die Peden 5 und 6 sind, wie auch in den übrigen Merkmalen, recht ähnlich. Unter dem A-Horizont ist der Boden hellgrau reduziert, darunter folgt bei Überwiegen der Reduktionsfarben eine zunehmende Fleckung. Das oben erwähnte sehr tonige untere Sediment steht jedoch bei Pedon 6 in geringerer Tiefe (ca. 50 cm) an. Vom bodenkundlichen Gesichtspunkt scheint dieser Unterschied gering, in der Auswirkung auf die Vegetation war er jedoch von Bedeutung.

Anhand von Abb. 6 sei die Beschreibung noch einmal anschaulich gemacht und ergänzt.

Zunächst ist festzustellen, daß die Bodeneinheiten sich näherungsweise mit der Hangneigung korrelieren lassen. So findet man Pedon 7 nur in sehr flachen Rinnen, während Pedon 1 ausschließlich an Hängen über 25° Neigung auftritt. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß neben der Hangneigung noch andere Faktoren die Ausbildung des jeweiligen Typs mit beeinflussen. Hier sind z.B. die Reliefposition zu nennen (Ober-Unterhang), der unterschiedliche Tongehalt der Hangsedimente u.a.

Angedeutet sind in Abb. 6 dann weiter der A-Horizont, dessen abnehmende Mächtigkeit und gleichsinnig damit die Reduzierung der biologischen Aktivität.

Auch die Farbe des B-Horizontes unterliegt einer Änderung von orangegelb in Pedon 2 über eine maximale Fleckung in Pedon 4 bis zu grauen Reduktionsfarben der Peden 5-7. Schließlich ist noch die mittlere Höhe des Stauwasserspiegels im Boden angegeben: Stauwasser tritt bei Pedon 4 und 3 nur noch periodisch auf. Parallel dazu verliert die Matrix ihre überwiegend grau reduzierte Farbe.

5.2.4 Der Wasserhaushalt als wichtigster differenzierender Faktor

Bei einer Betrachtung des Gefüges der Böden fällt zuerst der sehr lockere A-Horizont auf. Das Gesamtporenvolumen (GPV) liegt in den oberen 10 cm bei 65-70 %. Bis 30 cm Tiefe erhält man noch Werte um 60 %. Die Trockenraumdichte (TRD) liegt bei etwa $0,8 \text{ g/cm}^3$. Dieses sehr hohe GPV ist wohl die Folge des ebenfalls hohen Humusgehalts von etwa 15 % in den oberen 10 cm und der großen biologischen Aktivität, die offenbar trotz der niedrigen pH-Werte von 3,0-3,6 vorhanden ist. Beweis für diese Aktivität ist die weitgehend fehlende Humusauflage, ein krümeliges Subpolyedergefüge und deutliche, dunkel gefärbte Wurmgänge bis in den oberen B_v -Horizont. Auch im A-Horizont finden sich krümelige Aggregate vor allem als Gangfüllungen, während die eigentliche Bodenmatrix mehr aus kleinen subpolyedrischen Aggregaten besteht.

Die subpolyedrische Struktur ist am ausgeprägtesten in Pedon 1 und prägt hier auch noch den B-Horizont.

Bei den anderen Typen weist der B-Horizont dagegen immer ausgeprägter ein Kohärentgefüge auf, sein Gesamtporenvolumen (GPV) beträgt etwa 50 % (in 60-80 cm Tiefe), die TRD $1,3 \text{ g/cm}^3$.

Bei den hohen Tongehalten ist ein Kohärentgefüge aber nur denkbar, wenn es keine Quellungs- und Schrumpfdynamik gibt, also zumindest die Unterböden nie austrocknen. Man kann deshalb erwarten, daß im Gelände in den unteren Bodenbereichen etwa ab Pedon 3 eine stärkere Austrocknung nicht vorkommt.

Die oben skizzierte Porosität des Oberbodens wird in Abb. 7 deutlich. Das Grobporenvolumen beträgt in den oberen 10 cm etwa 20 %. Nach unten nimmt es jedoch sehr rasch auf 2-5 % ab. Auch die Mittelporen zeigen eine Abnahme vom A-Horizont zum B-Horizont. Beträgt der Anteil der Mittelporen im Oberboden etwa 20 %, so sind es im Unterboden nur noch 10-15 %. Wie auch bei den Grobporen dürften diese Unterschiede in erster Linie auf die mit der Tiefe abnehmende biologische Aktivität im Bodenprofil bedingt sein.

Der Feinporenanteil ist mit Werten von 30 % sehr hoch. Hier macht sich deutlich der hohe Tonanteil der Profile bemerkbar. Die zu beobachtende Zunahme des Feinporenanteils nach unten geht parallel mit einer Zunahme des Tongehalts.

In den hier diskutierten Standortstypen stellt der Bodenwasserhaushalt offenbar die entscheidende Größe dar. Um den Zustand des Bodenwassers und seine jahreszeitliche Veränderung möglichst quantitativ beschreiben zu können, wurden in den Standortstypen 2, 4, 5 und 7 Tensiometer gesetzt. Da nur eine begrenzte Stückzahl vorhanden war, konnte nur mit zwei Wiederholungen und in zwei Tiefen (25 cm und 85 cm, in Typ 5 in 25 und 60 cm Tiefe) gearbeitet werden.

Die Tensiometer wurden wöchentlich über ein Jahr vom 15.10.1973 bis zum 6.1.1975 abgelesen. Die Tensiometer in Standortstyp 2 wurden erst am 29.4.1974 gesetzt. Die abgelesenen Werte sind in Abb. 8 dargestellt. Nimmt man die über 1 Jahr vom 5.11.73 bis 4.11.74 (bei Parz. 2/2 vom 29.4.74 bis 6.1.75) gewonnenen Meßwerte als eine systematische Stichprobe und faßt die Werte in Klassen unterschiedlicher Saugspannung zusammen, so erhält man

Abb. 7: BODENPHYSIKALISCHE KENNDATEN

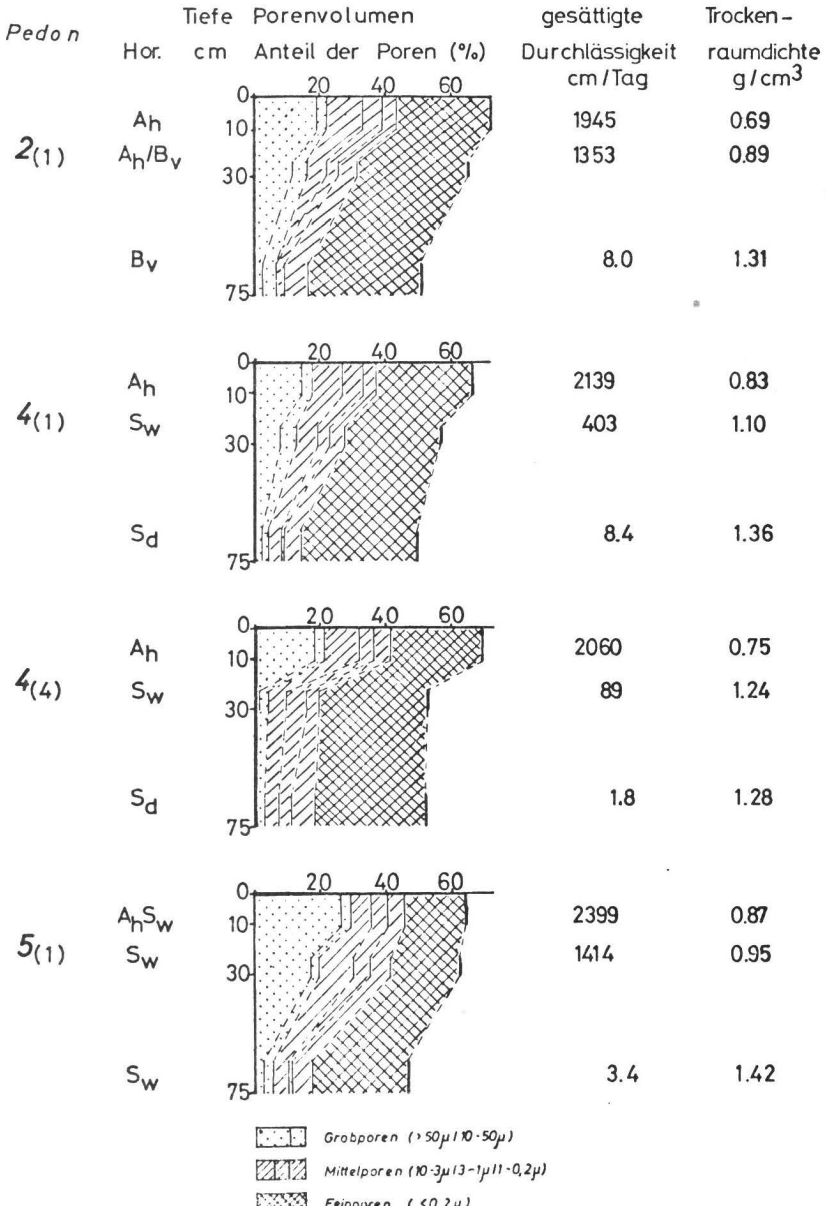
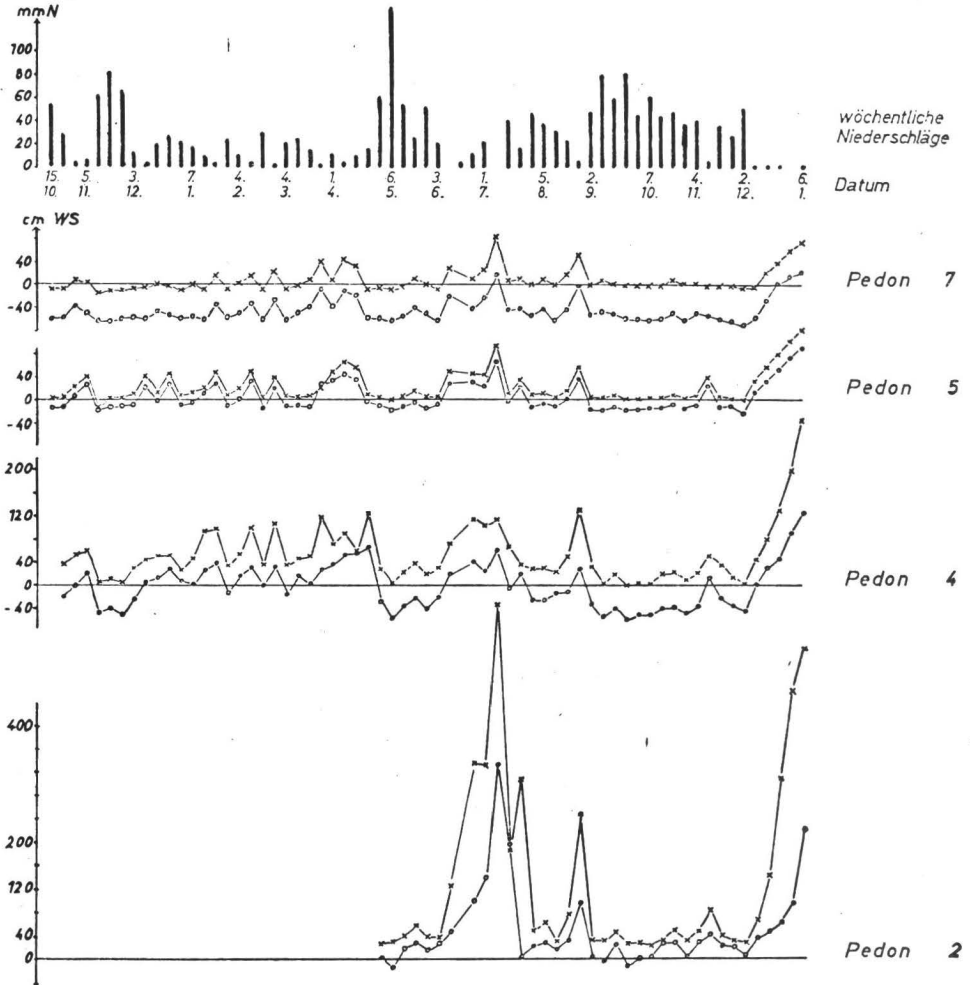


Abb. 8 Tensiometermeßreihen

Meßperiode vom 10.10.1973 bis zum 6.1.1975, Saugspannung gemessen in cm Wassersäule
Messung in 25 cm (•—•) und 85 cm (—•—), in Pedon 5 in 60 cm Tiefe, jeweils Mittel aus 2 Parallelen



eine prozentuale Angabe über die Häufigkeit bestimmter Saugspannungen im Boden. In Abb. 9 sind diese Verteilungen dargestellt. Die Zahl von nur 2 Wiederholungen pro Tiefe und Parzelle erlaubt keine statistische Auswertung. Um die Variation innerhalb des Datenmaterials sichtbar zu machen, wurden die Werte der einzelnen Tensiometer getrennt aufgeführt.

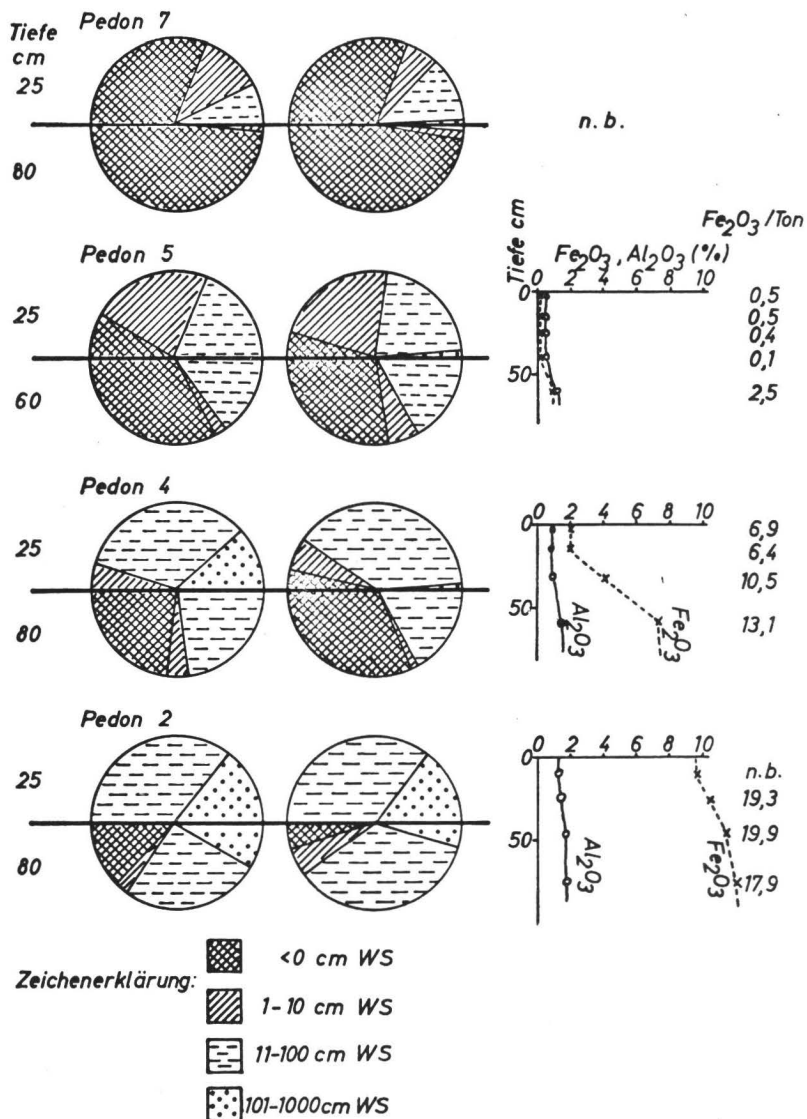
Diese Darstellung zeigt deutlich, daß von Pedon 7 nach Pedon 2 trockenere Phasen immer häufiger auftreten. Während bei Pedon 7 der Oberboden zu 60 % der Zeit und der Unterboden fast ständig voll mit Wasser gesättigt ist, liegt bei Typ 2 schließlich der Oberboden dauernd im Bereich pF 1,0 bis pF 3,0, im Unterboden tritt volle Sättigung nur noch in 17 % der Zeit auf, während in 62 % aller Fälle Saugspannungen zwischen pF 1,0 und pF 2,0 herrschen und mit 13 % sogar Werte über pF 2,0 erreicht werden. Hierbei ist zusätzlich noch zu berücksichtigen, daß bei Standortstyp 2 nicht über ein volles Jahr hinweg gemessen wurde, sondern gerade die trockenen Monate Januar bis März fehlen, so daß dieser Standort sogar noch trockener sein muß.

Diese Reihe bestätigt somit gut die Aussagen, die aufgrund der morphologischen Profilansprache gemacht wurden. Diese Bestätigung erscheint um so wichtiger, als gerade die Deutung von Hydromorphiemerkmalen im Profil oft nur mit großer Unsicherheit möglich ist.

Im Ansatz sei versucht, anhand dieser Tensiometermeßreihen, der Porenverteilung (pF -Kurven) und der an den gleichen Proben bestimmten gesättigten Wasserleitfähigkeit über diese statische Beschreibung hinaus ein Bild der Wasserdynamik zu entwerfen.

Abb.9 Häufigkeitsverteilung der
Saugspannungszustände
(je Pedon 2 Wiederholungen)

Pedogene Oxide



Die Werte der gesättigten Leitfähigkeit (Abb. 7) zeigen, entsprechend der Abnahme der Grobporen, mit der Profiltiefe eine starke Abnahme. Die obersten dm sind in allen Profilen extrem durchlässig. Im Unterboden kommen etwas die unterschiedlichen Sedimente zum Ausdruck, bei Pedon 2/1 und Pedon 4/1 ist es das Hangsediment I, bei Pedon 4/4 und 5/1 sind es die alten B/C-Horizonte. Die Durchlässigkeit ist hier gering bis sehr gering.

Befindet sich ein Boden mit diesen Eigenschaften in einer horizontalen Reliefposition, so kann auch bei voller Sättigung das Wasser nur durch Versickerung nach unten oder durch Evapotranspiration aus dem Bodenprofil entweichen. Die sehr geringe Leitfähigkeit des B-Horizonts muß deshalb zu Staunässe führen.

Der gleiche Boden könnte jedoch an einem steiler geneigten Hang bei Aufsättigung bis in den Oberboden sehr rasch das Wasser lateral abgeben. Eine längerfristige hohe Wassersättigung wäre dann nur innerhalb der Horizonte mit geringer Durchlässigkeit zu erwarten. Wir hätten also während und im Anschluß an Niederschläge einen raschen und auch mengenmäßig beachtlichen Wasserfluß im Oberboden zu erwarten, im Unterboden dagegen einen sehr viel langsameren aber dafür länger anhaltenden Fluß hangabwärts.

Die Ergiebigkeit dieses Flusses im Unterboden ist schwer abzuschätzen. Es ist denkbar, daß so ein beachtlicher Anteil des Wassers fließt, besonders in dem etwas durchlässigeren B-Horizont des Hangsediments II.

Noch deutlich höher dürfte aufgrund des Skelettgehalts und des Gefüges die Durchlässigkeit des B-Horizonts in Pedon 1 sein. Hierfür liegen jedoch keine Messungen vor.

Diese hypothetischen Überlegungen werden durch die Tensiometermeßreihen gestützt.

Zu Zeiten sehr hoher Niederschläge zeigen die oberen Tensiometer (25 cm Tiefe) bei Pedon 7 negative Werte, in Pedon 5 etwa 0, in Pedon 4 liegen die Werte wenig über 0 und in Pedon 2 betragen auch bei diesen hohen Niederschlägen die Saugspannungen noch 30-50 cm WS.

Berücksichtigt man zusätzlich die unteren Tensiometer, so sind Pedon 4-7 im Bodenprofil voll wassergesättigt, wobei die Stauwasserspiegelhöhe immer näher an die Bodenoberfläche reicht. Bei Pedon 2 dagegen stellt sich auch im unteren Profil keine langfristige vollständige Wassersättigung mehr ein.

Zu beobachten sind diese Verhältnisse im November 1973, im April/Mai 1974 und im September/Oktober 1974 (Abb. 8).

Schwieriger ist eine Analyse der Verhältnisse in trockeneren Perioden. Aus Abb. 9 konnten wir allerdings als Resultat bereits entnehmen, daß von Pedon 7 nach Pedon 2 immer häufiger immer höhere Saugspannungen erreicht werden. Meiner Ansicht nach sind hier folgende Faktoren von entscheidendem Einfluß:

Wichtig ist einmal die Ausgangsposition zu Beginn einer trockeneren Periode. Wie wir bereits gesehen haben, liegen hier ganz unterschiedliche Verhältnisse vor, von einer fast vollständigen Wassersättigung in Pedon 7 bis zu Saugspannungen von 50 cm WS in dem oberen und ca. 10 cm WS im unteren Profilbereich bei Pedon 2.

Wenn man diese Situation als Feldkapazität bezeichnen darf, so folgt, daß die Standortstypen sich durch eine unterschiedliche Feldkapazität auszeichnen.

Berücksichtigt man mit Hilfe von Abb. 7 die hiermit verbundenen Wasservorräte, so findet man, daß (in allen untersuchten Profilen sehr ähnlich) die großen Grobporen im Oberboden einen sehr hohen Volumenanteil von etwa 15-20 % ausmachen, die kleineren Grobporen dagegen im gesamten Profil nur 1-2 %. Erst die Mittelporen haben dann wieder höhere Wasservorräte von etwa 15 % des Bodenvolumens. Das bedeutet, daß bei Austrocknung die Saugspannungsbereiche von 50-330 cm WS sehr rasch durchlaufen werden.

Ein anderer wichtiger Faktor dürfte wohl das schon mehrfach angesprochene Hangwasser sein. Dies muß zu einem zusätzlichen Wassereinput der Unterhangbereiche führen. Das heißt, daß neben der Hangneigung die Reliefposition ein wichtiger differenzierender Faktor ist.

Hierbei ist darauf hinzuweisen, daß Pedon 6 und 7 sich in der Regel in Geländepositionen mit konkaven Oberflächenformen befinden, also flache Rinnen darstellen, die einen lateralen Wasserzuzug haben.

Pedon 2 dagegen nimmt meist die oben liegenden Kuppen und Rücken ein, oft in Vergesellschaftung mit Pedon 3 und 4 als Unterhänge.

5.2.5

Kleinflächig, besonders auf Verebnungen, finden sich in der Carbonera Sedimente, aus schluffigen Feinsanden bis sandigen Schluffen, die meist in einer nur geringen Schichtdicke über tonigeren Substraten lagern. Zwei Profile dieser Sedimente sollen hier beschrieben werden.

Profil SEU 34

Profil SEU 34 liegt in einer gerodeten Waldparzelle unter Grasvegetation mit noch einzelnen aus dem Primärwald stehengebliebenen Bäumen. Der Humushorizont entspricht deshalb wohl nicht mehr dem ursprünglichen Zustand.

Der Aufschluß befindet sich an der Vorderkante eines flachen, etwa 8° geneigten Hangs. Hier liegt ein 45 cm mächtiges sandiges Sediment über dem tonigen Unterboden.

Der Boden zeigt das morphologische Bild eines Podsols, das auch von den analytischen Ergebnissen der Eisenverteilung im Profil bestätigt wird. Unter einem dunkel graubraunen A_h -Horizont folgt ein hellgrau gebleichter A_e -Horizont, der eine diffuse großflächige Fleckung von hellgraubraun bis weiß zeigt. Der Eisenanreicherungs-horizont hat eine blaßbraune Matrix mit einer feinen Fleckung von orangebraun bis hellgrau. Der darunter folgende Horizont ist ebenfalls gefleckt mit einer allerdings blasseren, stärker reduzierten Matrix. Offenbar ist der Boden also auch stark hydromorph überprägt, was durch den Texturgradienten und die geringe Hangneigung verständlich wird.

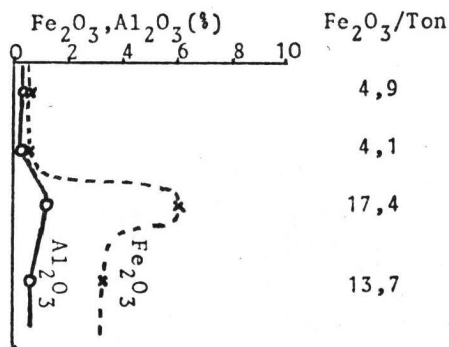
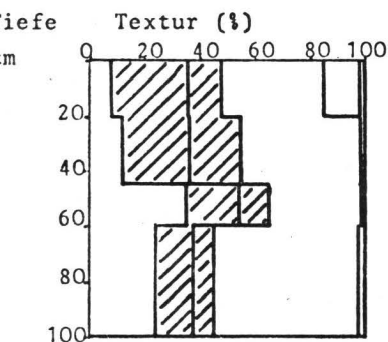
Der A_e -Horizont ist also gleichzeitig ein S_w -Horizont und die darunter folgenden Horizonte sind S_d -Horizonte. Das Gefüge ist im A_h -Horizont schwach subpolyedrisch bis kohärent, im A_e -Horizont bröckelig kohärent, darunter plastisch kohärent.

Profil SEU 36

Das Profil liegt unterhalb einer Hangstufe auf einer flachen Verebnung. Auffallend ist zunächst eine sehr mächtige Humusauflage von 25 cm aus einem dunkel rötlich-

Profil SEU 34 Spodic Dystropept

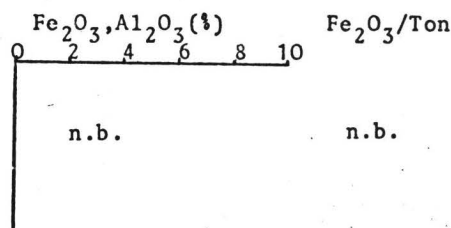
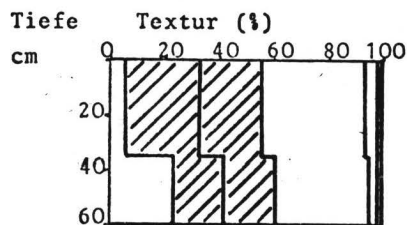
Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _h	0-20	dunkelgraubraun, mäßig locker, stark durchwurzelt
2	SA _e	20-45	hellgrau, Einzelkorngefüge, mäßig dicht, schwach durchwurzelt
3	II SB _s	45-60	fleckig orangebraun bis hellgrau, kohärent, dicht
4	II S _d	60-100	blaßbraun, fleckig orangegelb, kohärent, dicht, sehr schwach durchwurzelt



Nr.	pH	C	C/N	V
		%		%
1	3,8	4,5	15,8	48,2
2	3,7	1,3	20,4	35,1
3	3,7	1,7	77,0	24,5
4	3,9	0,6	7,0	10,9

Profil SEU 36 Oxid Tropaquept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	O _L /O _F	4	schwach bis stärker zersetzte, dunkelbraune Laubstreu, lagig
2	O _F /O _H	6	dunkelbrauner Feinhumus, sehr locker, mit Wurzelfilz
3	O _H	15	dunkelrotbrauner Feinhumus, locker, Wurzelfilz
4	S _w	0-35	schmutzig weißer Feinsand, dicht gelagert, Einzelkorngewebe, sehr schwach durchwurzelt
5	II S _d	35-60	grauer sandiger Lehm, schwach orange gefärbt marmoriert, kohärent



Nr.	pH	C	C/N	V
1	3,7	48,2	32,8	n.b.
2	3,1	49,0	24,6	n.b.
3	2,9	49,6	22,7	n.b.
4	3,3	0,4	41,0	7,9
5	3,5	0,3	7,2	2,2

braunem, stark zersetzten Humus. Außer einer oberen 4 cm dicken O_L/O_F -Schicht ist keine weitere Differenzierung der Humusauflage erkennbar. Die Auflage ist sehr locker und mit einem dichten Wurzelfilz durchsetzt.

Darunter folgt ein hellgrau gebleichter schluffiger Sand in dichter Lagerung, der praktisch nicht mehr durchwurzelt ist. Stellenweise sind einzelne graue Humusinfiltrationen erkennbar.

In 35 cm Tiefe erfolgt ein Wechsel zu einem stärker tonigen Sediment. Es ist schwach marmoriert mit überwiegend grau reduzierter Matrix. Das Gefüge ist plastisch kohärent und dicht.

5.3 Diskussion der Ergebnisse

5.3.1 Verwitterung und Tonbildung

Die Frage der Verwitterung kann am besten an den Profilen ME 20 - ME 32 und Val 54 - Val 55 - Val 56 diskutiert werden.

Zunächst fällt hier die unterschiedliche Farbe des B-Horizonts auf. In den stärker verwitterten Sedimenten der Profile ME 20 und Val 54 ist der B-Horizont kräftig orangebraun (7,5YR6,6; feucht 7,5YR5,8), in den Profilen ME 32 und Val 55 gelbbraun (10YR7,4; feucht 10YR4,4) und in dem jüngeren Boden Val 56 ist der B-Horizont farblich noch kaum vom Ausgangsmaterial abgesetzt hellgraubraun (10YR6,3; feucht 2,5Y4,3). Wie in der Profilbeschreibung schon erwähnt, sind die stärker vorverwitterten Ausgangsmaterialien außerdem durch saprolithartig vergrustes Skelett charakterisiert, wodurch der höhere Verwitterungsgrad besonders deutlich wird.

Dieses unterschiedliche Ausmaß der Verwitterung wird sehr gut durch eine fraktionierte Fe-Bestimmung wiedergegeben (Abb. 10). Eine solche Fraktionierung wurde von BLUME u.a. (1969) vorgeschlagen. Sie zeigten gleichzeitig, daß durch Oxalat extrahiertes Fe in überwiegend nichtkristalliner Form ("amorph") im Boden vorliegt, das Dithionit-lösliche Fe das gesamte nicht in silikatischer Bindung vorliegende Fe umfaßt, daß also die Differenz zwischen Dithionit- und Oxalat-löslichem Fe dem kristallin-oxidischen Fe im Boden entspricht. Mit zunehmender Verwitterung nimmt der Anteil des silikatisch gebundenen Eisens ab und der des amorphen und oxydischen Eisens zu. Hierbei lassen sich strenggenommen nur Profile mit gleichem petrographischem Ausgangsmaterial vergleichen, was in erster Annäherung für die Profile aus den Gebieten Mucuy und Valle unterstellt werden kann. Die vorhandenen Unterschiede machen sich hier vor allem in den unterschiedlichen Gesamteisenmengen bemerkbar.

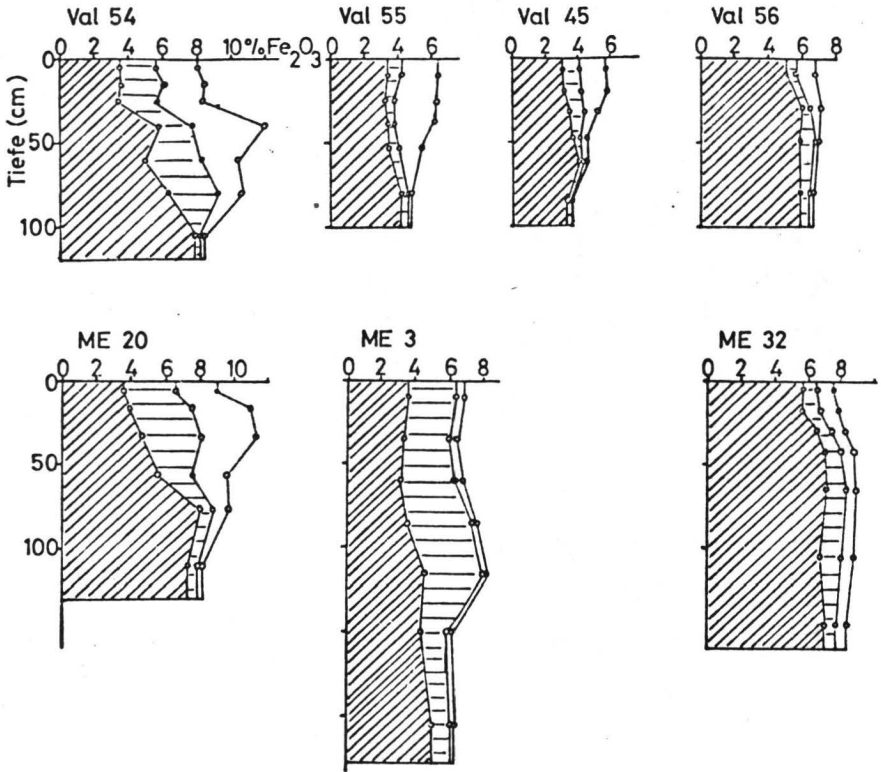
Man findet also einen verwitterungsbedingten Gradienten mit einer maximalen Eisenfreisetzung aus silikatischer Bindung in den obersten Horizonten und einer deutlichen Abnahme nach unten. Der prozentuale Anteil des nichtsilikatischen Eisens am Gesamteisen gibt so einen Hinweis auf den altersabhängigen Verwitterungsgrad. Die Böden der älteren Hangsedimente (ME 3, ME 20, Val 54) haben entsprechend hohe Werte.

Der Anteil des amorphen Eisens ist vor allem in den humosen Horizonten hoch. Die Humussubstanz verzögert offenbar die Auskristallisierung in hohem Maße, so daß im A_h -Bereich ein erheblicher Anteil des Eisens auch bei weiter fortgeschrittener Verwitterung im amorphen Zustand vorliegt (SCHWERTMANN 1968, 1969-70).

Abb.10 Gehalt und Bindungsform des Eisens in einzelnen Bodenprofilen

a. Böden auf Kristallin im Wolkenwaldbereich

zunehmend jüngere Sedimente (siehe Profilbeschreibungen)



Bindungsform des Fe₂O₃ :



silikatisch



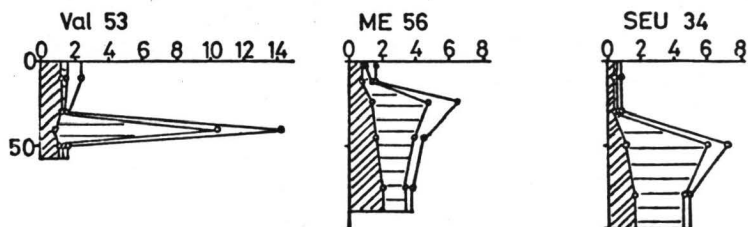
kristallin-oxidisch



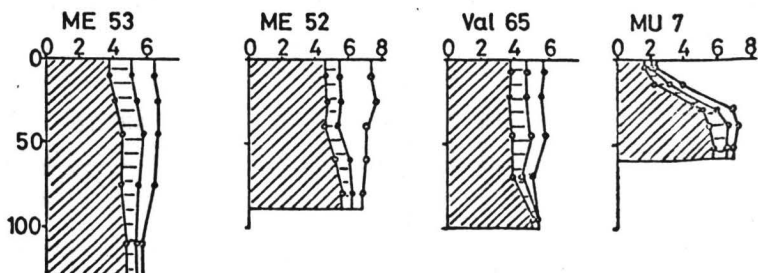
amorph

zu Abb.10

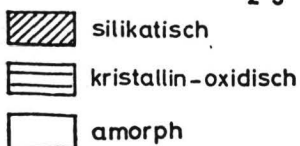
b. Böden mit stärkerer Eisenmobilität im Wolkenwaldbereich



c. Böden oberhalb der Waldgrenze (Paramo)



Bindungsform des Fe_2O_3 :



Mit der Mobilisierung des Eisens durch Reduktion oder podsolige Prozesse ändert sich dieses Bild stark (Val 53, SEU 34, ME 56). Die Tiefenfunktion der Eisenverteilung im Boden hat hier keine deutliche Beziehung mehr zur Verwitterung.

Soweit das Eisen in kristalliner Form vorliegt, handelt es sich hier im Wolkenwaldbereich um Goethit. Das zeigt bereits die gelbliche Farbe der Böden. In einigen Profilen ließ sich Goethit auch röntgenographisch nachweisen (Tab. 2). In Profil SEU 22 trat daneben auch noch ein schwacher Reflex bei $6,3 \text{ \AA}$ auf, der als Lepidokrokit interpretiert wurde.

Hinsichtlich der Tonmineralzusammensetzung der Böden lassen sich zwei Gruppen unterscheiden. Kaolinit ist ausschließliches Tonmineral der Böden der Carbonera, entwickelt auf tonigen, kreidezeitlichen Sedimentgesteinen. Hier ist Kaolinit bereits primär vorhanden.

Die Böden auf Kristallin haben dagegen überwiegend Illit. In geringeren Mengen findet sich ebenfalls Kaolinit. Der Illitanteil dürfte durch eine chemisch-mechanische Zerkleinerung der Glimmer bedingt sein, der Anteil an Kaolinit durch Verwitterung der Feldspäte (FÖLSTER u.a., 1967).

5.3.2 Humus

Eine der auffallenden Eigenschaften der Böden dieser Region ist der hohe Humusgehalt und das dadurch bedingte lockere Gefüge des A-Horizonts. Außer den im Oberboden gebleichten Böden ME 56, SEU 34 und SEU 36 haben alle

Tab. 2: Röntgenanalyse der Tonfraktion einzelner Proben

Probe	Quarz	Kaolinit	Illit	Gibbsit	Goethit	Sonstige
ME 3/5	(+)	+	++	+		
ME 20/3	(+)	+	++	(+)		(+)
ME 20/5		+	++	+		
ME 53/4	(+)	(+)	+	+++		
ME 56/4	+	++	(+)			
ME 56/6	+	++	(+)	(+)		+
Val 54/2	+	+	++	(+)?		
Val 54/5	(+)	+	++	+		(+)
Val 55/4	+	+	++	(+)		
Val 56/1	++	+	(+)	(+)		
SEU 22/3	+	+++				+ Lepidokrok., (+)
SEU 29/3	+	+++				
Ja 16/5	(+)	(+)	+++	+		

semiquantitative Angaben: +++ dominant

++

+

(+) Spuren

Böden über 12 kg C/m^2 (ohne Humusauflage), gehören also zu den Humitropepts der 7.Approx. bzw. können "humic" Subgroups bilden.

Der Anstieg des Humusgehalts im Boden mit zunehmender Meereshöhe ist eine bekannte Erscheinung. JENNY (1930) beschreibt für verschiedene Gebirge solche Abfolgen, aus denen dieser Anstieg deutlich wird. Aus Ostafrika beschreibt JAGNOW (1972) diesen Anstieg des Humusgehalts mit der Höhe. Aus seinen Korrelationen ist darüberhinaus ein starker Einfluß der Niederschlagshöhe ersichtlich. HAANTJENS u.a. (1964) berichten ebenfalls von hohen Humusgehalten in den tropischen Gebirgen Neu Guineas. Sie fanden hohe organische Substanzgehalte auch noch im Unterboden, die sie durch Einwaschung erklären.

Global gesehen, stellte JENNY (1965) fest, daß bei vergleichbaren Temperaturen die Humusakkumulation in den Tropen deutlich stärker ist als in den höheren Breiten, so daß die Böden der tropischen Hochgebirge maximale Humusgehalte aufweisen.

Der hohe Humusgehalt bewirkt einen sehr lockeren, grobporenen A-Horizont mit einer spez. Dichte des Bodens von unter 1 g/cm^3 und einem Gesamtporenvolumen bis zu 70 %. Diesen Zustand findet man besonders ausgeprägt unter Primärwald, während bei Kultivierung der Böden mit einem Humusverlust gerechnet werden muß (JENNY 1965). Zur Stabilisierung dieses lockeren Gefüges dürfte auch die hohe Al-Belegung am Austauscherkomplex beitragen, da ein ähnliches Gefüge oft auch noch im B-Horizont vorliegt.

Die Profile zeigen in Abhängigkeit von der Textur eine unterschiedliche Tiefenfunktion der Humusgehalte. Als

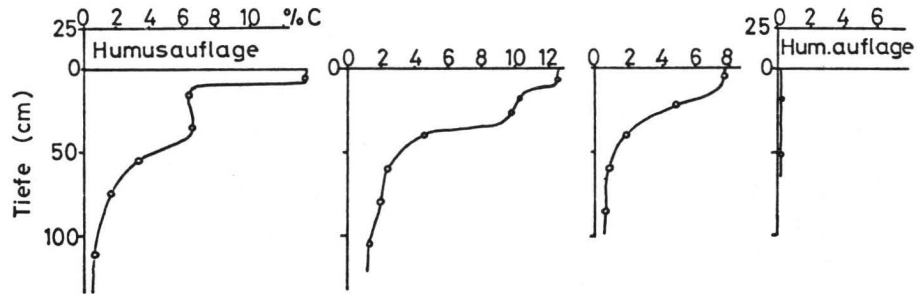
Beispiel sind in Abb. 11 die C-Gehalte der Profile ME 20, Val 54, SEU Pedon 1 und SEU 36 dargestellt. Im sandigen Lehm (ME 20 und Val 54) findet man hohe C-Gehalte noch bis in den B-Horizont hinein, dagegen zeigen die tonigeren Böden eine stärkere Konzentrierung des Humusgehalts auf den Oberboden. Extreme Verhältnisse weist das Profil SEU 36 auf. Unter einer Humusauflage von ca. 200 t/ha beträgt der Humusgehalt hier in dem darunter folgenden stark reduzierten sandigen S_w -Horizont nur noch 0,4 %.

Die Böden der sandigen Lehme scheinen darüberhinaus zur Bildung einer Humusauflage zu neigen (ME 20, ME 56). Eine Humusauflage findet sich selbstverständlich nicht unter Weide (Profile Val), obwohl das C/N-Verhältnis im Mineralboden ähnlich ist und etwa bei 15-20 liegt. Innerhalb der Humusauflage wird das C/N-Verhältnis zwar mit der Tiefe enger (30-23), im darunter folgenden Boden erfolgt dann jedoch wieder ein Anstieg (Profile ME; unter Gras - Val - ebenfalls nicht feststellbar). Entsprechend den Beobachtungen von HAANTJENS u.a. (1964) dürfte auch hier eine verstärkte Einwaschung niedermolekularer, stickstoffarmer Humusstoffe vorliegen. Dies entspricht der Humusverteilung und auch den stellenweise sichtbaren Humusüberzügen an Spaltflächen im Boden (siehe Profilbeschreibungen).

Auf den tonigeren Böden ist dagegen nirgendwo eine stärkere Humusauflage zu finden. Das C/N-Verhältnis ist enger (11-15), wird jedoch zu den stärker Staunässe-beeinflußten Typen hin ebenfalls etwas weiter. Ohne Staunässe ist in diesen Böden trotz des niedrigen pH-Werts die Bedingung für eine biologische Humifizierung offenbar am günstigsten.

Abb.11: Humusgehalte typischer Bodenprofile

Profil	ME 20	Val 54	SEU Pedon 2	SEU 36
Textur	sL	sL	tL	uS
Vegetation	Wald	Weide	Wald	Wald



Die ungünstigsten Voraussetzungen haben dagegen die sandigen Böden. Unter Wald wurde hier immer eine Humusauflage gefunden. Als sicherlich extremes Beispiel zeigt SEU 36 sehr deutlich die Konzentrierung des Nährstoffkreislaufs auf die Humusauflage, die mit C/N-Werten bis 33 besonders ungünstig erscheint. Der darunter folgende Mineralboden ist in krassem Gegensatz zu den übrigen Böden sehr dicht gelagert (spez. Dichte $1,8 \text{ g/cm}^3$) kaum noch durchwurzelt und sehr humus- und nährstoffarm. Der Humusvorrat, der sich hier ja praktisch auf die Auflage beschränkt, ist deshalb auf diesem Bodentyp am niedrigsten.

5.3.3 Podsolige Prozesse

Nach SCHEFFER u.a. (1966) bezeichnet man als Podsolierung die Abwärtsverlagerung von Al- und Fe-Oxiden und organischen Stoffen innerhalb des Bodenprofils. Zur Abwärtsverlagerung aus dem oberen Profilteil (A_e -Horizont) kommt eine Akkumulation im B_{sh} -Horizont. Die Mechanismen, die zu dieser Verlagerung führen können, sind nur teilweise bekannt. Fest steht jedoch, daß die oben genannten Stoffe (Al, Fe und Humus) keineswegs immer ein paralleles Verhalten zeigen, also getrennt betrachtet werden müssen.

Im Mittelpunkt des bodengenetischen Interesses am Podsol stand bisher meist das Eisen. Das ist verständlich, wenn man bedenkt, daß das Eisen aufgrund seiner Färbung das Profilbild stark prägt und damit auch ein wichtiger Indikator im Gelände ist.

Eine Verlagerung des Eisens ist nach SCHEFFER u.a. (1960) nur unter einer der drei folgenden Voraussetzungen möglich:

- 1) Fe^{+++} in ionarer Form tritt erst bei pH-Werten unter 3 in nennenswerten Mengen auf. Solche Bedingungen dürften in Mineralböden nur in seltenen Ausnahmefällen auftreten.
- 2) Nach der heutigen Vorstellung erfolgt deshalb die Eisenverlagerung im Podsol durch Komplexbildung des Eisens mit organischen Stoffen. Obwohl man eine ganze Reihe solcher Stoffe - vor allem organische Säuren - gefunden hat, die mit dem Eisen stabile Komplexe bilden können (SCHEFFER u.a. 1960, SCHNITZER 1969), ist die Entwicklung von Podsolen doch offenbar an ganz bestimmte Vegetationstypen gebunden. Als wirksam haben sich hierbei vor allem bestimmte Koniferenarten und besonders Ericaceen erwiesen.
- 3) Sehr viel leichter löslich ist Eisen in der zweiwertigen, reduzierten Form. So tritt es vor allem in zeitweise oder dauernd wassergesättigten Böden auf, in denen wegen Sauerstoffmangel eine Reduktion erfolgt. Die hierbei ablaufenden Prozesse werden jedoch in der Regel nicht als Podsolierung aufgefaßt, sondern als Vergleyung oder Pseudovergleyung bezeichnet. CROMPTON (1960) hat auf die prinzipielle Ähnlichkeit in der Richtung der Bodenentwicklung von Podsolierung und Pseudovergleyung hingewiesen, d.h. man erhält ein ähnliches Bild von Bereichen der Eisenmobilisierung und Bleichung und entsprechend Bereichen der Eisenanreicherung. Die Richtung der Eisenverlagerung ist dabei jedoch vom jeweiligen Wasser- und Lufthaushalt des Bodens abhängig.

In diesem Zusammenhang müssen die Profile SEU 34 und ME 56 diskutiert werden. Mir scheint bei beiden Profilen eine Podsolierung im Sinne einer Eisenverlagerung durch komplexierende organische Substanzen höchstens eine

untergeordnete Rolle zu spielen. Der wichtigste profilprägende Prozeß ist dagegen offenbar eine Pseudovergleyung. Für diese Ansicht sprechen folgende Argumente:

1. Die Vegetation der Profile unterscheidet sich in ihrer Artenzusammensetzung nicht grundsätzlich von derjenigen Umgebung, soweit dies bei oberflächlicher Betrachtung festgestellt werden konnte.
2. Man findet bei einer genaueren Profilansprache deutliche Hydromorphiemerkmale. Diese wurden bereits beschrieben.

Charakteristisches Merkmal dieser Profile ist ein Texturgradient. Die tonige Schicht wirkt dabei als Staukörper, wo durch bei stärkeren Niederschlägen der obere Boden voll wassergesättigt wird. Andererseits ist der Staukörper offenbar nicht so dicht, daß nicht trotzdem eine abwärts gerichtete Wasserbewegung aufträte. Der Niederschlagsinput ist also zeitweise größer als die maximale Durchlässigkeit des Staukörpers. So muß sowohl ein Stau im Oberboden als auch eine abwärts gerichtete Wasserbewegung entstehen. Entsprechend findet man die stärksten Hydromorphiemerkmale in der obersten Schicht des Staukörpers. Nimmt das Grobporenvolumen nach unten nicht noch weiter ab, ist der B_v/C_v -Horizont sogar wieder homogen gelbbraun gefärbt (ME 56).

Es ist möglich, daß die Reduktion im S_w -Horizont durch organische Stoffe gefördert wird (SCHEFFER u.a., 1960).

Warum das Eisen z.T. im oberen S_d -Horizont wieder ausgefällt wird, ist unklar. Beim Podsol wird meist der pH-Anstieg und die höhere Elektrolytkonzentration dafür verantwortlich gemacht (SCHEFFER u.a., 1966; BOSSE, 1964; KAWAGUCHI u.a., 1960). Möglicherweise spielt in diesem Fall auch die abnehmende Geschwindigkeit des Sickerwassers

beim Eintritt in den S_d -Horizont eine Rolle, dies erscheint um so plausibler, wenn man an die ähnlichen Bildungsbedingungen der Eisenbändchen im Paramo denkt, die an Diskontinuitätsflächen gebunden zu sein scheinen. Hierzu wird weiter unten noch berichtet.

3. Eine wichtige Bestätigung ist schließlich auch die Hydrosequenz SEU. Hier findet sich zwar nirgends eine Eisenanreicherung, ansonsten sind die Verhältnisse jedoch ähnlich. In Abb. 9 ist der Häufigkeit unterschiedlicher Saugspannungszustände des Bodenwassers und die entsprechende Eisenverteilung nebeneinander dargestellt. Hierbei wird deutlich, daß mit zunehmendem Stauwassereinfluß der Oberboden reduziert wird und an Eisen verarmt. Die sehr hohen Eisengehalte im Unterboden, besonders bei Pedon 4, sind möglicherweise mit durch eine Eisenakkumulation bedingt, die jedoch so diffus verteilt ist, daß sie am Profil nicht sichtbar wird und wegen der geringen Tiefe bei der Probenahme auch in der Analyse nicht deutlich wird. Daneben ist jedoch vor allem mit einem hohen primären Eisengehalt des Sediments zu rechnen.

Der Texturgradient macht sich ebenfalls im Eisengehalt bemerkbar. So ist in Pedon 2 noch nicht mit einer Eisenverlagerung zu rechnen. Betrachtet man die auf den Tongehalt umgerechneten Eisenwerte, ist der Eisengehalt hier auch fast konstant. Dagegen bleiben die Unterschiede in Pedon 4 und 5 erhalten.

Hier wird also besonders deutlich, daß die Eisenverlagerung aufgrund der hydrologischen Bedingungen im Bodenprofil erfolgt ist.

Auf die Notwendigkeit einer getrennten Betrachtung des Aluminium im Zusammenhang mit Fragen der Podsolierung weisen besonders DUCHAUFOR u.a. (1965) und FIEDLER u.a. (1967) hin.

Betrachtet man zunächst wieder das System Aluminiumoxid-Wasser (SCHEFFER u.a. 1960, v.SCHUYLENBORGH 1965), so findet man bereits bei pH-Werten unter 5 einen größeren Anteil von Al in ionarer Form in Lösung. Im Gegensatz zum Eisen kann somit in sauren Böden mit einer Aluminium-freisetzung und Verlagerung in ionarer Form in den stärker versauerten Böden gerechnet werden.

DUCHAUFOR (1965) und FIEDLER u.a. (1967) haben diese Aluminiumverlagerung in einer Reihe von Böden festgestellt. Diese Böden waren alle stark sauer, zeigten jedoch keine oder nur eine sehr geringe Eisenmobilität.

Systematisch stellten sie diese Böden zwischen die Braunerden und die Podsole. FIEDLER u.a. (1967) bezeichnen sie als saure Braunerden, DUCHAUFOR u.a. (1965) als sols bruns cryptopodzoliques, da sie einen podsoligen Prozeß (Sesquioxidverlagerung) aufweisen, der jedoch nicht sichtbar ist, sondern nur durch eine Analyse gezeigt werden kann.

Als Ursache für die Wiederausfällung im B-Horizont kann der Anstieg des pH-Werts angenommen werden. Ein erheblicher Teil wird jedoch offenbar weiter ausgewaschen und verläßt damit das Bodenprofil. Das zeigen Untersuchungen von MAYER (1974) an solchen stark versauerten Braunerden.

Daß auch bei der Aluminiumverlagerung die Komplexbildung mit organischen Substanzen eine wichtige Rolle spielen

kann, betont besonders v. SCHUYLENBORGH (1965). Daß Aluminium solche Komplexe bildet, wurde verschiedentlich gezeigt (z.B. SCHNITZER 1969). Welche Rolle aber diese tatsächlich im Boden spielen, ist unbekannt.

Betrachten wir nun die vorliegenden Profile der Wolkenwaldstufe, (siehe die Fe_2O_3 - Al_2O_3 - Diagramme der Profilbeschreibungen), so finden wir eine solche Al-Verlagerung bei allen älteren Bodenprofilen auf Kristallin. Die beiden jüngeren Böden Val 56 und ME 32 zeigen dagegen nur eine ganz schwache Aluminiumakkumulation. Ebenso das Profil ME 56, das im Fe-Anreicherungs-horizont auch ein schwaches Al-Maximum hat, sonst jedoch bei insgesamt sehr niedrigen Werten keine Anreicherung erkennen läßt. Soweit keine Fe-Verlagerung feststellbar ist, kann die Al-Verlagerung gut an der Fe-Verteilung gemessen werden, wenn man unterstellt, daß das Eisen den Grad der Verwitterung angibt.

Das Auftreten von Gibbsit in der Tonfraktion dieser Böden bestätigt ebenfalls die Freisetzung von Aluminium und seine getrennte Verlagerung in diesen Böden.

Ein etwas anderes Bild ergeben wiederum die Böden der Carbonera. Die Gehalte an Aluminiumoxiden sind hier sehr niedrig und man findet nur einen geringen Anstieg mit der Tiefe. Dies dürfte mit dem wechselnden geologischen Substrat zusammenhängen. Auch FIEDLER u.a. (1967) fanden in Abhängigkeit vom Ausgangsgestein erhebliche Unterschiede in der Menge des freien Al im Boden. Zu prüfen wäre allerdings, inwieweit hierbei nur die Tiefe der Verlagerung variiert, d.h. daß zwar ähnliche Mengen freigesetzt werden, jedoch eine geringere Adsorption im B-Horizont und damit ein höherer Output aus dem Profil erfolgt. Wegen des hohen Tongehalts der Böden ist dies jedoch wenig wahrscheinlich.

5.3.4 Gefüge

Das Gefüge der Böden der Wolkenwaldstufe unterscheidet sich markant von dem der trockeneren Zonen. Die Oberböden aller untersuchter Böden sind sehr locker. Diese Auflockerung kann in erster Linie als Folge der Bioturbation angesehen werden, verursacht also durch Wurzelwachstum und tierische Tätigkeit. Daß diese Auflockerung offenbar in vollem Umfang erhalten bleibt, ist Ausdruck der hohen Gefügestabilität und resultiert aus der hohen Al-Belegung am Austausch. Daneben wird im Oberboden auch der Humus noch eine zusätzliche stabilisierende Wirkung haben.

Die zwischen den Böden beobachteten Unterschiede sind dagegen sekundär und überwiegend texturabhängig. Je toniger die Böden sind, desto eher bilden sich größere Aggregate, die mit ihren abgerundeten Formen als feine bis mittlere Subpolyeder bezeichnet werden können. In den sandigeren Böden sind die Aggregate feiner. Sie haben eine krümelige Struktur von sehr poröser und bröckeliger Konsistenz, die zwischen den Fingern leicht zu noch kleineren Aggregaten zerlegt werden kann, so daß eine sinnvolle Größenangabe der Aggregate kaum möglich erscheint.

Diese sehr poröse Struktur mit in situ hoher Kohärenz ist besonders bei den Böden im Valle unter Gras ausgeprägt. Das Makrogefüge entspricht hier in etwa einem Schwammgefüge (LAATSCH, 1957). Ein entsprechendes Bild zeigen auch die Dünnschliffe. Es ist ein braunerdeartiges, agglomeroplasmisches Gefüge. Die Matrix ist stark aggregiert, die z.T. sehr kleinen Aggregate lassen große Porenräume frei und scheinen kaum miteinander zusammenzuhängen.

Die tonigeren Böden haben bei einer überwiegend isotischen Matrix innerhalb der größeren Aggregate ein geringeres Porenvolumen. Aber auch sie sind durch zahlreiche, unregelmäßig geformte Poren durchsetzt, keinesfalls durch lange gerade Schrumpfrisse, besitzen also "erdiges" - kein "Lehm"-Gefüge.

Im Bereich des Unterbodens ergibt sich ein stärker differenziertes Bild. In den skeletthaltigeren, sandigeren Böden findet man im Prinzip auch im Unterboden noch das oben skizzierte Bild. Hier mag auch eine biologisch bedingte Auflockerung tiefer reichen. Im Bereich des C_v -Horizonts wird jedoch die Aggregation mit abnehmendem Tongehalt immer geringer und man kann vielleicht mit LAATSCH (1957) am besten von einem Elementargefüge sprechen, das bei geringer Kohärenz durch Desintegration des Bodenskeletts entsteht.

Die Unterböden der tonigeren Profile sind dicht gelagert. Bedenkt man, daß alle hier beschriebenen Profile in Hangsedimenten entwickelt sind, so stellt sich die Frage, wie die bei ihrer Ablagerung mit Sicherheit sehr viel lockeren Sedimente so verdichtet wurden, was ja auch im Widerspruch zu der beobachteten aktuellen Stabilität steht. Hier geben die Dünnschliffe einen interessanten Hinweis. Sie zeigen nämlich nicht, wie erwartet, eine isotische, sondern eine lattiseptische bis skelseptische Matrix. Durchgehende Cutanen entlang von Poren finden sich dagegen nicht. Die festgestellte Tonmobilität ist also offenbar ein relikthisches Bild. Es ist anzunehmen, daß nach der frischen Ablagerung des Materials bei noch größerer Mobilität der Matrix und sehr feuchten Standortbedingungen eine Dichtlagerung stattfand, die durch die

nachfolgende stärkere Versauerung konserviert und wegen fehlender biologischer Aktivität auch nicht zerstört wurde, so daß heute ein dichtes Kohärentgefüge ohne Aggregatbildung vorliegt.

6. Die Böden der Paramos

Waldgrenzen lassen im Gelände mit natürlicher oder naturnaher Vegetation einen Wechsel in den Standortbedingungen immer ganz besonders auffällig werden. So sei am Schluß noch ein kurzer Blick auf die Böden oberhalb der Waldgrenze geworfen. Ziel soll nicht eine geschlossene Darstellung aller Bodenformen dieser Höhenstufe sein, sondern ich möchte lediglich die Unterschiede zeigen, die sich mit dem Wechsel erkennen lassen.

Die Höhe der Waldgrenze liegt im Bereich der Anden Venezuelas etwa bei 3200 m (VARESCHI 1970). Mit dem Begriff Paramo wird sowohl die Höhenstufe zwischen Wald- und Schneegrenze (4800 m) als auch die Vegetation dieser Höhenstufe bezeichnet (VARESCHI 1970). Klimatisch ist der Paramobereich um Merida nicht einheitlich. Immer noch sehr niederschlagsreich mit 1300-1600 mm N/Jahr ist der Paramo der Sierra Nevada de Merida oberhalb der Mucuy. Der Paramo de Mucuchies, über den die transandine Straße nach Barinas und Valera führt, ist dagegen mit 700-900 mm N/Jahr sehr viel trockener und schließt damit an ein weiteres Trockengebiet im oberen Chamatal um Mucuchies an, auf das hier jedoch nicht weiter eingegangen werden kann.

Die Paramos im Bereich des oberen Valle erhalten etwa 1000-1200 mm N. Die trockeneren Gebiete werden extensiv landwirtschaftlich genutzt. Da hier auch die darunter folgende Waldstufe gerodet ist, ist die Untergrenze der Paramos schwer festzustellen.

Im Bereich der Waldgrenze bzw. wenig darüber liegen in dem feuchteren Paramo der Sierra Nevada de Merida die beiden Profile ME 52 und ME 53. Beide sind in einem

skelettarmen, über 1 m mächtigen Hangschutt aus kristallinem Material entwickelt.

Profil ME 53 liegt in etwa 3400 m Höhe bereits unter einem 3-5 m hohen Buschwald, Profil ME 52 in 3500 m Höhe unter typischer Paramovegetation von Gräsern und Zwergsträuchern.

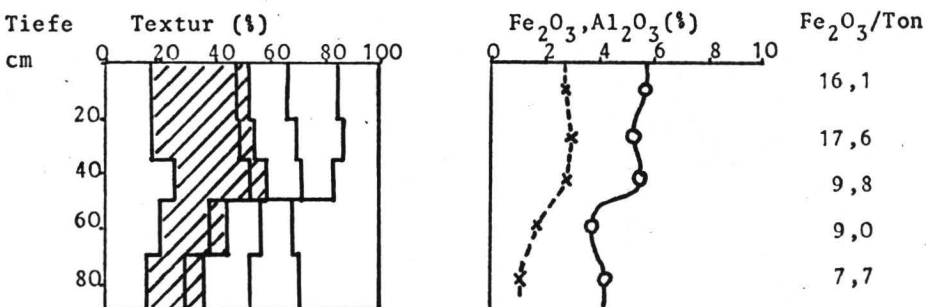
Den auffallendsten Unterschied zeigt das Humusprofil. Der Paramoboden ME 52 hat einen mächtigen, sehr dunklen A-Horizont mit allmählichem Übergang in den offenbar auch noch stärker humosen B-Horizont. Unter Wald findet sich dagegen eine Humusauflage, die eine geringere Zersetzung im Vergleich zu den Auflagen weiter unten im Nebelwald zeigt. Der darunter folgende A-Horizont ist deutlich schwächer gefärbt und von geringerer Mächtigkeit. Die Humusgehalte sind besonders in Profil ME 52 (typische Paramo-Vegetation) sehr hoch. Bei der geringen Produktivität dieser kalten Höhenstufe (Jahresdurchschnittstemperatur unter 8°C) läßt das auf einen verzögerten Abbau schließen.

In beiden Profilen ist ein B-Horizont ausgebildet, der mit seiner gelbbraunen Farbe durchaus den B-Horizonten im Wolkenwaldbereich vergleichbar ist.

Die beiden Profile sind sauer und haben eine Basensättigung von unter 20 %. Auffallend war die deutliche Al-Verlagerung im Waldprofil ME 53. Hierbei zeigt dieses Profil also noch keinen Unterschied zum Wolkenwaldbereich. Der Paramoboden läßt jedoch keine derartige Mobilität mehr erkennen. Auch in anderen untersuchten Paramoprofilen fand sich hierfür kein Anhaltspunkt. Da diese Böden ebenfalls sehr sauer sind, müßte, wenn diese Beobachtung zutrifft, die Frage nach dem Einfluß organischer Substanzen auch bei der Al-

Profil ME 52, Typic Cryumbrept

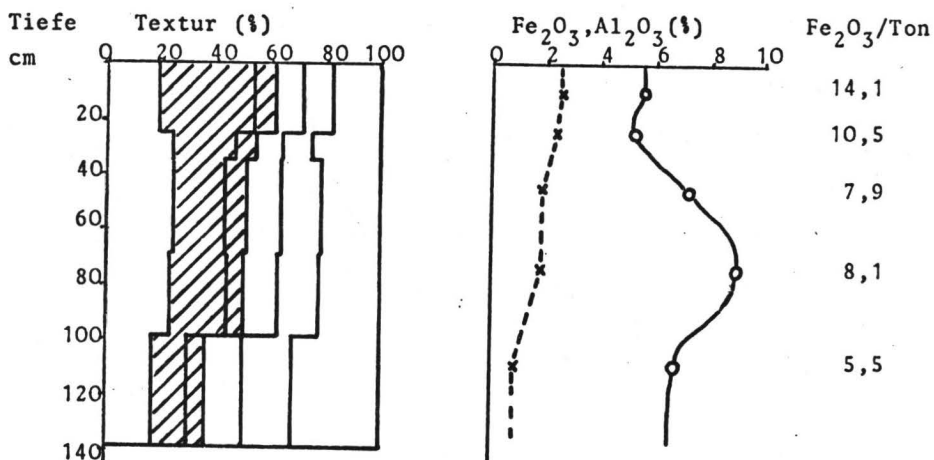
Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _{h1}	0-20	schwarz, locker kohärent, stark durchwurzelt
2	A _{h2}	20-35	dunkelgrau, locker kohärent, stark durchwurzelt
3	A _h /B _v	35-50	dunkelgraubraun, mittel subpolyedrisch bis kohärent, mäßig locker
4	B _v	50-70	braun, fein subpolyedrisch, mäßig locker
5	B _v /C _v	70-90	blau gelblichbraun, fein bis mittel subpolyedrisch, mäßig locker



Nr.	pH	C	C/N	V
		%		%
1	4,0	10,4	20,7	7,0
2	4,05	8,9	20,3	6,6
3	4,15	6,2	20,3	5,9
4	4,45	3,3	19,8	6,1
5	4,55	1,5	22,3	5,2

Profil ME 53, Typic Cryumbrept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	$O_L O_F$	10	Humusauflage aus Laubstreu, lagig
2	A_h	0-25	dunkelbraun, locker kohärent, mäßig durchwurzt
3	A_h/B_v	25-35	braun, kohärent bis schwach subpolyedrisch mäßig locker
4	B_{v1}	35-70	gelbbraun, schwach ausgeprägt mittelsubpolyedrisch, mäßig locker
5	B_{v2}	70-100	hell gelbbraun, brüchig kohärent, mäßig locker
6	C_v	100-140	blaß graubraun, brüchig kohärent, mäßig dicht



Nr.	pH	C	C/N	V
1		keine	Analysendaten	
2	4,2	5,6	18,7	10,8
3	4,35	3,8	18,8	12,1
4	4,6	1,7	20,0	17,1
5	4,65	1,4	25,3	11,6
6	4,6	0,6	22,8	8,6

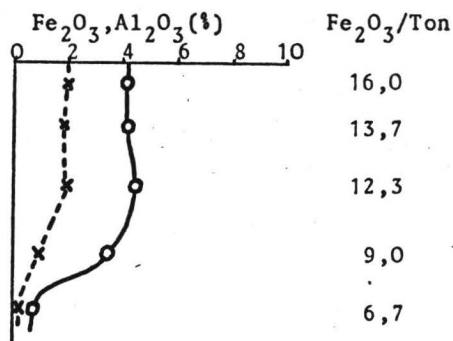
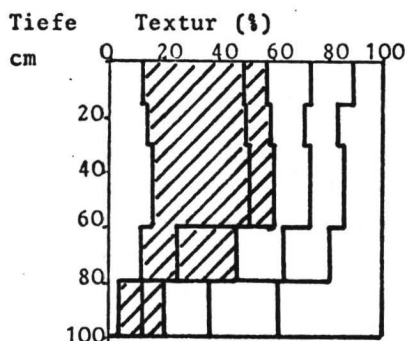
Verlagerung neu geprüft werden. Anhand des vorliegenden Materials kann dazu jedoch keine weitere Aussage gemacht werden.

Geomorphologisch ist diese Region durch glaziale Prozesse geprägt (CARDENAS 1962). Erosiv kaum gestörte Moränen finden sich bis etwa 3000 m herab, stärker überformte Moränenreste mit groben Blöcken liegen im Valle noch bei 2500 m Höhe.

Dieses Moränenmaterial ist oft sehr dicht gepackt und nur schwer durch pedogene Prozesse aufzulockern und umzuformen. Die Moränenoberfläche ist jedoch meist mit einem Lockersediment bedeckt, das in unterschiedlicher Dicke die Moräne überzieht und kleinere Rinnen und Dellen ausfüllt. Eine solche Situation repräsentiert das Profil Val 65, das in etwa 3100 m Höhe an einem ca. 20° geneigten Moränenhang im oberen Valle liegt. Eine flache Rinne in der Moräne ist hier mit Lockermaterial gefüllt, das eine Mächtigkeit bis 80 cm im Zentrum der Rinne erreicht. Seitlich der Rinne liegt ein skelettreiches Lockersediment von nur etwa 20 cm Dicke über der Moräne. Darin hat sich ein schwarzer A-Horizont entwickelt, der direkt dem unveränderten Moränenmaterial aufsitzt (A-C Profil). In dem mächtigeren Sediment in der Rinne, das im unteren Teil ebenfalls einen sehr hohen Skelettanteil aufweist, der nach oben zu jedoch sehr rasch völlig verschwindet, ist unter einem mächtigen A-Horizont auch ein blaßbrauner B-Horizont entwickelt. Insoweit gleicht dieses Profil noch weitgehend dem Profil ME 52. Als Besonderheit findet man jedoch direkt oberhalb des dichten IIC-Horizonts ein Eisenband ausgebildet. Es ist nur etwa 1 mm dick und bildet als dünner durchgehender Überzug - selten auch etagenförmig in mehreren Schichten - die Grenze zwischen Locker-

Profil Val 65, Typic Placaquept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _{h1}	0-15	schwarzbraun, brüchig kohärent, locker, dicht durchwurzelt
2	A _{h2}	15-30	dunkelbraun, locker, brüchig kohärent
3	A _h /B _v	30-60	braun, brüchig kohärent, mäßig locker
4	B _v	60-80	hellbraun, brüchig kohärent, mäßig locker
5	B _s	80	dünnes (1mm), kontinuierliches Eisenbändchen
6	C	80-100	hellgrau, sehr dicht gepacktes Moränenmaterial



Nr.	pH	C	C/N	V
1	4,4	8,7	19,1	39,3
2	4,4	5,8	20,2	17,8
3	4,55	3,9	19,5	19,8
4	4,8	2,3	19,3	16,4
5	keine Analysendaten			
6	4,8	0,2	40,2	42,5

sediment und fester Moräne. Es ist nur in der Rinne ausgebildet und löst sich zu den Seiten hin auf.

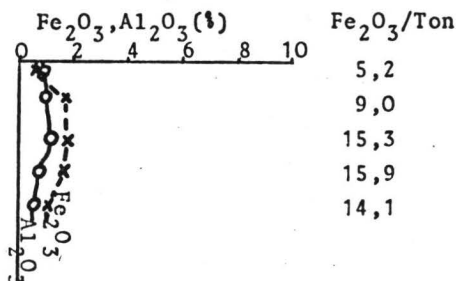
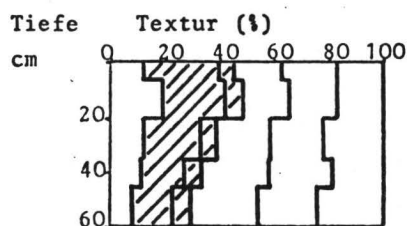
Die Tendenz zur Bildung solcher Eisenbändchen kann man öfter im Paramo beobachten. Sie wurde auch bereits beschrieben. ZÖTTL (1970) berichtet aus dem gleichen Gebiet von Böden in Unterhang- und Muldenposition, die eine Eisenanreicherung zum Teil in der oben beschriebenen Form zeigen. Wie aufgrund der Geländebeobachtung zu erwarten, konnte er zeigen, daß für die Eisendynamik der Paramoböden vor allem wechselnde Redoxpotentiale, also gleyartige Prozesse entscheidend sind. Ähnliche Schlußfolgerungen ziehen auch FÖLSTER u.a. (1976) aufgrund von Beobachtungen an rezenten Böden und Paläobodenresten in den kolumbianischen Anden. In den dort meist vorhandenen Aschenböden bilden sich sehr mächtige Eisenbänder unter grauen Feuchtböden aus, während sie unter trockeneren Bedingungen kaum zu beobachten sind. Ausgeschieden wird hierbei das Eisen immer an Flächen einer Diskontinuität im vertikalen Porensystem des Bodens.

Auch das letzte zu beschreibende Profil weist noch einmal auf die nassebedingte Fe-Dynamik im Paramo. Profil MU 7 liegt in 4300 m Höhe im Paramo de Mucuchies am Oberhang eines langen flachen Rückens. Anstehendes Gestein ist ein Glimmerschiefer, dessen Verwitterung rasch zu einer Auflösung des Gesteinsverbands und zu mechanischem Zerfall führt.

Der A-Horizont ist ebenfalls wieder sehr dunkel gefärbt, aber seine Mächtigkeit ist bereits sehr gering. Der Boden zeigt also noch einmal die Tendenz zur Bildung dunkler A-Horizonte. Die mit 5 % C noch recht hoch erscheinenden

Profil MU 7, Aquic lithic Cryumbrept

Nr.	Hor.	Tiefe	Beschreibung
1	A _h	0- 6	dunkelgrau, mittel subpolyedrisch, mäßig locker
2	A _h (B _v)	6-20	dunkel violettbraun, mäßig dicht, brüchig kohärent
3	BS _w	20-35	dunkelbraun mit orangefarbener Fleckung, mäßig dicht, brüchig kohärent
4	S _w /S _d	35-45	blaß graubraun, stark rostfleckig, dicht
5	S _d (C _v)	45-60	hellgrau, orangefleckig, saprolithartig aufgelöster Glimmerschiefer, dicht



Nr.	pH	C %	C/N	V %
1	4,15	5,6	14,2	60,0
2	4,05	3,8	14,8	36,6
3	4,2	3,1	18,3	34,6
4	4,3	1,1	21,0	25,3
5	4,4	0,2	16,1	43,7

Humusgehalte sind um so erstaunlicher, als das Profil fast vegetationslos ist, von wenigen, vereinzelt Polsterpflanzen abgesehen. Dies macht besonders deutlich, wie gering die Abbaurate des Humus in dieser Höhenstufe ist.

Ob ein B-Horizont ausgebildet wird, scheint vor allem von der Mächtigkeit des Lockersediments abzuhängen. In diesem Profil ist er nur angedeutet.

Unter dem A-Horizont findet sich ein Gesteinszersatz bis 60 cm Tiefe, der nach unten zu immer dichter gelagert ist. Das geringe, nach unten abnehmende Porenvolumen bewirkt bei Niederschlägen einen Wasserstau, der im Boden zu einer Marmorierung führt, mit einem Eisenverlust aus dem Oberboden und einer geringen Anreicherung in der Zone maximaler Fleckung (S_w/S_d -Horizont) (Abb. 10).

Diese oft zu beobachtende Flachgründigkeit der Böden im Paramo führt, verstärkt durch die geringe Evapotranspiration, besonders in Senken und Rinnen leicht zu Stauwasser und verursacht dadurch die besondere Eisendynamik dieser Böden.

Die Bodenentwicklung im Bereich der Paramos zeigt also im Vergleich zum Wolkenwald keine grundsätzlich andersartige Dynamik. Aufgrund der besonderen geomorphologischen Verhältnisse im Glazialbereich findet man häufig flachgründige Böden, die bei stärkerer lateraler Hangwasserbewegung stellenweise zu Eisenmobilität und Bildung von charakteristischen bandförmigen Eisenausscheidungen führen. Durch den Wechsel in der Vegetation und die niedrigen Temperaturen bildet sich ein tiefgründiges Humusprofil mit hohen Humusgehalten. Die Böden sind sauer und befinden sich im Bereich der Al-Pufferung.

7 ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION

Im folgenden sei versucht, die beobachteten pedogenen Prozesse zusammenfassend darzustellen und die Faktoren aufzuzeigen, welche die Pedogenese steuern.

7.1 Die unterschiedlichen Typen des Wasserhaushalts

Einer der wichtigsten Faktoren der Bodenbildung ist das Klima, besonders in seiner Auswirkung auf den Bodenwasserhaushalt, der seinerseits alle anderen pedogenen Prozesse entscheidend beeinflusst. Relevant ist hierbei vor allem die Niederschlagshöhe, ihre zeitliche Verteilung und die potentielle Evapotranspiration. Daß der Bodenwasserhaushalt eines konkreten Bodens darüberhinaus in erheblichem Maße durch bodeninterne Größen und Relieffaktoren beeinflusst wird, zeigt z.B. die Hydrosequenz San Eusebio (siehe Kap. 5).

Vom Trockengebiet bis zum Wolkenwald sinkt bei steigendem Niederschlag die Temperatur, was den Feuchtefaktor noch verstärkt. Die Temperatur kann also zunächst nur als Korrektur zum Niederschlag betrachtet werden. Ihre eigenständige Bedeutung erscheint abgesehen von einer allgemeinen Beschleunigung der meisten chemischen Reaktionen mit steigender Temperatur gering. Auf die besondere Bedeutung der Temperatur für die Humusdynamik wird später noch eingegangen.

Wir können also zunächst eine Sequenz zunehmender Feuchte vom Trockengebiet um Lagunillas bis in die obere Wolkenwaldstufe betrachten. In vereinfachter Form lassen sich drei Bodenwasserhaushaltsmodelle für das Trockengebiet, den Übergangsbereich und den Wolkenwald aufstellen (Abb. 12, siehe auch FÖLSTER u.a., 1974):

NIEDERSCHLAG

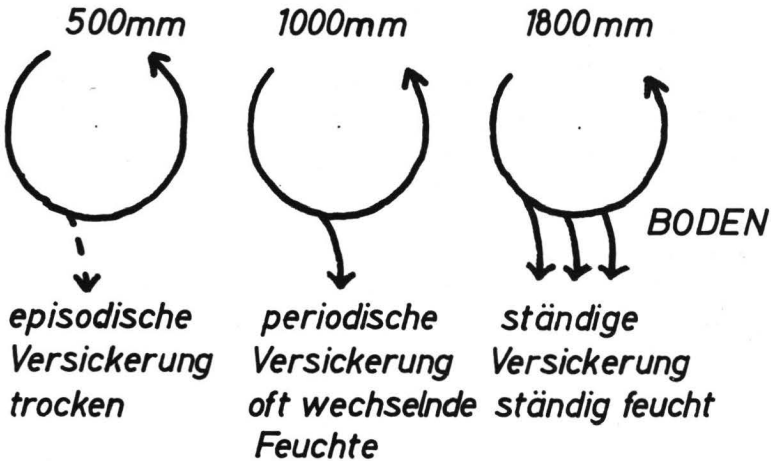


Abb.12 Vereinfachte Darstellung des Bodenwasserhaushalts in Abhängigkeit vom Niederschlag

a) Im Trockengebiet mit einem Jahresniederschlag von 500 mm und einer Regenzeit von 6-7 Monaten werden die Speicherkapazität des Bodens und die Verdunstung größer als die Niederschläge sein.

Beispiel: Bei einem Porenvolumen im Bereich des pflanzenverfügbaren Wassers ($pF_{2-4,2}$) von 15 % hat ein Boden von 80 cm Tiefe eine Speicherkapazität von 120 mm Niederschlag, was bei einer Verdunstung von 4 mm dem Wasserverbrauch eines Monats entspricht.

Niederschlagsperioden, die diese Speicherkapazität übersteigen, sind nur sporadisch zu erwarten. Eine Versickerung und Auswaschung aus dem Bodenprofil tritt also nur episodisch auf, die Perkulationsrate aus dem Profil ist damit minimal.

b) Bei einem Niederschlag von 1000 mm ist während der Regenzeit mit einer größeren Versickerung zu rechnen. Keine Versickerung dürfte jedoch während der Trockenzeit auftreten. Es ist also eine periodische Versickerung während der Regenzeit anzunehmen.

Im Bodenprofil muß mit starken Schwankungen in der Wassersättigung durch den Wechsel von Regen- und Trockenzeit, aber auch während der Regenzeit in Abhängigkeit von einzelnen Niederschlägen gerechnet werden. Dies macht sich auch in der starken Gefügedynamik dieser Zone bemerkbar.

c) Im Wolkenwaldbereich findet eine ständige Versickerung statt. Das zeigen die Beobachtungen in San Eusebio deutlich. Auch während der Trockenzeit sind die Niederschläge hier so hoch, daß eine stärkere Austrocknung der Profile nie eintritt.

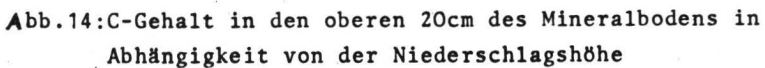
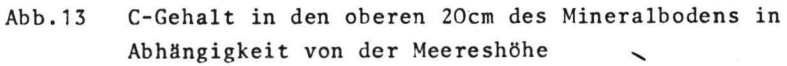
7.2 Die Humusdynamik in ihrer Abhängigkeit von den geographischen Faktoren Niederschlag und Höhe (Temperatur)

KONONOWA (1959) weist auf den schwierig zu überblickenden Faktorenkomplex hin, der Menge und Art des Humus in einem konkreten Boden bestimmt. Da zudem viele Faktoren nicht unabhängig voneinander sind, hält sie es für falsch, Korrelationen (wie sie z.B. JENNY aufgestellt hat) zwischen Humusgehalt und einem einzigen anderen Faktor (z.B. Temperatur) aufzustellen.

Meiner Ansicht nach zeigt eine Korrelation jedoch, daß der jeweilige Faktor eine Rolle spielt, wenn damit auch selbst bei hohen Stichprobenzahlen und günstigen Korrelationskoeffizienten nicht mehr als eine qualitative Aussage erreicht wird. Für sinnvolle quantitative Aussagen wäre ein Verständnis der kausalen Zusammenhänge nötig, das auf dem Gebiet der Humusdynamik noch weitgehend fehlt. So ist es auch nicht verwunderlich, wenn gefundene Korrelationen weder extrapoliert werden können, noch auf ein anderes Kollektiv (etwa eine andere geographische Region) übertragbar sind (JENNY, 1948).

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen soll im folgenden der Einfluß von Höhenlage (Temperatur) und Niederschlag auf die Humusmenge und das C/N-Verhältnis (als ungefähres Maß der Humusqualität) dargestellt werden.

Die Abb. 13 und 14 zeigen, daß der Humusgehalt in den oberen 20 cm sowohl positiv mit dem Niederschlag als auch mit der Höhe korreliert. Da Niederschlag und Höhe bis in den oberen Wolkenwaldbereich jedoch gleichsinnig ansteigen, lassen sich beide Wirkungen kaum trennen. Die etwas straffere Korrelation mit dem Niederschlag und



das Umbiegen der Höhenfunktion im Paramobereich scheinen einen stärkeren Einfluß des Niederschlags auf den Humusgehalt anzuzeigen. Die oben genannten Einschränkungen und die geringe Datenzahl erlauben jedoch keine detaillierten Aussagen. Als Einschränkung muß auch angesehen werden, daß nicht die Gesamthumusmenge je Profil angegeben wurde. Dies scheiterte jedoch an den fehlenden Raumgewichten. So konnten in der Korrelation auch die Profile ME 56 und SEU 36 mit Humusauflage über gebleichtem, humusarmen Mineralboden nicht sinnvoll aufgenommen werden.

Die hier gemachte Beobachtung des Ansteigens des Humusgehalts mit steigenden Niederschlägen und abnehmender Temperatur wird in ihrer qualitativen Aussage durch vorhandene Untersuchungen bestätigt (z.B. JENNY 1948, TYURIN in KONONOWA 1959, JAGNOW 1967).

Einen ähnlichen Zusammenhang findet man auch beim C/N-Verhältnis, das mit zunehmender Höhe und zunehmendem Niederschlag weiter wird (Abb. 15). Dieselbe Beobachtung machte HADORN (in MOHR u.a., 1972) in Indonesien. Die sehr große Streuung der Werte weist jedoch wieder eindringlich auf die Bedeutung weiterer Faktoren hin, die die Zusammensetzung des Humus beeinflussen.

Will man trotz der Schwierigkeiten ein erklärendes Modell (Abb. 16) erhalten, das die qualitativen Befunde richtig wiedergibt, so scheint mir folgende Vorstellung plausibel (siehe auch MOHR u.a., 1972):

Die Humusmenge kann schematisch als abhängig von der pflanzlichen Nettoprimärproduktion und der mikrobiellen Abbaurate betrachtet werden. Danach würde sich bei Konstanz dieser beiden Faktoren nach einer bestimmten Zeit

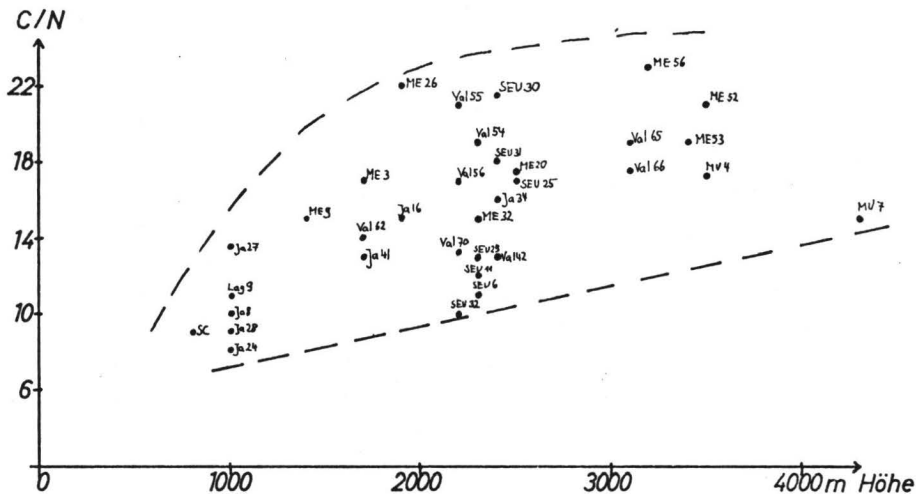
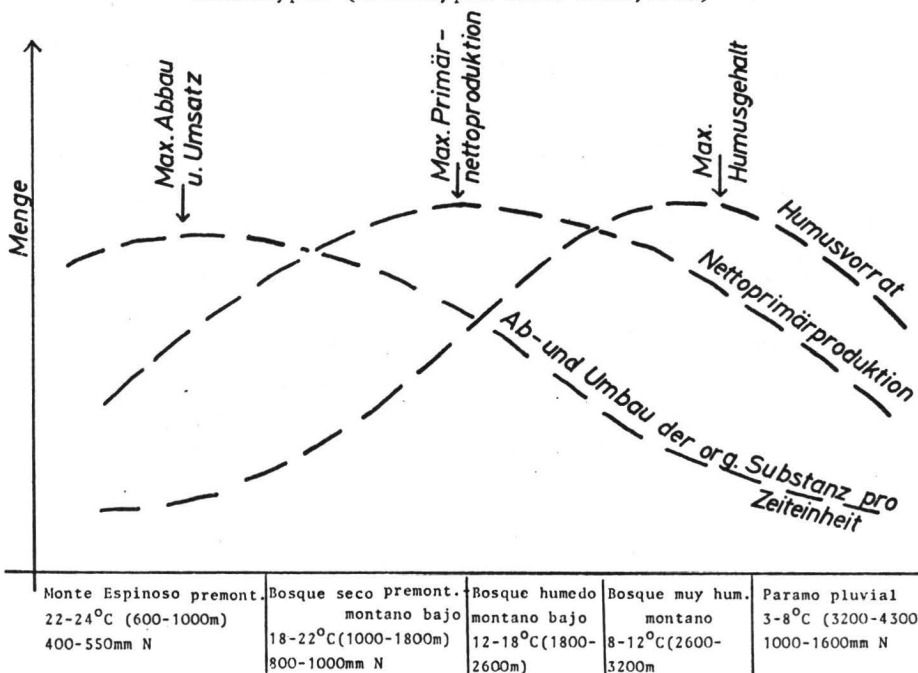


Abb. 15 C/N-Verhältnis in den oberen 20cm des Mineralbodens in Abhängigkeit von der Meereshöhe

Abb. 16 Schematisches Modell zur Humusdynamik der verschiedenen Klimatypen (Klimatypen nach EWEL, 1968)



immer ein bestimmter Humusgehalt im Boden einstellen. Bei Einbeziehung der Zeitfunktion müßte auch der Anfangshumusgehalt im Boden berücksichtigt werden (LAUDELOUT, 1960; JENNY, 1965). Weiterhin kann man als gesichert unterstellen, daß das Optimum der mikrobiellen Tätigkeit bei höheren Temperaturen liegt als die Nettoprimärproduktion. Der optimale Temperaturbereich der Nettoprimärproduktion tropischer Laubbäume liegt nach LYR u.a. (1967) bei 25-30°C, bei höheren Temperaturen steigt bereits die Atmung der Bäume selbst stärker an als die Photosyntheseleistung. Nach WOLLNY (in KONONOWA, 1959) lag die optimale Temperatur für die Zersetzung organischer Stoffe bei 40°C. Selbstverständlich spielen für den Abbau eine Reihe weiterer Faktoren eine wichtige Rolle, wie z.B. Zusammensetzung der Pflanzenrückstände, Feuchte, Ionenmilieu des Bodens und andere.

So folgt als Ergebnis im Hinblick auf das vorliegende Arbeitsgebiet für den Humusabbau ein Maximum im wärmeren und trockeneren Teil, vermutlich mit einer Abnahme zur trockensten Zone hin und einer starken Abnahme mit der Höhe, für die Primärproduktion dagegen ein in die höheren und feuchteren Lagen verschobenes Maximum, das ohne konkrete Anhaltspunkte etwa auf den Übergangsbereich der beiden Vegetationstypen des bosque seco premontano zum bosque humedo montano bajo (Bezeichnungen nach EWEL u.a., 1968) gelegt wurde. Daraus würde ein Maximum des Humusgehalts in noch größerer Höhe und bei entsprechend höheren Niederschlägen folgen. Die Aussagefähigkeit dieses Modells ist zweifellos gering, und die Kurvenverläufe weitgehend spekulativ. Es gestattet jedoch eine anschauliche Darstellung der gemachten Beobachtungen.

7.3 Die Bodenversauerung und damit zusammenhängende Prozesse

Der zunehmende Niederschlag und die sich mit Niederschlag und Höhe ändernde Humusdynamik bewirken ein Absinken des pH-Werts im Boden, als Ausdruck entscheidender Veränderungen im Prozeßgefüge des Bodens. Quelle der Versauerung ist einmal das Niederschlagswasser und die darin gelösten Stoffe. Der H-Ioneninput mit dem Niederschlag ist jedoch gering. Wasser im Gleichgewicht mit dem CO_2 -Gehalt der Luft hat einen pH-Wert von 6,2, und eine stärkere pH-Erniedrigung des Regenwassers hat erst in jüngster Zeit in Regionen mit starker Industrialisierung stattgefunden (ULRICH, 1975). Immerhin bewirkt bereits der geringe H-Ioneninput eine allmähliche Kalkauswaschung aus dem Boden.

Als weitere wichtige H-Ionenquelle muß deshalb die organische Substanz des Bodens und ihre Umsetzungen angenommen werden, worauf besonders LAATSCH (1957) hinweist. Vor allem der mit ungünstiger werdenden Abbaubedingungen steigende Anteil wasserlöslicher organischer Säuren dürfte hierbei eine wichtige Rolle spielen.

Geht man von einem etwa neutral reagierenden wenig verwitterten Ausgangsmaterial der Bodenbildung aus, wird man in Abhängigkeit von Niederschlag und sich entwickelnder Humusdynamik einen unterschiedlich hohen Wasserstoffioneninput und eine unterschiedlich hohe Auswaschungsrate haben. Als Ergebnis findet man ein unterschiedlich rasches Absinken des pH-Werts im Boden. Dies wurde in Abb. 17 schematisch dargustellen versucht:

1. Im Trockengebiet mit Niederschlägen um 500 mm hat sich der pH-Wert praktisch nicht verändert. Der Boden ist im Bereich der Kalkpufferung geblieben, der V-Wert beträgt

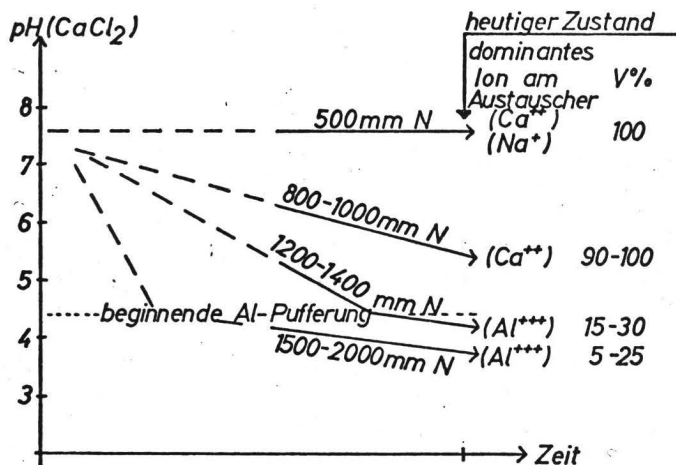


Abb. 17 Schematische Skizze der Bodenversauerung in Abhängigkeit von zeitlicher Dauer und Niederschlagshöhe

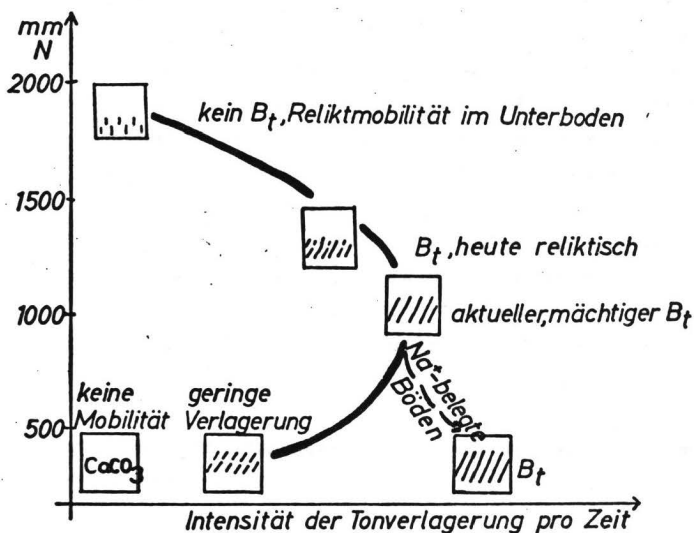


Abb. 18 Schematische Skizze der Tonverlagerung in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe

100 %, am Austauscher dominiert Ca^{++} , in topographisch besonderen Positionen gibt es allerdings auch einen höheren Na^{+} -Anteil, verbunden mit schwach basischer Bodenreaktion.

2. Bei Niederschlägen um 800-1000 mm wird der Bereich der Kalkpufferung verlassen, die Bodenreaktion beträgt etwa pH 5,0-5,5, der V-Wert liegt immer noch bei 90-100 %.

3. Bei 1200-1400 mm Niederschlag sind die Böden in den Bereich der Al-Pufferung gelangt, der pH-Wert ist unter 4,5 abgesunken, der V-Wert unter 30 %.

4. Bei noch höheren Niederschlägen findet man ein ähnliches Ergebnis wie in Punkt 3. Die Al-Pufferung gestattet also keine weitere pH-Änderung. Man darf jedoch annehmen, daß die Versauerung unter diesen Bedingungen sehr viel rascher abläuft und der Bereich der Al-Pufferung schon nach kürzerer Zeit erreicht wird.

Hinweise dafür, daß der tatsächliche Ablauf der Bodenentwicklung diesem theoretischen Konzept ähnlich war, findet man besonders bei der Betrachtung der Gefügedynamik anhand der Dünnschliffe. Hier sei vor allem an die ausgeprägte fossile Tonverlagerung in Profil Ja 16 erinnert, sowie an die fossile Tonmobilität und Gefügeverdichtung der tonigen Unterböden im Wolkenwaldbereich, in denen wegen fehlender biologischer Auflockerung eine vorangegangene Phase der Plasmamobilität konserviert wurde. Diese mobile Phase ist an den noch vorhandenen Plasmaseparationen erkennbar. Eine detailliertere Beschreibung wurde bereits gegeben.

Betrachtet man das Gefüge über den gesamten Beobachtungsbereich hin, so lassen sich folgende Veränderungen feststellen:

Im Trockengebiet ist eine biologisch bedingte Auflockerung gering. Die höchste Aggregatstabilität besitzen die Sedimente mit höheren Kalkgehalten, die entsprechend auch das lockerste feinpolyedrisch-prismatische Gefüge haben. Ansonsten ist eine Tendenz zur Dichtlagerung feststellbar. Die tonigen Böden mit beginnender Plasmamobilität sind arm an gröberen Poren und haben ein dichtes, wenig ausgeprägtes Polyedergefüge mit einer etwas stärkeren Auflockerung nur im A-Horizont. Zu besonders starker Dichtlagerung neigen die Na-Böden mit starker Tonverlagerung. Eine Aggregatbildung ist kaum noch erkennbar, das Gefüge erscheint kohärent und ist in trockenem Zustand sehr fest. Infolge der großen Dichtlagerung im B_t -Horizont findet man hier teilweise eine hydromorphe Marmorierung (Lag 13a).

Eine geringe Gefügestabilität liegt auch im Übergangsbereich vor. Besonders der B_t -Horizont ist deshalb auch hier dicht gelagert, oft mit Staunässemerkmalen. Die starke Quellung und Schrumpfung der Böden infolge der stark wechselnden Wassersättigung bewirkt zwar ein deutlich ausgeprägtes Polyedergefüge. Das hierdurch geschaffene Porensystem entlang der Spaltflächen ist jedoch durch die dicht zusammenschließenden Polyeder gering und wird sicherlich bei Befeuchtung (Quellung) noch weiter reduziert. Eine solche Verdichtung scheint nur durch einen sehr hohen Skelett- und Sandanteil verhindert zu werden (Profil ME 9). Andererseits ist in dieser Klimazone die biogene Auflockerung stärker. In den dunklen A-Horizonten findet man ein mäßig lockeres Subpolyedergefüge.

Auf die hohe Gefügestabilität im Wolkenwaldbereich wurde bereits mehrfach hingewiesen. Charakteristisches Merkmal dieser Böden ist die große Lockerheit und Durchlässigkeit

besonders im Oberboden. Das gleiche gilt auch für die allerdings meist flachgründigeren Böden des Paramobereichs.

Die Steuerung der Gefügebrausprägung erfolgt also in Abhängigkeit von der Versauerung durch mögliche Plasmamobilität (Tendenz zur Dichtlagerung) und als entgegengesetzte Kraft die biogene Auflockerung, die zu unregelmäßiger geformten Aggregaten und einem größeren Hohlraumanteil führt.

In direktem Zusammenhang mit der Versauerung muß auch die Tonverlagerung gesehen werden.

Wie gezeigt, beginnt die Tonverlagerung mit Schwinden des Kalks aus dem Boden. Es läßt sich vorstellen, daß ein um so ausgeprägter B_t -Horizont gebildet wird, je günstiger die Bedingungen für eine Tonverlagerung sind und je länger diese Bedingungen andauern. Abb. 18 versucht, diese Beziehungen wieder in einer schematischen Skizze zu verdeutlichen. Abb. 18 muß auch im Zusammenhang mit Abb. 17 (Versauerung) gesehen werden. Mit der Skizze soll folgendes gezeigt werden:

In der Wolkenwaldstufe wird sehr rasch der Bereich der Al-Pufferung erreicht, wodurch die Plasmamobilität gestoppt wird. In der kurzen Zeit einer möglichen Mobilität tritt keine bilanzmäßig bedeutende Tonverlagerung auf, sondern lediglich eine Dichtlagerung des Gefüges. Mit abnehmenden Niederschlägen wird die Ausbildung eines B_t -Horizonts immer deutlicher und ausgeprägter. Man kann sich vorstellen, daß die für Tonverlagerung besonders günstigen Bedingungen hier für einen zunehmend längeren Zeitraum gegeben sind. Im Trockengebiet dagegen findet in den kalkhaltigen Sedimenten überhaupt keine Tonverlagerung statt, in den fast kalkfreien aber noch neutralen Tonböden findet

man zwar eine Tonmobilität, die jedoch in den tonigen dichten Böden nicht zu einer stärkeren Verlagerung führt.

Günstige Bedingungen sind dagegen in den Na-Böden gegeben. Hier findet aufgrund der hohen Tonmobilität eine starke Tonverlagerung statt, und es wird ein entsprechend mächtiger B_t -Horizont gebildet.

Während also vom Feuchten zum Trockenen hin vor allem die Zeitdauer ansteigt, in der Tonverlagerung möglich ist, findet man im Trockengebiet eine besonders ausgeprägte Differenzierung nach den Milieubedingungen im Boden. In geringerem Maße beeinflussen diese selbstverständlich auch in den übrigen Zonen eine mögliche Tonverlagerung.

Mit dem Eintritt in den Al-Pufferbereich können die auftretenden H-Ionen nur noch durch Auflösung von Silikatstrukturen abgepuffert werden. Je nach Menge des Wasserstoffioneninputs wird man eine unterschiedlich rasche Zersetzung der primären Silikate und auch der Tonminerale erwarten müssen.

In Abhängigkeit von der Humusdynamik tritt die stärkste Versauerung im Wolkenwaldbereich auf. Der Silikatabbau wird in der Aluminiumfreisetzung und Verlagerung im Profil deutlich. Es muß angenommen werden, daß die immer wieder zu findenden Texturgradienten der Böden dieser Stufe mit leichter texturiertem Oberboden abgesehen von den sedimentär bedingten Unterschieden in allerdings unbekanntem Ausmaß ebenfalls durch diesen Prozeß der Tonzerstörung mit verursacht sind.

Die Dimension dieses Prozesses wird durch folgendes Beispiel deutlich: ULRICH (1975) berechnete für ein mittel-

europäisches Waldökosystem bei einem pH-Wert des Sickerwassers von der Humusaufgabe in den Mineralboden von 3,65 einen H-Ioneninput je Jahr und Hektar von 2,0 kвал (Jahresniederschlag ca. 1000 mm), von denen 1,7 kвал im Boden abgepuffert wurden, überwiegend durch Freisetzung von Al aus silikatischer Bindung. Das entspricht einer Lösung von 15 kg Al/Jahr/ha oder einer Zerstörung von 72 kg Kaolinit.

7.4 Einige Betrachtungen zur Eisendynamik

Das Eisen erscheint über den gesamten Beobachtungsbereich hin stabil, soweit nicht Stauwassereinflüsse erkennbar werden. Eine Mobilität durch reduktives Milieu tritt im Zusammenhang mit dichten B_t -Horizonten auf. Eine besonders starke Mobilisierung bis zur völligen Bleichung des Oberbodens findet man bei den Stauwasserböden der Wolkenwaldstufe. Die Reduzierung und Verlagerung mag hierbei auch durch die organische Substanz des Bodens noch gefördert werden. Eine hierzu parallele Erscheinung sind die Eisenbändchen im Paramo.

Als weitere Beobachtung findet man einen Wechsel im Farbton der Böden. Die Böden des Trockengebiets sind rotbraun. Zur feuchteren Zone hin findet man schon ab etwa 1000 mm Niederschlag (ca. 1200 m Höhe) einen Umschlag in überwiegend gelbbraune Farbtöne. Wie bereits erwähnt, kann aufgrund der Farbe auf die Art des Eisenminerals geschlossen werden. Wir haben also einen Wechsel von Hämatit zu Goethit.

Nach SCHWERTMANN (1969) kann die Hämatitsynthese vor allem durch organische Substanzen gestört werden. Hämatit bildet sich deshalb bevorzugt in Regionen mit geringer organischer

Substanzproduktion und vor allem mit raschem, vollständigem Abbau, also in warm-trockenem Klima. Unter humiden bis per-humiden Klimabedingungen mit entsprechender Humusdynamik wird dagegen Goethit als dominantes Eisenmineral im Boden gebildet. Hier scheint eine Hämatitsynthese nur in tieferen Bodenschichten ohne Humuseinfluß (Saprolith) möglich.

Auf den dadurch bedingten geographisch-klimazonalen Zusammenhang mit der Art der gebildeten Eisenminerale weist SCHWERTMANN (1969) hin. Entsprechende Beobachtungen liegen vor allem aus dem europäisch-afrikanischen Bereich vor (LENEUF u.a., 1963; SEGALIN, 1969; SCHWERTMANN, 1969; FOLSTER, 1971).

Literaturverzeichnis

- Ball, D.F. and Beaumont, P. (1972): Vertical distribution of extractable iron and aluminium in soil profiles from a Brown Earth - peaty Podzol Association.
J. Soil Sci. 23, 298-308.
- Barratt, B.C. (1965): Micro-morphology of some yellow-brown earths and podzols of New Zealand.
New Zealand Journ. Agric. Research 8, 997-1042
- Bennema, J. (1963): The red and yellow soils of the tropical and subtropical uplands.
Soil Sci. 95, 250-257
- Bigarella, J.J. u. Mousinho, M.R. (1966): Slope development in southeastern and southern Brazil.
Zeitschr. f. Geomorphologie 10, 150-160
- Blum, W.E. u. Ganssen, R. (1972): Bodenbildende Prozesse der Erde ihre Erscheinungsformen und diagnostischen Merkmale in tabellarischer Darstellung.
Die Erde 103, 7-20
- Blume, H.P. (1964): Zum Mechanismus der Tonverlagerung.
Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci., V, 715-722
- Blume, H.P. u. Schwertmann, U. (1969): Genetic evaluation of profile distribution of aluminium, iron and manganese oxides. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33, 438-444
- Bosse, I. (1964): Verwitterungsbilanzen von charakteristischen Bodentypen aus Flugsanden der nordwestdeutschen Geest (Mittelwesergebiet). Diss. Göttingen
- Brewer, R. (1964): Fabric and mineral analysis of soils.
New York, London, Sydney
- Brown, G. (1961): The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. London
- Buol, S.W. (1965): Present soil-forming factors and processes in arid and semiarid regions.
Soil Sci. 99, 45-49
- Buringh, P. (1968): Introduction to the study of soils in tropical and subtropical regions. Wageningen
- Cabello L.O. (1966): Estudio geomorfológico del área de Mérida y sus alrededores.
Thesis de Grado, U.L.A. Mérida

- Cardenas A.L.(1962): El glaciario pleistoceno en las cabeceras del Chama. Revista Geografica(Venezuela) 3, 173-194
- Castillo,J.B.(1963): Edafologia. in:Estudio integral de la cuenca del Chama,Sector Lagunillas de Urao. p.227-367 U.L.A. Merida.
- Castillo,J.B.(1965): Estudio de suelos de las partes altas de las cuencas de los rios Chama y Santo Domingo. U.L.A. Merida
- Climatologia e Hidrologia (1973): Estudio integral de las cuencas de los rios Chama y Capazon (Kartenwerk mit Erläuterungsband). U.L.A. Merida
- Crompton,E.(1960): The significance of the weathering/leaching ratio in the differentiation of Mayor Soil Groups,with particular reference to some very strongly leached Brown Earths on the Hills of Britain. Trans.7th Intern.Congr.Soil Sci. IV, 406-412
- Duchaufour,P.u.Souchier,B.(1965): Note sur un problème de classification podzolisation chimique et différenciation du profil. Pedologie XV, 143-158
- Duchaufour,P.u.Souchier,B.(1968): Note sur la migration sélective de l'aluminium dans les sols cryptopodzoliques. Comptes Rendus Hebd.Seances Akad. Sci. 266,Ser.D,204-206
- Ewel,J.J.u.Madriz,A.(1968): Zonas de vida de Venezuela. Caracas
- Fiedler,H.J.u.Lentschig,S.(1967): Die Bedeutung der "freien Oxide" für die Systematik der Mittelgebirgsbraunerden. Chemie der Erde 26, 93-118
- Flohn,H.(1968): Ein Klimaprofil durch die Sierra Nevada de Merida (Venezuela). Wetter und Leben 20, 181-191
- Fölster,H.(1964): Die Pedisedimente der südsudanesischen Pediplane,Herkunft und Bodenbildung. Pedologie XIV, 64-84
- Fölster,H.(1969): Slope development in SW-Nigeria during late Pleistocene and Holocene. Göttinger Bodenk.Berichte 10, 3-56
- Fölster,H.(1971): Ferrallitische Böden aus sauren metamorphen Gesteinen in den feuchten und wechselfeuchten Tropen Afrikas. Göttinger Bodenk.Ber.20

- Fölster, H., Meyer, B. u. Kalk, E. (1963): Parabraunerden aus primär carbonathaltigem Würm-Löss in Niedersachsen II. Profilbilanz der zweiten Folge bodengenetischer Teilprozesse: Tonbildung, Tonverlagerung, Gefügeverdichtung, Tonumwandlung. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 100, 1-12
- Fölster, H., Meyer, B. u. Zimmermann, H. (1964): Untersuchungen über die Teilchenmobilität in kohärenten Bodenmassen. Scheffer-Festschrift, Göttingen, 1-40
- Fölster, H. u. Kalk, E. (1967): Mineralogische Untersuchungen an tiefgründigen Verwitterungsdecken mit Hinweisen auf das unterschiedliche Verhalten von Feldspäten und Phyllosilikaten bei tiefgründiger und oberflächennaher Verwitterung. Chemie der Erde 26, 188-218
- Fölster, H. u. Fassbender, H. W. (1974): Ökopedologische Grundlagen der Bodennutzung in den Tropen und Subtropen. Vorlesungsmanuskript, Göttingen
- Fölster, H., Hetsch, W. u. Schrimpff, E. (1976): Late Quaternary paleosols in the Western and Central Cordillera of Columbia. Im Druck.
- Fölster, H. u. Hetsch, W. (1976): Paleosol sequences in the Eastern Cordillera of Columbia. Im Druck.
- Frei, E. (1958): Eine Studie über den Zusammenhang zwischen Bodentyp, Klima und Vegetation in Ecuador. Plant and Soil IX, 215-236
- Gaouar, A. (1976): Regional-bodenkundliche Untersuchungen an Böden der iberischen Halbinsel. Diss. Göttingen
- Gebhardt, H. (1968): Flockungsverhalten definierter Tonsuspensionen aus Lagerstätten und Böden. I. Flockungsschwellenwerte und Flockungsvolumen. Mittl. Dt. Bodenk. Ges. 8, 177-185
- Geel, B. v. and Hammen, T. v. d. (1973): Upper Quaternary vegetational and climatic sequence of the Fuquene area (Eastern Cordillera, Colombia). Paleogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol. 14, 9-92
- Gile, L. H. (1975): Causes of soil boundaries in an arid region: I. Age and parent materials. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39, 316-323
- Gile, L. H. u. Grossmann, R. B. (1968): Morphology of the argillic horizon in desert soils of Southern New Mexico. Soil Sci. 106, 6-15

- Haantjens, H.A.u. Rutherford, G.K. (1964): Soil zonality and parent rock in a very wet tropical mountain region.
8th Intern. Congr. Soil Sci., Transa. V, 493-500
- Haantjens, H.A. and others (1967): Major soil groups of New Guinea and their distribution.
Royal Trop. Inst. No. 55, Amsterdam
- Hallsworth, E.G. (1963): An examination of some factors affecting the movement of clay in an artificial soil.
J. Soil Sci. 14, 360-371
- Hammen, T.v.d. (1968): Climatic and vegetational succession in the Equatorial Andes of Colombia.
Colloquium Geographicum Bonn, Bd. 9, 187-194
- Hetsch, W.u. Hoheisel, H. (1976): Standorts- und Vegetationsgliederung in einem tropischen Nebelwald. Im Druck.
- Jagnow, G. (1967): Der Humushaushalt tropischer Böden und seine Beeinflussung durch Klima, Bodennutzung, Trocknung und Erhitzung. Habil. Schrift, Giessen
- Jagnow, G. (1972): Der Einfluss von Niederschlag und Höhenlage auf den Humusgehalt ostafrikanischer Böden.
Z. Pfl. Düng. Bodenk. 131, 13-21
- Jenny, H. (1930): Hochgebirgsböden.
in: Blanck, Handbuch d. Bodenlehre Bd. 3, 96-118
- Jenny, H. (1950): Causes of the high Nitrogen and Organic Matter content of certain tropical Forest Soils.
Soil Sci. 69, 63-69
- Jenny, H. (1965): Bodenstickstoff und seine Abhängigkeit von Zustandsfaktoren. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 109, 97-112
- Jenny, H., Bingham, F.u. Padilla-Saravia (1948): Nitrogen and organic matter content of equatorial soils of Colombia, South America. Soil Sci. 66, 173-186
- Kartieranleitung (1971) Herausg.: Arb. Gem. Bodenkunde, Hannover
- Kawaguchi, K.u. Matsuo, Y. (1960): The principle of mobilisation of iron oxide in soils and its application to the experimental production of podzolic soil profiles.
Transa. 7th Intern. Congr. Soil Sci. IV, 305-313
- Kononowa, M.M. (1958): Die Humusstoffe des Bodens.
Berlin
- Kubiena, W. (1957): Neue Beiträge zur Kenntnis des planetarischen und hypsometrischen Formenwandels der Böden Afrikas.
Stuttg. Geogr. Studien 69, 50-64

- Kubiena, W. (1962): Die taxonomische Bedeutung der Art und Ausbildung von Eisenoxydhydratmineralien in Tropenböden.
Z.Pfl.Dg.Bodenk. 98, 205-213
- Laatsch, W. (1957): Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden.
Dresden und Leipzig
- Laudelout, H. (1960): Dynamics of tropical soils in relation to their fallowing techniques. F.A.O. Rom
- Leneuf, N.u.Riou, G. (1963): Red and yellow soils of the Ivory Coast. African Soils, VIII, 451-462
- Linares A., L.A. (1968): Estudio geografico de los suelos de Merida y sus alrededores.
Tesis Especial de Grado, U.L.A. Merida
- Martinez G., F.A. (1963): Informe geologico. in: Estudio Integral de la cuenca del Chama, Sector Lagunillas de Urao.
U.L.A. Merida
- Mayer, R. (1974): Ermittlung des Stoffaustrags aus Böden mit dem Versickerungswasser. Mittl.Deut.Bodenk.Ges. 20, 292-300
- McCaleb, S.B. (1959): The genesis of the Red-Yellow Podzolic Soils Soil Sci.Soc.Am.Proc. 23, 164-168
- Meyer, B., Kalk, E.u.Fölster, H. (1962): Parabraunerden aus primär carbonathaltigem Würm-Löß in Niedersachsen I. Profilbilanz der ersten Folge bodengenetischer Teilprozesse: Entkalkung, Verbraunung, Mineralverwitterung.
Z.Pfl.Dg.Bodenk. 99, 37-54
- Mohr, E.C.J., Baren, F.A.v.u.Schuylenborgh, J.v. (1972): Tropical Soils. The Hague
- Nettleton, W.D., Flach, K.W.u.Brasher, B.R. (1969): Argillic horizons without clay skins. Soil Sci.Soc.Am.Proc. 33, 121-125
- Reynders, J.J. (1964): A soil sequence in the tropics from sea level to eternal snow.
8th Intern.Congr.Soil Sci. Proc.V, 733-739
- Rohdenburg, H. (1969): Hangpedimentation und Klimawechsel als wichtigste Faktoren der Flächen- und Stufenbildung in den wechselfeuchten Tropen an Beispielen aus Westafrika, besonders aus dem Schichtstufenland Südost-Nigerias.
Göttinger Bodenk.Ber. 10, 58-152
- Rohdenburg, H. (1970): Morphodynamische Aktivitäts- und Stabilitätszeiten statt Pluvial- und Interpluvialzeiten.
Eiszeitalter und Gegenwart 21, 81-96

- Rohdenburg, H. u. Sabelberg, U. (1969): "Kalkkrusten" und ihr klimatischer Aussagewert - Neue Beobachtungen aus Spanien und Nordafrika. *Gött. Bodenk. Ber.* 7, 3-26
- Scheffer, F. u. Ulrich, B. (1960): Humus und Humusdüngung, Bd. I Stuttgart
- Scheffer, F. u. Schachtschabel, P. (1966): Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart
- Schlichting, E. u. Blume, H. P. (1966): Bodenkundliches Praktikum. Hamburg u. Berlin
- Schnitzer, M. (1969): Reactions between Fulvic Acid, a soil Humic compound and inorganic soil constituents. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33, 75-81
- Schuylenborgh, J. v. (1965): Die Verlagerung von Sesquioxiden in Parabraunerden, Podsolen und sauren Braunerden. *Mittl. Deut. Bodenk. Ges.* 4, 131-136
- Schuylenborgh, J. v. (1965): The formation of Sesquioxides in soils. in: *Experimental Pedology*, Ed. by Hallsworth, E. G. a. Crawford, 113-125 (London)
- Schwertmann, U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pfl. Dg. Bodenk.* 105, 194-202
- Schwertmann, U. (1965): Austauschbare Kationen und Dispersität von Tonen. *Mittl. Dt. Bodenk. Ges.* 4, 129-130
- Schwertmann, U. (1969): Die Bildung von Eisenoxidmineralen. *Fortschr. Mineral.* 46, 274-285
- Schwertmann, U. (1969/1970): Der Einfluß einfacher organischer Anionen auf die Bildung von Goethit und Hämatit aus amorphem Fe(III)-Hydroxid. *Geoderma* 3, 207-214
- Schwertmann, U., Fischer, W. R. u. Papendorf, H.: The influence of organic compounds on the formation of iron oxides. *Intern. Congr. Soil Sci., Transact. 9th, Vol. I, Paper 66*, 645-655, Adelaide 1968
- Segalen, P. (1969): Contribution a la connaissance de la couleur des sols a Sesquioxides de la zone intertropical: Sols Jaunes et Sols Rouges. *Cah. O. R. S. T. O. M. sér. Pedol.* VII, 225-236
- Soil Survey Staff (Ed.), (1973): Soil Taxonomy (7th Appr.). Preliminary, Abridged Text; U.S.D.A., Washington
- Smith, G. D. (1965): Lectures on Soil Classification. *Pedologie* no. sp. 4

- Smith, B.R. u. Buol, S.W. (1968): Genesis and relative weathering intensity studies in three semiarid soils.
Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32, 261-265
- Tricart, J. u. Millies-Lacroix, A. (1963): Les terrasses quaternaires des Andes vénézuéliennes.
Bull. Soc. Géol. France, IV, 201-218
- Troll, C. (1952): Die Lokalwinde der Tropen und ihr Einfluß auf Niederschlag und Vegetation.
Bonner Geogr. Abh. 9, 124-182
- Tyurin, I.V. and others (1967): Reclamation of Solonets soils in the USSR. Jerusalem
- Ulrich, B. (1975): Stoffhaushalt von Waldökosystemen.
Vorlesungsmanuskript, Göttingen
- Vareschi, V. (1970): Flora de los Paramos de Venezuela.
U.L.A. Merida
- Villiers, J.M. de (1965): Present soil forming factors and processes in tropical and subtropical regions.
Soil Sci. 99, 50-57
- Werner, D. (1971): Böden mit Kalkanreicherungshorizonten in NW-Argentinien. Göttinger Bodenk. Ber. 19, 167-181
- Young, A. u. Stephen, I. (1965): Rock weathering and soil formation on high-altitude plateau of Malawi.
J. Soil Sci. 16, 322-333
- Zimmermann, H. (1962): Die Ursachen der Tonverlagerung und Gefügeveränderungen in Parabraunerden und mitteleuropäischen Kalkstein-Braunlehen. Diss. Göttingen
- Zöttl, H.W. (1970): Die Eisendynamik in Böden der Páramo-Stufe der Anden Venezuelas.
Z. Pfl. u. Bodenk. 127, 10-18

Anhang: Chemische Profildaten (austauschbare Kationen, P und N)

Profil u. Horizont	austauschbare Kationen mval/100 g								AK _e	mg/100g %	
	H	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn		P	N
Lag 1/1	0,0	2,51	0,16	3,54	0,61	0,02	n.b.	n.b.	6,85	n.b.	n.b.
2	0,0	7,57	0,24	4,10	1,02	0,02	n.b.	n.b.	12,94	n.b.	n.b.
3	0,0	5,98	0,23	2,72	0,93	0,01	n.b.	n.b.	9,88	n.b.	n.b.
4	0,0	10,77	0,29	7,47	1,44	0,02	n.b.	n.b.	19,98	n.b.	n.b.
5	0,0	9,90	0,29	8,71	1,09	0,00	n.b.	n.b.	19,98	n.b.	n.b.
Lag 2/1	0,0	5,67	0,51	14,07	2,75	0,02	0,00	0,00	23,02	25	0,04
2	0,0	7,26	0,60	3,84	1,88	0,00	0,00	0,00	13,58	20	0,04
3	0,0	7,00	0,47	4,79	1,57	0,18	0,00	0,00	14,01	21	0,04
4	0,0	9,88	0,89	3,39	1,34	0,01	0,00	0,00	15,52	27	0,03
5	0,0	11,10	1,06	32,08	4,27	0,04	0,00	0,00	48,56	31	0,04
6	0,0	13,80	1,08	15,67	5,59	0,19	0,00	0,00	36,32	35,5	0,05
Lag 9/1	0,0	0,19	0,88	11,03	1,42	0,13	0,00	0,007	13,66	30	0,09
2	0,0	0,10	0,40	36,18	1,23	0,00	0,00	0,00	37,91	35,5	0,10
3	0,0	0,09	0,44	41,07	1,35	0,18	0,00	0,00	43,13	34,6	0,06
4	0,0	0,16	0,49	42,02	1,54	0,00	0,00	0,00	44,21	28,3	0,04
5	0,0	0,11	0,31	40,47	1,26	0,00	0,00	0,00	42,14	36,3	0,03
6	0,0	0,41	0,21	38,12	1,38	0,00	0,00	0,00	40,13	41,0	0,02
Lag 13b/1	0,0	3,47	0,87	1,65	0,35	0,00	0,00	0,00	6,33	12	0,02
2	0,0	6,31	1,42	1,45	0,63	0,11	0,00	0,00	9,91	11	0,02
3	0,0	8,28	1,75	2,79	1,08	0,00	0,00	0,00	13,90	14,5	0,04
4	0,0	6,74	1,55	2,54	0,98	0,00	0,00	0,00	11,81	15	0,03
Kalk- lamellen	0,0	0,79	1,24	32,14	2,97	0,00	0,00	0,00	37,13	20	0,03
Lag 13a/1	0,0	0,46	0,61	1,65	0,19	0,01	n.b.	n.b.	2,93	n.b.	n.b.
2	0,0	1,07	0,24	1,80	0,23	0,02	n.b.	n.b.	3,35	n.b.	n.b.
3	0,0	0,98	0,12	0,91	0,14	0,01	n.b.	n.b.	2,16	n.b.	n.b.
4	0,0	3,33	0,22	1,00	0,17	0,02	n.b.	n.b.	4,73	n.b.	n.b.
5	0,0	8,60	0,73	6,44	1,88	0,00	0,00	0,00	17,64	13	0,05
6	0,0	9,10	0,82	6,44	1,92	0,00	0,00	0,00	18,28	13	0,05
7	0,0	7,41	0,79	5,14	1,84	0,00	0,00	0,00	15,18	11,5	0,04
8	0,0	6,41	0,77	5,09	1,60	0,11	0,00	0,00	13,98	10	0,04
9	0,0	2,12	1,30	9,12	0,81	0,00	0,00	0,00	13,35	n.b.	n.b.

Profil u. Horizont	H	austauschbare Kationen mval/100 g								mg/100g		% N
		Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	AK _e	P		
Ja 16/1	0,04	0,23	0,77	0,93	0,69	3,86	0,05	0,09	6,65	69	0,28	
2	0,00	0,10	0,42	0,07	0,08	3,56	0,01	0,02	4,24	59	0,14	
3	0,00	0,10	0,50	0,07	0,06	3,55	0,02	0,02	4,32	53	0,13	
4	0,00	0,04	0,39	0,52	0,03	3,55	0,03	0,007	4,56	63	0,09	
5	0,00	0,04	0,19	0,10	0,04	1,46	0,002	0,00	1,83	75	0,09	
6	0,00	0,19	0,11	0,01	0,03	0,86	0,00	0,00	1,20	40	0,02	
Ja 24/1	0,00	0,58	1,10	40,5	5,05	0,00	0,00	0,00	47,3	50	0,11	
2	0,00	0,83	0,91	39,4	5,10	0,00	0,00	0,00	46,2	48	0,09	
3	0,00	0,56	0,72	41,4	5,40	0,00	0,00	0,00	48,1	36,5	0,07	
4	0,00	0,67	0,57	41,2	5,42	0,00	0,00	0,00	47,9	30,5	0,06	
5	0,00	0,78	0,59	40,2	5,01	0,00	0,00	0,00	46,6	52	0,02	
6	0,00	0,67	0,27	37,3	3,21	0,00	0,00	0,00	41,5	45,5	0,03	
Ja 28/1	0,0	0,09	0,87	13,4	2,29	0,00	0,00	0,00	16,7	54	0,21	
2	0,0	0,11	0,55	15,5	2,63	0,00	0,00	0,00	18,8	55	0,21	
3	0,0	0,10	0,49	14,2	2,57	0,00	0,00	0,00	17,3	54	0,18	
4	0,0	0,13	0,48	12,1	2,60	0,00	0,00	0,00	15,3	35,5	0,14	
5	0,0	0,21	0,49	12,7	2,91	0,00	0,00	0,00	16,3	31	0,12	
6	0,0	0,34	0,49	12,7	3,27	0,00	0,00	0,00	16,8	20,5	0,05	
Ja 41/2	0,07	0,04	0,32	0,52	0,12	3,57	0,043	0,007	4,69	32	0,16	
3	0,06	0,04	0,23	0,82	0,13	4,48	0,007	0,00	5,76	28	0,08	
4	0,07	0,03	0,17	0,54	0,12	4,35	0,007	0,00	5,29	24	0,05	
5	0,09	0,04	0,13	0,23	0,06	4,87	0,001	0,007	5,43	29	0,05	
SC 1/1	0,00	0,10	0,23	14,02	1,62	0,00	0,00	0,00	16,0	46	0,26	
2	0,00	0,11	0,22	11,13	1,23	0,00	0,00	0,007	12,7	39	0,16	
3	0,00	0,12	0,25	6,90	1,09	0,00	0,00	0,022	8,38	34,5	0,12	
4	0,10	0,16	0,17	6,46	1,07	0,41	0,00	0,015	8,38	35	0,07	
5	0,22	0,32	0,16	5,21	0,86	2,33	0,00	0,007	9,11	41,5	0,08	
ME 3/1	0,19	0,05	0,49	0,16	0,54	5,47	0,26	0,20	7,35	39	0,29	
2	0,15	0,06	0,30	0,05	0,21	4,47	0,07	0,05	5,35	60	0,20	
3	0,07	0,03	0,11	0,02	0,06	3,36	0,015	0,007	3,67	46	0,10	
4	0,09	0,03	0,08	0,03	0,02	2,93	0,001	0,007	3,18	40	0,07	
5	0,11	0,03	0,06	0,01	0,05	2,39	0,00	0,007	2,65	37,5	0,04	
6	0,14	0,04	0,07	0,01	0,11	2,41	0,00	0,015	2,81	32	0,01	
7	0,18	0,03	0,10	0,10	1,16	2,96	0,00	0,015	4,54	26	0,01	

Profil u. Horizont	H	austauschbare Kationen mval/100g								mg/100g		% N
		Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	AK _e	P		
E 9/1	0,00	0,06	0,36	9,28	1,62	0,21	0,00	0,022	11,56	80	0,11	
2	0,00	0,08	0,36	8,43	1,81	0,19	0,00	0,015	10,90	48	0,06	
3	0,00	0,26	0,26	5,15	1,14	0,55	0,00	0,029	7,40	45	0,04	
4	0,00	0,27	0,20	4,86	0,98	0,39	0,00	0,036	6,73	60	0,03	
5	0,00	0,23	0,19	5,53	1,07	0,30	0,00	0,055	7,42	69	0,03	
E 20/1*	n.b.	0,28	2,40	0,36	0,41	5,12	n.b.	n.b.	n.b.	170	1,88	
2	1,00	0,06	0,44	0,16	0,34	11,46	0,65	0,007	14,11	68	0,68	
3	0,39	0,07	0,30	0,04	0,19	8,84	0,34	0,007	10,17	64	0,46	
4	0,01	0,04	0,12	0,01	0,07	3,95	0,07	0,007	4,29	56,5	0,28	
5	0,00	0,04	0,08	0,01	0,01	2,69	0,013	0,00	2,84	46	0,14	
6	0,00	0,04	0,07	0,01	0,02	2,56	0,013	0,007	2,72	45,3	0,07	
7	0,03	0,04	0,08	0,01	0,01	1,89	0,004	0,007	2,06	39,8	0,03	
E 32/1	0,30	0,06	0,95	2,30	0,79	5,96	0,088	0,495	10,93	118	0,75	
2	0,09	0,04	0,30	0,23	0,24	5,64	0,039	0,130	6,69	108	0,49	
3	0,01	0,04	0,20	0,12	0,13	4,27	0,012	0,040	4,81	69	0,25	
4	0,00	0,02	0,13	0,02	0,05	3,21	0,007	0,026	3,47	71,5	0,15	
5	0,00	0,03	0,10	0,03	0,06	3,07	0,012	0,033	3,33	71,5	0,11	
6	0,01	0,03	0,11	0,01	0,03	2,49	0,004	0,018	2,69	57,5	0,07	
7	0,00	0,02	0,06	0,01	0,02	1,97	0,000	0,015	2,09	50	0,05	
E 52/1	0,10	0,06	0,28	0,02	0,16	6,67	0,044	0,015	7,35	76	0,50	
2	0,09	0,06	0,19	0,02	0,11	5,17	0,028	0,007	5,67	71	0,44	
3	0,04	0,07	0,13	0,02	0,06	4,44	0,068	0,007	4,83	63	0,31	
4	0,00	0,05	0,07	0,02	0,03	2,68	0,008	0,007	2,87	47	0,17	
5	0,00	0,04	0,04	0,02	0,01	2,10	0,007	0,007	2,23	41,5	0,07	
E 53/2	0,03	0,03	0,21	0,06	0,16	3,74	0,004	0,015	4,24	62	0,30	
3	0,00	0,04	0,25	0,02	0,08	2,77	0,021	0,007	3,18	59	0,20	
4	0,00	0,04	0,33	0,01	0,01	1,88	0,012	0,007	2,29	71	0,09	
5	0,00	0,04	0,15	0,01	0,02	1,65	0,004	0,00	1,87	42,5	0,06	
6	0,00	0,03	0,07	0,01	0,01	1,17	0,001	0,007	1,29	32	0,03	
E 56/1*	n.b.	0,18	3,34	1,05	3,21	1,50	n.b.	n.b.	n.b.	70	1,57	
2*	n.b.	0,17	3,76	0,19	1,70	3,98	n.b.	n.b.	n.b.	65	1,64	
3*	n.b.	0,08	3,53	0,09	0,33	15,08	n.b.	n.b.	n.b.	64	0,96	
4	0,42	0,02	0,15	0,21	0,05	5,42	0,047	0,00	6,31	22	0,12	
5	0,25	0,01	0,06	0,01	0,02	4,97	0,146	0,00	5,48	27	0,10	
6	0,37	0,02	0,06	0,01	0,02	3,90	0,086	0,00	4,46	23	0,06	
7	0,14	0,04	0,12	0,01	0,03	2,77	0,047	0,00	3,15	21,3	0,03	

Angaben sind Gesamtverträge der Humusaufgabe

profil u. horizont	H	austauschbare Kationen mval/100g								mg/100g		% N
		Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	AK _e	P		
al 54/1	0,21	0,06	0,68	0,99	0,49	9,09	0,20	0,022	11,74	100	0,69	
2	0,14	0,04	0,30	0,12	0,07	9,19	0,17	0,007	10,04	94	0,54	
3	0,14	0,06	0,20	0,09	0,07	9,49	0,17	0,007	10,22	91	0,30	
4	0,00	0,05	0,19	0,02	0,02	2,61	0,040	0,000	2,93	78	0,20	
5	0,00	0,04	0,11	0,02	0,01	1,77	0,029	0,000	1,98	64	0,12	
6	0,00	0,04	0,08	0,02	0,01	2,04	0,021	0,000	2,21	61	0,10	
7	0,00	0,04	0,10	0,02	0,002	1,97	0,021	0,000	2,16	76,5	0,07	
al 55/1	0,03	0,09	0,24	0,49	0,11	7,63	0,077	0,007	8,67	108	0,51	
2	0,00	0,07	0,11	0,13	0,03	3,38	0,044	0,000	3,75	81	0,36	
3	0,00	0,05	0,07	0,03	0,02	1,36	0,024	0,000	1,55	80,5	0,27	
4	0,00	0,04	0,06	0,02	0,01	1,07	0,010	0,000	1,21	85	0,17	
5	0,00	0,06	0,06	0,05	0,01	1,15	0,012	0,000	1,33	67,5	0,07	
al 56/1	0,18	0,08	0,42	1,91	0,22	7,33	0,048	0,117	10,31	130	0,40	
2	0,04	0,06	0,14	0,31	0,03	3,55	0,003	0,000	4,13	74	0,14	
3	0,00	0,05	0,08	0,26	0,03	3,21	0,002	0,000	3,62	62,5	0,09	
4	0,00	0,05	0,09	0,29	0,05	2,76	0,004	0,007	3,24	73	0,05	
al 65/1	0,00	0,06	0,21	2,38	0,44	4,59	0,037	0,127	7,84	96	0,45	
2	0,00	0,05	0,10	0,54	0,12	3,67	0,033	0,022	4,53	67	0,29	
3	0,00	0,39	0,09	0,14	0,05	2,67	0,019	0,015	3,37	74	0,20	
4	0,00	0,06	0,07	0,07	0,04	1,23	0,007	0,007	1,49	60	0,12	
5	0,00	0,05	0,05	0,20	0,14	0,55	0,002	0,036	1,02	50	0,01	
EU 11/1	0,50	n.b.	0,34	0,33	0,68	8,04	n.b.	n.b.	9,89	47	0,64	
2	0,32	n.b.	0,26	0,13	0,36	6,12	n.b.	n.b.	7,17	43	0,37	
3	0,14	n.b.	0,10	0,04	0,11	5,01	n.b.	n.b.	5,41	25	0,16	
4	0,09	n.b.	0,06	0,03	0,04	4,99	n.b.	n.b.	5,20	24	0,10	
5	0,08	n.b.	0,09	0,05	0,07	5,58	n.b.	n.b.	5,87	22	0,06	
EU 25/1	0,56	n.b.	0,27	0,33	0,30	6,81	n.b.	n.b.	8,27	38	0,45	
2	0,51	n.b.	0,16	0,18	0,18	7,35	n.b.	n.b.	8,38	41	0,38	
3	0,59	n.b.	0,15	0,13	0,13	6,63	n.b.	n.b.	7,64	27	0,31	
4	0,21	n.b.	0,10	0,11	0,10	6,33	n.b.	n.b.	6,85	25	0,17	
5	0,16	n.b.	0,18	0,05	0,06	8,57	n.b.	n.b.	9,02	18	0,13	
6	0,09	n.b.	0,26	0,05	0,06	10,87	n.b.	n.b.	11,34	22	0,09	

Profil u. Horizont	H	austauschbare Kationen mval/100g							mg/100g		% N
		Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	AK _e	P	
SEU 29/1	0,62	n.b.	0,45	0,84	0,52	8,36	n.b.	n.b.	10,79	42	0,48
2	n.b.	n.b.	0,29	0,51	0,66	9,70	n.b.	n.b.	11,16	52	0,42
3	0,25	n.b.	0,18	0,12	0,18	8,24	n.b.	n.b.	8,98	30	0,39
4	0,06	n.b.	0,09	0,06	0,07	7,72	n.b.	n.b.	8,01	23	0,11
5	0,03	n.b.	0,18	0,04	0,04	10,03	n.b.	n.b.	10,32	21	0,08
SEU 30/1	0,83	n.b.	0,45	1,76	0,78	2,97	n.b.	n.b.	6,78	26	0,31
2	n.b.	n.b.	0,24	0,58	0,44	4,50	n.b.	n.b.	5,76	33	0,29
3	1,32	n.b.	0,21	0,23	0,31	4,52	n.b.	n.b.	6,58	22	0,29
4	0,68	n.b.	0,13	0,10	0,19	4,34	n.b.	n.b.	5,44	20	0,23
5	0,08	n.b.	0,05	0,09	0,07	4,15	n.b.	n.b.	4,44	19	0,07
6	0,07	n.b.	0,08	0,05	0,06	5,56	n.b.	n.b.	5,82	21	0,05
SEU 31/1	0,32	n.b.	0,29	1,00	0,44	4,68	n.b.	n.b.	6,73	39	0,28
2	0,32	n.b.	0,23	0,73	0,33	4,78	n.b.	n.b.	6,39	28	0,28
3	0,18	n.b.	0,13	0,18	0,15	5,26	n.b.	n.b.	5,90	25	0,21
4	0,03	n.b.	0,05	0,04	0,05	3,50	n.b.	n.b.	3,68	14	0,08
5	0,06	n.b.	0,03	0,07	0,06	3,72	n.b.	n.b.	3,94	15	0,05
SEU 32/1	2,15	n.b.	0,98	2,13	1,11	12,49	n.b.	n.b.	18,87	118	1,04
2	0,34	n.b.	0,56	0,30	0,96	16,12	n.b.	n.b.	18,27	81	1,03
3	0,22	n.b.	0,34	0,15	0,66	15,46	n.b.	n.b.	16,83	78	0,71
4	0,12	n.b.	0,20	0,05	0,40	16,01	n.b.	n.b.	16,78	55,5	0,36
5	0,08	n.b.	0,14	0,03	0,25	14,84	n.b.	n.b.	15,34	66,5	0,19
SEU 34/1	0,27	0,04	0,16	1,63	0,38	1,88	0,172	0,058	4,59	29	0,28
2	0,19	0,03	0,04	0,62	0,14	1,26	0,073	0,000	2,34	16	0,06
3	0,21	0,03	0,12	0,31	0,12	4,30	0,154	0,007	5,27	24,5	0,02
4	0,08	0,03	0,08	0,20	0,08	3,01	0,037	0,007	3,52	14	0,08
SEU 36/1*	n.b.	n.b.	4,05	9,00	3,52	0,53	n.b.	n.b.	n.b.	67,5	1,47
2*	n.b.	n.b.	2,51	3,59	1,56	0,30	n.b.	n.b.	n.b.	67,5	1,99
3*	n.b.	n.b.	1,56	1,22	2,33	0,78	n.b.	n.b.	n.b.	75	2,18
4	0,29	n.b.	0,00	0,04	0,02	0,38	n.b.	n.b.	0,72	8	0,01
5	n.b.	n.b.	0,04	0,01	0,01	0,43	n.b.	n.b.	0,49	12	0,04
MU 7/1	0,27	0,08	0,84	2,21	1,16	2,37	0,187	0,036	7,15	83	0,39
2	0,21	0,07	0,71	0,92	0,63	3,68	0,129	0,007	6,36	75	0,25
3	0,10	0,06	0,36	1,06	0,49	3,52	0,079	0,007	5,67	82	0,17
4	0,03	0,04	0,15	0,38	0,18	2,19	0,017	0,000	2,99	61	0,05
5	0,00	0,03	0,08	0,34	0,16	0,78	0,000	0,000	1,39	41,5	0,01

* Angaben sind Gesamtvorräte der Humusaufgabe

