

Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich

Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)

Band: 66 (1979)

Artikel: Soziologisch-ökologische Untersuchungen im Grenzbereich *Fagus silvatica* L. / *Pinus silvestris* L. in der nördlichen Schweiz

Autor: Roth, Christian

Kapitel: 5: Ergebnisse

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308568>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

5. Ergebnisse

5.1. *Vegetation: Auswertung der pflanzensoziologischen Daten*

5.1.1. *Korrespondenzanalyse*

Die Analyse wurde zuerst mit 150 Aufnahmen und 87 Arten der Feldschicht ohne Holzarten durchgeführt. Da das Computerprogramm in 150 Aufnahmen nicht alle 147 Krautarten verarbeiten konnte, wurden die hochsteten (über 90 mal notierten) sowie die niedrigsteten (weniger als 4 mal notierten) weggelassen. Aus Platzgründen mussten aber noch weitere weggelassen werden, so dass mit 87 Arten gerechnet werden konnte. Beim ersten wie bei den folgenden Durchgängen wurden stets die ersten sieben Faktoren ausgezogen.

Auf Grund der Faktoren 1 bis 3 (vgl. Abb. 5) konnten die Aufnahmen 118 bis 150 abgetrennt werden. Sie alle stammen von Uewachs bei Kloten (NUSSBAUMER 1971).

Die verbliebenen 117 Aufnahmen wurden erneut ordiniert, wobei 88 Arten berücksichtigt wurden. Die Hoch- und Niedrigsteten wurden wie beim ersten Durchlauf weggelassen, Arten mittlerer Stetigkeiten konnten neu dazugenommen werden, weil einige Arten nur in den Aufnahmen 118 bis 150 vorkommen. Wie Abb. 6 zeigt, konnten nun die Aufnahmen 84 bis 91 (ZOLLER 1951) abgetrennt werden.

Die dritte Ordination der restlichen 109 Aufnahmen und 82 Arten (ohne die 6 Arten, welche nur in den Aufnahmen 84 bis 91 vorkommen), ergab je bezüglich der ersten beiden Faktoren die Abb. 8 für die Aufnahmen, die Abb. 7 für die Arten. Die beiden Darstellungen korrespondieren, der Uebersichtlichkeit halber werden Arten und Aufnahmen jedoch getrennt dargestellt. Die 109 Aufnahmen wurden zuerst auf Grund der Anordnung in der von den beiden ersten Faktoren aufgespannten Ebene zu Gruppen zusammengefasst. Diese vorläufigen Einheiten wurden darnach mit der Diskriminanzanalyse (DIXON 1970) unter Zuhilfenahme der ersten sieben Faktoren überprüft. (Zur Begründung, warum die Diskriminanzanalyse in diesem Fall statthaft ist, vgl. WILDI 1977). Daraus ergaben sich Umstellungen, weshalb in Abb. 9, welche nur die ersten beiden Faktoren berücksichtigt, sich die Einheiten durchdringen können. Abb. 9 entspricht Abb. 8, anstelle der Aufnahmennummern sind aber die Einheitenziffern der Endtabelle angegeben.

Die endgültige Tabelle wurde durch Einfügen der zuvor abgetrennten Aufnahmegruppen und durch Zusammenfassen der Arten zu Artengruppen erarbeitet. Nun wurden auch die Holzarten eingefügt, die zur eigentlichen Ordination nicht verwendet wurden (s. Tab. 3, Stetigkeitstabelle).

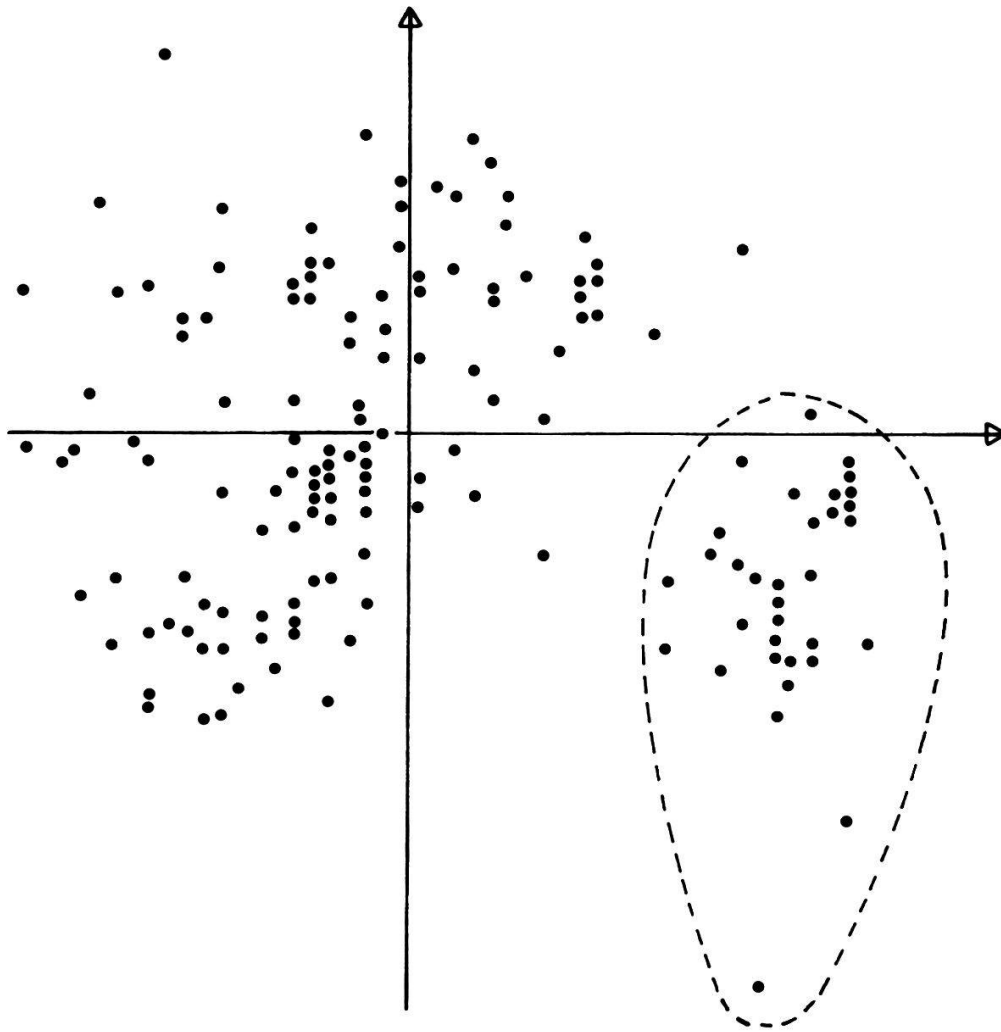


Abb. 5. Ordination der 150 Aufnahmen mit 89 Arten.
Horizontale Achse: 2. Faktor; vertikale Achse: 3. Faktor.
Eingerahmt die Aufnahmen 117 bis 150, aus NUSSBAUMER (1971).

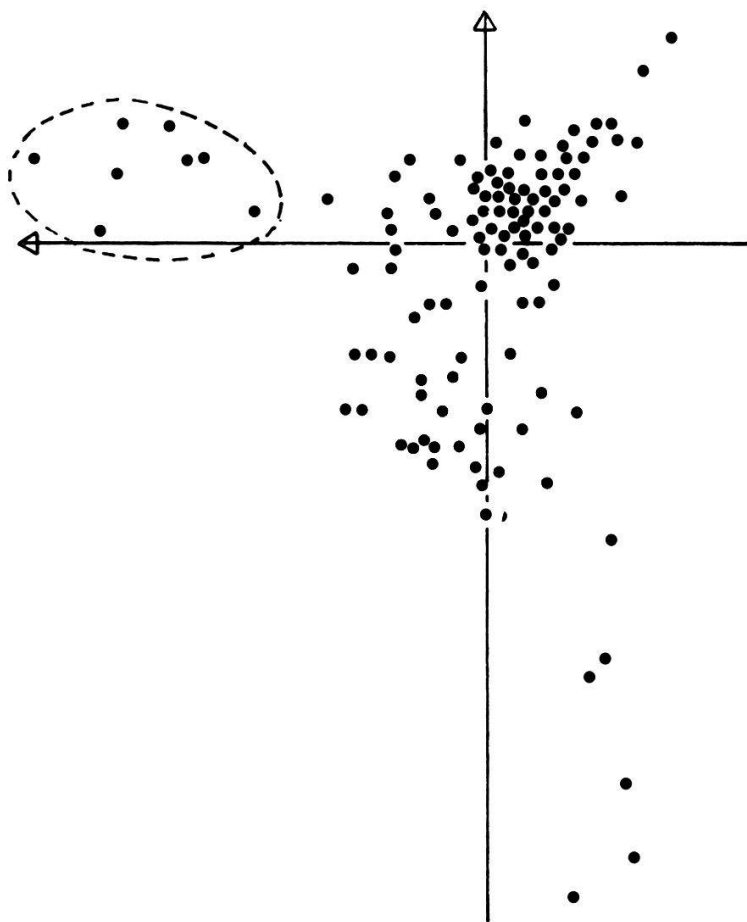


Abb. 6. Ordination der Aufnahmen 1 bis 117 mit 88 Arten.
 Vertikale Achse: 1. Faktor; horizontale Achse: 2. Faktor
 Eingerahmt die Aufnahmen 84 bis 91, aus ZOLLER (1951).

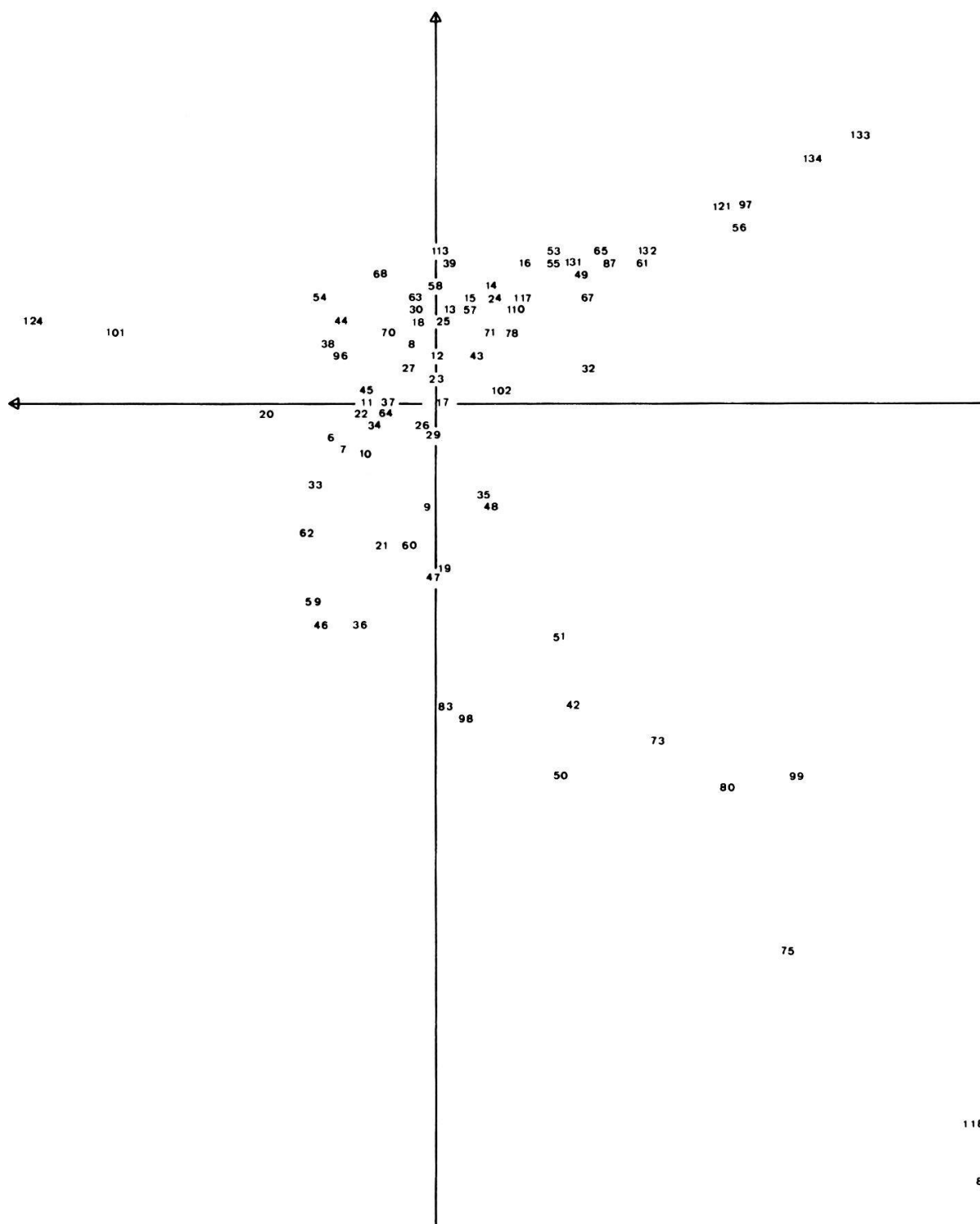


Abb. 7. Ordination der 82 Arten, die für die Ordination der Aufnahmen 1 bis 83 und 92 bis 117 verwendet wurden.
 Vertikale Achse: 1. Faktor; horizontale Achse: 2. Faktor.
 Die Nummern sind Artennummern.

5.1.2. *Minimum-spanning-tree*

Mit dem Programm VEGLIB (Dr. N. KUHN, Birmensdorf ZH) kann auf Grund der Euklidischen Distanz zwischen Aufnahmen und anschliessender single-linkage-Clusteranalyse eine Ordination durchgeführt werden (vgl. auch SCHMID und KUHN 1970). Abb. 10 zeigt daraus den Aehnlichkeitsbaum (minimum spanning tree) für die Aufnahmen. Als Berechnungsgrundlagen dienten die Schätzungen der Artmächtigkeiten der Krautarten, welche vorgängig transformiert werden mussten (vgl. Tab. 2, letzte Kolonne). Den eigentlichen Hauptast, d.h. denjenigen, dessen Endpunkte am weitesten auseinanderliegen, bilden die Aufnahmen 66 - 63 - 30 - 142 - 11 - 14 - 39 - 40 - 41 - 38 - 37 - 36. Daran sind die restlichen Vegetationsaufnahmen als Seitenketten angeschlossen. Abb. 10 stellt denselben Aehnlichkeitsbaum zweimal dar, links mit den Aufnahmeummern, rechts mit den entsprechenden Einheitennummern der Schlusstabelle.

5.1.3. *Aehnlichkeit der Einheiten nach KULCZINSKI*

Mit dem Aehnlichkeitsindex nach KULCZINSKI (aus KNAPP 1971) können Verwandtschaftsverhältnisse von Pflanzengesellschaften auf Grund der Stetigkeitstabelle berechnet werden. Die Verwandtschaftszahl wird folgendermassen ausgedrückt:

$$v = \frac{100}{2} \left\{ \frac{S_{c1} + S_{c2} - S_d}{2S_{c1}} + \frac{S_{c1} + S_{c2} - S_d}{2S_{c2}} \right\}$$

Dabei bedeuten:

S_{c1} = Summe aller Stetigkeitswerte in der einen,

S_{c2} = Summe aller Stetigkeitswerte in der andern Einheit,

S_d = Summe aller Differenzen (Absolutwert) in den Stetigkeitswerten aller Arten.

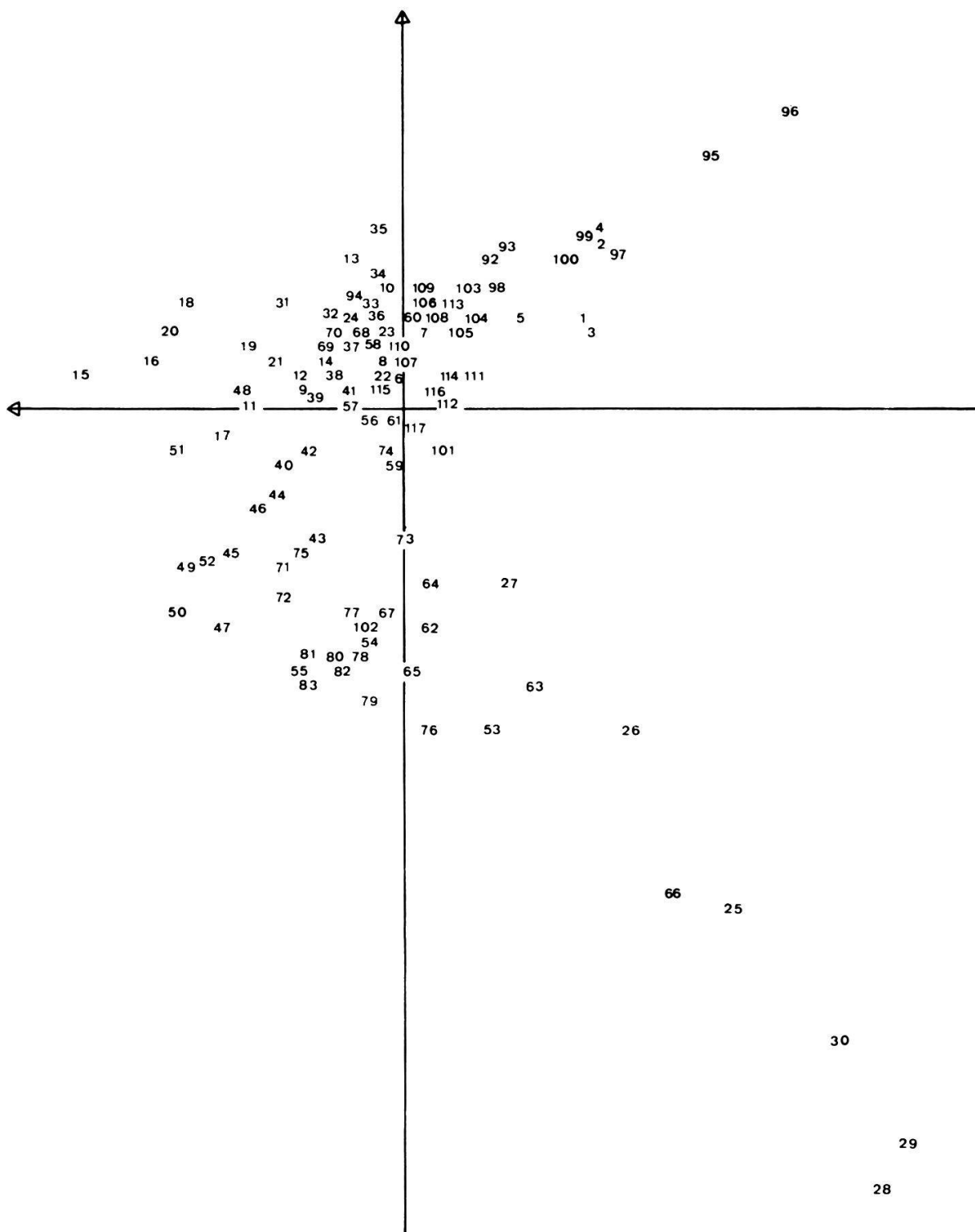


Abb. 8. Ordination der Aufnahmen 1 bis 83 und 92 bis 117 mit 82 Arten.
 Vertikale Achse: 1. Faktor; horizontale Achse: 2. Faktor.
 Die Nummern sind Aufnahmeummern.

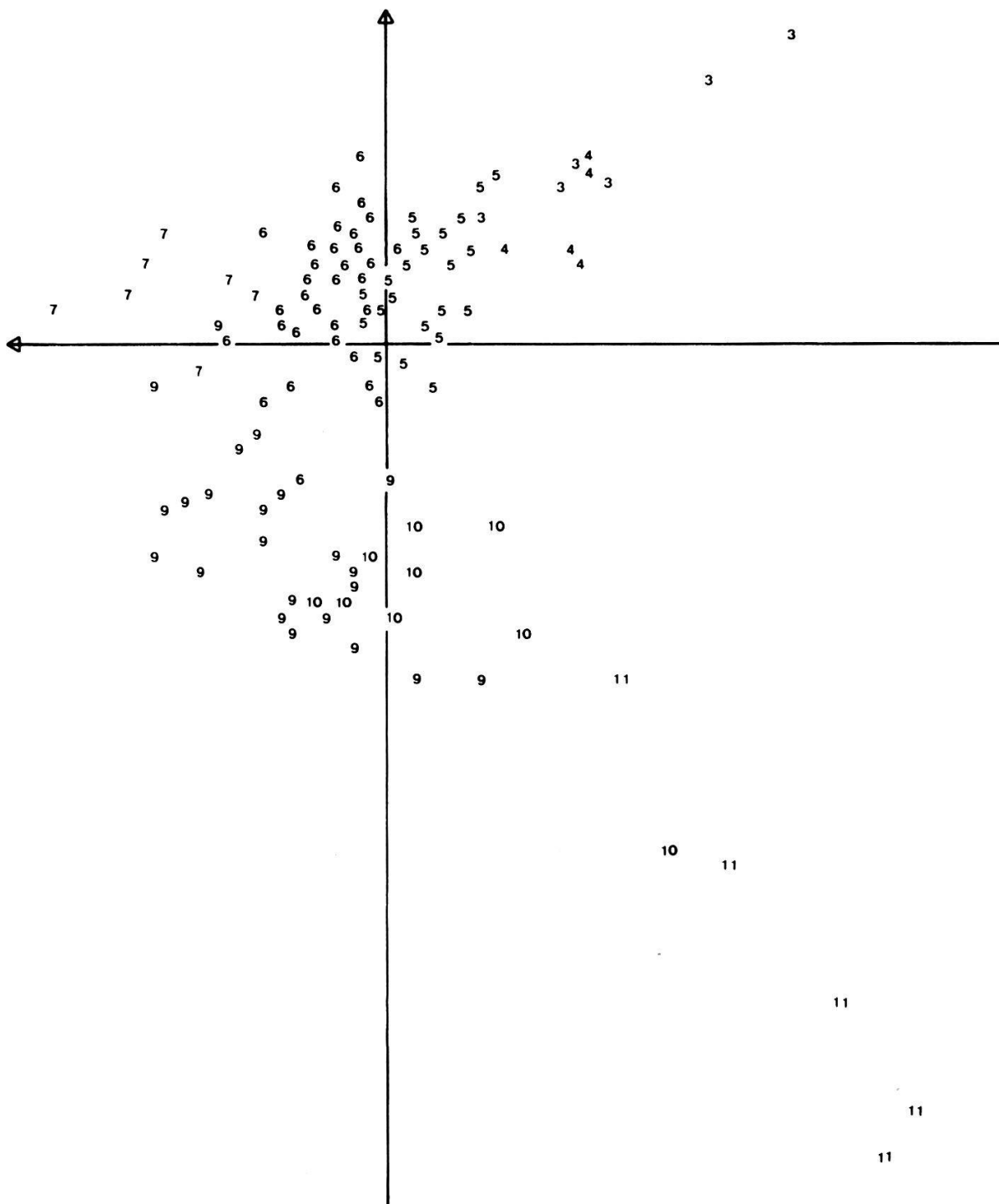


Abb. 9. Ordination der Aufnahmen 1 bis 83 und 92 bis 117 mit 82 Arten.
 Vertikale Achse: 1. Faktor; horizontale Achse: 2. Faktor.
 Die Nummern sind die Einheitennummern der entsprechenden Aufnahmen
 aus Abb. 8.

Abb. 11 zeigt die Aehnlichkeitsverhältnisse nach KULCZINSKI unter Berücksichtigung sämtlicher notierter Pflanzen, bezogen auf Einheit 5. Dieser Einheit kommt eine zentrale Stellung zu, da sie keine Artengruppe aufweist, die den übrigen Einheiten fehlt.

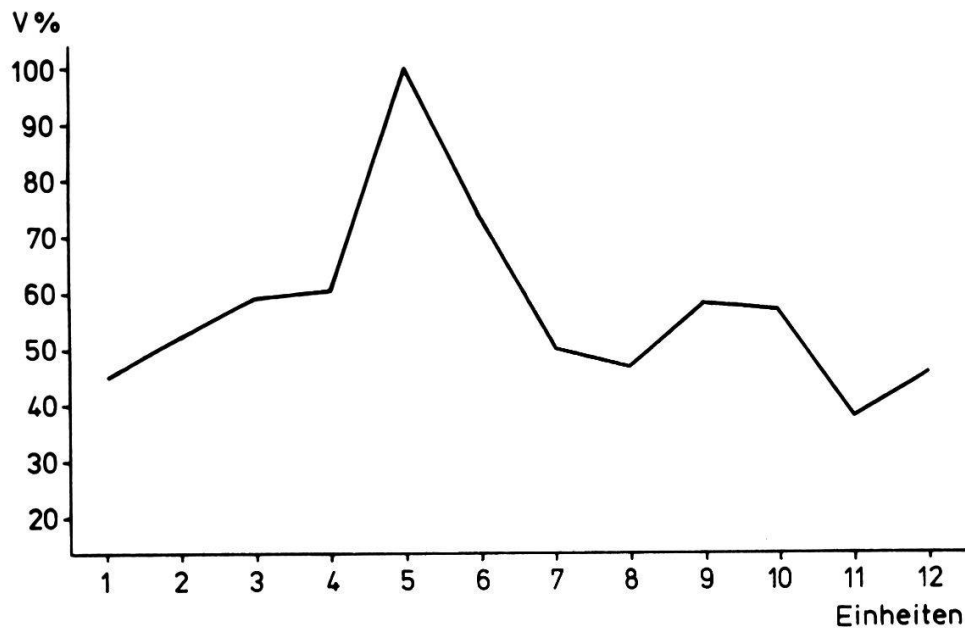


Abb. 11. Verwandtschaftsverhältnisse der Einheiten nach KULCZINSKI, bezogen auf Einheit 5.

Abb. 12 stellt den Minimum-spanning-tree der Einheiten auf Grund der Verwandtschaftsverhältnisse nach KULCZINSKI dar, unter Berücksichtigung sämtlicher notierten Pflanzen. Am weitesten voneinander entfernt sind die Einheiten 1 und 11. Es fällt auf, dass die Einheit 12 die grösste Aehnlichkeit mit der Einheit 2 aufweist.

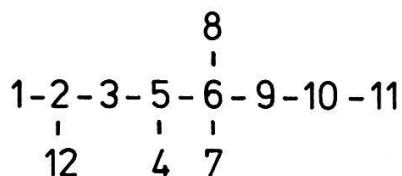


Abb. 12. Minimum spanning-tree der Einheiten (Aehnlichkeiten zwischen den Einheiten berechnet nach KULCZINSKI).

[illegible]

[illegible]

[illegible]

5.1.4. Diskussion der Stetigkeitstabelle

Die meisten Arten zeigen mehr oder weniger hohen Basengehalt des Bodens an. Sie sind zur Hauptsache nach zunehmendem Feuchtebedürfnis geordnet. In den meisten Gruppen sind neben Zeigern der entsprechenden Bodenfeuchte Arten zu finden, die auf wechselnde Feuchtigkeit deuten. Ausser in den Gruppen P, a und b sind die Lichtzeiger im oberen Teil der Tabelle zu finden, die indifferenten oder Schattenzeiger im unteren Teil. Für Angaben über Zeigerwerte s. LANDOLT (1977) und ELLENBERG (1974).

Bei der Art *Thymus serpyllum* s.l. handelt es sich im Gebiet Albis um *Thymus polytrichus* A. Kerner. *Chrysanthemum leucanthemum* s.l. ist im Gebiet Albis durch *Chrysanthemum adustum* (Koch) Fritsch vertreten.

In Tab. 4, Tab. 5 und Abb. 13 sind Angaben über die Einheiten zu finden, die in der Stetigkeitstabelle nicht aufgeführt sind

Tab. 4. Mittlere Kennwerte der Einheiten (in Klammer Streuung des Mittelwertes)

Einheit	Anzahl Aufnahmen	Nichtholzartenzahl	Höhe über Meer (m)	Neigung	Baumhöhe (m)
1	7	21,4 (1,0)	ca. 550	± 0	3,7 (0,4)
2	12	13,0 (0,9)	ca. 550	± 0	11,7 (0,7)
3	6	29,2 (1,7)	521,7 (17,4)	7,2 % (2,6)	10,3 (2,3)
4	5	43,6 (2,4)	603,0 (20,2)	55,8 % (26,3)	11,2 (1,2)
5	22	28,8 (1,7)	626,8 (19,6)	76,3 % (2,9)	12,1 (1,2)
6	32	32,4 (1,5)	735,8 (6,1)	83,8 % (3,2)	9,8 (1,0)*
7	7	20,6 (1,6)	708,4 (4,8)	125,0 % (9,3)	-
8	8	27,4 (1,3)	1109,4 (32,8)	30,0 % (4,1)	7,6 (1,3)
9	23	23,1 (1,5)	727,4 (7,8)	73,9 % (3,3)	12,5 (1,1)*
10	9	26,8 (1,8)	686,4 (21,1)	67,2 % (7,4)	-
11	5	16,2 (1,3)	706,0 (17,7)	55,0 % (5,2)	15,2 (1,2)
12	14	14,6 (1,2)	ca. 550	± 0	15,5 (0,8)

- = keine Angaben

* = Angaben nicht von allen Aufnahmen vorhanden

Pfeifengras-Föhrenwälder

Die Einheiten 1 bis 7 sind dem *Molinio-Pinetum* Etter 1947 zuzuordnen. Sie können in zwei Subassoziationen unterteilt werden:

- a) Subassoziation mit *Bromus erectus* (wiesenartige Pionierstadien, Einheiten 1 bis 4)

b) Subassoziation mit *Laserpitium latifolium* (eigentliche Föhrenwälder, Einheiten 5 bis 7).

Variante mit *Epipactis palustris* (Einheit 1)

Diese Variante ist ausschliesslich aus Aufnahmen vom Uewachs bei Kloten ZH gebildet (NUSSBAUMER 1971), welche alle etwa horizontal liegen. Im Bereich der Föhrenwälder vom Uewachs wurde vermutlich einst der Oberboden abgetragen. Die seither eingetretene Sukzession ist noch nicht abgeschlossen, das Endstadium wird wohl von einem *Fagetum* eingenommen werden. Ähnliches beschreibt KEEL (1974) vom Tannbühl in Barga SH.

Die Variante mit *Epipactis palustris* enthält neben Trocken- und Wechsel-trockenheitszeigern auch Wechselfeuchte- und Wechsellnässezeiger. Die Baumschicht wird von *Pinus silvestris* gebildet (mittlere Höhe 3,7 m), die Strauchschicht ist artenarm (*Pinus silvestris* neben *Juniperus communis*, *Picea excelsa* und *Alnus incana*).

Tabelle 5. Aufteilung der Vegetationsaufnahmen in die verschiedenen Einheiten

Einheiten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Autoren	Anzahl Aufnahmen											
NUSSBAUMER (1971)	7	12										14
ROTH			6		16				1			
ETTER (1947)				5	3	1						
SCHERRER (1925)					2	1						
KUHN (1967)					1	5				6		
FABIJANOWSKI (1950)						5	7					
REHDER (1962)						13			12			
RICHARD (1962)						4			10	2		
DAFIS (1962)						3				1	5	
ZOLLER (1950)								8				
Aufnahmen pro Einheit	7	12	6	5	22	32	7	8	23	9	5	14

Variante mit *Listera ovata* (Einheit 2)

Auch diese Variante wurde im Uewachs gefunden. Sie besiedelt etwas weniger stark vernässte Stellen als die Variante mit *Epipactis palustris*, wie aus dem Fehlen der Gruppe a hervorgeht. Auch weist sie mehr Straucharten und

eine höhere Baumschicht auf (mittlere Höhe 11,7 m). Auf Grund der stärkeren Beschattung ist die Feldschicht ärmer an Gräsern, Seggen und Kräutern, die mittlere Bodenpflanzenzahl beträgt nur 13,0 gegenüber 21,4 für die Variante mit *Epipactis palustris*. Die Aufnahmen von KEEL (1974) sind zur Hauptsache ebenfalls dieser Einheit einzuordnen.

Variante mit *Genista tinctoria* (Einheit 3)

Die Aufnahmen dieser Variante stammen aus dem Tafeljura. Aus demselben Gebiet stammen die Aufnahmen aus BÄSCHLIN (1947), die ebenfalls hierhergestellt werden müssen. Diese Föhrenwälder stocken auf anthropogen beeinflussten Böden: es handelt sich um ehemalige Aecker oder Mergelabbaustellen, zum Teil um einst beweidete Wälder. Die Aufnahmeflächen dieser Variante sind mit einer mittleren Neigung von 7,2 % verhältnismässig eben. Die Baumschicht wird von *Pinus silvestris* und *Sorbus aria* gebildet, die Krautschicht ist vermöge der lockeren Bestockung mit 29,2 Nichtholzarten im Durchschnitt recht artenreich.

Variante mit *Sanguisorba minor* (Einheit 4)

Diese Variante tritt vor allem auf steilen Lagen auf (Tösstal und Umgebung Winterthur). Es ist die an Bodenpflanzen reichste Gesellschaft (43,6 im Durchschnitt). Alle Aufnahmen stammen von ETTER (1947), der allerdings für seine Aufnahmen 5 bis 30 a absuchte. In der vorliegenden Tabelle wurden konsequent alle Arten berücksichtigt, auch die in Klammern notierten. Für die Heterogenität der Aufnahmen spricht auch die grosse Zahl der mesophilen Pflanzen. Wären diese Aufnahmen mit einer vergleichbaren Methodik aufgenommen worden, so müssten sie teilweise den Einheiten 5 und 6 zugeordnet werden.

Die Subassoziaton mit *Laserpitium latifolium* umfasst die Einheiten 5 bis 7. Sie kann auf Grund des Fehlens von *Bromus erectus* und der auftretenden *Laserpitium latifolium*-Gruppe von der Subassoziaton mit *Bromus erectus* getrennt werden. Es sind eigentliche Steilhangwälder, hauptsächlich süd- oder westexponiert.

Typische Variante (Einheit 5)

Die typische Variante vereinigt Aufnahmen verschiedener Autoren aus den Gebieten Albis, Altberg und Ostschweiz. Sie zeichnet sich nicht durch eigene Artengruppen aus und ist weniger steil als die andern beiden Varianten

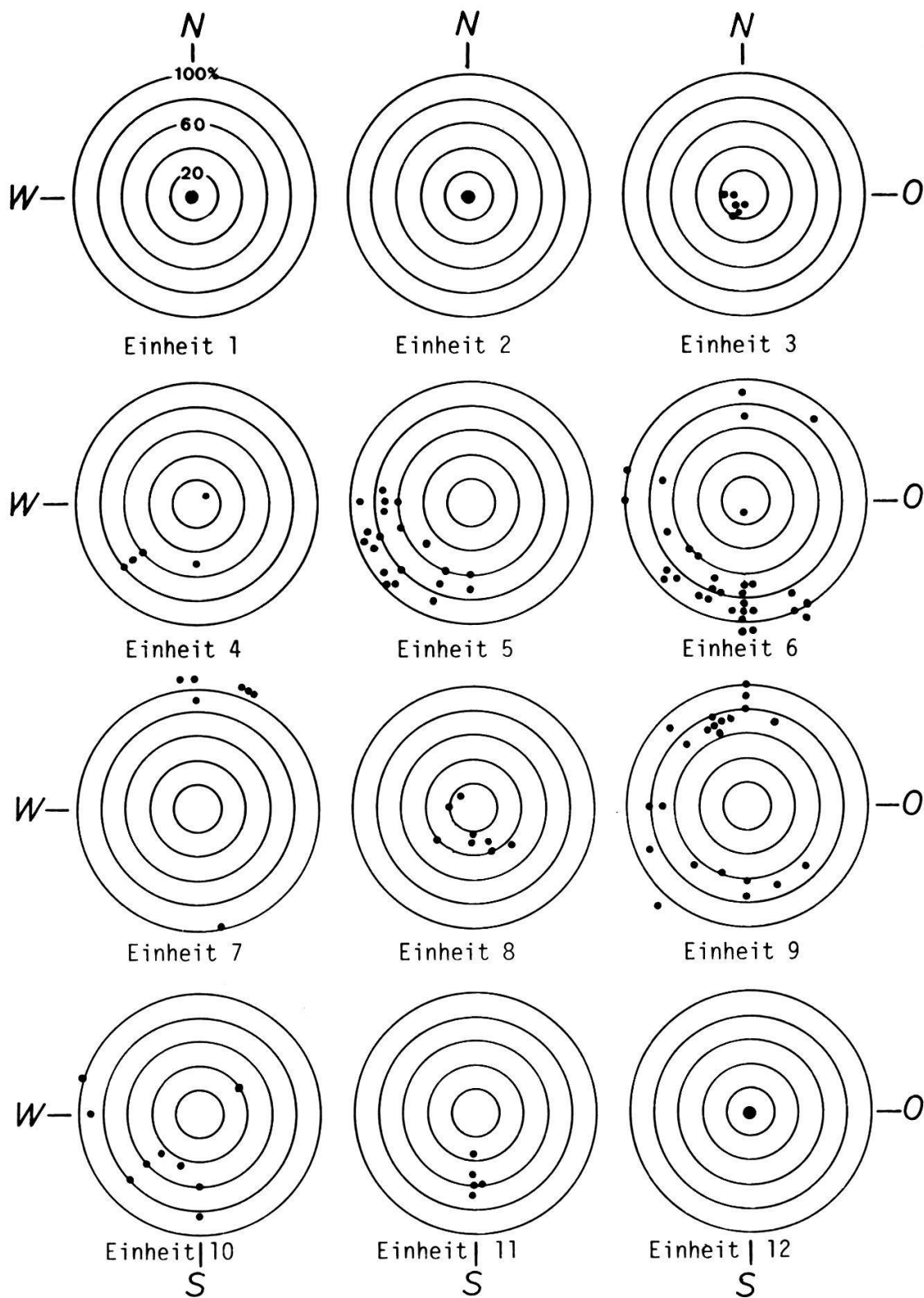


Abb. 13. Exposition und Neigung der Aufnahmen nach Einheiten geordnet. (Ein Punkt entspricht einer Aufnahme, ein grosser Punkt bedeutet mehr als sechs Aufnahmen. Aufnahmen mit mehr als 100 % Neigung sind ausserhalb des äussersten Kreises eingetragen.)

dieser Subassoziation. Sie trägt, soweit sich das aus den Literaturangaben schliessen lässt, die höchsten Föhren.

Variante mit *Geranium sanguineum* (Einheit 6)

Gegenüber der typischen Variante weist sie durchschnittlich mehr Bodempflanzen auf (32,4 gegenüber 28,8), vor allem aus den Gruppen P, Q und R, was auf trockenere Verhältnisse hinweist. Auch liegen die Aufnahmen in der Regel höher, weil sie alle aus dem Albis-Gebiet stammen. Dort kommt neben der Waldföhre noch die Bergföhre reliktsch vor. Die Aufnahmen sind häufiger südexponiert und durchschnittlich etwas steiler als die der typischen Variante.

Variante mit *Parnassia palustris* (Einheit 7)

Wie die Einheit mit *Geranium sanguineum* enthält sie die Bergföhre in der Baumschicht. Die Gruppe mit *Parnassia palustris* trennt sie von allen anderen Varianten, sie ist durchschnittlich die steilste und als einzige hauptsächlich nach Norden und Nordosten exponiert. Laut FABIJANOWSKI (1950) ist sie "an feuchte Mulden und Hänge oder an örtliche Sickerwasserhorizonte gebunden". Sie lässt sich also auch standörtlich zwanglos von den anderen Varianten abtrennen.

Die übrigen Einheiten der Tabelle

Die Einheit 8 ist geographisch von allen andern Einheiten isoliert. Es handelt sich um das *Pineto-Molinietum litoralis* Zoller 1951 vom Weissenstein, das ELLENBERG und KLÖTZLI (1972) als eigene Assoziation mit dem Namen *Cirsio tuberosi-Pinetum montanae* vom *Molinio-Pinetum silvestris* abtrennen. Diese Gesellschaft enthält zahlreiche Arten, die sowohl im *Molinio-Pinetum* wie im *Cephalanthero-Pinetum* auftreten, lässt sich aber ohne weiteres als eigene Assoziation erkennen. Auffällig sind die Arten, welche mittlere Bedingungen anzeigen, dafür fehlen ausgesprochene Nässezeiger. Mit einer mittleren Höhenlage von 1109 m ist es die höchstgelegene Einheit.

Das *Cephalanthero-Pinetum silvestris* von ELLENBERG und KLÖTZLI (1972) ist mit den Einheiten 9 und 10 vertreten. Die Gruppen A bis I und P sind schwach oder gar nicht besetzt, dafür scheinen mesophile Baumarten aus der Gruppe S vermehrt auf. Die Ausbildung mit *Viola silvestris* (Einheit 10, vor allem die Buchen-Hangföhrenwaldaufnahmen aus KUHN 1965) weist einen deutlich stärker mesophilen Charakter auf als die Ausbildung mit *Angelica silvestris*,

welche mit den Gruppen Q und U trockene und wechselfeuchte Bedingungen kombiniert.

Die Einheit 11 ist deutlich abgrenzbar, lässt sich aber nicht leicht einer Gesellschaft zuordnen. Auf Grund der Gruppen S, W und X handelt es sich um eine Buchenwaldgesellschaft im Bereich des *Taxo-Fagetum*.

Die Einheit 12 umfasst wie die Einheiten 1 und 2 Material vom Uewachs Kloten (NUSSBAUMER 1971, als *Molinio-Pinetum* bzw. *Carici-Fagetum*, *Molinia*-Ausbildung bezeichnet). Sie ist ebenfalls anthropogen geprägt, was auch im hohen Fichtenanteil in der Baumschicht zum Ausdruck kommt. Eine Zuordnung zu einer bekannten Einheit ist schwierig, am ehesten kann ein Anschluss ans *Pulmonario-Fagetum melittetosum* von ELLENBERG und KLÖTZLI (1972) befriedigen.

Zusammenfassend kann folgendes festgehalten werden:

Unter dem Namen *Molinio-Pinetum* oder unter Synonymen veröffentlichte Vegetationsaufnahmen werden mit ELLENBERG und KLÖTZLI (1972) in drei Gesellschaften aufgeteilt:

1. *Molinio-Pinetum silvestris* Etter 1947 (non: *Molinio-Pinetum* Schmid 1936 em. Seibert 1962!)
2. *Cirsio tuberosi-Pinetum montanae* Ellenberg und Klötzli 1972
3. *Cephalanthero-Pinetum silvestris* Ellenberg und Klötzli 1972.

Innerhalb des *Molinio-Pinetum* sind zwei Subassoziationen mit insgesamt 7 Varianten herausgearbeitet worden, deren Wert unterschiedlich zu beurteilen ist. Die Einheiten 1 und 2 stellen Stadien einer anthropogen bedingten Sukzession dar, die noch nicht abgeschlossen ist. Sie dürfte in Richtung 12 verlaufen.

Einheit 3 ist eine Variante aus dem Aargauer Jura, der auch die Aufnahmen von MONOD (1975) zugeordnet werden können. Soweit es die in der Tabelle verarbeiteten Aufnahmen betrifft, sind es menschlich bedingte oder doch beeinflusste Standorte.

Einheit 4 muss als Sonderfall herausgehalten werden, weil die Aufnahmetechnik von ETTER nicht derjenigen der übrigen Autoren entspricht.

Das Zentrum der Pfeifengras-Föhrenwaldgesellschaft wird von der Einheit 5 dargestellt. Ihre Aufnahmen stammen aus einem grösseren Gebiet (Albis bis St. Gallen). Nur aus dem Albis-Gebiet stammt die trockenere Einheit 6.

Dasselbe gilt für Einheit 7, welche sickerfeuchte Stellen besiedelt.

Die Tatsache, dass sämtliche Aufnahmen einer Einheit von einem einzigen Autor stammen können (Einheiten 1, 2, 3, 4, 7), kann zum Teil daraus erklärt werden, dass aus einer Region nur von einem Autor Aufnahmen zur Verfügung stehen (Einheiten 1, 2, 3).

Die Varianten lassen sich auch geschichtlich erklären. Einheiten 1, 2 und 3 sind anthropogen bedingt, Einheit 5 ist zum Teil aus Aufnahmen zusammengesetzt, die auf in der letzten Eiszeit vergletscherten Gebieten gemacht wurden. Einheiten 6 und 7 stammen aus einem Nunatakergebiet, das noch relik-tische Florenelemente aufweist, z.B. *Pinus montana*, *Campanula cochlearifolia*, *Thesium alpinum*.

Oekologisch sind die Varianten ebenfalls recht eindeutig beschrieben. Vernässte (Einheit 1) oder überrieselte Standorte (Einheit 7) stehen den während längerer Zeit trockenen, aber ebenfalls sehr flachgründigen Standorten gegenüber (Einheit 3), bei den Steillagenwäldern kann eine extreme, trockenere Variante (Einheit 6) von einer weniger extremen, aber immer wechselfeuchten Variante (Einheit 5) unterschieden werden.

Die Stetigkeitszahl von *Fagus* als Baum im *Molinio-Pinetum* beruht auf insgesamt vier Notierungen, alle mit + : zweimal in der Variante mit *Sanguisorba minor*, davon einmal in Klammern; je einmal in der typischen und in der *Geranium sanguineum*-Variante, beide Male in Klammern. Unter Berücksichtigung der zur Variante mit *Sanguisorba minor* gemachten Vorbehalte kann geschlossen werden, dass *Fagus silvatica* im *Molinio-Pinetum* nicht baumförmig wird. Dagegen hat sie keine Keim Schwierigkeiten, da sie sowohl in der Kraut- wie auch in der Strauchschicht häufig notiert wurde.

5.2. Böden

5.2.1. Bodenprofile

Die Profile (Abb. 14) wurden an den in Kapitel 3 aufgeführten Stellen gegraben. Ausser in Effingen AG, wo in der Umgebung kein vergleichbarer Buchenwald gedeiht, wurden je ein Profil in einem *Fagetum* mit einem *Molinio-Pinetum*-Profil verglichen.

Allen Böden unter Pfeifengras-Föhrenwäldern (Mergelrendzinen) ist ihre Flachgründigkeit gemeinsam. Unabhängig davon, ob es sich um Steilhänge

oder um ebene Lagen handelt, wurden Mergelrendzinen von in der Regel höchstens 50 cm Tiefe gefunden. War das Wetter in den Tagen vor der Profilöffnung trocken, so war der feinkörnige Mergel bröckelig und äusserst hart. Nach einer niederschlagsreichen Periode dagegen waren die Mergelböden plastisch und ungekrümelt. Bemerkenswert ist, dass Wurmtätigkeit nur bis etwa 20 cm Tiefe festzustellen war.

Die in der Literatur aus Pfeifengras-Föhrenwäldern beschriebenen Profile zeigen eine ähnlich flache Gründigkeit. So beschreibt NUSSBAUMER (1971) aus dem Uewachs ZH Profile von 20 cm bzw. 25 cm Tiefe. REHDER (1962) öffnete am Girstel ZH ein Profil bis 80 cm Tiefe, fand aber unterhalb 35 cm nur noch vereinzelte Wurzeln. Die entsprechende Aufnahme wurde der Einheit 6 (*Geranium sanguineum*-Variante) zugeordnet. DAFIS (1962) gab für seine Aufnahmen, welche ebenfalls in Einheit 6 integriert worden sind, 45 cm Tiefe an.

Tiefgründigere Profile, die in mit Pfeifengras-Föhrenwald bezeichneten Flächen gegraben und publiziert wurden, stammen aus Aufnahmeflächen, die jetzt andern Gesellschaften zugeordnet wurden (DAFIS 1962, hier *Taxo-Fagetum*; REHDER 1962, hier *Cephalanthero-Pinetum*).

Oft entwickeln sich Pfeifengras-Föhrenwälder an Steilhängen auf Flächen, die durch Rutschungen blossgelegt worden sind. Die Anrissstellen treten dann als Stufen im Gelände hervor. Ausserhalb der Rutschflächen herrschen Laubwälder, deren Böden (im Falle von Buchenwäldern meist Rendzinen) noch Moränenschichten umfassen, oder dann ist der Boden sehr sandig (z.B. Diebis am Uetliberg ZH), wo sich Material von Sandsteinschichten und Mergel mischt. Auf dem angehäuften Hangschutt unterhalb der Pfeifengras-Föhrenwälder entwickeln sich Laubwälder (vgl. auch ETTER 1947).

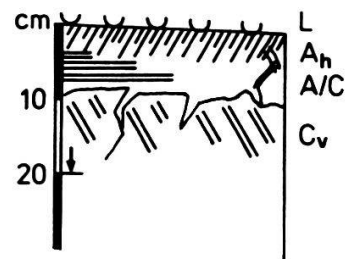
Profil 201: Nettenberg, Gde. Effingen AG

Bodentyp: schwach entwickelte, flachgründige
Mergelrendzina

Vegetation: *Molinio-Pinetum* Variante mit
Genista tinctoria (Einheit 3)

Exposition: S
Neigung: 2 ‰
Höhe ü.M.: 480 m

5	24	52	24	3,9	68	7,7	1,27	2,64	0,52
cm	%	%	%	%	%				
Tiefe	Sand	Schluff	Ton	Humus	Karbonat	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität



Abkürzungen und Symbole:

- L Streuehorizont
- F Vermoderungshorizont
- A_h humushaltiger Mineralerdehorizont
- A/C Übergangshorizont A_h - C
- C Muttergestein
- C_v angewittertes Muttergestein

Streueauflage

Humus viel
wenig

= Sand, karbonathaltig

= Schluff, karbonathaltig

= Ton, karbonathaltig

Muttergestein Mergel

Hauptwurzelhorizont

Nebenwurzelhorizont

dichter Ton

Tiefe des geöffneten Profils

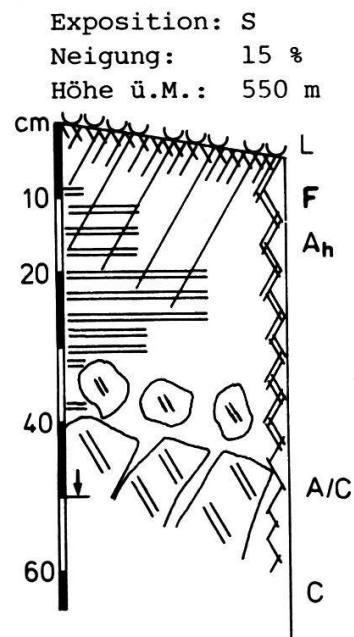
Abb. 14. Profilbeschreibung

Profil 202/203: Bürersteig, Gde. Remigen AG

Bodentyp: Mergelrendzina

Vegetation: *Molinio-Pinetum*, Variante mit
Genista tinctoria (Einheit 3)

8	11	52	37	5,8	51	7,5	0,90	2,52	0,64
30	15	52	33	2,0	60	7,7	1,64	2,55	0,36
cm	%	%	%	%	%				
Tiefe	Sand	Schluff	Ton	Humus	Karbonat	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität



Profil 204/205: Bürersteig, Gde. Remigen AG

Bodentyp: kolluviale Mullrendzina

Vegetation: *Pulmonario-Fagetum*

5	19	40	41	4,9	42	7,6	0,90	2,54	0,65
45	14	48	38	2,7	33	7,7	1,41	2,59	0,46
115	6	29	65	1,9	<1	7,5		2,87	
cm	%	%	%	%	%				
Tiefe	Sand	Schluff	Ton	Humus	Karbonat	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität

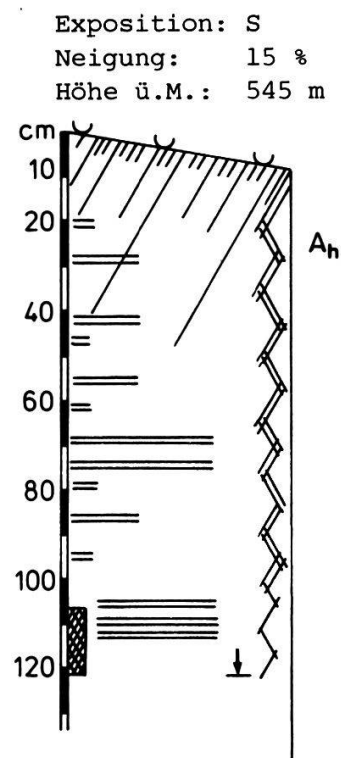


Abb. 14. Profilbeschreibung (Fortsetzung)

Profil 206/207: Girstel I, Gde. Stallikon ZH

Bodentyp: Mergelrendzina

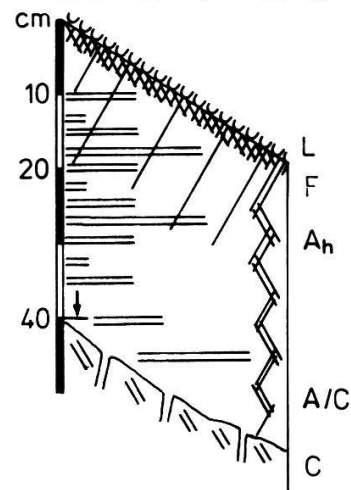
Vegetation: *Molinio-Pinetum*, Variante mit
Geranium sanguineum (Einheit 6)

Exposition: S

Neigung: 65 ‰

Höhe ü.M.: 750 m

5	16	61	23	5,7	49	7,9	1,00	2,82	0,65
25	17	56	27	1,7	47	7,7	1,21	2,58	0,53
cm	%	%	%	%	%				
Tiefe	Sand	Schluff	Ton	Humus	Karbonat	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität



Profil 209/210: Girstel III, Gde. Stallikon ZH

Bodentyp: kolluviale Mullrendzina

Vegetation: *Carici-Fagetum caricetosum montanae*

Exposition: S

Neigung: 10 ‰

Höhe ü.M.: 740 m

15	49	32	19	4,4	41	7,6	1,11	2,71	0,60
55	61	27	12	1,8	47	8,8	1,13	2,56	0,56
cm	%	%	%	%	%				
Tiefe	Sand	Schluff	Ton	Humus	Karbonat	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität

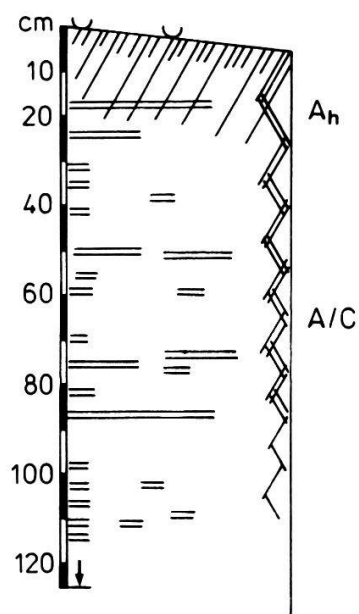


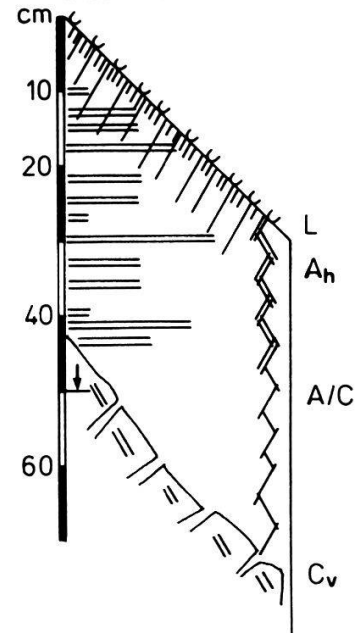
Abb. 14. Profilbeschreibung (Fortsetzung)

Profil 212: Mülitobel, Gde. Kyburg ZH

Bodentyp: schwach entwickelte Mergelrendzina
Vegetation: *Molinio-Pinetum*, typische Variante
(Einheit 5)

5				5,3	42					
10				2,6	42					
15				1,8	41					
20	15	64	21	0,4	39	7,8	1,32	2,66	0,50	
25				0,3	37					
30				0,3	39					
cm	%	%	%	%	%					
Tiefe	Sand	Schluff	Ton	Humus	Karbonat	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität	

Exposition: SE
Neigung: 100 %
Höhe ü.M.: 560 m



Profil 211: Mülitobel, Gde. Kyburg ZH

Bodentyp: Mergel-Mullrendzina
Vegetation: *Carici-Fagetum caricetosum montanae*

Exposition: SE
Neigung: 80 %
Höhe ü.M.: 580 m

5				6,5	37					
10				4,7	38					
15				4,3	40					
20	33	55	12	4,3	40	7,9	1,26	2,56	0,51	
25				2,7	46					
30				2,0	39					
cm	%	%	%	%	%					
Tiefe	Sand	Schluff	Ton	Humus	Karbonat	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität	

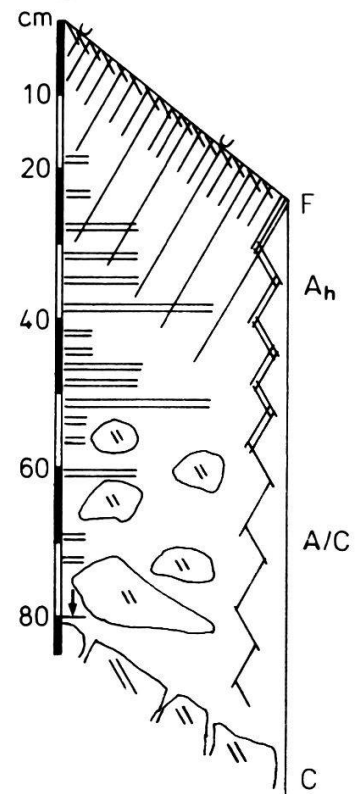


Abb. 14. Profilbeschreibung (Fortsetzung)

5.2.2. Desorptionskurven

Die Desorptionskurven der Tabellen 6 und 7 (graphisch in Abb. 15) wurden an Proben der in Abb. 14 dargestellten Profile gemessen. Zusätzlich sind noch die Werte von zwei weiteren Böden aus dem Gebiet Kyburg angegeben (ROTH 1972).

Desorptionsverhältnisse in den Föhrenwäldern und diejenigen in den benachbarten Buchenwäldern unterscheiden sich kaum. Allgemein ist der Anteil der nur mit über 15 atm Saugspannung entwässerbaren Poren gross, verglichen zum Beispiel mit einer lehmigen Braunerde (Buechberg, BRÜLHART 1969). Berücksichtigt man das von den Pflanzen erschlossene Bodenvolumen bzw. die Wurzeltiefe, so treten klare Unterschiede zwischen den beiden Probengruppen hervor (Abb. 16).

Dazu wird im Feld die durchwurzelte Tiefe geschätzt und die Horizontmächtigkeit festgelegt, für die eine Desorptionskurve gelten soll. Unter der Annahme, die Profile seien umfassend mit Wasser gefüllt, lässt sich die bei einer Austrocknung bis zu einem bestimmten Saugspannungswert entzogene Menge wie folgt berechnen:

$$\theta_e = \left[\theta(1 \text{ cm WS}) - \theta(S \text{ cm WS}) \right] \cdot x \text{ dm} \cdot 10^2$$

θ_e = entzogene Wassermenge in $\text{dm}^3 \text{ m}^{-2} \hat{=} \text{mm}$ pro Horizont mit Tiefe x dm

θ = Wassergehalt in %_v

x = Horizonttiefe in dm

Durch Aufsummierung der von Saugspannungsstufe zu Saugspannungsstufe so berechneten Menge Wasser kamen die Kurven der Abb. 16 zustande. Die Summenkurven sind mit den Nummern bezeichnet, welche den Desorptionskurven der Tabellen 5 und 6 bzw. den Profilnummern in Abb. 15 entsprechen. Die Horizontmächtigkeit versteht sich senkrecht zur Bodenoberfläche. Zuschläge für eventuell tiefer reichende Wurzeln bzw. Abzüge für Skelett gaben Abweichungen von den in Abb. 14 angegebenen Horizonttiefen.

Es zeigt sich, dass die Profile unter den Buchenwäldern bis zu einem bestimmten Saugspannungswert durchwegs mehr Wasser abgeben können als die Profile, welche in Pfeifengras-Föhrenwäldern gegraben wurden. Allerdings

Tabelle 6. Wassergehalt und zufälliger Fehler des Mittelwertes in Abhängigkeit der Saugspannung im Hauptwurzelhorizont unter den Pfeifengras-Föhrenwäldern.

Saugspannung WS cm	Profil K5 Kyburg		Profil 201 Effingen		Profil 202/203 Bürersteig			
	25 - 25 cm		1 - 11 cm		3 - 13 cm		25 - 35 cm	
	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)
1	44.25 ±2.06	32.30 ±1.50	62.24 ±4.36	49.09 ±3.44	63.19 ±3.52	69.82 ±3.89	56.97 ±2.73	34.68 ±1.66
5	43.81 ±2.00	31.98 ±1.46	59.98 ±3.87	47.30 ±3.05	60.71 ±3.46	67.09 ±3.83	50.55 ±2.16	30.76 ±1.31
20	36.76 ±0.86	26.83 ±0.63	- -	- -	51.78 ±3.53	57.21 ±3.90	44.55 ±1.55	27.11 ±0.94
80	31.13 ±0.90	22.72 ±0.66	32.91 ±2.32	25.96 ±1.83	43.29 ±1.58	47.83 ±1.74	44.56 ±1.37	25.29 ±0.83
690	27.89 ±1.11	20.36 ±0.81	32.70 ±2.07	25.79 ±1.64	39.97 ±1.57	44.17 ±1.73	37.56 ±1.51	22.86 ±0.92
2000	23.80 ±1.26	17.37 ±0.92	32.50 ±2.07	25.63 ±1.63	32.87 ±2.41	37.30 ±2.20	34.93 ±1.07	21.26 ±0.65
15000	13.85 ±0.56	10.11 ±0.41	28.53 ±2.12	22.50 ±1.68	24.68 ±1.24	27.27 ±1.37	31.20 ±0.80	18.99 ±0.49

Saugspannung WS cm	Profil 206/207 Girstel I				Profil 212 Mülitobel	
	2 - 12 cm		20 - 30 cm		20 - 30 cm	
	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)
1	62.85 ±2.43	63.10 ±2.44	55.09 ±2.00	45.60 ±1.66	55.55 ±1.33	42.05 ±1.01
5	60.43 ±2.39	60.68 ±2.40	48.21 ±2.11	39.91 ±1.75	53.77 ±1.31	40.70 ±0.99
20	52.63 ±2.30	52.84 ±2.31	42.12 ±1.87	34.87 ±1.55	44.36 ±1.09	33.58 ±0.83
80	39.68 ±1.26	39.84 ±1.27	37.67 ±1.68	31.18 ±1.39	30.94 ±0.96	23.42 ±0.73
690	36.34 ±1.17	36.49 ±1.18	27.02 ±1.12	22.37 ±0.93	26.23 ±1.09	19.86 ±0.82
2000	32.61 ±1.65	32.74 ±1.66	26.16 ±0.92	22.03 ±0.76	25.76 ±0.68	19.50 ±0.52
15000	30.78 ±1.22	30.90 ±1.22	17.44 ±0.96	14.43 ±0.79	16.69 ±0.56	12.63 ±0.42

Tabelle 7. Wassergehalt und zufälliger Fehler des Mittelwertes in Abhängigkeit der Saugspannung im Hauptwurzelhorizont unter Buchen-Föhrenwäldern.

Saugspannung WS cm	Profil K9 Kyburg		Profil 204/205 Bürersteig			
	20 - 30 cm		10 - 20 cm		35 - 45 cm	
	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)
1	57.55 ±2.81	54.81 ±2.68	64.60 ±1.96	71.46 ±2.17	54.91 ±1.10	38.94 ±0.78
5	55.38 ±2.32	52.74 ±2.21	59.80 ±2.06	66.15 ±2.28	49.82 ±1.14	35.33 ±0.81
20	47.40 ±1.71	45.14 ±1.63	51.42 ±2.48	56.88 ±2.74	47.19 ±1.03	33.47 ±0.73
80	43.28 ±1.54	41.22 ±1.47	43.99 ±1.27	48.66 ±1.41	45.43 ±1.08	32.22 ±0.77
690	41.86 ±1.59	39.87 ±1.51	41.29 ±1.26	45.68 ±1.36	43.36 ±0.95	30.75 ±0.67
2000	31.98 ±0.59	30.46 ±0.56	35.03 ±1.14	38.75 ±1.26	43.28 ±0.90	30.70 ±0.64
15000	24.27 ±0.41	23.11 ±0.39	27.09 ±0.64	29.97 ±0.71	33.83 ±0.52	23.99 ±0.37

Saugspannung WS cm	Profil 208 Girstel II		Profil 209/210 Girstel III				Profil 211 Mülitobel	
	10 - 20 cm		10 - 20 cm		50 - 70 cm		15 - 25 cm	
	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)
1	66.20 ±2.39	57.52 ±2.08	61.76 ±2.50	55.44 ±2.24	42.87 ±0.76	37.94 ±0.68	54.58 ±0.78	43.39 ±0.62
5	62.23 ±1.91	54.60 ±1.66	58.07 ±2.09	52.13 ±1.88	40.26 ±0.57	35.62 ±0.51	52.49 ±0.92	41.73 ±0.73
20	51.95 ±1.72	45.14 ±1.49	45.22 ±1.22	40.59 ±1.09	33.20 ±0.50	29.38 ±0.44	39.52 ±1.35	31.41 ±1.08
80	44.70 ±1.42	38.84 ±1.24	32.52 ±1.02	29.19 ±0.92	26.70 ±0.55	23.63 ±0.49	35.08 ±1.37	27.89 ±1.09
690	40.89 ±1.29	35.52 ±1.12	26.32 ±0.99	23.63 ±0.89	22.26 ±0.43	19.70 ±0.38	31.49 ±1.54	25.03 ±1.22
2000	34.80 ±1.22	30.23 ±1.06	26.41 ±1.66	23.71 ±1.49	19.35 ±0.36	17.13 ±0.32	27.14 ±0.57	21.57 ±0.46
15000	26.00 ±0.93	22.59 ±0.80	19.65 ±1.75	17.64 ±1.57	13.95 ±0.71	12.75 ±0.63	17.85 ±0.41	14.19 ±0.33

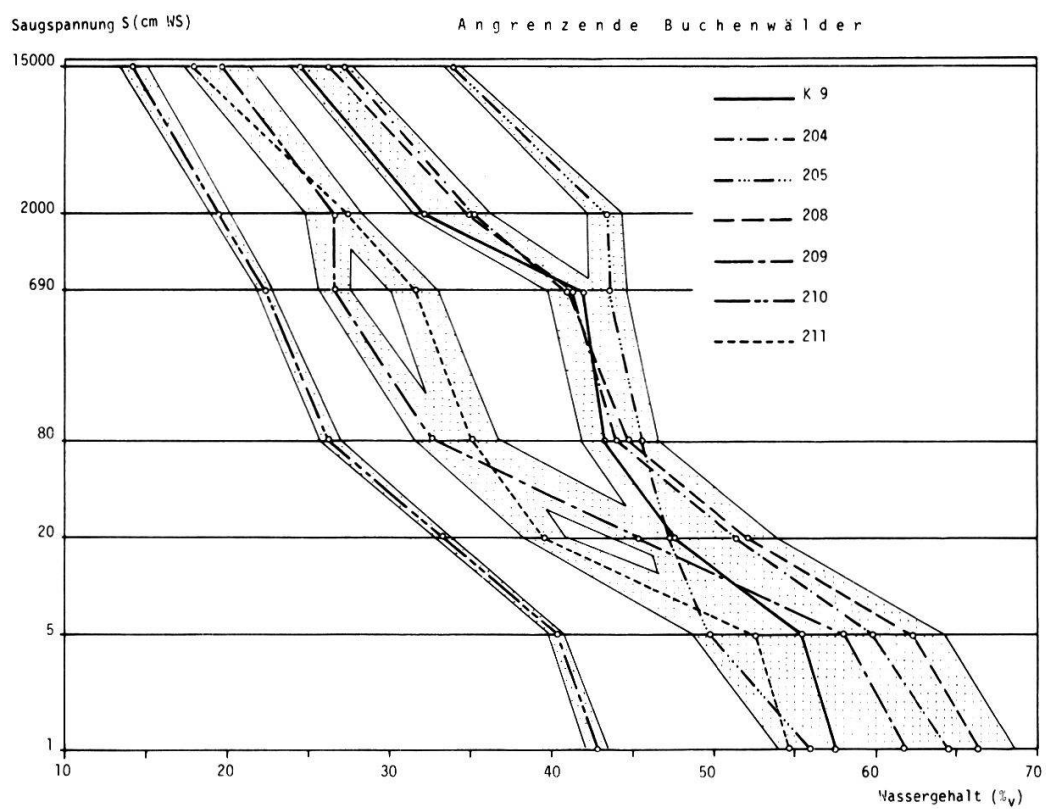
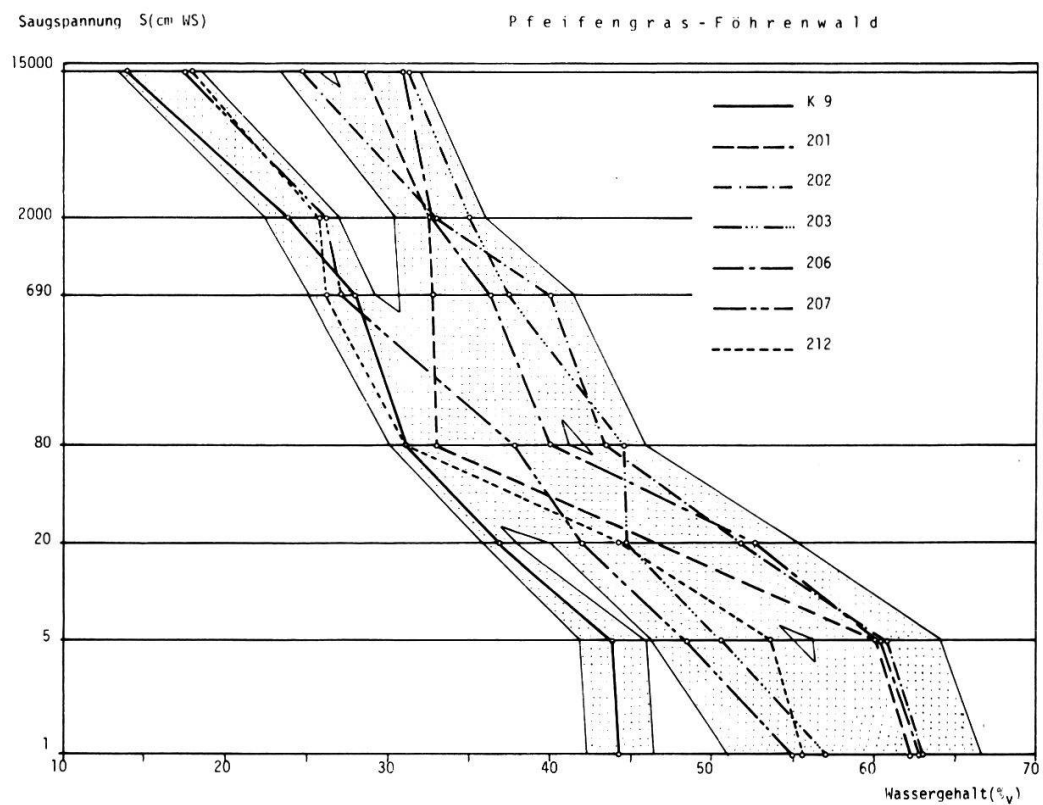


Abb. 15. Desorptionskurven aus Profilen unter Pfeifengras-Föhrenwäldern (oben) und angrenzenden Buchenwäldern (unten). Streuung der Mittelwerte punktiert.

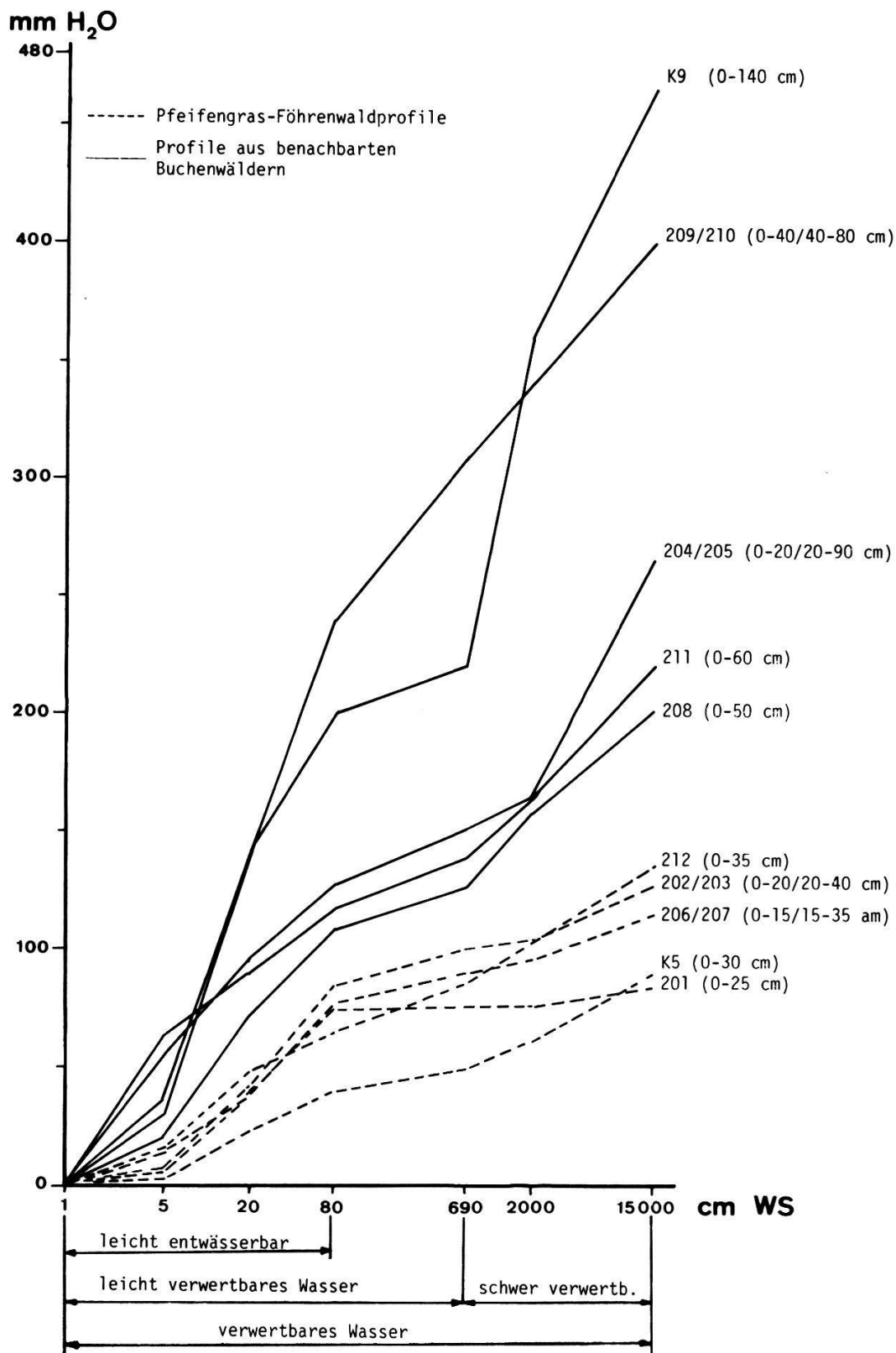


Abb. 16. Theoretisch speicherbare Wassermenge unter der vereinfachten Annahme, der Boden sei mit Wasser gesättigt. In Klammern: Horizontmächtigkeit. Erläuterung im Text.

führt die vereinfachende Annahme, dass die Profile über die ganze berücksichtigte Tiefe hinweg gleichmässig feucht seien, zu einer Ueberschätzung der Werte. So konnte beispielsweise für das Profil 212 (Mülitobel, Pfeifengras-Föhrenwald) ein maximaler Wassergehalt von 51 mm (am 24.12.1974) festgestellt werden. Im übrigen sind auch Sickerverluste oder Zuflüsse nicht berücksichtigt. Zudem sind die Bodenprofile übers Jahr wohl nur selten wassergesättigt. Die effektive zeitliche Wasserverteilung wird andere Beträge für leicht- und schwerverwertbares Wasser zeigen als diese statische Betrachtung der Porengrössenverteilung in den Profilen.

5.2.3. *Transsekten Föhrenwald-Buchenwald*

Um die Veränderung gewisser Bodeneigenschaften von einem Buchenwald zu einem Pfeifengras-Föhrenwald zu erfassen, wurden an fünf scharfen Uebergängen von Buchenwald zu Pfeifengras-Föhrenwald Bodenproben entnommen:

- 1) Aeugsterberg
- 2) Girstel
- 3) Uewachs
- 4) Mülitobel
- 5) Bürersteig.

Je sechs Bodenproben aus 10 bis 15 cm Tiefe wurden so entnommen, dass drei Entnahmeorte unter Buchenwald und drei unter Pfeifengras-Föhrenwald lagen. Die Probeentnahmen erfolgten mehr oder weniger auf einer Geraden in Abständen von fünf bis sieben Metern.

Im Labor wurden in jeder Probe bestimmt:

- Karbonatgehalt
- Humusgehalt
- Körnung der Feinerde.

Zur Auswertung wurden alle Proben, die unter Buchen- bzw. unter Föhrenwäldern lagen, zu Gruppen zusammengefasst. Die Hypothese, dass zwischen diesen Gruppen kein Unterschied besteht, wurde mit U-Test nach MANN und WHITNEY (STÖCKER 1967) getestet.

Die Böden unter diesen Buchenwäldern weisen demnach in 10 bis 15 cm Tiefe mehr Humus, weniger Karbonat und weniger Schluff auf als die Profile unter den gleich danebenliegenden Pfeifengras-Föhrenwäldern.

Tabelle 8. Vergleich der in Transsekten gemessenen Bodencharakteristika

gemessene Grösse	Wahrscheinlichkeit P	mehr unter
Humusgehalt	0,007	Buchenwald
Karbonatgehalt	0,001	Föhrenwald
Sand	über 0,1	
Schluff	0,092	Föhrenwald
Ton	über 0,1	

Zwischen Humus- und Karbonatgehalt aller Proben lässt sich eine einfache lineare Regression berechnen: $y = 10,07 - 0,08 x$, wobei y = Humusgehalt in % und x = Karbonatgehalt in % bedeuten. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r = 0,41$, signifikant von Null verschieden mit Irrtumswahrscheinlichkeit $P = 0,05$. Die Bedeutung dieser bedingten Korrelation liegt wohl darin, dass beide Bodeneigenschaften von einer dritten abhängen: von der Zeitdauer seit Beginn der Bodenbildung nämlich. Je älter ein Boden ist, desto mehr ist er unter sonst vergleichbaren Bedingungen entkarbonatet und desto mehr Humus konnte angereichert werden.

Die Körnung lässt nur im Schluffgehalt einen (allerdings lediglich schwach gesicherten) Unterschied erkennen: Böden unter diesen Pfeifengras-Föhrenwäldern weisen demnach einen höheren Anteil an Schluff auf als die Böden benachbarter Buchenwälder.

5.2.4. Wasserleitfähigkeit nach DARCY in den Profilen Mülitobel

Die Messung der Wasserleitfähigkeit nach DARCY bei Wassersättigung ergab für das Profil Mülitobel 212 (unter Pfeifengras-Föhrenwald, Tiefe 20 - 30 cm): $k = 1,157 \times 10^{-4}$ cm/sec; für das Profil Mülitobel 211 (unter Seggen-Buchenwald, Tiefe 15 - 25 cm): $k = 3,243 \times 10^{-4}$ cm/sec.

Nach der unter 4.2.1.5. beschriebenen Methode wurde ein mathematischer Ansatz zur Berechnung der $k(S)$ -Kurve verwendet, Abb. 17 zeigt das Ergebnis. Die beiden Kurven unterscheiden sich wenig. Verglichen mit der Braunerde aus Abb. 4 nimmt der k -Wert mit zunehmender Saugspannung rascher ab.

Obschon diese Berechnung fehlerhaft und nur als grobe Annäherung zu betrachten ist, dürften die verglichenen Horizonte als gleich durchlässig gelten.

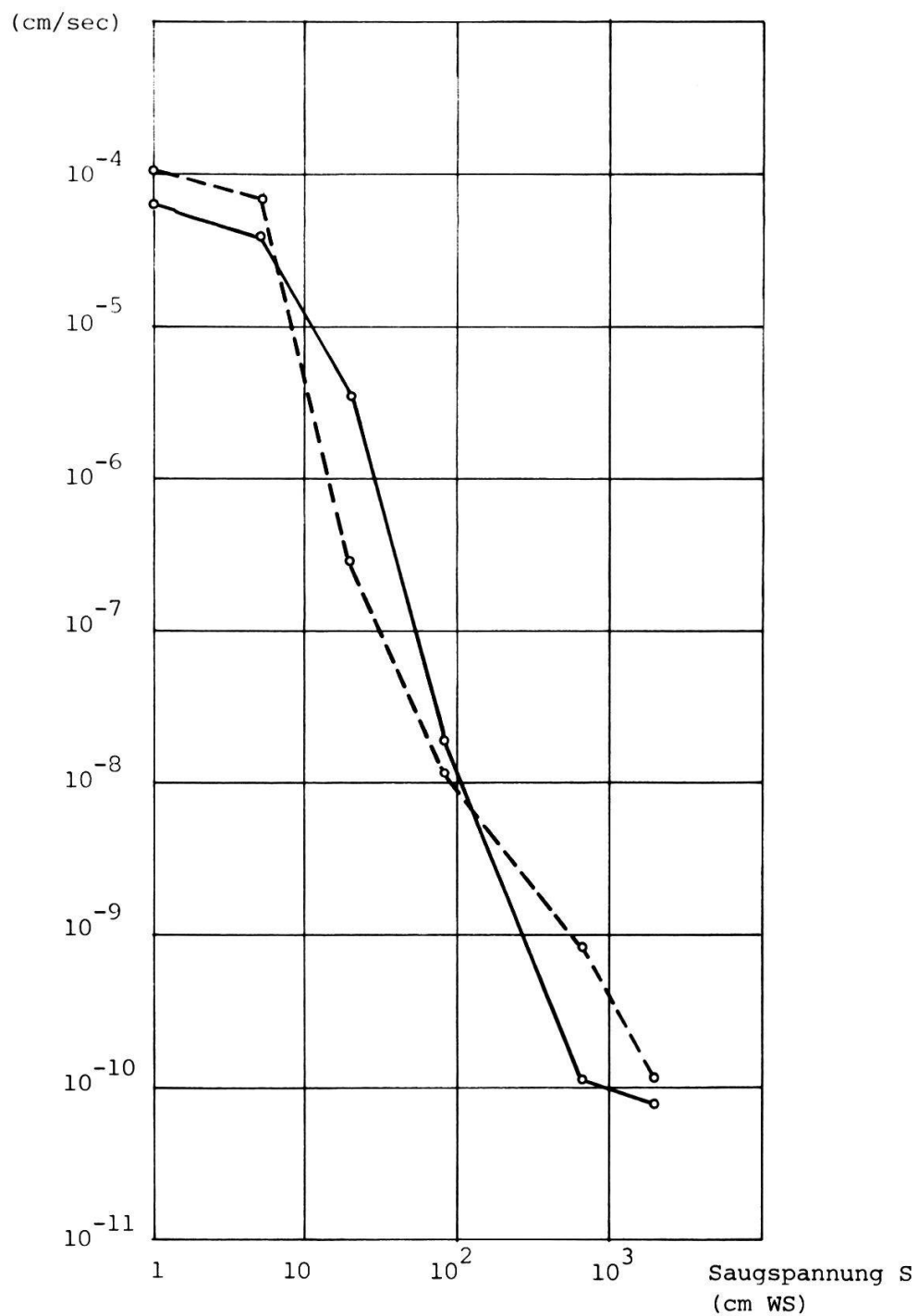


Abb. 17. Nach MARSHALL (1958) berechnete und mit $mf = f(\text{Silt})$ korrigierte $k(S)$ -Kurven der Profile Mülitobel
 ausgezogen: Profil 212, 20 - 30 cm, *Molinio-Pinetum*
 gestrichelt: Profil 211, 15 - 25 cm *Carici-Fagetum*

5.2.5. Verlauf der Saugspannung der Profile Militobel (1974)

Die Saugspannungsverhältnisse in einem Boden werden durch die klimatischen Verhältnisse wesentlich mitgeprägt. Um das Klima des Untersuchungsjahres zu charakterisieren, werden die monatlichen Niederschlagssummen und Temperaturmittel der Station Winterthur für das Jahr 1974 der Quantilstatistik gegenübergestellt (Abb. 18 und 19). Die Abweichungen vom obern oder untern Quartil werden graphisch hervorgehoben.

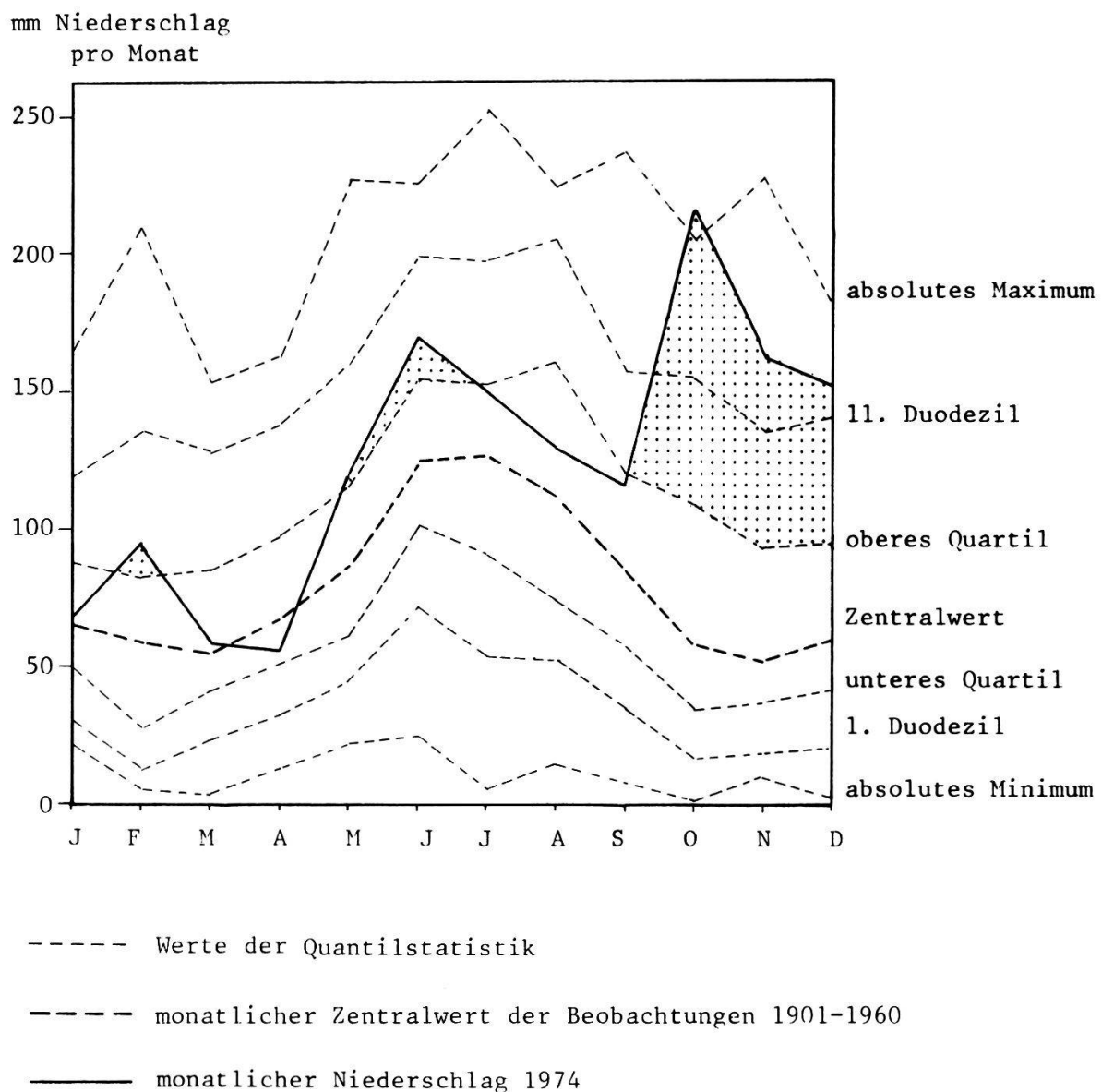


Abb. 18. Vergleich der monatlichen Niederschläge des Jahres 1974 mit der Quantilstatistik der Station Winterthur (UTTINGER 1966).
Abweichungen vom obern Quartil punktiert.

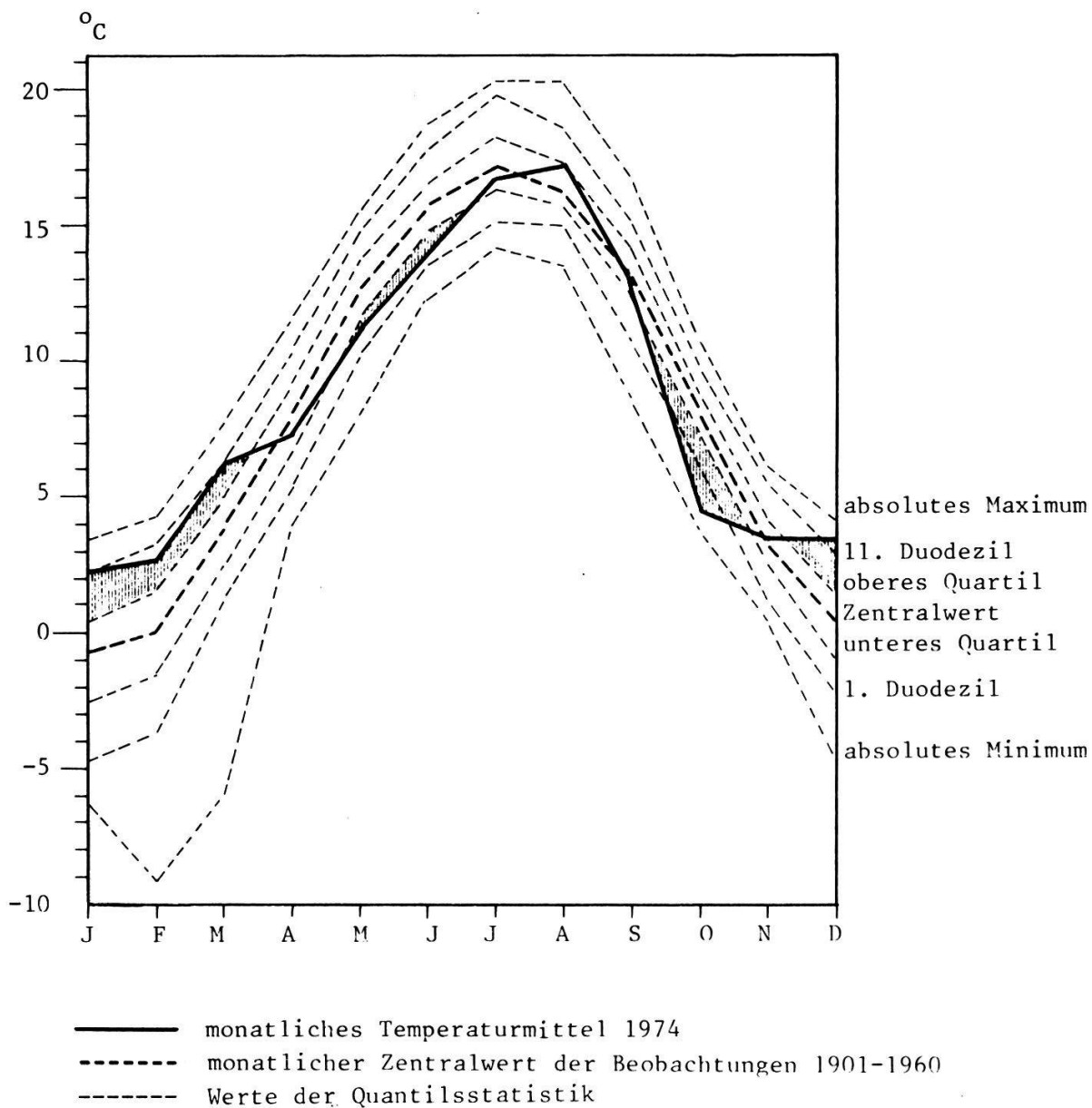


Abb. 19. Vergleich der monatlichen Temperaturmittel des Jahres 1974 mit der Quantilstatistik der Station Winterthur (SCHÜEPP 1967). Abweichungen vom obern und untern Quartil schraffiert.

Der Januar war im Vergleich zu den übrigen Jahren warm, der Februar niederschlagsreich und warm. Im April war das Wetter nahe dem häufigsten Zustand für diesen Monat, Mai und Juni waren eher feucht und kühl, Juli, August und September wichen von den häufigsten Werten nicht stark ab. Der Oktober war kühl und ausgesprochen nass, mit einem neuen Niederschlagsmaximum für Winterthur. Der November war eher feucht, der Dezember relativ warm und niederschlagsreich.

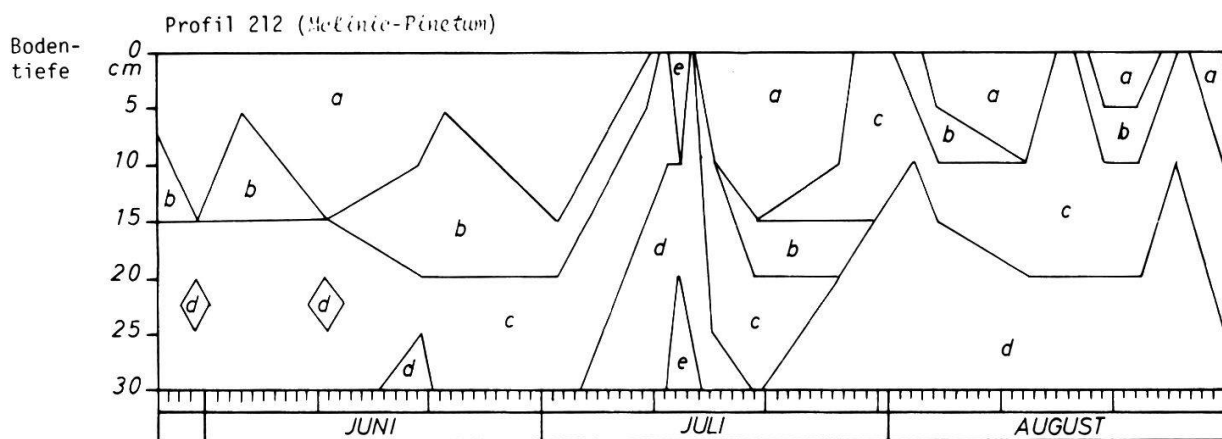
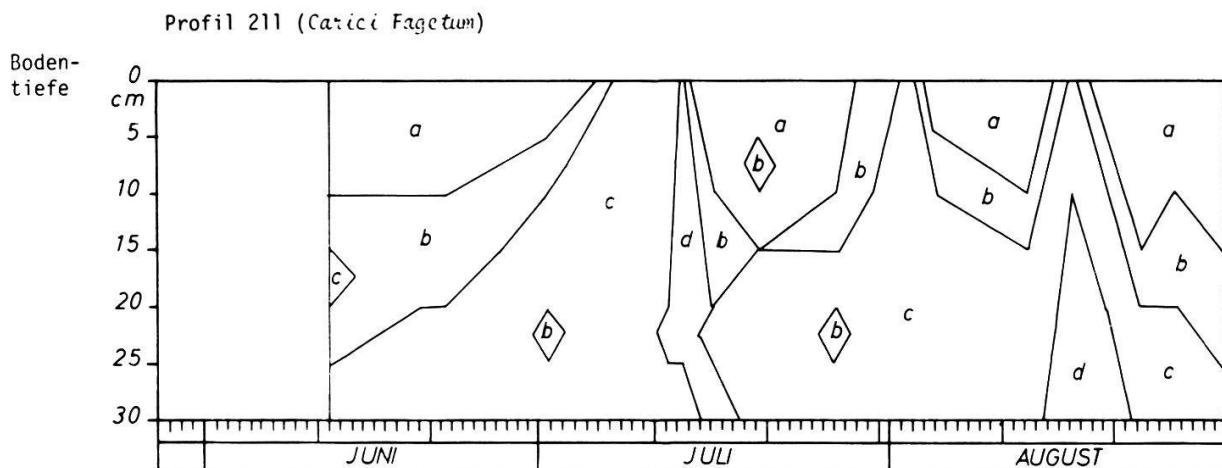


Abb. 20. Saugspannungsverlauf in den obersten 30 cm der Profile 211 und 212 in den Monaten Juni bis August 1974.

a = 80 cm WS, b = 80 - 690 cm WS, c = 690 - 5000 cm WS,
d = 5000 - 15000 cm WS, e = über 15000 cm WS.

Der Verlauf der Saugspannungen von 0 bis 30 cm im Boden des Pfeifengras-Föhrenwaldes im Mülitobel (Profil 212) und zum Vergleich des Seggen-Buchenwaldes (Profil 211) sind in Abb. 20 dargestellt.

Beide Profile zeigen von 0 bis etwa 15 cm Tiefe in der Regel einen höheren Wassergehalt entsprechend einer tieferen Saugspannung als von etwa 15 bis 30 cm Tiefe. Wasser, das mit 80 bis 690 cm WS ($\approx 0,08$ bis $0,69$ atm) Saugkraft gebunden ist, gilt als leicht verwertbar. Weniger stark gebundenes Wasser ist zwar leichter verwertbar, hingegen kann bei hohem Wassergehalt die Sauerstoffnachlieferung im Boden so weit sinken, dass manche Pflanzen unter der mangelhaften Durchlüftung leiden. Nach FLÜHLER (1973) wird die Durchlüftung bei einem Volumenanteil von weniger als etwa 7 % kritisch. Dieser Grenzwert entspricht im Profil 211 einer Saugspannung von 11 cm WS, im Profil 212 einer Saugspannung von 9 cm WS. Werte dieser Grösse und kleiner wurden in der Messperiode Mai bis September 1974 in der Schicht 0 bis 5 cm verschiedentlich festgestellt, ebenso am 23.12.1974. Mikroskopische Untersuchungen an Pflanzen des Pfeifengras-Föhrenwaldes (Profil 212) ergaben ebenfalls Hinweise auf zeitlichen Sauerstoffmangel (Abb. 22). Die Krautschicht des Pfeifengras-Föhrenwaldes setzt sich aus Arten zusammen, die gelegentliche Trockenheit ertragen (Beispiel in Abb. 22 *Brachypodium pinnatum*), andererseits sind (Wechsel-) Feuchtezeiger recht häufig (Beispiele *Molinia litoralis*, *Carex flacca*, *Calamagrostis varia*). Diese bilden ein Aerenchym aus, das einen internen Gasaustausch in Zeiten ungenügender Bodendurchlüftung erlaubt. Zwar war es nicht möglich, die Wurzelverteilung quantitativ zu bestimmen. Versuche im Pfeifengras-Föhrenwald in dieser Hinsicht misslangen, weil der Mergel zu fest an den Wurzeln klebte, ob er nun nass war oder trocken. Immerhin konnte festgelegt werden, wo bestimmte Arten ihre Wurzeln bevorzugt ausbreiten (Abb. 23). Die kleinen Buchen im Pfeifengras-Föhrenwald breiten ihre Wurzeln vor allem in der Tiefe von ca. 10 bis 25 cm aus, meiden also die zu Zeiten mangelhaft mit Sauerstoff versorgte Schicht von 0 bis 5 cm Tiefe. Die Wurzeln dieser Buchen erschliessen also diejenige Schicht, die am häufigsten den Bereich von $0,08$ bis $0,69$ atm Saugspannung aufweist.

Wasser, das mit einer Saugspannung von über 690 cm WS gebunden ist, kann nicht mehr als leichtverfügbar gelten, wenngleich es bis in den Bereich des permanenten Welkepunktes, der bei etwa 15 atm Saugspannung angenommen

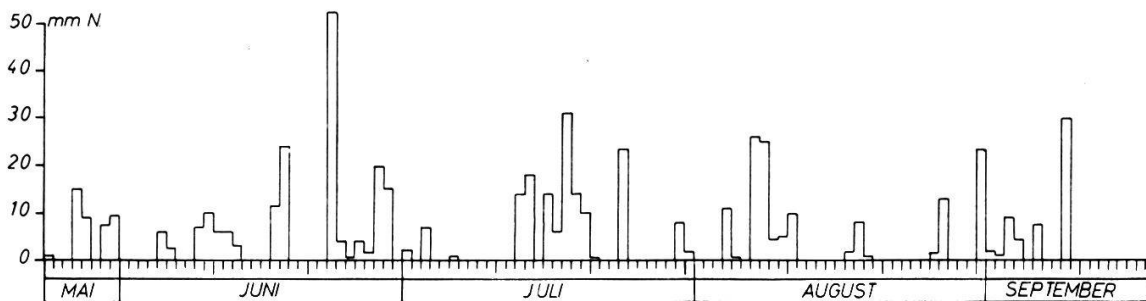
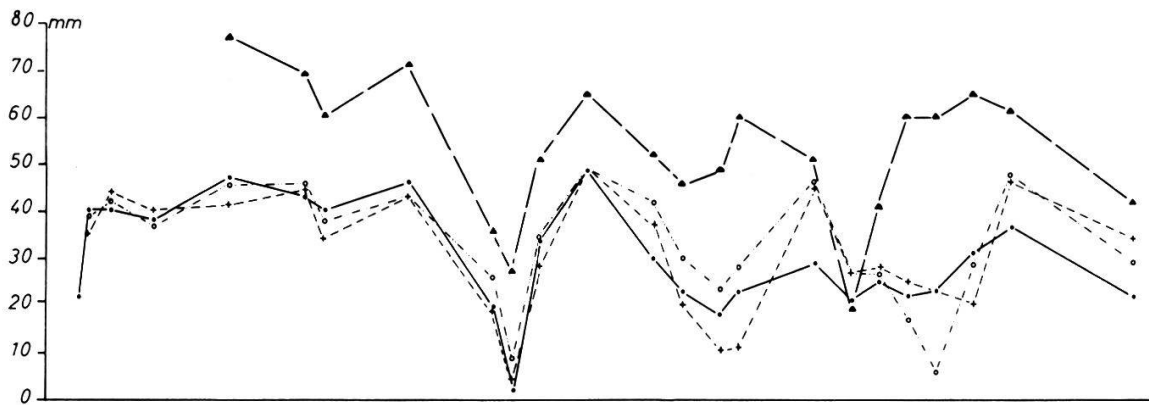


Abb. 21. Verfügbares Bodenwasser in den Profilen 211 (*Carici-Fagetum*) und 212 (*Molinio-Pinetum*) und Niederschläge der Station Winterthur, 1974.

- ▲— Profil 211, gemessen bis 30 cm, bis 80 cm extrapoliert
- Profil 212, gemessen bis 30 cm, bis 45 cm extrapoliert
- - - + - - - Profil 212, berechnet nach PRIMAULT (1972)
- - - • - - - Profil 212, berechnet nach THORNTHWAITE und MATHER (1957)

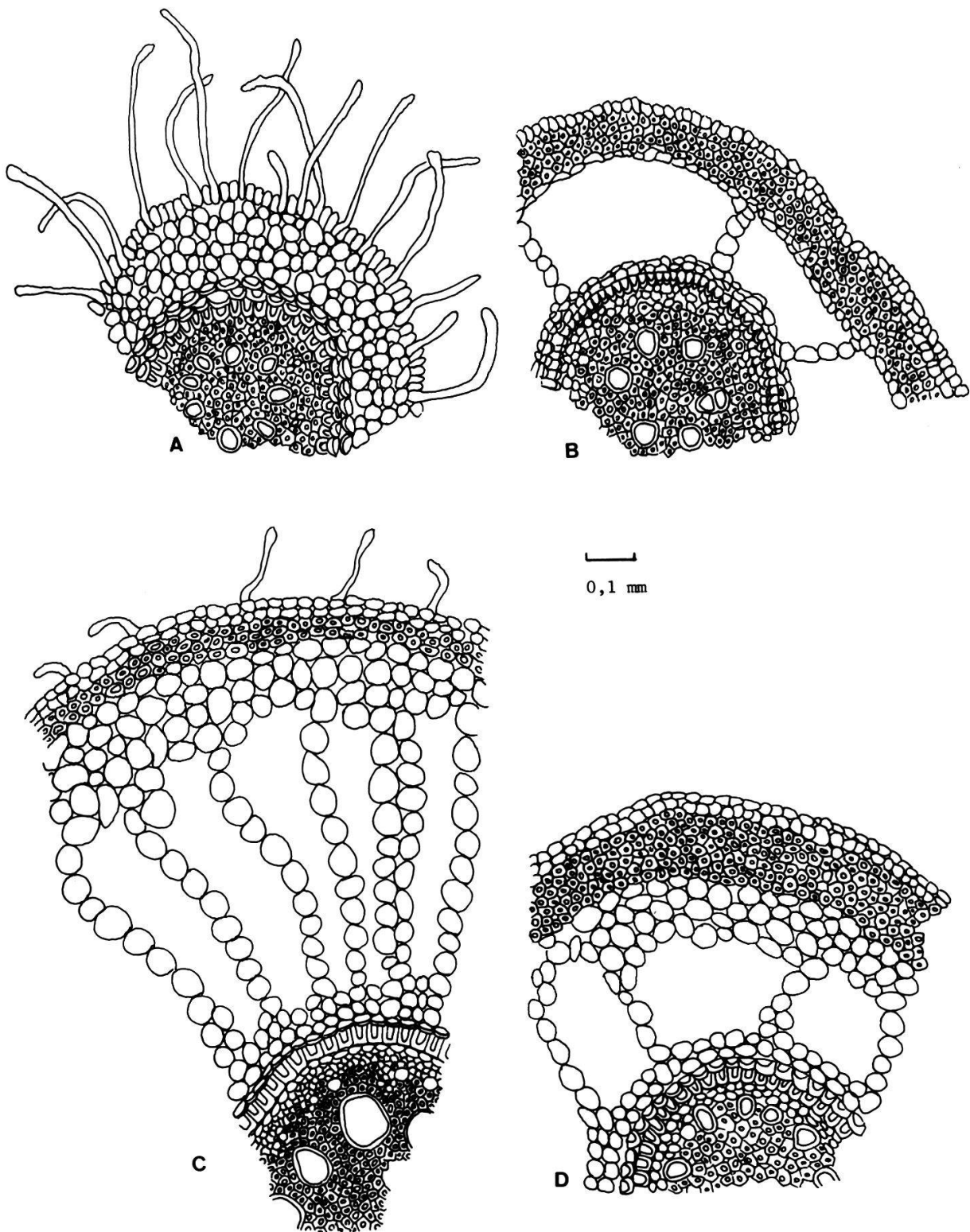


Abb. 22. Wurzelquerschnitte einiger Graminoiden aus dem Pfeifengras-Föhrenwald (beim Profil 212). A = *Brachypodium pinnatum*, B = *Carex flacca*, C = *Molinia litoralis*, D = *Calamagrostis varia*.

wird, von vielen Pflanzen noch verwertet wird. Saugspannungswerte von über 15 atm wurden in der Messperiode Juni bis September 1974 im Juli im Pfeifengras-Föhrenwald gemessen. Auch zu andern Zeiten wurde während niederschlagsarmen Perioden die Saugspannung im Profil 212 bestimmt:

Profil 212	8.8.1975	28.6.1976	7.7.1976
0- 5 cm	über 15 atm	12 atm	über 15 atm
5-10 cm	14 atm	13 atm	über 15 atm
10-15 cm	7 atm	über 15 atm	über 15 atm
15-20 cm	über 15 atm	über 15 atm	über 15 atm
20-25 cm	über 15 atm	über 15 atm	über 15 atm
25-30 cm	über 15 atm	über 15 atm	über 15 atm

Gelegentliche Trockenheit im Boden und dadurch ausgelöster Wasserstress beeinträchtigt im Pfeifengras-Föhrenwald nicht stresstolerante Pflanzen wie die Buche wohl stark, wogegen stresstolerante wie Waldföhre und Grasartige besser zu gedeihen vermögen. Die kleinen Buchen, welche mit 40 bis 50 cm Höhe oft über 20 Jahre alt sind, werden in ihrem Wachstum offenbar stark gehemmt.

Wie Abb. 20 zeigt, sind die beiden Profile im untersuchten Zeitraum in den unteren Schichten fast immer trockener als in den oberen. Sehr trockene Schichten senken die Sickergeschwindigkeit drastisch (vgl. Abb. 17). Die Verlagerung von Wasser und die Verfrachtung von mit Wasser transportierten Stoffen wie Humussäuren, Ionen oder Tonteilchen ist im Profil 212 nur in den Schichten bis etwa 20 cm Tiefe erheblich. Oberflächenabfluss konnte auch bei starken Gewittern nicht beobachtet werden, so dass bei Saugspannungen von weniger als 20 cm WS ein hangparalleler Fluss anzunehmen ist.

In der Abb. 21 ist das gesamte im Profil 212 Mülitobel (Pfeifengras-Föhrenwald) zwischen 0 und 15 atm Saugspannung verfügbare Wasser für jeden Messtag aufgezeichnet. Zum Vergleich wurden ausgehend von der ersten Messung nach den Methoden von THORNTHWAITE und MATHER (1957) und PRIMAULT (1962 bzw. 1972) die Bodenwassergehalte aus Niederschlag und berechneter Evaporation bestimmt. PRIMAULT (1972) benötigt zur Abschätzung der potentiellen Evapotranspiration neben der relativen Luftfeuchte Sonnenscheindauer und Höhe über Meer, THORNTHWAITE und MATHER (1957) geben Tabellen, die nach Tageslänge und Tagesmitteltemperaturen gegliedert sind. Der grösstmögliche Betrag von verfügbarem Wasser wurde mit 51 mm (vgl. Kap. 5.2.2.) festgelegt. Verwendet wurden Klimadaten von Winterthur bzw. von Zürich, wenn sie für Winterthur nicht verfügbar waren.

Unterschiedliches Wettergeschehen kann zu Abweichungen führen, so können z.B. lokale Gewitter im Mülitobel Winterthur nicht registriert worden sein. Trotzdem zeigen die Berechnungsarten zumindest bis Ende Juli eine weitgehende Uebereinstimmung mit den gemessenen Werten. Ob mit Hilfe einer lokalen Wetterstation solche Bodenwassergehaltsveränderungen nicht mit kleinerem Aufwand ziemlich genau berechnet werden könnten, sollte noch untersucht werden (vgl. LAATSCH 1969, WEIGER 1971).

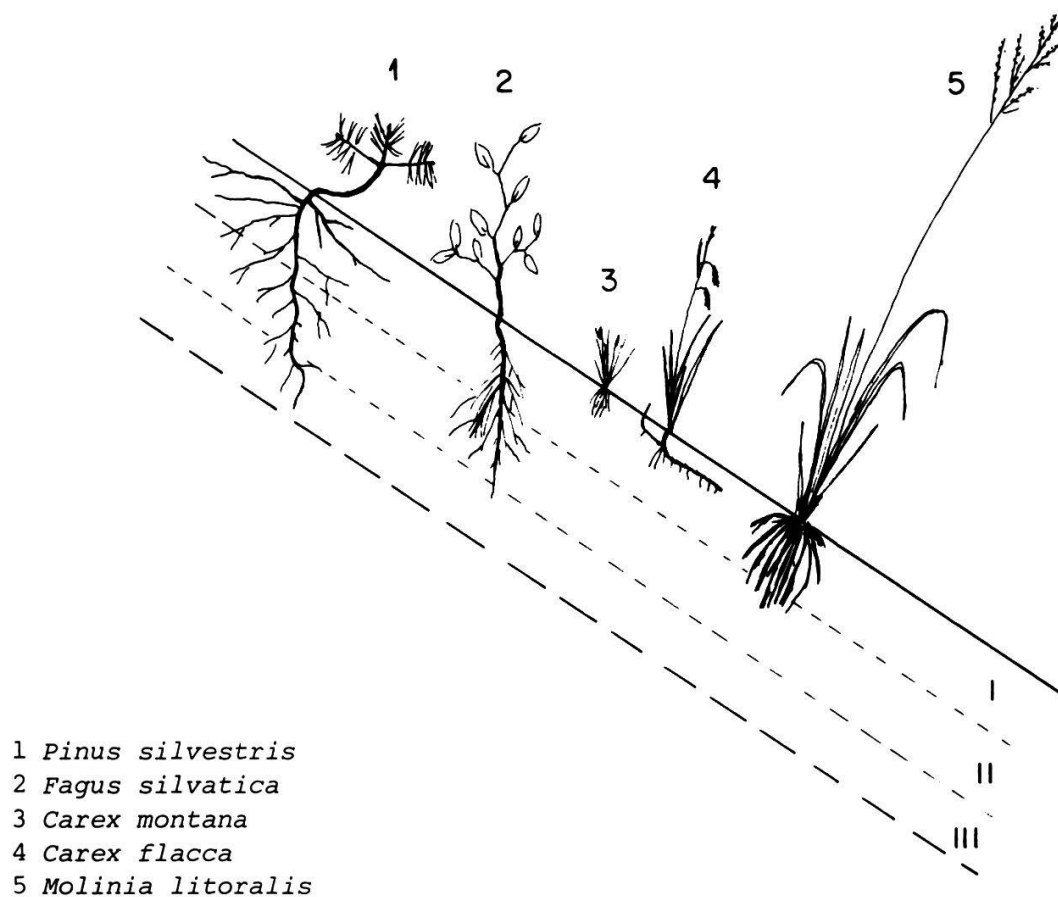


Abb. 23. Halbschematische Darstellung der Wurzeltracht einiger Pflanzen aus dem Pfeifengras-Föhrenwald. I = oft nass, gelegentlich stark austrocknend, II = mehr oder weniger feucht, III = meist trocken.

5.3. *Mikroklimatische Messungen im Mülitobel*

5.3.1. *Temperaturprofile*

Der 7. August 1975 war ein Strahlungstag. Die Sonne ging am Messort um 10 Uhr 15 auf und um 18 Uhr 30 unter. Verglichen wurde ein Pfeifengras-Föhrenwald (beim Bodenprofil 212) und der Seggen-Buchenwald beim Profil 211. Der erste Ort ist recht locker bestockt, weist aber eine dichte Bodenbedeckung auf. Der Buchenwald dagegen besitzt ein stark schattendes Laubdach, aber eine sehr dürftige Bodenbedeckung.

Aus den vierzehn verschiedenen Messhöhen sind in Abb. 24 drei dargestellt. In den Höhen 200, 20 und 0 cm über Boden zeigt sich, dass im Pfeifengras-Föhrenwald am Morgen bis ca. 11 Uhr fast dieselben Temperaturen herrschten. Für kurze Zeit waren die Temperaturen im Föhrenwald niedriger als im Buchenwald, was sich auch am Abend wieder andeutete. Dies lässt sich auf eine grössere Ausstrahlung als Folge der kleineren Pflanzenmasse bzw. der geringeren Bedeckung zurückführen. Während des Tages jedoch waren die Temperaturen im Föhrenwald deutlich höher. Dabei ist in der Regel die Differenz umso grösser, je näher sich die Messstelle dem Boden befindet. Die höchste Temperatur wurde im Pfeifengras-Föhrenwald in 0 cm Höhe um 13 Uhr 45 mit 37°C gemessen.

In Abb. 25 sind die Temperaturprofile dargestellt. An ihnen lässt sich die Temperaturschichtung zu verschiedenen Tageszeiten anschaulich darstellen. Der Seggen-Buchenwald zeigt ein recht ausgeglichenes Bild ohne starke Unterschiede in der Höhe. Im Pfeifengras-Föhrenwald dagegen fallen Schichtungen in der mittleren Tageszeit auf. Gleich über dem Boden war während längerer Zeit ein Bereich von 30°C und darüber festzustellen. Zwischen 11 Uhr 45 und 13 Uhr 45 erstreckte sich eine ähnliche Zone oberhalb 30 bis 50 cm über Boden, deren untere Begrenzung mit der mittleren Oberhöhe der Feldschicht zusammenfällt.

Ein direkter Vergleich zwischen beiden Messstationen ergibt Abb. 25, worin die Schwankungsbreiten verglichen werden. Mit Ausnahme der Tiefe bis 40 cm, wo die Differenz zwischen höchster und tiefster Messung an beiden Stellen gleich hoch ist, zeigt der Föhrenwald überall eine grössere Schwankungsbreite als der Buchenwald. Die Form der Kurve mit dem starken Ausschlag bei 0 cm Höhe gleicht der einer unbedeckten Fläche. FABIJANOWSKI (1950) führte an der Fallätsche am Uetliberg ZH ebenfalls Mikroklimamessungen durch. Er gibt Temperaturmesswerte vom 28./29.6.1946 vom Südhang an, die er unter Föhren,

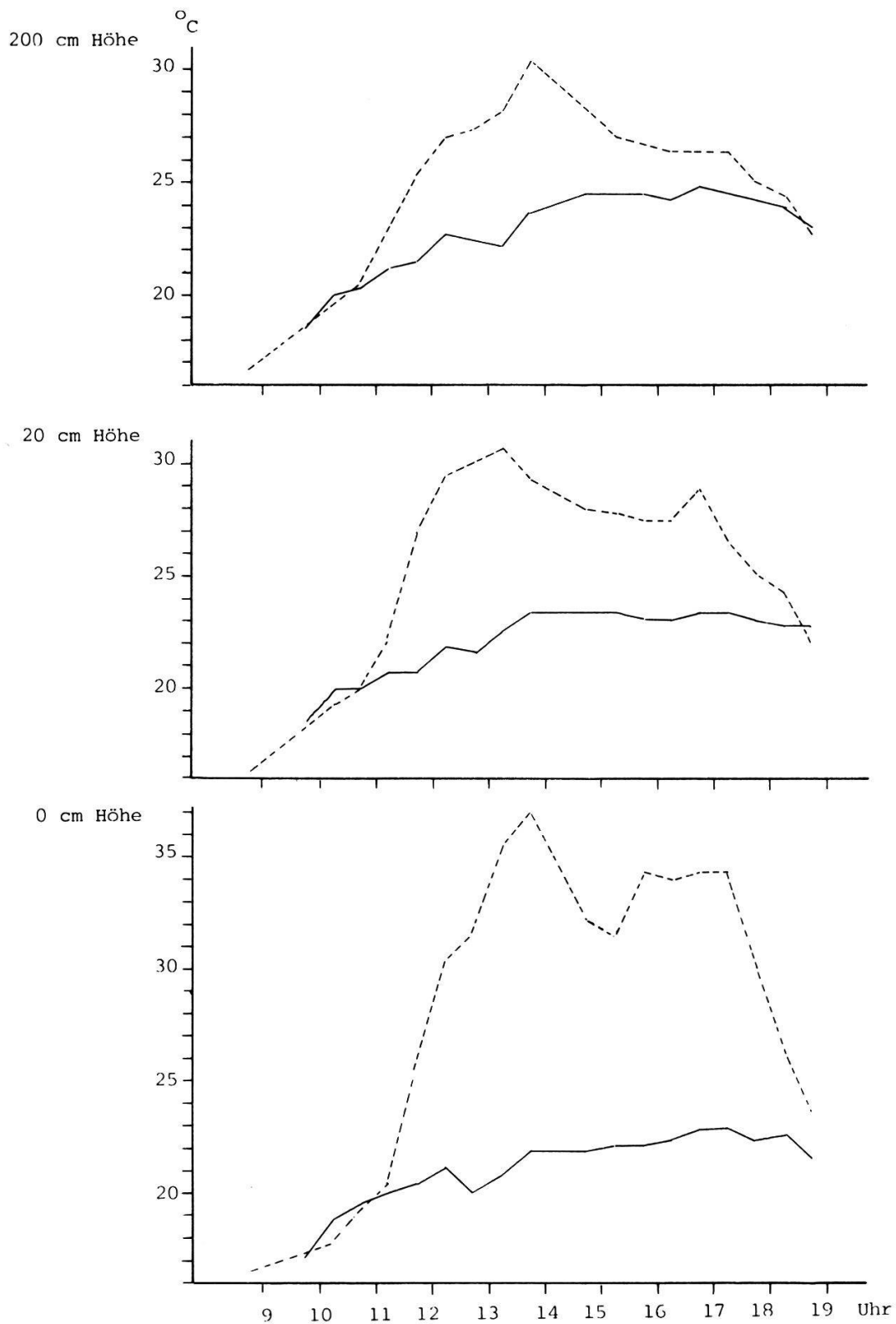


Abb. 24. Gang der Temperaturen am 7. August 1975 im Mülitobel in verschiedenen Höhen.
 Ausgezogene Linien = Seggen-Buchenwald, gestrichelte Linien = Pfeifengras-Föhrenwald.

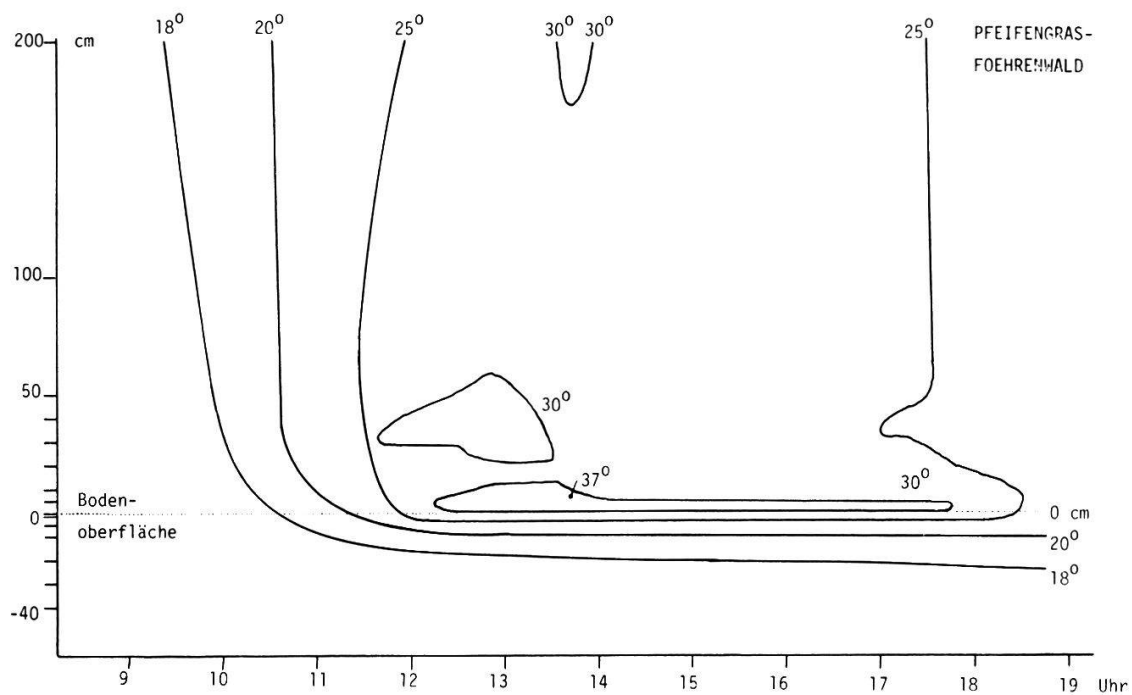
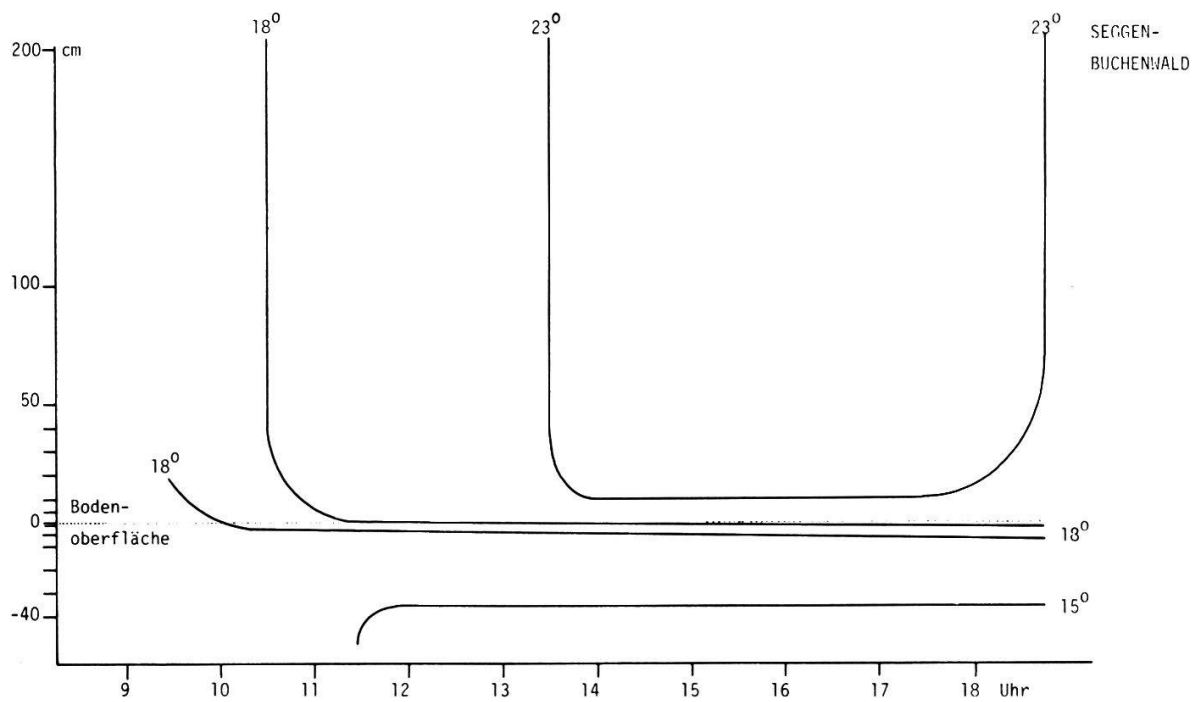


Abb. 25. Temperaturtautochoren in $^{\circ}\text{C}$ im Pfeifengras-Föhrenwald (oben) und im Seggen-Buchenwald (unten). Profile 212 bzw. 211.
7. August 1975, Strahlungstag. Y-Achse = Entfernung von der Bodenoberfläche.

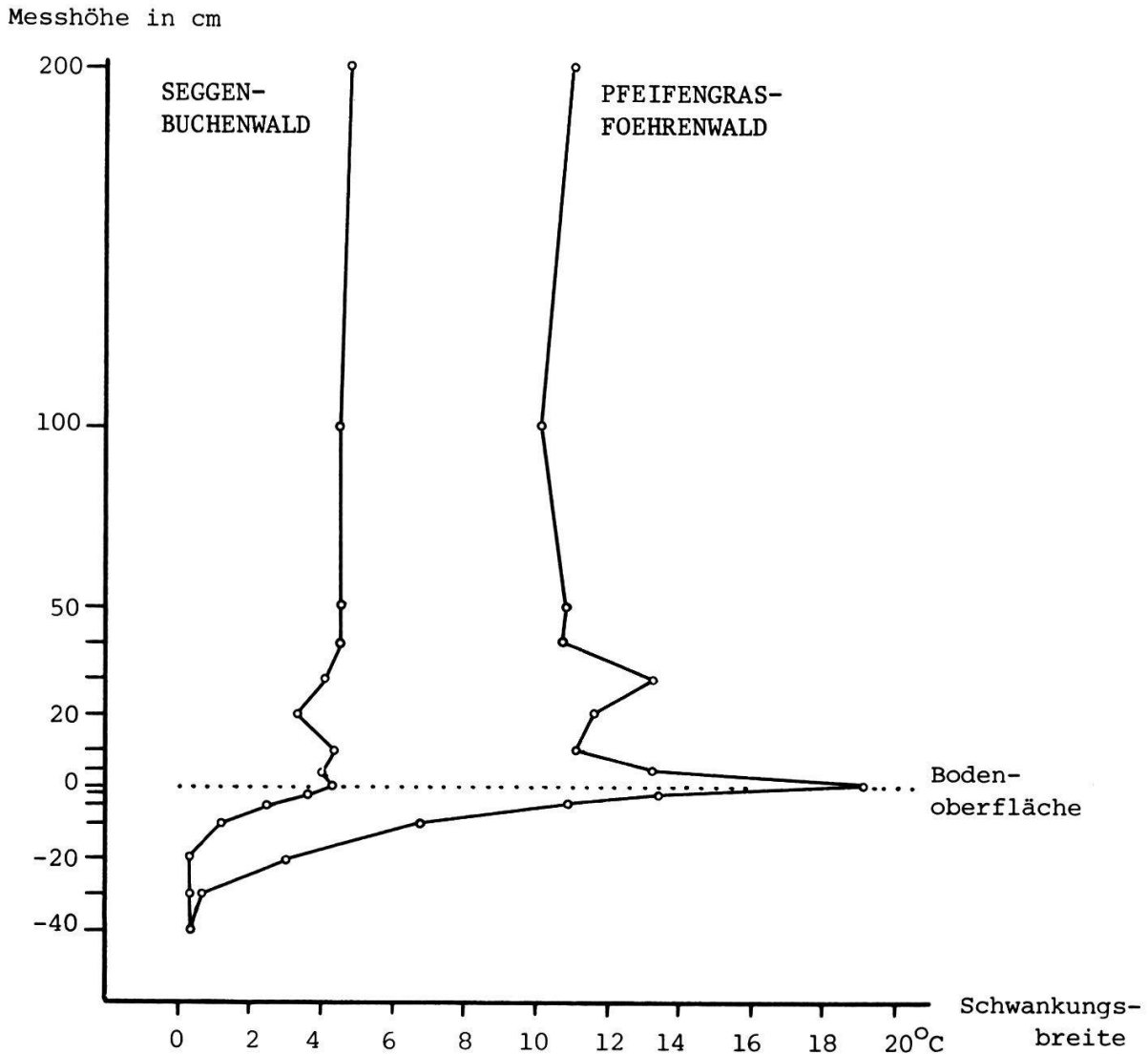


Abb. 26. Differenzen zwischen höchster und tiefster Messung der Temperatur zwischen Auf- und Untergang der Sonne (7.8.1975)

in einer baumlosen Grasfläche und auf einer kahlen Mergelfläche erhielt. Unter Föhren fand er die kleinste Schwankungsbreite in allen Höhen, die maximale Differenz zwischen höchstem und tiefstem Wert bei 10 cm über dem Boden. Auch die Grasfläche zeigte die grösste Temperaturschwankung in 10 cm Höhe, während die Kahlfläche das Maximum der Schwankung bei 0 cm aufwies. Bemerkenswerterweise schwankten die Temperaturen auf der Kahlfläche in -2 cm, 0 cm und +10 cm Höhe weniger stark als auf der grasbewachsenen Stelle.

Der Tag unserer Messung war ein Strahlungstag. Das Tagesmittel der

Temperatur betrug in Zürich MZA $18,4^{\circ}\text{C}$, was etwa dem Monatsmittel für den August 1974 entspricht. Im selben Monat traten in Zürich aber auch Tagesmittel von 24°C auf. Demnach war der Messtag kein aussergewöhnlich heisser Tag.

Die in der Stetigkeitstabelle verarbeiteten Aufnahmen der Gesellschaft *Molinio-Pinetum* liegen bevorzugt SSO- bis SW-exponiert. Es stellt sich die Frage, inwieweit die Exposition eine Bedingung für das Erhaltenbleiben eines Pfeifengras-Föhrenwaldes ist. Nun treten an der Fallätsche und am Aeugsterberg auch Pfeifengras-Föhrenwälder grösserer Ausdehnung an nördlich exponierten Steilhängen auf. FABIJANOWSKI (1950) kommt gestützt auf seine Mikroklimamessungen an der Fallätsche zu folgendem Schluss:

"Die mikroklimatischen Messungen haben die engen Wechselbeziehungen zwischen Temperatur, Luft- und Bodenfeuchtigkeit, Verdunstung, Exposition und Vegetation gezeigt. Der Einfluss von Vegetation und Nordexposition äussert sich allgemein in einer Herabsetzung der Durchschnittswerte der Klimadaten, einer Milderung der Extreme und in einer Verminderung der Schwankungen von Temperatur und Verdunstung bei zunehmender Feuchtigkeit. Die beiden Faktoren bewirken somit eine "ozeanische" Tönung des Mikroklimas. Südexposition und kahle Böden sind gekennzeichnet durch das Auftreten von extrem hohen Temperaturen und hohen Graden der Austrocknung."

Die Folgerung liegt nahe, dass nicht die Mikroklimaverhältnisse allein die kleinen Buchen, die auch FABIJANOWSKI in seiner soziologischen Tabelle erwähnt, am Vordringen in die Baumschicht hindern. Doch dürften sie zusätzlich die Assimilationsbedingungen verschlechtern. SCHULZE (1970) nennt für die Buche maximale Assimilationsraten bei 16 bis 20°C . FABIJANOWSKI (1950) mass am Südhang im Gras 38°C , unter den Föhren 28°C , beides in 10 cm Höhe.

5.3.2. *Evaporation nach Piche*

Die Evaporation wurde zwischen Sonnenaufgang und -untergang wie folgt bestimmt: verdunstete Menge zwischen Sonnenaufgang und -untergang, dividiert durch Anzahl Stunden, Mittel zwischen zwei Messungen.

Tabelle 8. Piche-Evaporation (Verdunstungsfläche $12,6 \text{ cm}^2$) am 7.8.1975 im Mülitobel.

Höhe über Boden	Pfeifengras-Föhrenwald	Seggen-Buchenwald
200 cm	0,36 ml/Std.	0,28 ml/Std.
50 cm	0,32 ml/Std.	0,23 ml/Std.
20 cm	0,30 ml/Std.	0,24 ml/Std.
5 cm	0,24 ml/Std.	0,18 ml/Std.

Die Messpunkte 5 cm und 20 cm im Pfeifengras-Föhrenwald befanden sich im Bereich der Krautschicht.

Auf allen Höhen zeigte der Pfeifengras-Föhrenwald eine grössere Evaporationsrate, im Mittel etwa um 30 % erhöht.

6. Oekologische Interpretation der Ergebnisse

6.1. Vergleich der Strategien von Buche und Föhre

GRIME (1977b) unterscheidet weltweit 3 primäre Pflanzenstrategien: Wettbewerb, Stresstoleranz und Ruderalstrategie. Strategien werden nach GRIME(1977a) definiert als "similar or analogous princips of genetic characteristics which recur widely among species or populations and cause them to exhibit similarities in ecology". Synonym wären etwa ökologisches Verhalten oder Konstitution. Für Stress gibt GRIME (1977a) folgende Definition: "Stress consists of the external constraints which limit the rate of dry matter production of all part of the vegetation." Die Buche ist demnach eine Wettbewerbspflanze, die Wald-föhre eine stresstolerante Art, wie auf Grund des folgenden Vergleichs in An-lehnung an GRIME (1977, 1977a) hervorgeht:

	BUCHE (Wettbewerbsstrategie)	FOEHRE (stresstolerant)
Blattart	robust, mesomorph	nadelförmig
Streu	viel, ± persistent	wenig, persistent
Lebensdauer der Blätter	kurz	lang
Phänologie der Blattproduktion	gut definierte Spitzen der Blattproduktion, gleichzeitig mit der Periode der maximalen potentiellen Produktion	immergrün
Verhalten gegenüber Stress	rasche morphologische Reaktion, um das vegetative Wachstum zu maximieren	langsame und wenig ausgeprägte morphologische Reaktion
Photosynthese und Nährstoffaufnahme	saisonal, gleichzeitig mit langen zusammenhängenden Perioden des vegetativen Wachstums	opportunistisch, ungekoppelt mit vegetativem Wachstum