

GÖTTINGER
BODENKUNDLICHE
BERICHTE

61

Wilfredo Franco

**Die Wasserdynamik einiger Waldstandorte
der West-Llanos Venezuelas und ihre Beziehung
zur Saisonalität des Laubfalls**

1979

ISSN 0340 - 4153

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

61

Wilfredo Franco

**Die Wasserdynamik einiger Waldstandorte
der West-Llanos Venezuelas und ihre Beziehung
zur Saisonalität des Laubfalls**

1979

ISSN 0340 - 4153

Wilfredo Franco

**Die Wasserdynamik einiger Waldstandorte
der West-Llanos Venezuelas und ihre Beziehung
zur Saisonalität des Laubfalls**

Göttinger Bodenkundliche Berichte **61,1-201**
(1979)

I

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
VORWORT	
1. EINLEITUNG	1
2. DIE FORSTRESERVE CAPARO	5
2.1. Geographie und Klima	5
2.2. Geomorphologie und Bodenvariabilität	9
2.3. Vegetation	15
2.4. Waldbauliche und Ökologische Forschung in der Waldreserve Caparo 1968-76.	18
3. PARZELLENAUSWAHL UND UNTERSUCHUNGSMETHODEN	20
3.1. Parzellenauswahl	20
3.2. Methoden der Vegetationsuntersuchung	20
3.3. Methoden der Bodenuntersuchung im Gelände	22
3.4. Klimatische und Mikroklimatische Messungen	23
3.5. Laboruntersuchungen	24
3.5.1. Bodenphysikalische Bestimmungen	24
3.5.2. Chemische Analysen	24
4. INVENTUR DER VEGETATION UND BÖDEN DER PARZELLEN 1 - 10	25
4.1. Boden- und Vegetationswechsel entlang dem Transekt Pica 8: Übersicht	25
4.2. Vegetationsaufnahme	28
4.3. Böden des Transektes Pica 8	44
4.3.1. Morphologische und Physikalische Eigen- schaften der Parzellen-Böden	44
4.3.2. Vergleich der Bodenphysikalischen Eigen- schaften	67
4.3.3. Bioelementvorräte in Humusauflage und Mineralboden	75
5. DAS JAHRESZEITLICHE BODENFEUCHTEREGIME ENTLANG TRANSEKT PICA 8	79
5.1. Parzellen 3 - 6	79
5.2. Parzellen 7 - 10	92
5.3. Parzellen 2 und 1	95
6. BLATTWECHSEL, STREUFALL UND STREUABBAU ALS FUNKTION DES STANDORTES	102
6.1. Laubfall-Charakteristika der Baumarten	102

II

	Seite
6.1.1. Einführung	102
6.1.2. Verhalten der Baumarten	103
6.2. Zusammensetzung der Parzellenbestände aus phänologischen Artengruppen	108
6.3. Streufall der Parzellenbestände	111
6.3.1. Jahresgang des Streufalls	111
6.3.2. Jährliche Streumengen der Parzellen	120
6.3.3. Bioelement-Input mit der Streu	127
6.4. Beziehungen Streufall-Humusauflage	133
7. VERGLEICH DER MIKROKLIMATISCHEN VER- HÄLTNISSE IM IMMERGRÜNEN UND LAUBWERFENDEN BESTAND	138
8. WASSERHAUSHALT DER PARZELLENBESTÄNDE	142
8.1. Freiland, Bestandesniederschlag und Interzeption	142
8.2. Wasserhaushalt des sandigen Standorts (Parzelle 4)	147
8.3. Wasserhaushalt der tonigen Standorte (Parzelle 7/8)	152
8.4. Wasserhaushalt der Parzellen 2 und 1	157
9. ZUSAMMENFASSENDE DISKUSSION	162
9.1. Einfluß der Böden auf den Gebietswasser- haushalt	162
9.2. Bestandescharakterisierung und Gliederung	170
9.3. Streufallsäsonalität	173
9.4. Wald-Standort Beziehungen	176
9.5. Entwurf einer vorläufigen Standort- gliederung	182
ZUSAMMENFASSUNG	188
LITERATURVERZEICHNIS	193
ANHANG	

III

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
1/ 1 : Karte zur geographischen Lage des Gebietes	4
2/ 1: Klimadiagramm für Caparo	7
2/ 2: Variabilität der Bodendecke, Serie 1	12
2/ 3: " " " " 2	13
2/ 4: " " " " 3	14
2/ 5: Vegetationskarte, Unidad 1, Caparo	16
2/ 6: Vegetations- und Bodenwechsel entlang Transekt Pica 8 (und 9)	17
4/ 1: Stammzahl-Durchmesserverteilung	33
4/ 2: Clusteranalyse des Caparo-Hochwaldes	37
4/ 3: Tiefenfunktion der Feinwurzelmenge	41
4/ 4: pF-Kurven Profil 4	45
4/ 5: Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur Profil 4	46
4/ 6: pF-Kurven Profil 3	48
4/ 7: Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur Profil 3	49
4/ 8: pF-Kurven Profil 5	50
4/ 9: Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur	51
4/10: pF-Kurven Profil 6	52
4/11: Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur	53
4/12: pF-Kurven Profil 7	58
4/13: pF-Kurven Profil 8	59
4/14: Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur Profile 7 und 8	60
4/15: pF-Kurvenvergleich (Profil 7)	61
4/16: pF-Kurven Profil 2	63
4/17: Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur Profil 2	64
4/18: pF-Kurven Profil 1	65
4/19: Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur Profil 1	66
4/20: pF-Kurven als Funktion der Textur	68
4/21: Wasserspeicherkapazität als Funktion der Textur	69
4/22: Grobporenvolumen als Funktion der Textur	71
4/23: Leitfähigkeit als Funktion der Wasser- sättigung in 6 versch. Böden	72

IV

	Seite
Abb. 4/24: Ku (20 cm WS) als Funktion der Textur	73
4/25: Ku (100 cm WS) als Funktion der Textur	74
5/ 1: Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 4	80/81
5/ 2: Kurzfristige Saugspannungsschwankungen im sandigen Bodenprofil (Parzelle 4)	82
5/ 3: Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 3	85/86
5/ 4: Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 5	88/89
5/ 5: Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 6	90/91
5/ 6: Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 8	93/94
5/ 7: Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 2	97/98
5/ 8: Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 1	99/100
6/ 1: Zeitlicher Verlauf der Belaubung einiger typischen Baumarten und einiger Umweltfaktoren in Caparo	106
6/ 2: Blattstreufall, jahreszl. Wechsel-Niederschlag	112/113
6/ 3: Zweigstreufall, Jahreszeitlicher Wechsel-Niederschlag	115
6/ 4: Blüte-Früchtestreufall, jahreszeitlicher Wechsel-Niederschlag	116
6/ 5: Beziehung zwischen Blatt- und Zweigstreufall	117
6/ 6: Jahreszeitlicher Wechsel der Bioelementkonzentration in Blattstreu	132
6/ 7: Quantitative Änderungen der Humusaufiage	136
7/ 1: Der unterschiedliche Tagesverlauf der Lufttemperatur in der Trocken- und Regenzeit	140
7/ 2: Der unterschiedliche Tagesverlauf der Luftfeuchtigkeit in der Trocken- und Regenzeit	141

	Seite
Abb. 8/1: Beziehung Freiland- und Bestandesnieder- schlag	145
8/2: Beziehung Interzeption-Freilandnieder- schlag	146
9/1: Beziehung Artengruppen-Index und Wasser- kapazität des Bodens	174

VI

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tab. 2/ 1: Klimadaten von Caparo	6
2/ 2: Verteilung der Niederschläge in Caparo	8
4/ 2: Häufigste Baumarten in Caparo	35
4/ 3: Feinwurzelmasse	42
4/ 4: Bioelementkonzentration der Feinwurzeln	43
4/ 5: Bioelementvorrat in den Feinwurzeln	42
4/ 6: Trockenzeitliche Bioelementkonzentration der Humusauflage	76
4/ 7: Bioelementvorräte im Mineralboden	78
5/ 1: Grundwasserstände	101
6/ 1: Gliederung der Baumarten nach ihrer Laubfall-Charakteristika	107
6/ 2: Artengruppen-Index von Parzellenbestände	109
6/ 3: Prozentualer Blattstreufall in der Regen- und Trockenzeit	118
6/ 4: Saisonale Streufallverteilung in einigen tropischen Wäldern	119
6/ 5: Jährlicher Streufall in Caparo: Mittelwerte	120
6/ 6: Jährlicher Blattstreufall in den Parzellen	121
6/ 7: Jährlicher Zweigstreufall in den Parzellen	122
6/ 8: Jährlicher Blüten-Früchte-Streufall in den Parzellen	123
6/ 9: Gesamter jährlicher Streufall in den Parzellen	124
6/10: t-Test (jährliche Blattstreu)	127
6/11: Blattbiomasse und Blattstreufall in einigen tropischen Wäldern	125/126
6/12: Bioelementkonzentration in Blattstreu nach Terminen	128
6/13: Bioelementkonzentration in Blattstreu nach Parzellen	129

VII

	Seite
Tab. 6/14: Bioelementinput im Boden durch die Streu in Caparo	130
6/15: Quantitative Änderung der Humus- auflage in der Regenzeit	134
6/16: Quantitative Änderung der Humus- auflage in der Trockenzeit	135
8/ 1: Regressionen Nf, Nb, I	144
8/ 2: Berechnung der ETa in Parzelle 4	150
8/ 3: Wasserhaushalt des sandigen Stand- ortes (P4)	151
8/ 4: Berechnung der ETa in Parzellen 7 und 8	155
8/ 5: Wasserhaushalt der tonigen Stand- orte (P7, P8)	156
8/ 6: Wasserhaushalt in Parzelle 2	160
8/ 7: Wasserhaushalt in Parzelle 1	161
9/ 1: Eigenschaften und Sättigung des Decksediments	164
9/ 2: Höhe des Stau- bzw. Grundwasserniveau	168
9/ 3: Gesamtevpotranspiration	169
9/ 4: Korrelation zwischen Blattstreu und meteorologischen Daten	175
9/ 5: Länge der Trockenphase und Wasser- speicherkapazität	177
9/ 6: Mittlerer Luftporengehalt der Haupt- wurzelzone in der Regenzeit, Dauer der Phasen und Phytosoziologischer Index	181

Verzeichnis des Anhanges

- Anhang I: Inventur der Parzellen. Baumarten nach Stammzahl und Durchmesserklasse, Abundanz und Grundfläche
- II: Liste der Baumarten in Caparo nach Lokal- und wissenschaftlichem Name
- III: Bioelementkonzentrationen in der Feinwurzel
- IV: Analysendaten der Bodenprofile 1 bis 10
- V: Bioelementvorrat im Mineralboden
- VI: Phänologische Beobachtungen
- VII: Berechnungstabelle des phytosoziologischen Index
- VIII: Laubfall nach Streufängern und 2-wöchigen Perioden mit t-Test zwischen Perioden
- IX: Bioelementinput im Boden durch den Blatt- und Zweigstreu in Caparo. Vergleich mit anderen tropischen Wäldern
- X: Grundlagen zur Korrelation Streufall-meteorologischen Daten

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde von Herrn Prof. Dr. Horst Fölster während meines ersten Aufenthaltes (1974/75) am Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen entworfen. Die Universidad de Los Andes (Mérida-Venezuela) finanzierte nicht nur mein Stipendium, sondern auch das Forschungsprojekt in der Waldreserve Caparo durch den Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.

Durch den persönlichen Einsatz in Caparo von Herrn Dr. Fölster (Februar - März 1976 und Februar 1977) und durch die Unterstützung der Forstlichen Fakultät von Mérida (Instituto de Silvicultura y Centro de Postgrado) war es möglich, die Feldarbeiten durchzuführen. An dieser Stelle habe ich auch Herrn Prof. Castillo, Herrn Prof. Rodriguez Poveda und Herrn Prof. Quijada zu danken.

Den Feldmitarbeitern in Caparo insbesondere Herrn Blanco, Herrn Flores, Herrn Nelesio, Herrn León und Herrn Ballesteros bin ich für ihre wertvolle Hilfe verpflichtet.

Während meines zweiten Aufenthaltes am Institut in Göttingen wurde ich in sehr selbstloser und freundlicher Weise von Herrn Dr. Fölster betreut, diese Zeit war durch häufige, lehrreiche und anregende Diskussionen gekennzeichnet. Für seine intensive Betreuung, ständigen Rat und vielseitige Unterstützung wie auch für meine weitere fachliche Ausbildung möchte ich mich ganz herzlich bedanken.

Die Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Hetsch war für mich wertvoll und erfreulich.

Herrn Prof. Dr. Ulrich, Herrn Prof. Dr. Fassbender, Herrn Dr. Benecke und Herrn Dr. Wirth danke ich für ihr Interesse und viele wichtige Hinweise.

Allen Institutsangehörigen danke ich für die Mitarbeit und gute Kameradschaft in dieser Zeit in Göttingen.

Herrn Prof. Dr. Lamprecht, Frau Prof. Dr. Jahn, Herrn Dr. Brun, Herrn Dr. Bockor und Frau Graupner (Institut für Waldbau, Lehrstuhl für Tropen und Subtropen) danke ich für ihre großzügige Hilfsbereitschaft.

In Mérida möchte ich Herrn Prof. Finol meinen aufrichtigen Dank aussprechen, da ich überhaupt nur durch seine Förderung

nach Göttingen zur weiteren Ausbildung gekommen bin.
Nicht zuletzt danke ich meiner Frau für Verständnis, Anregung und tatkräftige Unterstützung.

1. EINLEITUNG

Im Waldgebiet der West-Llanos Venezuelas (s. WALTER, 1973; HUECK, 1978) ist seit Jahrzehnten der Wald hauptsächlich durch shifting cultivation in raschem Rückgang begriffen. Die von Subsistenzbauern nach 2 - 3 Jahren aufgegebenen Rodungsflächen werden gewöhnlich den im Gebiet vorhandenen Großhacienden einverleibt und dienen der Viehweide. Der Kleinbauer muß zur Existenzsicherung ständig weiter Brandrodung treiben. Der Prozeß der Waldvernichtung hat sich durch die verbesserte Aufschließung der Llanos mit Straßen und mit der starken Bevölkerungszunahme durch Einwanderung aus dem benachbarten Kolumbien und aus den Anden zusehends intensiviert.

Mittels Interpretation von Luftbildern aus den Jahren 1950 und 1975 wurde festgestellt (VELLON, 1975), daß von den 1950 rd. 4 Millionen ha umfassenden, z. T. edelholzreichen Wäldern (Mahogany, Cedrela, etc.) 1975 nur rd. 2.5 Millionen ha vorhanden waren. Etwa 60 000 ha/Jahr wurden vernichtet.

Auf den entwaldeten Flächen wird eine sehr extensive (1 Rind/10 ha) Weidewirtschaft betrieben, die Weiden werden kaum gepflegt und degenerieren schnell. Um dieser weitgehend sinnlosen Waldzerstörung entgegenzuwirken, waren zwischen 1950 und 1961 Waldreserven eingerichtet worden, in denen allerdings heute auch der Wald schon stark dezimiert ist.

Sowohl die gewaltige Ausdehnung extensiver Weidewirtschaft wie die großflächige Festlegung von Waldreserven, die in Venezuela als Areale der Holzproduktion definiert sind, erfolgen ohne Rücksicht auf die starke standörtliche Variabilität der alluvialen Llanos-Landschaft. Auch in der Nutzung beschränkt sich die Anpassung der Bewirtschaftungsform und -intensität auf ein Minimum. Aus dem Grund mangelt es auch an Erfahrungen über das Nutzungspotential der Standorte, das für die Nutzungsplanung sowohl im landwirtschaftlichen wie im forstlichen Sektor eine wesentliche Voraussetzung darstellt. Dies gilt unbeschadet der Tatsache, daß die heutige ökonomisch wie sozial unbefriedigende Situation

natürlich sozioökonomische und historische Ursachen hat, und in erster Linie durch agrarpolitische Maßnahmen in Bahnen gelenkt werden kann, die eine sinnvolle und nachhaltige Bodennutzung der Wald-Llanos ermöglichen.

Die systematische Erarbeitung von Erfahrungen und Kenntnissen zur standortgerechten Bodennutzung erfordert eine ökologisch relevante Gliederung und Definition der Standorte.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, im waldbereich - und speziell für die Waldreserve Caparo - Grundlagen für eine solche Standortgliederung zu erarbeiten. Dabei konnte auf Untersuchungen aufgebaut werden, die 1968 - 76 von der Forstlichen Fakultät der Universidad de Los Andes (Venezuela) in der Unidad 1 der Caparo-Reserve durchgeführt wurden. Ziel dieser Arbeiten war es, technisch-wissenschaftliche Grundlagen für einen Waldbewirtschaftungsplan bereitzustellen.

Während dieser Arbeiten wurden bereits mit relativem Erfolg Standorttypen ausgeschieden (ULA-CORFOANDES, 1970 - 75), die auf **physiognomischen** Waldtypen basieren. Eine großflächig und vielseitig verwendbare (forstliche) Standortgliederung muß jedoch geomorphologisch-pedologische Elemente enthalten, die von der natürlichen Vegetation unabhängig ansprechbar sind und damit auch auf genutzten Flächen (Aufforstungen, Weide usw.) verwendbar sind.

Vegetationsunabhängig gegliederte Bodenstandorte müssen durch Information über ihren Nährstoffzustand und ihr Wasserregime charakterisiert sein, und außerdem soll diese Information im Rahmen einer Kartierung an leicht ansprechbaren morphologischen Bodeneigenschaften "ablesbar" sein. Schließlich ergibt sich aus der Großflächigkeit der notwendigen Kartierung, die auf Luftbildinterpretation aufbaut, daß auch die Beziehung zwischen bestehender Waldvegetation und Bodenstandort hinreichend bekannt sein muß. Da im Gebiet der Waldreserve Caparo das Wasserregime der entscheidende differenzierende Standortfaktor ist, ergab sich für die Erarbeitung der Grundlage der Standortgliederung folgende Aufgabestellung:

a) Untersuchung der Wasserdynamik (als Funktion des Jahres-

zeitenwechsels) ausgesuchter unterschiedlicher Standorte, sowie der Beziehung zwischen Bodenmorphologie (im weiten Sinne) und Wasserregime.

- b) Erarbeitung von Wasserbilanz-Informationen, insbesondere über die regenzeitlichen Überflutungen bzw. den Oberflächenabfluß von Standorten.
- c) Untersuchung der Beziehung zwischen Artenzusammensetzung, **Physiognomie** und Laubfall-Verhalten der Vegetation und dem standörtlich wechselnden Bodenwasserregime.

Auf Grund der zu gewinnenden Information über die Beziehung Bodenwasserregime - Bodenmorphologie sollte der Versuch gemacht werden, eine vegetationsunabhängige Standortgliederung zu entwerfen.

Ferner sollten damit Grundlagen für weitere Untersuchungen über die Beziehungen Naturvegetation-Bodenstandort sowie für land- und forstwirtschaftliche Versuchstätigkeit einschließlich einer möglichen Bodenmelioration erarbeitet werden.

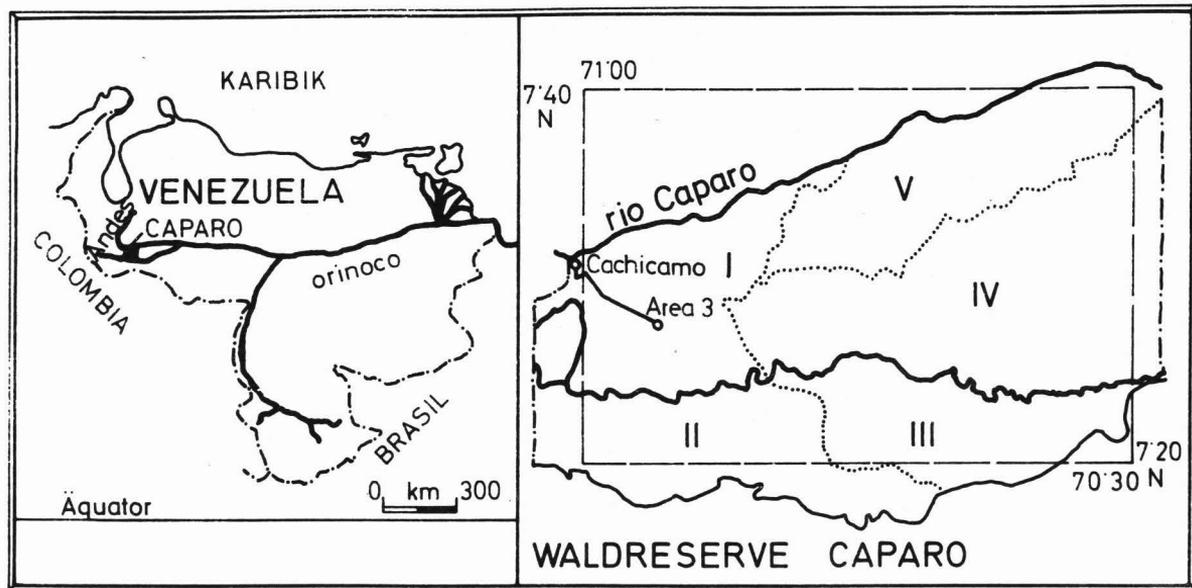


Abb. 1/1 : Karte zur geographischen Lage des Untersuchungsgebietes

2. DIE FORSTRESERVE CAPARO

2.1. GEOGRAPHIE UND KLIMA

Die Forstreserve Caparo ($7^{\circ} 20'$ - $7^{\circ} 40'$ nördlicher Breite und $70^{\circ} 30'$ - 71° westlicher Länge, etwa 100 m ü. NN und 170.000 ha groß) gehört zu den westlichen Llanos Venezuelas, die ein Teil der Großlandschaft "Llanos des Orinocos" (Kolumbien und Venezuela: ca. 400.000 km²) sind. Diese westlichen Llanos sind waldbedeckt und bilden einen ca. 100 - 150 km breiten Saum entlang dem Fuß der Andenkordillere. Weiter nach Osten gehen sie in die waldfreien Savannen-Llanos über, die sich noch 400 km bis zum Orinoco ausdehnen. Da im bewaldeten Gebiet die Waldvernichtung durch shifting cultivation sehr schnell vor sich geht, wurden vom Staat 1950-61 zur Sicherung einer nachhaltigen Holzproduktion drei Forstreserven eingerichtet (Ticoporo: 150.000 ha, San Camilo: 450.000 ha und Caparo). Bei VEILLON (1975) findet sich eine ausführliche Beschreibung des Gebietes und seiner Entwicklungsgeschichte.

Das Klima gehört nach KÖPPEN (1936) zum Typ "leicht feucht mit mäßigem Wassermangel im Winter (B1wa'a)", nach TROLL (1963) wird es als "Feuchtsavannenklima mit 3 - 4 Monaten Trockenzeit im Winter (V2)" bezeichnet und nach HOLDERIDGE (1947) gehört es in eine Übergangszone zwischen "tropical moist forest" und "tropical dry forest". Der Niederschlag, der von den SO-Hängen der Anden (etwa 2500 mm/Jahr) nach Osten zum Orinoco hin (etwa 1200 mm/Jahr) abnimmt, liegt im Untersuchungsgebiet bei ca. 1750 mm/Jahr, wobei starke Schwankungen von Jahr zu Jahr möglich sind (siehe Tab. 2/1). Es besteht eine sehr ausgeprägte Trockenzeit von Dezember bis März (3 - 4 Monate). In der Tabelle 2/2 wird ein Überblick über die Verteilung, Häufigkeit und Länge der einzelnen Niederschläge für die Periode März 1976 - Februar 1977 gegeben. Die meisten Regenfälle (64 %) sind geringer als 5 mm. 1976 fielen an nur 37 Regentagen 69 % des gesamten jährlichen Niederschlags, und 1977 an 26 Regentagen 58 % des Jahresniederschlags.

Tabelle 2/1: Klimadaten von Caparo (Station Area 3)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
T °C (1976)	24.8	25.9	26.4	25.4	24.	23.3	23.4	24.1	24.6	25.8	25.6	24.4	24.8
T _{max} (1976)	34.	35.5	34.4	34.3	30.7	31.	29.5	31.9	31.9	33.2	33.4	32.8	35.5
T _{min} (1976)	18.1	18.6	21.1	20.	20.9	19.1	20.1	19.2	19.3	21.5	20.3	17.6	17.6
H % (1976)	59	59	63	78	85	89	86	80	76	80	79	73	76
S (1976)	280	251	166	105	109	69	96	174	169	186	166	186	1957
ETp (1976)	146	150	155	116	114	96	107	133	130	137	117	114	1515
N _{min} (1969-1978)	8.2	6.5	38.6	163.3	207	300	282	220	180	187	117	38	1753
N _{max} (1969-1978)	22.1	32.6	163.2	353	300	463.5	428	273	255.8	249	190.1	77.5	-
N _{min} (1969-1978)	0.	0.	4.2	26.7	126	123	182	137.9	101	110	44.9	0.	-

T °C = Monatsmittel aus
12 Ablesungen/Tag.

T_{max} = Absolutes Maximum

T_{min} = Absolutes Minimum

H % = relative Luftfeuchte
(Monatsmittel aus
12 Ablesungen/Tag)

S = Sonnenscheindauer (Stunden/Monat)

ETp = potentielle Evapotranspiration nach Penman (mm)

(korrektionsfaktor für Wald 5/3 Ea, Albedo: 0.15 nach Kiese, 1977)

N = mittlerer Niederschlag von 1969-1978

N_{min} = in der Periode 1969-78 minimaler Niederschlag für das Monat

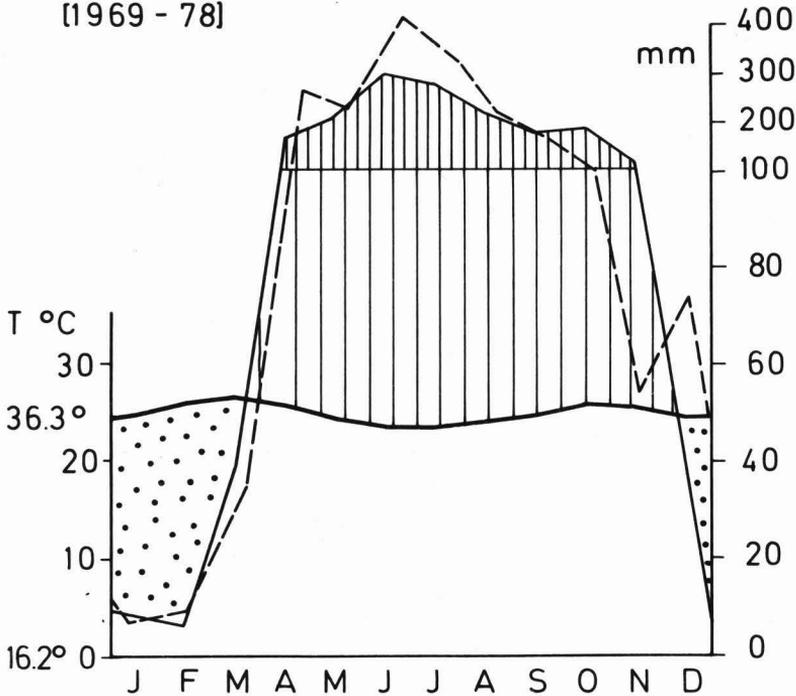
N_{max} = in der Periode 1969-78 maximaler Niederschlag für das Monat

Abb. 2/1

Klimadiagramm nach Walter und Lieth

CAPARO (100m)
[1969 - 78]

24,6°C 1753 mm



(--- Jahr 1976)

Die mittlere Jahrestemperatur beträgt $24,6^{\circ}\text{C}$ mit einer Amplitude zwischen dem kältesten (Juni) und wärmsten (März) Monat von $3,1^{\circ}\text{C}$. Die täglichen Schwankungen der Temperatur sind in der Trockenzeit ($12-15^{\circ}\text{C}$) stärker als in der Regenzeit ($4-10^{\circ}\text{C}$). (Siehe auch Abschnitt 7).

Die relative Luftfeuchtigkeit (Monatsmittel) schwankt zwischen 59 % Januar - Februar und 89 % im Juni.

Die mittlere Sonnenscheindauer variiert zwischen 2,3 Stunden/Tag im Juni und 9 Stunden/Tag im Januar.

Die potentielle Evapotranspiration berechnet nach PENMAN¹ (zitiert von GUTIERREZ, 1975) mit einem Albedo von 0,15 und einem Korrekturfaktor für Waldvegetation von $5/3$ Ea betrug 1515 mm/Jahr.

Die Saisonalität des Klimas bewirkt einen Überschuß an Wasser in der Regenzeit mit stellenweiser Vernässung und Überflutung sowie Wasserdefizit in der Trockenzeit. (s. Abb. 2/1).

2.2. GEOMORPHOLOGIE UND BODENVARIABILITÄT

Die Forstreserve liegt in einer alluvialen Ebene, die von mehreren Andenflüssen in Richtung Osten zum Orinoco durchquert wird. Es handelt sich um ein pleistozän-holozänes Aufschüttungsgebiet von Andenmaterial. Die aktuellen ökologischen Bedingungen werden weitgehend von den geomorphologischen Prozessen der Sortierung und räumlichen Differenzierung der Sedimentation bestimmt. Das alluviale Material wurde je nach Entfernung zum Fluß, Transportvermögen des fließenden Wassers und der Art des Materials m. o. w. sortiert und in zeitlichem Wechsel abgelagert. Die horizontale Gliederung von Relief und Texturschichtung wird verursacht durch flächenhafte Differenzierung in die erhabenen, vorwiegend sandigen Uferwallbereiche m. o. m. breite angrenzende Zonen (Übergangsbereiche) vorwiegender Schluff- und Feinsandsedimentation ("napas de desbordamiento" - ZINCK, 1970) sowie die fluußfernen Senken mit dominierender Ton-

1) Die Berechnung wurde in der UNIVAC - EDV - Anlage der Göttinger Gesellschaft für Datenverarbeitung freundlicherweise von Herrn Dr. Wolfgang Hetsch durchgeführt.

ablagerung. Diese typische Differenzierungsfolge wird durch ständige Verlagerung von Flußläufen ergänzt bzw. kompliziert, welche räumliche Neuorientierung der horizontalen Differenzierungsfolgen bewirkt und damit variable vertikale Ablagerungsfolgen schafft. Als zusätzlicher, die auftretende Bodenvariabilität von Alluviallandschaften bedingender Faktor muß auch der paleoklimatisch ausgelöste Wechsel in den Bedingungen des Materialtransports und der Wasserführung der Flüsse angesehen werden. Die aus diesen Prozessen resultierende Landschaft ist ein Komplex von Uferwällen, Übergangsbereichen mit Abflußkanälen, alten und jungen Flußbetten.

Im Bereich des Ostteils der Reserve beschränkt sich heute der Einfluß der fluviatilen Überschwemmung auf sehr kleine flußnahe Areale, jedoch ist bislang wenig über die Dauer der gegenwärtigen Formungsruhe wie über die Bedeutung holozäner Sedimentation bekannt.

Ausgedehnte aber meist geringmächtige Überflutungen werden aus den Niederschlägen gespeist und durch eine geringe Wasserleitfähigkeit vieler Böden verursacht. Das mehr oder minder temporäre oberflächliche Stauwasser sammelt sich in den tieferliegenden Becken ("bajios") in denen es flußparallel abfließt, von Abflußkanälen gesammelt wird und irgendwann in die Flüsse einmündet. Höhe und Dauer dieses oberflächlichen Stauwassers wird weitgehend durch Textur und Schichtungsfolge sowie das Relief bestimmt.

Zur Verdeutlichung typischer Bodenvariabilität sind in Abb. 2/2-4 Beispiele für horizontale Veränderung der Bodendecke aufgeführt, wie sie sich aus vergleichenden Betrachtungen von bisher ca. 100 Bodenprofilen ergibt, die im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte (VINCENT, 1970; TORRES, 1974; FÖLSTER und FRANCO, 1976-78; HETSCH et al. 1979; HASE, 1979; GRÄFE, 1979) untersucht wurden.

Bodenserie 1 (Abb. 2/2):

Ausgehend von einem tiefgründigen Sandprofil eines ehemaligen Uferwalls in erhöhter Lage ("banco") wird diese Serie durch eine graduelle Veränderung der Textur der oberen Bodenschicht gekennzeichnet. Der meist mittelsandige Charakter des basalen Sediments bleibt wenig verändert erhalten, auch wenn - örtlich wahrscheinlich sehr irregulär - feinsandige Linsen eingestreut sein können. Mit zunehmender Verfeinerung der Textur der oberen Bodenschicht zu tieferen Lagen hin ("napa de transición", "bajío") wächst auch die Neigung zu regenzeitlicher Überflutung durch gestautes Regenwasser und die regenzeitliche Vernässung des Bodens. Das oberflächlich abfließende Stauwasser kann örtlich eine partielle flächenhafte Erosion bewirken, welche dann eine mosaikartige Mikro-Terrassierung der Oberfläche hervorruft. (Abb. 2/2). Die kleinen, z. T. rundlichen, z. T. abgeflachten Terrasseninseln liegen 10 - 40 cm über der restlichen Bodenoberfläche. Auf ihnen konzentriert sich die Vegetation und die Tätigkeit der Bodentiere. Diese Erosionart wurde von GOOSEN (1971) als "reticular gully erosion" beschrieben (s. auch STAGNO & STEEGMAYER, 1972).

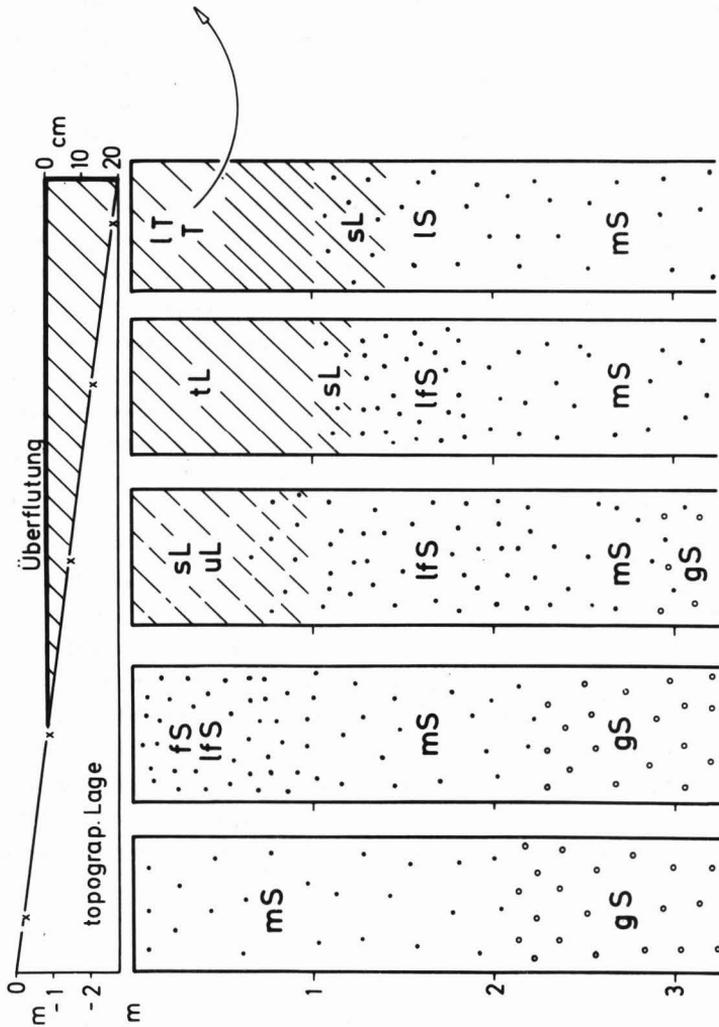
Bodenserie 2 (Abb. 2/3):

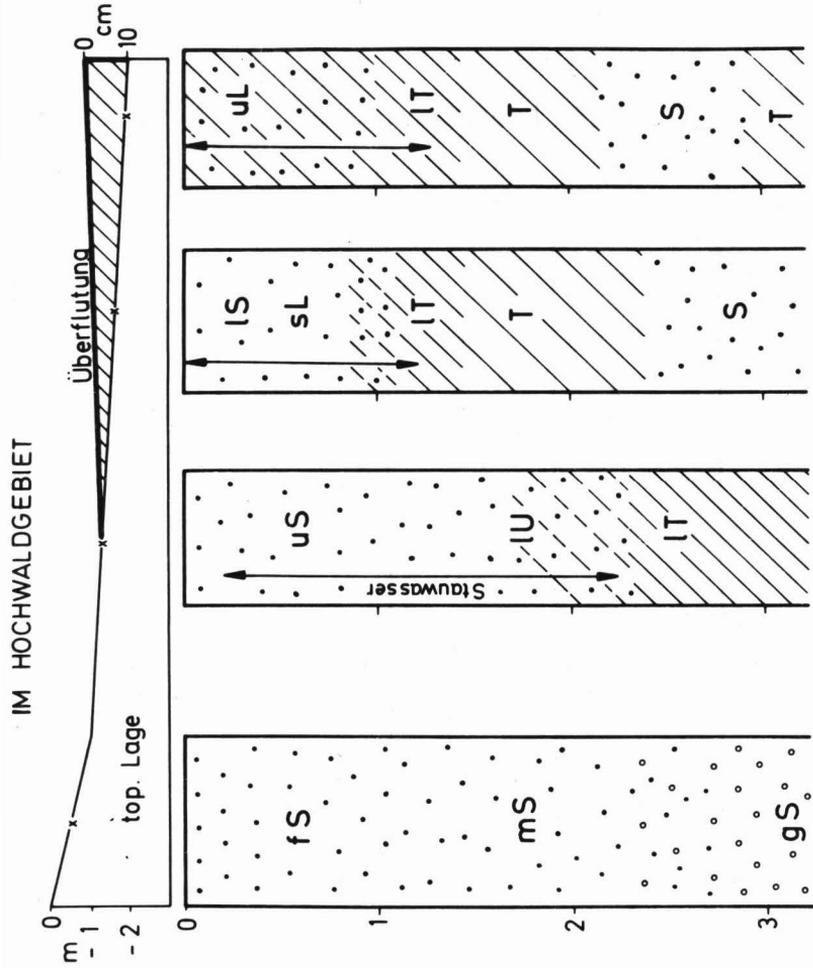
Lag in der Bodenserie 1 feines Material über grobem, so ist es in der Bodenserie 2 umgekehrt. Es kann sich hier um Verfüllungen alter Senken (bajios) oder auch Flußläufen handeln, wobei der Charakter der Verfüllungen wechseln kann. Der unter einer Sand- oder Lehmdecke anstehende Ton bildet einen Staukörper. Die Textur der Deckschicht und die Tiefe des Staukörpers sind maßgebend für die Durchwurzelungstiefe, die Wasserspeicherkapazität und die Belüftung des Bodens und beeinflussen, neben dem Relief, den Umfang möglicher Überflutungen.

Bodenserie 3 (Abb. 2/4):

Die Bodenprofile dieser Serie könnten z. B. als Endglieder der Bodenserie 1, aber auch im Anschluß an andere Bodenfolgen auftreten. Es handelt sich um Böden der tieferen Senken, die vorwiegend sehr tonigen Charakter haben.

IM HOCHWALD GEBIET





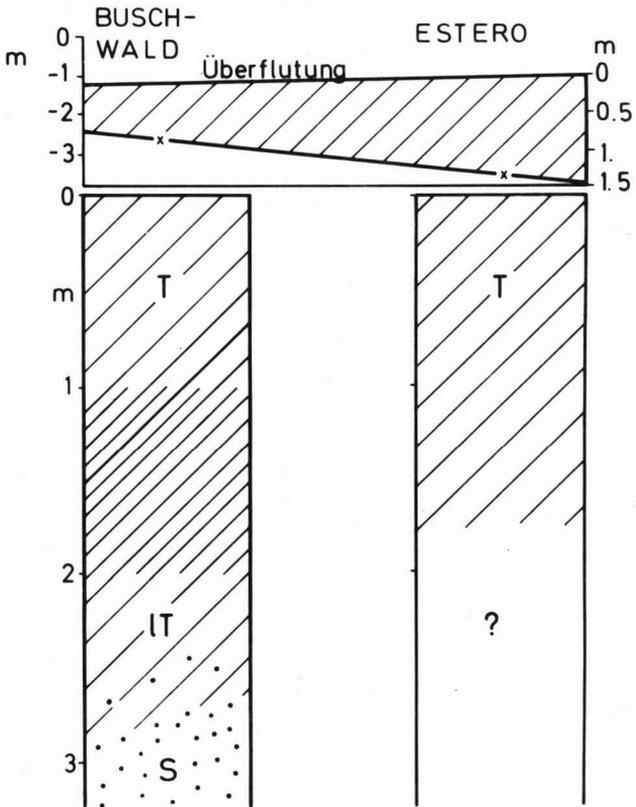


Abb. 2/4 : Variabilität der Bodendecke, Serie 3

Z. T. sind es sehr junge Ablagerungen mit starker Struktur-
dynamik. Auf Grund der Undurchlässigkeit des Substrates
und dem lateralen Zufluß von Oberflächenwasser herrscht
hier eine regenzeitlich lange und tiefe Überflutung vor.
Die tiefliegenden Teile der bajios werden auch als "esteros"
ausgeschieden auf Grund der an die hohe Überflutung ange-
paßten Buschwald-, Heliconia- und Gramineen-Vegetation (s. 2.3).

2.3. VEGETATION

Auffallend für das Gebiet ist die große Mannigfaltigkeit
der Vegetation, die vom Hochwald bis zur Grassavanne
reicht. Der Caparo-Abschnitt der Llanos-Waldregion ist wald-
typologisch sehr vielfältig. Auf engstem Raum sind hier
hohe und niedrige, palmenreiche und palmenärmere, sowie
alle Übergänge von säsonal immergrünen zu fast regen-
grünen waldbeständen anzutreffen, einschließlich der
Übergänge zu baumfreien Überflutungssavannen.

Die Variabilität ist eng an diejenige der Bodendecke ge-
koppelt und wird durch den bodenbedingten Wandel der öko-
logischen Standortverhältnisse (Relief, Überflutungsni-
veau und -dauer, Höhe und Schwankung des Grundwassers,
Belüftung und Speicherkapazität des Bodens) gesteuert.
Eine grobe Beziehung ergibt sich schon aus dem in Abb.
2/5 reproduzierten Abschnitt der Vegetationskarte von
LUNA und PERNIA (1975), die auf Grund von Luftbildern
(1:25 000) hergestellt wurde. Buschwald und "esteros",
d. h. natürliche Gramineen- und Heliconia-Flächen, zei-
gen die Tieflagen der m. o. m. flußparallel verlaufen-
den Senken (bajios) mit langfristiger (regenzeitlicher)
und tiefer (> 50 cm) Überflutung an. Die Überflutungs-
höhe steigt vom Buschwald über die Heliconia- zu den
schwimmenden Gramineen-Flächen an. Die Relief-Vegeta-
tions-Beziehung ist ebenfalls in einem 8 km langen
Transekt (Abb. 2/6) dargestellt (Verlauf in der Reserve
s. Abb. 2/5). Hierin wird ebenfalls der zu beobachtende
räumliche Wechsel in der Höhe, dem Belaubungsgrad in
der Trockenzeit und dem Palmenreichtum des Hochwaldes
zum Ausdruck gebracht. Diese so angedeutete Variabili-
tät insbesondere des Hochwaldes mit der Variabilität der
Bodendecke in Beziehung zu setzen ist Aufgabe dieser
Arbeit.

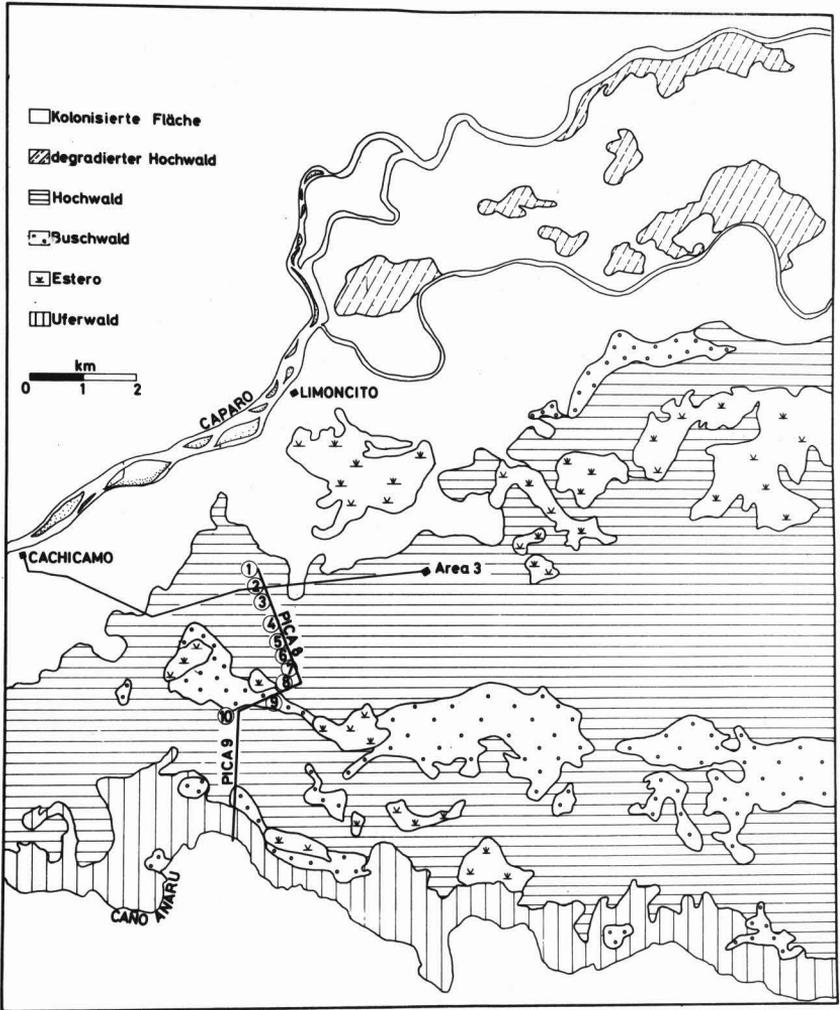


Abb. 2/5 : Vegetationskarte, Unidad 1, Caparo

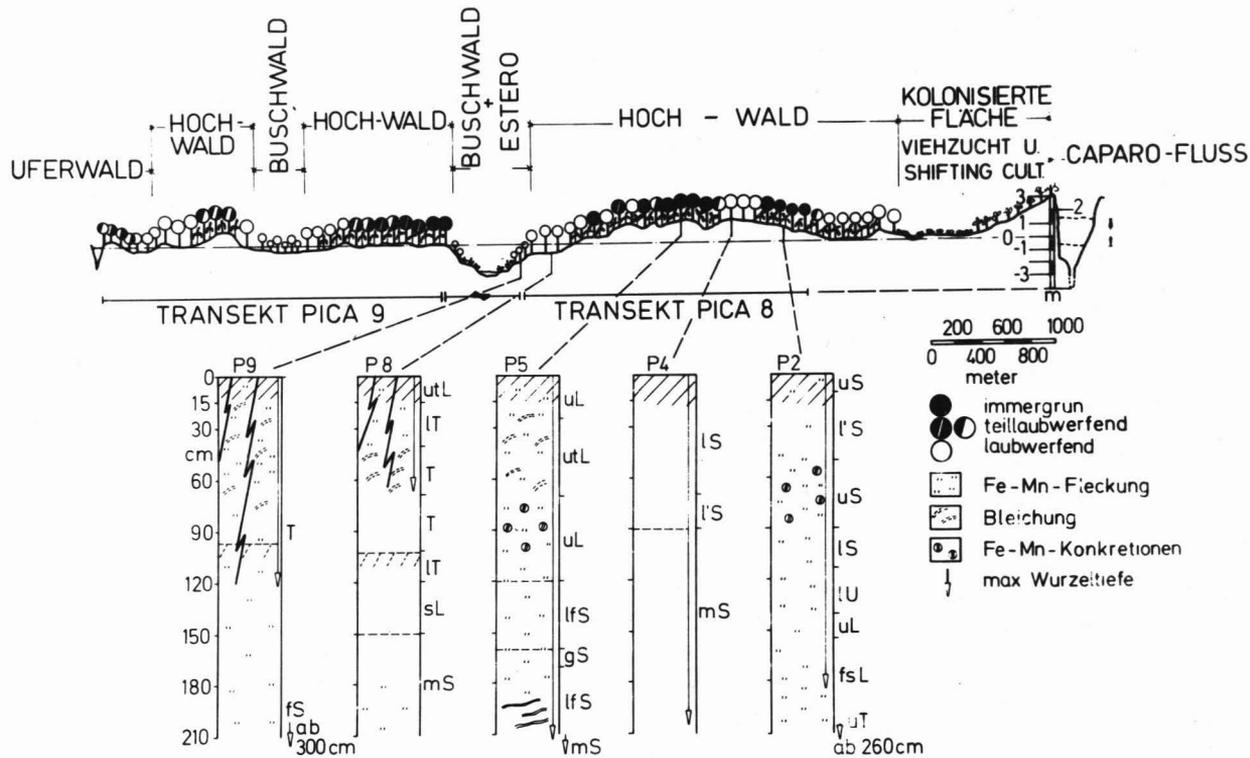


Abb. 2/6 : Vegetations- und Bodenwechsel entlang Transekt Pica 8 (und 9).

2.4. WALDBAULICHE UND ÖKOLOGISCHE FORSCHUNG IN DER WALD- RESERVE CAPARO 1968 - 78.

Die erste Untersuchung im Gebiet wurde von PULIDO (1968) durchgeführt. Der Autor versuchte die Vegetationsvariabilität zu erfassen und entwarf eine erste Gliederung, wobei auf Grund von Feldaufnahmen (Flora, Struktur und Physiognomie) 29 Hoch- und Buschwaldtypen, 7 Savannentypen und 4 Sekundärvegetationstypen beschrieben wurden. VINCENT (1970), auf der Basis von Pulidos Untersuchung, konzentrierte sich auf die Waldvegetation und beschrieb entlang eines 3 km langen Transekts 8 Waldtypen.

Das VINCENT'sches Waldtypifizierungssystem berücksichtigt Folgendes:

a. Die Höhe und Struktur der Vegetation, wonach "Selva" (Hochwald über 20 m Höhe und 3 Stockwerke) und "Bosque" (Buschwald) unterschieden werden.

b. Die trockenzeitliche Entlaubung der Baumkrone, die aufgrund der Kronenbedeckung und ihres entlaubten Anteils als "Indice de Caducifolia" berechnet wird und wonach in Anlehnung an BEARD (1946) 3 Entlaubungsstufen festgelegt werden:

- 0 - 33 % Entlaubung: "Subsiempreverde" (säsonal immergrün)
- 33 - 66 % Entlaubung: "Semideciduo" (teillaubwerfend)
- 66 -100 % Entlaubung: "Deciduo" (laubwerfend)

c. Standortliche Eigenschaften wie die relative topographische Lage, Farbe der Bodenoberfläche, Mikrorelief und Bodenvegetation, wonach drei Grundstandorte "Banco" (höhere Lage), "Transicion" (Übergangsbereich) und "Bajio" (tieferer Lage) unterschieden werden. Auf jedem Standort sind alle drei Entlaubungsstufen kombinierbar.

Vincent erprobte in ca. 1500 ha Wald seine Waldtypifizierung. Durch sein System werden in erster Linie

physiognomische Waldtypen erkannt und kartiert. Diese Entwicklung bildete die Grundlage eines 5-jährigen Forschungsprogramms in Caparo zur Erarbeitung ökologischer und waldbaulicher Grundlagen für die Waldbewirtschaftung. Im Rahmen dieses Forschungsprogramms wurde u. a. die botanische Zusammensetzung der Waldvegetation und die Laubfallcharakteristika (Phänologie) der häufigsten Baumarten untersucht. Ferner wurde eine meteorologische Station eingerichtet, an der Niederschlag, Sonneneinstrahlung, Sonnenscheindauer, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Bodentemperatur gemessen werden.

In ausgesuchten Flächen der ausgeschiedenen Waldtypen wurden sowohl botanisch-ökologische und ertragskundliche Untersuchungen als Regenerationsversuche (Anpflanzungen und Naturverjüngung) des Waldes vorgenommen, wobei ca. 40 autochthone und exotische Baumarten auf verschiedenen Standorttypen und nach verschiedener Pflanzungstechnik erprobt wurden (ULA-CORFOANDES, 1970-75). Im Rahmen dieses Programms wurden auch ca. 50.000 ha der Forstreserve photointerpretiert im Maßstab 1:25 000.

3. PARZELLENAUSWAHL UND UNTERSUCHUNGSMETHODEN

3.1. PARZELLENAUSWAHL

Die Parzellenauswahl mußte unter Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte vorgenommen werden: a) die Erfassung der extrem vielseitigen Caparo-Standorte erfordert eine sehr hohe Anzahl von Untersuchungsflächen; b) der relativ große Aufwand, der mit der Aufnahme- und Einrichtungsarbeit der Parzellen und vor allem mit den Dauermessungen verknüpft ist, begrenzt selbstverständlich die Zahl der zu untersuchenden Parzellen. Letzteres bedeutet, daß die ausgesuchten Flächen keine für das Gebiet vollständige Standortsrepräsentanz haben; c) die Parzellen mußten wegen der Dauermessungen ganzjährig über vorhandene Wege erreichbar sein.

Die Parzellen wurden in der sogenannten Einheit 1 der Waldreserve eingerichtet, die etwa 30 km vom nächsten Dorf (El Canton) entfernt liegt. Während der Trockenzeit kann das Gebiet auf einer ungeteerten Straße, in der Regenzeit nur über den Fluß Caparo erreicht werden.

Innerhalb der Einheit 1 befinden sich zwei von der Universität Merida eingerichtete Stationen (Cachicamo und Area 3, etwa 10 km voneinander entfernt). Das Waldgebiet um die Stationen herum wurde in 1 km² große Flächen aufgeteilt, die durch Schneisen getrennt waren. Dieses Schneisennetz stellt die anschließende Infrastruktur für die weitergehenden Untersuchungen dar. Die Auswahl der Parzellen wurde durch die vorhandene Waldtypenkarte (1500 ha) erleichtert und erfolgte nach Vegetations- und Bodenansprache in der Trockenzeit (Februar - März 1976) entlang dem Transekt PICA 8 (Parzelle 1 bis 8) und Transekt PICA CENTRAL (Parzelle 9 und 10). Die Entfernung zwischen Parzelle 1 und 10 beträgt ca. 3 km.

3.2 METHODEN DER VEGETATIONUNTERSUCHUNG

In den Parzellen (50 x 50 m) wurden alle Bäume mit Brusthöhdurchmesser (BHD) > 10 cm inventarisiert. Es wurden Baumart, BHD und soziologische Stellung aufgenommen. In jeder Parzelle (von P1 bis P8) wurden aus-

gesuchte Bäume markiert und phänologisch regelmäßig beobachtet. Bei den insgesamt 172 Bäumen (30 Baumarten) wurden mit Hilfe des Fernglases in Intervallen von 1 - 4 Wochen der Belaubungsgrad nach 5 Prozentklassen (0, 1-25, 25-50, 50-75, 75-100 %), der Entwicklungszustand der Blätter (Knospen, junge, erwachsene und senile Blätter) und Blüten bzw. Früchte beobachtet. Die Beobachtungsperiode reichte von Mai 1976 bis September 1977. In der Auswertung der Daten wurden 4-jährige Beobachtungen von 570 Bäumen in Caparo einbezogen, die vom Instituto de Silvicultura der Universität Mérida in Monatsintervallen von 1970-74 durchgeführt wurden (IEFF et al 1973).

In den selben Parzellen (1 bis 8) wurden je 10 Streufänger (je $1m^2$ Fangfläche) aufgestellt. Sie wurden in Intervallen von 1 bis 3 Wochen entleert. Die Streu wurde sortiert in drei Fraktionen (Blätter, Zweige $\varnothing < 2$ cm sowie Blüten + Früchte + Samen), getrocknet ($80^{\circ}C$, 24 Stunden) und gewogen.

Zur Auswertung der jahreszeitlichen Streufall-Schwankungen mußte eine Umrechnung der einzelnen Streumengen auf gleichbleibende Zeitabschnitte erfolgen. Hierfür wurde der Zeitraum von 1/2 Monat gewählt. Zur Bildung von Mischproben zur chemischen Untersuchungen wurde das Jahr nach den Niederschlagsverhältnissen in 6 Perioden aufgeteilt. Für jede Periode wurden die Proben der Einzeltermine zu Mischproben vereint, und zwar die aus den Streufängern 1 bis 5 getrennt von denen der Streufänger 6 bis 10, sodaß für jede Fläche und Periode 2 Mischproben als Parallelen zur Verfügung standen. In allen 10 Parzellen wurden die Feinwurzeln ($\varnothing < 20$ mm) der Intensivwurzelschicht (0-50 cm Tiefe) aus Bodenblöcken von 20 x 20 cm Fläche in 10 cm-Tiefenstufen und 4 Wiederholungen ausgewaschen, getrocknet, sortiert nach \varnothing -Klassen (< 1 mm, 1-5 mm und 5-20 mm) und gewogen. Je zwei Mischproben pro Parzelle und Tiefe wurden chemisch analysiert.

3.3 METHODEN DER BODENUNTERSUCHUNG IM GELÄNDE

In jeder Parzelle wurden 1 bzw. 2 Bodenprofile bis 2 m Tiefe ausgegraben; Bohrungen erfolgten bis 3 bzw. 4 m. Nach der Bodenansprache wurden Stechzylinderproben (250 cm^3) zur physikalischen Untersuchung (TRD, pF-Kurve, Ks, Ku, s. u.) sowie gestörte Bodenproben zur Bestimmung der Textur, des spezifischen Gewichtes und zur chemischen Analyse entnommen.

In der Parzelle 1 bis 8 wurde je ein Tensiometerfeld eingerichtet bestehend aus 9 Tensio-
metern in den Tiefen 20 (4), 45 (3) und 90 (2) cm. Die Meßperiode reichte von Mai 1976 bis Oktober 1977. Von November 1977 bis März 1978 wurde im Rahmen einer weiteren Untersuchung (HETSCH et al., 1977) in den Parzellen 2, 3, 4, 5 die Messungen fortgesetzt, und zwar mit zusätzlichen Tensio-
metern in 70, 140 und 180 cm Tiefe. Ebenfalls wurden weitere bodenphysikalische Bestimmungen durchgeführt (s. u.). Diese konnten zur vorliegenden Auswertung mit herangezogen werden. Während der ganzen Beobachtungs-
periode wurden die Tensiometer täglich (Parzellen 2, 3, 4, 5) bzw. jeden zweiten Tag (Parzellen 1, 6, 7, 8) ab-
gelesen.

Der Grundwasserstand wurde auf allen Parzellen regelmäßig registriert, und zwar in 5 cm dicken, bis 4 m tiefen perforierten Meßrohren. In Parzellen mit lehmigen bzw. tonigen Decksedimenten und periodischem Oberflächen-
wasser erfolgte die Abdichtung des Rohr-Boden-Kontaktes durch Ton-Pfropfen. In Parzelle 2 beschränkte sich die Messung auf das oberste Grundwasserstockwerk oberhalb der 2 m-Stausohle (s. 3.). In Parzelle 1 konnte keine befriedigende Abdichtung erzielt werden.

Die Überflutung durch Regenwasser wurde regelmäßig auf den Parzellen sowie entlang der Zugangsschneisen (Picas 8 und 9, s. Abb. 2/6) mit Hilfe von Meßplatten registriert. Außerdem ist auf den Parzellen mit vorüber-
gehend geringmächtiger Überflutung der jeweilige Be-
deckungsgrad mit Oberflächenwasser geschätzt und seine

zeitliche Veränderung festgehalten worden.

In unregelmäßigen Abständen, besonders jedoch in der Trockenzeit, wurden gravimetrische Feuchtigkeitsbestimmungen auf allen Parzellen durchgeführt. Die taxonomische Ansprache der Böden sowie die Horizontbezeichnungen folgen dem USDA-System (Soil Taxonomy, USDA 1975), um eine regionale Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

3.4 KLIMATISCHE UND MIKROKLIMATISCHE MESSUNGEN

Das Untersuchungsgebiet verfügt seit 1970 über eine meteorologische Station (Area 3, s. Abb. 2/5) mit Mess- bzw. Registriergeräten für Sonneneinstrahlung, Sonnenscheindauer, rel. Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur, Niederschlag und Bodentemperatur. Diese Station liegt 3 - 5 km östlich der Parzellenserie. Zusätzlich wurde hier ein Anemometer (2 m Höhe) angebracht. Die Messungen blieben jedoch zeitlich unvollständig. Als unmittelbare Vergleichswerte des Freilandniederschlages wurden Messungen von je 1 Pluviographen und 1 Totalisator in einer Waldlichtung auf der Pica 8, zwischen Parzelle 2 und 3 gelegen, herangezogen. Der Bestandesniederschlag wurde unter 2 Beständen gemessen, und zwar auf Parzelle 2 (**saisonalen** immergrüner Feuchtwald) und Parzelle 4 (laubwerfender Feuchtwald). Dazu wurden in beiden Parzellen 4 FVC-Rinnen mit einer Gesamt-Auffangfläche von ca. 1.25 m^2 aufgestellt. Die Messung erfolgte täglich. Der gemessene Bestandesniederschlag von Parzelle 4 wurde auf die nächst gelegenen Parzellen (3, 5, 6, 7 und 8), derjeniger von Parzelle 2 auf Parzelle 1 übertragen. Es wurde zwischen den gemessenen Parzellen keine Unterschiede im Bestandesniederschlag gefunden (s. Abschnitt 8). Ebenfalls wurden unter den genannten beiden Beständen die Luft- und Bodentemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit (Hygrographen Fa. Lambrecht) sowie die Verdunstung von der freien Wasseroberfläche (Verdunstungswaage Fa. Lambrecht) registriert (Abschnitt 7).

3.5 LABORUNTERSUCHUNGEN

3.5.1 Bodenphysikalische Bestimmungen

- a.) Texturbestimmung nach vorheriger Dispergierung in 0.05 n Na-Hexametaphosphat nach der Pipettmethode und anschließender Trockensiebung der Fraktionen größer als 0.02 mm.
- b.) Bestimmung von pF-Kurve, gesättigter (K_s) und ungesättigter (K_u) Leitfähigkeit (nach der Durchlaufmethode) und Trockenraumdichte (ρ_D) an ungestörten Bodenproben in 250 cm³ Stechzylinder (8 bis 26 Proben pro Profil). (s. BENECKE, 1977) Die Wasserspeicherkapazität des Bodens wurde zwischen pF 2 und 4.2 berechnet.
- c.) In die Berechnung des Gesamtporenvolumens ging außerdem das spezifische Gewicht des Bodens ein, welches in Pyknometern mit Xylol bestimmt wurde.

3.5.2. Chemische Analysen (s. FASSBENDER & ABRFENS, 1975)

A. An Bodenproben

- a.) Messung des pH-Wertes in 0.01 n CaCl₂
- b.) Kohlenstoffbestimmung durch trockene Veraschung in der WESTHOFF-Apparatur
- c.) Messung von N und P nach Kjeldahlaufschluß kolorimetrisch mit dem Autoanalyzer
- d.) Austauschbare Kationen: Extraktion mit 1 n NH₄Cl und Bestimmung von Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ und Mn⁺⁺ mit einem Spektrometer für atomare Absorption sowie von Al⁺⁺⁺ und Fe⁺⁺ kolorimetrisch mit Aluminon bzw. Phenanthrolin.

B. An Streu-, Humusaufgabe- und Wurzelproben:

- a.) Trockene Veraschung der Probe im Auffelofen bei 500°C zur Bestimmung des prozentualen Aschengehalts.
- b.) Gewinnung der Kationen als lösliche Chloride und der Kieselsäure als Filterrückstand. Bestimmung der Kationen mittels Spektrometer für atomare Absorption.
- c.) Nach nasser Veraschung der Probe (H₂SO₄-Se-Gemisch) Bestimmung von N und P kolorimetrisch mit Autoanalyzer.

4. INVENTUR DER VEGETATION UND BÖDEN DER PARZELLEN 1 - 10

4.1. Boden- und Vegetationswechsel entlang dem Transekt Pica 8:

Übersicht

Die Abb. 2/5 wurde bereits zur Verdeutlichung der Vegetations- und Bodenvielfalt herangezogen; sie zeigt etwas vereinfacht die Beziehung Boden-Vegetation und die Lage der Untersuchungsparzelle entlang dem Transekt. Parzellen 1 - 8 liegen im Hochwald, Parzellen 9 und 10 stellen Estero-nahe Sonderformen von Nieder- bzw. Buschwald dar. Der Hochwald stellt ein kleinräumiges Mosaik dar von Beständen mit sehr unterschiedlichem trockenzeitlichen Belaubungsgrad. In der folgenden Übersicht wird zur Beschreibung der Belaubungscharakteristik auf die Definition von VINCENT (1970) zurückgegriffen. (Siehe Abschnitt 2.4.).

Der Wechsel der Bodendecke ist eng mit dem der Vegetation korreliert. Von Parzelle 4 zu Parzelle 8 bzw. 9 läßt sich die schon beschriebene Bodenserie 1 (einschließlich Bodenserie 3) wiedererkennen (siehe Abschnitt 2.2). Hierin ist auch die Parzelle 3 einzuordnen, während Parzelle 2 und 1 Charakteristika der Bodenserie 2 zeigen.

Die Parzelle 4, ein alter Uferwall, befindet sich auf der höchsten topographischen Lage und ist durch einen tiefgründigen Sand mit hoher Durchlässigkeit und relativ geringer Wasserspeicherkapazität gekennzeichnet, die allerdings für die tiefwurzelnden Spezies (maximale Durchwurzelungstiefe 200 cm) immerhin 180 mm betragen kann. (Eingehende Bodenbeschreibung in Abschnitt 4.3). Das Grundwasser liegt zu tief in der Trockenzeit und spielt keine Rolle für die Wasserversorgung der Pflanzen. Die Vegetation ist ein palmenarmer laubwerfender Feuchtwald mit im oberen Stockwerk hochgradiger trockenzeitlicher Entlaubung.

Die Parzelle 3 grenzt an den sandigen Standort (Parzelle 4); sie liegt topographisch nur etwa 30 cm tiefer. Das Bodenprofil besteht aus einem 1 m. mächtigen uL über IS/S. Die

Wasserspeicherkapazität des durchwurzelten Bodens steigt wesentlich in Vergleich zu Parzelle 4. Die Vegetation wird reicher an Palmen und der trockenzeitliche Belaubungsgrad ist insgesamt höher als in Parzelle 4; der Wald ist als teillaubwerfender Feuchtwald einzuordnen.

Die Parzelle 5 liegt nur etwa 15 cm tiefer als Parzelle 3, aber hier wird die Lehmdecke toniger und mächtiger (130 cm). Ihre Hydromorphie zeigt regenzeitliche Vernässung an, aber die Durchwurzelung ist noch erstaunlich tief (bis 210 cm Tiefe). Dies erhöht - zumindest für manche Bäume - die Wasserspeicherkapazität des Bodens über die von Parzelle 3. Das Grundwasser sinkt in der Trockenzeit langsam ab und der basale Sand wird durch Feinsandlinsen mit hoher Wasserkapazität durchsetzt, sodaß eine Wassernachlieferung im Unterbodenbereich besteht. Der Wald, noch reicher als P3 an Palmen, behält zum großen Teil sein Laub in der Trockenzeit (Saisonal immergrüner Feuchtwald).

Parzelle 6 ist Parzelle 5 sehr ähnlich. Allerdings ist hier die noch etwas tonigere Lehmdcke nur 90 cm mächtig. Die Parzelle liegt topographisch tiefer (135 cm) als Parzelle 5, was eine schon stärkere oberflächliche Wasserzufuhr von der Umgebung bewirkt und zu starker Vernässung und z. T. Überflutung führt. Das Grundwasser steigt hier höher, und zwar bis in die Lehmdcke hinein, und sinkt langsamer als in Parzelle 5. Dies bewirkt eine Begrenzung der Tiefendurchwurzelung. Der Wald ist ebenfalls reich an Palmen, aber etwas geringer trockenzeitlicher belaubt als Parzelle 5 (Saisonal immergrüner Feuchtwald).

Parzellen 7 und 8 liegen 80 cm tiefer als Parzelle 6. Der Tongehalt der 100 - 120 cm mächtigen oberen Sedimentdecke steigt auf 70 %. Wegen ihrer geringen Durchlässigkeit staut sich das Regen- wie das oberflächlich zufließende Wasser im und auf dem Boden. Dagegen ist der stark verdichtete Unterboden unterhalb von 60 cm ganzjährig trocken. Das relativ tiefliegende Grundwasser beeinflußt diese Beziehung nicht. Die Wasserspeicherkapazität ist mit 90 mm die geringste von allen untersuchten Böden. Der folglich stark ausgeprägte Wechsel von regenzeitlicher Vernässung

und Überflutung und trockenzeitlich schneller Austrocknung bedingt hier einen praktisch palmenfreien laubwerfenden Feuchtwald. Parzelle 8 ist in dieser Hinsicht extremer, während die Bedingungen in Parzelle 7 durch stärkeren Zu-
strom von Oberflächenwasser etwas abgemildert werden. Der hier konzentrierte oberflächliche Wasserfluß wird auch durch flächige Erosionsformen geringer Tiefe ("tatuco")
angeregt.

In der Parzelle 9 wird der Hochwald durch einen Buschwald¹⁾ ersetzt. Der Boden besteht aus einem 3 m mächtigen, humus-
haltigen Ton (Tongehalt > 68 %) über Sand. Die Parzelle ist die topographisch am tiefsten liegende Fläche (65 cm tiefer
als P7-18). Die regenzeitliche Überflutung wird aufgrund ihrer Höhe (20 - 50 cm) und Dauer der wichtigste ökolo-
gische Faktor. Die Vegetation, etwa 10 m hoch mit einzel-
nen Bäumen von 12 - 15 m, besteht hauptsächlich aus Spezia-
listen (Abschnitt 4.2.1.).

Parzelle 10 ist ein randlicher Senkenstandort, einzuordnen zwischen den Hochwaldstandorten von Parzelle 5 bis Parzelle
8 einerseits und dem Buschwald von Parzelle 9. Sie liegt 15 cm tiefer als Parzelle 7 und 8 und trägt einen an Arten
und Biomasse ärmeren¹⁾ Niederwald mit Heliconia-Unterwuchs.
Das Bodenprofil besteht bis 160 cm Tiefe aus einer nach unten sandiger werdenden hydromorphen Lemmdecke. Das Grund-
wasser schwankt zwischen 260 und 60 cm Tiefe, aber die Parzelle wird langfristig während der Regenzeit durch Ober-
flächewasser von etwa 10 cm Höhe überflutet.

In Parzelle 2, etwa so hoch wie Parzelle 3, liegt die Haupt-
durchwurzelungszone in einer tonarmen Feinsanddecke, welche jedoch nach unten hin durch eine schluffige Tonschicht ab-
geschlossen wird. Dieser Ton stellt eine oberflächenane Grundwassersohle dar. Sand und Lehmschicht werden tiefgrun-
dig durchwurzelt; die Wasserspeicherkapazität von 430 mm sorgt für eine trockenzeitlich ausreichende Wasserversor-
gung. Der Bestand ist ein saisonal immergrüner Wald.

Von Parzelle 2 nach Parzelle 1 hin fällt die Oberfläche um 70 cm, während die Grundwassersohle bis auf 1 m ansteigt und die obere Bodendecke feiner wird. Der Boden ist regen-

1) Siehe Beschreibung der Parzelle 9 und 10 (Seite 31).

zeitlich vernäßt, die Durchwurzelung in der Tiefe begrenzt auf maximal 150 cm, in denen dann 270 mm Wasserspeicher zur Verfügung stehen. Von Parzelle 2 nach Parzelle 1 nimmt die Wechselfeuchte und die trockenzeitliche Entlaubung zu. Der Bestand kann als palmenreicher, teillaubwerfender Feuchtwald angesprochen werden.

4.2 VEGETATIONSAUFNAHME

4.2.1. Vegetation der untersuchten Parzellen

Im folgenden Abschnitt soll zunächst eine kurze Übersicht über die Vegetation der 10 Parzellen des Transektes gegeben werden. Die Artenverteilung nach Durchmesserklassen findet sich im Anhang I. Aufgenommen wurden Individuen mit BHD > 10 cm. Die Arten werden nach Lokalnamen bezeichnet. Die botanischen Namen sind im Anhang II zu ersehen.

In der Parzelle 1 kommen 71 Individuen (284 Ind./ha) aus 20 Baumarten (Mischungskoeffizient 1/3.6) vor. Die Grundfläche beträgt umgerechnet 26.5 m²/ha.

In der vertikalen Struktur läßt sich folgende Gliederung vornehmen:

Stockwerk (m)	Individuen/ha	charakteristische Arten	1)
20 - 30	72	Lechero-Guayabon-Jobo	(72 %)
10 - 20	120	Palma Agua-Palma Sarare	(77 %)
< 10	108	Palma Agua-Clavito-Yatago	(82 %)

Die Bodenvegetation besteht zum großen Teil aus Palmenverjüngung. Bemerkenswert ist der sehr hohe Anteil an Palmen und das deutliche Vorherrschen von nur 3 Arten im untersten Stockwerk.

In der Parzelle 2 kommen 76 Individuen (304 Ind./ha) aus 26 Baumarten (Mischungskoeffizient 1/2.9) vor. Die Grundfläche beträgt 27 m²/ha.

Vertikale Struktur:

Stockwerk (m)	Individuen/ha	charakteristische Baumarten
20 - 35	20	Chupon (60 %) Triaco-Saquisaqui (40 %)
10 - 20	112	Palma de Agua-Palma Sarare (60 %)
< 10	168	Palma Agua-Palma Sarare-Manoncillo-Laurel Amarillo (52 %)

1) Prozentwert mit Bezug auf die Individuenzahl im Stockwerk

Der Bestand wird von der Gruppe Chupon-Palma Agua-Palma Sarare charakterisiert. Im Gegensatz zu Parzelle 1 besteht hier eine starke Mischung im untersten Stockwerk.

In der Parzelle 3 kommen 65 Individuen (260 Ind/ha) aus 25 Baumarten vor. (Mischungskoeffizient 1/2.6). Die Grundfläche beträgt 22.8 m²/ha.

Vertikale Struktur:

Stockwerke (m)	Individuen/ha	charakteristische Baumarten
20-35	24	Jobo-Saquisaqui-Cocomono (100 ‰)
10-20	112	Palma Sarare-Yagrumo-Guácimo colorao-Chupon (85 ‰)
< 10	128	Palma Agua-Palma Sarare-Cacaito Hacha (39 ‰)

Saquisaqui im obersten und die Palmen in unteren Stockwerken charakterisieren den Bestand. Es besteht eine sehr starke Mischung im untersten Stockwerk und in der Bodenvegetation.

In der Parzelle 4 kommen 67 Individuen (268 Ind/ha) aus 24 Baumarten vor. (Mischungskoeffizient 1/2.8). Die Grundfläche beträgt 18.4 m²/ha.

Vertikale Struktur:

Stockwerk (m)	Individuen/ha	charakteristische Baumarten
20-35	8	Saquisaqui (100 ‰)
10-20	116	Yagrumo-Drago (38 ‰)
< 10	144	Cacaito Hacha-Palma Agua-Mora-Clavito (66 ‰).

Saquisaqui charakterisiert den Bestand. Die Bodenvegetation besteht fast ausschließlich aus einer Art (Campanito).

In der Parzelle 5 kommen 91 Individuen (364 Ind/ha) aus 33 Baumarten vor. (Mischungskoeffizient 1/2.7). Die Grundfläche beträgt 29.2 m²/ha.

Vertikale Struktur:

Stockwerk (m)	Individuen/ha	charakteristische Baumarten
20 - 30	88	Cnupon-Palma Agua-Guamo-Guacimo Blanco (50 ‰)
10 - 20	136	Palma Agua-Guacimo Blanco (35 ‰)
< 10	132	Guaramaco-Palma Agua-Yatago (55 ‰)

Palma de Agua, hier im obersten Stockwerk, charakterisiert zusammen mit Chupon den Bestand.

In der Parzelle 6 kommen 78 Individuen (312 Ind/ha) aus 23 Baumarten vor. (Mischungskoeffizient 1/3.4). Die Grundfläche beträgt 25.1 m²/ha.

Vertikale Struktur:

Stockwerk (m)	Individuen/ha	charakteristische Baumarten
20 - 30	52	Chupon-Pardillo (77 %)
10 - 20	128	Palma Agua-Chupon-Lechero Guacimo Colorao (78 %)
< 10	136	Palma Agua-Cueroesapo- Charo-Chupon-Guacimo (63 %)

Chupon und Palma de Agua charakterisieren den Bestand. Die Bodenvegetation ist sehr reich an *Heliconia* und *Palma Geonoma*.

In der Parzelle 7 kommen 114 Individuen (456 Ind/ha) aus 38 Baumarten vor (Mischungskoeffizient 1/3). Die Grundfläche beträgt 23.3 m²/ha. 68 % der Individuen gehören zur Durchmesserklasse 10 - 20 cm.

Vertikale Struktur:

Stockwerk (m)	Individuen/ha	charakteristische Baumarten
20 - 35	36	Jobo-Saquisahui-Cedro-Pardillo-Palo Agua (67 %)
10 - 20	176	Palma Sarare-Lechero-Guayabon-Guamo-Yagrumo (61 %)
< 10	244	Rejito-Patago-Palma Agua-Ricapico (45 %)

Hier tritt eine sehr hohe Baumartenzahl auf, wegen der vorwiegenden dünnen Kronen ist die Bedeckung geringer als bei den anderen Parzellen. Die spärliche Bodenvegetation besteht fast ausschließlich aus *Palma Bactris cuba-ro* und *Heliconia*.

In der Parzelle 8 kommen 105 Individuen (420 Ind/ha) aus 27 Baumarten vor. (Mischungskoeffizient 1/3.9). Die Grundfläche beträgt 24.4 m²/ha. 62 % der Individuen gehört zur Durchmesserklasse 10 - 20 cm.

Vertikale Struktur:

Stockwerk (m)	Individuen/ha	charakteristische Baumarten
20 - 35	32	Drago-Gateado-Palo de Agua-Saquisqui (100 %)
10 - 20	180	Lechero-Pardillo-Palma Sarare-Guamo-Jobo (62 %)
< 10	208	Rejito-Marajagua-Guamo-Uvero (65 %)

Palma de Agua, sonst relativ reichlich vorhanden, verschwindet praktisch aus diesen Bestand. Die vorherrschenden Saquisqui prägen das Bild dieser Parzelle. Die Kronenbedeckung ist so wie in Parzelle 7 relativ offen. Die Bodenvegetation wird etwas reicher an Arten als in Parzelle 7.

In der Parzelle 9 kommen 70 Individuen (280 Ind/ha) aus nur 7 Baumarten vor. (Mischungskoeffizient 1/10). Die Grundfläche beträgt 12 m²/ha.

Vertikale Struktur:

Stockwerk (m)	Individuen/ha	charakteristische Baumarten
8 - 15	31	Palo Agua-Jebesito-Cirguelo (93 %)
< 8	39	Jebesito-Palo de Agua-Cirguelo-Casildo (92 %)

Der Bestand wird dominiert durch die Art Casildo, deren Stämme meist dünner sind als 10 cm BHD (in der Inventur nicht erfaßt) und ca. 6 - 8 m Höhe erreichen. Als Bodenvegetation tritt nur noch stellenweise *Heliconia* auf.

In der Parzelle 10 kommen 52 Individuen (108 Ind/ha) aus 17 Baumarten vor. (Mischungskoeffizient 1/3.1). Die Grundfläche beträgt 20 m²/ha.

Vertikale Struktur:

Stockwerk (m)	Individuen/ha	charakteristische Baumarten
12 - 20	21	Zapato Cacho-Yagrumo-Palo Agua (81 %)
< 12	31	Zapato Cacho-Saquisqui-Palo Maria-Mamoncillo (58 %)

Der Boden wird von *Heliconia* dicht besiedelt. Zapato Cacho charakterisiert ganz deutlich den Bestand.

Die 10 Parzellen können nach der Höhe der Vegetation in 3 Gruppen unterteilt werden: Hochwald (Parzellen 1 bis 8), Niederwald (Parzelle 10) und Buschwald (Parzelle 9). Die Zahl der Baumarten sinkt vom Hochwald (20 - 38 Arten) zum Niederwald (17 Arten) und besonders stark zum Buschwald (7 Arten).

4.2.2. Charakterisierung der Waldvegetation im Untersuchungsgebiet

In dem folgenden Versuch einer Charakterisierung der Hochwaldvegetation wurden außer 9 der eigenen Parzellen (ohne Parzelle 9) noch 10 Parzellen eingeschlossen, die von HETSCH und RANGEL (HETSCH et al., 1979) untersucht wurden. Die letzteren Parzellen sind entlang der Pica 9 lokalisiert (s. Abb. 2/5-6). Die Aufnahme-Daten finden sich im Anhang I. Die gesamte Aufnahme-Fläche beträgt 4,75 ha.

Die Abb. 4/1 stellt die mittlere BHD-Verteilung der aufgenommenen Population dar. Sie zeigt eine für den tropischen Primärwald charakteristische (plenterähnliche) Durchmesser-Verteilung. Von durchschnittlich 156 Bäumen/ha in der untersten BHD-Klasse (10 - 20 cm) fällt sie gleichmäßig auf weniger als 1 Baum/ha in den obersten BHD-Klassen (> 120 cm) ab. Von dieser mittleren Durchmesser-Verteilung der gesamten Population können einzelne Arten z. T. stark abweichen. Ein Beispiel liefert die Art Saqui-saqui (siehe Abb. 4/1), die durchschnittlich weniger als ein Individuum/BHD-Klasse/ha aufweist. Diese BHD-Verteilung ist typisch für die meisten wertvollen Hölzer vom Untersuchungsgebiet und anderen Waldgebieten Venezuelas. (LAMPRECHT, 1972; FINOL, 1974; BOCKOR, 1979). Wie der Abbildung weiterhin zu entnehmen ist, bestimmt die Art Saqui-saqui den Verlauf der Kurve in den obersten Durchmesser-Klassen. Ein der Abbildung beige-fügte Vergleich der Stammzahl-Durchmesser-Verteilung zwischen Caparo (saisonaler Tiefland-Feuchtwald), Imataca (Tiefland-

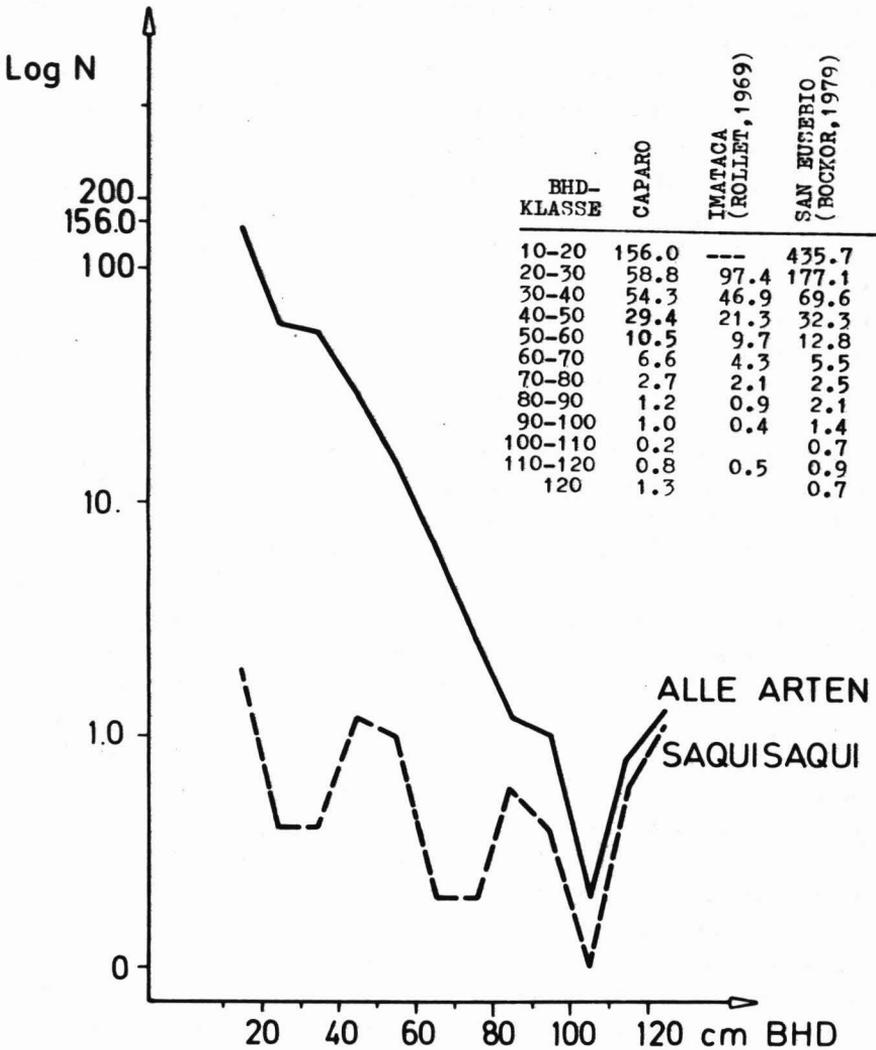


Abb. 4/1 : Stammzahl - Durchmesserverteilung (19 Parzellen, 4.75 ha Aufnahmefläche)

Regenwald, ROLLET, 1969) und Carbonera (andiner Wolkenwald, BOCKOR, 1979) zeigt, daß die stärksten Unterschiede zum Wolkenwald bestehen, dagegen der immergrüne Tiefland-Regenwald und der **saisonale** Tiefland-Feuchtwald m. o. w. ähnlich sind.

Die durchschnittliche Stammzahl beträgt in Caparo 323 Bäume/ha mit einer Schwankung zwischen 240 und 472 in den einzelnen Parzellen. FINOL (1974) fand im gleichen Waldgebiet (ca. 30 km SO) 420 Bäume/ha; während im Tiefland-Regenwald Imataca 577 Bäume/ha (VEILLON, 1976) und im andinen Wolkenwald 741 Bäume/ha (BOCKOR, 1979) gefunden wurden.

Die durchschnittliche Grundfläche beträgt $24.2 \text{ m}^2/\text{ha}$ in Caparo bei einer Schwankung zwischen 14.9 und $39.4 \text{ m}^2/\text{ha}$ in den einzelnen Aufnahmen. VINCENT (1970) gibt Werte für das gleiche Gebiet zwischen 11.8 (Buschwald) und $39 \text{ m}^2/\text{ha}$ (Hochwald) an. Nach LAMPRECHT (1972) liegen die Gesamtgrundflächen im **saisonalen** Tiefland-Feuchtwald Venezuelas zwischen $15 - 30 \text{ m}^2/\text{ha}$, im Tiefland-Regenwald um $30 - 40 \text{ m}^2/\text{ha}$ und im Wolkenwald bei ca. $40 - 60 \text{ m}^2/\text{ha}$.

Insgesamt wurden in den Parzellen 78 Baumarten über 10 cm BHD gefunden. Die Artenzahl schwankt zwischen 18 und 39 in den einzelnen Aufnahmen (0.25 ha), FINOL (1974) berichtet über 45 Baumarten/ha (Durchschnitt aus 6 Aufnahmen von je 1 ha).

In der Tabelle 4/2 werden die Baumarten, die mit durchschnittlich mehr als 5 Individuen/ha vorkommen, mit ihren mittleren Stammzahl- und Grundflächenanteilen sowie ihrer Häufigkeit (Anteil der Parzellen, in denen die Baumart auftritt) und ihrer zugehörigen Familie aufgeführt. Die ersten 10 Arten der Tabelle nehmen mehr als 50 % der gesamten Stammzahl und ca. $2/3$ der gesamten Grundfläche ein. Nur 19 Baumarten von 14 Familien entsprechen 68 % der Individuen und 74 % der Grundfläche. VEILLON (1976) liefert für den Tiefland-Regenwald Imataca ähnliche Ergebnisse: 27 % der Individuen gehören zu drei Baumarten, und 75 % des gesamten Holzvolumens wird von 24 Baumarten (12 Familien) geliefert; Rosaceae, Papilionaceae, Lecitidaceae, Burseraceae und Euphorbiaceae dominieren in der Waldgesellschaft.

TABELLE 4/2: Die häufigsten Baumarten mit ihrer prozentualen Stammzahl, Grundfläche und Präsenz (4.75 ha).

	Lokalname*	durchschnittliche		Präsenz (%)	Familie
		Indiv/ha (%)	Grundfläche/ha (%)		
1	Palma de Agua	14.2	18.7	100	Palmae
2	Rejito	6.4	1.6	68	Meliaceae
3	Palma Sarare	6.4	2.4	79	Palmae
4	Jobo liso	4.7	8.1	95	Anacardiaceae
5	Lechero	4.1	6.3	74	Euphorbiaceae
6	Chupon	3.9	5.9	63	Sapotaceae
7	Yatago	3.2	0.7	42	Acanthaceae
8	Charo Amarillo	2.8	2.9	63	Moraceae
9	Pardillo	2.8	2.2	63	Boraginaceae
10	Saqui-saqui	2.5	14.6	74	Bombacaceae
11	Uvero	2.3	0.4	42	Polygonaceae
12	Guacimo Cimarron	2.1	1.6	63	Tiliaceae
13	Palo Maria	2.1	0.3	58	Polygonaceae
14	Yagrumo	2.0	0.8	47	Moraceae
15	Marajagua	1.8	0.9	26	Papilionaceae
16	Cacaito Hacha	1.8	0.6	47	Polygonaceae
17	Guamo	1.7	1.1	42	Mimosaceae
18	Zapato Cacho	1.6	2.8	10	Papilionaceae
19	Guayabon	1.6	2.2	58	Combretaceae
		67.8	74.1		

- Weitere 20 Arten mit durchschnittlich 3 - 5 Individuen/ha

- Weitere 39 Arten mit weniger als durchschnittlich 2 Individuen/ha

* Wissenschaftlicher Name im Anhang II

Es wurde versucht, mit einem von BOCKOR (1979) angewandten rechnerischen Verfahren, die Parzellen nach ihrer Artenzusammensetzung zu gliedern. Für die Clusteranalyse wurden als Vergleichs-Variable die Mitteldurchmesser der einzelnen Baumarten in jeder Parzelle benutzt (ausführliche Beschreibung der Methodik bei BOCKOR, 1979). Abb. 4/2 stellt die Ergebnisse dar. Dieses Dendrogramm ist eine Stratifizierung der Parzellen nach Ähnlichkeitsstufen, die nach ihrer Baumartenzusammensetzung bzw. nach den Mitteldurchmessern der einzelnen Baumarten berechnet und gestellt wurden. Die Differenz zwischen einerseits dem Koeffizient (Y-Achse), auf dessen Niveau alle Flächen als 1 Gruppe stratifiziert wurden (0.108) und dem, auf dessen Niveau zwei Gruppen stratifiziert wurden (0.075) ist so gering (0.033), daß sogar diese erste Unterteilung nicht als relevant angesehen werden kann. BOCKOR (1979) konnte mit derselben Vergleichsvariable eine sinnvolle Gliederung erst bei einer Koeffizientendifferenz von 0,248 vornehmen. Weiterhin hat derselbe Autor Differenzen von 5 und sogar über 10 gefunden.

Es ergibt sich hieraus also eine so geringe Unähnlichkeit zwischen den Parzellen, daß eine sinnvolle Gliederung der Parzellen nach Artenzusammensetzung nicht durchführbar ist. Allerdings können diese Ergebnisse auf Grund der relativ geringen Anzahl von Parzellen noch nicht als endgültig angesehen werden. Sie deuten mehr darauf hin, daß in der Hochwaldvegetation in Caparo eine intensive Baumartenmischung besteht.

Trotzdem lassen sich bei der Betrachtung der botanischen Zusammensetzung und Abundanz der Arten in den einzelnen Parzellen gewisse Tendenzen aufweisen: Manche Baumarten kommen praktisch überall vor, während andere eine starke Anhäufung an bestimmten Standorten zeigen bzw. an bestimmten Standorten fehlen. Danach lassen sich folgende Baumartengruppen bilden: (FÖLSTER & FRANCO, 1976, 1978; HETSCH et al., 1979)

1. Horizontal durchgehende Baumarten:

Charo amarillo, Gateado, Jobo liso, Palma de Agua,

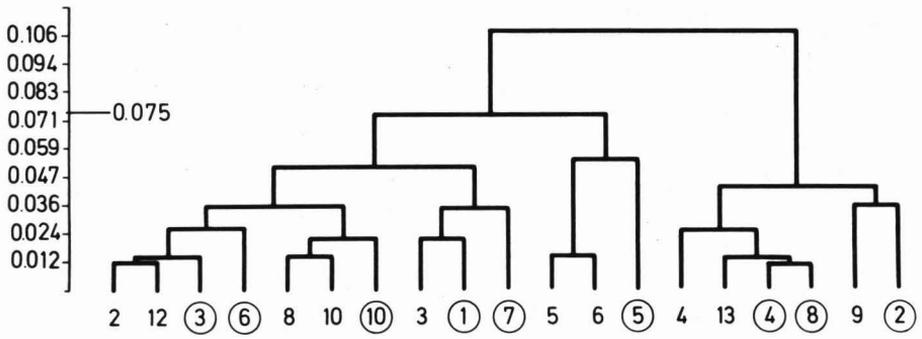


Abb. 4/2 : Dendrogramm der Clusteranalyse (19 Probeflächen)

Palma Sarare, Guácimo Blanco, Caimito, Tachuelo, Saqui-saqui, Pardillo, Pica-pico, Yagrumo, Lechero, Rejito, Palo de Maria.

2. Baumarten, welche auf den tonigen Standorten mit starker regenzeitlicher Vernässung (sehr schlechte Belüftung, sehr geringe Wasserspeicherkapazität) fehlen aber ihren Schwerpunkt auf den Standorten mit gröberen Bodentexturen (sehr gute Belüftung, relativ geringe Wasserspeicherkapazität) haben:
Cojón de Berraco, Mora, Coralito, Fruto de Paloma, Bototo, Guanabano, Onoto, Cristobalito.
3. Auf extremen Standorten (sandigen wie tonigen) stark repräsentierte Baumarten, die auf weniger extremen Standorten fehlen:
Drago, Marajagua, Ceiba, Cedro
4. Baumarten mit Schwerpunkt auf den weniger extremen Standorten (gute bis mäßige Belüftung, sehr hohe Wasserverfügbarkeit in der Trockenzeit):
Trompillo, Charo Negro, Cedrillo, Laurel Amarillo, Triaco, Chupón, Santa Rosa. (Palma de Agua von Gruppe 1 dürfte auch hier angeordnet werden).
5. Baumarten, welche auf den Standorten mit gröbere Bodentextur (S, IS) fehlen, aber ihren Schwerpunkt auf den tonigen Standorten haben:
Casildo, Coco de Mono, Guacimo colorao, Orura Barri-
alera, Uvero Cana Fistola, Zapato Cacho, Palo de Agua,
Ranchero.

Von den ersten 14 Baumarten der Tabelle 4/2 gehören 10 zu der Gruppe der durchgehenden Arten, d. h. daß die nach Abundanz und Grundfläche wichtigsten Baumarten relativ standortunabhängig sind. Ihre weite Verbreitung erschwert natürlich die Gliederung der Waldvegetation nach der Artenzusammensetzung.

4.2.3 Feinwurzeln: Verteilung und Bioelementgehalte
Die Feinwurzeln ($\phi < 20$ mm) wurden in allen Parzellen bis 50 cm Tiefe untersucht. Ihre Trockenmasse schwankt zwischen 14,5 und 23,3 t/ha mit einem Mittelwert

von 17.1 t/ha. Davon sind 5.2 t/ha (31 %) dünner als 1 mm, 4 t/ha zwischen 1-5 mm, und 7.9 t/ha (46 %) zwischen 5 - 20 mm (s. Tab. 4/3). Zwischen den Parzellen bestehen keine eindeutigen quantitativen Unterschiede, zumal der Bestimmungsfehler wegen des Mangels an Laborausrüstung wahrscheinlich relativ hoch anzusetzen ist.¹⁾ Größenordnungsmäßig besteht Übereinstimmung mit den ebenfalls sehr variablen Angaben in der Literatur. In Ghana fanden GREENLAND und KOWAL (1960, zit. von KLINGE, 1976) 15 t/ha Feinwurzelmasse (Tiefe 122 cm) in einem Regenwald. KLINGE (1973) berichtet über 25 t/ha in einem Latosol und 15 t/ha (73 % in Humusaufgabe) in einem Podsol im Amazonas-Regenwald bei Manaus (beide bis 50 cm Tiefe). STEINHARD (1978) fand 12.7 t/ha in einem tropischen Bergwald (bis 120 cm Tiefe) in den feuchten Anden Venezuelas, während ODUM (1970) nur 7.5 t/ha (50 cm Tiefe) für einen Bergwald in Puerto Rico angibt.

Die in Abb. 4/3 dargestellten Tiefenfunktionen zeigen eine m. o. m. rasche Abnahme der Feinwurzeln nach unten. Bei den feinsten Wurzeln lassen die vorhandenen Unterschiede zwischen den Parzellen keinen klaren Trend erkennen. Dagegen wird bei den gröberen Feinwurzeln (5 - 20 mm \varnothing) eine Differenzierung deutlich zwischen einerseits vernästen, tonigen Parzellen (5, 7, 8) mit starker Häufung dieser Wurzelgröße in den oberen 10 cm, und andererseits den Parzellen 1 - 4 (gröbere Textur, bessere Durchlüftung) sowie P 9 und 10 (Dominanz von Spezialisten) mit gleichmäßigerer Tiefenverteilung. Parzelle 6 fällt allerdings - auch wegen ihrer hohen Gesamtwurzelmenge - heraus. Insgesamt zeigen diese Ergebnisse innerhalb der Hauptwurzelzone jedoch eine weit weniger auffällige standörtliche Differenzierung als sie im Profil für den Tiefenbereich unterhalb 50 cm zu erkennen, aber analytisch mit entsprechender Absicherung natürlich nur mit ungleich größerem Aufwand zu erfassen ist.

Die folgenden Angaben über die in den Wurzeln vorhandenen Bioelementkonzentrationen und -vorräte stellen im Rahmen

¹⁾ Die Wurzelwaschung wurde im Feld wegen der großen Entfernung bis Mérida (500 km) vorgenommen.

dieser Arbeit nur eine periphere Information dar. Sie trotzdem zu vermitteln erschien opportun, einmal wegen der vorgeleisteten Arbeit der Wurzelgewinnung, zum anderen wegen des bestehenden Mangels an solcher Information aus den Tropen.

Aus der Tab. 4/4 wird die durchschnittliche Bioelementkonzentration der Feinwurzeln ersichtlich. Der Vergleich der einzelnen Parzellen (s. Anhang III) zeigt eine deutliche Zunahme der N-Konzentration zu den leguminosen-reicheren Beständen (Parzellen 4, 8, 9 und 10), ein Trend, der sich in der Streu und in der Humusaufgabe wiederholt. K und Mn weisen höhere Werte in den tonigeren Böden auf. Bei den anderen Bioelementen sind die Konzentrationen in allen Parzellen ähnlich. Zwischen den Durchmesserklassen zeigen die Konzentrationen größere Unterschiede: N, Mg, Mn, Fe, Al und Si nehmen mit zunehmenden Wurzelradius ab, während Na leicht ansteigt und K, Ca und P praktisch konstant bleiben. Diese Verteilung deckt sich im großen und ganzen nicht mit der von KLINGE (1976) und STEINHARD (1978) gefundenen. Allerdings bewegen sich die Konzentrationen in Caparo auf einem höheren, z. T. (siehe Daten von KLINGE, Tab. 4/4) um eine Zehnerpotenz höheren Niveau, wodurch die unterschiedlichen Beziehungen vielleicht bedingt sein können.

Im Vergleich zu den Bioelementvorräten des Mineralbodens (Abschnitt 4.3.3) spielen die in den Feinwurzeln eine geringe Rolle. Eine Zusammenstellung findet sich in Tab. 4/5.

FEINWURZELVERTEILUNG

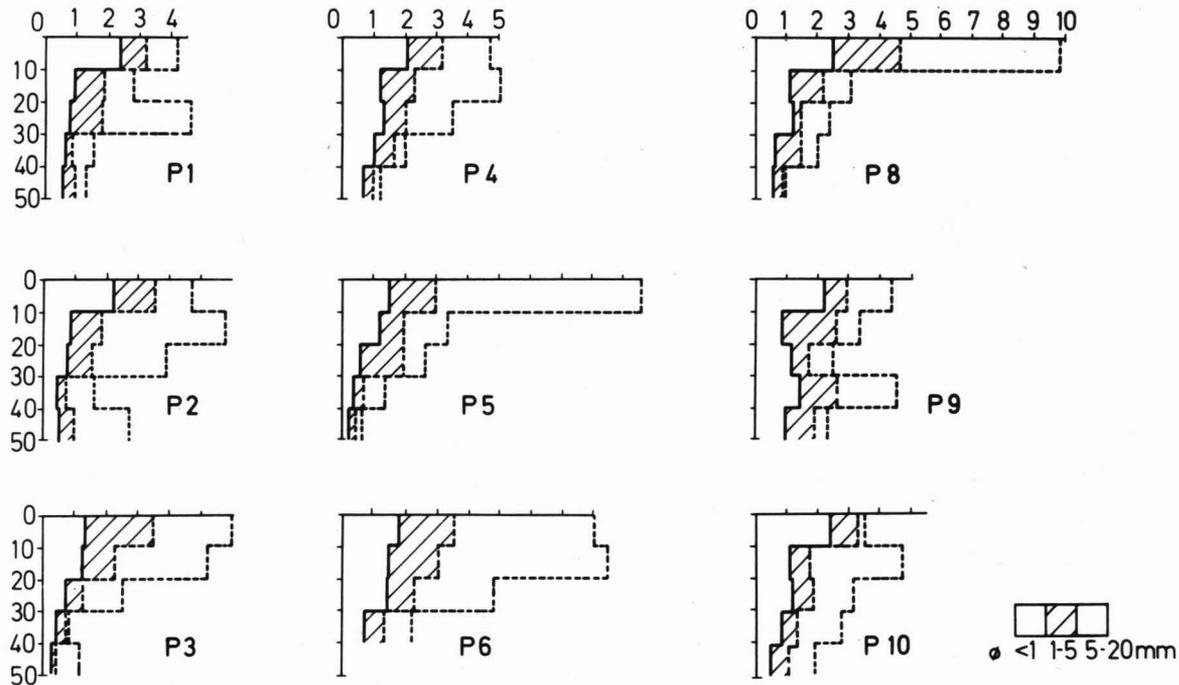


Abb. 4/3 : Tiefenfunktion der Feinwurzelmenge (t/ha).

Tabelle 4/5: Bioelementvorräte in den Feinwurzeln bis 50 cm Tiefe

Parzelle	kg/ha									
	N	P	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	Si
1	98	21	16	81	120	29	1.9	30	36	485
2	127	27	8	169	202	31	1.3	20	20	323
3	96	22	8	104	145	37	1.5	25	34	347
4	194	17	3	121	135	42	2.6	25	32	244
5	134	33	11	149	158	42	2.1	36	42	416
6	146	34	9	185	298	42	2.9	30	56	394
7	137	24	10	105	137	31	2.3	35	42	267
8	205	23	14	159	151	36	3.1	59	60	499
9	205	13	7	100	217	29	22.0	39	57	332
10	236	13	31	162	170	37	4.0	34	55	466
\bar{x}	158	23	11	134	173	36	4.4	33	43	377

Tabelle 4/3: Feinwurzelmasse bis 50 cm Tiefe in t/ha

Parzelle	Durchmesserklasse (mm)			gesamt
	< 1	1 - 5	5 - 20	
1	5.4	3.4	5.8	14.6
2	4.7	4.0	10.1	18.8
3	3.9	4.3	7.5	15.7
4	6.5	3.9	6.5	16.9
5	3.9	3.5	9.6	17.0
6	5.4	4.8	13.1	23.3
7	4.2	3.8	6.5	14.5
8	6.2	4.5	7.4	18.1
9	6.3	5.1	5.3	16.7
10	5.9	3.0	6.7	15.6
\bar{x}	5.2	4.0	7.9	17.1

Tab. 4/4: Bioelementkonzentrationen in Feinwurzeln* (mg/g)
 von Caparo (nach Durchmesserklassen und
 im Mittel) sowie nach

Ø	Asche	N	P	K	Ca	Mg	Na	Mn	Fe	Al	Si
	%										
< 1	14.0	11.9	1.27	7.2	9.1	2.4	0.56	0.49	3.90	4.23	38.3
1 - 5	9.3	8.8	1.27	8.1	11.0	2.2	0.67	0.21	1.46	2.15	18.5
5 - 20	8.0	7.9	1.42	7.5	10.2	1.8	0.84	0.09	1.04	1.62	14.9
\bar{x}	10.4	9.5	1.32	7.6	10.1	2.1	0.69	0.26	2.13	2.67	23.9

STEINHART (1978) 8.2 0.49 2.4 4.9 1.3 0.10 0.17 1.52 3.36 13.7
 KLINGE (1976)
 Latosol 9.7 0.12 0.8 1.2 0.7 0.79
 GREENLAND &
 KOWAL (1960) 8.6 0.50 3.5 7.7**
 Zit. von Klinge
 1976

* Feinwurzel (Ø < 20 mm)

** Ca \pm Mg

4.3. BÖDEN DES TRANSEKTES PICA 8

4.3.1. MORPHOLOGISCHE UND PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

Parzelle 4: der sandige Standort

Im Untersuchungsgebiet, etwa 60 km von den letzten Gebirgsausläufern entfernt (d. h. etwa 160 km Fließstrecke des Rio Caparo) findet man vorwiegend feine Sedimente. Grobsand ist relativ selten. Mittelsand scheint unterhalb 2 m sehr verbreitet zu sein, dagegen nimmt er in den deckenden Schichten selten eine dominante Position ein. Als relativ grobe Sedimente werden deshalb bereits fein- bis mittelsandiger S, 1S und uS eingestuft. In höheren Reliefpositionen (banco) sind solche Sedimente meist tiefgründig und deshalb freidränend (Abb. 2/6).

Das Bodenprofil der Parzelle 4 besteht zwischen 0 und 90 cm Tiefe aus einem rotbraunen 1S, dessen Tongehalt von oben bis etwa 50 cm Tiefe von 8 bis 16 % zunimmt. Ab 90 cm Tiefe beginnt ein loser, rotbrauner Mittelsand, der nach unten blasser und gröber wird. Gefüge und der höhere Tongehalt zwischen 30 - 50 cm Tiefe deuten auf einen mäßig ausgeprägten Bt-Horizont ¹⁾ hin. Wegen der jetzigen chemischen Verhältnisse (siehe Anhang IV) dürfte die Tonverlagerung jedoch bereits zum Stillstand gekommen sein. Der sicher auch sedimentär bedingte vertikale Texturwechsel bewirkt bereits eine leichte Abnahme der Leitfähigkeit, die eine kurze Verzögerung der Wasserversickerung durch den Oberboden verursacht (siehe Abschnitt 6.1.1). Dem entspricht eine gewisse Vergrauung der sonst im Profil rotbraunen Färbung. Die Porenverteilung, die ungesättigte Leitfähigkeit und die Körnung des Bodens werden in Abb. 4/5, und die pF-Kurve in Abb. 4/4 dargestellt. Kennzeichnend für das ganze Profil ist der große Anteil an selbstdränenden Poren, der insbesondere ab 50 cm Tiefe stark zunimmt. Die Leitfähigkeitswerte hier sind die höchsten gemessenen. Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis zur maximalen Durchwurzelungstiefe (200 cm) beträgt 180 mm. Allerdings nimmt die Durchwurzelungsdichte ab 50 cm beträchtlich ab.

¹⁾ Der vertikale Tonanstieg ist das einzige vorhandene diagnostische Kriterium für die Ansprache des B-Horizontes als Argillic horizon, dagegen fehlen - wie verbreitet in den Llanos-Böden (GOOSEN, 1971, SCHARGEL und BUOL, 1977) - Tonkutanen. Deswegen erfolgte die Ansprache als (alfic) Inceptisol.

Profil Parzelle 4: Alfic Dystropept (coarse loamy)

0 - 20	A1	Blaß rötlichbrauner (5YR7/3) 1S; Einzelkorn bis Krümelgefüge mit starker Durchwurzelung.
20 - 50	B21t	Blaß rötlichbrauner (5YR6/3) 1S; geschlossenes subpolyedrisches bis Kohärentgefüge mit starker Durchwurzelung.
50 - 70	B22	Rötlichbrauner (5YR6-5/4) 1S; lockeres Kohärentgefüge.
70 - 90	B23	Rötlichbrauner 1`S; schwaches Kohärent- bis Einzelkorngefüge.
90 - 170	II B3	Rötlichbrauner mS; Einzelkorngefüge.
170 - 400	II C	Blaß rötlichbrauner mS.

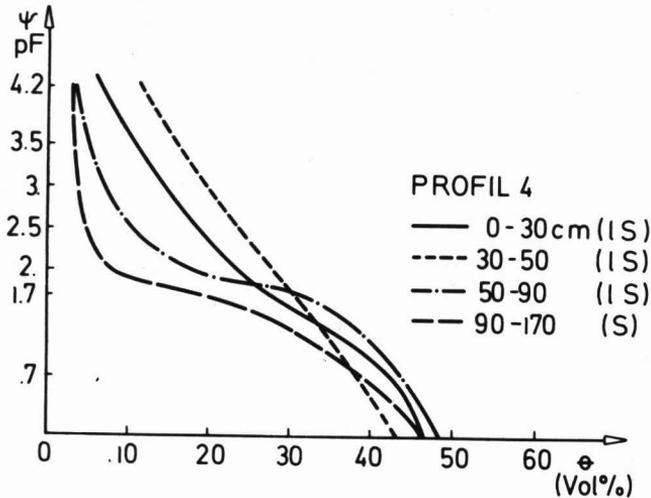


Abb. 4/4 : pF-Kurven Profil 4

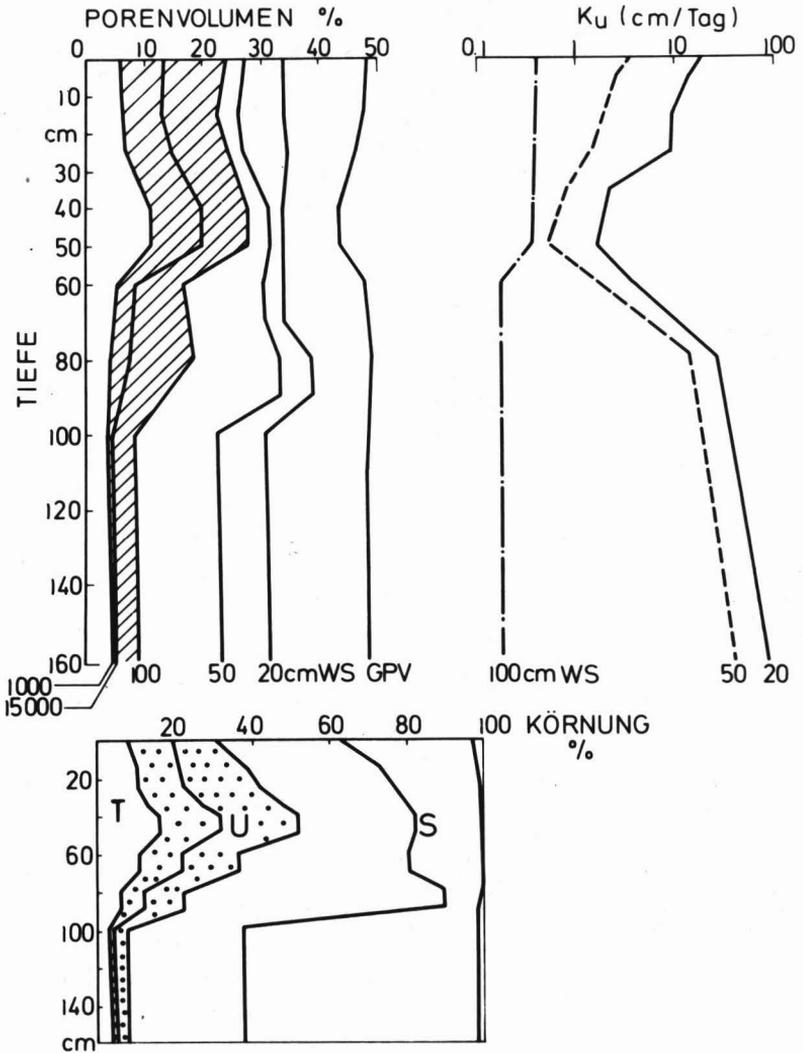


Abb. 4/5 : Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur im Profil 4

Mit der Abnahme des Schluffgehaltes (ab 50 cm) und mit dem Wechsel von Fein- zu Mittelsand (ab 90 cm) geht eine deutliche Verflachung der pF -Kurve und eine entsprechende Abnahme des pflanzenverfügbaren Wassers einher.

Parzelle 3

Das Bodenprofil besteht aus einer 100 cm mächtigen Lehmdecke (uL) über 40 cm IS und darunter mS. Das Tonmaximum liegt bei 40 cm. Wegen der sedimentären Einflüsse ist die Ansprache eines Bt-Horizontes allerdings unsicher.¹⁾ Die hohen Ton- und Schluffgehalte der Lehmdecke und ihre dichte Lagerung wirken sich auf die bodenphysikalischen Eigenschaften des Bodens aus (Abb. 4/6-7): Der hohe Mittelporenanteil bedingt eine hohe Wasserspeicherkapazität. Die Leitfähigkeitswerte liegen jedoch bis zu einer Zehnerpotenz niedriger als in Parzelle 4. Der relativ geringe Grobporenanteil (unterhalb 20 cm etwa 5 vol%) bringt bei einer regenzeitlichen Sättigung eine Einschränkung der Belüftung mit sich. Der Boden ist deshalb farblich nicht mehr homogen sondern bereits hydromorph überprägt (Profilbeschreibung). Der basale Mittelsand zeigt ähnliche Charakteristika wie der in P 4.

Parzelle 5 und 6

Diese Böden sind vom Aufbau her dem der Parzelle 3 ähnlich. Es handelt sich ebenfalls um eine Lehmdecke aber mit höherem Tongehalt (uL, utL, t1), die in Parzelle 5 etwa 130 cm und in Parzelle 6 90 cm mächtig ist. Abb. 4/8-11 zeigen bei diesen Böden einen höheren Feinporenanteil und einen noch geringeren Grobporenanteil (zwischen 40 und 70 cm 2 - 4 vol%) als Parzelle 3. Die Leitfähigkeit ist entsprechend geringer und erreicht ihr Minimum in etwa 40 cm Tiefe. Beide Profile sind hydromorph stark geprägt; in Parzelle 6 genügt diese Prägung den Anforderungen, welche im USDA-System (Soil Taxonomy, USDA, 1975) an "aquic" Unterordnungen gestellt wird. Beiden Böden ist gemeinsam, daß die Lehmdecke mit ihrer geringen Leitfähigkeit und ihrem geringen Grobporenanteil Haftwasservernässung hervorruft, und daß gleich-

1) s. Fußnote S. 44.

Profil Parzelle 3:Alfic Dystropept(fine silty)

0 - 10	A1	Dunkel braungrauer (7.5YR6/2-3) uL; krümelig bis offen subpolyedrisch, stark durchwurzelt.
10 - 40	B21	Gelbgrauer (7.5YR7/3), feinfleckiger (7.5YR7/2 bis 4)uL;kohärent bis subpolyedrisch, stark durchwurzelt.
40 - 50	B22cn	Fleckig gelbgrau bis brauner (7.5YR6/4-6) uL mit weichen Mangankonkretionen; kohärent bis dicht geschlossen subpolyedrisch.
50 - 75	B23	Ähnlich B22, aber nur mit mäßiger Mn-Fleckung
75 - 100	B3	Grau- bis braunfleckiger uL;kohärent bis geschlossen subpolyedrisches Gefüge.
100 - 140	II C1	Grau bis rotbraun (5YR6/4) fleckiger lS; schwach kohärentes bis Einzelkorngefüge.
140 - 180	II C2	Hell graubrauner, blaßfleckiger mS; auslaufende Durchwurzlung.
180 - 300	III C3	mS

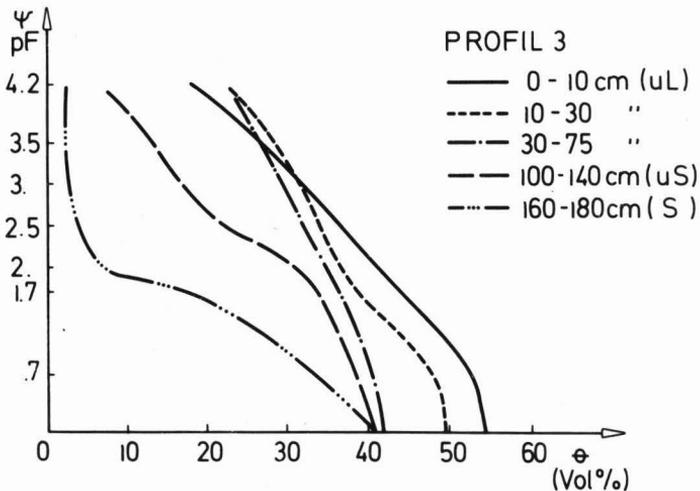


Abb. 4/6 : pF-Kurven Profil 3

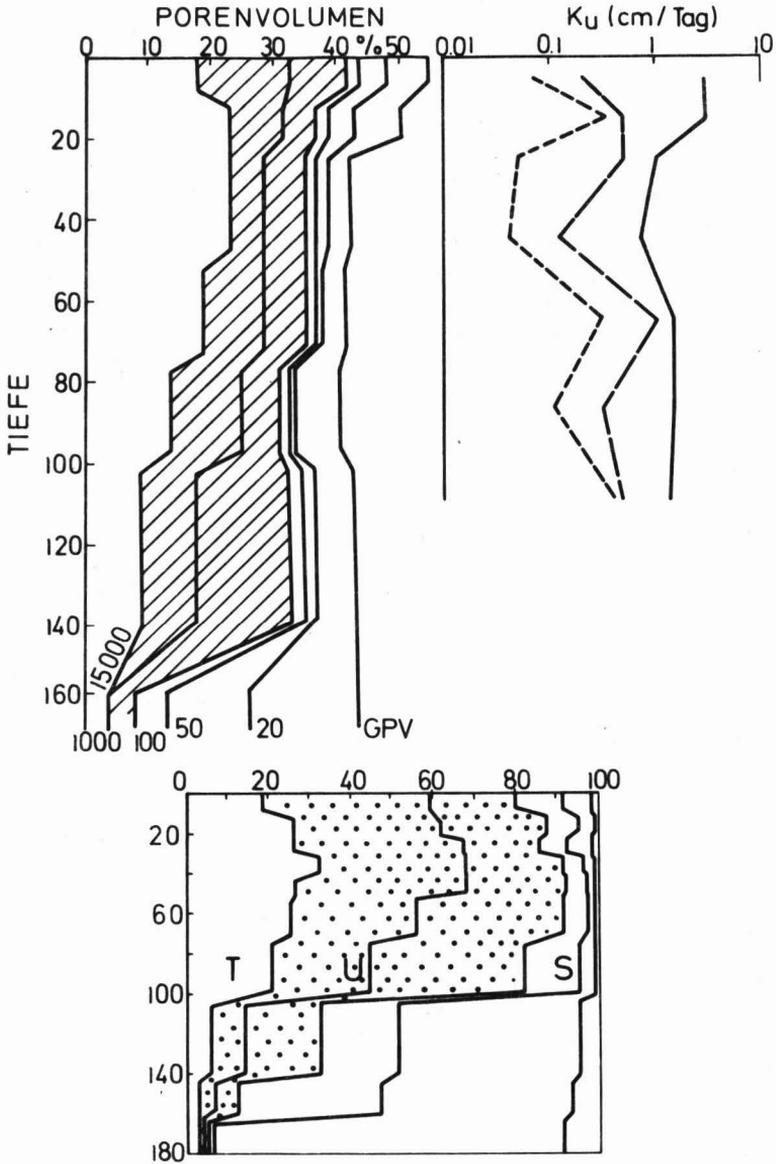


Abb. 4/7 : Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur im Profil 3

Profil Parzelle 5:Aquic Eutropept(clayey)

0 - 20	A1	Hellgrauer (5YR7/2), schwach braunfleckiger (5YR6/3) uL; Kohärentes bis geschlossen subpolyedrisches Gefüge, stark durchwurzelt.
20 - 40	B21	Grau-(7.5YR7/2) bis braun-(7.5YR6/3 4) fleckiger utL; mäßig geschlossenes polyedrisches Gefüge mit starker Bleichung der Aggregat- und Wurzelbahränder.
40 - 70	B22	Orangebrauner (5YR5/6 u.6/3) utL mit ausgeprägter Bleichung von Aggrat- und Wurzelbahrändern; geschlossenes polyedrisches Gefüge.
70 - 110	B23cn	Grau-(7.5YR7/2) und braun-(5YR5/6) fleckiger uL; oberes Maximum weicher Mn-Flecken und Konkretionen; geschlossenes polyedrisches Gefüge.
110 - 140	II C1g	Wechsel von utL zu $\bar{I}S$, fleckig grau und olivbraun (7.5YR5/2-6) (Eisen-Mangan-Fleckung)
140 - 160	II C2g	Grau bis rotbraun gefleckter lfs.
160 - 170	III C3g	Grau bis rotbraun gefleckter gs.
170 - 210	IV C4g	Grauer gebänderter lfs (Durchwurzlung endet).
210	V C5	mS

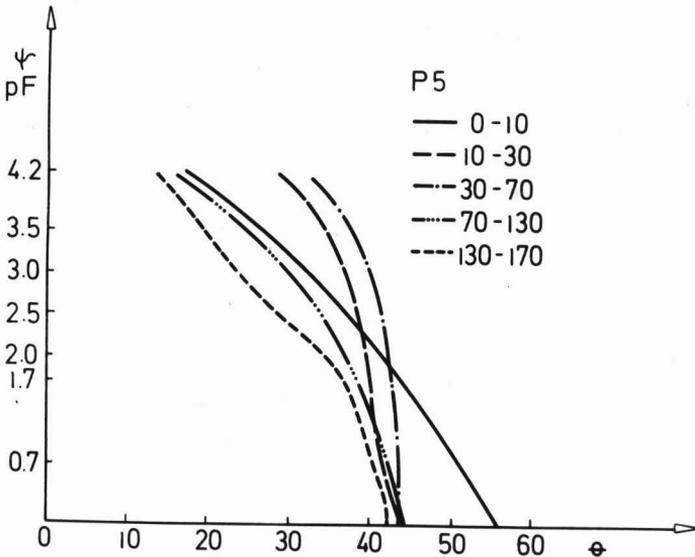


Abb. 4/8 : pF-Kurven Profil 5

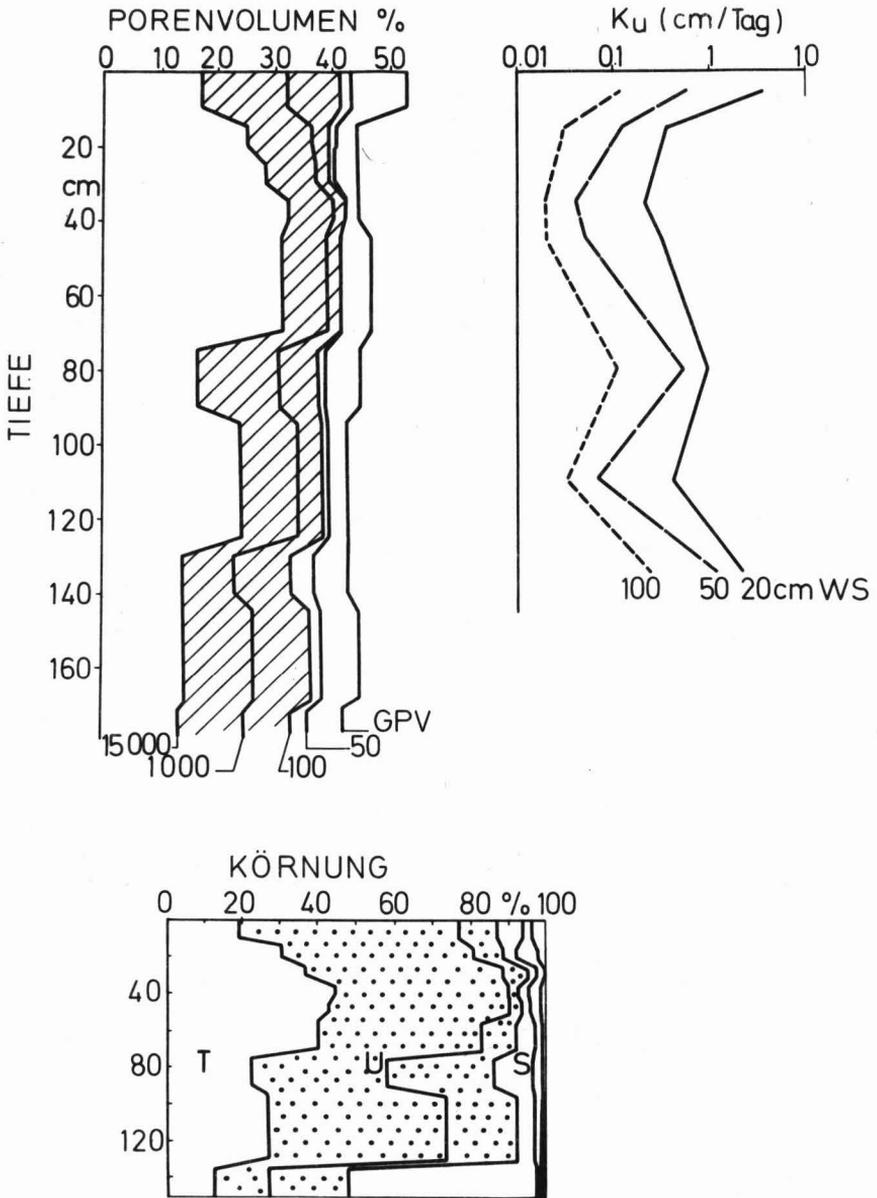


Abb. 4/9 : Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur im Profil 5

Profil Parzelle 6:Typic Tropaquept (clayey)

0 - 15	A1g	Grauer (7.5YR7/1, feucht 7.5YR6/2) uL mit dunkelbraunen weichen Fe-Mn-Konkretionen; geschlossenes poröses Polyedergefüge mit starker Durchwurzelung.
15 - 30	B21g	Grauer (7.5YR7/1, feucht 7.5YR 5/2) utL mit hell bis dunkelbrauner (7.5YR6/4-6) Fleckung; Schwach prismatisches, geschlossenes polyedrisches Gefüge.
30 - 60	B22cn	Grau- (7.5YR7/2, feucht 7.5YR5/3-4) und braun- (5YR6/4) fleckiger utL mit gebleichten Riss- und Aggregaträndern, nach unten zunehmende Dichte von Mangan-Flecken und -Weichkonkretionen.
60 - 70	B23cn	stL, ähnlich aber markanter gefleckt wie B22; begrabener A1 angedeutet.
70 - 90	B3	Grau und braun (5YR6/3) gefleckter s̄L; geschlossenes Polyedergefüge geringer Ausprägung.
90 - 150	II C1cng	Weißgebleichter l`S mit großen Fe-Mn-Konkretionen (-4 cm); kaum noch Wurzeln; Einzelkorngefüge.
150 - 220	II C2cn	Grau bis rostfleckiger l̄S; Bei 2 m Zone hoher Mangankonkretionen-Dichte.
220	III C3	mS

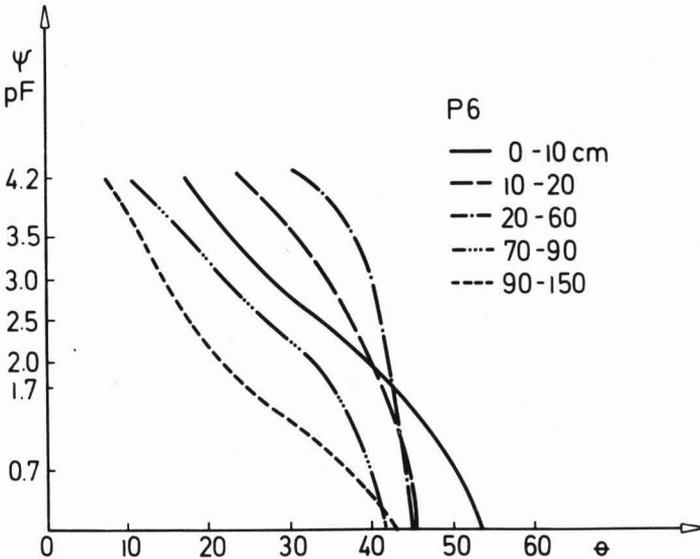


Abb. 4/10 : pF-Kurven Profil 6

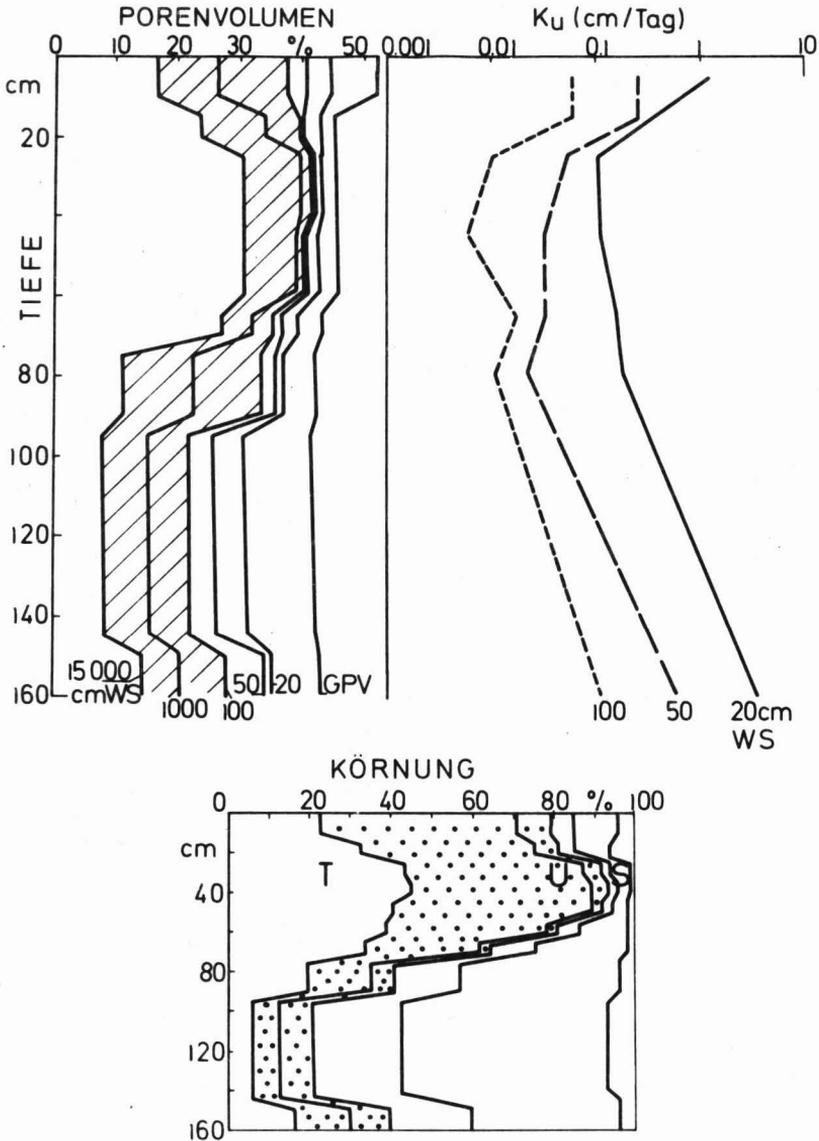


Abb. 4/11 : Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur im Profil 6

Profil Parzelle 10: Tropaquept (clayey over loamy)

0 - 15	A1g	Weißgrauer (10YR8/1, feucht 10YR6/1) utL; Prismen- und mäßig offenes Polyedergefüge, stark durchwurzelt.
15 - 40	B2g	Weißgrauer tL mit Okerflecken (7.5YR7/4); Prismenabsonderungen mit geschlossenem Polyedergefüge.
40 - 60	B3g	suL, Färbung wie B2; kohärent bis geschlossen polyedrisches Gefüge.
60 - 85	II A1bg	Grauer stL mit starker Fe- und Mn-Fleckigkeit; dichtes Kohärentgefüge.
85 - 120	II Cgcn	Weißer (10YR8/1), blaß okerfleckiger sL mit großen Mangankonkretionen.
120 - 155	II Cg	Ähnlich Cgcn aber mit abnehmender Dichte von Mangankonkretionen.

Profil Parzelle 9: Entic Pellustert (clayey very fine)

0 - 20	A1	Dunkelgrauer Ton mit mäßiger Okerfleckung; stark ausgeprägtes Prismen- und Polyedergefüge.
20 - 100	B2g	Grauer, stark okerfleckiger Ton; ausgeprägtes Prismengefüge, mäßig offenes Polyedergefüge.
100 - 130	A1bg	Gelbfleckiger, dunkelgrauer Ton; auslaufende Prismenabsonderungen, geschlossenes Polyedergefüge, auslaufende Durchwurzlung.
130 - 300	C1g	Grau-gelb gefleckter Ton
300	II C2	Heller, fleckiger fs

zeitig das regenzeitlich hoch anstehende Grundwasser in die Lehmdedecke hineinstaut. Die maximalen und minimalen Wasserstände sind morphologisch im Profil deutlich erkennbar (Maxima der Eisen-Mangan-Fleckung und Konkretionsbildung). Die Wirkung reicht in P 6 höher. Die basale Sandschicht zeigt ebenfalls Unterschiede und Besonderheiten, indem in P 5 Feinsandlinsen mit hoher Wasserspeicherkapazität in den Mittelsand eingeschaltet sind und stark durchwurzelt werden.

Parzelle 10

Dieses Profil liegt am Rand eines Esteros. Hier wird die Wasserdynamik eher durch die topographische Lage als durch den Profilaufbau bestimmt. Die 150 cm mächtige Lehmdedecke weist ihren höchsten Tongehalt (48,4 %) zwischen 20 - 30 cm Tiefe auf und wird mit der Tiefe sandiger. Die bestimmende Ursache der sehr stark ausgeprägten Hydromorphie ist einmal das bis 60 cm ansteigende Grundwasser sowie das von den randlichen Hochwaldflächen in die Senke von Parzelle 9 einströmende Oberflächenwasser, welches von Mai bis August eine durchgängige Überflutungshöhe von etwa 10 cm erzeugt. Der Boden ist von der Texturschichtung her mit P 5 und 6 vergleichbar. pF-Kurven und Leitfähigkeitsdaten wurden nicht erhoben.

Parzelle 7, 8 und 9: Die tonigen Standorte

Die Profile 7 und 8 sind recht ähnlich. Vom Aufbau her können sie als Glieder einer Serie mit den Profilen 5 und 6 angesehen werden, wobei der Tongehalt der Lehmdedecke weiter zunimmt. Unter dieser Tondecke finden sich ebenfalls sandige Sedimente, die an den Ton mit einem begrabenen Humushorizont anstoßen. Unter den aktuellen klimatischen Bedingungen (siehe Klimadiagramm) wird der Boden während der Regenzeit voll gesättigt und in der Trockenzeit stark ausgetrocknet. Mit der Quellung und Schrumpfung wird die Strukturierung des Bodens geför-

dert, deren Entwicklung bis 50 cm Tiefe hinunterreicht. Tiefer wachsen noch einzelne Risse bis etwa 70 cm in den nach unten dichter werdenden Ton. Die gegenseitige Beeinflussung von Gefüge- und Wasserdynamik des Tonbodens ist von erheblicher, gerade auch methodischer Bedeutung und verdient deshalb besondere Beachtung.

Von 0 bis 5 cm zeigt der Boden ein hochaggregiertes, mittleres Krümel- bis Subpolyedergefüge, das bis 25 cm in ein mittelgrobes polyedrisches Gefüge mit prismatischen Absonderungen übergeht. Von 25 bis 50 cm besteht der Boden aus großen Prismen. Ein Teil der Prismen zerfällt in größere polyedrische Aggregate. Darunter folgt der verdichtete Ton mit einzelnen Rissen bis 70 cm, die am Ende der Trockenzeit an der Bodenoberfläche 8 mm und ganz unten immer noch 1 mm breit sind. Sie laufen mit den ersten Regenfällen voll und von da ab erfolgt die langsame Befeuchtung der polyedrisch strukturierten Prismen. Im darunter anstehenden unstrukturierten Ton wandert die Durchfeuchtungsfront jedoch extrem langsam, obwohl der Oberboden regenzeitlich vollständig vernäßt und dementsprechend stark hydromorph geprägt ist.

Das Fehlen jeglicher Absonderungsform im verdichteten Ton deutet darauf hin, daß die Tiefe der Durchfeuchtungsfront langfristig, nicht nur für die Beobachtungsperiode, in dieser Tiefe fixiert gewesen ist. Als weiteres Kriterium seien hierfür die hohen Na-Anteile (5 - 14 %) an den austauschbaren Kationen genannt (Anhang IV), wie sie für diese Klimazone ungewöhnlich sind und eher die klimatischen Bedingungen während der Sedimentationszeit widerspiegeln. Im Labor ließ sich die Leitfähigkeit dieses verdichteten Tons nicht messen, da die Proben bei der künstlichen Auf-sättigung sofort aufspringen, quellen und damit ihre Porenverteilung stark verändern. Trotz dieser Veränderung lag die gesättigte Leitfähigkeit nur bei 0.4 cm/Tag. Im Feld bleibt die Feuchtefront während der 8mcmatigen Regenzeit - wie an periodisch auf 10 cm Tiefenabstand gesetzte Tensiometer beobachtet werden konnte - zwischen 55 und 65 cm Tiefe. Legt man eine maximale Tiefenverlagerung von

10 cm zugrunde, bedeutet dies eine gesättigte Leitfähigkeit von weniger als 0,04 cm/Tag. Diese Leitfähigkeit dürfte auch für die einzelnen unstrukturierten Polyeder des Oberbodens gelten, während das Rissystem des strukturierten Bodens insgesamt viel höhere Leitfähigkeiten zuläßt und damit die Wasserbewegung im Boden insgesamt regelt.

Die Quellungs- und Schrumpfungsdynamik der Tonböden bietet bekanntlich Probleme auch bei der Bestimmung der Porenverteilung. Einmal variiert diese mit dem Feuchte- und Quellungszustand des Bodens im Gelände. Ferner können Stauchungen bei nassem und Lockerungen bei trockenem Boden auftreten (GAESE und SCHLICHTUNG, 1975). Bei offenem Absonderungszustand bereitet die räumliche Anordnung der Zylinderproben Schwierigkeiten. Mit Über- und Unterschätzungen des Trockenraumgewichtes muß gerechnet werden. Quellen die stärker ausgetrockneten Proben im Labor, liegen die bei niedrigen Saugspannungen gemessenen Wassergehalte zu hoch, die TRG dagegen zu niedrig.

Die in Abb. 4/12 und 4/13 wiedergegebenen pF-Kurven der Proben von Profil 7 und 8 weichen von den im Labor bestimmten Kurven ab, indem sie nur auf den im Gelände in größerer Wiederholung gemessenen TRG-Werten zur Bestimmung des Gesamtporenvolumens sowie auf den im Labor bestimmten Gleichgewichtswassergehalten bei pF 3, 3,5 und 4,2 beruhen. Wegen der Steilheit der pF-Kurven im Zwischenbereich sind die Punkte m. o. m. gerade verbunden worden. Die Abweichung von der Labor-pF-Kurve ist an Hand von 2 Proben in Abb. 4/15 verdeutlicht. Sie wächst mit der nicht intern in der Probe auffangbaren Quellung des Bodens, d. h. sie nimmt mit der Tiefe zu.

Die Tiefenfunktion der Porenverteilung in Abb. 4/14 beruht auf den korrigierten pF-Kurven. Sie - wie die pF-Kurven - können nur als Versuch einer Annäherung gewertet werden. Zur vollen Charakterisierung müßte die Probenahme dem jahreszeitlichen Durchfeuchtungsgang folgen. Nur für den ständig trockenen Ton unterhalb 70 cm dürfte die gezeigten

Profil Parzelle 7:Vertic Tropaquept(clayey very fine)

0 - 10	A1g	Hellgrauer (7.5YR7/1, feucht 7.5YR5/2) utL mit blaß-gelborangener (7.5YR7/3) Fleckung; schwach prismatisches, mäßig offenes Polyedergefüge mit starker Durchwurzelung.
10 - 30	B21g	Grauer (7.5YR7/1, feucht 7.5YR6/1) schwach okerfleckiger 1T; Prismen mit mittelgroben, mäßig offenem Polyedergefüge.
30 - 50	B22g	Grauer 1T mit zunehmender, blaß orangener Fleckung; Prismen mit geschlossenem Polyedergefüge.
50 - 65	B23	Blaß orangener (5YR7/3) Ton mit einzelnen Bleichrändern; auslaufende Prismen-Absonderungen.
65 - 105	C	Rotbrauner, stark verdichteter Ton, nach unter 1T, ohne Absonderungsgefüge.
105 - 120	II A1bg	Dunkelgrauer (7.5YR6/2, feucht 7.5YR4/2) SL
120 - 135	II B2bg	Graugelber (10YR7/2) 1S mit Rostfleckung (10YR7/6)
135 - 160	II C1g	Grau- und rostfleckiger 1S.
160 - 275	III C2	Weißgrau bis braunfleckiger mS.

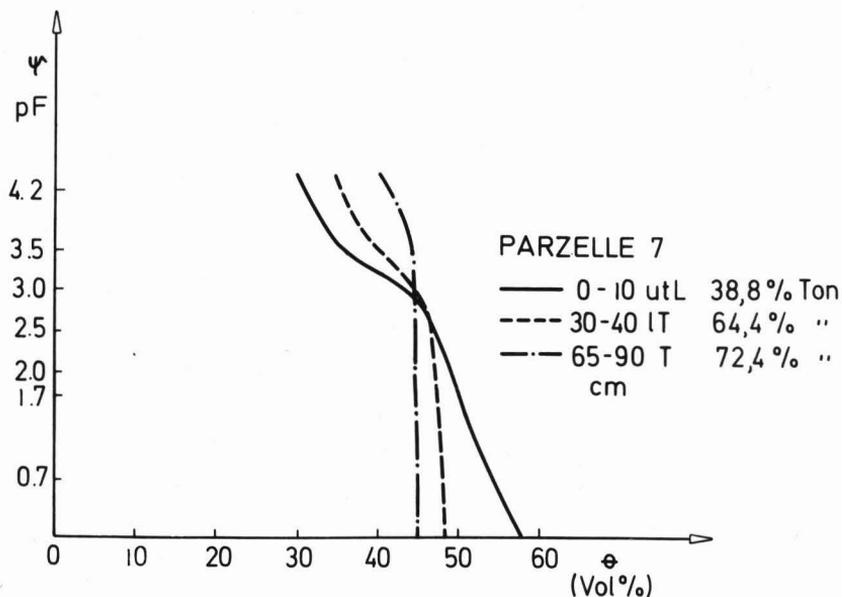


Abb. 4/12 : pF-Kurven Profil 7

Profil Parzelle 8:Vertic Tropaquept(clayey very fine)

0 - 15	A1g	Hellgrauer(10YR7/1),kaum fleckiger utL; mäßig offenes grobes Polyedergefüge mit starker Durchwurzelung.
15 - 40	B21g	Hellgrauer,okerfleckiger (7.5YR7/4) lT; Prismen-Polyedergefüge mittlerer Ausprägung.
40 - 70	B22	Graurangener(5YR7/3) stark verdichteter Ton mit ausgeprägter Randbleichung an Rissen und Aggregaten;Prismenabsonderungen auslaufend,geschlossenes Polyedergefüge;auslaufende Durchwurzelung.
70 - 105	C	Stark verdichteter rotbrauner(5YR6/3)Ton.
105 - 120	II A1bg	Dunkelgrauer(7.5YR6/2) lT mit dichtem Kohärentgefüge.
120 - 150	II B2bg	Bleichgrauer sL
150	III C	Grau-braunfleckiger mS

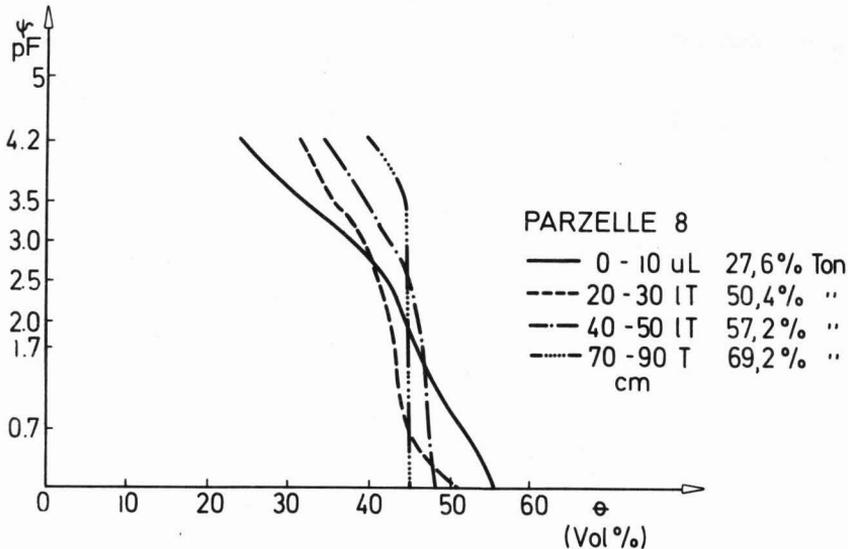
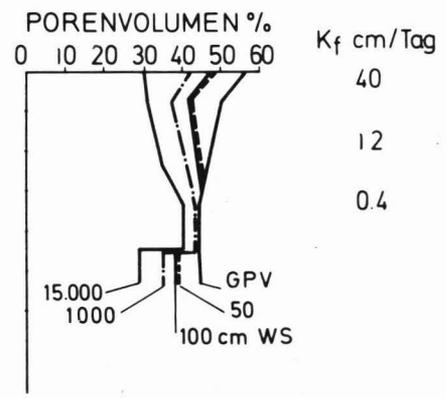
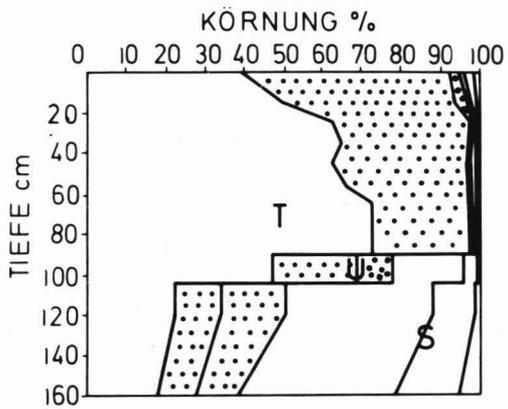
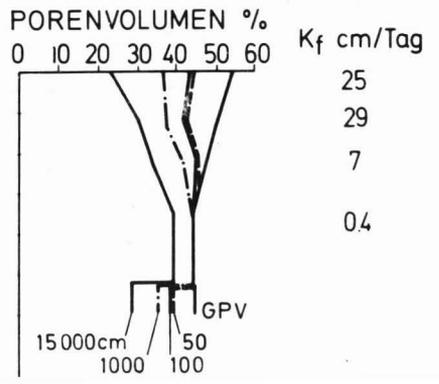
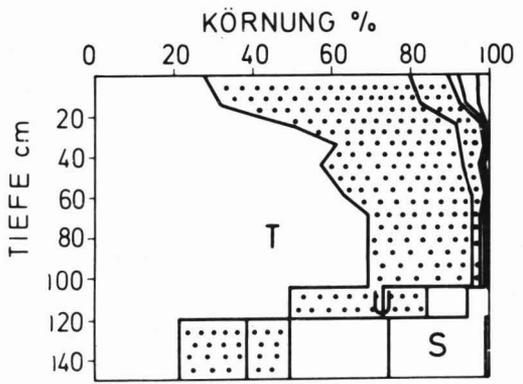


Abb. 4/13 : pF-Kurven Profil 8



K_f cm/Tag
40
12
0.4



K_f cm/Tag
25
29
7
0.4

Abb. 4/14 : Textur, Porenvolumen und gesättigte Leitfähigkeit in Profilen 7 und 8

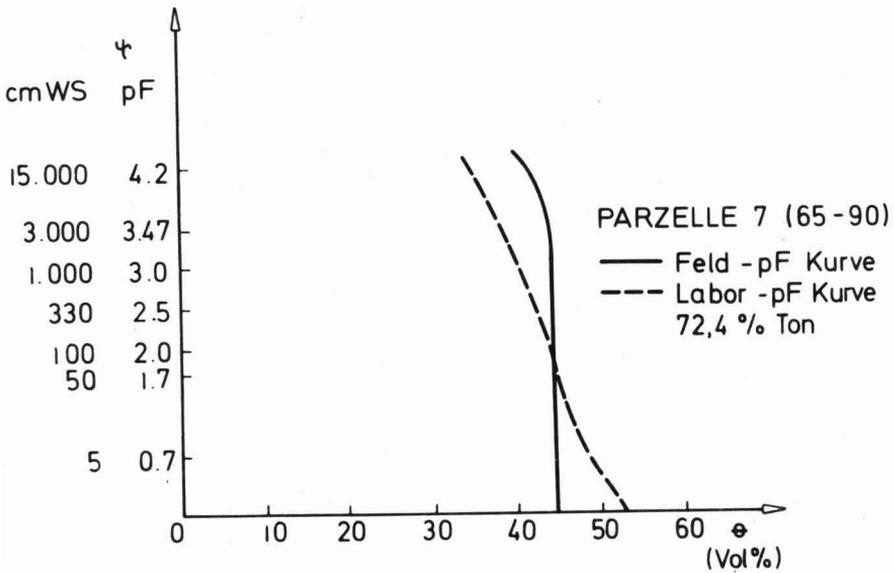
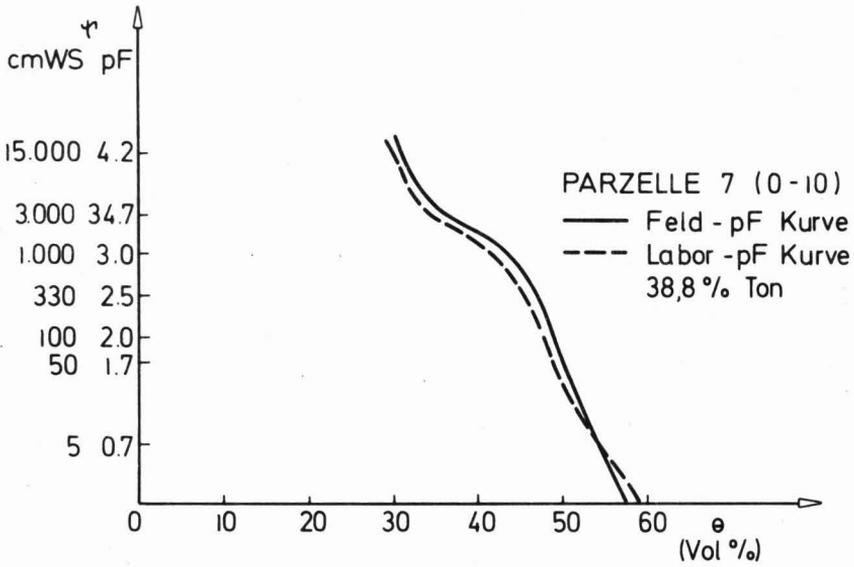


Abb. 4/15 : pF-Kurvenvergleich (Profil 7)

pF-Kurven (Abb. 4/12 und 13) den ganzjährigen Zustand wirklichkeitsgetreu wiedergeben. Und sie verlaufen unterhalb von pF 3,5 praktisch senkrecht.

Das Profil 9 in der Senke zeigt eine noch stärkere Gefügedynamik. Insbesondere reichen die Prismen-Absonderungen bis in viel größere Tiefen. Daß diese in die Quellungs- und Schrumpfdynamik einbezogen sind, liegt hier wahrscheinlich an dem in die mächtige Tonschicht einstauenden Grundwasser, welches den basalen Ton ständig feucht hält (s. Diskussion).

Dem tieferen Rissystem folgend reichen hier auch die Wurzeln tiefer (120 cm), wozu allerdings auch die spezifische Standortanpassung der Vegetation beitragen mag.

Parzelle 2 und 1

In diesem Abschnitt des Transektes liegt eine sandige bis lehmige Verfüllung einer ehemaligen Senke bzw. eines älteren Flußarmes vor. Das basale Sediment ist ein ständig feuchter stauender Ton, welcher von 260 cm in P 2 bis auf 100 cm in P1 ansteigt. Er wird von einem tonreicheren feinsandig-schluffigen Sediment überlagert, welches in P1 als Decksediment den Boden enthält, während in P2 eine 100 cm mächtige tonarme Feinsanddecke den Abschluß bildet. Auf Grund des basalen Staukörpers sind beide Böden regenzeitlich naß und dementsprechend hydromorph überprägt. Die Leitfähigkeit des Decksediments - um mehr als eine Zehnerpotenz unterschiedlich in den beiden Profilen - spielt als Regler eine geringe Rolle. Wichtiger dürfte dagegen der Unterschied im Grobporengehalt sein (P 2:10 - 25 vol%, P 1:2 - 8 vol%); der Gasaustausch mit der Atmosphäre wird in P2 wesentlich besser und schneller vorsichgehen. Andererseits bedingt der feinsandige Charakter des Decksediments in P2 eine sehr hohe Speicherkapazität für pflanzenverfügbares Wasser. Dieser Zusammenhang ergibt sich aus dem Verlauf der pF-Kurven als Funktion der Textur (s. 4.3.2).

Profil Parzelle 2: Aquic Eutropept (coarse loamy)

0 - 10	A1	Dunkelgraubrauner (7.5YR5/2-3) uS mit schwacher Orangefleckung; Einzelkorn- bis Kohärentgefüge mit starker Durchwurzelung.
10 - 50	B21	Grauer (7.5YR6/2) bis graubrauner (7.5YR5/3) l`S, schwach fleckig; Kohärentgefüge mit mäßig starker Durchwurzelung.
50 - 90	B22cn	Hellgrauer (7.5YR7/2) uS mit diffuser orangener (7.5YR6/4) Feinfleckung, Häufung von weichen Fe-Mn-Konkretionen; Kohärentgefüge.
90 - 115	B23	Ähnlich B22, lS, aber mit diffuser rotbrauner (5YR5/8) Fleckung
115 - 140	II B3	Hellgrau bis braun (7.5YR6/6) gefleckter lU mit starker Mn-Fleckung, dicht, noch durchwurzelt.
140 - 175	III A1b	Dunkelgraubrauner uL; kohärent bis geschlossen subpolyedrisch.
175 - 260	III C1	Dunkelgrauer, marmorierter fsL; dichtes Kohärentgefüge.
260 - 340	III C2g	Grauer, marmorierter uT; dichtes Kohärentgefüge.

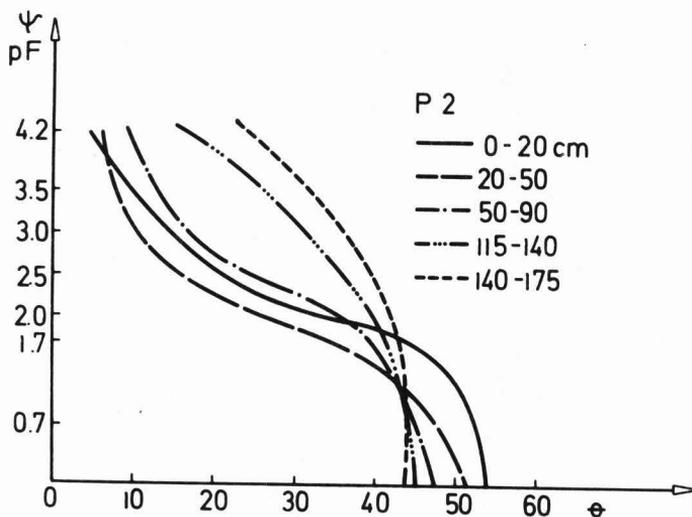


Abb. 4/16 : pF-Kurven Profil 2

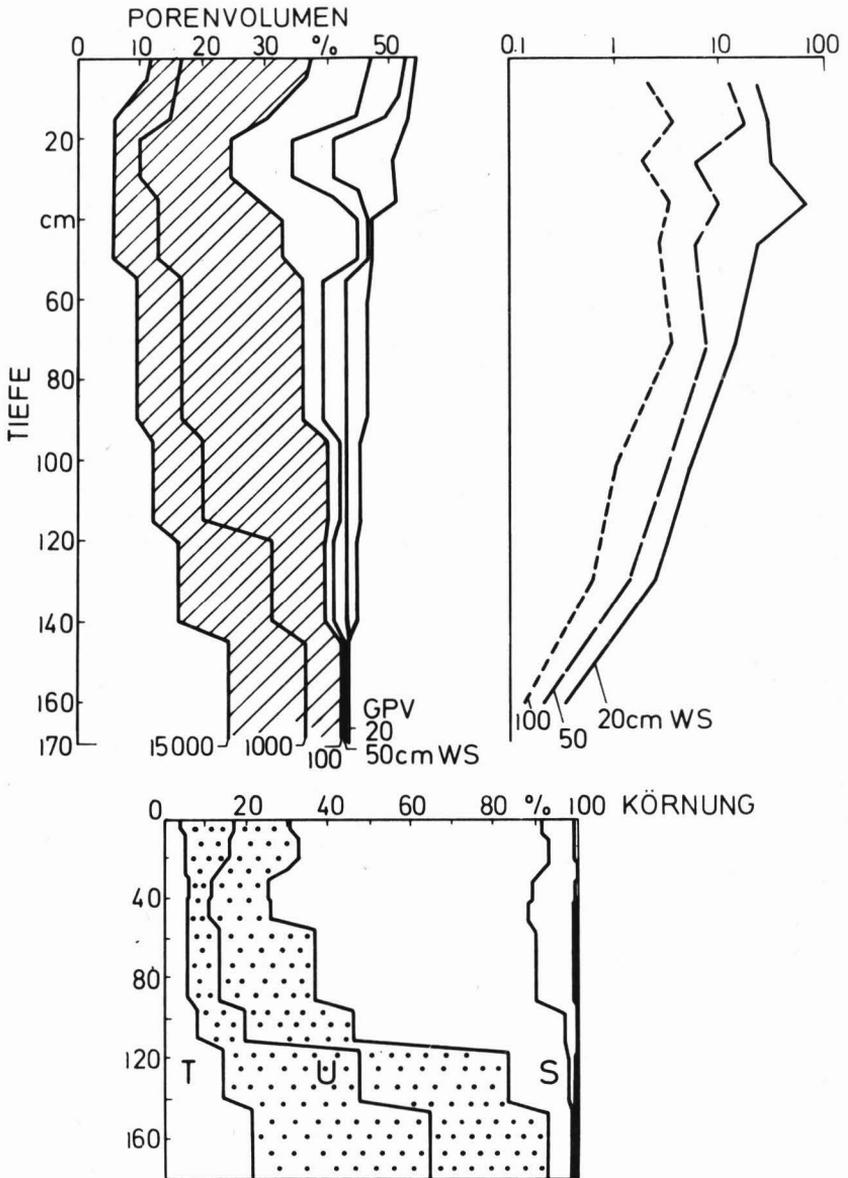
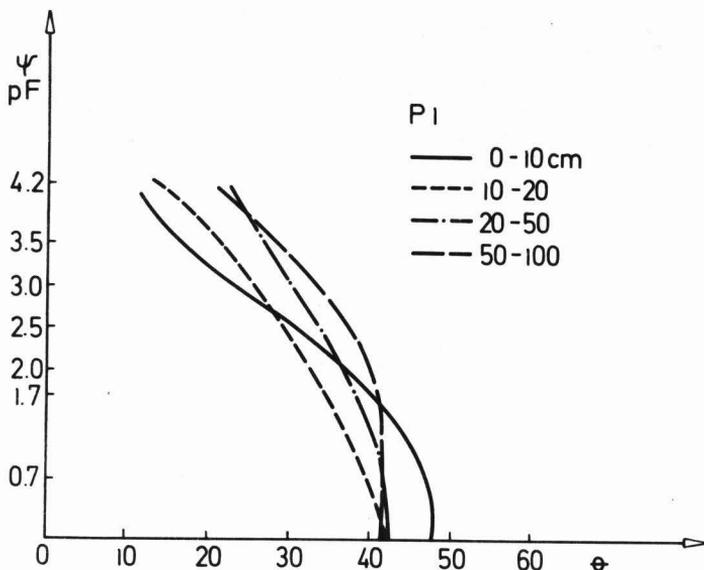


Abb. 4/17 : Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur im Profil 2

Profil Parzelle 1: Aqualfic Eutropept (coarse silty)

0 - 20	A1	Blaß braungrauer (7.5YR7/2-3) uLS; oberflächliches Krümel- übergehend in Kohärentgefüge.
20 - 50	B21t	Grauer (7.5YR7/2) sL mit braunen (5YR 7-5/4) Feinflecken, nach unten zunehmend 5YR6/3 bis 5/4; weiche Fe-Mn-Konkretionen; vorwiegend geschlossenes, kohärentes Polyedergefüge.
50 - 70	B22	Grobfleckig grauer bis rotbrauner (5YR6-5/6) suL mit Fe-Mn-Fleckung; geschlossen subpolyedrisch bis kohärent; auslaufende Durchwurzelung.
70 - 100	B3	Grobfleckig grauer bis rotbrauner uL; Kohärentgefüge.
00 - 140	II A1b	Grauer (7.5YR7/2) utL mit brauner (7.5YR6/4) Fleckung; dicht geschlossenes Polyedergefüge. An der Basis weiche Mn-Konkretionen.
40 - 200	II C1	Braungrauer, blaßfleckiger utL, dicht geschlossenes Polyedergefüge.
00 - 250	III C2	Blaßbrauner fS (ständig feucht)
50 - 280	IV C3	Grauer tL (7.5YR6/2)
80 - 340	V C4	Stark marmorierter grauer Ton, dicht (ständig feucht)



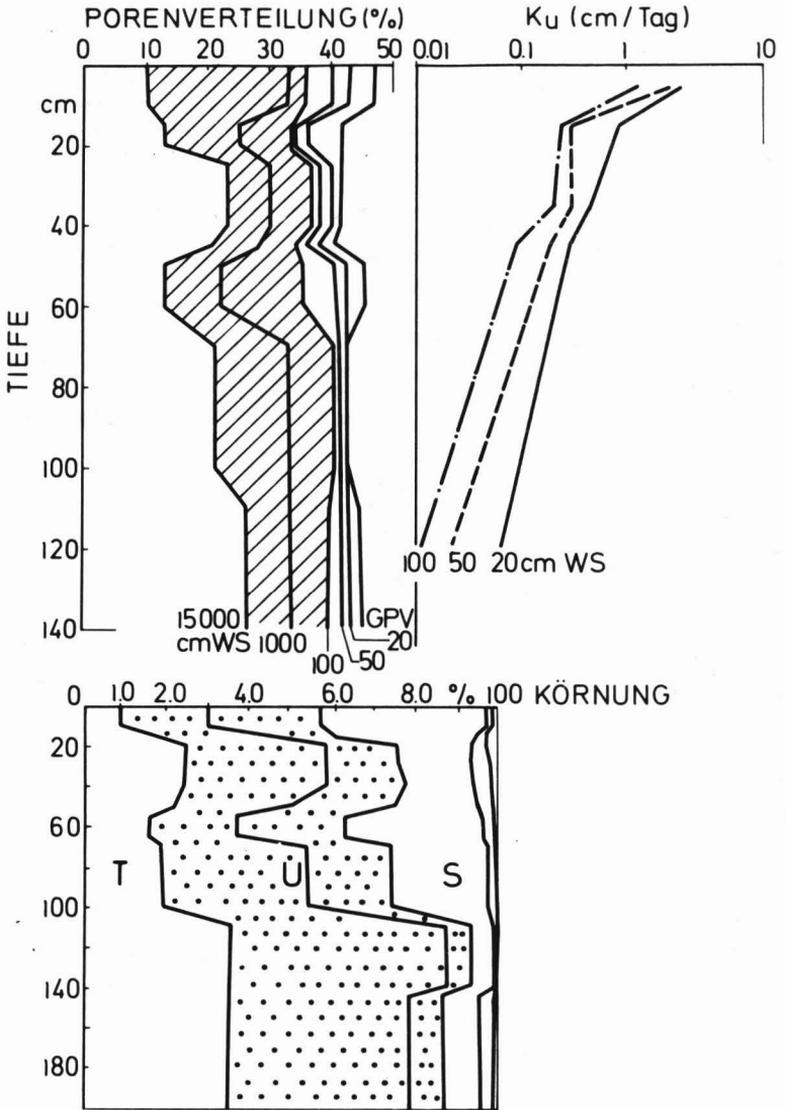


Abb. 4/19 : Porenvolumen, Leitfähigkeit und Textur im Profil 1

4.3.2 Vergleich der bodenphysikalischen Eigenschaften

Porenverteilung und Leitfähigkeit sind Funktionen der Textur und der Lagerungsdichte. Da letztere Werte im Gelände relativ schnell abschätzbar sind, erstere dagegen einen erheblichen Bestimmungsaufwand erfordern, muß im Rahmen - und in Vorbereitung - einer Standortkartierung angestrebt werden, die statistische Beziehung zwischen diesen Wertepaaren tabellarisch (wie bei MÜLLER et al., 1970, für die BRD) oder in Form von Regressionen aufzustellen, um auf diese Weise zu schnell verfügbaren Schätzdaten zu kommen. Die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Einzeldaten reichen zwar quantitativ für eine solche Aufstellung nicht aus, doch lassen sich einige Beziehungen bereits trendmäßig ansprechen.

In Abb. 4/20 sind typische pF-Kurven von 5 Horizontproben unterschiedlicher Textur wiedergegeben. Mit zunehmendem Tongehalt findet sich auch hier die charakteristische Versteilung der Kurve. Sie beruht auf einer Zunahme der Feinporen bei relativ gleichbleibender GPV und schließt damit eine entsprechende Minderung der Mittel- und Grobporen ein. Die Beziehung zwischen den beiden letzteren Porenklassen wird durch die Lage der sich mit abnehmendem Tongehalt entwickelnden Abflachung der Kurve geregelt. Bei Feinsand-dominierten Proben liegt diese noch oberhalb der für diese pauschale Betrachtung bei pF2 angenommenen Feldkapazität, sinkt aber mit zunehmenden Mittelsandanteil unterhalb der Feldkapazität.

Für die Speicherkapazität ppflanzenverfügbaren wassers (pF2 - 4.2) ist deshalb die Zusammensetzung der Sand- und Schlufffraktion besonders in tonärmeren Proben sehr entscheidend. Dies zeigt auch Abb. 4/21, in der diese Kapazität der Horizontproben aus den Profilen 1 - 6 als Funktion der Bodenart aufgetragen wurde. Für die feinsandig-schluffigen Materialien ergibt sich trotz der nur groben Anordnung der Texturklassen eine klare Beziehung. Abweichend verhalten sich insbesondere die mittelsandreichen Proben aus den basalen Sanden sowie die stärker mS-haltigen Proben

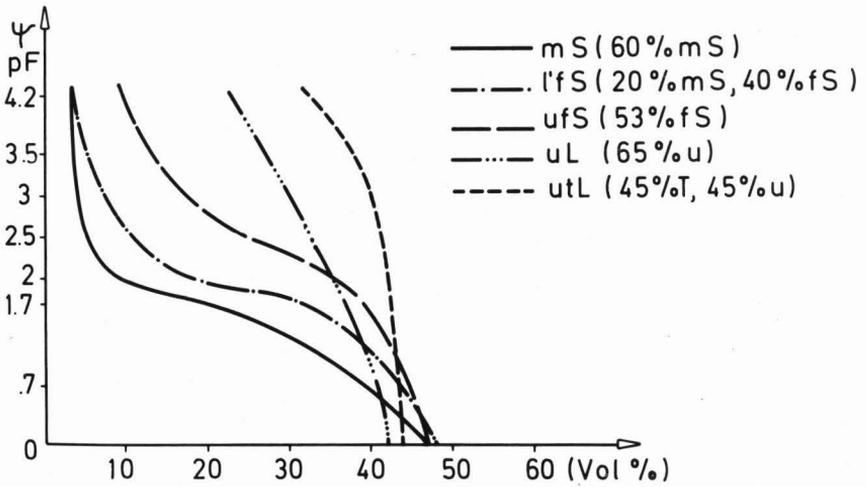


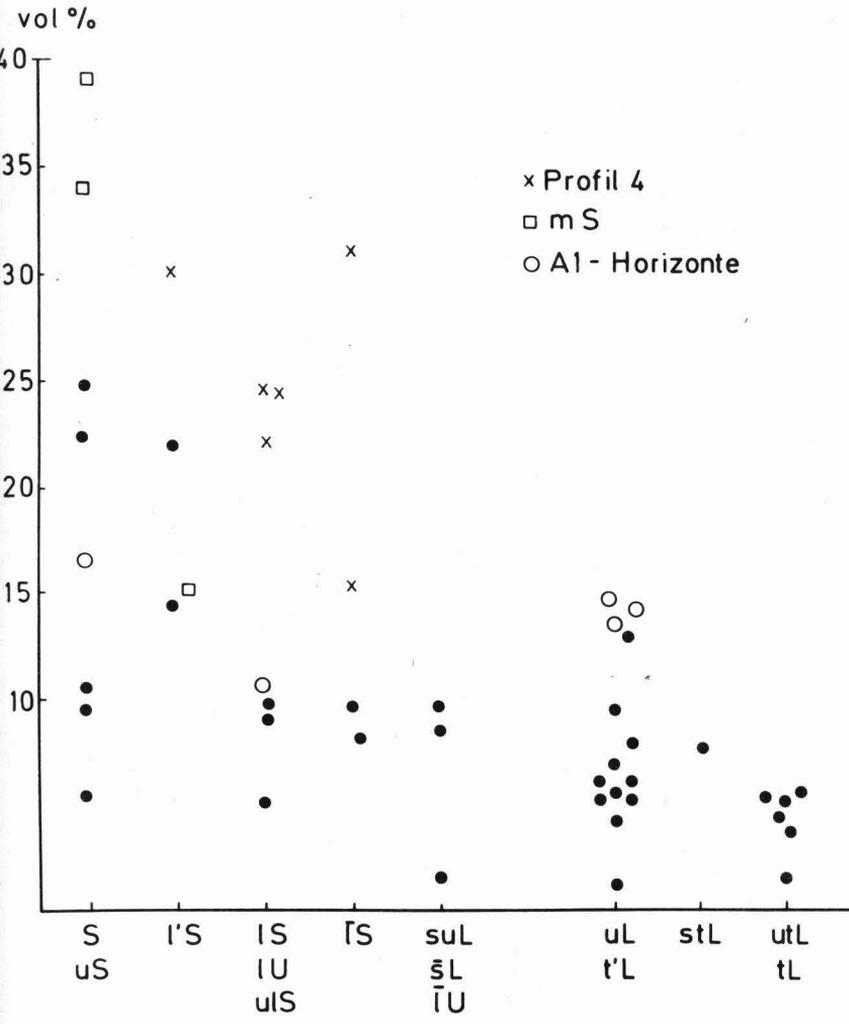
Abb. 4/20 : pF-Kurven als Funktion der Textur

des Profils 4. Hinsichtlich der letzteren liegt der Verdacht nahe, daß der Feinsand selbst relativ grob ist. Wegen der Bedeutung, die dies für die Speicherkapazität besitzt, wäre deshalb zu empfehlen, in den zukünftigen Texturanalysen eine weitere Unterteilung des Feinsandes bei 125 μ m vorzunehmen.

Die hauptsächlich durch unterschiedliche Lagerungsdichte bedingte Streuung scheint bei der Speicherkapazität relativ gering. Sie wird wesentlich größer bei dem Grobporenanteil (Abb. 4/22); hier ist nur die Obergrenze ziemlich scharf abgegrenzt als Funktion der Bodenart. Dagegen wirkt sich die Lagerungsdichte als Funktion der Tiefe und der Vernässung sehr stark aus (s. Diskussion).

Gesättigte (K_f) und ungesättigte (K_u) Leitfähigkeit sind ebenfalls eine Funktion der Textur. In Abb. 4/23 sind wiederum für 6 ausgewählte Proben unterschiedlicher Bodenart die K_f -Werte und die K_u -Werte von $\Psi = 100$ bis 20 cm Wassersäule aufgetragen. K_u sinkt von $\Psi = 20$ bis $\Psi = 100$ in der Regel um etwa eine Zehnerpotenz. Eine Ausnahme macht der Mittelsand, dessen hohe Leitfähigkeit bei hoher Wassersättigung zur Feldkapazität bei $\Psi = 100$ cm WS ($pF 2$) wegen der in diesem Spannungsbereich sehr starken Entwässerung rapide abfällt. Der lfs aus Parzelle 4 zeigt zwischen $\Psi = 50 - 100$ diese Tendenz abgeschwächt, da bei ihm - wahrscheinlich wegen der oben angedeuteten Grobkörnigkeit des Feinsandes - die Abflachung der pF -Kurve (Abb. 4/20) bereits unterhalb von $pF 2$ liegt. Die Leitfähigkeit bei $\Psi = 100$ cm WS zeigt deshalb verständlicherweise eine ähnliche Abhängigkeit nach Bodenart wie die Speicherkapazität.

Um die durch Lagerungsdichte und Messungs-genauigkeit hervorgerufene Streuung der K_u -Werte für die einzelnen Bodenartengruppen anzudeuten, wurden für $\Psi = 20$ und $\Psi = 100$ cm WS die K_u -Werte aller Einzelmessungen (bzw. die Mittelwerte einzelner Horizonte) in Abb. 4/24 und Abb. 4/25 nach Bodenart aufgetragen. Diese Streuung kann als relativ gering angesehen werden. Sie ließe sich sicher noch verringern



bb. 4/22 : Grobporenvolumen als Funktion der Textur

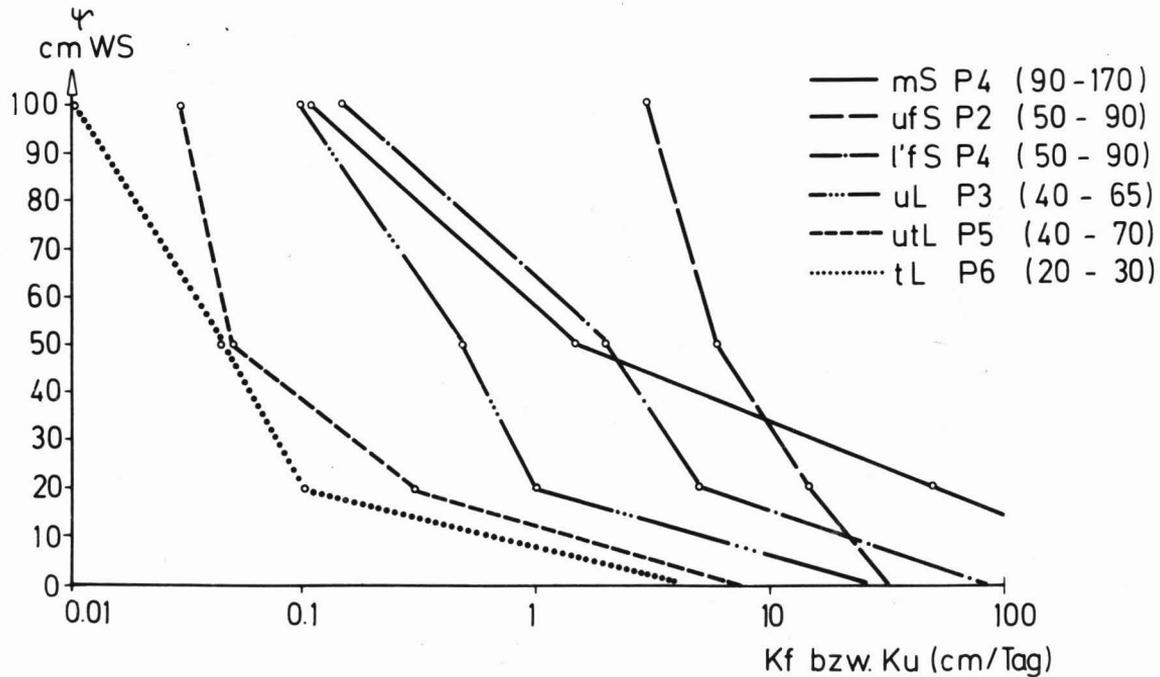


Abb. 4/23 : Leitfähigkeit als Funktion der Wassersättigung in 6 versch. Böden

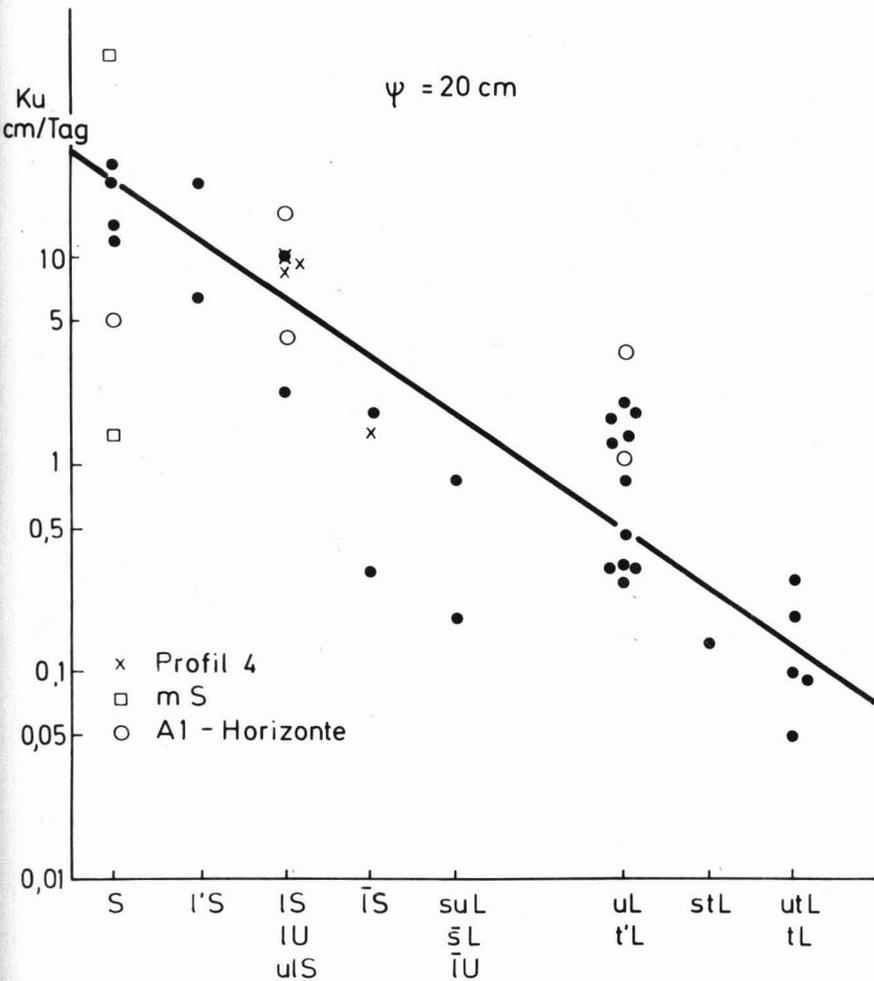


Abb. 4/24 : Ku (20 cm WS) als Funktion der Textur

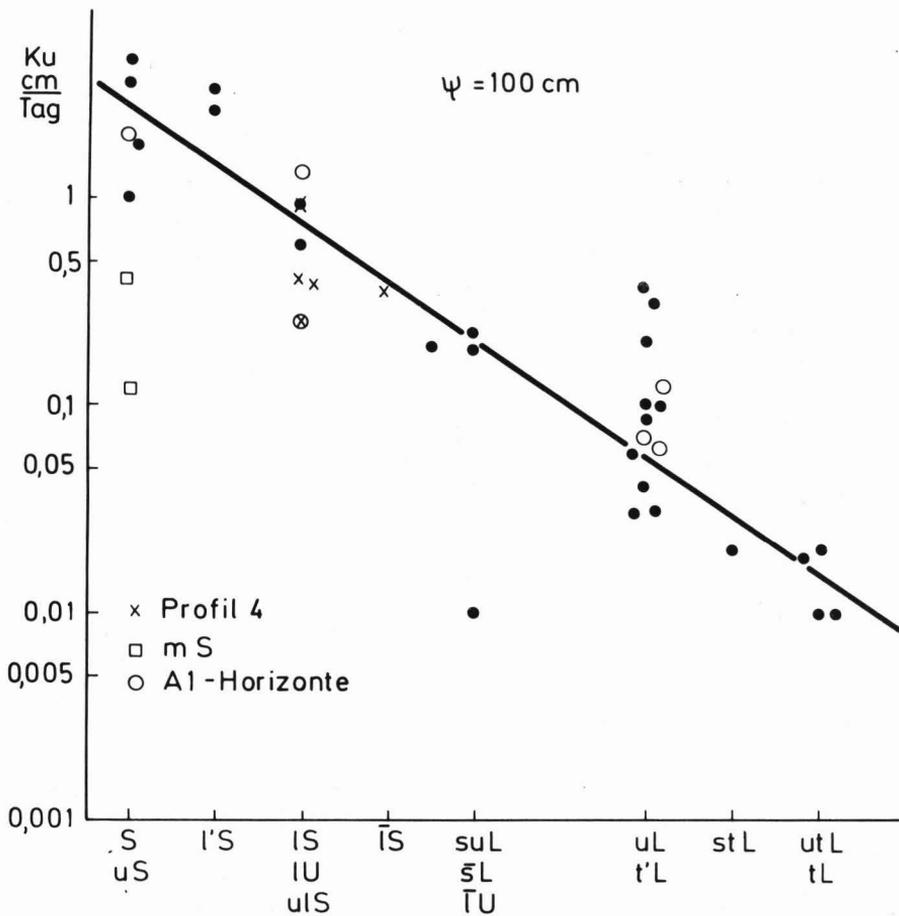


Abb. 4/25 : Ku (100 cm WS) als Funktion der Textur

durch Entnahme von mehr Parallelproben wie durch bessere Anpassung des Probenahmezeitraumes an die optimalen Sättigungsbedingungen. Da die Proben in Göttingen untersucht wurden, waren in dieser Hinsicht unüberwindliche Randbedingungen vorgegeben. Besonders hat sich die zwischenzeitliche Austrocknung (bzw. Neuaufsättigung trockener Proben) auf die an sich schon recht unsichere Bestimmung der gesättigten Leitfähigkeit ausgewirkt, deren Werte wohl durchweg - aber insbesondere in den tonreicheren Proben - als zu hoch angesehen werden müssen (Abb. 4/23).

4.3.3 Bioelementvorräte in Humusauflage und Mineralboden

Wie eingangs (Abschnitt 2) gesagt, handelt es sich im Untersuchungsgebiet um junge Alluvionen aus dem Gebirge. Die Böden sind entsprechend nur mäßig verwittert und ausgewaschen. Die KAK-Werte (s. Anhang IV) deuten auf einen dominierenden Anteil an 2:1 Schichtsilikaten im Ton hin, der Austauschkomplex hat mit Ausnahme von Parzelle 4 eine ziemlich hohe Basensättigung (Anhang IV) und auch die Bioelementkonzentration in den Feinwurzeln liegt vergleichsweise hoch (Abschnitt 4.2.3). Um diesen besonders für die Tieflandtropen wichtigen Umstand abzusichern, seien hier noch Angaben über die Bioelementvorräte in Humusauflage und Mineralboden zusammengefaßt.

Die Humusauflage besteht im wesentlichen aus der Streu (OL) des gleichen Jahres, deren Menge jahreszeitlich schwankt (s. Abschnitt 6.4). Tab. 4/6 bringt eine Übersicht über die Menge, Bioelementkonzentration und -vorräte der Humusauflage gegen Ende der Trockenzeit. Wegen des in der Trockenzeit hohen Laubfalls bei gleichzeitig geringem Abbau unterscheiden sich die Bioelementkonzentrationen der Humusauflage wenig von derjenigen der frischen Streu (Abschnitt 6.3.3). Dagegen liegen die Konzentrationen 5 - 15fach über den Werten, wie sie z. B. im Magdalenatal Kolumbiens (FÖLSTER und DE LAS SALAS, 1976) gefunden werden. Hinsichtlich der Gesamtmengen wird dieser Umstand kompensiert durch die dort zehnfach höhere Menge der Auflage.

Tab. 4/6: Trockengewicht, Bioelementkonzentration und -vorräte der Humusauflage der Parzellen 1 - 8 (Entnahmetermin März, 1976)

Parzelle	Gewicht t/ha	Asche %	Bioelementkonzentration					Bioelementvorräte				
			mg/g Trockenmasse					kg/ha				
			N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
1	4.25	19.3	14.1	1.61	3.82	23.6	4.49	60	7	16	100	19
2	10.07	17.7	13.9	1.41	4.87	23.5	3.10	140	14	49	236	31
3	4.87	25.1	13.6	1.41	4.79	20.9	3.42	66	7	23	102	17
4	4.68	22.8	15.7	1.51	6.72	22.7	4.28	73	7	31	106	20
5	5.29	19.3	15.2	1.44	4.47	22.	3.37	80	8	24	116	18
6	8.25	19.8	13.3	1.25	4.73	24.2	3.22	110	10	39	200	27
7	8. 2	16.1	12.9	1.08	4.77	25.3	3.08	110	9	41	216	26
8	6.95	15.8	17.8	1.31	5.99	19.8	3.41	124	9	42	138	24
Mittelwert	6.62	19.5	14.6	1.38	5.02	22.8	3.55	95	9	33	152	23

Die Bioelementvorräte der oberen 50 cm des Mineralbodens sind parzellenweise im Anhang V aufgeführt. Die folgende Tabelle 4/7 stellt die mittleren Vorräte im Boden gegenüber denen, die im oben genannten Magdalenatal (FÖLSTER, DE LAS SALAS, KHANNA, 1976), im Amazonas-Regenwald von Manaus (KLINGE, 1976) und im andinen Nebelwald von Mérida (STEINHART, 1978) bestimmt wurden. Besonders auffällig sind die hohen P- Ca- und Mg-Vorräte in Caparo. Dagegen sind die C-Vorräte die niedrigsten, allerdings mit viel geringeren C/N-Verhältnisse (5 - 10 gegenüber 10 - 15 in Manaus, im Magdalenatal und in Mérida. Dies liegt im Zusammenhang mit dem schnelleren organischen Umsatz in Caparo (siehe 6.4). Die hohen Ca- und Mg-Vorräte in Caparo spiegeln die hohen KAK-Werte (25 - 35 mval/100 g Ton nach NH_4Cl -Methode) und die fast durchweg hohe Basensättigung wieder (Anhang IV). Der Al^{+++} -Anteil an der Summe der austauschbaren Kationen beträgt nur zwischen 10 und 35 %; Ausnahmen stellen nur die sandigen Böden der Parzelle 4 (35 - 75 % Al^{+++}) und Parzelle 2 (5 % Al^{+++}) dar. Parzellenweise Unterschiede in den Bioelementvorräten folgen im übrigen hauptsächlich den unterschiedlichen Tongehalten (Anhang V).

Tab. 4/7: Bioelementvorräte ¹⁾ im Mineralboden (0 - 50 cm, bzw. 0 - 30 cm) im Vergleich des Parzellenmittels von Caparo mit Bestandesflächen im Magdalenatal (Kolumbien), Manaus (Brasilien) und Mérida (Venezuela).

	C _t	N _t	P _t	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
<u>0 - 50 cm</u>	<u>t/ha</u>			<u>kg/ha</u>		
Caparo	58	7045	3380	460	7100	1960
Magdalena (BPa)	133	5350	730	119	31	43
Mérida	183	15000	2540	500	940	240
<u>0 - 30 cm</u>						
Caparo	46	5342	2370	294	4608	1068
Manaus	113	4263	71	58	0	17
Mérida	125	10000	1490	340	650	165

1) Bei C, N und P Gesamtvorräte und bei K, Ca, Mg austauschbare Vorräte

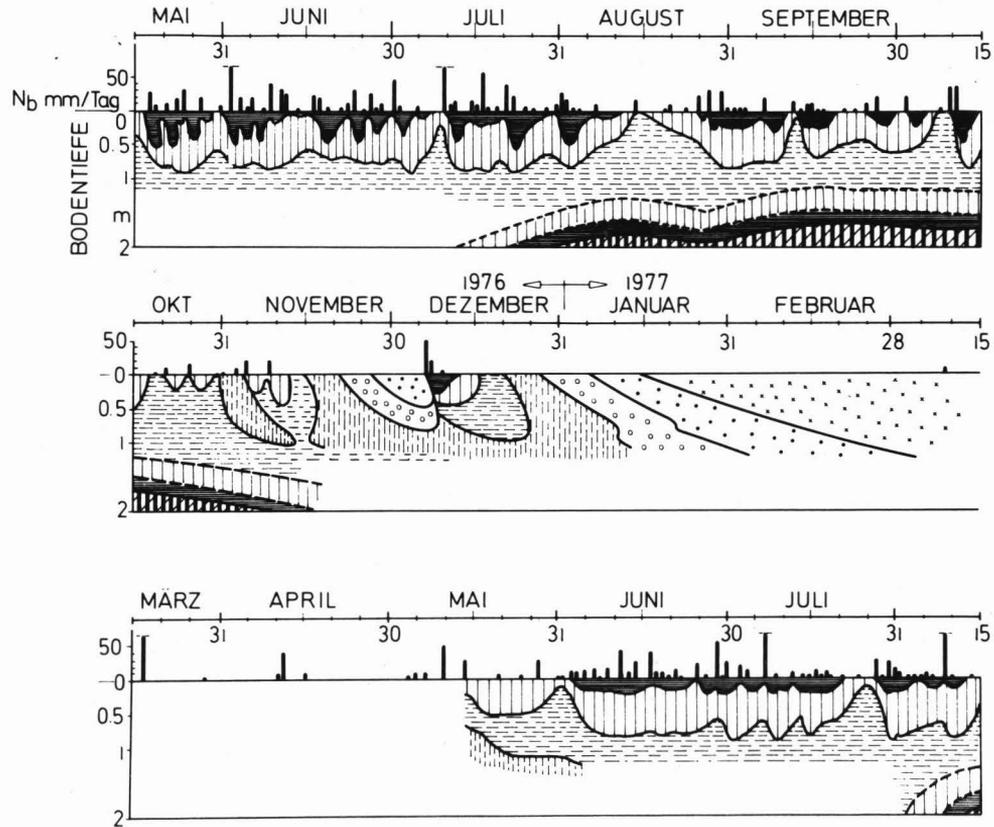
5. DAS JAHRESZEITLICHE BODENFEUCHTEREGIME ENTLANG TRANSEKT TICA 8

Das jahreszeitliche Bodenfeuchteregime variiert sehr stark von Parzelle zu Parzelle. Die topographische Lage, die Texturschichtung, die bodenphysikalischen Eigenschaften der einzelnen Schichten (Textur, Porenverteilung, Leitfähigkeit) und die Wirkung des Grundwassers sind dabei die entscheidenden Faktoren. Im Folgenden wird das Bodenfeuchteregime der einzelnen Parzellen besprochen. Dazu liefert Tab. 5/1 eine Übersicht über die Grundwasserstände.

5.1 Parzellen 3 - 6

Parzelle 4: In Abb. 5/1 wird der Bestandesniederschlag und der Verlauf der durch Saugspannungsfelder angezeigten Wassersättigung im Boden in der Zeit vom 15. Mai 1976 bis März 1978 dargestellt. Im Mai 1976, 2 Monate nach Einsetzen der Regenzeit und nach etwa 400 mm Freilandniederschlag, hatten sich schon im Oberboden (0-100 cm Tiefe) die für die Regenzeit typischen Saugspannungen eingestellt, d. h. von 0-30 cm Tiefe zwischen 0 und 20 cm Wassersäule (WS), im mittleren Bereich (etwa von 30-50 cm Tiefe) zwischen 20-50 cm WS und unten (bis zum Kapillarsaum des maximal bis 1.60 m Tiefe aufsteigenden Grundwassers) zwischen 50-100 cm WS. Dieses regenzeitlich praktisch konstante "normale" Saugspannungsprofil kann trotz der z. T. erheblichen Niederschläge nur zustande kommen, weil im gesamten Profil der Grobporenanteil vorwiegt und mit zunehmender Wassersättigung die Leitfähigkeit sehr stark ansteigt. Abb. 5/2 zeigt, daß in der Regenzeit sogar bei mäßigen Niederschlägen (etwa ab 10 mm N_p) die Saugspannung bei 20 bzw. 45 cm kurzfristig auf 0 sinkt. Dies geschieht nicht nur wegen der Regenintensität, sondern auch wegen der Mitwirkung der zwischen 40-50 cm Tiefe verringerten Leitfähigkeit. Danach stellen sich rasch (nach etwa 4-6 Stunden) die "normalen" Verhältnisse wieder ein. In diesen Stunden erfolgt der größte Teil der Versickerung. Während der Zeit "normaler" Sättigung ist der Anteil wasserfreie Grobporen stets so groß (10-20 Vol%), daß nie mit Luftmangel zu

PARZELLE 4



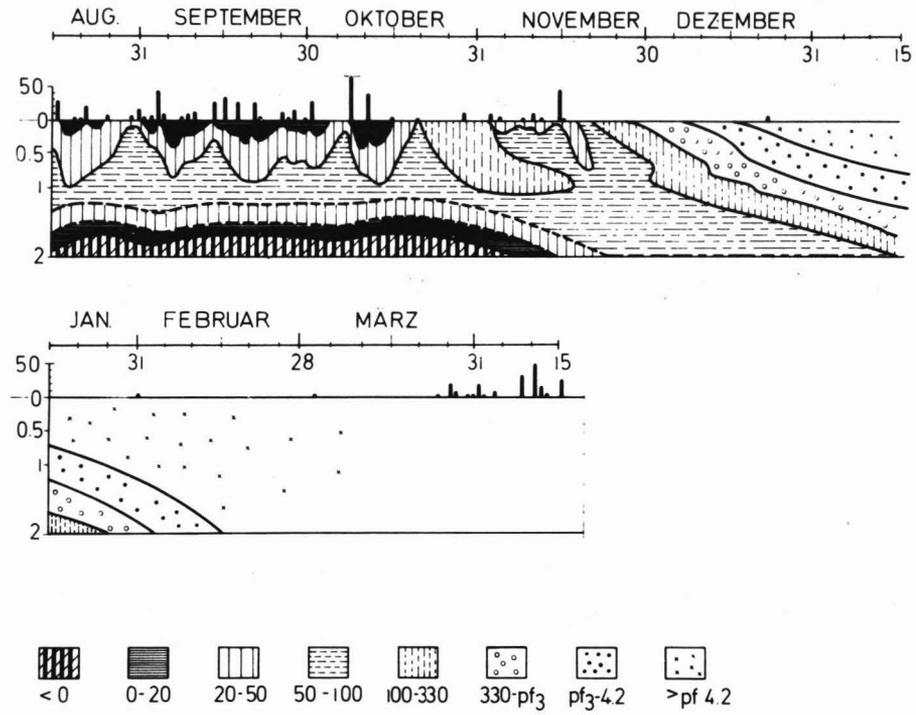


Abb. 5/1 : Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 4

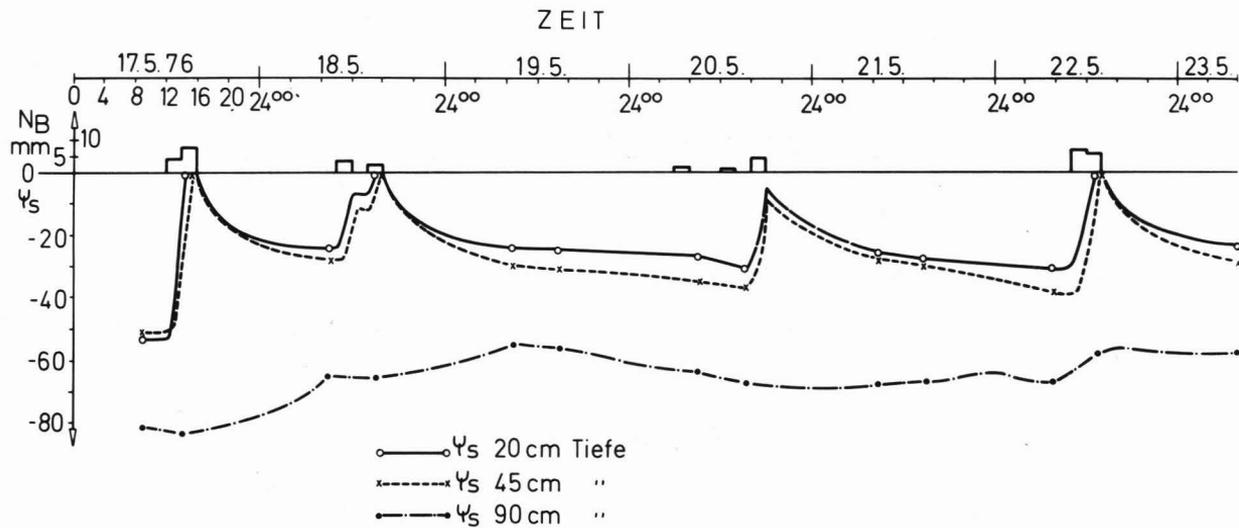


Abb. 5/2 : Kurzfristige Saugspannungsschwankungen im sandigen Bodenprofil (P4)

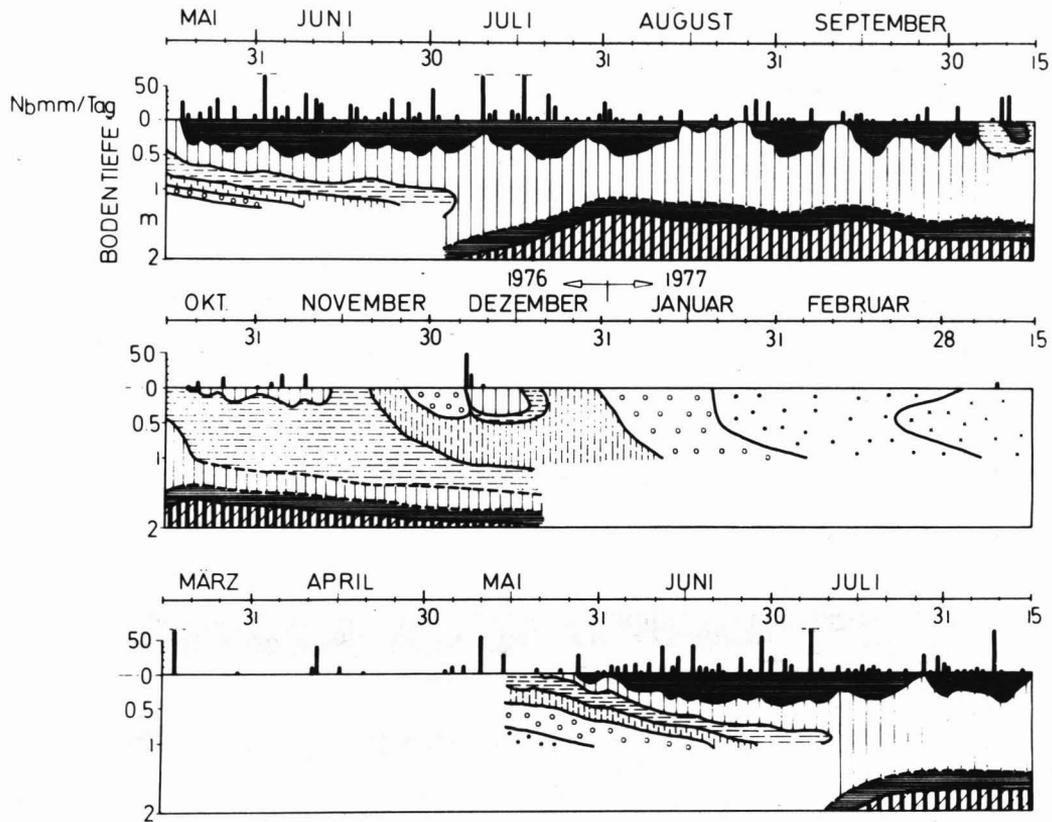
rechnen ist. Andererseits erlauben die häufigen Regenfälle keine stärkere Austrocknung des Bodens. Nur in dem zweiten Teil der Regenzeit, während kurzfristiger, regenarmer Perioden, werden Saugspannungen von 50-100 cm WS bis zur Bodenoberfläche registriert. An solchen Standorten tritt weder Oberflächenabfluß noch Überflutung auf. Der hohe Anteil an selbstdrainierenden Poren, die hohe Leitfähigkeit und der in der Regenzeit praktisch konstant nach unten gerichtete Gradient bedingen eine hohe Versickerung. Diese Böden mit guter Wasseraufnahme und schneller Einsickerung stellen die Flächen der Boden-**decke dar, wodurch das Grundwasser** während der Regenzeit **ergänzt** wird. Beim Abklingen der Regenzeit setzt eine relativ schnelle Austrocknung des Oberbodens ein. Der intensiv durchwurzelte Boden (0-40 cm Tiefe) trocknet bis pF 3 schon 3 Wochen nach dem letzten Regenfall aus; 10 Tage später wird der pF erreicht. Im Gegensatz dazu bleibt der Unterboden (100-200 cm Tiefe) viel länger (6-8 Wochen) unterhalb von pF 3, und die Grenze von pF 4.2 wird erst im zweiten Teil der Trockenzeit erreicht. Allerdings bedeutet das keinen so hohen Wasservorrat für die Pflanzen, denn bei pF 3 sind nur 35 mm (von 0-50 cm Tiefe) bzw. 50 mm (von 0-100 cm Tiefe) bzw. 60 mm (von 0-200 cm Tiefe) pflanzenverfügbar vorhanden. Ab etwa Mitte der Trockenzeit ist die Vegetation meist entlaubt und die starke Austrocknung des Oberbodens verhindert eine direkte Evaporation. Beide Faktoren bewirken eine abnehmende Evapotranspirationsrate und damit eine langsamere Bodenaustrocknung mit **fortgeschreitender** Trockenzeit. Das Grundwasser sinkt am Ende der Regenzeit unter 2 m Tiefe ab, und in dem basalen mS spielt der kapillare Aufstieg keine Rolle, sodaß die Pflanzen nur auf die Wasserspeicherkapazität des Bodens (pF 2-4.2) angewiesen sind.

Die Aufsättigung des Profils bis auf die normalen regenzeitlichen Verhältnisse erfolgte im Jahr 1977 erst Anfang Juni, nachdem etwa 300 mm NF gefallen waren. Im Vergleich mit 1976 war das Jahr 1977 insgesamt trockener.

Parzelle 3: Abb. 5/3 stellt den Verlauf der Saugspannungsfelder in Parzelle 3 dar. Der Boden ist im Vergleich zu Parzelle 4 grobporenärmer, seine Ku-Werte liegen etwa 1 Zehnerpotenz niedriger. Das bewirkt eine verzögerte Einsickerung des wassers und bei Regenfällen höherer Intensität einen raschen Oberflächenabfluß. Kurz nach Beginn der Regenzeit wird der Oberboden etwa von 0-70 cm Tiefe über Feldkapazität gesättigt; erst Anfang Juli wird die ganze Lehmdecke unter der Mitwirkung des aufsteigenden Kapillarsaum des Grundwassers durchgehend über diese Grenze gesättigt. Das Profil zeigt eine regenzeitliche Saugspannungseinstellung mit zwei Feldern: Im Oberboden (etwa von 0-40 cm Tiefe) 0-20 cm WS, und im Unterboden (etwa von 40 bis zur Unterkante der Lehmdecke bei 100 cm Tiefe) 20-50 cm WS. Darunter folgt das Grundwasser (und sein Kapillarsaum), das höchstens bis 140 cm Tiefe ansteigt. Diese Verhältnisse bleiben praktisch konstant während der gesamten Regenzeit. Die Belüftung in dieser Zeit ist schon deutlich beschnitten, da zumindest in dem Raum zwischen 20 und 70 cm dann nur 3-5 Vol% Luftporen wasserfrei sind. Beim Abklingen der Regenzeit beginnt die Bodenaustrocknung, die infolge der höheren Wasserspeicherkapazität des Bodens (240 mm bis 150 cm maximale Durchwurzelungstiefe) und der Mitwirkung des Grundwassers, welches zumindest am Anfang der Trockenzeit (bis Ende Dezember) immer noch über 2 m Tiefe ansteht, langsamer als in Parzelle 4 erfolgt. Akuter Wassermangel dürfte auf P4 etwa 2 1/2 Monate, auf P3 etwa 1 1/2 Monate herrschen.

Parzelle 5: Die gegenüber P3 verringerten Grobporenanteile und Ku führen sehr schnell (1976: Mitte Mai, 1977: Mitte Juni) zu einer akuten Haftwasservernässung (Abb. 5/4) in der Lehmdecke, und dieser folgend zu einer Ausbildung oberflächliche Überflutung. Allerdings schwankt diese Überflutung hinsichtlich Tiefe und Dauer sehr. Sie scheint nie absolut flächendeckend und klingt innerhalb

PARZELLE 3



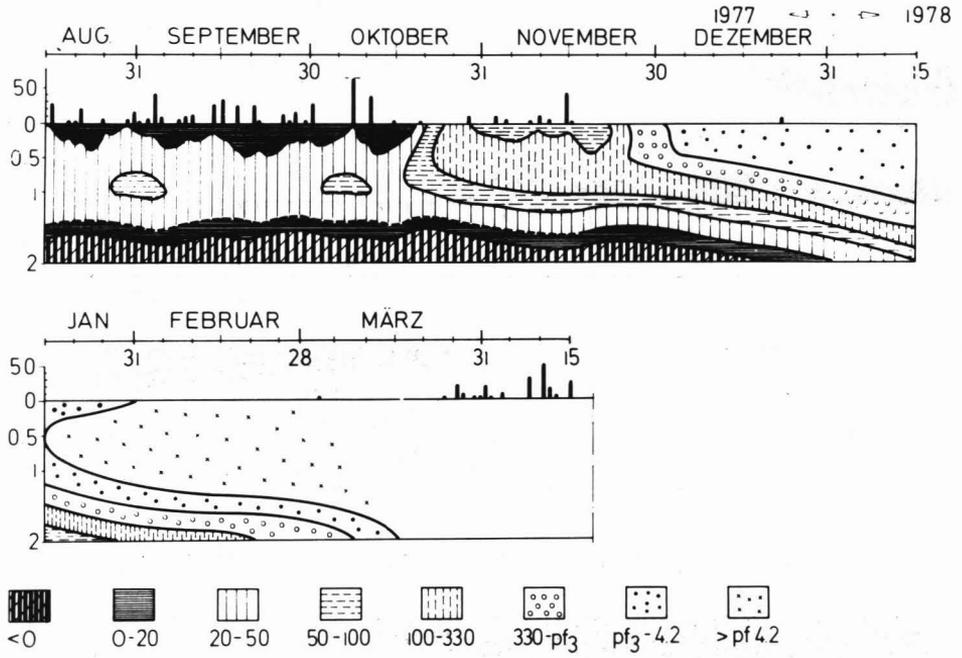


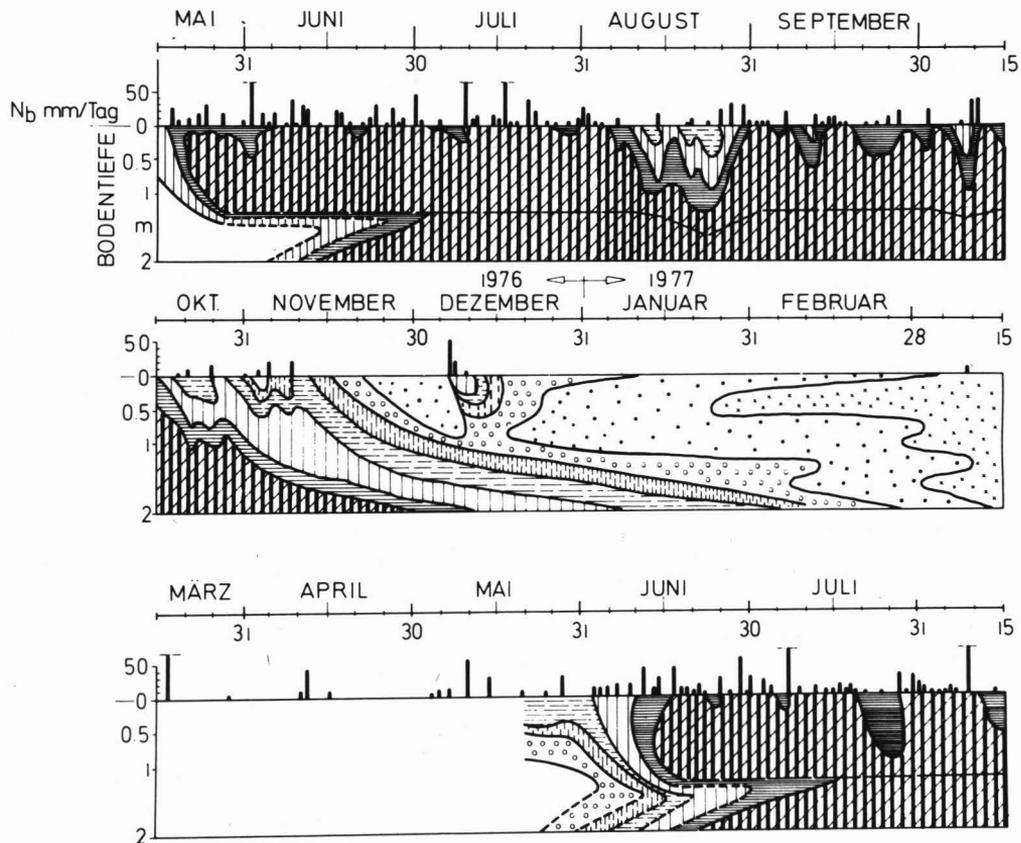
Abb. 5/3 : Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 3

einiger Tage nach den Niederschlägen wieder ab. Im Juli erreicht das Grundwasser die Lehmdedecke. Schwankungen der Vernässung zeigen sich hauptsächlich im 2. Teil der Regenzeit häufig, hauptsächlich bedingt durch Verbrauch von Stauwasser in den trockeneren Zwischenphasen. Dies fördert die Belüftung im Oberboden.

Ende Oktober ist die Lehmdedecke frei von Übersättigung; der Oberboden erreicht den PWP nach 1 1/2 monatiger Trockenzeit. Das Grundwasser sinkt bis 2 m Tiefe relativ schnell (Ende November) und danach sehr langsam ab (s. Tabelle 5/1). Der damit freiwerdende Zwischenraum bis zur Lehmdedecke enthält sehr speicherfähige Feinsandlinsen, die stark durchwurzelt sind, wobei die Wurzeln anscheinend die regenzeitliche Vernässung überleben. Für die Trockenzeit steht somit ein zusätzlicher beträchtlicher Wasserspeicher zur Verfügung. Im Profil waren die Feinsandlinsen noch gegen Ende der Trockenzeit 1976 feucht. Dagegen war schon die Lehmdedecke 1-2 Monate trocken.

Parzelle 6: In diesem Profil liegen prinzipiell ähnliche Bedingungen wie in P 5 vor. Die etwas tiefere Lage bewirkt jedoch Oberflächenwasserzufuhr und damit eine Verlängerung der Staunässe in der Lehmdedecke um 2 Monate. Das Grundwasser staut höher in die Lehmdedecke ein. Die Schwankungen der Staunässe im Oberboden sind weniger ausgeprägt, sodaß die regenzeitliche Belüftung hier noch schlechter ist als in P 5. Obwohl der Oberboden mit gleicher Geschwindigkeit wie in P 5 austrocknet, bleibt der Unterboden länger feucht. Ursache ist das langsame absinkende Grundwasser, das insgesamt hier höher steht als in P 5 (siehe Tab. 5/1). Die Austrocknung der Lehmdedecke währt ebensolang wie in P 5. Dagegen besitzt der basale Sand eine geringere Speicherkapazität (fehlen der Feinsandlinsen), sodaß trotz etwa gleiche Durchwurzelungstiefe (140 cm) die in der Trockenzeit verfügbare Wassermenge in P 6 wohl deutlich kleiner ist als in P 5.

PARZELLE 5



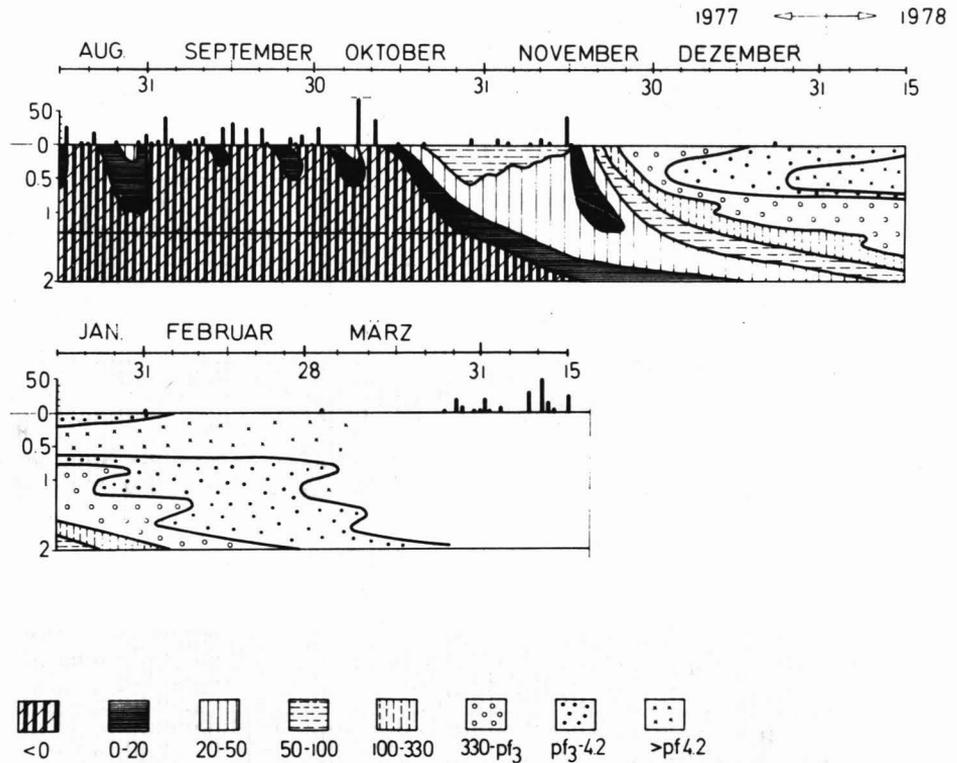
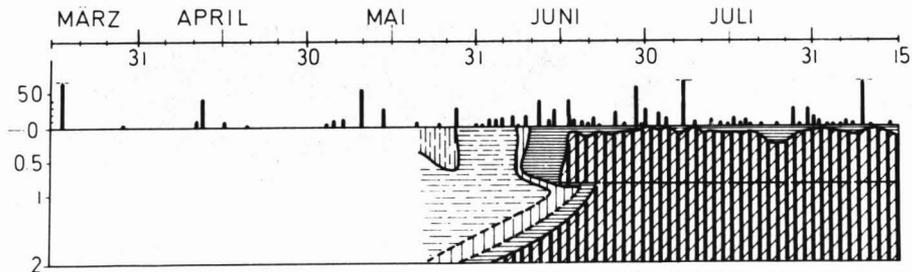
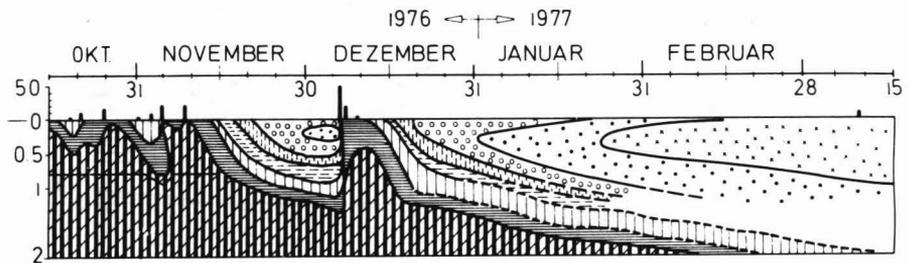
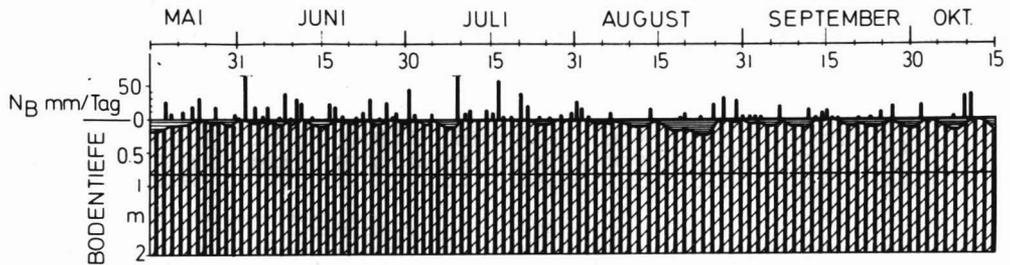


Abb. 5/4 : Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 5

PARZELLE 6



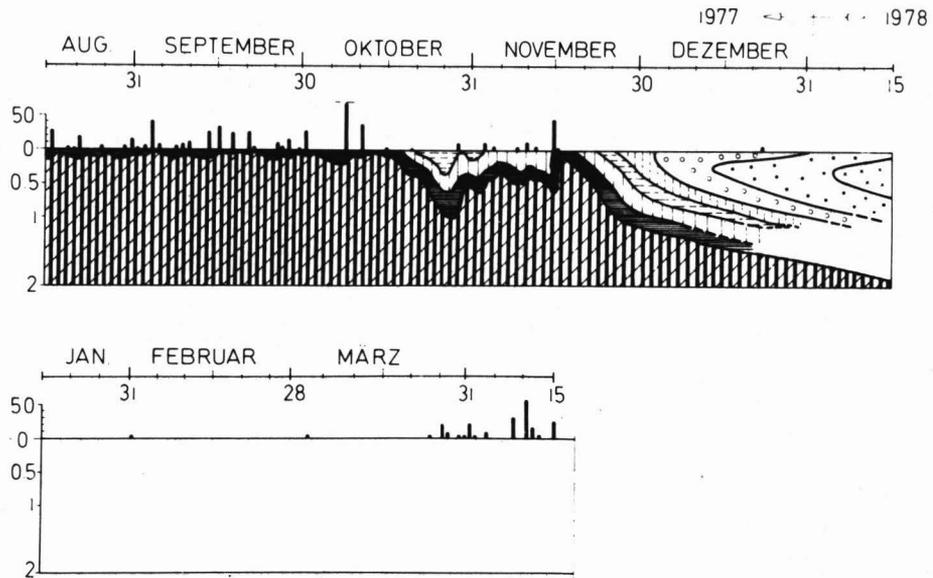


Abb. 5/5 : Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 6

5.2 Parzellen 7 - 10

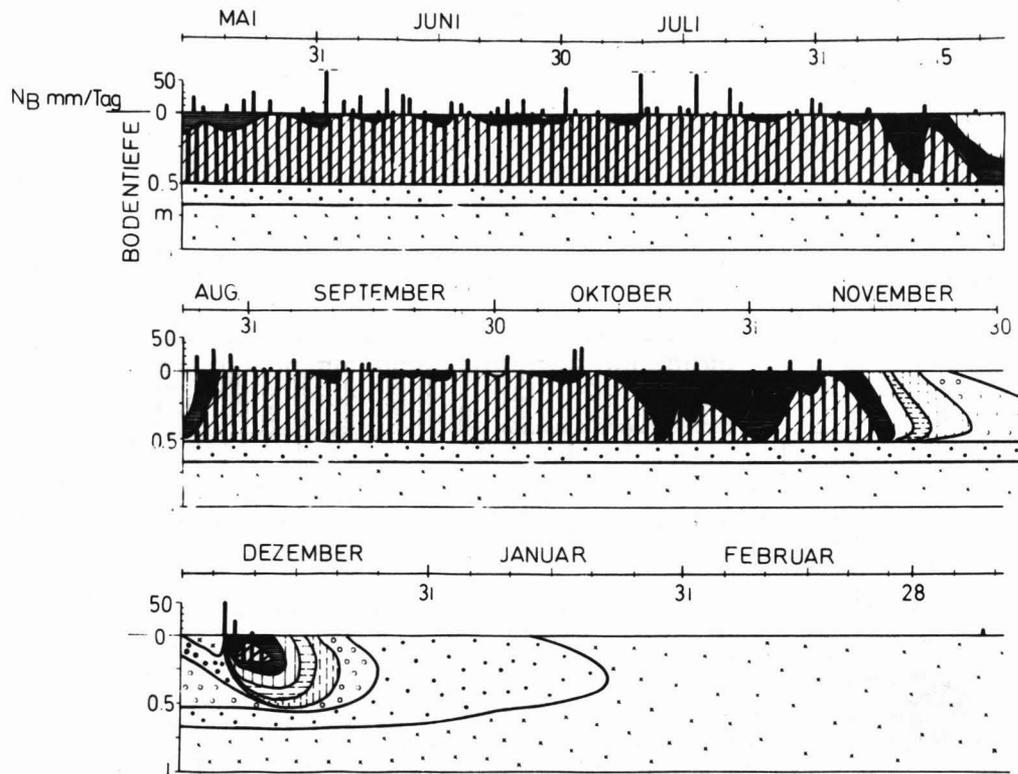
Abb. 5/6 gibt den Verlauf der Saugspannungsänderungen in Parzelle 8 wieder. Die Verhältnisse auf Parzelle 7 sind fast identisch, sodaß auf die Darstellung verzichtet werden konnte. Es gibt drei Tiefenbereiche im Boden:

- a) Saturationsbereich (0-50 cm), der während der Regenzeit voll gesättigt wird.
- b) Übergangsbereich (50-70 cm), der einen sehr steilen Gradienten des Matrixpotentials aufweist. Die Saugspannung nimmt von 0 bis 45 cm (positiver Druck) bei 45 - 50 cm Tiefe auf p_F 3 bei 65 - 70 cm Tiefe zu. Die Feuchtefront geht nicht über diese Tiefe hinaus wegen minimale Leitfähigkeit (s. 4.3.1).
- c) Ständig trockener Bereich (>70 cm).

Nach Aufsättigung des Oberbodens (Saturationsbereich) zu Beginn der Regenzeit bleibt das Stauwasser hoch und schwankt nur in den obersten 10 cm des Profils. Nur im August 1976, und dann ab Oktober findet eine Entwässerung der größten Poren statt.

Oberflächen-Stauwasser ist häufiger als in Parzellen 5 und 6 und dauert länger an. Nach höheren Niederschlägen deckt dieses Oberflächenwasser in Parzelle 8 gut 2/3 der Fläche. Es kann bis 10 cm Höhe ansteigen. In Parzelle 7 ist die Bedeckung größer (bis 95 %), die Höhe bis 20 cm. Die überfluteten Stellen von P 8 dränieren sehr schnell, sodaß nach 3 - 4 regenfreien Tagen die Fläche praktisch frei von stehendem Wasser wird. Anders in P7, wo die Senken (etwa 1/3 der Fläche) praktisch während der ganzen Regenzeit überflutet bleiben, während die Erhebungen meist frei von Überflutung sind. In dieser Hinsicht dürfte man in Parzelle 7 von zweierlei Standorten sprechen. Nach Abklingen der Regenzeit trocknet der Saturationsbereich schnell aus. Schon 3 Wochen nach dem letzten Regenfall herrschen im ganzen Profil Saugspannungen über p_F 3. Dies ist auf den geringen Mittelporenanteil des Bodens zurückzuführen. Allerdings erfolgt die Austrock-

PARZELLE 8



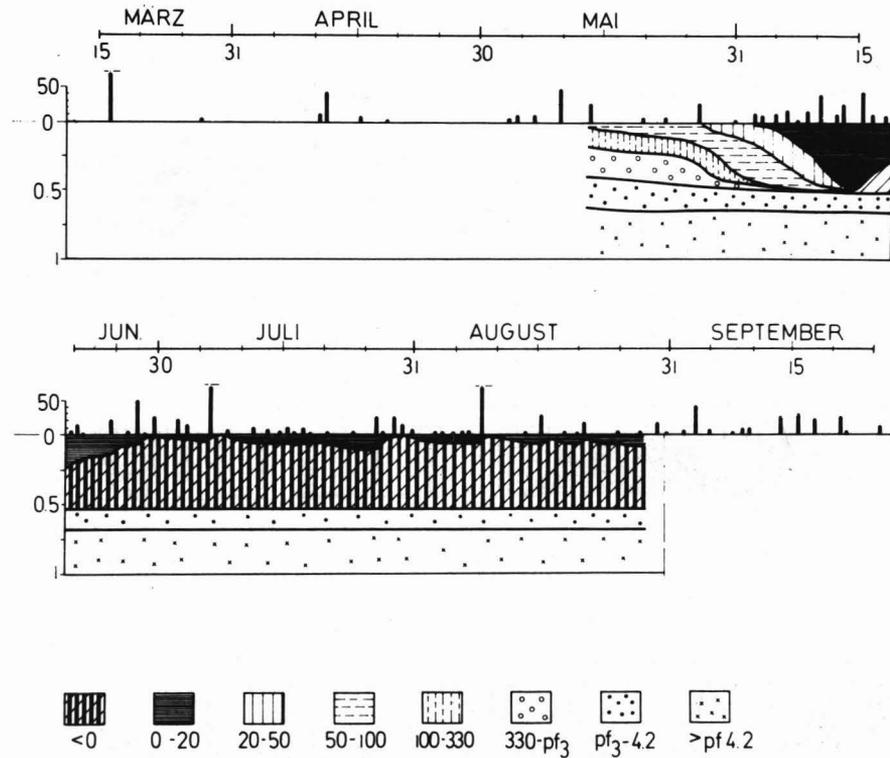


Abb. 5/6 : Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 8

nung in den länger überfluteten und unbewachsenen Senken von P7 etwas langsamer. In der Trockenzeit ist die Vegetation an die pflanzenverfügbare Speicherkapazität des Bodens angewiesen. Diese beträgt in Parzelle 7 und 8 etwa 90 mm.

In Parzelle 10 wird der Boden wegen der Oberflächenwasserzufuhr und des hohen Grundwasseranstiegs relativ früh Anfang der Regenzeit aufgesättigt und relativ spät (Oberboden) ausgetrocknet. Das Profil bleibt durchgehend mit sehr hoher Sättigung während der ganzen Regenzeit und wird im ersten Teil der Regenzeit ständig mit schnell fließendem Wasser (10-20 cm) überflutet. In der Trockenzeit sinkt das Grundwasser langsam und bleibt insgesamt hoch. Die Belüftung ist im Vergleich zu P7 und 8 wegen der ständigen Überflutung noch schwächer; dagegen ist eine ausreichende Wasserversorgung für die Pflanzen in der Trockenzeit trotz der sehr flachen Durchwurzelung zu vermuten.

Durch die Buschwaldparzelle 9 fließt das Oberflächenwasser des umgebenden Hochwaldgebiets in der Regenzeit. Von Mai bis Anfang August 1976 war eine ununterbrochene Überflutung mit schwankender Wassertiefe zwischen 20 und 50 cm zu verzeichnen. Im September und Oktober trat nochmal Überflutung in geringerem Ausmaß auf. Bei Absinken des Wassers bleibt an den tieferen Stellen Stauwasser zurück, das erst im Laufe der Trockenzeit verschwindet.

5.3 Parzellen 2 und 1

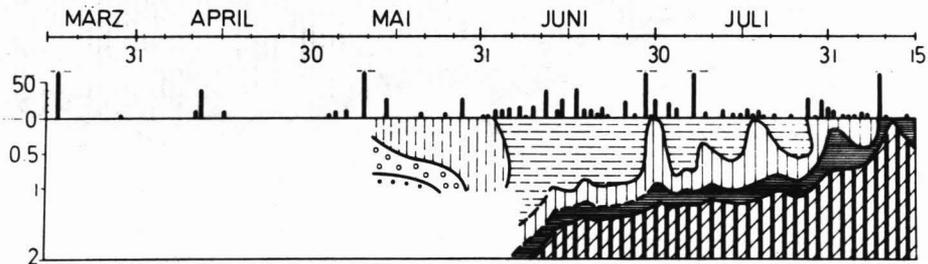
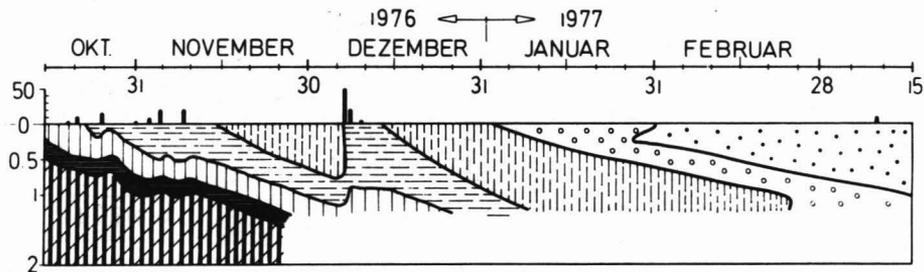
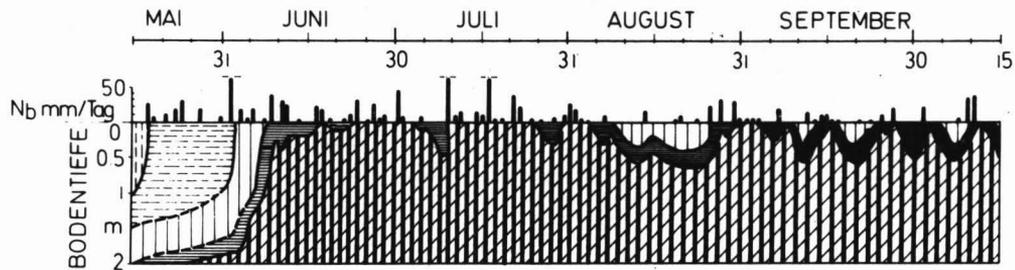
Parzelle 2: Dieses Profil mit seiner tiefliegenden Stauwassersohle und seinem speicherfähigen, durchlässigen Oberboden bildet mit dem Beginn der Regenzeit zunächst in größerer Tiefe ein Grundwasser, welches dann m. o. m. schnell auf eine Mindesttiefe von 50 cm ansteigt (Abb. 5/7). In den folgenden 4 bis 5 Monaten (Juni bzw. Juli bis Oktober) schwankt der Stand dieses oberflächennahen

Grundwassers je nach Höhe und Häufigkeit der Niederschläge zwischen 50 cm und der Bodenoberfläche. Diese Schwankungen und der Grobporenreichtum des Bodens garantieren eine ausreichende Belüftung.

Bei hohem Stauwasser und starkem Regen tritt Oberflächenabfluß und kurzfristig und stellenweise Überflutung auf. Am Ende der Regenzeit sinkt das Stauwasser langsam ab und nach etwa 1 Monat Trockenzeit liegt der Stauwasserspiegel bei 2 m Tiefe. Der pflanzenverfügbare Wasservorrat im Boden bis zur maximalen Durchwurzelungstiefe (180 cm) beträgt 430 mm. Infolge seiner beträchtlichen Wasserspeicherkapazität trocknet der Boden sehr langsam aus, und nur in trockenen Jahren wird der FWP kurz vor Einsetzen der nächsten Regenzeit erreicht. Hier dürfte die Vegetation praktisch nie an Wassermangel leiden.

Parzelle 1: Im Juni und Juli des feuchten Jahres 1976 baut sich das Stauwasser über der in 1 m Tiefe liegenden Stauwassersohle schnell bis zu einem Schwankungsbereich zwischen 10 und 0 cm Tiefe auf. Sonst ist der Boden durch eine sehr starke regenzeitliche Schwankung des Stauwassers zwischen 20 und 70 cm gekennzeichnet. Im Gegensatz zum Profil 2 liegt den Sättigungsbereich zwischen 20 und 50 cm Wassersäule der Anteil wasserfreien Grobporen sehr viel niedriger (7 Vol% bis 20 cm, 3-5 Vol% bis 70 cm, 2 Vol% bis 100 cm), was dann praktisch für die ganze Regenzeit doch eine suboptimale Luftversorgung bedeutet.

Die Austrocknung des Bodens erfolgt langsam. Der FWP wurde in der kurzen Trockenzeit 1976-77 erst 2 Wochen vor Einsetzen der Regenzeit erreicht. In trockenen Jahren dürften hier die Pflanzen, die nur oberhalb der Stauwassersohle wurzeln, etwa 1 Monat an Wassermangel leiden, während für diejenigen, die bis 150 cm tief wurzeln, die Wasserversorgung gesichert sein dürfte.



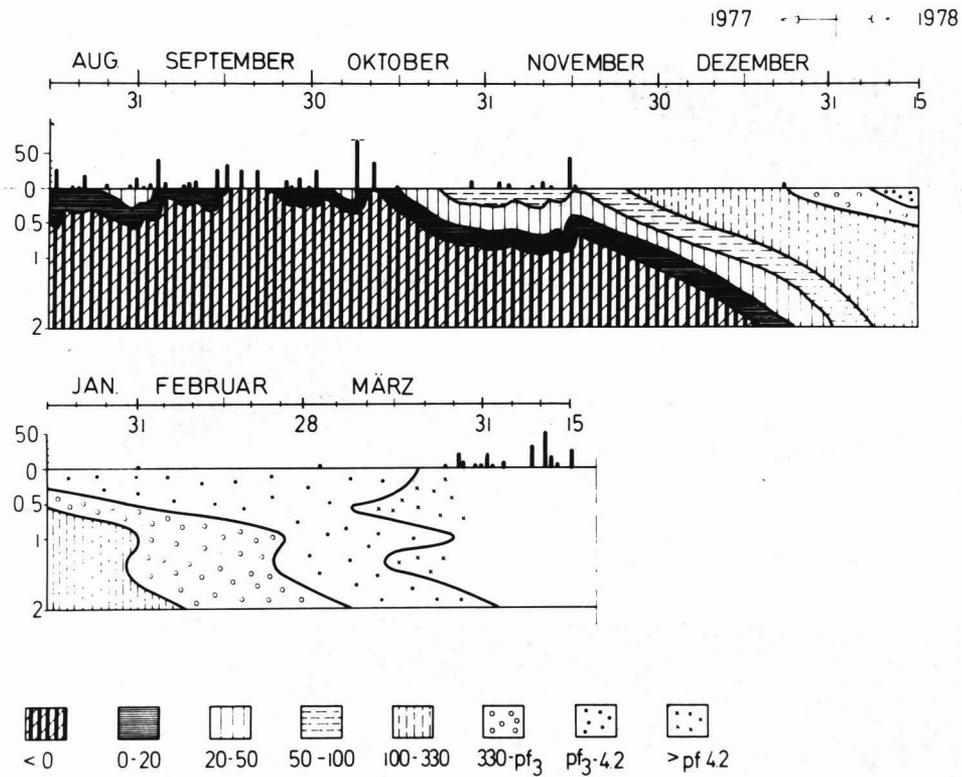
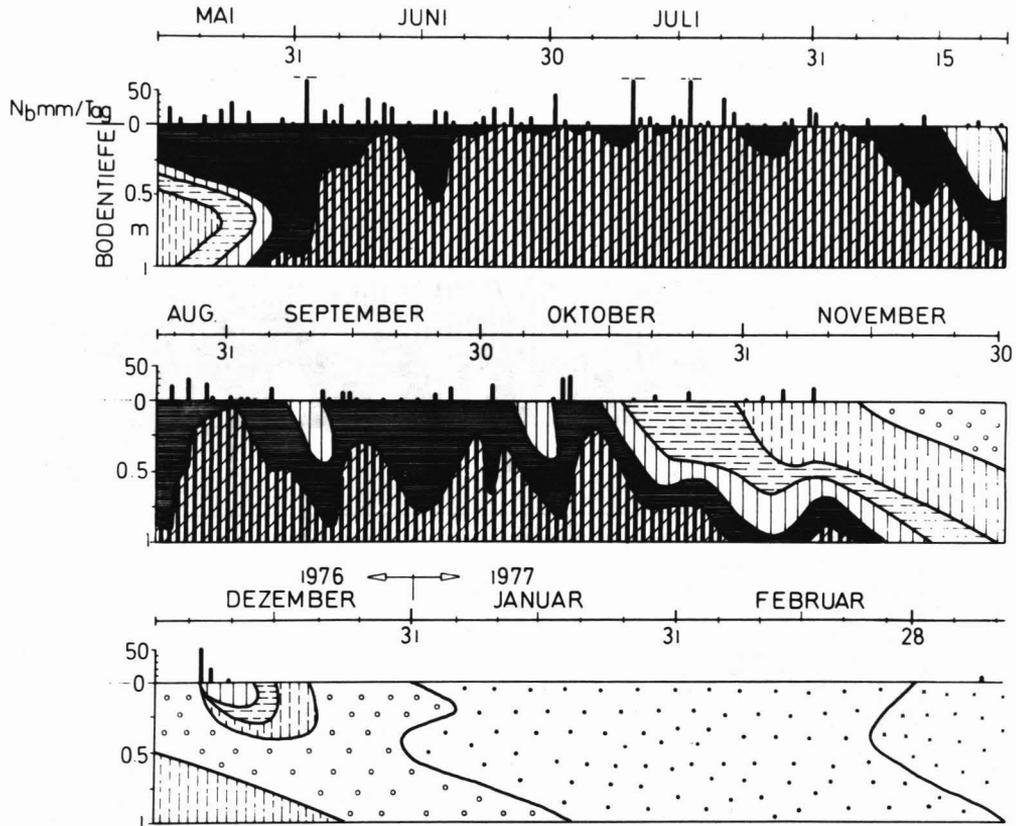


Abb. 5/7 : Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 2

PARZELLE 1



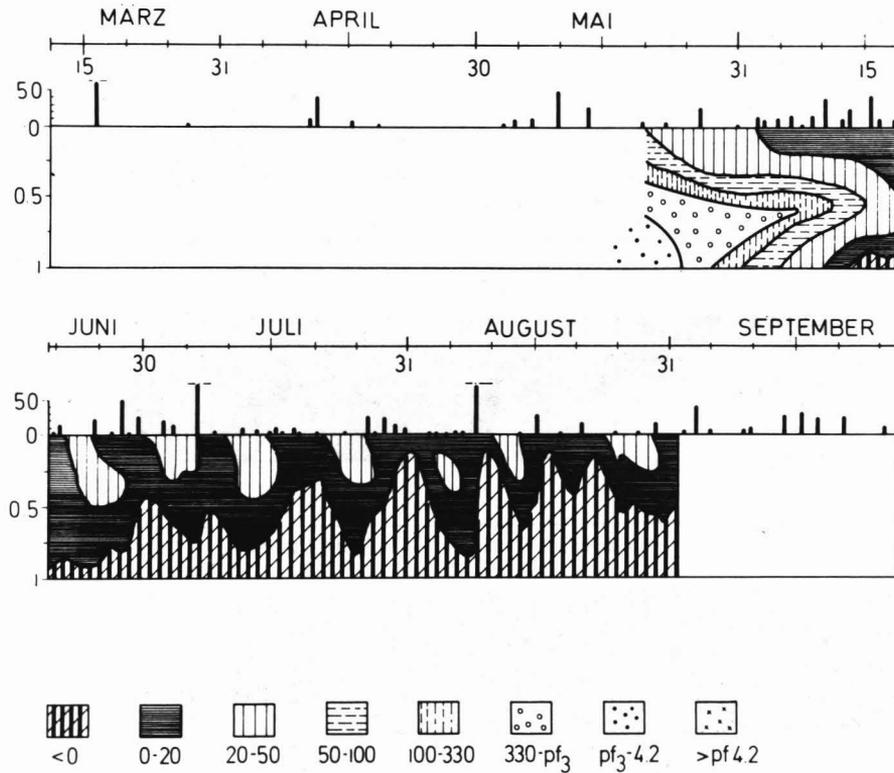


Abb. 5/8 : Zeitliche Veränderungen des Saugspannungsfeldes in Parzelle 1

Tabelle 5/1: Grundwassermessungen (Tiefe in m.)

Zelle	1976													1977						
	15.3	9.4	6.5	23.5	12.6	27.6	13.7	21.7	8.8	24.8	5.9	22.9	12.10	17.11	27.11	9.12	9.1	9.2	10.3	2.4
3	4.0	4.3	3.6	3.5	3.1	2.6	1.9	1.8	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.2	2.4	3.0	3.2
4	4.0	4.3	4.0	3.8	3.7	3.3	2.9	2.4	1.8	2.0	1.7	1.6	1.7	2.2	2.3	2.4	2.7	3.0	3.5	3.7
5	3.5	3.8	2.9	2.7	2.2	Grund- und Stauwasser im Oberboden								1.6	1.9	2.1	2.5	2.6	2.8	3.2
6	2.5	3.0	2.5	2.2	1.8										1.2	0.5	1.6	2.0	2.3	2.8
7	3.0	3.4	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.2	3.5	?				
8	3.5	3.6	3.1	2.8	2.7	2.7	2.9	3.0	3.0	3.2	2.8	2.5	2.6	3.0	3.2	?				
10	2.5	2.8	2.5	2.3	2.0	1.6	1.1	1.3	0.8	0.8	0.6	0.7	0.8	1.4	1.7	1.7	1.7	2.0	2.3	2.6

6. BLATTWECHSEL, STREUFALL UND STREUABBAU ALS FUNKTION DES STANDORTES

6.1. LAUBFALL-CHARAKTERISTIKA DER BAUMARTEN

6.1.1. Einführung

In den Laubwäldern der feuchten und wechselfeuchten Tropen werden sehr unterschiedliche Blattwechsel-Verhalten beobachtet. Von kontinuierlichem Blattwechsel bei stets voll belaubter Krone bis zu regelmäßig vollständigem Laubfall mit kurz oder langfristig kahler Krone gibt es ein breites Spektrum möglicher Verhaltensweisen. Kontinuierlicher Blattwechsel findet sich in der Regel in Gebieten mit hohem Niederschlag und wenig ausgeprägter Trockenzeit, während zeitliche Konzentration des Blattwechsels sowie periodisch kahle Baumkronen mit abnehmenden Niederschlägen und länger werdender Trockenzeit zunehmen (BEARD, 1946; RICHARD, 1957; WALTER, 1973). Der Blattfall wird durch physiologische Prozesse in der Pflanze erzeugt; diese können durch Änderungen der Umwelt ausgelöst werden (ADDICOTT, 1973). In den gemäßigten Breiten ist der herbstliche Laubfall zweifellos auf Temperaturabfall und abnehmende Tageslänge zurückzuführen (ESCHRICH, 1972). In den wechselfeuchten Tropen steht der verstärkte oder vollständige Blattfall in Beziehung zum Abklingen des Niederschlags, zu zunehmender Sonneneinstrahlung, Absenkung der Luftfeuchtigkeit und Austrocknung des Bodens, ohne daß über die auslösenden Faktoren oder die steuernden Mechanismen bisher Klarheit bestünde. In tropischen Wäldern beobachtet man das Maximum des Laubfalls meist gegen Mitte oder Ende der Trockenzeit (MEDINA, 1968; DAUVENMIRE, 1972; BERNHARD-REVERSAT et al., 1972; MALAISSE, 1972; PETIT et al., 1973; GORDON et al., 1974; FÖLSTER & DE LAS SALAS, 1976; DEVINEAU, 1976; FOURNIER, 1976; a. a.).

Das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit zeigt bioklimatische Merkmale der wechselfeuchten Randtropen (Feuchtsavannenklima nach TROLL, 1963; s. 2.1.). Die Wirkung der ausgeprägten, 3-4monatigen Trockenzeit kann aller-

dings je nach den sehr wechselhaften Bodenverhältnissen entweder voll zur Geltung kommen oder aber sehr abgemildert werden. Dadurch ist die Voraussetzung für das kleinräumige Nebeneinander von sehr unterschiedlichem Laubfall-Verhalten von Waldbeständen im gleichen Klimaraum gegeben.

Eine Teilaufgabe dieser Arbeit bestand darin,

- a) die jahreszeitliche Verteilung des Blattfalls dieser unterschiedlichen Waldbestände zu untersuchen und in Beziehung zum standörtlich wechselnden Bodenfeuchte-regime zu setzen (s. 6.3.), sowie
- b) der Frage nachzugehen, inwieweit der unterschiedliche trockenzeitliche Belaunungsgrad der verschiedenen Bestände mit einem strengen Wechsel in der Baumartenzusammensetzung einhergeht, d. h. ob die Baumarten ein (genetisch) fixiertes Verhalten zeigen und sich dementsprechend auf die ihnen gemässen Standorte zurückziehen (s. 6.1.2., 6.2.).

6.1.2. Verhalten der Baumarten

Aus den nur unvollständig ausgewerteten Daten der 1. Beobachtungsperiode (1969-72, s. PETIT et al., 1973) konnte bereits geschlossen werden, daß die Baumarten hinsichtlich ihres Laubfall-Verhaltens nicht durchweg festgelegt sind. Zur folgenden Auswertung werden diese sehr umfangreichen Beobachtungen allerdings nur bedingt herangezogen, da die Lokalitäten der Einzelbäume hinsichtlich ihres Bodenstandortes nicht ausreichend definiert waren. Die eigenen Beobachtungen entlang dem Transekt Pica 8 sind im einzelnen im Anhang VI aufgeführt. Aus ihnen ergibt sich, daß zwei Gruppen von Baumarten ein regelmäßiges, bei allen Individuen (überall dort, wo sie auftreten) beobachtetes Verhalten zeigen:

- a) immergrüne Baumarten mit trockenzeitlich mehr oder minder voller Belaubung, und
- b) laubwerfende Baumarten mit trockenzeitlicher Kahlperiode.

Baumarten dieser beiden Gruppen zeigten ihr typisches Verhalten auch während der genannten ersten Beobachtungsperiode.

de 1969-72. Diese beiden Gruppen werden im folgenden als obligatorisch immergrün (a) und obligatorisch laubwerfend (b) bezeichnet. Zwangsläufig handelt es sich hier um tentative Arbeitsbegriffe, da die Beobachtungen regional und zeitlich (ca. 5 Jahre) begrenzt sind. Ihre Benutzung scheint trotzdem gerechtfertigt, da eine eindeutige Anwendung dieser Begriffe wohl eine Kenntnis der Auslöser und Mechanismen des Laubfalls in den Tropen voraussetzt, von der man noch weit entfernt ist.

Bei den obligatorisch immergrünen Arten ist in ausgeprägten Trockenzeiten eine gewisse Ausmagerung der Krone durch Verlust von Lichtblättern möglich.

Bei den obligatorisch laubwerfenden Arten erfolgt der Laubfall kurzfristig und konzentriert an allen Individuen, jedoch möglicherweise zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Die Kahlperiode kann deshalb lang (über 16 Wochen bei Saquisaquí, Cedro und Marajagua¹) oder kurz (4 Wochen bei Jobo, Lechero, Mora und Murcielago¹) sein. Einige von diesen Arten wurden vollständig kahl erst nach fortgeschrittener Bodenaustrocknung (Mora, Lechero, Marajagua, Cedro, Jobo¹), während bei anderen (Saquisaquí, Murcielago¹) der Laubfall bereits bei noch ausreichend gefülltem Bodenwasserspeicher stattfand (Abb. 6/1).

Von der Gesamtzahl der beobachteten Arten (64) gehören zu den beiden genannten Gruppen a und b je 28 %. Sie sind mit ihren Lokalnamen in Tabelle 6/1 aufgeführt. Unsicherheiten in der Zuordnung - meist wegen ungenügender Anzahl von Beobachtungsbäumen - werden durch Fragezeichen angedeutet. Es handelt sich hier um Arten geringer Präsenz.

36 % der Arten zeigen kein eindeutiges Verhalten; sie werden als fakultativ laubwerfend (c) bezeichnet. Es handelt sich um Arten, die je nach Standort, Kronenstand oder Jahr deutliche Unterschiede im Grad und/oder Zeitpunkt der Entlaubung zeigten. Bei einem großen Teil der betroffenen Bäume wird die Krone nur kurzfristig (≈ 4 Wochen) teilweise oder vollständig kahl, während gleich-

zeitig Individuen derselben Arten auf frischen Standorten oder im unteren Stockwerk immergrün blieben. Dies kann als allgemeine Tendenz für diese Artengruppe bezeichnet werden: Je trockener der Standort (in der Trockenzeit) bzw. je höher und freier die Krone im Kronenverband, desto stärker und konzentrierter erfolgt der Blattfall. Ebenfalls wurden in dieser Gruppe auch Arten eingeordnet, von denen einige Individuen z. T. mehrmals im Jahr kurzfristig kahl wurden (Cocoemono, Palo de agua, Masaguaro).

Abb. 6/1 zeigt für Arten aus den 3 Gruppen gemittelte Zeitkurven der Entlaubung für das Jahr 1976/77 zusammen mit weiteren phänologischen Beobachtungen (Blühtermin, Frucht- und Fruchtfall-Zeiten) sowie der Verteilung von Sonnenscheindauer, Niederschlag und wasser- spannung im Boden.

1) Botanische Namen im Anhang II.

TABELLE 6/1: Gliederung der Baumarten nach ihrer Laubfall-
Charakteristika *

Obligatorisch laubwerfend:

-Campanito	-Matapalo
-Canafistola	-Mapurito
-Caruto	-Mora
-Casildo	-Maurciélago
-Cedro	-Rejito
-Cuero de sapo (Marajagua)	-Saquisaqui
	-Urero
-Jobo	-Zapato cacho
-Jebecito	-Zqrrocloco

.....
Fakultativ laubwerfend:

-Caimito	-Guácimo blanco	-Pardillo
-Candilero	-Guácimo colorao	-Peluito
-Casabe	-Guamos	-Perguétamo
-Cedrillo	-Guayabón	-Pica-pica
-Ceiba	-Hueso de pescao	-Roble
-Cojón de berraco	-Laurel amarillo	-Tachuelo
-Coco de mono	-Masaguaro	-Tasajo
-Drago	-Mortino	-Yagrumo
-Gateado	-Onoto	-Yátago (?)
-Guácimo	-Orura barrialera	
	-Palo de agua	

.....
Immergrün:

-Cacaito quiebrahacha	-Guaramaco (?)
-Cachito (?)	-Guayabito
-Charo	-Higuerón
-Charo amarillo	-Mamoncillo (?)
-Charo negro	-Palo de Maria
-Chupón	-Triaco
-Guanábano de monte (?)	-Trompillo

Palmen:

-Palma de agua
-Palma real
-Palma sarare

* Aufgrund der eigenen und von Instituto de Silvicultura (Mérida-Venezuela) durchgeführten phänologischen Beobachtungen (1969-72 und 1976-77). Botanische Namen der Baumarten im Anhang II).

6.2 Zusammensetzung der Parzellenbestände aus phänologischen Artengruppen

Das Mischverhältnis der drei Laubfall-Gruppen obligatorisch immergrün, fakultativ und obligatorisch laubwerfend sowie der Palmen bestimmt den **physiognomischen** Charakter des Bestandes. Dabei muß berücksichtigt werden, daß die fakultativen Arten je nach ihrer Tendenz (zu immergrün oder laubwerfend) und Abundanz wirken. Bestände mit vorwiegend immergrünen Baumarten, meist gleichzeitig reich an Palmen, nehmen den Charakter immergrün an, während die Bestände mit viel obligatorisch laubwerfenden Arten, meist arm an Palmen, den Charakter laubwerfend aufweisen. Dazwischen gibt es alle Übergänge.

Zur Quantifizierung dieses **physiognomischen** Charakters von Beständen kann die trockenzeitlich beobachtbare Entlaubung (VINCENT, 1970, s. auch 2.4 und 4.1) oder das Mischungsverhältnis der Artengruppen herangezogen werden. Aus Gründen, die später zu diskutieren sind, ist hier der letztere Weg beschritten worden. Wobei ein einfacher quantitativer Ausdruck für diesen Zweck notwendig ist.

Dazu wurden zunächst die Parzellen nach der Abundanz der verschiedenen Gruppen geordnet: (**Individuen/Parzelle**)

a) Nach Palmenabundanz

Parzelle	2	1	6	7	5	3	4	8
Palmenzahl	32	29	23	22	19	17	10	7

b) Nach der Abundanz der Gruppe obligatorisch immergrün

Parzelle	6	2+3+5	7	4	1	8
Immergrün	15	9	8	7	2	1

c) Nach der Abundanz der Gruppe fakultativ laubwerfend

Parzelle	7	8	5	4	2	3+6	1
Fakultativ	48	42	34	29	22	20	14

d) Nach der Abundanz der Gruppe obligatorisch laubwerfend

Parzelle	8	7	4	3	1+6	5	2
Laubwerfend	50	26	15	14	11	8	4

Nach Anregung von Frau Prof. Dr. Jahn (Institut für Waldbau, Universität Göttingen) wurde die Artenmischung zu einem Index verarbeitet. Und zwar wurden zunächst für die verschiedenen Gruppen als Multiplikatoren die Zahlen 1 für die Gruppe obligatorisch laubwerfend, 2 für die Gruppe fakultativ laubwerfend, 3 für die Palmen und 4 für die Gruppe obligatorisch immergrün zugeteilt. Die Abundanz jeder Gruppe wurde mit ihrem entsprechenden Multiplikator multipliziert, alle 4 Produkte wurden addiert und durch die gesamt Individuenzahl der Parzelle geteilt. So entstand ein Wert, der zwischen 1 und 4 schwanken kann. 1 wäre für einen nur aus obligatorisch laubwerfenden und 4 für einen nur aus obligatorisch immergrünen Baumarten bestehenden Bestand kennzeichnend. Werte zwischen diese Extremen zeigen die Tendenz der Mischungsverhältnisse der Gruppen im Bestand.

Die Multiplikatoren wurden auf diese Weise zugeteilt aufgrund folgender Überlegung: Die Gruppe obligatorisch laubwerfend bildet wegen ihres Laubfall-Verhaltens ein Extrem, die Gruppe fakultativ laubwerfend einen Übergang. Die Palmen, die auch obligatorisch immergrün sind, kommen in einen breiteren Standortspektrum als die obligatorisch immergrüne Arten vor; deshalb scheint es durchaus gerechtfertigt zu sein, ihnen eine verringerte Aussagekraft als Standort-Indikator (im Vergleich zu den immergrünen) zuzuordnen. Infolgedessen wurde der andere Extremwert (4) der Gruppe obligatorisch immergrün zugeteilt.

Als Ausgangswert für Artengruppen wurden sowohl Abundanz wie Dominanz benutzt. Die Berechnungstabellen finden sich im Anhang VII, die berechneten Indices in Tab. 6/2.

Tabelle 6/2 : Artengruppen - Index von Parzellenbeständen zur Beschreibung ihres blattphänologischen Verhaltens, berechnet nach Abundanz (a) und Dominanz (b).

Parzelle	2	6	5	1	3	4	7	8
a)	2.69	2.61	2.41	2.39	2.35	2.15	2.12	1.59

Parzelle	2	6	5	1	3	7	4	8
b)	2.89	2.78	2.47	2.21	2.0	1.92	1.90	1.54

Diese Anordnung der Parzellen läßt eine deutliche Anpassung an die hydrologische Gunst bzw. Ungunst des Standortes erkennen. Die immergrünen Arten und Palmen häufen sich - und das entspricht dann häufig auch höherer soziologischer Stellung im Bestand - auf den trockenzeitlich besser mit Wasser versorgten Standorten. Dagegen spielen die obligatorisch laubwerfenden Arten die Hauptrollen auf den trockenzeitlich schlecht mit Wasser versorgten Standorten, auch wenn sie regenzeitlich an wasserüberschuß leiden. Diese Beziehung wird später eingehender zu diskutieren sein.

wie eng die Beziehung zwischen dem so gewonnenen Index und dem tatsächlichen Entlaubungsgrad während der Trockenzeit ist, läßt sich nicht sagen, weil die Zahl der Parzellen zu klein ist. wegen der Subjektivität bei der Bestimmung des prozentualen Entlaubungsgrades von Kronen und der Festlegung des Zeitpunktes dieser Bestimmung kann zumindest eine geringe Streuung der wertepaare nicht erwartet werden. Aus der Kenntnis des Entlaubungsverhaltens der untersuchten Parzellen kann tentativ die Grenze zwischen **saisonal** immergrünen und teillaubwerfenden Beständen etwa beim Index 2.4 (a und b), diejenige zwischen teillaubwerfenden und laubwerfenden Beständen etwa bei 2.2 (a) bzw. 2.0 (b) angesetzt werden. Auch die Entscheidung ob nun Abundanz oder Dominanz die bessere Berechnungsgrundlage darstellt, sollte ohne Berücksichtigung einer größeren Parzellenzahl nicht endgültig getroffen werden. Für die Dominanz spricht außer einer gewissen Spreizung der Variationsbreite auch die stärkere Berücksichtigung des oberen Stockwerkes.

6.3. STREUFALL DER PARZELLENBESTÄNDE

6.3.1. Jahresgang des Streufalls

Der Streufall der Parzellenbestände wurde durch 10 Streufänger je Fläche qualitativ (nach Blättern, Blüten, Früchten, Zweigen) und quantitativ erfaßt. Abb. 6/2 stellt die 2-wöchigen Blattstreuungen in allen Flächen und ihre Beziehung zum Niederschlag von März 1976 bis Juni 1977 dar. Daraus geht folgendes hervor:

- a) Die zeitliche Verteilung des Streufalls ist recht ähnlich in allen Flächen unabhängig von dem trockenzeitlichen Belaubungsgrad der Bestände. Überall findet sich ein deutlich ausgeprägtes Maximum in der Trockenzeit.
- b) Außer dem trockenzeitlichen Maximum lassen sich 3 kleine regenzeitliche Phasen höheren Streufalls erkennen:
 - November 76: Diese Phase folgt dem Oktober-November Tief des Niederschlags, fällt z. T. mit diesem noch zusammen oder mit einem folgenden Großregen Anfang Dezember. Diese Phase ist auf allen Flächen vorhanden und auch gegenüber dem jeweils davor liegenden Termin statistisch abgesichert (Anhang VII).
 - Juli - August 76: Dieses zweitstärkste der regenzeitlichen Maxima ist eigentlich ein zweistufiger Anstieg folgend einer kurzen Trockenphase Ende Juli und dann einer stärkeren Trockenphase im August. Die Parzellen 1, 3 und 8 reagieren bereits stärker in der ersten Phase, Parzellen 2, 5, 6 und 7 dagegen in der zweiten. In Parzelle 4 steigt der Laubfall bis in den September hinein. In den meisten Parzellen ist der eine oder der andere, in P4 sind beide **zusammen** gesichert (Ausnahmen P3) (s. Anhang VII).
 - Mai 76: Ein kleiner Anstieg, nirgendwo gesichert, ist in P 1 - 4 zu erkennen.

Offensichtlich besteht also auch in der Regenzeit eine enge Beziehung zwischen den Schwankungen der meteorologischen Bedingungen und dem Blattfall (s. Diskussion).

CAPARO - VENEZUELA

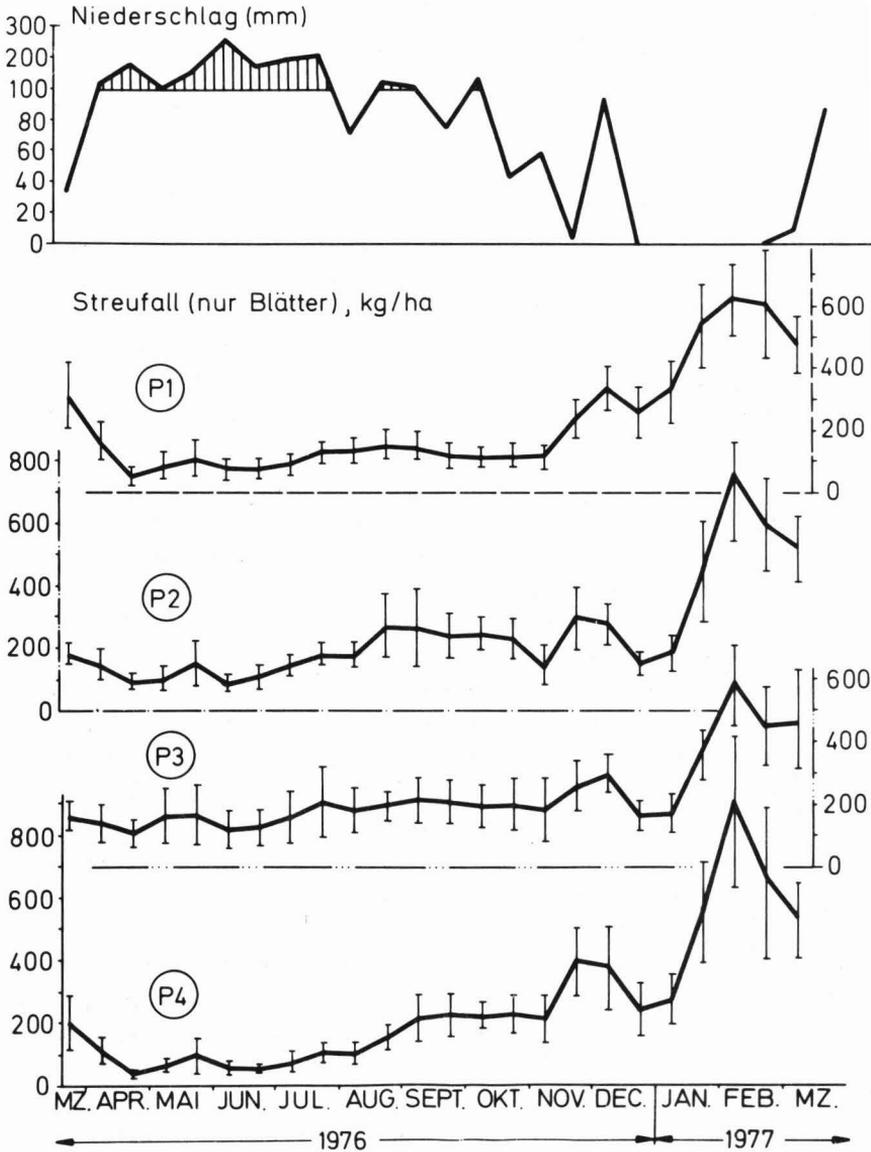


Abb. 6/2 : Blattstreufall, jahreszeitl. Wechsel - Niederschlag (mit 5%-Irrtungswahrscheinlichkeit gesicherte Standard Abweichung)

CAPARO - VENEZUELA

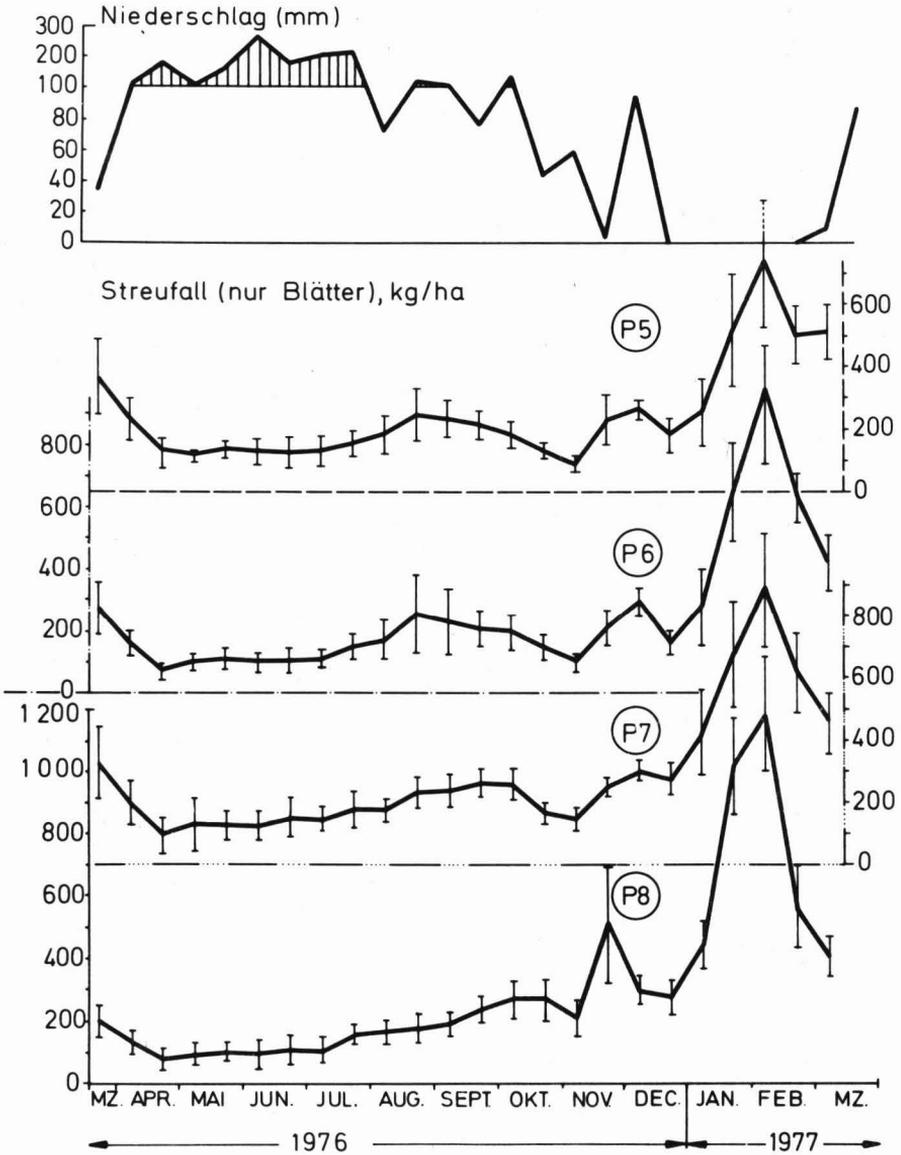


Abb. 6/2 : Blattstreufall, jahreszeitl. Wechsel - Niederschlag (mit 5%-Irrtungswahrscheinlichkeit gesicherte Standard Abweichung)

Der Jahresgang der Streu von Zweigen und der von Blüten und Früchten wird in den Abb. 6/3 und Abb. 6/4 dargestellt. Der Zweigstreufall folgt eng dem Blattstreufall. Sein Maximum liegt Ende Februar - Anfang März, etwa 2 Wochen nach dem Blattfallmaximum. Abb. 6/5 stellt die Korrelation zwischen beiden Streufraktionen dar. Die Kurven der Blüten und Früchte zeigen z. T. beträchtliche Unterschiede von einer Parzelle zur anderen, was auf die unterschiedlichen Gewichte der Früchte und Fruchtreifezeiten der Arten und auf den Wechsel in der Artenzusammensetzung zurückzuführen ist. Trotzdem ist die allgemeine Tendenz eine Häufung des Fruchtfalls in der Trockenzeit. Obwohl die Blattstreufallkurven bei allen Beständen recht ähnlich aussehen, treten doch Unterschiede zwischen den Parzellen auf, wenn die regenzeitlichen bzw. trockenzeitlichen Prozentanteile der jährlichen Blattstreu verglichen werden. In der Tabelle 6/3 wird die Blattstreu in % der jährlichen Blattstreu, für die regenreichste Periode (15.3.-31.7.76), die gesamte Regenzeit (15.3.-15.11.76) und die Trockenzeit (15.11.76-15.3.77) dargestellt. Da kommt zum Ausdruck, daß die beiden extrem laubwerfenden Bestände (P4 und P8) die niedrigsten Werte für die Regenzeit und die höchsten für die Trockenzeit aufweisen. Dagegen haben die Parzellen 2, 3 und 5 die höchsten Werte für die Regenzeit bzw. die niedrigsten für die Trockenzeit. Bestände mit ausgeprägt laubwerfenden Charakter lassen nur etwa 1/3 der gesamten jährlichen Blattstreu während der Regenzeit (3/4 des Jahres) fallen und konzentrieren den größten Teil auf die Trockenzeit. Bestände mit immergrünen bzw. teillaubwerfenden Charakter haben eine gleichmäßigere Verteilung von etwa 50 % in der Regen- bzw. Trockenzeit.

Tabelle 6/4 bringt eine kurze Übersicht über die Streuverteilung im Jahr (Regenzeit und Trockenzeit bzw. regenarmer Jahreszeit) in einigen tropischen Wäldern. In humiden, immergrünen Regenwäldern und Bergwäldern ist die Verteilung des Streufalls zeitmäßig uniform. In 2/3 des Jahres

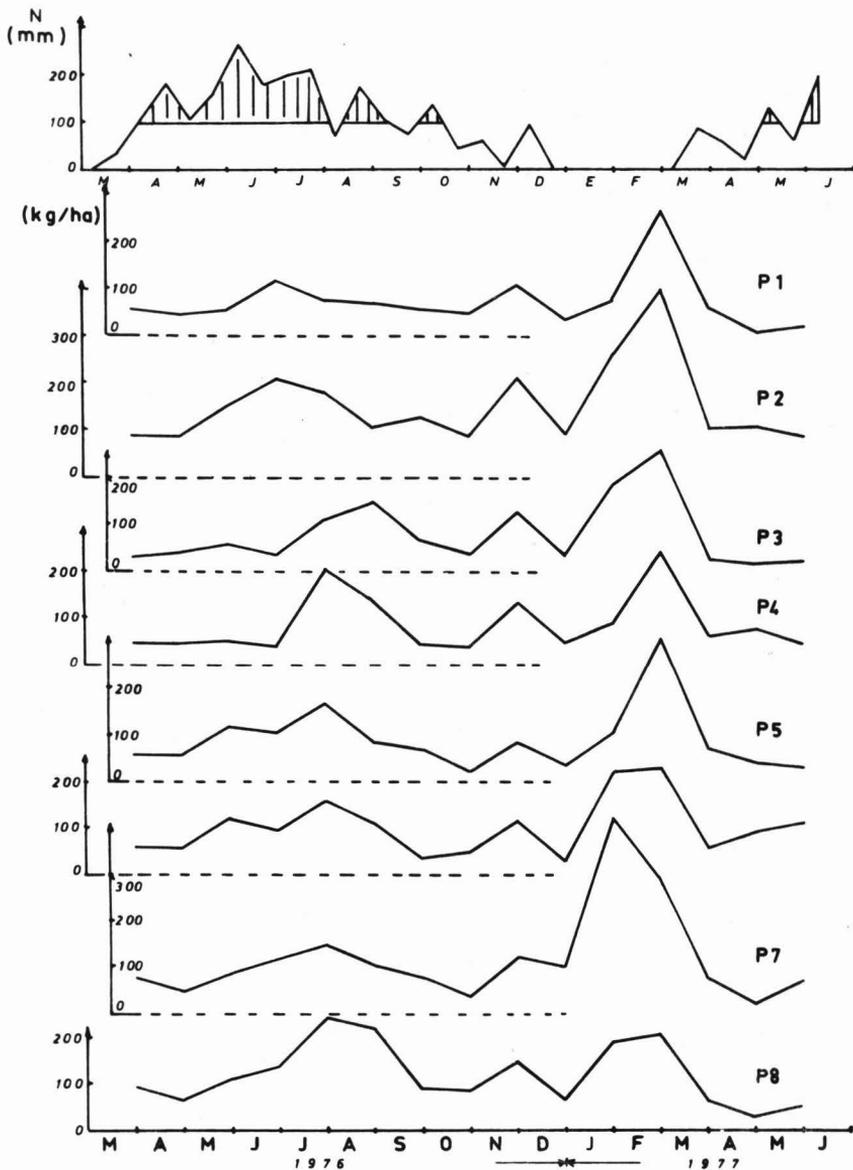


Abb. 6/3 : Zweigstreufall, jahreszeitlicher Wechsel - Niederschlag

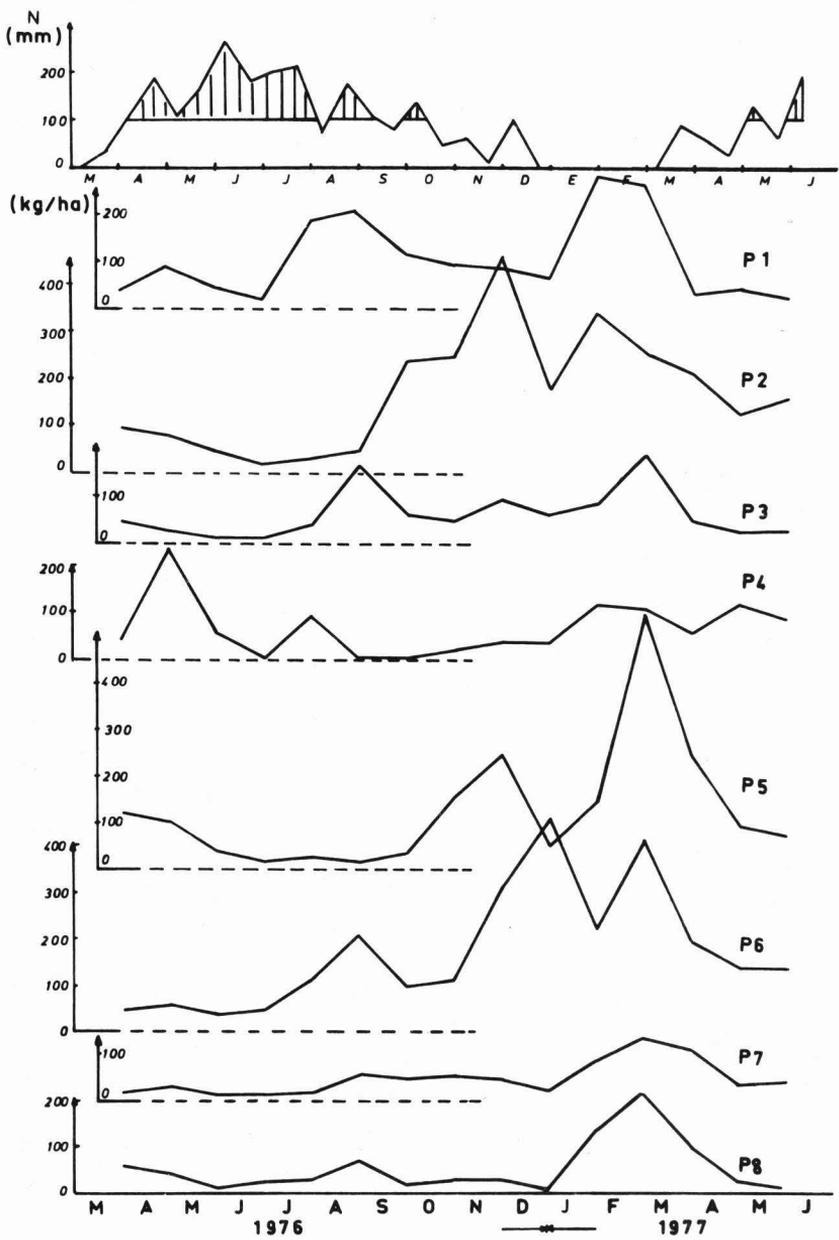


Abb. 6/4 : Blüte-Früchte-Streufall, zeitl. Wechsel-Niederschla

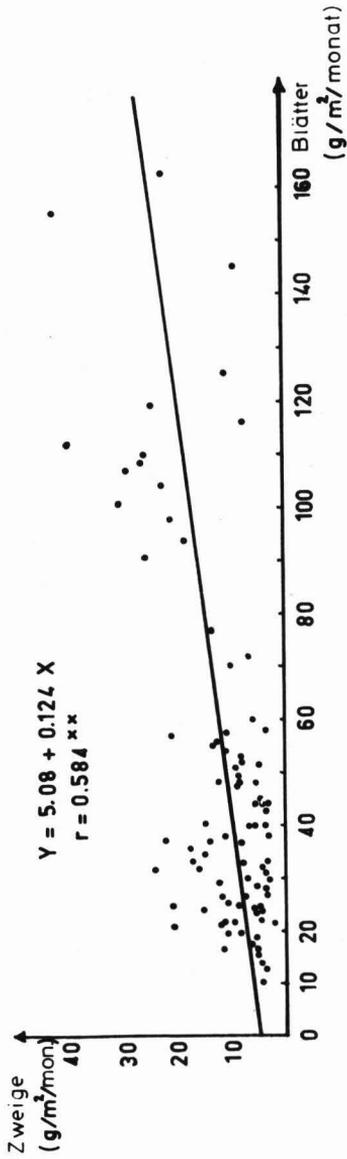


Abb. 6/5 : Beziehung zwischen Blatt- und Zweigstreu

Tab. 6/3: Prozentuale Verteilung der Blattstreu der Parzellen auf Regen- und Trockenzeit

Parzelle	Streufall (%)		
	vom 15.3. bis 31.7.	vom 15.3. bis 15.11	vom 15.11. bis 15. 3.
1	20.4	37.2	62.8
2	20.1	46.5	53.5
3	24.7	49.8	50.6
4	13.3	35.4	64.6
5	24.9	45.9	54.1
6	18.9	40.2	59.8
7	21.3	42.7	57.3
8	14.4	35.0	65.0

mit höherem Niederschlag fallen etwa 2/3 der Streu. Dieses Phänomen wiederholt sich trotz Klima-Säsonalität in dem auch immergrünen Galerie-wald. In trockeneren Gebieten mit längerer und ausgeprägter Trockenzeit konzentriert sich der Streufall sehr deutlich auf diese Jahreszeit.

Caparo liegt klimatisch zwischen humidem und trockenem Wald. Seine immergrünen Bestände auf den feuchteren Bodenstandorten tendieren zum humiden wald. Die Bestände auf den trockeneren Standorten tendieren zu den laubwerfenden Wäldern.

Tabelle 6/4: Saisonale Streuverteilung im Jahr in einigen tropischen waldern (%).

	Niederschlag mm/Jahr	Wald	Streufall in % der jährlichen Streu	
			Regenzeit	Trockenzeit (bzw. 4 regen- ärmste Monate)
EL VERDE (1) Pto Rico	3760	immergrüner Regenwald	66 %	34 %
CARARE (2) Kolumbien	3000	immergrüner Regenwald sekundär Wald	70 % 53 %	30 % 47 %
RANCHO GRANDE (3) Venezuela	1800	immergrüner Nebelwald	67 %	33 %
MERIDA (4) Venezuela	1500	immergrüner Wolkenwald	73 %	27 %
CAPARO (diese Arbeit) Venezuela	1750	Säsonal, immergrüner Feuchtwald laubwerfender Feuchtwald	47 % 35 %	53 % 65 %
CALABOZO (3) Venezuela	1330	laubwerfender Trockenwald (Wald-Inseln)	40 %	60 %
KASAPA (5) Zaire	1270	Savannen-Wald (Miombo-forest)	34 %	66 %
LAMTO (6) Elfenbeinküste	1270	immergrüner Galerie-Wald laubwerfende dichte Baumsavanne laubwerfende offene Baumsavanne	65 % 15 % 20 %	35 % 85 % 80 %

(1) ODUM (1970) (2) FÖLSTER & DE LAS SALAS (1975) (3) MEDINA (1968) (4) STEINHART (1978)

(5) MALAISSE et al. (1972) (6) DEVINEAU (1976)

6.3.2 Jährliche Streumengen der Parzellen

Die Grunddaten des jährlichen Streufalls sind aufgeschlüsselt nach Blatt, Zweigen, Blüten und Früchten und Gesamtstreu in den Tabellen 6/6 - 9 wiedergegeben. Die Mittelwerte über alle Parzellen erscheinen in Tab. 6/5. Die mittlere Blattstreu beträgt 6.1 t/ha (71 % der Gesamtstreu), die Extremwerte sind 5.4 t/ha (P1) und 7.3 t/ha (P8). Der Variations-Koeffizient zwischen den Streufängern variiert zwischen 12.9 und 29.9, zwischen den Parzellen beträgt er 22%. Ein Unterschied zwischen den Parzellen läßt sich nur zwischen P8 und P1 bzw. P3 absichern (Tab. 6/10); er ist darin begründet, daß P1 und P3 den relativ geringsten, P8 den höchsten Anteil von Laubbäumen haben. Palmen tragen wegen ihres mehrjährigen Blattwechselzyklus nicht im gleichen Umfang zur Streubildung bei.

Tab. 6/5: Jährlicher Streufall nach Blättern, Zweigen und Blüten und Früchten: Mittelwerte der Parzellen mit Streuung (S) und Variations-Koeffizient (VK%), in g/m² u. t/ha.

	X		S		VK
	gr/m ²	t/ha	gr/m ²	t/ha	%
Blätter	612.93	6.13	138.04	1.38	22.25
Zweige	129.97	1.30	74.11	0.74	57.00
Blüte - Früchte	121.12	1.21	80.65	0.81	66.60
gesamt	864.02	8.64	225.71	2.26	26.10

Im Vergleich zu anderen tropischen Wäldern (Tabelle 6/11) nimmt Caparo mit seinen unterschiedlichen Beständen eine Mittelstellung der jährlichen Blattstreu ein. Dagegen fällt die Zweigstreu relativ ab (z. B. Carare: DE LAS SALAS, 1973; San Eusebio: STEINHART, 1978; Amazonien: KLINGE & RODRIGUEZ, 1972). Der mittlere Wert beträgt 1.3 t/ha. Die Variations-Koeffizienten (36 - 66

Tabelle 6/6: Jährlicher Blattstreufall ($\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$)

P /	Streufänger										\bar{x}	S	$V_k\%$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	451	564	579	522	598	672	734	437	533	637	543	131	24
2	455	785	740	696	560	703	530	529	519	420	594	127	21
3	611	891	499	312	623	675	422	454	507	447	544	163	30
4	657	516	477	439	499	414	619	758	934	723	604	166	28
5	798	696	591	665	633	344	479	563	708	496	597	132	22
6	653	793	457	641	573	571	525	713	660	517	610	101	17
7	566	701	785	814	783	527	684	522	704	733	682	108	16
8	766	840	728	559	848	814	655	741	694	653	730	92	13

\bar{x} = Mittelwert

S = Streuung

V_k = Variationskoeffizient

Tabelle 6/7: Jährliche Zweigstreufall ($\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$)

P	Streifänger										\bar{x}	S	$V_k\%$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	54	53	33	37	84	185	129	115	113	118	92	49	52
2	217	389	190	141	186	364	142	85	40	73	183	116	64
3	114	179	90	37	132	100	151	112	64	66	105	43	41
4	60	48	52	53	75	98	154	172	264	87	106	70	66
5	115	172	139	107	158	21	41	114	154	134	116	49	43
6	131	296	57	131	76	115	109	140	96	81	123	66	54
7	130	192	358	176	122	102	215	59	105	103	156	86	55
8	117	250	80	70	139	176	187	176	181	216	159	58	36

Tabelle 6/8: Jährlicher Blüten-Früchte-Streufall ($\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$)

P /	Streufänger										\bar{x}	S	Vk%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	191	103	77	145	38	305	184	67	150	244	150	83	56
2	32	172	222	309	241	370	217	79	178	136	196	101	52
3	71	40	78	8	134	165	127	159	29	41	85	57	67
4	143	56	94	113	26	82	57	39	122	42	77	40	51
5	132	201	233	128	120	74	103	148	240	139	152	55	36
6	311	350	109	120	79	173	61	216	115	172	171	96	57
7	61	92	63	151	75	54	38	13	39	70	66	37	57
8	77	86	49	117	36	88	100	81	22	63	72	29	41

Tabelle 6/9: Gesamter jährlicher Streufall ($\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$)

P /	Streufänger										\bar{x}	S	Vk%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	696	720	689	704	720	1162	1047	619	796	999	815	184	23
2	704	1346	1152	1146	987	1437	889	693	737	629	972	288	30
3	796	1110	667	357	889	940	700	725	600	554	734	213	29
4	860	620	623	605	600	594	830	969	1320	852	787	233	30
5	1045	1069	963	900	911	439	623	825	1102	769	865	209	24
6	1095	1439	623	892	728	859	695	1069	871	770	904	241	27
7	757	985	1206	1141	980	683	937	594	848	906	904	192	21
8	960	1176	857	746	1023	1078	942	998	897	932	961	119	12

Tabelle 6/11: Blattstreu (und Blattbiomasse) einiger tropischen Wälder

AUTOR	Wald	Blattbiomasse (t/ha)	Blattstreu (t/ha/Jahr)
WINGTON & OLSON (1970)	Regenwald, Puerto Rico	8.0	
ODDUM et al (1970)	Regenwald Puerto Rico	8.0	4.8
OGAWA et al (1965)	Regenwald Thailand	7.8	
HOZUMI et al (1969)	Regenwald Kambodscha	7.3	
AUBREVILLE (1963)	Regenwald Elfenbeinküste	10.0	
GOLLEY et al (1969)	Regenwald Panama	7.3	
KLINGE & RODRIGUEZ (1968, 1973, 1974)	Regenwald Brasilien	10.0	
BRUN (1976) & STEINHART (1978)	Wolkenwald Venezuela	5.0	3.6
FÖLSTER & DE LAS SALAS (1974)	Regenwald Kolumbien	7.0-9.4	6.5-7.4
LADELOUT & MEYER (1954)	Regenwald Zaire (Congo)		8.6-10.7(*)
BERNHARD (1970)	Regenwald Elfenbeinküste		7.2
NYE (1961)	Regenwald Ghana		8.5(*)
JENNY (1949)	Regenwald Kolumbien		6.0-8.4(*)
WEBB (1958)	Regenwald Australien		6.7
RODIN & BAZILEVICH (1967)	Regenwald		9.8(*)
NYE & GREENLAND (1960)	Regenwald		5.6-7.2(*)
MITCHELL (1964)	Dypterocarpuswald Malaya		3.9-5.0
MADGE (1965)	Regenwald Nigeria		3.9
MEDINA (1966)	Laubwerfender Wald Venezuela Wolkenwald, Venezuela		5.8(*) 5.5(*)
EDWARDS (1977)	Bergregenwald Neuguinea		6.4
CORNFORTH (1970)	Mora excelsa-Wald Trinidad		6.9

AUTOR	Wald	Blattbiomasse (t/ha)	Blattstr (t/ha)
SINGH (1968)	Terminalia-Bestand Indien		6.2
SINGH (1968)	Tectona-Bestand Indien		5.0
<u>Diese Arbeit</u>	<u>CAPARO</u>		6.1
Mittelwert Blattbiomasse (einschließlich Palmen) 8.3 ± 1.2			
Mittelwert Blattstreu			$6.5 \pm$

(*) Blattstreu als 70 % der gesamten Streu berechnet.

zwischen den Streufängern, 57 zwischen den Parzellen) sind jedoch wesentlich höher als bei den Blättern. Entsprechendes gilt für die Blüten und Früchte (Vn 36 - 67 zwischen den Streufängen, 66 zwischen den Parzellen, bei einem Mittelwert von 1.2 t/ha).

Tab. 6/10: t-test (jährliche Blattstreu)

	1	2	3	4	5	6	7	8
8	xx	ns	xx	ns	ns	ns	ns	
7	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
6	ns	ns	ns	ns	ns			
5	ns	ns	ns	ns				
4	ns	ns	ns					
3	ns	ns						
2	ns							
1								

6.3.3 Bioelement-Input mit der Streu

Die chemische Untersuchung der Streu steht im Zusammenhang dieser Arbeit etwas isoliert und wurde hauptsächlich aus Opportunitätsgründen durchgeführt, um für spätere Arbeiten in Plantagen und im bewirtschafteten Wald Vergleichsdaten zu haben. Unsere Arbeit liefert in dieser Hinsicht Daten zur Charakterisierung des Naturwaldes. In Tabelle 6/12 und 6/13 werden die Bioelementkonzentrationen in der Blattstreu getrennt nach Terminen und Parzellen dargestellt, und in der Tabelle 6/14 der gesamte Bioelementinput (Blatt- und Zweigstreu gesondert im Anhang VIII) getrennt nach Parzellen. Eine Gegenüberstellung der mittleren Werte für Caparo und anderer Werte aus den Tropen finden sich in Tab. c, Anhang VIII. Insgesamt liegt der Bioelement-Input in Caparo höher als die durchschnittlichen Werte aus anderen Tropenregionen, obwohl die Caparo-Werte die Bioelemente der Blüten und Früchte nicht miteinschließen. Diese Sonderstellung von Caparo steht natürlich im unmittelbarem Zusammenhang mit

Tabelle 6/12: Bioelementkonzentration in der Blattstreu nach Terminen (mg/g)
(16 Mischproben pro Termin)

Termin	N			P			K			Ca			Mg			Mn		
	\bar{X}	S	VK%															
21.7.+ 8.8.76	19.03	2.37	12.44	1.54	0.18	11.59	6.76	1.04	15.34	19.16	2.49	13.0	3.61	0.64	17.80	0.13	0.06	42.81
23.8.+ 6.9.+ 21.9.+11.10.76	17.09	2.05	11.95	1.33	0.18	13.77	4.53	0.81	17.36	20.13	2.25	11.18	3.41	0.49	14.37	0.13	0.06	42.00
25.10+13.11.+ 27.11+ 6.12.76	15.68	1.76	11.24	1.62	0.41	25.40	6.73	1.42	21.08	22.23	2.24	10.06	4.04	0.88	21.66	0.15	0.06	38.62
18.12.+ 8.1.77	16.70	1.87	11.19	1.61	0.37	22.65	7.10	1.86	26.17	21.72	2.36	10.85	4.10	0.71	17.37	0.14	0.06	42.82
16.1+23.1.+ 30.1+8.2.77	14.72	1.93	13.11	1.59	0.24	15.02	9.41	2.19	23.26	21.58	3.74	17.32	4.14	0.57	13.71	0.17	0.08	45.86
24.2.+ 10.3.77	14.50	1.51	10.42	1.52	0.28	18.07	9.80	1.86	18.96	21.18	1.94	9.17	4.41	0.56	12.78	0.18	0.06	33.14

Tabelle 6/13: Bioelementkonzentration in der Blattstreu nach Parzellen (mg/g)

(12 Mischproben pro Parzelle)

Parzelle	N			P			K			Ca			Mg			Mn		
	\bar{X}	S	VK%															
1	16.16	1.58	9.51	1.82	0.41	22.71	5.41	1.12	20.70	21.05	2.44	11.57	4.55	1.15	25.39	0.10	0.02	19.12
2	14.38	1.05	11.07	1.56	0.34	22.00	6.58	2.85	43.78	20.53	2.87	14.00	3.47	0.49	14.15	0.05	0.01	18.39
3	15.85	2.24	14.14	1.60	0.26	16.31	7.03	1.95	27.70	21.25	2.04	9.62	3.57	0.43	12.18	0.14	0.06	41.56
4	16.04	2.17	12.00	1.68	0.25	15.03	8.27	3.04	36.74	21.86	1.55	7.09	4.34	0.35	8.16	0.21	0.04	20.27
5	16.65	1.67	10.01	1.50	0.18	12.16	7.38	2.04	27.57	20.85	4.01	19.24	4.27	0.51	11.88	0.14	0.03	20.19
6	14.45	2.06	14.24	1.31	0.23	17.81	8.34	1.84	22.09	22.38	2.66	11.87	4.12	0.59	14.42	0.18	0.04	22.81
7	15.40	2.41	15.66	1.37	0.13	9.76	7.32	2.13	29.05	20.76	2.77	13.34	3.37	0.47	13.88	0.17	0.04	24.96
8	18.54	2.87	15.46	1.43	0.18	12.58	8.55	2.39	27.93	19.27	2.30	11.92	3.95	0.55	14.06	0.21	0.03	15.94
Mittelwert	16.39			1.53			7.36			21.00			3.90			0.15		

Tabelle 6/14: Bioelementinput in kg/ha/Jahr (Blätter + Zweige)

Parzelle	1	2	3	4	5	6	7	8	Alle Parzellen		
									X	S	VK _p
N	96.31	103.94	97.95	117.78	110.65	100.15	122.56	147.33	112.08	17.09	15.2
P	10.43	11.81	9.62	11.24	10.21	9.22	10.55	11.62	10.59	0.092	8.7
K	32.93	50.14	41.91	58.67	51.17	56.28	57.55	70.25	52.36	11.3	21.6
Ca	129.86	157.09	138.68	151.03	152.96	159.67	173.11	165.22	153.45	13.93	9.1
Mg	26.03	24.07	22.12	29.22	28.82	27.65	26.32	31.68	26.99	3.03	11.2
Mn	0.63	0.36	0.86	1.45	0.94	1.24	1.37	1.72	1.07	0.45	42.4

dem relativ hohen Nährstoffgehalt der jungen alluvialen Böden am Andenfuß (s. 4.3.3).

Jahreszeitliche Veränderungen in den zwischen den Parzellen gemittelten Bioelementkonzentrationen der Blattstreu ist für die Periode Juli 76 - März 77 in Abb. 6/6 dargestellt. Die ungleichmäßigen Termine resultieren aus der Mischprobenbildung (s. 3). Ein gesicherter Unterschied zwischen den Parzellen besteht nicht; auch zwischen den Terminen lassen sich wegen der großen Streuungen um die Mittel keine gesicherten Unterschiede konstatieren. Eine Ursache der großen Streuung liegt wahrscheinlich in dem möglicherweise bestehenden Unterschied der Bioelementkonzentration der Blätter verschiedener Arten und deren unterschiedlichen Anteilen in der Streu der einzelnen Termine und Parzellen begründet. Eine gesicherte Interpretation muß auf diese Werte Bezug nehmen. Immerhin können zwei deutliche Trends hervorgehoben werden, nämlich die Abnahme der N- und die Zunahme der K-Konzentration zur Trockenzeit. Zumindest letztere wäre aus der verzögerten bzw. fehlenden Auswaschung der trockenzeitlich absterbenden Blätter (in der Krone) erklärbar.

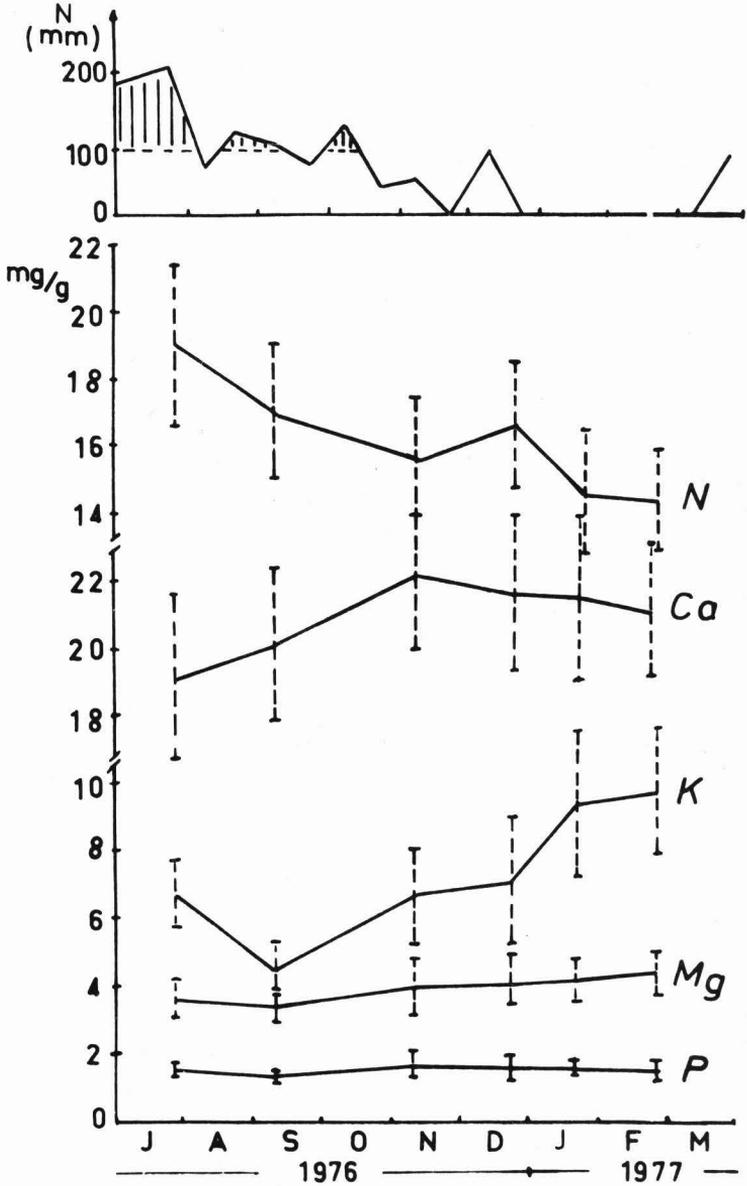


Abb. 6/6 : Jahreszeitlicher Wechsel der Bioelementkonzentration in der Blattstreu

6.4 BEZIEHUNGEN STREUFALL - HUMUSAUFLAGE

In den Caparo Waldbeständen fällt in der Trockenzeit je nach Standort 1/2 bis 2/3 der gesamten jährlichen Streu. Diese Saisonalität muß eine Wirkung auf die Dynamik (Aufbau-Abbau) der Humusauflage haben. Es wurde versucht, die quantitative Änderung der Humusauflage in beiden Jahreszeiten zu erfassen. Dazu wurde die Humusauflage in allen Flächen (je 10 Wiederholungen) 3 mal aufgenommen: am Ende der Trockenzeit (Aufnahme I: 15.3.76), am Ende der Regenzeit (Aufnahme II: 9.12.76) und nochmal am Ende der Trockenzeit (Aufnahme III: 15.3.77). Die Ergebnisse sind in Tabellen 6/15 und 6/16 dargestellt und bilanzmäßig unter Hinzurechnung der Streu verrechnet. Die Aufnahmen I und II sind signifikant verschieden, die Aufnahmen I und III dagegen nicht (t -Test 95 %).

Bei Betrachtung der mittleren Werte ergibt sich, daß zwischen der ersten und zweiten Aufnahme (Regenzeit) so viel abgebaut bzw. abtransportiert wird wie am Anfang auf dem Boden lag, und am Ende der Regenzeit liegt auf dem Boden so viel wie der regenzeitliche Streufall ausmacht. In der Trockenzeit dagegen wird zu wenig abgebaut, sodaß der neue Input bewirkt, daß sich die alten Verhältnisse wiedereinstellen. In der Regenzeit ist der Input (Streufall) kleiner und die Umweltbedingungen viel günstiger (in Hochwaldgebieten) für den organischen Abbau als in der Trockenzeit. Ferner könnte z. T. Abtransport durch Oberflächenabfluß erfolgen. In der Trockenzeit wird der Abbau durch die rapide und intensive Austrocknung der Humusauflage verhindert. Infolgedessen wird die Regenzeit als "Abfuhrzeit" und die Trockenzeit als "Zufuhrzeit" bezeichnet (Abb. 6/7).

Insgesamt betrachtet sind die jährlichen Input- und Outputmengen praktisch gleich, sodaß man in Caparo von einem Gleichgewichtszustand sprechen darf, wobei die Humusauflage jahreszeitlich zwischen etwa 4 (Regenzeitende) und 7 (Trockenzeitende) t/ha schwankt.

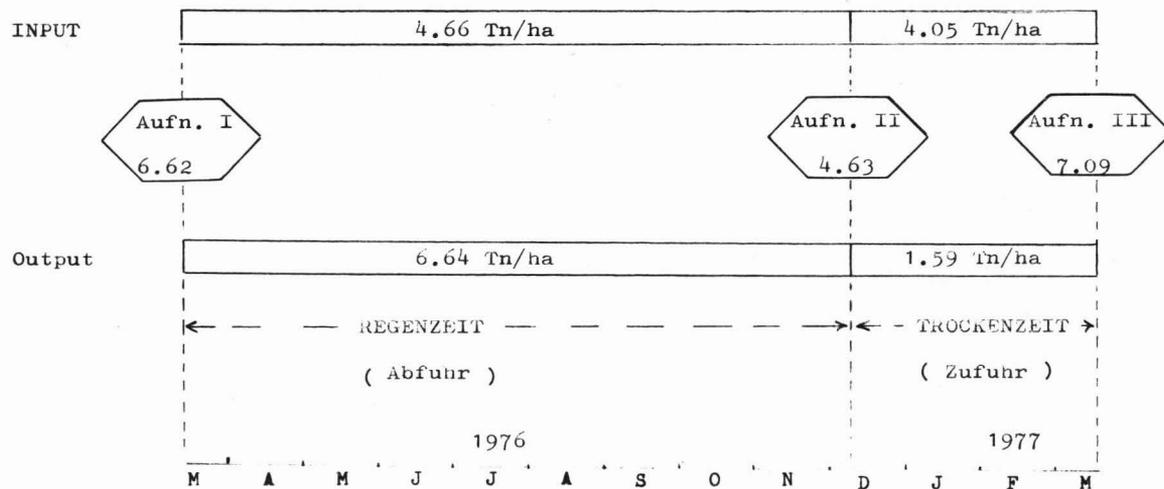
Tabelle 6/15: Quantitative Änderung der Humusaufgabe in der Regenzeit (t/ha)

Parcela	Aufnahme I	Input	Aufnahme I	Aufnahme II	Output	O/I %
	(15.3.76)	Streufall (vom 15.3. bis 9.12.76)	+ Streufall	(9.12.76)	vom 15.3. bis 9.12.76	
1	4.25	4.42	8.67	5.58	3.09	70
2	10.07	5.67	15.74	5.82	9.92	175
3	4.87	4.97	9.84	3.78	6.06	122
4	4.68	3.77	8.45	2.89	5.56	1.47
5	5.29	4.75	10.04	2.96	7.08	149
6	8.25	4.54	12.79	4.52	8.27	182
7	8.52	4.48	13.00	4.92	8.08	180
8	6.95	4.73	11.68	6.56	5.12	108
Mittelwert	6,62 [±] 2.15	4,67 [±] 0.54	11,28 [±] 2.5	4,63 [±] 1.35	6,65 [±] 2.14	142

Tabelle 6/16: Quantitative Änderung der Humusaufgabe in der Trockenzeit (t/ha)

Parzelle	Aufnahme II (9.12.76)	Input Streufall vom 9.12. bis 15.3.76	Aufnahme II + Streufall	Aufnahme III (15.3.77)	Output (vom 9.12. bis 15.3.76)	O/I %
1	5.58	3.43	9.01	4.42	4.59	134
2	5.82	4.05	9.87	9.69	0.18	4
3	3.78	2.37	6.15	4.08	2.07	87
4	2.89	4.1	6.99	5.45	1.54	38
5	2.96	3.9	6.86	6.25	0.61	16
6	4.52	4.5	9.02	8.43	0.59	13
7	4.92	4.56	9.48	8.89	0.59	13
8	6.56	4.88	11.44	9.52	1.92	39
Mittelwert	4.63 [±] 1.35	3.97 [±] 0.79	8.60 [±] 1.8	7.09 [±] 2.3	1.51 [±] 1.4	43

Abb. 6/7: Quantitative Änderungen der Humusaufgabe im Jahr (t/ha)



Nach der Gleichung von BERNHARD-REVERSAT et al. (1972)

$$k' = \frac{A - (L_1 - L_0)}{(L_1 + L_0)/2}$$

k' = Zersetzungskoeffizient
 A = Streufall der Periode
 L_0 = Humusaufgabe am Anfang der Periode
 L_1 = Humusaufgabe am Ende der Periode

wurden die Zersetzungskoeffizienten für

- die Regenzeit : 1.2
- die Trockenzeit: 0.3 und das
- gesamttes Jahr : 1.2

berechnet, was einen relativ schnellen Umsatz der organischen Substanz anzeigt. In einem immergrünen Regenwald der Elfenbeinküste wurden von BERNHARD-REVERSAT et al. (1972) monatliche Koeffizienten von 0.7 (Regenzeit) und 0.12 (Trockenzeit) ermittelt.

7. VERGLEICH DER MIKROKLIMATISCHEN VERHÄLTNISSE IN IMMERGRÜNEN UND LAUBWERFENDEN BESTÄNDEN

Die klimatischen Verhältnisse innerhalb eines Waldbestandes (Mikroklima) werden durch die Wirkung der Vegetation auf die außerhalb des Bestandes herrschenden Bedingungen (Makroklima) hervorgerufen. Die Wirkung der Vegetation bezieht sich insbesondere auf die Interzeption, die Sonneneinstrahlung und den Wind. Dadurch werden im Bestand bestimmte Umweltbedingungen geschaffen, die wichtige ökologische Prozesse beeinflussen (Ansiedlung und Wachstum von Bodenvegetation und Naturverjüngung der Baumarten, Humusabbau, Bodenfaunatätigkeit, usw.).

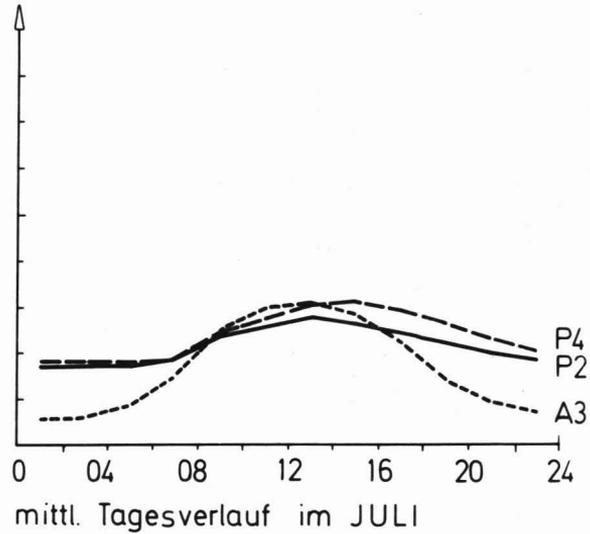
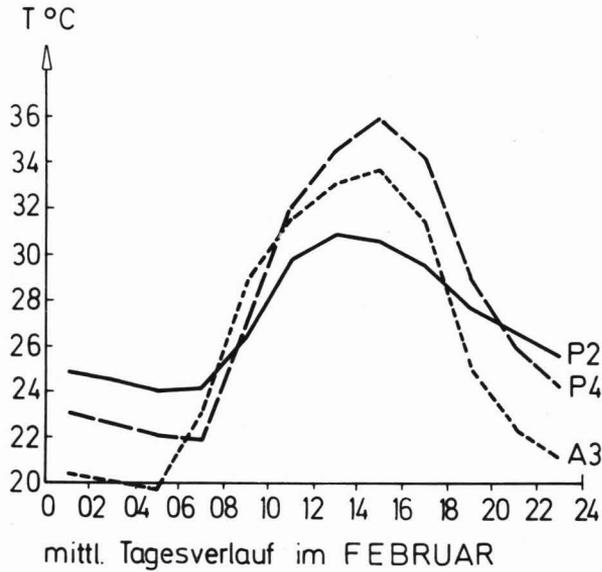
Die Intensität der Wirkung der Vegetation ist einerseits von den außen herrschenden Bedingungen und andererseits von vegetationsspezifischen Eigenschaften abhängig wie Höhe, Rauigkeit, Dichte bzw. Bedeckungsgrad. Im Rahmen dieser sollte untersucht werden, ob zwischen dem mikroklimatischen Verhältnissen in einem immergrünen und einem laubwerfenden Bestand saisonal Unterschiede auftreten.

Abb. 7/1 und 7/2 zeigen den mittleren Tagesverlauf der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit in 2 m Höhe, in Parzelle 2 (immergrün), Parzelle 4 (laubwerfend) und Area 3 (Freifläche) für die Monate Februar (Trockenzeit) und Juli (Regenzeit).

Der Vergleich zwischen Trocken- und Regenzeit zeigt für beide Parameter starke Unterschiede der Tagesschwankungen in allen drei Meßpunkten. In der Trockenzeit erfolgt eine stärkere Erwärmung am Tag und stärkere Abkühlung in der Nacht. Die Energiestrahlung erfährt durch den praktisch durchgehend wolkenlosen Himmel weniger Behinderung als in der Regenzeit, in der folglich die Tag-Nacht-Schwankungen stark reduziert werden. Der Vergleich beider Parzellenbestände und der Freifläche zeigt für die Regenzeit geringere Schwankungen in beiden Waldbeständen. Am geringsten sind sie wegen der dichteren Kronenschicht in Parzelle 2.

In der Trockenzeit erfolgt die stärkste Abkühlung auch auf der Freifläche, dagegen die maximale Erwärmung im laub-

werfenden Bestand (P4). Dies ist auf die einerseits mit der intensiven Kronentlaubung verknüpfte erhöhte Sonneneinstrahlung wie auf die im Vergleich zur Freifläche im geschlossenen Waldbereich geringere Wirkung des Windes zurückzuführen. Die erwärmte Luftschicht im Bestand kann nicht wie in der Freifläche durch Turbulenz sondern nur durch Konvergenz abgekühlt werden. Der immergrüne Bestand (P2) zeigt die geringere Schwankungen beider Parameter auch in der Trockenzeit. Die in den Frühmorgenstunden (5 - 8 Uhr) auftretende rapide Luftfeuchteabnahme folgt im Detail der Temperatur und führt zur Taubildung. Insgesamt beobachtet man die stärkste Abweichung der beiden Waldparzellen bei der Temperatur in der Trockenzeit.



Lufttemperatur bei 2m Höhe

- P2: Parzelle 2 (immergrüner Bestand)
- - - P4: Parzelle 4 (laubwerfender Bestand)
- · - A3: Waldlichtung

Abb. 7/1 : Der unterschiedliche Tagesverlauf der Lufttemperatur in der Trocken- und Regenzeit

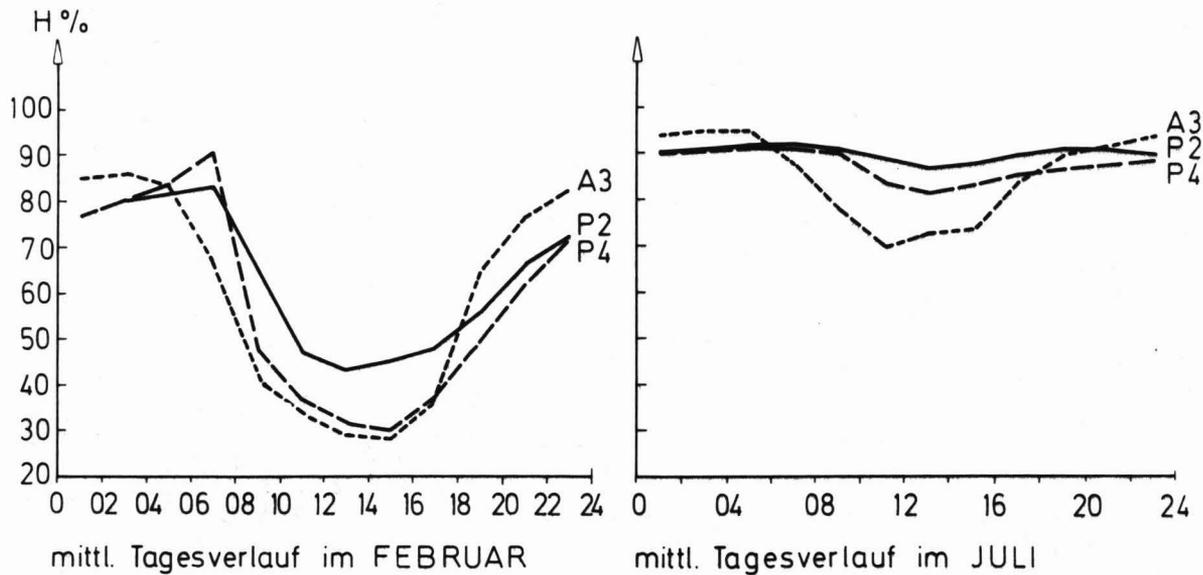


Abb. 7/2 : Der unterschiedliche Tagesverlauf der rel. Luftfeuchtigkeit in der Trocken- und Regenzeit (Legende wie in Abb. 7/1).

8. WASSERHAUSHALT DER PARZELLENBESTÄNDE

8.1 FREILAND-, BESTANDESNIEDERSCHLAG UND INTERZEPTION

Die Beziehung zwischen diesen drei Parametern ist durch die Gleichung $N_f = I + N_b$ gegeben. N_f (Freilandniederschlag) und N_b (Bestandesniederschlag) wurden gemessen. N_b , der aus N_d (durchfallendem N), N_k (Kronentraufe) und St^1 (Stammabfluß) besteht, kann je nach Vegetationstyp stark variieren. (BENECKE, 1979).

Im Untersuchungsgebiet wurde deshalb versucht, die Abweichung von N_b bzw. I zwischen immergrünen und laubwerfenden Waldbeständen zu erfassen.

Dazu wurden Parzelle 2 (immergrün) und Parzelle 4 (laubwerfend) mit 4 Rinnen je 4 m Länge ausgerüstet, die eine Aufangfläche von etwa 1.25 m^2 /Parzelle hatten. Abb. 8/1 stellt für Parzelle 2 die Beziehung zwischen N_f und N_b dar. N_b nimmt bei wachsendem N_f mit konstanter Rate zu bis etwa 2 mm N_f . Ab diesem Punkt steigt die Kurve steiler an. Der Wendepunkt zeigt an, daß die Benetzung der Vegetation abgeschlossen ist. Vorher besteht N_b nur aus N_d . Nach der Benetzung kommt N_k dazu. Von diesem Augenblick ab müßte die Kurve eine Neigung von 1 annehmen, wenn die Verdunstung während des Regens außer Betracht bliebe. Für diese theoretische 45° -Kurve gilt:

$$N_b = N_f - \text{Benetzung}$$

wobei die Benetzung durch den Schnitt der Kurve mit der X-Achse gegeben würde.

In Wirklichkeit verdunstet bei jedem Regen ein Teil des Niederschlags. Diese Verdunstung ergibt sich aus der Differenz zwischen der 45° -Linie und der aus den Einzelmessungen errechneten Regressionsgeraden (Tab. 8/1).

Für N_f -Werte größer als 2 mm wurde die lineare Regression $N_b = -1.05 + 0.86 N_f$, und für N_f -Werte kleiner als 2 mm $N_b = -0.124 + 0.424 N_f$ errechnet. Beide Geraden schneiden sich bei 2.12 mm N_f .

Zur Berechnung der Benetzung gehen wir davon aus, daß bei kleinen Niederschlägen ($N_f = < 2 \text{ mm}$) die Verdunstung vernachlässigbar ist. Diese Annahme wurde von LEYTON et al. (1967),

¹⁾ Der Stammabfluß wurde nicht berücksichtigt.

RUTTER et al. (1972) und JACKSON (1975) bestätigt.

Für den Grenzniederschlag (Nf) von 2 mm errechnet sich nach

$$N_b = - 0.124 + 0.424 N_f$$

ein N_b von 0.724. Damit ergibt sich für die maximale Benetzung die Differenz von $2 - 0.724 = 1.276$ (≈ 1.3) mm.

Die 45° -Kurve ($y = N_f - 1.3$) in Abb. 8/1 zeigt im Zusammenhang mit der Kurve $N_b = - 1.05 + 0.86 N_f$, wie die Verdunstung mit zunehmendem N_f ständig steigt. Das kann dadurch erklärt werden, daß a) zunehmende Höhe des N_f in der Regel auch zunehmende Niederschlagsdauer bedeutet, und daß b) die verarbeiteten Daten keine Einzelniederschläge sondern Tagesniederschläge darstellen, wobei zwischen den Regenfällen das Benetzungswasser vollständig oder teilweise evaporierte und wieder gefüllt werden mußte. Gerade diese konstant zunehmende Verdunstung bewirkt eine bessere Anpassung der linearen Regression im Vergleich zur logarithmischen, die sich JACKSON (1975) bei Einzelniederschläge > 2 mm günstiger darstellt. In unserem Fall gibt die logarithmische Beziehung im mittleren Bereich zu tiefe, im höheren Bereich zu hohe N_b -Werte. Für Einzelniederschläge < 2 mm stimmt auch bei JACKSON die logarithmische Beziehung nicht.

In Abb. 8/2 wird die lineare Beziehung I/N_f für Parzelle 2 und 4 dargestellt. In P_4 ist die Interception 0.32 mm höher als in P_2 . Dieser Unterschied ist für die Wasserbilanz vernachlässigbar und wohl auch für die Wasserversorgung der Pflanzen ohne Belang.

Das Fehlen signifikanter Unterschiede in der Interzeptionsleistung von immergrünen und laubwerfenden Beständen erklärt sich daraus, daß der Deckungsgrad der Belaubung praktisch gleich ist, auch wenn die unterschiedliche Höhenverteilung (lichterer Kronenraum, dichtere Bodenvegetation im laubwerfenden Wald) zunächst einen anderen Eindruck vermittelt. Als Bestandesniederschläge in Abschnitt 5 und für die folgenden Überlegungen zum Wasserhaushalt wurden deshalb ohne Berücksichtigung des physiognomischen Bestandescharakters die in P_2 und P_4 gemessenen Bestandesniederschläge auf die jeweils näherliegenden Parzellen übertragen, und zwar in folgender Weise:

Nb von P2 auf P1 (und P2)

Nb von P4 auf P3 bis P8

Tabelle 8/1: Regressionsgleichungen zwischen Nf, Nb und I.

Beziehung	Modell	Parzelle	Gleichung	r^{2+}	n	
Nf-Nb	linear	2	$Nb = -1.05 + 0.86 Nf$	0.99	164	
		2 (Nf 2.)	$Nb = -0.124 + 0.424 Nf$	0.72	48	
		4	$Nb = -1.57 + 0.833 Nf$	0.97	153	

Nf-I	linear	2	$I = 0.99 + 0.1424 Nf$	0.73	122	
		4	$I = 1.31 + 0.1427 Nf$	0.48	111	

	logarithmisch	2	$I = -0.98 + 2.03 \ln Nf$	0.64	126	
4		$I = -0.27 + 1.79 \ln Nf$	0.44	128		

+ Signifikanzniveau für alle r: 0.00001

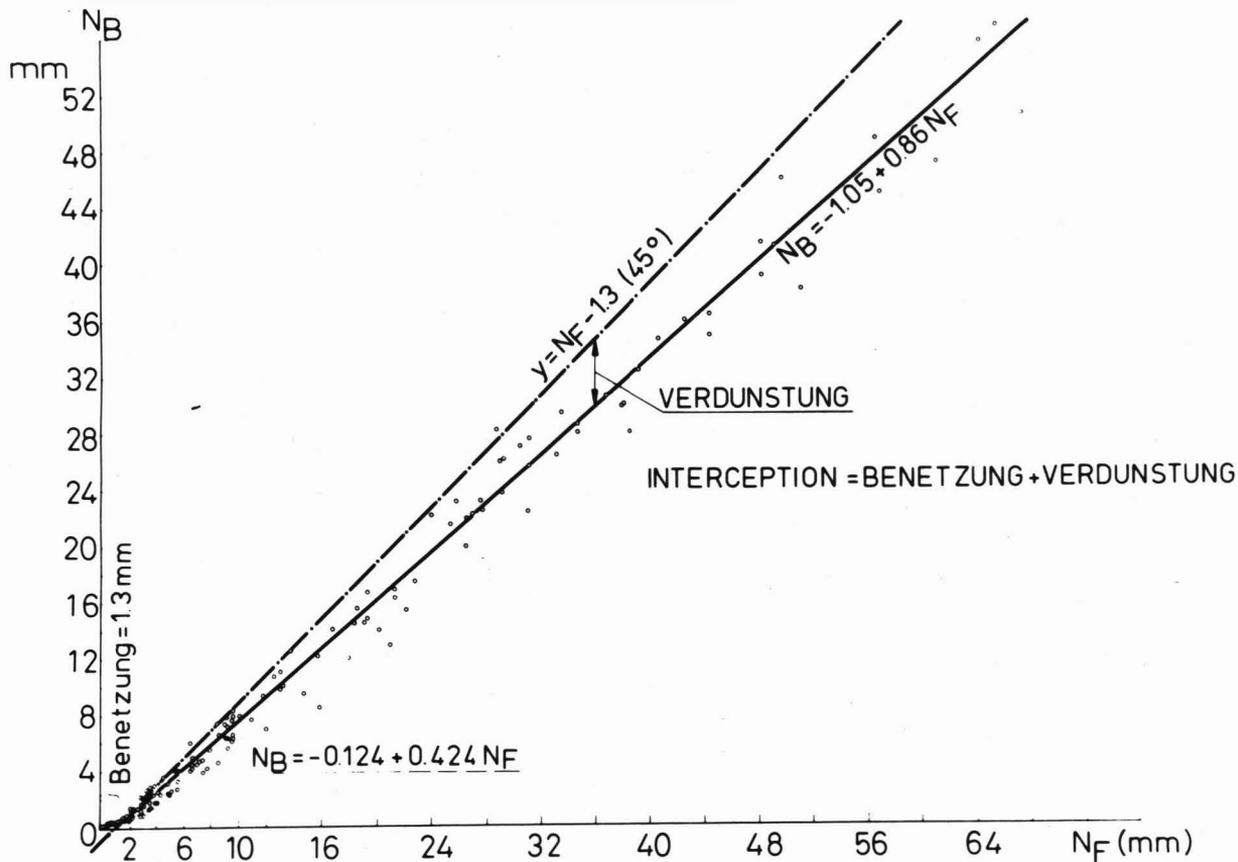


Abb. 8/1 : Beziehung Freiland- und Bestandesniederschlag in
 Parzelle 2

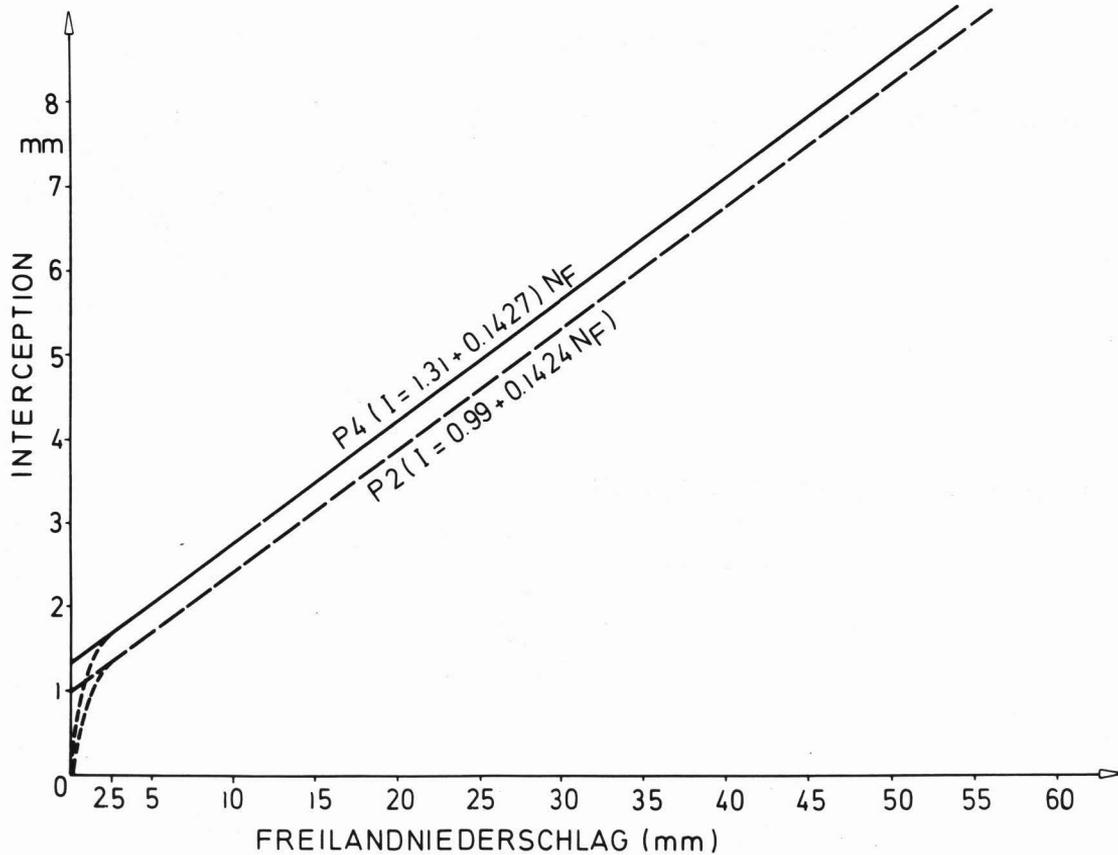


Abb. 8/2 : Beziehung I/Nf in Parzelle 2 (immergrüner Bestand) und in Parzelle 4 (laubwerfender Bestand)

der Periode der Regenzeit (nach Aufsättigung des Bodens), in der Tiefensickerung auftritt.

- b. Austrocknungsphase (vom 22.11.76 - 6.1.77): Sie stellt eine Übergangsperiode zwischen auslaufender Regenzeit und Trockenzeit dar, in der das Bodenwasserreservoir bis zum Erreichen der Saugspannung $pF\ 3^+$ abgebaut wird. In dieser Phase tritt keine Versickerung mehr auf.
- +
Die Grenze $pF\ 3$ ist leichter und genauer im Feld zu bestimmen als $pF\ 4.2$. Ab $pF\ 3$ wird die Wasserversorgung für die Pflanzen an vielen Standorten kritisch (Ku-Abnahme)
- c. Trockenphase (vom 7.1. - 16.3.77): Sie entspricht der Periode kritischer Wasserversorgung. Der Bodenwasserreservoir wird über $pF\ 4.2$ abgebaut. Diese Phase endet beim Wiedereinsetzen der Regenzeit.
- d. Aufsättigungsphase (vom 17.3. - 16.5.77): Der Bodenwasserreservoir wird bis zum Einsetzen der Tiefsickerung wieder aufgebaut.

Die ETA konnte in der Versickerungsphase nicht direkt ermittelt werden, weil der hydraulische Gradient ständig nach unten gerichtet war und keine Wasserscheide im Profil gebildet wurde. Erst nach Aufhören der Tiefensickerung (Gradient nach oben gerichtet) konnte die ETA aus ΔR direkt ermittelt werden. Dies erfolgte in der Austrocknungsphase mittels Tensiometerablesungen und entsprechender pF -Kurven sowie - zeitlich sich mit letzterer Methode überlappend - mittels gravimetrischer Wassergehaltsbestimmungen (je 10 cm Tiefe, 3 - 4 Wiederholungen).

Die Ergebnisse solcher Berechnungen finden sich für einige Perioden der Austrocknungs- und Trockenphase in Tab. 8/12. Die ETA in der Versickerungsphase wurde ebenfalls aus ΔR berechnet, nachdem zuvor die Tiefensickerung bei 100 cm Tiefe durch Verwendung der Darcy-Gleichung ermittelt wurde. Für diese Berechnung bräucht man den hydraulischen Gradienten und die Ku-Kurve. In der Versickerungsphase 1976 waren keine Tensiometer tiefer als 90 cm eingesetzt. Dagegen konnte in der Messperiode November-Dezember 1977 beobachtet werden,

daß zwischen der Saugspannung bei 90 cm und dem Gradienten zwischen 90 und 120 cm Tiefe eine sehr regelmäßige Beziehung bestand. Diese Beziehung wurde willkürlich auf die Versickerungsphase übertragen.

Ein weiteres Problem ergab sich nach den ersten Berechnungen daraus, daß die im Labor ermittelten K_u -Werte für diese Tiefe (Bodentextur 6B) offensichtlich zu hoch waren. Die K_u -Kurve mußte deshalb zu niedrigeren Werten hin parallel geschoben werden, bis sich aus der Differenz zwischen Bestandesniederschlag und den errechneten Versickerungsraten Restbeträge für die Gesamtverdunstung ergaben, welche im Bereich des wahrscheinlichen lagen. Als solche wurden Tagesbeträge von 3.3 mm angesehen, die also etwas geringer waren als die tägliche ET_a während der Austrocknungsphase (3.8 mm). Eine entsprechende Beziehung besteht auch auf den tonigen Standorten.

Mit dieser Nährlösung wurde für die Tiefensickerung in der Versickerungsphase ein Wert von 3.5 mm/Tag ermittelt. darauf folgen für das Gesamtjahr 657 mm Tiefensickerung, d. h. 32 % des Gesamtniederschlages, die eine wesentliche Quelle für das regionale Grundwasser darstellen. Die tägliche Verdunstungsrate (ET_a) sinkt von 3.8 zu 0.7 mm/Tag in der Trockenphase stark ab; die jährliche Gesamtverdunstung erreicht 920 mm. wegen der willkürlichen Verwendung von Hilfsdaten und Korrekturen (K_u) kann es sich natürlich nur um angenäherte Werte handeln, die allerdings wegen ihrer Vergleichbarkeit mit den wesentlich sicheren Daten aus P7 und 8 (s. 8.3) eine erwünschte Stützung erfahren.

Tabelle 8/2: Berechnung der täglichen WTA in Parzelle 4

	Periode	WTA (mm)			
		Tage gesamt		täglich	
Austrocknungs- phase	22.11.-30.11.76	8	44	3.5	(Tensiometer)
	10.12.- 2. 1.77	23	92	4.0	(Tensiometer)
	20.11.-12.12.77	22	81	3.7	(Gravimetrisch)
	16.12.- 9. 1.77	22	66	3.0	(Gravimetrisch)
Mittel		75	283	3.8	
Froctenphase	9. 1.- 9.2.77	31	33	1.1	(Gravimetrisch)
	9. 2.-11.3.77	30	13	0.4	"
	12.12.77 - 2.2.78	52	43	0.8	"
	2. 2.-15.3.78	41	19	0.5	"
	Mittel		154	108	0.7

Tabelle 8/3: Wasserhaushalt des sandigen Standortes (Parzelle 4) vom 15.5.76 bis 15.5.77 (mm)

Jahresphase	Tage	Regentage	mittl. N/tag	Nf	Nb	I	As	ETa	As/tag	ETa/tag	ΔR^*
Versickerungsphase	190	116	8.6	1636	1257	379	657	630	3.5	3.3	- 30
Austrocknungsphase (bis pF 3)	45	8	2.1	95	74	21	0	169	0.0	3.8	- 95
Trockenphase	70	1	0.1	10	9	1	0	49	0.0	0.7	- 40
Aufsättigungsphase	60	17	4.8	287	237	50	0	72	0.0	1.2	+165
gesamtes Jahr	365	142		2028	1577	451	657	920		2.5	0.0

* Bezogen auf 0 - 100 cm Bodentiefe

8.3 WASSERHAUSHALT DER TONIGEN (UNDURCHLÄSSIGEN) STANDORTE (P7, P8)

Für die Lösung der Wasserhaushaltsgleichung (1) in diesen Standorten werden die Interzeptionswerte von Parzelle 4 eingesetzt. As und Ano treten nicht auf (s. 4.3 und 5) und ΔR wurde durch Tensiometermessungen und gravimetrische Feuchtigkeitsbestimmungen erfaßt. Das Fehlen jeglicher Tiefensickerung erleichtert die Berechnung von ETA , doch besteht diese Möglichkeit nur für überflutungsfreie Perioden, weil nur in ihnen $Ao = 0$ ist.

Unter diesen Bedingungen gilt

$$ETA = \Delta R \quad (Nb = 0, Ao = 0)$$

$$ETA = Nb \quad (\Delta R = 0, Ao = 0)$$

$$ETA = Nb - \Delta R \quad (Ao = 0)$$

Zur Berechnung von ETA wurden dann auf P7 und P8 Perioden ausgesucht, die durch Feldbeobachtungen gesichert überflutungsfrei waren. Die Ergebnisse sind in Tab. 8/4 aufgeführt. Die mittlere ETA aus den 7 Perioden (3 mm/Tag) wurde im folgenden als auch für Perioden mit Überflutung und Ao als gültig angesehen. Zur Berechnung des ganzjährigen Wasserhaushalts wurde wie in Parzelle 4 das Untersuchungsjahr nach dem Bodenfeuchteregime in Perioden aufgeteilt:

- a. Dauersättigungsphase I (vom 15.5. - 31.8.76): Der Stauwasserbereich des Profils (0-50 cm Tiefe) bleibt zum großen Teil voll gesättigt und in den regenreichsten Wochen tritt Überflutung auf, deren maximale Flächendeckung in P8 etwa 2/3 der Parzelle mit wassertiefen von 5-10 cm und in P7 95 % der Parzelle bis 20 cm wassertiefe beträgt. Der Oberflächenabfluß ist schnell, sodaß nach 3 regenfreien Tagen die Überflutung sich auf die Senken beschränkt.
- b. Dauersättigungsphase II (vom 1.9. - 15.11.76): Der Stauwasserbereich des Bodenprofils bleibt ebenfalls hoch gesättigt, aber Überflutung und Oberflächenabfluß treten nur gelegentlich und kurzfristig auf.
- c. Austrocknungsphase (vom 15.11.- 25.12.76): Austrocknung des Bodens bis pF3. Diese Phase, deren Länge nur 3-4 Wochen sein dürfte, wurde durch außergewöhnliche Nieder-

schläge im Dezember um das Doppelte verlängert. (Kein A_0).

- d. Trockenphase (vom 25.12.-17.3.77): In dieser Phase, die mit dem Wiedereinsetzen der Regenzeit endet, wurde der Boden etwa ab Mitte Januar durchgehend über den FWP ausgetrocknet. In normalen Jahren dürfte der FWP schon Mitte Dezember erreicht werden.
- e. Aufsättigungsphase (vom 17.3. - 15.5.77): Vom Einsetzen der Regenzeit bis zum Wiederaufbau des Bodenwasserreservoirs. Die Stauwasserbildung erfolgte erst Mitte Juni.

In Tab. 8/5 findet sich phasenweise die Quantifizierung der Wasserhaushaltskomponenten.

In der Dauersättigungsphasen I und II wurde unter Zugrundelegung einer täglichen E_{Ta} von 3.0 mm/Tag die A_0 als Differenz ermittelt. In den übrigen Phasen, in denen $A_0 = 0$ ist, ließ sich E_{Ta} aus dem Bestandesniederschlag und ΣR berechnen. Sie fällt in der Trockenzeit auf 0.5 mm/Tag.

Während der Dauersättigungsphase I fallen die Niederschläge mit einer Rate von 11.2 mm/Tag. Bei vollgesättigtem Boden und nur 2.3 mm Interzeption und 3.0 mm E_{Ta} pro Tag resultiert diese Niederschlagsintensität zu einem starken Oberflächenabfluß von 5.9 mm/Tag. 52.9 % des Gesamtniederschlages fließen in dieser Zeit also zu den Esteros ab.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Dauersättigungsphase in 1976 sehr regenreich war (Mai + Juni + Juli - August = 1300 mm im Vergleich zu 1050 mm im 8-jährigen Durchschnitt). In Jahren mit weniger hohem Regen dürfte A_0 zugunsten der E_{Ta} leicht verschoben sein.

In der Dauersättigungsphase II geht A_0 stark zurück. Überflutung und A_0 treten nur nach starkem Regen kurzfristig auf. In der Austrocknungsphase nimmt die Interzeption zunächst zu, um dann zur Trockenphase hin auf Grund der abnehmenden Belaubung der Vegetation und der sich erschöpfenden Bodenwasservorräte wieder zu fallen.

Während der Dauersättigungsphasen I und II blieb im Untersuchungsjahr (1976) der Bodenvorrat (300 mm) praktisch unberührt. Der Boden war durchgehend noch gesättigt. In der Austrocknungsphase wurde das pflanzenverfügbare Wasser

(120 mm) verbraucht und in der Trockenphase wurde der Boden bis über pF 5 ausgetrocknet.

Auf das Gesamtjahr bezogen gehen 22.2 % der Niederschläge in die Interzeption, 38.4 % verdunsten (E_{1a}) und 34.7 % fließen oberflächlich ab.

Tabelle 3/4: Berechnung der täglichen ETA in Parzellen 7 und 8

Parzelle	Periode (1976)	Tage	Nb mm	ΔR mm	gesamter		Messtelle	pF im Boden
					Wasserverbrauch mm	ETA mm/Tag		
7	5. 8.-10. 8.	11	27.6	0	27.6	2.5	unbewachsene Senke	Übersättigung
	9. 9.-24.9.	15	46.5	0	46.5	3.1	bewachsene Erhebung	Übersättigung
	20.10.-27.11.	38	75.4	-32.5	107.9	2.8	bewachsene Erhebung	Von Übersättigung bis pF 3
	5. 8.-23. 8.	18	38.3	-23.5	61.8	3.4	bewachsene	Von Übersättigung bis pF 1.5
8	8. 9.-26. 9.	18	57.4	0	57.4	3.2	bewachsene	Übersättigung
	4.10.- 8.10.	4	0.	-13.	13.	3.3	bewachsene	Übersättigung
	15.10.-27.11.	43	78.4	-49.5	127.9	3.0	bewachsene	Von Übersättigung bis pF 3
Mittlere ETA		147			442.1	3.0		Von Übersättigung bis pF3

Tabelle 8/5: Wasserhaushalt in den tonigen Standorten (P7 und P8) vom 15.5.76 bis 15.5.77 (mm).

	Tage	Regentage	mittl N/Tag	Nf	Nb	I	Ao	ETa	Ao/Tag	ETa/Tag	ΔR
Dauersättigung I	108	74	11.2	1210	964	246	640	324	5.9	3.0	0 ⁺
Dauersättigung II	76	38	5.5	422	292	130	64	228	0.8	3.0	0 ⁺
Austrocknung bis pF 3	40	11	2.5	99	75	24	0.	152	-	3.8	-77
Austrocknung bis pF 4.2	21	0	-	0.	0.	0.	0.	44	-	2.1	-44
Trocken	60	2	0.16	10	9	1	0.	29	-	0.5	-20.0
Aufsättigung	60	16	4.9	287	237	50	0.	142	-	2.4	+95
Total	365	141	5.6	2028	1577	451	704	919		2.5	-46

⁺R bleibt konstant bei voller Sättigung (300 mm)

8.4. Wasserhaushalt der Parzellen 2 und 1

Obwohl in diesen Parzellen nicht so günstige Voraussetzungen wie in den Parzellen 4 und 7 - 8 für die Aufstellung des Wasserhaushalts geboten werden, besteht immerhin der Vorteil, die vorhandene Stauwassersohle (P2 bei 2 m, P1 bei 1 m) als untere, sehr gut definierbare, Grenze zu benutzen.

In der Parzelle 2 wurde Nb gemessen und damit I durch Gleichung (4) berechnet. Da Ano nicht auftritt, bleiben nach Gleichung (1) Ao, As und ETa als zu ermittelnde unbekannte Größen. Das Untersuchungsjahr wurde wiederum aufgrund des Bodenfeuchtereimes in folgende Phasen aufgeteilt:

- a. Aufsättigungsphase : 15. 5. - 8. 6.76 unbekannte Größen
As, ETa (Ao=0)
- b. Hohes Grundwasser : 9. 6. - 10. 8.76 As, Ao, ETa
- c. 50 cm tiefes Grundw. : 11. 8. - 25.10.76 As, ETa (Ao=0)
- d. Austrocknungsphase I : 26.10. - 31. 1.77 As, ETa (Ao=0)
- e. Austrocknungsphase II : 1. 2. - 17. 3.77 ETa (As, Ao=0)
- f. Aufsättigungsphase : 18. 3. - 15. 5.77 ETa (As, Ao=0)

Die Größe ETa + As wurde in Überflutungsfreien Perioden während der Phasen c und d (insgesamt 116 Tage) aus ΔR und Nb ermittelt (R durch Tensiometermessungen, pf-Kurven und wassergehaltsbestimmungen). Als As wurde der in der Stauwassersohle gemessene Leitfähigkeitswert Ku bei 20 cm (in der Austrocknungsphase 50 cm) WS vorgegeben. Die nach Abzug von As verbleibende ETa der Meßperioden wurden für die Phasen b, c respektive d als gleichbleibend angenommen. Für die Phasen a, e und f ließ sich ETa aus ΔR berechnen. Ao ergab sich als Differenz zwischen Nb und ETa + As der einzelnen Phasen. Tab. 8/6 stellt die Bilanz dar. Von besonderer Bedeutung ist die gegenüber den laubwerfenden Beständen (P4 und P8) erhöhte Evapotranspiration und die fehlende Austrocknung des Bodens über den PWP.

Als Unsicherheiten gehen in dieser Bilanz ein:

- a) Die Ku-Werte (20 und 50 cm WS) wurden an 2 Proben des gleichen Staukörpers gemessen, der in P1 bis auf 1 m Bodentiefe ansteigt. Der Ku ($\Psi = 20$ cm WS) wurde dem meßtechnisch ungenaueren Kf-Wert vorgezogen (s. 4.3),

zumal die Stausohle zwischen pF 0 und 1.5 grobporenfrei ist (Abb. 4/18, Tiefe 70 - 100 cm).

- b. Es wird vorausgesetzt, daß die in der oberflächenwasserfreien 2. Phase der Regenzeit aus Nb - ΔR ermittelten ET_a + As Werte auch für den ersten Teil der Regenzeit gelten, in welcher der Grundwasserstand meist in Oberflächennähe liegt. Vielleicht ist in dieser Zeit jedoch mit geringerer Transpiration zu rechnen.

Für die Berechnung in Parzelle 1 wurde das Untersuchungs-jahr folgendermaßen aufgeteilt:

		unbekannte Größen
a. Aufsättigungsphase	: 15. 5.- 5. 6.76	As, A_o, ET_a
b. Hohes Stauwasser	: 6. 6.-10. 8.76	As, A_o, ET_a
c. Mittleres Stauwasser	: 11. 8.-15.10.76	As, A_o, ET_a
d. Austrocknungsphase I	: 16.10.-25.11.76	$As, ET_a (A_o=0)$
e. Austrocknungsphase II	: 26.11.-31.12.76	$ET_a (As, A_o=0)$
f. Austrocknungsphase III	: 1. 1.-17. 3.77	$ET_a (As, A_o=0)$
g. Aufsättigungsphase	: 18. 3.-15. 5.77	$ET_a (As, A_o=0)$

Die Berechnung erfolgte nach demselben Schema wie in Parzelle 2, d. h. die basale Tiefensickerung durch die Stauwassersohle wurde aufgrund der gemessenen K_u -Werte (20, 50 und 100 cm WS) vorgegeben; aus Nb - (ΔR + As) wurde in drei überflutungsfreien Perioden (b, d und e) von zusammen 62 Tagen die aktuelle Verdunstung gemessen und jeweils für die Phasen a bis e als gleichbleibend angenommen, während die ET_a der Phasen f und g aus ΔR berechnet wurden.

Tabelle 8/7 stellt die Ergebnisse dar.

Die Evapotranspiration liegt hier ebenfalls höher als in den Parzellen 4 und 8, aber etwas niedriger als in Parzelle 2. In Parzelle 2 war keine Trockenphase (Bodenaustrocknung über pF 4.2) zu verzeichnen, während hier für nur etwa 2 Wochen am Ende der Trockenzeit ein solcher Zustand eintritt.

8.5 Wasserhaushalt der Parzellen 3, 5 und 6

In diesen Parzellen ließen sich Bilanzen nicht aufstellen und zwar aus folgenden Gründen:

- a. Einmal reicht in allen drei Fällen ein tiefgründiges Grundwasserstockwerk direkt bzw. über einen gut ausgebildeten Kapillarsaum (P3) in den Wurzelraum hinein. Das hieraus von den Wurzeln entnommene Transpirationswasser (P3 in der Regenzeit, P5 und 6 insbesondere in der Trockenzeit auch) machte die Berechnung von $ETA + A_s$ unmöglich. In P6 kam als weiterer Unsicherheitsfaktor der Zustrom von Oberflächenwasser in unbekannter Höhe hinzu.
- b. Die Verwendung von ETA -Größen anderer Parzellen schien für P3 (als teillaubwerfender Bestand) zu unsicher; in P6 sowieso sinnlos (s. o.) und nur in P5 vertretbar. Als Bezugswerte boten sich diejenigen der Parzelle 2 an, da beide Bestände ähnlichen (immergrünen) Charakter und Struktur besitzen. Die Bodenunterschiede dürfen diese Vergleichbarkeit allerdings auf die Regenzeit beschränken. Unter Verwendung der ETA -Werte von P2 beläuft sich die Summe von A_o und A_s für die Regenzeit in P5 auf 520 mm (26 % des Gesamtniederschlags).
- c. Eine Aufgliederung von A_o und A_s war jedoch in P5 nicht erreichbar. Die Tiefensickerung wird - im Gegensatz zu P1 und P2 - durch den Oberboden selbst gesteuert, wo in 30 - 40 cm Tiefe die geringsten K_u -Werte liegen (s. Abb. 4/9). wegen der in diesem Tiefenbereich praktisch täglich variierenden Sättigung, hätten A_s und ΔR täglich neu berechnet werden müssen. Wegen des hohen Grundwassers schien die Voraussetzung für eine detaillierte Modellrechnung nicht gegeben. Immerhin ist wegen der insgesamt geringen Leitfähigkeit der Lehndecke und der hohen Niederschlagsintensität anzunehmen, daß der größere Teil der oben genannten 520 mm als A_o abfließt.

Tabelle 8/6: Wasserhaushalt in Parzelle 2 vom 15.5.76 bis 15.5.77

Jahresphase	Tage	Regentage	mittl.	mm/tag										ΔR^*
			N/Tag	Nf	Nb	I	As	Ao	ETa	As	Ao	ETa		
a) Aufsättigung	25	14	11.9	298	249	49	15	0	73	0.6	0	2.9	+161	
b) Hohes Grundwasser	63	44	12.1	762	595	167	38	256	265	0.6	4.1	4.2	+ 36	
c) 50 cm Tiefe Grundwasser	76	44	6.8	513	389	124	46	24	319	0.6	0.3	4.2	0	
d) Austrocknungsphase I	98	17	1.6	158	123	35	20	0	382	0.2	0	3.9	-279	
e) Austrocknungsphase II	45	1	0.2	10	8	2	0	0	104	0	0	2.3	- 96	
f) Aufsättigung	58	16	4.9	287	249	38	0	0	151	0	0	2.6	+ 98	
				365	2028	1613		119	280	1294		3.5	-80	

* ΔR bezogen auf 180 cm Bodentiefe

Tabelle 8/7: Wasserhaushalt in Parzelle 1 vom 15.5.76 bis 15.5.77

Jahresphase	Tage regentage		mittl. N/tag	Nf	Nb	I	As	Ao	ETA	mm/tag			ΔR^*
										As	Ao	ETA	
a) Aufsättigung gg	22	12	11.8	260	215	45	7	116	70	0.3	5.3	3.2	+ 22
b) Hones Stauwasser	66	46	12.1	800	629	171	40	393	211	0.6	6	3.2	- 15
c) Mittleres Stauwasser	66	39	7.1	470	364	106	40	113	211	0.6	1.7	3.2	0
d) Austrocknungsphase I	41	14	2.6	106	70	36	8	0	144	0.2	0	3.5	- 82
e) Austrocknungsphase II	36	8	2.6	95	78	17	4	0	104	0.1	0	2.9	- 30
f) Austrocknungsphase III	76	1	0.1	10	8	2	0	0	152	0	0	2.0	-144
g) Aufsättigung	58	16	4.9	287	249	38	0	0	145	0	0	2.5	+104
				2028	1613		99	622	1037			2.8	-145

* ΔR bezogen auf 100 cm Bodentiefe

9. ZUSAMMENFASSENDEN DISKUSSION

9.1 EINFLUSS DER BÖDEN AUF DEN GEBIETSWASSERHAUSHALT

Die jungen, alluvialen Böden des nah an die Andenkordillere gelegenen Caparo-Gebietes sind nur mäßig verwittert und ausgewaschen. Die Böden werden im allgemeinen durch eine hohe Basensättigung und für tropische Verhältnisse hohe KAK gekennzeichnet. Die P-Vorräte sind ebenfalls hoch (s. Abschnitt 4.3.3).

Dieses Merkmal vergleichsweise günstigen Nährstoffangebotes läßt sich in der Biomasse, soweit sie untersucht wurde (Feinwurzeln, Streu) und deren Abbau-Zwischenstadium (Humusauf-lage) erkennen und garantiert auch einen zwar saisonal wechselnden, aber für die gesamte Vegetationsperiode hohen Abbaukoeffizienten ($K = 1.2$, s. 6.4). Für das Ziel dieser Arbeit, die Charakterisierung der Standort-Vegetationsbeziehungen und die Vorbereitung einer Standortgliederung, dürften in dieser Hinsicht nur die sandigen Standorte besonderes Interesse fordern, und dies auch nur im Hinblick auf ihre vorgesehene Nutzung für Teakplantagen.

Im Mittelpunkt der Betrachtung müssen in dieser Art Landschaft dagegen die hydrologischen Bedingungen stehen. Die sehr ausgeprägte Saisonalität des relativ hohen (~ 1750 mm/Jahr) Niederschlages bedingt Wasserüberschuß in der Regenzeit und Wasserdefizit in der Trockenzeit. Wirkung und Intensität können durch die physikalisch-hydrologischen Eigenschaften der unterschiedlichen Bodenstandorte verstärkt bzw. gemildert werden.

Die Bodenstandorte variieren sehr stark, entsprechend der geomorphologischen Dynamik dieser alluvialen Ebene im Pleistozän-Holozän, von meist höher gelegenen, sehr durchlässigen, sandigen, bis tiefer gelegenen und regelmäßig überfluteten, tonigen Standorten mit graduellen Übergängen.

Die hydrologischen Verhältnisse werden einerseits von der Schichtabfolge und der Textur, Porenraumverteilung und Leitfähigkeit der einzelnen Schichten sowie andererseits von der relativen topographischen Lage bestimmt.

Eines der auffälligsten und für die Landnutzung kritischen

Phänomene der Landschaft ist der Umfang der Regenwasser-Überflutung und die großflächige, reliefbedingt langsame Bewegung von Oberflächenwasser von einem erheblichen Teil der Hochwaldflächen in die von Buschwald, Heliconia oder Gramineen bedeckten Senken. Praktisch frei von Oberflächenwasser sind nur die tiefgründig sandigen Standorte. Auf allen anderen Standorten außerhalb der Senken tritt es von kurzfristig nach höheren Niederschlägen (P3) bis hin zu mehrmonatig in 10 - 20 cm Höhe (P10) auf. Die Ursache liegt hauptsächlich in einer die Wasseraufnahme begrenzenden Leitfähigkeit der Deckschichten.

Bis zur Oberfläche aufsteigendes Grundwasser kommt als Ursache anscheinend nur lokal in Betracht, wie in P2, wo sich über einer in 2 m Tiefe anstehende Stausohle im sandigen Decksediment ein örtliches Grundwasserstockwerk bildet. Dagegen steigt das Grundwasser im anscheinend recht großflächig vorhandenen basalen Sand nach bisherigen Beobachtungen nur bis 60 cm (P10) unter Flur.

Soweit das Auftreten von Oberflächenabfluß von der Eigenschaft der Deckschicht gesteuert wird, mögen einige zusammenfassende Daten in Tab. 9/1 diese Abhängigkeit verdeutlichen. Die Parzellenfolge (P4 - P8) entspricht der Bodensequenz, wie sie eingangs (Abschnitt 2.2.) als Bodenserie 1 beschrieben wurde. Die Textur reicht von lehmigem m-fS bis Ton. In dieser Reihenfolge sinkt der Grobporenanteil und die Leitfähigkeit (K_u bei $\psi = 20$ cm WS) schnell auf sehr kleine Werte. Die Tabelle bezieht sich auf die 3 regenreichsten Monate der Regenzeit (1976), welche etwa 52 % (1100 mm) der Jahresniederschläge brachten.

Auf Grund der hohen Niederschlagsintensität liegt die Gleichgewichtssättigung (Reihe 5, Tab. 9/1) schon in 1S recht hoch. Zum uL (P3) steigt die Sättigung, sinkt der Grobporenanteil, und ab utL tritt Stauwasser auf, dessen Niveau zwischen 0 und 15 cm schwankt.

Die Leitfähigkeit des 1S (P4) gestattet bei der Gleichgewichtssättigung in dieser Zeit eine schnelle Tiefensickerung (s. Abb. 4/23) auch hoher Einzelniederschläge. In P3 (uL) begrenzt die Leitfähigkeit die rasche Ableitung des

Tabelle 9/1: Eigenschaften und Sättigung des Decksediments (0 - 100 cm) sowie Oberflächenabfluß während des ersten Teils der Regenzeit in Bodenserie1 (lehmig-toniges Decksediment über basalem Sand).

Parzelle	4	3	5	6	7/8
1. Textur (30 - 60 cm)	1S	uL	utL	utL	T
2. Tongehalt in 30 - 60 cm (%)	16	32	44	44	70
3. Grobporen (Vol%), 30 - 60 cm	20	7	1.7	2.3	1.7
4. Kleinste Ku (in cm/tag) (20 cm WS)	1.5	0.7	0.2	0.1	(0.004)
5. mittlere Sättigung in 30 - 60 cm (cm WS)	40	20	0	0	0
6. mittlere Grund- bzw. Stauwasserhöhe (cm) (300)	(300)	(180)	8	5	5
7. mittlerer Luftporenanteil von 0 - 50 cm (Vol%)	10	4	1.4	1.2	1.2
8. Noch aufnehmbarer Grenzniederschlag (Nb/tag, mm)	80	22	10	10	6
9. Ao (mm)	0	200	400 - 450		700
10. As (mm)	650	350		100	0

Niederschlagswassers. Berechnet man auf Grund der begrenzenden Leitfähigkeit in 30 - 40 cm Tiefe ($K_u, l = 20$ cm WS) und des darüber befindlichen Luftporenraumes die Grenzwassermenge, welche pro Tag aufnehmbar ist, so beträgt dieser "aufnehmbare Grenzniederschlag" (Spalte 8, Tab. 9/1) hier 22 mm. Bei dieser Berechnung geht der Einzelniederschlag nur als Tagesniederschlag ein. Die in der Regel höhere Niederschlagsintensität dürfte weitgehend dadurch kompensiert werden, daß bei der kurzfristig auftretenden Sättigung auch die Leitfähigkeit noch ansteigt (K_s). Da die mögliche Abweichung relativ gering ist, gibt dieser "Grenzniederschlag" in etwa an, ab welcher Niederschlagshöhe Oberflächenwasser auftritt, das dann auch sehr schnell abfließt. In P3 errechnet sich - und das war hier nur auf diese Weise möglich (s. 8.5) - ein A_o von etwa 200 mm.

Das Grundwasser im basalen Sand wird nur auf Standorten wie P4 und P3 - das mögen grob geschätzt etwa $1/3$ der Gesamtfläche ausmachen - von oben her gespeist. Über laterale Zufuhr, wie überhaupt die laterale Kontinuität und Bewegung des Grundwassers und die Schichtverhältnisse des tieferen Untergrundes, ist nichts bekannt.

In den tonreicheren Deckschichten ist die Leitfähigkeit so gering, daß die Tiefensickerung vernachlässigbar oder null ist, und der aufnehmbare Grenzniederschlag nur von jeweils wasserfrei gewordenem Luftporenvolumen der oberen 15 cm bestimmt wird. Hier führen bereits relativ kleine Niederschlagsereignisse ($> 10^{-6}$ mm) zur Bildung von Oberflächenwasser; folglich fließt hier in dieser Zeit auch der größte Teil des Bestandesniederschlages (in P7/8 etwa $2/3$) als A_o ab. Da die hiervon betroffenen Standorte unter Einschluß der Senken (Buschwald - Bajios und Esteros) vielleicht etwa die Hälfte der Fläche einnehmen, und auch die verbleibenden Standorte (s. u.) meist geringe Tiefensickerung besitzen, wird auch der weitaus größte Teil des regionalen Wasserüberschusses ($A_o + A_s$) als A_o abfließen.

Überschlagsweise beträgt in dieser Zeit der Anteil von A_o am Überschuß über 70 %, das sind immerhin mehr als $1/3$ (> 400 mm) des Freilandniederschlages.

Für das regionale Abflußsystem bedeutet dies eine zeitlich sehr hohe Belastung, zumal dieses Abflußsystem aus einer lockeren etwa flußparallel orientierten Reihung von breiten Senken besteht, die durch schmale natürliche Kanäle durch die Abschnürung miteinander verbunden sind.

Alle Versuche, den Oberflächenabfluß meliorativ durch Oberflächendrainage zu verbessern (s. u.), werden zunächst eine Verbesserung der Vorfluterhältnisse erforderlich machen, bzw. in ihrem Erfolg von den Möglichkeiten einer solchen abhängen. Ebenfalls zu berücksichtigen ist, daß jeder Eingriff in die bestehende Hochwaldvegetation natürlich zu einer Steigerung des Oberflächenabflusses führen wird.

Für das Milieu im Boden bedeutet die geringe Leitfähigkeit der Decksedimente regenzeitlich bei hoher Sättigung bis Staunässe Sauerstoffmangel (Spalte 7, Tab. 9/1). Ähnliche Bedingungen gelten auch, wenn tonärmere Decksedimente von tonreicheren Stauwassersohlen unterlagert werden (s. Parzelle 1 und 2), von deren (geringer) Leitfähigkeit der Stau effekt (wie der Oberflächeabfluß) gesteuert werden. Insgesamt ergibt sich daraus ein flächenhaftes Vorherrschen von Stauwasserböden.

Dabei wird unter diesem Begriff Stau- und Haftwasservernässung zusammengefaßt. Da - strukturell und texturell bedingt - die begrenzende Leitfähigkeit unterhalb 30 - 40 cm Tiefe liegt, findet sich in den lehmig-tonigen Decksedimenten bei dieser Niederschlagsintensität meist eine Kombination beider Formen. Von (schwacher) Haftwasservernässung könnte man in Parzelle 3 (milder, relativ gut dränierender Lehm) reden, wo die bei hoher Niederschlagsintensität relativ hohe Gleichgewichtssättigung ($\Psi = 20 \text{ cm Ws}$) wegen des geringen Luftporanteils bereits deutlich hydromorph prägt (Feinfleckung), aber volle Sättigung der oberen 30 - 40 cm nur kurzfristig nach hohen Niederschlägen auftritt (s. o.).

In den lehmig-tonigen Deckschichten führt die begrenzende Leitfähigkeit unterhalb 30 - 40 cm Tiefe bereits zu voller Sättigung des sehr geringen Grobporenvolumens im Unterboden wie im Oberboden. Dabei läßt sich im Augenblick noch nicht beurteilen, welchen Einfluß die Grundwasserhöhe im basalen

Sand auf die Tiefensickerung in der Deckschicht hat, d. h. ob z. B. die Tiefensickerung in P5 und P6 höher wäre, wenn das Grundwasser nicht bis zur (P5) oder in die (P6) Deckschicht aufstaute. Der Kontakt mit dem Grundwasser mag einerseits den Wasserdurchfluß mindern, andererseits kann eine geringe Durchfeuchtung des untersten Deckschichthorizonts auch eine geringere Strukturdynamik und deshalb verringerte Leitfähigkeit bedeuten, wie dies in Parzellen 7 und 8 zu beobachten ist.

Die Stauwasserhöhe schwankt zwischen erstem und zweitem Teil der Regenzeit in P5 und P1 (s. Tab. 9/2), nicht in P6 (Oberflächenwasserzufuhr) und P8, wo bei fehlender Tiefensickerung sich die Abnahme des Niederschlages nur auf die Dauer und Höhe der Überflutungsphase auswirkt.

Die etwas unterschiedliche Niederschlagshöhe und Verteilung zwischen den Jahren 1976 und 77 wirkt sich in P5, 6 und 8 zwar auf die Länge und zeitliche Verteilung, nicht aber auf die Stauwasserhöhe aus, weil die Vernässung hier schon mit wesentlich geringeren Niederschlägen realisiert wäre.

Dagegen tritt ein deutlicher Unterschied in P1 und, noch mehr, in P2 auf, wo die Deckschicht als ausgeprägter Wasserleiter zunächst aufgefüllt werden muß. Da im ersten Teil der Regenzeit 1977 etwa 280 mm Nb weniger fielen als 1976, dauerte diese Auffüllung dementsprechend länger (Tab. 9/2, s. auch Abb. 5/7 und 5/8). In P1 liegt jedoch eine Übergangssituation vor, da die Leitfähigkeit des Wasserleiters selbst schon wieder relativ gering ist mit Ku ($\Psi = 20$ cm WS) von 0.1 - 0.5 cm/tag zwischen 30 und 80 cm Tiefe (etwa zwischen den Werten von P3 und P5, s. Tab. 9/1), und damit bei dem geringen Grobporenvolumen von etwa 6 Vol% (30 - 60 cm Tiefe) deutliche Haftwasservernässung zu erwarten wäre. Gestützt durch den Staueffekt der Stausohle tritt neben dem schwankenden Stauwasserniveau in der Deckschicht so auch ein recht hoher A_0 von 570 mm auf, während dieser in P2 mit seiner 50-fach höheren Leitfähigkeit 1976 nur 260 mm betrug.

Tabelle 9/2: Höhe des Stau- bzw. Grundwasser- (P2)-Niveaus in einigen Parzellen im 1. und 2. Teil der Regenzeiten 1976 und 1977 (in cm unter Flur).

Regenzeit	1. Teil	2. Teil
<u>1976</u>		
P5	10	25
P6	10	10
P7/8	10	10
P1	10	60
P2	20	35
<u>1977</u>		
P5	10	20
P6	10	10
P7/8	10	10
P1	50	50
P2	100	25

Von den Hydromorphie-Merkmalen, welche diese unterschiedlichen Sättigungsbedingungen des Oberbodens (0 - 30 cm) am deutlichsten wiedergeben, sind einmal die Bodenfarbe (wechselnder Farbton von 5YR über 7.5YR zu 10YR mit zunehmender Sättigung, abnehmender Farbwert (Chroma) in gleicher Richtung) sowie das Auftreten von Eisen-Mangan-Ausscheidungen zu nennen. Mit der Verlängerung der Stauphase im Oberboden - in der Regel einhergehend mit der Verlängerung der Phase mit Oberflächenabfluß - sinken die feuchten Chroma-Notierungen (bei meist relativ hohen Values) von > 2 (P3, P2, P5, P1) über 2 (P6, P7, P8) bis 1 (P10) ab, was nach der Soil Taxonomy-Gliederung den Übergang zu einem "aquic" Feuchteregime beinhaltet. Manganfleckung oder Konkretionen treten in stärkerem Umfang in dieser Bodentiefe nur in den stärker gebleichten Böden auf.

Als Komponente des Wasserhaushaltes wäre noch die Evapotranspiration einer kurzen Betrachtung zu unterziehen. Die Jahres-Evapotranspiration (ETa) macht mit 900 - 1300 mm 45 - 64 % der Freilandniederschläge aus. Sie sinkt vom immergrünen zum laubwerfenden Bestand bzw. mit abnehmender Wasserkapazität des Bodens. Der höhere Jahreswert des immergrünen

und teillaubwerfenden Bestandes folgt nicht nur aus der höheren ETA während der Trockenzeit sondern - zumindest im immergrünen Bestand - auch auf Grund höherer ETA in der Regenzeit.

Tab. 9/3: Gesamt-Evapotranspiration in mm (und % von Nf), jahreszeitliche Tagesraten der ETA und mittlere Tages-ETA auf Parzellen 2, 1, 4, und 7/8.

Parzellen	2	1	4	8	ETp (mm/Jahr)*
ETA gesamt, mm	1294	1038	920	919	1515
(und % von Nf)	(64%)	(51%)	(45%)	(45%)	
Wasserspeicherkapazität des Bodens (mm)	430	190	180	90	
ETA (mm/tag)					ETp (mm/tag)*
Aufsättigungsphase	2.9	3.2	3.3	3.0	3.8
Regenzeit 1. Teil	4.2	3.2	3.3	3.0	3.5
Regenzeit 2. Teil	4.2	3.2	3.3	3.0	4.3
Austrocknungsphase I	3.9	3.5	3.8	3.0	4.2
" II	3.9	2.9	3.8	3.8	3.8
Trockenphase	2.3	2.0	0.7	0.5	5.1
Aufsättigungsphase	2.6	2.5	1.2	2.4	3.8
Mittlere Tages-ETA	3.5	2.8	2.5	2.5	4.2

* ETp nach PENMAN (Korrekturfaktor für Waldvegetation 5/3 Ea, Albedo : 0.15)

Im 1. Teil der Regenzeit überschreitet hier die mittlere ETA (4.2 mm) auch die mittlere Tages-ETp (3.5 mm).

Mit Abklingen der Regenzeit steigt die mittlere tägliche ETA auf den Parzellen 1, 4 und 7,8 zunächst etwas an und fällt dann in P4 und 7/8 auf sehr niedrige Werte von Januar bis März. Der intermediäre Anstieg der ETA in der Austrocknungsphase erfolgt später als diejenige der ETp.

9.2. BESTANDESCHARAKTERISIERUNG UND GLIEDERUNG

In der Waldreserve Caparo variiert die Vegetation von Este-ros (saisonal stark überflutete Heliconia- bzw. Gramineen-standorte) über Busch- und Niederwald bis Hochwald.

Diese grobe Differenzierung ist eine Funktion der Höhe, Dauer und Kontinuität der Überflutung. Beobachtungen deuten daraufhin, daß die Grenze des Hochwaldes etwa bei kurzfristig andauernder Überflutung von 10 - 20 cm Höhe liegt.

Im Vergleich zu anderen weiträumigen Gebieten des Llanos und des Guayana-Schildes Venezuelas stößt damit der Hochwald recht weit zu feuchten Standorten vor. Vergleichende Beobachtungen deuten daraufhin, daß dies in erster Linie auf die in Caparo grundlegend höheren Nährstoffvorräte des Bodens zurückzuführen ist, welche hydrologische Standortun- gunst zu kompensieren vermögen (FÖLSTER, mündliche Mittei- lung). Der Hochwald selbst zeigt auffällige und relativ kleinräumige Variation in der Struktur und insbesondere in dem trockenzeitlichen Entlaubungsgrad. Klimatisch liegt Caparo im Übergangsbereich zwischen saisonal immergrünem Re- genwald und saisonal laubwerfendem Feuchtwald (nach BEARD, 1946).

Die kleinräumige Variabilität wird offensichtlich durch Standorteigenschaften bedingt, welche u. a. in dieser Ar- beit genau definiert werden sollen. Dabei stand das bereits von VINCENT (1970) angestrebte Ziel im Vordergrund, die Waldformen-Standortbeziehungen für eine spätere Standort- kartierung durch Luftbildinterpretation auszunutzen.

Der unterschiedliche trockenzeitliche Entlaubungsgrad wurde von VINCENT (1970) zur Typifizierung von Waldbeständen in Caparo herangezogen. Auf Grund des Deckungsgrades trocken- zeitlicher Belaubung in den beiden oberen Stockwerken hat er durch Grenzen bei 66 % und 33 % eine Differenzierung in saisonal immergrüne, teillaubwerfende und laubwerfende Be- ständen vorgenommen.

Diese Differenzierung kommt einmal durch Wechsel in der Artenzusammensetzung und zum anderen durch standörtlich wechselndes Verhalten gewisser Baumarten zustande. Auf Grund der insgesamt 5-jährigen phänologischen Beobachtungen von

etwa 750 Bäumen (über 70 Baumarten) lassen sich 17 Arten als obligatorisch, also standortunabhängig laubwerfend und, ohne Palmen, 14 Arten als obligatorisch immergrün einordnen, während 30 Arten als fakultativ laubwerfend eingestuft wurden. Die hier verwendeten Begriffe obligatorisch und fakultativ und die in Tab. 6/1 getroffene Zuordnung der Arten zu den drei Gruppen müssen, wegen der regionalen Beschränkung wie auch wegen der für eine Reihe von Arten zu geringen Zahl der beobachteten Individuen noch als tentativ angesehen werden. Gezielte ergänzende Beobachtungen sind erforderlich.

Auf 4.75 ha Inventurfläche (eigene sowie von HETSCH et al. (1979) waren die Abundanz dieser 3 Artengruppen jeweils 22.6 % (obligatorisch laubwerfend), 18 % (immergrün) und 37.3 % (fakultativ laubwerfend). Die Palmen beteiligen sich mit 22.1 % der Abundanz.

Dieser beträchtliche Anteil der fakultativ laubwerfenden Arten ist sicher ein Grund, warum mit Hilfe der Clusteranalyse von 19 Parzellen (4.75 ha) keine bedeutenden Unähnlichkeiten nach Artenzusammensetzung aufgezeigt werden konnten, obwohl unter den 19 Parzellen sowohl immergrüne wie teillaubwerfende und laubwerfende Bestände vorhanden waren.

Als weitere Ursachen der relativen Arten-Homogenität ist neben der allgemeinen Unschärfe in der standörtlichen Artenanpassung bei sehr kleinräumigem Standortwechsel vor allem die Tatsache zu nennen, daß gewisse Arten sich unabhängig von der trockenzeitlichen Wasserversorgung (s. u.) nach anderen Bodeneigenschaften (wie z. B. dem Tongehalt) ausrichten.

Betrachtet man nun die standörtliche Verteilung der drei angesprochenen Arten-Gruppen (und der Palmen) statt der einzelnen Arten, zeigen sich sehr deutliche Verschiebungen, welche natürlich auf standörtliche Anpassungen der Artenzusammensetzung zurückgehen. Diese Verschiebungen im Mischungsverhältnis der Artengruppen wurden hier durch den in 6.2 beschriebenen Index erfaßt, einem Quotient aus den mit Gruppenspezifischen Multiplikatoren (1 obligatorisch

laubwerfend, 2 fakultativ laubwerfend, 3 Palmen und 4 immergrün) vervielfachten (Abundanzen und) Dominanzen der 4 Gruppen und der Gesamt-Dominanz (-Abundanz). Dieser Index erscheint durchaus geeignet, das Entlaubungsverhalten von Beständen quantitativ wie in den Begriffen von VINCENT (etwa 1-2 laubwerfend, 2-2.4 teillaubwerfend, 2.4 - 4 säsonal immergrün) zu beschreiben (s. Abb. 9/1).

Daß überhaupt eine Alternative zu VINCENT's Methode der Erfassung des trockenzeitlichen Entlaubungsgrades gesucht wurde, liegt in deren operativen Nachteilen begründet. Zwar hat diese Methode vom Ansatz her den Vorteil, daß sie die unterschiedlichen Verhalten der fakultativen Arten direkt beobachtet. Sie ist jedoch arbeitsaufwendig, zumindest wenn der Deckungsgrad der Krone wirklich aufgenommen werden soll, relativ unsicher hinsichtlich der Abschätzung des relativen Belaubungsgrades, und zeitlich an eben die Trockenzeit gebunden, wobei zu berücksichtigen ist, daß in Bezug auf die Entlaubung die Tockenzeit keineswegs als einheitliche Periode zu werten ist.

Dagegen kann der Artengruppen-Index jahreszeitenunabhängig mittels einer einfachen Inventur gewonnen werden. Sein Nachteil, der indirekte (in der Praxis undifferenzierte) Eingang der fakultativen Arten, ließe sich wahrscheinlich abmildern, wenn es gelingt, diese z. Zt. sehr breit gefaßte Gruppe noch einmal zu untergliedern. Sie enthält Arten, die sich in ihrem Laubfallverhalten sehr eng entweder an die obligatorisch immergrünen oder die laubwerfenden Arten anlehnen. Zu den ersteren gehören z. B. die Guamos, Laureles, Huesoepescao und Cedrillo, zu den letzteren z. B. Palo de agua und Drago.

Diese Unterteilung wurde hier noch nicht versucht, weil hierzu eine Reihe von Arten noch eingehender zu beobachten sind, und weil bei einigen Arten noch erhebliche Zweifel entweder bei der Ansprache oder hinsichtlich ihrer Einheitlichkeit bestehen.

Wie genau der Index - jetzt oder nach Verbesserung - das tatsächliche Entlaubungsverhalten von Beständen beschreibt,

muß sich schließlich aus einer weiteren Prüfung mit einer großen Zahl von Vergleichsflächen ergeben.

Zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit dieses Indexes, wie überhaupt der Bestandesgliederung nach Entlaubungsverhalten, müssen zwei Gesichtspunkte berücksichtigt werden:

- a) Besteht zwischen Bodenstandort und Entlaubungsverhalten der Bestände eine ausreichend enge Beziehung, die es gestattet, von dem einen auf das andere (und vice versa) zu schließen?
- b) Ist das Entlaubungsverhalten von Beständen direkt oder indirekt über assoziierte Strukturmerkmale im Luftbild so ansprechbar, daß es zur Standortkartierung herangezogen werden kann?

Letztere Frage wird von PULIDO (1977) **prinzipiell** positiv beantwortet, obwohl zur Grenzziehung bzw. zur Korrelation der im Luftbild und im Gelände ansprechbaren Einheiten noch erhebliche Vorarbeiten geleistet werden müssen.

Auch die erste Frage ist grundsätzlich zu bejahen. Abb. 9/1 zeigt die Beziehung zwischen dem Index und der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität im maximalen Bodenwurzelbereich. Für die hier untersuchten Parzellen (1 bis 8) beträgt der Korrelationskoeffizient $R = 0.786$; für alle 21 Parzellen - also unter Einschluß der Parzellen von HETSCH et al. (1979), für welche die Wasserkapazität nur aufgrund von Abb. 4/21 geschätzt wurde - ist $R = 0.791$. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Wasserspeicherkapazität nur einer der Faktoren ist, welche Auskunft über die Wasserversorgung vermitteln (s. Diskussion 9.3).

9.3 Streufallsaisonalität

Die durch das VINCENT'sche System oder den Artengruppen-Index nach dem Entlaubungsverhalten definierbaren laubwerfenden, teillaubwerfenden und immergrünen Waldbestände zeigen überraschenderweise einen sehr ähnlichen jährlichen Streufallverlauf. Der starke trockenzeitliche Anstieg im Laubfall ist laubwerfenden, teillaubwerfenden wie immergrünen Beständen gemeinsam. Das gilt aber auch für die kleinen, in der Regenzeit während oder nach regenärmeren Perioden zu

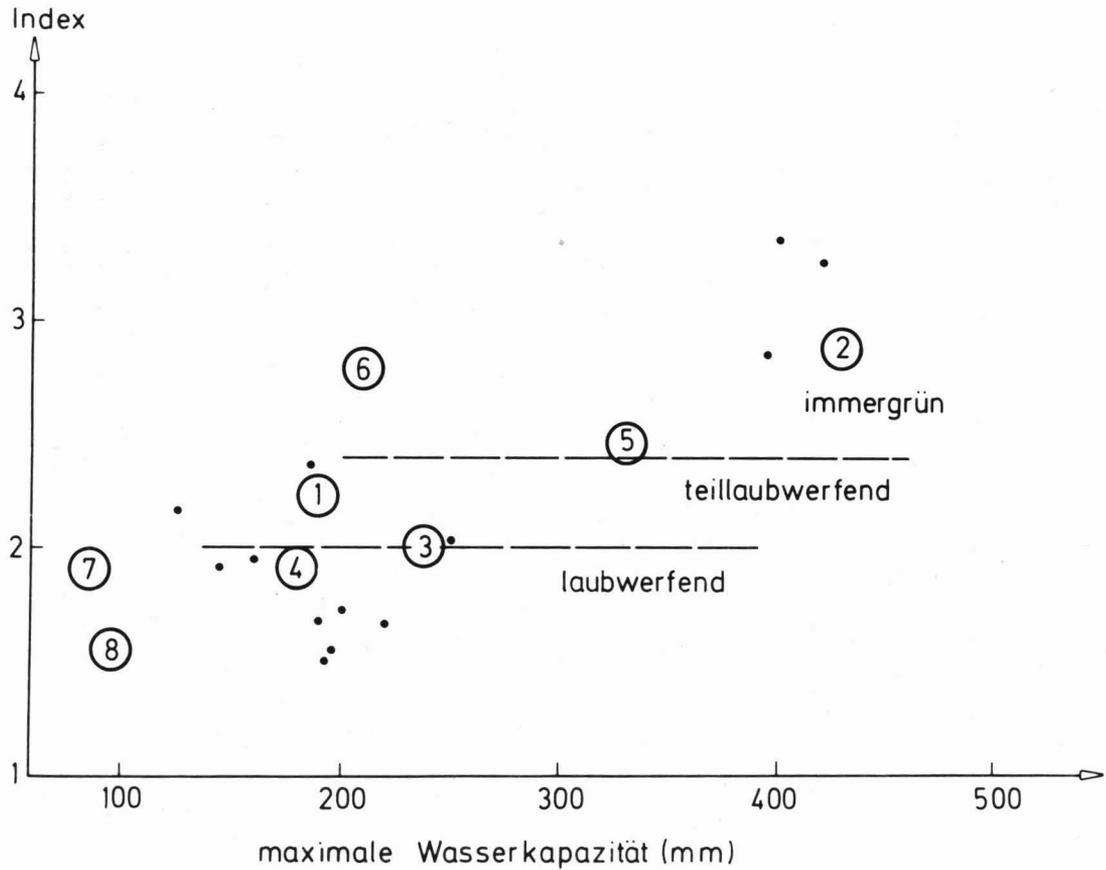


Abb. 9/1 : Beziehung Zwischen dem Artengruppen-Index und der max. Wasserkapazität

beobachtenden Anhebungen der Streufallkurve (s. Abb. 6/2).

Im gemeinsamen trockenzeitlichen Maximum des Streufalls kommt offensichtlich die klimatische Saisonalität zur Geltung. Der entscheidene Unterschied in der standörtlich beeinflussten trockenzeitlichen Entlaubung liegt also nicht in der Intensität des Laubfalls als vielmehr darin begründet, daß die immergrünen Bestände ihre neuen Blätter parallel zum Laubfall nachschieben, während in laubwerfenden Beständen m. o. m. lange Ruhephasen beide Vorgänge zeitlich trennen.

Ob der akzentuierte Blattwechsel in der Trockenzeit für alle immergrünen Arten zutrifft, muß allerdings hier offen gelassen werden, da die Blattstreu nicht nach Arten differenziert werden konnte.

Trotz gemeinsamen trockenzeitlichen Maximums treten zwischen den Flächen jedoch feinere quantitative Unterschiede auf. Während der 4 monatigen Trockenzeit fallen in den laubwerfenden Beständen auf Bodenstandorten mit geringer Wasserverfügbarkeit in dieser Zeit etwa bis $2/3$, in den immergrünen und teillaubwerfenden Beständen auf in dieser Zeit besser mit Wasser versorgten Bodenstandorten etwa 50 % der jährlichen Blattstreu. Hierin - wie im unterschiedlichen Zeitpunkt der neuen Blattbildung - kommen standörtliche Unterschiede zur Geltung. Dagegen scheint der Blattfall aber von meteorologischen Bedingungen gesteuert zu werden. Hierauf deuten auch die kleinen Laubfallerhöhungen in der Regenzeit hin.

So lassen sich in Caparo sehr enge Korrelationen (s. Tabelle Anhang X) zwischen Blattstreufall und meteorologischen Werten aufstellen.

Tabelle 9/4: Korrelation zwischen Blattstreu (g/m^2) und ausgesuchten meteorologischen Daten für 2 Wochenzeiträume

	R	n	Signifikanzniveau
1) ETp nach PENMAN (mm)	0.71	24	0.001
2) Sonnenscheindauer (h)	0.76	24	0.001
3) Summe der Stunden mit relativer Luftfeuchte < 50%	0.48	24	0.02

4) Summe der Stunden mit Lufttemperatur > 25°C	0.82	24	0.001
5) Summe von 2,3 und 4	0.85	24	0.001

BERNHARD-REVERSAT et al. (1972) fanden ebenfalls eine hohe Korrelation zwischen monatlichem Blattstreufall und Sonnenscheindauer ($R = 0.79$, $n = 36$). Diese Autoren meinen, daß möglicherweise stärkere direkte Sonneneinstrahlung eine Intensivierung der Blattvergilbung bzw. Blattabscission der Lichtblätter verursachen kann. Unsere Ergebnisse lassen sich so interpretieren, doch da Forschungen über die Auslöser-Mechanismen der Blattabscission in tropischen Baumarten bisher praktisch nicht begonnen haben, ist diese Interpretation spekulativ.

ADDICOTT (1965, 1968, 1970) und ADDICOTT & LYON (1973) geben eine ausführliche aber allgemeine Einführung in die physiologischen Ökologie der Blattabscission.

9.4 WALD-STANDORT BEZIEHUNGEN

Der standörtliche Einfluß macht sich also sowohl auf die Bestandeszusammensetzung nach Artengruppen unterschiedlicher Blattphänologie wie auf den Zeitpunkt des Knospenschiebens in der Trockenzeit und die regen-trockenzeitliche Verteilung des Streufalls geltend.

Diese drei Bestandes-Charakteristiken variieren gleichgerichtet, und es ist die Frage, wie sich die standörtlichen Gunst- bzw. Ungunstfaktoren definieren lassen. Unter den bodenhydrologischen Gegebenheiten - Bioelementeinflüsse können hier im Naturwald wohl weitgehend unberücksichtigt bleiben - ließen sich allgemein Ungunstbedingungen aus regenzeitlichem Sauerstoffmangel sowie aus trockenzeitlichem Wassermangel herleiten.

Zur Begründung des Entlaubungsverhaltens der Bestände wird in erster Linie das trockenzeitliche Wasserangebot von Interesse sein. Dies wird durch die Speicherkapazität für pflanzenverfügbares Wasser bestimmt (Abb. 4/21), eine Größe, für die pauschal das zwischen pF 2 und 4.2 gebundene Wasser

Tabelle 9/5: Länge (in Wochen) der Trockenphase ($pF > PWP$) und Wasserkapazität
(pF 2 - 4.2) in der Trockenzeit 1976/77

Parzelle	2	6	5	1	3	4	8 (7)
in 50 cm Tiefe	0	8	7	3	4	6	9
in 100 cm Tiefe	0	4	3	2	3	4	8
max. Wurzeltiefe	0	0	0	2	3	4	8
Wasserspeicherkapazität							
(mm)							
- bis 50 cm Tiefe	124	73	70	105	73	83	75
- bis 100 cm Tiefe	250	155	146	190	146	138	96
- bis max. Wurzeltiefe	430	210	330	190	240	180	96

1
177
1

eingesetzt wurde. Die Verwendung von pF 2 als untere Grenze wird zwar der Tatsache nicht gerecht, daß natürlich die stauenden Böden, aber auch schon die relativ frei dränenden Böden (Parzelle 3 und 4) unter der herrschenden Niederschlagsintensität der Regenzeit (1. aber auch 2. Teil) normal eine Sättigungsspannung von meist < 50 cm WS besitzen. Für eine ansich gebotene, bodenweise wechselnde Grenzbeziehung sind jedoch die Randbedingungen der Feldkapazität insbesondere die Größe und Frequenz vorheriger Niederschläge, nicht eindeutig genug definiert.

Was ebenfalls die Größe der Wasserspeicherkapazität relativiert, ist einmal der Einfluß des Grundwasser-Kapillarsaums und zum anderen die unsichere Ansprache der maximalen Durchwurzelungstiefe wie überhaupt die Nichtberücksichtigung der Tiefenverteilung der Wurzeln. Tab. 9/5 verdeutlicht diesen Zusammenhang: 1976/77 wird der PWP in den oberen 50 cm der Parzellen 4 bis 8 für 6 - 9 Wochen überschritten, in Parzellen 1 und 3 für 3- 4 Wochen, in Parzelle 2 garnicht. Mit Ausnahme von Parzelle 3 entspricht dies den Wasserspeicherkapazitäten bis zu dieser Tiefe, aber hinsichtlich der Parzellen 5 und 6 überhaupt nicht dem Entlaubungsverhalten des Bestandes.

Berücksichtigt man die oberen 100 cm, so stehen WK und Dauer der Trockenphase überall in enger Beziehung, doch ist die Gleichstellung von Parzellen 5 und 6 mit Parzellen 3 und 4 vom Entlaubungsverhalten her noch nicht verständlich. Erst unter Berücksichtigung der maximalen Durchwurzelungstiefe ergibt sich für die Parzellen eine Anordnung mit von links nach rechts zunehmender trockenzeitlicher Entlaubung.

Dagegen erscheint die maximale Wasserkapazität in Parzelle 6 mit 210 mm nicht mit der fehlenden Tiefenaustrocknung im Einklang zu stehen, zieht man zum Vergleich Parzelle 3 heran. Die Erklärung liegt hier in dem sehr langsamen Absinken des Grundwassers in Parzelle 6. Die maximale Wurzeltiefe unterschreitet das Grundwasser hier erst Ende Dezember (in

Parzelle 3 Mitte September, in Parzelle 5 Ende November).

Durch solche Unsicherheiten wird ein Teil der Streuung verständlich, welche in der Beziehung zwischen dem Artengruppen-Index und der Wasserspeicherkapazität auftritt (Abb. 9/1). Daneben gibt es jedoch, auch gerade unter den staunassen Parzellen mit mäßiger Wasserkapazität (etwa 200 mm bei flacher Durchwurzelung), Bestände mit sehr niedrigem Index (1.5-1.7) wegen relativ geringen Palmenanteils. Während Palmen (insbesondere Palma de agua) sich generell in ihrer Verbreitung an anderen immergrüne Arten anlehnen, gibt es doch Abweichungen, welche bisher in ihrer standörtlichen Bedingtheit noch nicht befriedigend gedeutet werden können. Im Fall der genannten Parzellen mit niedrigem Index (laubwerfende Bestände), handelt es sich um Standorte mit flacher Durchwurzelung (~ 100 cm), deren Unterboden-Charakter (Textur, Grundwasserhöhe) nicht bekannt ist.

Für die Höhe der maximalen Wasserkapazität scheint es ausschlaggebend zu sein, ob und bis zu welcher Tiefe die Wurzeln den Unterboden (100 - 200 cm) erschließen können und wie dieser beschaffen ist. Einige Aspekte mögen dies verdeutlichen:

- a) Wird durch die Wurzeln der basale Sand erschlossen, entscheidet dessen Textur, insbesondere der Anteil von Feinsand bzw. der Einschluß von Feinsandlinsen, über den zusätzlichen Speichervorrat für Wasser in diesem Tiefenbereich. So liegen zwischen 100 und 200 cm Tiefe in Parzelle 4 (Mittelsand) 42 mm, in Parzelle 5 (Fein- und Mittelsand) dagegen 185 mm an Zusatzspeicher.
- b) In tonreicheren Decksedimenten hängt die Strukturdynamik im basalen Teil der Decke davon ab, ob dieser vom Grundwasser regenzeitlich regelmäßig durchfeuchtet wird. Durchfeuchtung ermöglicht Gefügeentwicklung und damit Durchwurzelung und Versickerung. Bei tiefliegendem Grundwasser (Parzellen 7 und 8) bleibt dieser Teil dicht und absonderungsfrei. Die Durchfeuchtung wandert zu langsam und Wurzeln können das Decksediment nicht durchstoßen (wie in Parzellen 5 und 6) um zusätzlichen Speicherraum zu

erschließen.

- c) Grundsätzlich scheint die Tiefendurchwurzelung in sandigem Substrat leichter möglich als in tonigem, auch wenn dieses ständig feucht ist (s. Vergleich P1 und P5). Man muß dies wohl auf die bessere Belüftung auch in der Regenzeit zurückführen, obwohl dann - wie in Parzellen 2, 5 und 6 - der tiefere Wurzelraum 3 - 6 Monate unter Grundwasser steht. Es ist jedoch anzunehmen, daß gerade bei einer Schichtung von frühzeitig nassem und wenig luftdurchlässigem Lehm über Sand die Entlüftung des letzten beim Anstieg des Grundwassers nicht vollständig bzw. nur sehr langsam erfolgen kann. Man muß hier allerdings auch berücksichtigen, daß das Jahr 1976 überdurchschnittlich feucht war. Gerade in Parzelle 2 hielt die Grundwassersättigung im unteren Wurzelbereich 1977 weit weniger lange an als 1976.
- d) Wie bereits oben angedeutet, kann die Höhe und Bewegung des Grundwassers ziemlich unabhängig von der Texturschichtung und dem Relief variieren (Vergleich P5 und P8). Dadurch wird festgelegt, ob und wie lange die Wurzeln diesen Wasserspeicher anzapfen können.

Den hier angesprochenen Einflüssen muß in dem für die Standortgliederung vorzuschlagenden Schema sowie bei der Standortaufnahme Rechnung getragen werden. (s. 9.4).

Während zwischen Bestand und trockenzeitlicher Wasserversorgung eine sehr eindeutige Beziehung besteht, scheint hinsichtlich des regenzeitlichen Sauerstoffmangels die Toleranz weitaus größer zu sein.

In Tabelle 9/6 ist für den Hauptwurzelbereich 0-50 cm Tiefe der mittlere Vol%-Anteil Luftporen im 1. und 2. Teil der Regenzeit aufgeführt. Es handelt sich zwangsläufig um Relativwerte, da von der Labor-pF-Kurve und Tensiometermessungen im Feld ausgegangen wurde. Wegen der im Feld meist geringeren Wassersättigung der Grobporen können die realen Werte etwas höher liegen. Die Differenz dürfte aber gerade für die Stauwasserböden nicht sehr groß sein.

Tabelle 9/6: Mittlerer Luftporengehalt (Vol%) der Hauptwurzelzone (0-50 cm) in Teil 1 (a) und Teil 2 (b) der Regenzeit, sowie Dauer (Wochen) der respektiven Phasen und Artengruppen-Index in den Hochwaldparzellen.

Parzelle	4	3	2	5	1	6	7/8
a	10.4	4.1	1.9	1.4	1.1	1.2	1.2
b	12.8	7.1	4.8	3.9	2.6	1.8	1.8
Dauer							
a	12	12	9	11	9	15	14
b	11	9	11	11	9	13	14
Index	1.90	2.00	2.89	2.47	2.21	2.78	1.9-1.5

In der Abfolge der Parzellen (Tab. 9/6) von den frei dränenden zu den Stauwasser-Standorten mit sehr niedrigem Luftporenanteil stehen die laubwerfenden Bestände an den Extremen. Extrem ist aber auch P6 mit ihrem *saisonal* immergrünen Bestand. Nur in P5, 7 und 8 ist eine Konzentration der größeren Feinwurzeln auf die oberen 10 cm des Bodens zu beobachten (s. 4.2.3), was als Reaktion der Pflanzen auf die kritische Belüftung gedeutet werden könnte.

Entscheidend für den Hochwald scheint es allerdings, daß die Bodenoberfläche nicht kontinuierlich unter Oberflächenwasser steht. Wo dies der Fall ist, wie in den Erosionssecken von Parzelle 7 sowie ganzflächig in Parzelle 10, ziehen sich die Bäume auf Erhebungen zurück, die Zahl der Arten wird stark reduziert und speziell angepasste Arten dringen vor, die darum bereits den Hochwaldcharakter verändern. Solange also durch nur phasenhaft auftretendes Oberflächenwasser zumindest die oberen 10 cm (wie in P5, 6, 7, 8 und im 1. Teil der Regenzeit P1 und P2) immer wieder belüftet werden, scheint der Wald, wenn auch nicht alle Arten, diesen Zustand zu tolerieren. Damit ist allerdings nichts gesagt, daß die Wuchsleistung nicht von diesen hohen Sätti-

gungszuständen beeinträchtigt wird. Hierüber liegt jedoch keinerlei Information vor.

9.5. ENTWURF EINER VORLÄUFIGEN STANDORTGLIEDERUNG

Voraussetzung für eine Landnutzungsplanung innerhalb - aber sinnvollerweise auch außerhalb - der Caparo Reserve ist eine ökologische Standortgliederung, welche außer der forstlichen (naturnahen wie Plantagen-Bewirtschaftung) auch der landwirtschaftlichen und kombinierten Landbewirtschaftung dienen kann. Sie soll Anwendung finden einmal in der großflächigen Standortkartierung, auf welcher ein Bewirtschaftungsplan aufbauen kann, aber darüber hinaus sollen auf ihrer Grundlage auch standortspezifische Erfahrungen über forst- wie landwirtschaftliche Bewirtschaftungserfolge wie -mißerfolge flächenhaft übertragen werden können. Die großflächige Kartierung wird mit Hilfe der Luftbildauswertung vorwiegend im Naturwald stattfinden und muß deshalb die Kenntnis über die Beziehung zwischen natürlicher Vegetation und Standort voll ausschöpfen. Andererseits müssen die Standorte so definiert werden, daß sie auch unabhängig von der natürlichen Vegetation ansprechbar sind, also z. B. auf Plantagen und landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit Standorten unter natürlicher Vegetation und mit der gegenseitigen Beziehung beider. Über die Beziehung zwischen forstlichen und landwirtschaftlichen Kulturen zum Standort liegen bisher nur begrenzte Erfahrungen vor. Mais, Banane, Maniok u. a. Hackbau- bzw. Pflugkulturen beschränken sich meist auf sandige Standorte, während Weidenutzung undifferenziert erfolgt, ohne daß die standörtliche Eignung untersucht worden ist.

Forstliche Aufforstungsversuche mit verschiedenen Arten - bisher auf etwa 200 ha - haben nur auf tonärmeren (S, IS, sL, uL), freidränenden Böden befriedigende Ergebnisse erzielt, während auf staunassen Böden eine hohe Mortalität des Pflanzgutes und geringe Wuchsleistung im Jugendstadium beobachtet wird. (TORRES, 1974).

Bodenverschlämmung und das wegen der fehlenden Interzeption intensivere Stau- und Oberflächenwasser mögen die Ursache für die negative Erfahrung auch mit einheimischen Baumarten sein.

Zukünftige Versuche zur erweiterten Auswahl von Arten (und Provenienzen), zur Verbesserung der Pflanztechnik und Flächenhydrologie, müssen deshalb auch auf standörtlich genau definierten und ausgesuchten Flächen stattfinden, damit die Ergebnisse gezielt übertragen werden können.

Beim Entwurf einer bodenstandörtlichen Gliederung ist also zu berücksichtigen, daß sich gegenüber den Verhältnissen im Naturwald die standörtlichen Bedingungen auf Kulturflächen ändern, aber auch, daß die Ansprüche und Möglichkeiten von Kulturen sich von denen eines etablierten Waldbestandes unterscheiden, wie z. B. in der Ausschöpfung von Wasservorräten im tieferen Wurzelbereich.

Die Standorteinheiten müssen vor allem die Gestaltung des Luft-Wasser-Regimes der Standorte charakterisieren; ihre Gliederung und gegenseitige Abgrenzung muß sich der Faktoren bedienen, welche das Regime steuern. Da aber solche Faktoren - wie beispielsweise Porenverteilung, Wasserspeicherkapazität, Leitfähigkeit, Grundwasser usw. - nur mit hohem Aufwand bestimmbar sind, muß während der Standortaufnahme auf die Beziehungen zwischen diesen Faktoren und den im Feld ansprechbaren bodenmorphologischen Merkmalen zurückgegriffen werden. Einige dieser Beziehungen sind bereits in Abschnitt 4.3.2 (Abb. 4/20-25) wie in 9.1 erörtert worden. Ihre Daten-Basis ist noch recht begrenzt, da sich diese Arbeit relativ intensiv mit einer Auswahl von Standorten befaßt hat. Aus gleichem Grund fehlt bisher natürlich eine abgerundete Übersicht über die im Gebiet vorhandenen Bodenstandorte, insbesondere der möglichen Texturschichtungen.

Der folgende Vorschlag einer Standortgliederung kann deshalb nur als Ausgangspunkt für gezielte Überprüfung und Weiterentwicklung dienen. Deshalb wurden auch noch keine

definitiven Standorttypen ausgeschieden, sondern bislang nur die jeweiligen bodenmorphologischen Merkmale zu Kategorien abgegrenzt, die frei kombinierbar sind. Da in der Natur die Merkmalsgruppen natürlich mehr oder minder eng miteinander verknüpft sind, wird sich im Laufe der Überprüfung und Weiterentwicklung eine Vereinfachung ergeben, welche die Aufstellung definitiver Standorttypen erlaubt,

Als Bodenmorphologische Merkmale werden herangezogen:

a) Textur und Texturschichtung:

Die theoretisch mögliche Zahl der Konstellationen ist hoch, da grundsätzlich eine Profiltiefe bis 2 m zu berücksichtigen ist. Eine Vereinfachung ergibt sich aus der Unterscheidung des Hauptwurzelraumes bis etwa 1 m Tiefe und des tieferen Bereiches (1-2m), dessen Durchwurzelung mit den jeweiligen Bedingungen stark variieren kann. Für die Tiefenbereiche 0-1 m und 1-2 m werden frei kombinierbar 5 Texturkategorien aufgestellt, die jeweils die mittlere Textur wiedergeben sollen. Dabei können Schichten (Horizonte), welche für die Profildurchlässigkeit entscheidend sind, im Grenzfall den Ausschlag für die Zuordnung geben.

Die Texturkategorien sind:

Textur	cm/tag	
	~ nWK (Vol%)	~ Ku ($\Psi = 20$ cm WS)
MS : mS - lMS	< 10	> 50
FS : fS - lfS	20 - 25	10
L : suL, lU, lS, uL	15 - 20	1
TL : stL, utL, tL	10	0.1
T : lT, T	10	0.01

Die Begrenzung zwischen mS und fS liegt tentativ bei 50 % der Sandfraktion. Die Texturbezeichnungen folgen der "Forstlichen Standortaufnahme" (1978). Ein Boden wird demnach durch zwei, durch Schrägstrich getrennte Texturkategorien gekennzeichnet, z. B. FS/MS (Parzelle 4).

Die Lagerungsdichte wird nicht gesondert berücksichtigt, da unter den geologisch-geomorphologisch-klimatisch recht homogenen Bedingungen eine sehr enge Beziehung zur Textur zu erwarten ist.

Falls zwischen 0-1 m, bzw. 1-2 m eine scharfe Texturgrenze auftritt, deren Berücksichtigung geboten erscheint, kann diese mit angegeben werden, z. B. FS-L/MS.

b) Vernässung im Hauptwurzelraum (0-100 cm):

A: Nicht vernässt, frei dränend

B: Mäßig vernässt, frei dränend, gelegentlicher Oberflächenabfluß (aber verstärkt unter Freilandbedingungen).

C: Regenzeitliche Vernässung

C1: Durchgehend (3-6 Monate) vernässt zwischen 50-100 cm Tiefe, mäßiger Oberflächenabfluß

C2: Durchgehend bis wechselnd vernässt zwischen 10-50 cm, starker Oberflächenabfluß

C3: Durchgehend vernässt bis 10 cm mit langen Perioden (mehr als 50 % im 1. Teil der Regenzeit) von Oberflächenwasser.

C4: Durchgehend vernässt mit kontinuierlichem Oberflächenwasser im 1. Teil der Regenzeit,

Die regenzeitliche Vernässung wird morphologisch im Profil oder Bohrstock angesprochen. Auf Grund der bisher bekannten Beziehung zwischen Matrixfarbe ¹⁾ und Fleckung einerseits und Wasserregime andererseits, lassen sich folgende Abgrenzungskriterien aufstellen, die jedoch noch zu überprüfen sind:

A/B: Matrix-Chroma 3, doch in B nicht mehr homogen (Vorwiegend blasse Feinfleckung).

C1+2: Im jeweiligen Vernässungsbereich (50 - 100 bzw. 10 - 50 cm) ausgeprägte braune bis orangebraune Eisenflek-

¹⁾ Farbeansprache nach "STANDARD SOIL COLOR CHART" TOKYO - Japan

kung sowie Manganflecken und -konkretionen. Die hellen Matrixfarben liegen mit ihrem Chroma (feucht) > 2 (Chroma trocken ~ 2)

C3+4: Grautöne im Oberboden haben ein Chroma (Feucht) von 2 (C3) oder 1 (C4).

c) Grundwasserhochstand:

Zusätzlich zur Vernässung des Hauptwurzelraumes sind Informationen über den Schwankungsbereich des Grundwassers erforderlich, insbesondere um das Wasserregime des tieferen Wurzelraumes zu kennzeichnen. Zur Gruppierung werden drei Kategorien vorgeschlagen; ihre gegenseitige Abgrenzung orientiert sich am Höchststand, der während des 1. Teils, spätestens aber mit dem 2. Teil der Regenzeit erreicht wird.

G1: Hochstand > 150 cm u. Flur: Das Grundwasser gerät nur für eine begrenzte Zeit in den unteren Wurzelbereich, und das zu einer Zeit, in der der Wasserbedarf der Vegetation aus dem Wasservorrat des Bodens hinreichend gespeist wird. Unter undurchlässigen Tondecken wird der tiefere Wurzelbereich nicht aufgesättigt und seine Durchwurzelung u. U. beeinträchtigt.

G2: Hochstand 150-100 cm u. Flur: Der Wasserspeicher des unteren Wurzelraumes wird voll aufgesättigt. Bei langsamen Absinken kann das Grundwasser selbst noch während des ersten Teils der Trockenzeit ausgenutzt werden, soweit Wurzeln in diese Tiefe in ausreichender Menge vorstoßen.

G3: Hochstand < 100 cm u. Flur: Er erzeugt Vernässung im Hauptwurzelraum, die unter b) bereits angesprochen und hiermit zusätzlich gekennzeichnet wird. Kann negativ auf gewisse Kulturen wirken.

Neben dem Hochstand interessiert auch der trockenzeitliche Tiefstand. Die Wahrscheinlichkeit, ihn auf Grund aktueller Feuchte während der Bodenansprache oder anhand von Fe-Mn-Fleckzonen zu lokalisieren, ist jedoch deutlich geringer als beim Hochstand. Unter Umständen muß jedoch noch eine besondere Kategorie geschaffen werden, welche trockenzeitlich

hohen Grundwasserstand anzeigt.

Nach diesem Standortgliederungsentwurf lassen sich die 10 untersuchten Bodenstandorte folgendermaßen kennzeichnen:

Parzelle 1: L/LT C2	Parzelle 6: LT/MS C3G2
Parzelle 2: FS/LT C1G3	Parzelle 7: T/MS C3G1
Parzelle 3: L/MS BG1	Parzelle 8: T/MS C3G1
Parzelle 4: FS/MS AG1	Parzelle 9: T/T C4G1
Parzelle 5: LT/F-MS C2G2	Parzelle 10: L/FS-L C4G3

ZUSAMMENFASSUNG

In der Waldreserve Caparo der West-Llanos Venezuelas wurden auf Naturwaldparzellen die Beziehungen Waldvegetation-Bodenstandort untersucht. Durch Vegetation- und Bodeninventur und ca. 2-jährigen Dauermessungen konnten folgende Faktoren erfaßt und in ihrer Beziehungen geprüft werden:

- Boden:

1. Bodenwasserregime
2. Wasserhaushalt des Standortes
3. Bodenmorphologie
4. Humusauflage
5. Bioelementvorräte

- Vegetation:

1. Baumartenzusammensetzung und Struktur des Waldbestandes
2. Laubfall-Verhalten der wichtigsten Baumarten und des Bestandes
3. Streufall
4. Feinwurzelverteilung im Oberboden (0 - 50 cm Tiefe)

- Klima

1. Freifläche: Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonnenscheindauer, potentielle Evapotranspiration (nach Penman).
2. Im Waldbestand: Bestandesniederschlag, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit eines immergrünen und eines laubwerfenden Bestandes.

Die natürliche Vegetation zeigt extreme Vielfältigkeit und reicht vom Hochwald (30 - 40 m Höhe) über Nieder- bzw. Buschwald (20 - 10 m Höhe) bis Heliconia- und Gras-Esteros. Der Hochwald läßt sich nach dem Laubfall-Verhalten in immergrün, teillaubwerfend und laubwerfend unterteilen ¹⁾. Die Vielfältigkeit der Vegetation ist in erster Linie von den sehr verschiedenen bodenhydrologischen Verhältnissen der Standorte abhängig. Die Böden weisen relativ gute chemische Eigenschaften und hohe Bioelementvorräte auf. Hier stößt die Waldvegetation recht weit zu feuchten Standorten vor, im Vergleich zu anderen weiträumigen Gebieten Venezuelas.

¹⁾ In der Nieder- und Buschwaldparzelle wurde der Laubfall nicht untersucht. In der Trockenzeit 1976/77 zeigten beide nur mäßige Entlaubung.

Der relativ hohe Niederschlag (1750 mm/Jahr) fällt fast ausschließlich in der Regenzeit. Die 3 - 4 monatige Trockenzeit ist sehr ausgeprägt. Die Saisonalität des Klimas bewirkt Wasserüberschuß in der Regenzeit und Wasserdefizit in der Trockenzeit, deren Wirkung und Intensität durch die physikalisch-hydrologischen Eigenschaften der unterschiedlichen Bodenstandorte verstärkt bzw. gemildert werden kann.

Die Bodenstandorte variieren von meist höher gelegenen, sehr durchlässigen, sandigen, bis zu tiefer gelegenen und regelmäßig überfluteten, tonigen Standorten mit graduellen Übergängen. Die hydrologischen Verhältnisse werden einerseits von der Schichtabfolge und der Textur, Porenraumverteilung und Leitfähigkeit der einzelnen Schichten sowie der relativen topographischen Lage bestimmt. Der großflächige Anteil von Böden geringer Leitfähigkeit und das sehr flache Relief bedingen regenzeitliche Überflutung durch Regenwasser in unterschiedlicher Höhe und Dauer je nach Standort, von der nur die tiefgründigen, sandigen Standorte frei bleiben. Ferner tritt in allen Böden feiner als lfS m. o. w. starke Stau- bzw. Haftnässe in der Regenzeit auf. (Belüftungsmangel). Drainage-Probleme sind deshalb das größte Hindernis landwirtschaftlicher bzw. forstwirtschaftlicher Landnutzung des Gebietes. Überschlagsweise beträgt der Oberflächenabfluß in den 3 regenreichsten Monaten (Mai - Juni - Juli) mehr als 1/3 des Freilandniederschlages ($A_o > 400$ mm), was zeitlich eine sehr hohe Belastung für das flußparallele, energiearme Abflusssystem bedeutet.

Das Grundwasser schwankt im Jahresablauf m. o. w. stark je nach Standort (tiefster gemessener Grundwasserstand 4.5 m, höchster gemessener Grundwasserstand 0.6 m unter Flur). Die unter bestimmten günstigen Bedingungen auf Grund von Tensiometermessungen, gravimetrischen Feuchtigkeitsbestimmungen und pF-Kurven ermittelte aktuelle Evapotranspiration schwankt zwischen 900 (laubwerfender Waldbestand) und 1300 mm/Jahr (immergrüner Waldbestand), d. h. 45 bzw. 64 % des Freilandniederschlages.

Die tägliche ETA variiert nach Jahresphase und Standort zwischen 4.2 (immergrüner Bestand, Regenzeit) und 0.5 mm/Tag (laubwerfender Bestand, Trockenzeit).

Der unterschiedliche trockenzeitliche Entlaubungsgrad von Waldbeständen in Caparo kommt einmal durch Wechsel in der Artenzusammensetzung (Schwerpunkte der Baumarten) und zum anderen durch standortlich wechselndes Verhalten gewisser Baumarten zustande. Auf Grund der insgesamt 5-jährigen phänologischen Beobachtungen von etwa 750 Bäume (über 70 Baumarten) lassen sich 17 Arten als obligatorisch, also standortunabhängig, laubwerfend, 14 Arten (ohne Palmen) als obligatorisch immergrün und 30 Arten als fakultativ laubwerfend einordnen. Auf 4.75 ha Inventurfläche (19 Parzellen 50 x 50 m) waren die Abundanzen dieser 3 Artengruppen jeweils 22.6 %, 18 % und 37 %. Die Palmen beteiligten sich mit 22.1 % der Abundanz. Der hohe Anteil fakultativ laubwerfender Arten und die allgemeine Unschärfe in der standörtlichen Anpassung der Baumarten bei sehr kleinräumigem Standortwechsel erklärt, warum mit Hilfe der Clusteranalyse der 19 Parzellen keine bedeutenden Unähnlichkeiten nach der Artenzusammensetzung aufgezeigt werden konnten.

Dagegen zeigt die standörtliche Verteilung der 3 angesprochenen Artengruppen (und der Palmen) sehr deutliche Verschiebungen von Parzelle zu Parzelle, welche natürlich auf standörtliche Anpassungen der Artenzusammensetzung zurückgehen. Diese Verschiebungen wurden hier durch einen Artengruppen-Index erfaßt, der durchaus geeignet erscheint, das Entlaubungsverhalten von Beständen (1-2 laubwerfend, 2-2.4 teillaubwerfend, 2.4-4 immergrün) zu beschreiben. Dieser Index kann jahreszeitenunabhängig mittels einer einfachen Inventur gewonnen werden.

Die Zweckmäßigkeit dieses Indexes, wie überhaupt der Bestandesgliederung nach Entlaubungsverhalten, besteht darin, daß

- a) zwischen Bodenstandort und Entlaubungsverhalten der Bestände eine anscheinend ausreichend enge Beziehung besteht, sodaß die Möglichkeit von dem einen auf das andere (und vice versa) zu schließen gegeben ist (Korrelation zwischen dem Index und der Wasserspeicherkapazität des Bodens $R = 0.79$, $n = 19$);

b) das Entlaubungsverhalten von Beständen über assoziierte Strukturmerkmale im Luftbild ansprechbar ist und deshalb zur Standortkartierung herangezogen werden kann (Vegetationskarte von PULIDO, 1977).

Beide Gesichtspunkte müssen allerdings durch eine größere Zahl von Vergleichsflächen geprüft werden.

Die nach dem Entlaubungsverhalten definierbaren laubwerfenden, teillaubwerfenden und immergrünen Bestände zeigen überraschenderweise einen sehr ähnlichen jährlichen Streufallverlauf. Sowohl der starke trockenzeitliche Anstieg im Laubfall wie die kleinen Maxima in der Regenzeit sind allen Parzellenbeständen gemeinsam. Dies deutet auf eine enge Beziehung Blattfall (Streufall) - meteorologische Größen hin, was durch hohe Korrelationskoeffizienten untermauert wird (Streufall und Efa-Penman, $R = 0.71$; Sonnenscheindauer, $R = 0.76$; Summe der Stunden mit Luftfeuchte $< 50\%$, $R = 0.48$; Summe der Stunden mit Temperatur $> 25^{\circ}\text{C}$, $R = 0.82$; Summe der 3 letzten, $R = 0.85$).

Der standörtliche Einfluß liegt also nicht im zeitl. Verlauf des Laubfalls als vielmehr darin begründet, daß die immergrünen Bestände ihre neue Blätter parallel zum Laubfall nachschieben, während in laubwerfenden Beständen in der Regel lange Ruhephasen beide Vorgänge zeitlich trennen. Ferner stellte sich heraus, daß die laubwerfenden Bestände auf trockenen Standorten etwa $2/3$ des jährlichen Streufalls auf die Trockenzeit (4 Monate) konzentrieren, während die immergrünen bzw. teillaubwerfenden Bestände auf mit Wasser besser versorgten Standorten eine weniger ungleichmäßige Verteilung (50% in jeder Jahresphase) aufweisen.

Maßgebend für die Beziehungen Waldvegetation-Bodenstandort ist die trockenzeitliche Wasserversorgung; dagegen scheint hinsichtlich des regenzeitlichen Sauerstoffmangels die Toleranz des Waldes weitaus größer zu sein. Obwohl die Feinwurzelverteilung in drei von den 8 Hochwaldparzellen eine eindeutige Konzentrierung auf die obersten 10 cm des Bodens aufzeigt, was als Reaktion der Pflanzen auf die kritische regenzeitliche Belüftung gedeutet werden könnte, zeigen die anderen Parzellen eine m. o. w. graduelle Abnahme der Fein-

wurzeln nach unten. In der Nieder- bzw. Buschwaldparzelle mit sehr starker Überflutung bzw. Vernässung in der Regenzeit deutet die Feinwurzelverteilung und die maximale Durchwurzelungstiefe (120 cm) in solchen extremen Bedingungen auf eine Spezialisierung der Vegetation hin. Im Hochwald reichen die Wurzeln je nach Standort bis zu 140 - 210 cm maximale Durchwurzelungstiefe.

Entscheidend für den Wechsel von Hochwald zu Nieder- bzw. Buschwald scheint die Höhe und Dauer der Überflutung zu sein. In der Buschwaldparzelle wurde eine 3-monatige kontinuierliche Überflutung von 20 - 50 cm Höhe registriert, im Niederwald eine solche von 10 - 20 cm mit häufigen Schwankungen, und im Hochwald ein kurzfristiger Wechsel von Überflutungen (3 - 5 Tage) mit oberflächenwasserfreien Perioden. Zwischen immergrünem und laubwerfendem Bestand besteht kein bedeutender Unterschied im Bestandesniederschlag bzw. der Interzeption, da der weitaus größte Teil der Niederschläge in der Regenzeit in gleich belaubten Beständen fällt. Dagegen zeigen die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit Verschiebungen, die in der Trockenzeit wegen des Belaubungsunterschieds beider Bestände ausgeprägter werden.

Auf Grund der festgestellten Beziehungen zwischen Bodenfeuchtereime und Bodenmorphologie wurde eine vegetationsunabhängige Standortgliederung entworfen. Dazu wurden Textur und Texturschichtung, Vernässung und Grundwasserhochstand herangezogen.

LITERATURVERZEICHNIS

- Addicott, F. (1965): Physiology of abscission.
In: Handbuch der Pflanzenphysiologie, Ruhland
(ed.), Vol. 15 Part 2, 1094-1126.
- Addicott, F. (1968): Environmental factors in the physiology of abscission.
Plant physiol 43: 1471-1479.
- Addicott, F. (1970) Plant hormones in the control of abscission. Biol. Rev. 45: 485-524.
- Addicott, F. and Lyon, J. (1973): Physiological ecology of abscission. In: Shedding of plants parts.
Kozlowski (ed.).
Academic Press, New York, London.
- Beard, S. (1944): Climax vegetation in tropical America.
Ecology 25: 127-158.
- Benecke, P. (1979): Der Wasserumsatz eines Buchen- und eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling,
Habilitationsschrift der Forstlichen Fakultät,
Universität Göttingen.
- Bernhard, F. (1970): Étude de la litière et de sa contribution au cycle de éléments minéraux en forêt ombrophile de Côte-d'Ivoire.
Oecologia Plantarum 5: 247-266.
- Bernhard-Reversat, et al. (1972): Quelques aspects de la périodicité écologique et de l'activité végétale saisonnière en forêt ombrophile sempervirente de Côte-d'Ivoire.
In: Tropical ecology, Golley and Golly (eds.),
Athens, USA. 217-234.
- Bockor, I. (1979): Analyse von Baumartenzusammensetzung und Bestandesstruktur eines andinen Wolkenwaldes in West-Venezuela als Grundlage zur Waldtypengliederung.
Dissertation Forstliche Fakultät - Universität Göttingen.

- Brun, R. (1976): Methodik und Ergebnisse zur Biomassenbestimmung eines Nebelwald-Ökosystems in den venezolanischen Anden.
S. 490-499 in: XVI IUFRO World congress reports, Division I. Oslo.
- Cornforth, I. (1970): Leaf-fall in a tropical rain forest.
Journal of applied ecology 7: 603-608.
- Daubenmire, R. (1972): Phenology and other characteristics of tropical semi-deciduous forest in North-Western Costa Rica
Journal of Ecology 60:147-170.
- Devineau, S. (1976): Données préliminaires sur la litière et la chute des feuilles dans quelques formations forestières semidécidues de moyenne Côte-d'Ivoire.
Ecol. Plant. 11 (4): 375-395.
- De Las Salas, G. (1973): Eigenschaften und Dynamik eines Waldstandortes im mittleren Magdalenaal (Kolumbien).
Göttinger Bodenkundliche Bericht 27: 1-206.
- Eschrich, W. (1972): Warum fallen die Blätter von den Bäumen?
Mitt. Dtsch. Dendrol. Ges. 65: 53-63.
- Fassbender, H. und E. Ahrens, (1977): Laborvorschriften und Praktikumsanleitung. Gött. Bod. Berichte 47: 1-88.
- Finol, H. (1974): Estudio fitosociológico de las Unidades II y III de la Reserva Forestal de Caparo, Edo. Barinas.
Rev. For. Ven. 21.
- Fölster, H. and G. De las Salas (1976): Litter fall and mineralization in three tropical evergreen forest stands, Columbia.
Acta Cientifica Venezolana 27: 196-202.
- Fölster, H., G. De Las Salas, P. Khana (1976): A tropical evergreen forest site with perched water table, Magdalena Valley, Columbia.
Biomass and Bioelement inventory of primary and secondary vegetation.
Ecol. Plant. 11 (4): 297-320.

- Fölster, H. and W. Franco (1976): Variaciones en la dinámica del agua del suelo y su influencia sobre la vegetación boscosa y su periodicidad.
CDBH-ULA. Proyecto FO-3676. Informe de Avance 1.
- Fölster, W. and W. Franco (1978): Fenología de especies forestales en Caparo. Su relación con el clima y el suelo. Su importancia para el manejo del bosque.
CDBH-ULA. Proyecto FO-3676. Informe Final, Parte I.
- Fölster, W. and W. Franco (1979): La caída de hojarasca en bosques decíduos, semidecíduos y siempreverdes de Caparo y su relación con la dinámica del mantillo orgánico sobre el suelo.
CDBH-ULA. Proyecto FO-3676. Informe Final, Parte II.
- Fournier, L. (1976): Observaciones fenológicas en el bosque húmedo premontano de San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.
Turrialba 26: 54-59.
- Edwards, P. (1977): Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. II. The production and disappearance of litter.
Journal of Ecology 65: 971-992
- Gaese u. Schulz (1975): Saisonale Porenvolumen-Änderungen in Pelosolen.
Mitteilg. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 22: 57-60.
- Golley, F. et al. (1969): The structure of tropical forest in Panama and Colombia.
Bio Science 19 (8): 693-696.
- Goosen, D. (1971): Physiography and soils of the Llanos Orientales, Colombia.
Dissertation, Fysisch-Geografisch en Bodenkundig Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam.
- Gordon, F. et al. (1974): Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forest in the lowlands of Costa Rica.
In: Phenology and seasonality modeling.
Lieth (ed.). Springer Verlag.
- Gräfe, W. (1979): Estudios sobre composición fitosociológica y desarrollo de la biomasa en bosques secundarios.

- de la Reserva Forestal de Caparo. Informe de Avance 3. CDCH-ULA. Mérida, Venezuela.
- Gutierrez, O. (1975): Introducción a la evaporación y Evapotranspiración. CIDIAT-ULA. Mérida, Venezuela.
- Hase, H. (1979): Disponibilidad de elementos nutritivos en suelos forestales de banco arcoso en la Reserva Forestal de Caparo. Informe Final, Parte I. CDCH-ULA, Mérida, Venezuela.
- Hetsch et al. (1979): Estudio del régimen del agua en el suelo y economía hídrica de árboles típicos en la zona de transición de selva siempreverde a selva decidua en la Reserva Forestal de Caparo. Informe Final. Parte I. CDCH-ULA. Mérida, Venezuela.
- Holdridge, L. (1947): Determination of world plant formations from simple climatic data. Science 105 (2727).
- Hozumi, K. et al. (1969): Production ecology of tropical rain forest in southwestern Cambodia. I. Plant biomass. Nature & Life in SE-Asia Vol. VI: 1-51.
- Hueck, K. (1973): Los Bosques de Sudamérica. Traducción al español de Brun y Lamprecht. GTZ-BMZ. Eschborn, Alemania Federal.
- Jackson, I. (1975): Relationships between rainfall Parameters and Interception by tropical Forest. Journal of Hydrology, 24 (1975): 215-233.
- Jenny, H. et al. (1949): Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. Soil science 63: 419-432.
- Kiese, O. (1972): Bestandesmeteorologische Untersuchungen zur Bestimmung des Wärmehaushalts eines Buchenwaldes. Bericht Nr. 6. Institut für Meteorologie und Klimatologie der Technischen Universität Hannover.
- Klinge, H. (1973): Root mass estimation in lowland tropical rain forest of central Amazonia, Brasil. I. Fine root masses of a pale yellow Latosol and a grant humus podzol. Tropical Ecology 14 (1).

- Klinge, H. (1976): Root mass estimation in lowland tropical rain forest of central Amazonia, Brazil,
III. Nutrients in fine roots from giant humus podzols.
Tropical Ecology 16 (1).
- Klinge, H. and W. Rodriguez (1968): Litter production in an area of Amazonian Terra Firme Forest. Part II. Mineral Nutrient Content of the litter.
Amazoniana I (4): 303-310.
- Klinge, H. and W. Rodriguez (1973): Biomass estimation in a central Amazonian rain forest.
Acta Cientifica Venezolana 24: 174-181.
- Klinge, H. and W. Rodriguez (1974): Phytomass estimation in a central amazonien rain forest.
In: H. E. Young (ed.) IUFRO Biomass Studies, University Press, Orono, Maine. 337-350.
- Köppen, W. (1936): Handbuch der Klimatologie. Berlin.
Gebrüder Borntraeger Verlag.
- Lamprecht, H. (1972): Einige Strukturmerkmale natürlicher Tropenwaldtypen und ihre waldbauliche Bedeutung.
Forstwiss. Centralblatt: H. 4: 270-277.
- Laudelout, H. and J. Meyer (1954): Les cycles d'elements minéraux et de matiere organique en foret equatoriale congolaise.
Transactions, 5th international congress of soil science, Leopoldville 2: 267-272.
- Leyton, L. et al. (1967): Rainfall interception in forest and moorland.
In: Sopper & Lull (eds.), International Symposium on Forest Hydrology. Pergamon, Oxford. 163-178.
- Luna, A. and J. Pernia (1975): Mapa de Vegetación de la Unidad 1 de la Reserva Forestal de Caparo. Anexo al Plan de Manejo. ULA-CORIOANDES. Mérida-Venezuela
- Madge, D. (1965): Leaf fall and litter disappearance in tropical forest.
Pedobiologia 5: 273-288.
- Malaisse et al. (1972): The Miombo Ecosystem: A preliminary Study.

- In: Tropical Ecology, Golley and Golly (eds.).
Athens, USA. 363-406.
- Medina, E. (1968): Bodenatmung und Streuproduktion verschiedener tropischer Pflanzengemeinschaften.
Ber. Dtsch. Bot. Ges. Bd. 81: 159-168.
- Müller, W. et al. (1970): Bodenphysikalische Kennwerte wichtiger Böden, Erfassungsmethodik, Klasseneinteilung und Kartographische Darstellung.
Beih. Geol. Jb. Bodenkundl. Beiträge 99, 2, 13-70.
- Nye, P. (1961): Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest.
Plant and soil 13 (4): 333-346.
- Odum, H. et al. (1970): A tropical rain forest. Summary, an emerging view of the ecological system at El Verde.
In: Odum & Pigeon (eds.) U. S. Atomic Energy Commission.
- Ogawa, H. et al. (1965): Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant Biomass.
Nature and Life in Southeast Asia 4: 49-80.
- Ovington, J. and D. Olson (1970): Biomass and chemical content of El Valle lower montane rain forest plants.
In: Odum & Pigeon (eds.) U. S. Atomic Energy Commission.
- Petit, P. et al. (1973): Estudio fenológico en la Unidad 1 de la Reserva Forestal de Caparo.
Act. Cient. Venez. 24. Suplemento No. 1.
- Pulido, H. (1968): Algunos tipos de Vegetación de la Unidad 1 de la Reserva Forestal de Caparo. Tesis de Grado.
Fac. Ciencias Forestales-ULA. Mérida.
- Pulido, H. (1977): Tipificación de Vegetación mediante Técnicas de Fotointerpretación en la Unidad 1 de la Reserva Forestal de Caparo.
Instituto de Fotogrametría y Fotointerpretación-ULA. Mérida-Venezuela.
- Rodin, L. and N. Bazilevich (1967): Production and mineral cycling in terrestrial vegetation.

- Oliver & Boyd (eds.) Edinburgh and London.
- Rollet, B. (1969): Etudes quantitatives d'une forêt dense humide sempervirente de plaine en Guyana Vénézo-lienne.
Travaux Labo. Forest de Toulouse. Tome I, Vol VIII, 1-36.
- Rutter, A. (1972): A predictive model of rainfall inter-ception in forest, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine.
Agric. Meteorol., 9: 367-383.
- Schargel, R. and S. Buol (1977): Characteristics of some well drained oxisols and ultisols of the savannas and rainforest of Venezuela.
In: Agronomic-Economic Research on Soils of the Tropics. Annual Report for 1976/77. S. S. D. North Caroline State University. Raleigh, USA.
- Singh, K. (1968): Litter production and nutrient turnover in deciduous **forests of Varanasi**.
In: Proceedings of the symposium on recent advances in tropical ecology. Department of Botany, Banaras Hindu University, Varanasi. 655-665.
- Stagno, P. and H. Steegmayer (1972): La erosión reticular en el sur del Lago de Maracaibo.
Agron. Trop. Vol. XXII, No. 12. (Venezuela).
- Steinhart, U. (1978): Untersuchungen über den Wasser- und Nährstoffhaushalt eines andinen Wolkenwaldes in Venezuela.
Gött. Bod. Ber. 56 (1979)
- Torres, A. (1976): Ensayos de especies latifoliadas en la Unidad 1 de la Reserva Forestal de Caparo, Edo. Barinas, Venezuela.
Tesis Magister Sc. Fac. Ciencias Forestales-ULA Mérida-Venezuela.
- Troll, C. (1963): Die Jahreszeitenklimate der Erde. Welt-karten zur Klimakunde. Springer, Heidelberg.
- USDA. Soil Conservation Service (1975): Soil Taxonomy. A basic System of soil Clasification for making and interpreting Soil Surveys.

Agriculture Handbook Nr. 436. Washinton .

- ULA-CORPOANDES (1970-75): Programa de investigaciones forestales con fines de manejo en la Unidad 1 de la Reserva Forestal de Caparo.
Fac. Ciencias Forestales-ULA, Mérida-Venezuela.
- Veillon, J. (1975): Las desforestaciones en la region de los Llanos Occidentales de Venezuela, desde 1950 hasta 1975. Instituto de Silvicultura-ULA; Sierra Club, New York; Consejo de Bienestar Rural, Caracas, Venezuela.
- Veillon, J. et al. (1976): Estudio de la Masa Forestal y su dinamismo en parcelas de diferentes tipos ecologicos de Bosques Naturales de las tierras bajas venezolanas.
Instituto de Silvicultura-ULA, Mérida-Venezuela.
- Vincent, L. (1970): Estudio sobre la tipificación del bosque con fines de manejo en la Unidad 1 de la Reserva Forestal de Caparo.
Tesis Magister Sc. Fac. Ciencias Forestales-ULA, Mérida-Venezuela.
- Webb, L. (1958): Note on the studies on rainforest vegetation in Australia.
In: UNESCO (ed.) Study of tropical vegetation. Proceedings of the Kandy Symposium 1956. Humid Tropics Research Vol. 1 (1958).
- Zinck, A. (1970): Aplicación de la Geomorfología al Levantamiento de Suelos en Zonas Aluviales.
Div. de Edafología. MOP. (MARNR), Caracas-Venezuela.
- Walter, H. (1973): Die Vegetation der Erde in ökophsiologischer Betrachtung. Band I: Die tropischen und subtropischen Zonen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Von der Veröffentlichung einiger Tabellen des umfangreichen Anhangs der Originalarbeit wurde aus drucktechnischen Gründen abgesehen. (siehe Verzeichnis des Anhanges). Diese sind für Interessenten im Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen vorhanden.

Adresse: Institut für Bodenkunde und Waldernährung
Büsgenweg 2
D-3400 Göttingen
Bundesrepublik Deutschland

ANHANG II : Liste der Baumarten in Caparo nach Lokal- und wissenschaftlichem Name (botanische Bestimmungen durch den Departamento de Botánica, Lokalname durch Jesús Bolaños, Centro de Postgrado, Facultad de Ciencias Forestales-ULA, Mérida-Venezuela.

Lokalname	wissenschaftl. Name	FAMILIA
aceituno	<i>Vitex orinocensis</i>	Verbenaceae
ataja ganado	<i>Mimosa</i> sp.	Mimosaceae
balso	<i>Ochroma pyramidale</i>	Bombacaceae
bochocho	<i>Trema micrantha</i>	Ulmaceae
bototo	<i>Cochlospermum</i> cf. <i>vitifolium</i> cf. <i>C. orinocense</i>	Cochlospermaceae
bucare	<i>Erythrina</i> sp.	Papilionaceae
cacafto quiebra hacha	<i>Coccoloba</i> sp.	Polygonaceae
cacao de monte ¹⁾	<i>Herrania</i> sp.	Sterculiaceae
cachito de venado		Rubiaceae
caimito	<i>Chrysophyllum</i> cf. <i>auratum</i>	Sapotaceae
camoruco	<i>Sterculia apetala</i>	Sterculiaceae
campanito ¹⁾	<i>Hybanthus</i> sp.	Violaceae
candilero	<i>Cordia</i> sp.	Boraginaceae
caña fistola	<i>Cassia grandis</i>	Caesalpinaceae
caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	Meliaceae
carabalf	<i>Abizia</i> sp.	Mimosaceae
caracaro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Mimosaceae
caruto	<i>Genipa caruto</i>	Rubiaceae
casabe ¹⁾	<i>Torrubia</i> sp.	Nyctaginaceae
casildo (dividivi)	<i>Acacia articulata</i>	Mimosaceae
cedrillo		Meliaceae
cedro	<i>Cedrela</i> cf. <i>odorata</i>	Meliaceae
ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	Bombacaceae
ciruelo	<i>Phyllanthus</i> sp.	Euphorbiaceae
clavito blanco (clavito)	<i>Adelia</i> cf. <i>ricinella</i>	Euphorbiaceae
coco de mono	<i>Coroupita guianensis</i>	Lecythidaceae
cojón de berraco		Apocynaceae

Lokalname	wissenschaftl. Name	FAMILIA
crislobalito	<i>Clavija longifolia</i>	Theophrastaceae
cuero de sapo (marajagua)	<i>Lonchocarpus pictus</i>	Papilionaceae
charo (charo amarillo)	<i>Brosimum</i> sp.	Moraceae
charo negro		Moraceae
chipio	<i>Ficus</i> sp.	Moraceae
chupón (chupón rosado)	<i>Pouteria</i> cf. <i>anibifolia</i>	Sapotaceae
chupón blanco	<i>Chrysophyllum caracasana</i>	Sapotaceae
drago (sangre de drago)	<i>Pterocarpus</i> sp.	Papilionaceae
escobilla	<i>Corchorus pilolobus</i>	Tiliaceae
flor amarilla	<i>Tabebuia serratifolia</i>	Bignoniaceae
frijolillo	<i>Cassia</i>	Caesalpinaceae
fruto de paloma	<i>Casearia nitida</i>	Flacourtiaceae
gateado	<i>Astronium graveolens</i>	Anacardiaceae
guácimo (guácimo blanco)	<i>Guazuma tomentosa</i>	Sterculiaceae
guácimo cabullo	<i>Goethalsia</i> sp.	Tiliaceae
guácimo cimarrón (guácimo)	<i>Luehea</i> cf. <i>cymulosa</i> cf. <i>seemanii</i>	Tiliaceae
guamo caramacate	<i>Inga</i> sp.	Mimosaceae
guamo navajo	<i>Inga</i> sp.	Mimosaceae
guamo rabo de mono	<i>Inga</i> cf. <i>edulis</i> , cf. <i>Spuria</i>	Mimosaceae
guanábano de monte	<i>Annona</i> sp.	Annonaceae
guaramaco	<i>Trichilia</i> sp.	Meliaceae
guarataro	<i>Vitex orinocensis</i>	Verbenaceae
guayabito morado	<i>Hirtella</i> sp.	Rosaceae
guayabón	<i>Terminalia guyanensis</i>	Combretaceae
higuerón	<i>Ficus</i> sp.	Moraceae
hueso de pescado		Mimosaceae

Lokalname	wissenschaftl. Name	FAMILIA
jebe (zapato cacho)	<i>Lonchocarpus sericens</i>	Papilionaceae
jebecito	<i>Lonchocarpus</i> sp.	Papilionaceae
jobo liso	<i>Spondias</i> cf. <i>mombin</i>	Anacardiaceae
jobo corronchoso	<i>Spondias</i> cf.	Anacardiaceae
Laurel bobo	<i>Ocotea</i> sp.	Lauraceae
lechero	<i>Sapium</i> sp.	Euphorbiaceae
majagua	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	Tiliaceae
mamoncillo	<i>Licania</i> sp.	Rosaceae
masaguaro	<i>Pithecellobium</i> sp.	Mimosaceae
matapalo	<i>Ficus</i> sp.	Moraceae
menudito	<i>Fagara</i> sp.	Rutaceae
merecure	<i>Parinari</i> sp.	Rosaceae
mora	<i>Chlorophora tinctoria</i>	Moraceae
mortiño	<i>Stylogine</i> sp.	Myrsinaceae
mucuteno	<i>Cassia alata</i>	Caesalpinaceae
niguito	<i>Muntingia calabura</i>	Elaeocarpaceae
onoto, onotillo	<i>Bixa</i> cf. <i>urucurana</i>	Bixaceae
orura barrialera	<i>Swartzia leptopetala</i>	Caesalpinaceae
palito negro ¹⁾ (vara negra)	<i>Acalypha diversifolia</i>	Euphorbiaceae
palo burro	<i>Matayba</i> sp.	Sapindaceae
palo de agua	<i>Ruprechtia ramiflora</i>	Polygonaceae
palo maria (vara santa)	<i>Triplaris</i> sp.	Polygonaceae
pardillo negro	<i>Cordia apurensis</i>	Boraginaceae
payara (tostón)	<i>Licania</i> sp.	
perhuetamo	<i>Mouriri barinensis</i>	Melastomaceae
pica-pico	<i>Sloanea ternifolia</i>	Elaeocarpaceae
quesito	<i>Dendropanax arboreum</i>	Araliaceae
rabo de baba	<i>Echinodorus andreuxii</i>	Alismataceae

Lokalname	wissenschaftl. Name	FAMILIA
ranchero	<i>Laetia americana</i>	Flacourtiaceae
rejito	<i>Trichilia unifoliada</i>	Meliaceae
robasesino	<i>Machaerium</i> sp.	Papilionaceae
roble (roble maría)	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Papilionaceae
sangritc	<i>Machaerium</i> sp.	Papilionaceae
saqui-saqui	<i>Bombacopsis quinata</i>	Bombacaceae
tachuelo	<i>Fagara caribaea</i>	Rutaceae
tasaño (tasaño blanco)	<i>Fissicalyx fendlerii</i>	Papilionaceae
triacó (tacamañaco)	<i>Protium crenatum</i>	Burseraceae
trompillo	<i>Guarea trichiloides</i>	Meliaceae
urumaco	<i>Cassia</i>	Caesalpinaceae
uvero	<i>Coccoloba</i> cf. <i>caracasana</i>	Polygonaceae
yagrumo	<i>Cecropia peltata</i>	Moraceae
yátago	<i>Trichanthera gigantea</i>	Acanthaceae
zapato de la reina	<i>Capparis</i> sp.	Capparidaceae
zorrococo	<i>Crataeva tapia</i>	Capparidaceae
Palmen :		
Palma de agua	<i>Attalea maracaibensis</i>	Palmae
Palma sarare	<i>Syagrus</i> sp.	Palmae
Pflanzen des Unterwuchs (nur einige der häufigsten) :		
Bijao	<i>Maranta</i> sp.	Marantaceae
Cubarro	<i>Bactris</i> sp.	Palmae
Lucateva	<i>Carludovica palmata</i>	Cyclantaceae
Palmiche	<i>Geonoma</i> sp.	Palmae
Platanillo	<i>Heliconia</i> sp.	Heliconiaceae
<p>1) Arten mit Hauptvorkommen im Unterwuchs</p>		

A N H A N G : I V

Analysendaten der Bodenprofile 1 bis 10

CAPARO - PARCELA 1

MUESTRA	PROF. (cm)	TEXTURA							CLASE
		fracciones en %							
		< 2	2-20	20-60	60-200	200-600	600-2.000	> 2 mm	
1/1	0-10	9.2	20.9	26.9	41.0	1.2	1.7	-	F
1/2	10-20	18.0	24.6	21.9	30.1	2.6	2.7	-	F
1/3	20-30	25.2	33.1	17.5	17.8	3.7	2.6	-	FL
1/4	30-40	24.4	33.9	19.0	16.9	3.8	1.9	-	FL
1/5	40-50	22.0	28.0	25.2	19.9	3.6	1.2	-	FL
1/6	50-70	15.6	21.4	26.4	32.8	3.0	0.8	-	F
1/7	70-100	19.2	34.7	20.0	23.6	2.2	0.3	-	FL
1/8	100-140	35.6	51.6	5.8	6.2	0.7	0.2	-	FAL
1/9	140-180	34.8	42.7	8.7	8.7	3.6	1.3	-	FAL

MUESTRA	C %	N %	C/N	P _t mg/100g	PH CaCl ₂	CATIONES INTERCAMBIABLES mVal/100 gr								CIC efectiva
						H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	
						1/1	0.98	1.02	9.6	46.5	4.7	0.0	0.13	
2	0.44	0.54	8.1	49.5	4.5	0.05	0.11	0.11	3.94	2.20	0.53	0.01	0.09	7.04
3	0.32	0.48	6.7	48.0	4.3	0.17	0.12	0.20	4.14	2.79	1.33	0.01	0.12	8.88
4	0.29	0.50	5.8	53.5	4.2	0.25	0.16	0.19	3.69	2.85	1.47	0.06	0.11	8.78
5	0.0	0.0	-	0.0	4.1	0.25	0.15	0.19	3.69	2.92	1.79	0.01	0.09	9.09
6	0.0	0.0	-	0.0	4.3	0.21	0.21	0.18	3.14	2.79	1.20	0.01	0.07	7.81
7	0.0	0.0	-	0.0	4.5	0.14	0.39	0.24	3.94	3.55	0.68	0.01	0.08	9.03
8	0.0	0.0	-	0.0	4.8	0.08	0.44	0.35	6.74	5.64	0.50	0.01	0.05	13.81
9	0.0	0.0	-	0.0	4.9	0.03	0.42	0.27	8.33	5.39	0.23	0.01	0.06	14.74

CAPARO - PARCELA 2

MUESTRA	PROF. (cm)	TEXTURA							CLASE
		fracciones en %							
		< 2	2-20	20-60	60-200	200-600	600-2.000	> 2 mm	
2/1	0-10	4.0	12.8	14.3	60.4	7.6	0.8	-	Fa
2/2	10-20	5.2	10.6	16.9	60.3	6.5	0.5	-	Fa
2/3	20-30	5.6	8.6	15.3	62.8	7.4	0.2	-	Fa
2/4	30-40	6.4	4.9	14.0	64.0	10.1	0.5	-	Fa
2/5	40-50	6.0	4.8	15.3	61.9	11.1	0.8	-	Fa
2/6	50-90	6.0	8.1	23.0	53.2	9.1	0.6	-	Fa
2/7	90-115	8.4	11.8	26.4	50.6	2.7	0.1	-	Fa
2/8	115-140	14.8	33.4	36.0	13.6	1.7	0.5	-	FL
2/9	140-175	22.0	43.1	28.3	5.8	0.6	0.1	-	FL

MUESTRA	C %	N %	C/N	P _t mg/100gr	PH CaCl ₂	CATIONES INTERCAMBIABLES mval/ 100 gr								CIC efectiva
						H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	
						2/1	1.79	1.85	9.7	47.0	4.9	0.0	0.06	
2	0.68	0.84	8.1	30.0	5.2	0.0	0.06	0.10	5.09	0.44	0.08	0.01	0.06	5.84
3	0.37	0.44	8.4	25.5	5.3	0.0	0.07	0.07	3.89	0.37	0.11	0.01	0.06	4.58
4	0.24	0.25	9.6	22.0	5.3	0.0	0.06	0.05	3.09	0.27	0.10	0.01	0.04	3.62
5	0.00	0.00	-	0.0	5.3	0.0	0.06	0.05	2.84	0.26	0.04	0.00	0.04	3.29
6	0.00	0.00	-	0.0	5.4	0.0	0.05	0.05	3.04	0.49	0.07	0.00	0.05	3.75
7	0.00	0.00	-	0.0	5.2	0.0	0.06	0.06	2.79	1.16	0.03	0.00	0.05	4.15
8	0.00	0.00	-	0.0	4.3	0.10	0.11	0.13	2.54	2.57	1.25	0.01	0.05	6.76
9	0.00	0.00	-	0.0	4.1	0.20	0.20	0.19	3.09	3.38	2.06	0.01	0.07	9.20

CAPARO - PARCELA 3

MUESTRA	PROF. (cm)	TEXTURA							CLASE
		fracciones en %							
		< 2	2-20	20-60	60-200	200-600	600-2.000	> 2 mm	
3/1	0-10	18.8	40.7	20.5	11.7	7.0	1.3	-	FL
3/2	10-20	26.4	35.0	26.1	7.6	4.3	0.6	-	FL
3/3	20-30	26.4	40.9	18.2	6.9	6.0	1.5	-	FL
3/4	30-40	32.4	35.6	23.4	4.7	3.0	0.8	-	FAL
3/5	40-50	26.8	41.5	24.0	5.2	1.6	0.9	-	FL
3/6	50-75	25.6	30.4	35.7	6.3	1.5	0.6	-	FL
3/7	75-100	20.8	23.5	37.6	13.9	3.9	0.4	-	FL
3/8	100-140	6.4	7.9	16.3	20.7	44.0	4.7	-	Fa
3/9	140-160	3.2	3.8	5.8	36.9	43.8	6.5	-	a
3/10	160-180	3.2	0.9	1.3	26.9	59.4	8.2	-	a

MUESTRA	C %	N %	C/N	P _t mg/100g	PH CaCl ₂	CATIONES INTERCAMBIABLES mVal/100 gr								CIC efectiva
						H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	
3/1	5.75	3.18	18.1	81.0	5.2	0.0	0.08	0.37	21.96	3.42	0.05	0.02	0.13	26.0
2	0.96	0.12	7.9	62.5	4.5	0.08	0.10	0.19	5.84	1.50	0.95	0.01	0.06	8.73
3	0.53	0.74	7.2	51.5	4.3	0.13	0.09	0.17	3.99	1.65	1.73	0.01	0.12	7.89
4	0.43	0.58	7.4	35.5	4.0	0.30	0.13	0.20	3.14	2.28	3.39	0.02	0.11	9.57
5	0.0	0.0	-	0.0	3.8	0.42	0.11	0.15	1.45	1.83	4.15	0.01	0.07	8.19
6	0.0	0.0	-	0.0	3.9	0.35	0.13	0.18	1.35	2.25	3.85	0.01	0.09	8.19
7	0.0	0.0	-	0.0	3.9	0.25	0.21	0.18	1.30	2.89	2.33	0.01	0.08	7.25
8	0.0	0.0	-	0.0	4.1	0.08	0.11	0.08	0.85	1.31	0.40	0.00	0.04	2.87
9	0.0	0.0	-	0.0	4.3	0.06	0.10	0.07	0.74	0.88	0.35	0.00	0.04	2.24
10	0.0	0.0	-	0.0	4.4	0.03	0.08	0.06	0.58	0.46	0.32	0.01	0.04	1.58

CAPARO - PARCELA 4

MUESTRA	PROF. (cm)	TEXTURA							CLASE
		fracciones en %							
		< 2	2-20	20-60	60-200	200-600	600-2.000	> 2 mm	
4/1	0-10	8.4	11.8	13.0	32.8	31.3	2.7	-	Fa
4/2	10-20	11.2	10.1	17.7	34.3	24.8	1.8	-	Fa
4/3	20-30	11.6	10.8	19.6	34.9	21.8	1.3	-	Fa
4/4	30-40	13.2	14.2	20.7	32.1	18.8	1.0	-	F
4/5	40-50	16.0	16.0	20.0	30.2	17.0	0.8	-	F
4/6	50-70	10.8	11.2	14.6	43.2	19.6	0.6	-	Fa
4/7	70-90	6.0	6.1	10.0	67.4	9.9	0.6	-	aF
4/8	90-170	2.8	1.8	2.9	30.3	60.1	2.1	-	a

MUESTRA	C %	N %	C/N	P _t mg/100g	PH CaCl ₂	CATIONES INTERCAMBIABLES mgal/100 gr								CIC efectiva
						H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	
						4/1	1.23	1.09	11.3	33.5	4.0	0.21	0.05	
2	0.59	0.61	9.7	34.5	3.8	0.16	0.05	0.15	0.34	0.10	2.53	0.01	0.08	3.42
3	0.43	0.48	9.0	31.0	3.8	0.09	0.04	0.12	0.33	0.07	2.59	0.03	0.07	3.34
4	0.39	0.41	9.5	28.0	3.9	0.13	0.05	0.10	0.67	0.16	2.53	0.04	0.08	3.76
5	0.0	0.0	-	0.0	3.9	0.09	0.06	0.11	1.03	0.33	2.67	0.01	0.09	4.39
6	0.0	0.0	-	0.0	3.9	0.13	0.05	0.10	0.79	0.37	2.13	0.01	0.08	3.63
7	0.0	0.0	-	0.0	4.0	0.07	0.05	0.06	0.68	0.39	1.53	0.01	0.05	2.84
8	0.0	0.0	-	0.0	4.0	0.05	0.04	0.03	0.48	0.24	0.75	0.01	0.04	1.64

CAPARO - PARCELA 5

MUESTRA	PROF. (cm)	TEXTURA							CLASE
		fracciones en %							
		< 2	2-20	20-60	60-200	200-600	600-2.000	>2 mm	
5/1	0-10	19.6	57.3	10.1	4.7	4.6	3.7	-	FL
5/2	10-20	30.8	50.2	7.1	3.7	6.0	2.2	-	FAL
5/3	20-30	36.8	51.9	6.2	2.6	2.0	0.4	-	FAL
5/4	30-40	44.4	46.0	2.3	2.5	3.4	1.3	-	AL
5/5	40-50	42.8	48.0	2.7	2.4	3.0	1.1	-	AL
5/6	50-70	40.0	43.2	8.7	5.5	2.0	0.7	-	AL
5/7	70-90	22.4	35.8	28.1	10.2	2.4	1.0	-	FL
5/8	90-130	27.2	46.5	19.0	4.9	1.7	0.7	-	FAL
5/9	130-140	12.8	14.1	21.3	50.4	1.3	0.1	-	F

MUESTRA	C %	N %	C/N	P _t mg/100g	PH CaCl ₂	CATIONES INTERCAMBIABLES mVal/100 gr								CIC efectiva
						H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	
5/1	2.14	2.26	9.5	86.0	4.5	0.03	0.08	0.34	9.13	2.71	0.43	0.01	0.19	12.92
2	0.56	0.79	7.1	59.5	4.1	0.16	0.52	0.29	5.14	2.85	2.51	0.00	0.09	11.56
3	0.42	0.67	6.3	42.5	3.9	0.30	0.18	0.28	5.49	3.00	2.96	0.00	0.09	12.30
4	0.42	0.71	5.9	46.0	4.0	0.35	0.22	0.33	5.94	3.81	3.31	0.03	0.11	14.10
5	0.0	0.0	-	0.0	4.0	0.09	0.32	0.40	5.69	3.91	3.14	0.01	0.08	13.64
6	0.0	0.0	-	0.0	4.0	0.12	0.24	0.36	4.94	3.77	2.62	0.01	0.08	12.14
7	0.0	0.0	-	0.0	4.1	0.04	0.21	0.22	3.29	3.17	1.93	0.01	0.09	8.96
8	0.0	0.0	-	0.0	4.0	0.13	0.33	0.25	3.49	4.12	2.17	0.01	0.08	10.58
9	0.0	0.0	-	0.0	4.1	0.03	0.21	0.13	1.95	2.41	0.85	0.01	0.08	5.67

CAPARO - PARCELA 6

MUESTRA	PROF. (cm)	TEXTURA							CLASE
		fracciones en %							
		< 2	2-20	20-60	60-200	200-600	600-2.000	> 2 mm	
6/1	0-10	22.4	48.5	8.4	6.0	10.9	3.8	-	FL
6/2	10-20	32.4	42.3	6.2	4.2	9.2	5.7	-	FAL
6/3	20-30	43.2	43.5	4.9	2.6	4.8	1.1	-	AL
6/4	30-40	44.4	44.6	4.0	2.3	3.6	1.1	-	AL
6/5	40-50	40.0	49.1	2.3	2.6	4.4	1.5	-	AL
6/6	50-60	38.4	39.8	2.4	5.8	12.0	1.7	-	FAL
6/7	60-70	33.6	27.1	3.4	11.0	23.5	1.3	-	FA
6/8	70-90	19.6	15.5	4.8	16.4	39.6	4.0	-	Fa
6/9	90-150	5.6	6.6	7.7	22.6	50.7	6.8	-	aF
6/10	150-190	16.0	13.5	9.5	20.6	36.7	3.7	-	Fa

MUESTRA	C %	N %	C/N	P _t mg/100g	PH CaCl ₂	CATIONES INTERCAMBIABLES mval/100 gr								CIC efectiva
						H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	
6/1	1.65	1.89	8.7	95.5	4.7	0.00	0.12	0.35	7.04	2.40	0.35	0.02	0.15	10.43
2	0.81	0.94	8.6	129.0	4.5	0.03	0.13	0.31	6.29	2.81	1.04	0.02	0.16	10.79
3	0.50	0.75	6.7	71.0	4.2	0.13	0.19	0.41	7.04	3.89	2.50	0.02	0.10	14.28
4	0.41	0.68	6.0	55.5	4.0	0.30	0.17	0.31	6.29	3.77	3.21	0.01	0.10	14.16
5	0.00	0.00	0.0	0.0	4.0	0.20	0.14	0.27	5.39	3.44	3.00	0.01	0.09	12.54
6	0.00	0.00	-	0.0	4.0	0.25	0.15	0.23	5.29	3.11	3.19	0.02	0.11	12.35
7	0.00	0.00	-	0.0	4.0	0.20	0.16	0.20	4.14	2.89	2.91	0.02	0.09	10.61
8	0.00	0.00	-	0.0	4.0	0.10	0.11	0.12	2.40	1.72	1.33	0.01	0.07	5.86
9	0.00	0.00	-	0.0	4.4	0.00	0.06	0.05	0.95	0.52	0.38	0.01	0.04	2.01
10	0.00	0.00	-	0.0	4.3	0.03	0.17	0.12	2.25	1.80	0.63	0.04	0.08	5.12

CAPARO - PARCELA 7

MUESTRA	PROF. (cm)	TEXTURA							CLASE
		fracciones en %							
		< 2	2-20	20-60	60-200	200-600	600-2.000	> 2 mm	
7/1	0-10	38.8	53.5	2.2	1.6	2.8	1.1	-	FAL
7/2	10-20	49.2	44.2	2.4	1.1	1.9	1.2	-	AL
7/3	20-30	62.4	35.2	1.0	0.7	0.4	0.2	-	A
7/4	30-40	64.4	32.7	0.7	1.0	1.0	0.2	-	A
7/5	40-50	62.4	34.2	0.8	1.1	1.0	0.4	-	A
7/6	50-65	65.6	31.0	1.0	1.4	0.8	0.2	-	A
7/7	65-90	72.4	25.0	0.7	1.0	0.6	0.4	-	A
7/8	90-105	46.8	21.4	9.2	18.5	3.7	0.3	-	A
7/9	105-120	22.0	11.9	16.3	37.8	10.9	1.1	-	F
7/10	120-160	17.6	9.8	10.7	40.0	16.6	5.2	-	Fa

MUESTRA	C %	N %	C/N	P _t mg/100gr	PH CaCl ₂	CATIONES INTERCAMBIABLES mval/100 gr								CIC efectiva
						H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	
						7/1	2.64	2.70	9.8	87.5	4.4	0.10	0.12	
2	0.76	1.09	7.0	119.0	4.1	0.16	0.14	0.38	6.39	2.75	2.30	0.04	0.11	12.27
3	0.57	0.84	7.0	37.0	4.0	0.41	0.41	0.43	6.69	3.97	5.09	0.05	0.12	17.17
4	0.43	0.75	5.7	29.0	3.8	0.48	0.78	0.41	6.24	5.01	5.04	0.02	0.15	18.13
5	0.00	0.00	-	0.0	3.8	0.49	0.47	0.40	6.34	4.83	4.34	0.01	0.05	16.93
6	0.00	0.00	-	0.0	3.9	0.41	1.21	0.40	7.63	6.11	3.73	0.01	0.09	19.60
7	0.00	0.00	-	0.0	4.0	0.57	1.77	0.45	9.33	8.18	3.23	0.01	0.08	23.62
8	0.00	0.00	-	0.0	4.3	0.25	1.61	0.31	8.88	6.03	1.43	0.03	0.05	18.69
9	0.00	0.00	-	0.0	4.7	0.06	0.73	0.12	3.69	2.20	0.33	0.02	0.05	7.20
10	0.00	0.00	-	0.0	4.9	0.00	0.70	0.11	2.99	1.53	0.26	0.03	0.07	5.69

MUESTRA	PROF. (cm)	TEXTURA							CLASE
		fracciones en %							
		< 2	2-20	20-60	60-200	200-600	600-2.000	> 2 mm	
8/1	0-10	27.6	52.2	10.0	2.8	4.8	2.6	-	FAL
8/2	10-20	32.0	50.2	10.1	1.7	3.3	2.6	-	FAL
8/3	20-30	50.4	41.4	6.5	0.7	0.6	0.4	-	AL
8/4	30-40	61.6	30.9	6.5	0.4	0.4	0.2	-	A
8/5	40-50	57.2	36.1	4.7	0.7	0.8	0.5	-	AL
8/6	50-70	62.4	33.3	2.2	0.9	0.8	0.4	-	A
8/7	70-90	69.2	27.3	1.2	0.8	1.0	0.4	-	A
8/8	90-105	69.6	26.0	2.3	1.2	0.7	0.2	-	A
8/9	105-120	44.0	28.5	11.7	10.3	5.4	0.1	-	AL
8/10	120-150	20.8	17.6	10.9	25.4	24.4	0.9	-	FAa

MUESTRA	C %	N %	C/N	P _t mg/100g	PH CaCl ₂	CATIONES INTERCAMBIABLES mval/100 gr								CIC efectiva
						H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	
						8/1	2.60	2.50	10.4	101.0	4.5	0.14	0.17	
2	0.90	1.15	7.8	107.0	4.2	0.25	0.28	0.29	4.99	2.16	2.19	0.07	0.12	10.35
3	0.40	0.71	5.6	40.5	3.9	0.41	0.49	0.36	5.19	2.77	5.64	0.01	0.13	15.00
4	0.42	0.71	5.9	31.0	3.8	0.65	0.68	0.39	5.69	3.36	6.63	0.03	0.15	17.58
5	0.41	0.64	6.4	28.5	3.8	0.56	0.89	0.39	5.19	3.69	6.34	0.02	0.13	17.21
6	0.28	0.65	4.3	34.5	3.8	0.65	1.30	0.39	5.69	4.33	6.84	0.01	0.13	19.34
7	0.31	0.65	4.8	40.5	3.9	0.75	2.41	0.42	7.93	5.99	4.71	0.00	0.14	22.35
8	0.44	0.66	6.7	28.5	4.2	0.42	3.75	0.53	12.13	8.22	2.58	0.00	0.12	27.75
9	0.33	0.41	8.0	17.5	4.5	0.21	2.89	0.30	8.78	4.93	0.69	0.00	0.07	17.87
10	0.14	0.20	7.0	11.5	4.8	0.03	1.55	0.13	4.04	2.06	0.25	0.01	0.05	8.12

CAPARO - PARCELA 9

MUESTRA	PROF. (cm)	TEXTURA							CLASE
		fracciones en %							
		< 2	2-20	20-60	60-200	200-600	600-2.000	> 2 mm	
9/1	0-20	71.6	23.2	0.9	1.8	2.1	0.4	--	A
9/2	20-40	72.8	21.0	1.4	2.5	1.6	0.7	--	A
9/3	40-60	67.6	23.6	1.9	2.6	2.4	1.9	--	A
9/4	60-90	71.6	19.7	2.3	2.8	1.7	2.0	--	A
9/5	90-120	70.0	18.6	2.4	2.9	2.7	3.4	--	A

MUESTRA	C %	N %	C/N	P _t mg/100g	PH CaCl ₂	CATIONES INTERCAMBIABLES mval/100 gr							CIC efectiva	
						H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺		Mn ⁺⁺
9/1	3.30	3.30	10.0	54.0	4.4	0.05	0.27	0.55	9.82	2.75	0.24	0.00	0.89	14.57
2	1.18	2.80	4.2	62.5	3.2	0.70	0.41	0.51	6.55	2.46	5.59	0.05	0.74	17.01
3	0.63	1.23	5.1	76.0	3.1	0.42	0.44	0.43	6.91	2.51	4.02	0.01	0.68	15.42
4	0.78	1.00	7.8	69.0	3.2	0.45	0.54	0.42	7.16	2.73	3.66	0.02	0.38	15.36
5	0.76	0.99	7.7	58.0	3.2	0.96	0.54	0.44	7.54	2.93	5.55	0.17	0.26	18.39

CAPARO - PARCELA 10

MUESTRA	PROF. (cm)	TEXTURA							CLASE
		fracciones en %							
		< 2	2-20	20-60	60-200	200-600	600-2.000	> 2 mm	
10/1	0-10	34.0	48.7	7.3	6.7	2.8	0.4	-	FAL
10/2	10-20	42.0	42.3	7.7	6.8	1.0	0.2	-	AL
10/3	20-30	48.4	31.8	8.9	9.6	1.1	0.2	-	AL
10/4	30-40	36.8	27.4	16.4	17.6	1.6	0.2	-	FAL
10/5	40-50	24.8	20.7	24.1	27.5	2.7	0.1	-	F
10/6	50-60								
10/7	60-85	29.6	10.8	20.0	35.0	3.9	0.7	-	FA
10/8	85-120	19.6	9.1	19.7	45.4	5.6	0.7	-	F
10/9	120-155	18.4	13.5	33.0	33.9	0.7	0.5	-	F

MUESTRA	C %	N %	C/N	P _t mg/100g	PH CaCl ₂	CATIONES INTERCAMBIABLES mval/100 gr								CIC efectiva
						H ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	
						10/1	4.12	4.37	9.4	50.2	4.7	0.02	0.26	
2	1.14	1.77	6.4	33.0	4.6	0.08	0.19	0.46	7.44	2.63	0.73	0.00	0.11	11.64
3	0.76	1.14	6.7	31.0	4.4	0.17	0.20	0.40	6.74	2.68	1.33	0.00	0.10	11.62
4	0.50	0.78	6.4	23.0	4.3	0.13	0.26	0.25	5.34	2.23	1.38	0.01	0.08	9.68
5	0.00	0.00	-	0.0	4.5	0.11	0.26	0.15	4.04	1.72	0.68	0.00	0.07	7.03
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0.00	0.00	-	0.0	6.5	0.00	0.56	0.14	11.23	3.21	0.31	0.02	0.04	15.51
8	0.00	0.00	-	0.0	7.0	0.00	1.17	0.10	7.14	4.28	0.70	0.02	0.04	13.45
9	0.00	0.00	-	0.0	7.1	0.00	1.73	0.05	2.45	4.87	0.51	0.02	0.05	9.68

Anhang V: Bioelementvorrat im Mineralboden (Tiefenbereich 0 - 30 und 0 - 50 cm)

Parzelle	t/ha		kg/ha									
	C _t	N _t	P _t	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺	Mn ⁺⁺	Fe ⁺⁺	H ⁺	pH
1	26	3050	2200	160	3660	1220	125	300	120	16	3.5	4.4
	34	4500	3500	300	6000	2320	235	750	200	50	12	
2	35	3800	1270	95	4130	270	54	40	80	27	0.5	5.2
	40	4400	1750	125	5680	350	90	60	110	31	1	
3	45	4300	2650	400	4540	1050	86	370	115	15	3	4.4
	57	6000	3600	520	5950	1820	170	1400	190	28	14	
4	31	3000	1380	140	500	125	45	820	110	18	6.5	3.9
	43	4250	2200	210	1000	215	85	1530	180	36	10	
5	40	4900	2570	290	5400	1450	260	790	135	3	7.5	4.1
	52	6900	3860	545	8890	2840	420	1660	210	20	14	
6	41	4950	4200	355	5840	1590	150	530	160	26	2.5	4.3
	53	6900	5900	565	9530	2930	260	1390	240	34	10	
7	48	5700	3100	385	5600	1450	210	1060	130	44	9	4.
	60	7000	3900	650	9200	3100	620	2250	210	56	23	
8	46	5200	2960	300	4250	1130	270	1030	140	30	10	4.
	57	6700	3800	550	7350	2350	780	2670	245	52	27	
9	73	9350	1930	370	5040	960	240	600	630	14	12	3.6
	91	12500	3200	550	7500	1500	420	1320	970	24	22	
10	74	9170	1500	445	7120	1430	200	290	150	3	4	4.5
	88	11300	2200	585	9900	2150	380	580	210	7	7.5	
Mittelwert												
0 - 30	45.9	5342	2370	294	4608	1068	164	583	177	20	6.9	4.2
0 - 50	57.5	7045	3380	460	7100	1960	350	1360	277	34	14	

Anhang VII: Berechnungstabelle des phytosoziologischen Indexes

a) Nach der Abundanz der phänologischen Baumartengruppe

Parzelle	Gruppe				Produkten- summe (A)	Gruppen- summe (B)	Index (A)/(B)
	1	2	3	4			
1	44	56	116	8	536	224	2.39
2	16	88	128	36	720	268	2.69
3	56	80	68	36	564	240	2.35
4	60	116	40	28	524	244	2.15
5	32	136	76	36	676	280	2.41
6	44	80	92	60	720	276	2.61
7	104	192	88	32	880	416	2.12
8	200	168	28	4	636	400	1.59
10	132	60	4	44	440	240	1.83
HETSCH 1	0	136	32	192	1136	360	3.16
2	132	168	76	32	824	408	2.02
3	132	88	60	20	568	300	1.89
4	144	152	44	28	692	368	1.88
5	20	80	52	72	624	224	2.79
6	20	128	88	44	716	280	2.56
7	29	167	86	79	937	361	2.60
8	56	112	24	44	528	236	2.24
9	68	88	156	16	776	328	2.37
10	227	109	28	48	721	412	1.75
11	44	80	52	36	504	212	2.38
12	48	108	76	64	748	296	2.53
13	96	116	16	80	696	308	2.26

b) Nach der Grundfläche der phänologischen
Baumartengruppe

Parzelle	Gruppe				Produkten-	Gruppen-	Index (A)/(B)
	1	2	3	4	summe (A)	Summe (B)	
1	7.9	4.8	12.1	0.5	55.8	25.3	2.21
2	5.1	1.6	11.2	8.8	77.1	26.7	2.89
3	10.3	6.3	1.6	4.3	44.9	22.5	2.0
4	8.3	5.1	2.9	1.8	34.4	18.1	1.90
5	5.8	10.2	6.7	6.4	71.9	29.1	2.47
6	3.2	6.2	8.1	7.1	68.3	24.6	2.78
7	8.6	7.7	3.4	1.7	41.0	21.4	1.92
8	12.9	10.2	0.7	0.5	37.4	24.3	1.54
10							
HETSCH 1	0.	7.5	3.6	14.7	84.6	25.8	3.28
2	15.4	7.8	6.2	0.6	52.	30.	1.73
3	11.7	2.7	2.2	0.5	25.7	17.1	1.50
4	16.7	11.2	1.2	0.9	46.3	30.	1.54
5	0.5	4.0	4.5	13.5	76	22.5	3.38
6	1.3	7.0	7.2	6.8	64.1	22.3	2.87
7	5.	8.4	7.2	3.5	57.4	24.1	2.38
8	5.4	6.	2.1	1.	27.7	14.5	1.91
9	15.6	3.9	15.6	3.1	82.6	38.2	2.16
10	14.6	4.1	2.9	1.9	39.1	23.5	1.66
11	8.4	5.6	6.	1.5	43.6	21.5	2.03
12	8.0	5.7	4.7	1.2	38.3	19.6	1.95
13	12.3	2.8	0.8	2.6	30.7	18.5	1.66

