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

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: 04.12.2025

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

Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel, Zürich, 66. Heft

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

von Christian Roth

1979

für Regula

Inhalt

1. Einleitung und Problemstellung 4

2. Verbreitung und ökologisches Verhalten von *Fagus silvatica* L. und *Pinus silvestris* L. 6

3. Das Untersuchungsgebiet 8
   3.1. Geologie 8
   3.2. Klima 9
   3.3. Einfluss des Menschen 9

4. Methoden 10
   4.1. Vegetationskundliche Methoden 10
      4.1.1. Aufnahmen 10
      4.1.2. Auswertung der Vegetationstabelle 12
   4.2. Bodenkundliche Methoden 13
      4.2.1. Physikalische Methoden 13
      4.2.2. Chemische Methoden 17
   4.3. Mikroklimatische Methoden 18
      4.3.1. Temperaturprofile 18
      4.3.2. Evaporation der Piche-Evaporimeter 18

5. Ergebnisse 19
   5.1. Vegetation: Auswertung der pflanzensoziologischen Daten 19
      5.1.1. Korrespondenzanalyse 19
      5.1.2. Minimum-spanning-tree 23
      5.1.3. Aehnlichkeit der Einheiten nach KULCZINSKI 23
      5.1.4. Diskussion der Stetigkeitstabelle 32
   5.2. Böden 38
      5.2.1. Bodenprofile 38
      5.2.2. Desorptionskurven 44
      5.2.3. Transsekten Föhrenwald - Buchenwald 49
      5.2.4. Wasserleitfähigkeit nach DARCY in den Profilen Mülitobel 50
      5.2.5. Verlauf der Saugspannung der Profile Mülitobel (1974) 52
   5.3. Mikroklimatische Messungen im Mülitobel 60
      5.3.1. Temperaturprofile 60
      5.3.2. Evaporation nach Piche 64

6. Oekologische Interpretation der Ergebnisse 65
   6.1. Vergleich der Strategien von Buche und Föhre 65
   6.2. Zur Entstehung von Pfeifengras-Föhrenwäldern 66
   6.3. Pfeifengras-Föhrenwald als Dauergesellschaft 67
   6.4. Die buchenhemmenden Faktoren im Pfeifengras-Föhrenwald 69

Zusammenfassung 73

Summary 74

Literatur 75

1. Einleitung und Problemstellung

Am Geobotanischen Institut ETH, Stiftung Rübel, wurden in der Schweiz auf Anregung von Prof. Dr. F. Klötzli schon verschiedentlich ökologische Grenzen von Waldbaumarten untersucht: KLöTZLI 1968a (*Fagus silvatica*), PFADENHAUER 1971 (*Fagus silvatica/Abies Alba*), DöSSEGGER 1974 (Höhenabfolge *Fagus silvatica/Abies alba*), GADEKAR 1975 (Horizontalfolge *Fagus silvatica/ Abies alba*), BURNAND 1976 (*Quercus pubescens/Pinus silvestris*), LEUTHOLD 1979 (*Fagus silvatica/Taxus baccata*).

In der vorliegenden Arbeit wird die Ablösung der Buche (*Fagus silvatica*) durch die Waldföhre (*Pinus silvestris*) bei bestimmtem Standortwechsel im schweizerischen Mittelland untersucht. Als Messorte wurden Kontaktstellen zwischen Buchen- und Föhrenwäldern bestimmt. KLöTZLI (1975) führt aus der ganzen Schweiz 16 Gesellschaften auf, die häufig von *Pinus silvestris* dominiert werden. Der grösste Teil dieser Gesellschaften findet sich in Alpennähe (13 Gesellschaften), 4 gedeihen auch oder nur im Jura (*Molinio-Pinetum silvestris, Coronillo-Pinetum silvestris, Bellidiastro-Pinetum silvestris, Cirsio tuberosi-Pinetum montanae*). Weitere 4 Gesellschaften sind auch oder ausschliesslich im Mittelland oder der Nordschweiz beheimatet: *Molinio-Pinetum silvestris, Cephalanthero-Pinetum silvestris, Cytiso-Pinetum silvestris, Pyrolo-Pinetum silvestris*. Für unsere Untersuchung wurde die Gesellschaft *Molinio-Pinetum silvestris* (bzw. ihre Berührungszone mit Buchenwäldern) gewählt, weil sie recht oft, wenn auch selten in grösserer Ausdehnung, in die naturnahen Laubmischwälder des schweizerischen Mittellandes eingesprengt ist.

Das lichte *Molinio-Pinetum silvestris* besiedelt meist, aber nicht immer Steilhänge; der geologische Untergrund besteht aus Mergeln (Abb. 30). Waldföhrenwälder auf Mergeln (Pfeifengras-Föhrenwälder) wurden schon öfters beschrieben und von einigen Autoren näher untersucht: SCHERRER (1925), SCHMID (1933 und 1936), BäSCHLIN (1945), ETTER (1947), FABIJANOWSKI (1950), ZOLLER (1951), FRITSCHI (1956), RICHARD (1962), REHDER (1962), DAFIS (1962), ETTER und MORIER-GENOUD (1963), KUHN (1967), NUSSBAUMER (1971 und 1973), SCHMID-HOLLIGER (1972), KEEL (1971), MONOD (1975), zusammenfassend von ELLENBERG und KLöTZLI (1972).

In dieser Arbeit wird einerseits durch den Vergleich pflanzensoziolo-

gischer Aufnahmen das *Molinio-Pinetum silvestris* feiner gegliedert und eine Uebersicht der unter diesem Namen oder einem Synonym veröffentlichten Daten gegeben. Im zweiten Teil wird der ökologischen Frage nachgegangen, welche Standortsfaktoren es der Buche verunmöglichen, sich im *Molionio-Pinetum* an der Baumschicht zu beteiligen oder gar zu dominieren, obwohl sie oft hart daneben die Baumschicht bildet.

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 1973 - 1978 am Geobotanischen Institut, Stiftung Rübel, der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. Ihre Durchführung wurde durch die liebenswürdige Mithilfe zahlreicher Personen erleichtert.

Herr Prof. Dr. E. Landolt leitete die Arbeit. Er gewährte mir weitgehende Selbständigkeit, war aber jederzeit bereit, bei Problemen mit Anregungen und Kritik geduldig weiterzuhelfen. Ihm sowie allen übrigen Damen und Herren, die mich unterstützten, möchte ich herzlich danken. Mit tatkräftiger Hilfe griff mir Herr Prof. Dr. F. Richard von der Professur für Bodenphysik (ETH Zürich) unter die Arme. Er und seine Mitarbeiter F. Borer, Dr. H. Flüeler, Dr. P. Germann und H.P. Läser standen mir bei jeder Anfrage mit ihrer Erfahrung in bodenkundlichen Belangen bei. Herr Prof. Dr. F. Klötzli schlug das Thema vor. Er gab mit wertvolle Hinweise im pflanzensoziologischen Bereich wie auch bei der Niederschrift.Frau Dr. K. Urbanska-Worytkiewicz beriet mich fachkundig bei den mikroskopischen Untersuchungen. Herr Prof. Dr. R. Bach vom Institut für Lebensmittelwissenschaften (ETH Zürich) sowie sein Mitarbeiter Dr. G. Wirz begleiteten mich im Feld und lösten manches Problem bei der Beurteilung der Bodenprofile. Herr Dr. A. Gigon stand mir immer wieder bei, besonders mit seiner Kritik des Manuskriptes.

Allen Mitarbeitern am Institut, namentlich Frau D. Weber, Frau M. Siegl, Frau E. Wohlmann, Frau A. Hegi, Frau E. Signer, Frau A. Honegger sowie den Herren H. Sigg und E. Schäfer bin ich für Ihre Mithilfe dankbar. Meinen Kollegen, die mich zum Teil seit Beginn der Arbeit in Diskussionen wie im Feld unterstützten, sei für die Freundschaft und Mithilfe herzlich gedankt: P. Bolliger, Dr. J. Burnand, Ch. Leuthold, Dr. M. Meier, Dr. O. Wildi und Dr. S. Züst. Bei den Arbeiten am Computer berieten mich die Herren A. Keel, Dr. N. Kuhn von der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, J.-F. Matter vom Institut für Waldbau, Dr. P.-L. Neuroni, Dr. H.-R. Roth vom Institut für Tierproduktion sowie Dr. O Wildi.

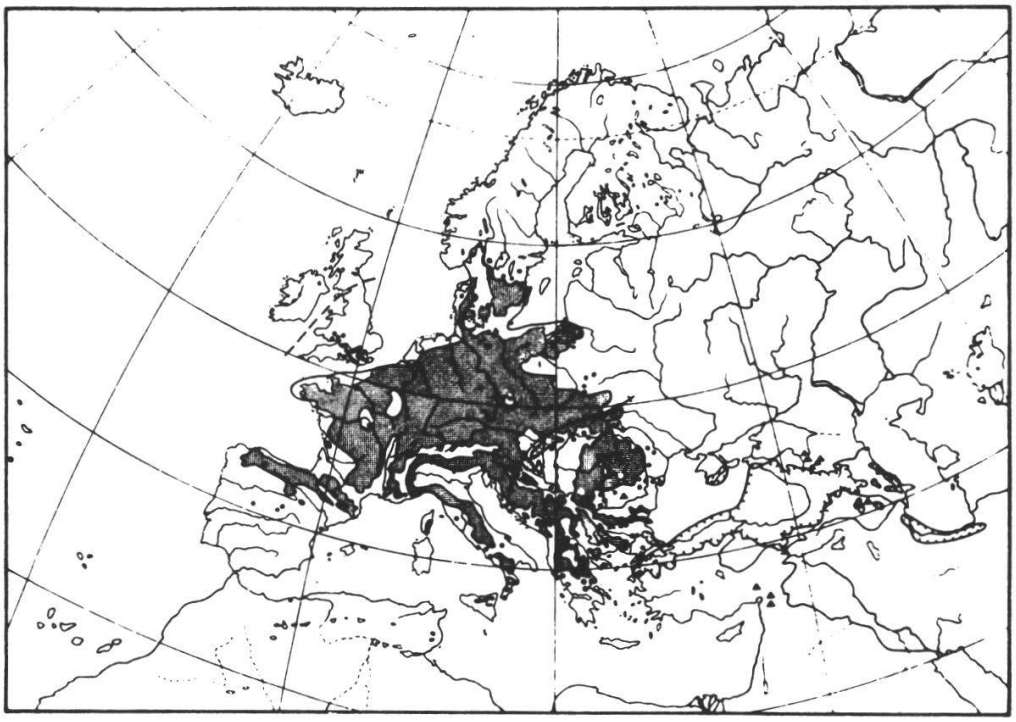
Meiner Frau danke ich vor allem für ihre Langmut, aber auch für den Beistand bei der Bestimmung der Orchideen. Stets munterte sie mich auf und unterstützte mich, wofür ich ihr auch hier herzlich danken möchte.

2. Verbreitung und ökologisches Verhalten von *Fagus silvatica* L. und *Pinus silvestris* L.

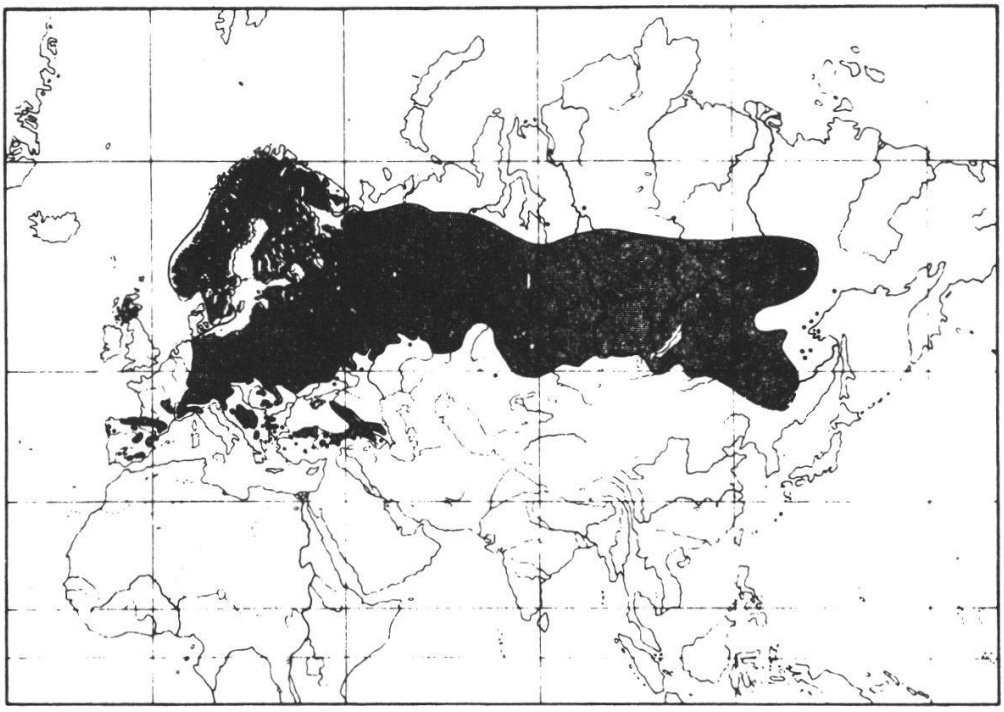
Die Buche (*Fagus silvatica*) besiedelt nur Europa, im Gegensatz zur Waldföhre (*Pinus silvestris*), welche in ganz Eurasien verbreitet ist (vgl. Abb. 1). Sie besitzt ihr Hauptverbreitungsgebiet in ozeanischen Gebieten, die Föhre dagegen im kontinentalen Klimabereich (s. dazu MEUSEL et al. 1965, KLöTZLI 1975).

Im Gegensatz zur Bergföhre (*Pinus montana* Miller) konnte nach KRAL (1974) die Waldföhre nördlich der Alpen die letzte Eiszeit ziemlich sicher nicht überdauern. Während des Alleröd (10000 bis 8800 v.Chr., Zeitangaben nach ZOLLER und KLEIBER 1971) dehnte sie sich in Mitteleuropa stark aus. Noch im Praeboreal (8200 bis 6800 v.Chr.) bedeckten Föhrenwälder das Mittelland. Sie wurden aber im späteren Boreal (bis 5500 v.Chr.) durch Eichenmischwälder verdrängt. Bereits im ältern Atlantikum (5500 bis 4400 v.Chr.) wanderte die Buche mit der Tanne ein, doch erst im Subboreal (2500 bis 800 v.Chr.) vermochte sich die Buche in ihrem heutigen Klimaxgebiet eigentlich durchzusetzen und die Eichenmischwälder ausser in tiefsten Lagen zu verdrängen (ZOLLER und KLEIBER 1971, LüDI 1955).

Nur an wenigen Standorten innerhalb ihres Klimaxgebiets kam die Buche nie zur Herrschaft: in warmen spätfrostgefährdeten Lagen (LANDOLT mdl.), unter zu nassen Bedingungen an Seeufern, im Ueberschwemmungsbereich von Flüssen oder in undurchlässigen Mulden, an gelegentlich austrocknenden Orten (auf durchlässigen Schotterböden oder auf Graten) sowie an instabilen Steilhängen der Molassetäler mit stark wechselnder Wasserführung. Unter Konkurrenzbedingungen wird die Buche auf diesen Standorten durch Arten abgelöst, denen sie sonst durch ihr Vermögen, in der Jugend Schatten zu ertragen und im Baumalter zu beschatten, überlegen ist.



Fagus silvatica L.s.l.
F. orientalis LIPSKY
NW Grenze des Areals von Übergangsformen zu F. orientalis
NW Grenze der subspontanen Verbreitung von F. silvatica in England



Pinus silvestris L.s.l.

Abb. 1. Arealkarte von *Fagus silvatica* und *Pinus silvestris* (aus MEUSEL et. al. 1965).

3. Das Untersuchungsgebiet

Die ökologischen Messungen erfolgten an sechs Stellen in der submontanen Stufe (480 - 750 m) des schweizerischen Mittellandes und des Juras. Ihre Lage ist aus Abb. 2 ersichtlich.

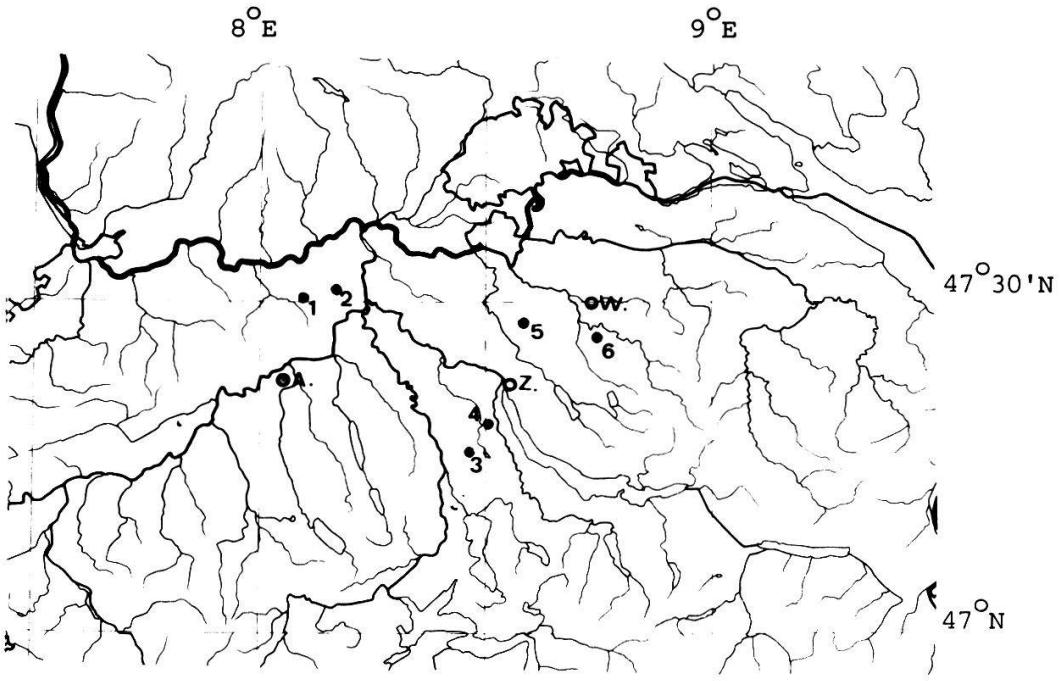


Abb. 2. Lage der Untersuchungsflächen (Nummern)
1 = Effingen AG, 2 = Bürersteig AG, 3 = Aeugsterberg ZH, 4 = Girstel ZH, 5 = Uewachs bei Kloten ZH, 6 = Mülitobel bei Kyburg ZH;
A. = Aarau, Z. = Zürich, W. = Winterthur.

3.1. *Geologie*

Die Flächen Effingen und Bürersteig liegen als einzige im Tafeljura. Ihr Untergrund wird aus Mergeln der Effingerschichten (Argovien, Malm) gebildet (BUXTORF und CHRIST 1951). Die übrigen Untersuchungsflächen befinden sich in der mittelländischen Molasse (Obere Süsswassermolasse), die aus Nagelfluh, Sandstein, Mergel und Süsswasserkalken aufgebaut ist (HANTKE 1967).

Alle Probeflächen liegen auf Mergel, welcher verglichen mit den übrigen Molassegesteinen ein wenig verwitterungsresistentes Gestein und wegen des hohen Tonanteils bodenmechanisch ein unstabiler Grund ist. Bei Wasseraufnahme können Gleithorizonte entstehen, die zu Rutschungen führen.

Während der letzten, würmeiszeitlichen Vergletscherung lagen die Flächen Effingen und Bürgersteig nördlich des Reussgletschers, Aeugsterberg und Uewachs unter dem Reussgletscher, während Girstel und Mülitobel oberhalb des Eises lagen (JäCKLI 1970).

3.2. *Klima*

In Abb. 3 sind 3 Klimadiagramme zusammengestellt: von den Stationen Aarau, Zürich und Winterthur (WALTER und LIETH 1960-1967). Sie zeigen, dass die Niederschläge etwa 1000 bis 1200 mm pro Jahr betragen und dass die Temperatur im Jahresmittel ungefähr bei 8°C liegt. Für Schweizer Verhältnisse sind dies keine Extrembedingungen, sondern dürfen als typisch für das Mittelland mit seinem relativ ozeanischen Klima gelten.

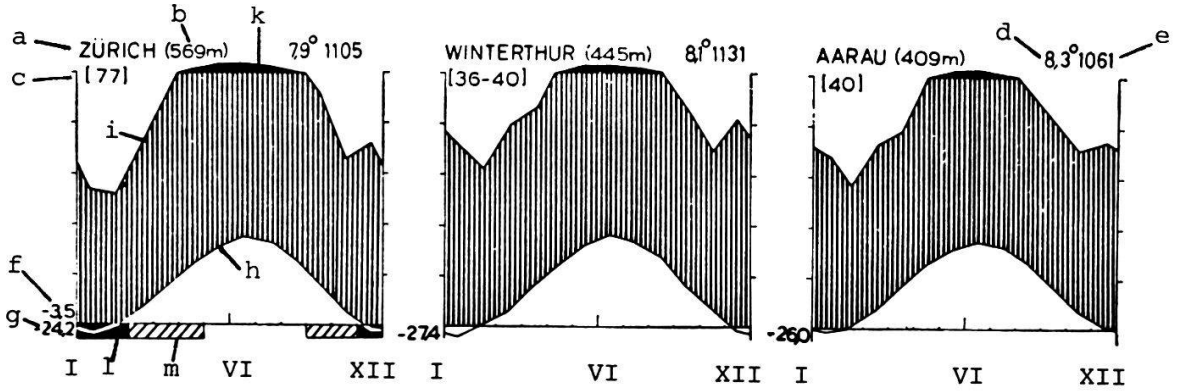


Abb. 3. Drei Diagramme aus dem schweizerischen Mittelland.

Erläuterungen: a = Station, b = Höhe über Meer, c = Zahl der Beobachtungsjahre, d = mittlere Jahrestemperatur in °C, e = mittlerer Jahresniederschlag in mm, f = mittleres tägliches Minimum des kältesten Monats, g = tiefste gemessene Temperatur, h = Kurve der mittleren Monatstemperatur, i = Kurve der mittleren monatlichen Niederschläge, k = mittlerer monatlicher Regen über 100 mm(Massstab auf 1/10 reduziert), l = Monate mit mittlerem Tagesminimum unter 0°C, m = Monate mit absolutem Minimum unter 0°C. Ordinate: 1 Teilstrich = 10°C oder 20 mm Niederschlag; Abszisse = Monate.

3.3. *Einfluss des Menschen*

Gewisse von den Pfeifengras-Föhrenwäldern bestockte Flächen sind in der Baumschicht von Natur aus buchenfrei. Der Mensch hat solche Flächen kaum genutzt, mit Ausnahme von gelegentlichen Holznutzungen und wohl auch durch Beweidung mit Ziegen (LANDOLT mdl.).

Andere Pfeifengras-Föhrenwälder sind menschlich bedingt. Durch Anschnitte beim Strassenbau, durch Abbau von Humus und Mergel zu Düngezwecken (ZOLLER 1954, SCHMID-HOLLIGER 1972) und auf ehemaligen Rebgeländen (BäSCHLIN 1945) wurden die Bedingungen geschaffen, die die Sukzession nicht weiter als bis zu einem Pfeifengras-Föhrenwald zuliessen.

Die natürlichen Pfeifengras-Föhrenwälder an Steilhängen jedoch sind so unzugänglich und kleinflächig ausgebildet, dass sie für regelmässige Nutzung kaum je in Frage kamen. Obwohl an einer Stelle am Girstel feuergeschwärzte Föhren zu finden sind, kann auch Brand kein bestimmender Faktor im Pfeifengras-Föhrenwald sein.

4. Methoden

4.1. *Vegetationskundliche Methoden*

4.1.1. *Aufnahmen*

Ein Ziel dieser Arbeit war es, möglichst viele der unter dem Namen "*Molinio-Pinetum*" oder unter Synonymen veröffentlichten Aufnahmen in eine Tabelle zusammenzufassen und miteinander zu vergleichen. Um den Anschluss an buchenreichere Gesellschaften zu gewährleisten, wurde auch der Buchen-Hangföhrenwald aus KUHN (1967) und das *Carici-Fagetum* mit *Molinia* von NUSSBAUMER (1971) mitberücksichtigt. In Tab. 1 sind die Autoren und ursprünglichen Namen der Aufnahmen zusammengestellt.

Die eigenen 23 pflanzensoziologischen Aufnahmen wurden nach der von BRAUN-BLANQUET (1964) beschriebenen Methode aufgenommen. Der r-Wert wurde nicht verwendet. Dieselbe Fläche wurde in verschiedenen Jahreszeiten mindestens zweimal begangen.

In der pflanzensoziologischen Tabelle wurden auch bereits publizierte Aufnahmen anderer Autoren verarbeitet. Dabei mussten einige Anpassungen vorgenommen werden. So wurden die Artnamen nach HESS, LANDOLT und HIRZEL (1967, 1970, 1972) angegeben.

Auf die Angabe der Moose musste verzichtet werden, weil sie nicht von allen Autoren, deren Aufnahmen in der pflanzensoziologischen Tabelle erscheinen, bestimmt wurden.

Die Dominanz/Abundanz-Schätzungen nach BRAUN-BLANQUET wurden zur rechnerischen Verarbeitung in numerische Werte transformiert. Dasselbe gilt für die von ZOLLER (1951) verwendete LüDI-Skala. Tabelle 2 gibt Aufschluss über die verwendeten Werte. Es wurde die Transformation von WILDI (1977), ergänzt um r = 3, gewählt, gemäss dessen Argumentation: "Massgebend ist die Ueberlegung, dass der Zusammenhang zwischen der Häufigkeit einer Art innerhalb einer Probefläche und den Standortsfaktoren vermutlich nicht linear ist. Niedrige Mächtigkeiten erhalten daher relativ hohes Gewicht, während angenommen wird, dass die Skala von BRAUN-BLANQUET bei den hohen Werten zu stark differenziert." Aehnliche Werte verwendet auch KUHN in seinem Programm VEGLIB (vgl. Kap. 5.1.2 sowie SCHMID und KUHN 1970).

Tabelle 1. Gliederung der Aufnahmen nach Autoren

Lauf-Nr.	A u t o r	Bezeichnung	Name	Region
1- 9	ETTER(1947)	Tabelle 2	*Molinio litoralis-Pinetum*	Albis*
10- 21	FABIJANOWSKI (1950)	Tab. 2AIII, 2B(XL-142), 2BIII	*Molinio litoralis-Pinetum* 2 Ausbildungen	Albis
22- 30	DAFIS(1962)	Tab.p.10	*Molinio litoralis-Pinetum*	Albis
31- 55	REHDER(1962)	(14)-(38)	*Molinio-Pinetum* 5 Ausbildungen	Albis
56- 61	KUHN(1967)	Tab. 2a	Pfeifengras-Hangföhrenwald	Albis
62- 67		Tab. 2b	Buchen-Hangföhrenwald	
68- 83	RICHARD(1962)	unveröff.	*Molinio-Pinetum* 3 Ausbildungen	Albis
84- 91	ZOLLER(1951)	Tab. 3	*Pineto-Molinietum litoralis*	Jura
92- 94	SCHERRER(1925)	Tab. p. 66	*Molinia litoralis*-Subass. des *Brometum bromosum*	Albis+ Altberg
95-117	ROTH	unveröff.	*Molinio-Pinetum silvestris*	Jura*
118-144	NUSSBAUMER (1971)	(47)-(18)	*Molinio-Pinetum*, 4 Ausb.	Kloten
145-150		(34)-(51)	*Carici-Fagetum*, *Molinia*-Ausb.	Kloten

( ) Aufnahme-Nummer des Autors
* und O-Schweiz

Tabelle 2. Transformation der Schätzskalen

Schätzskalen		Numerische Werte	
LüDI	BRAUN-BLANQUET (1964)	WILDI (1977)	KUHN (unpubl.)
leer	leer	0	0
	r	3	30
+,1	+	3	46
2	1	5	47
3	2	6	49
4	3	7	60
5	4	8	62
	5	8	63

4.1.2. *Auswertung der Vegetationstabelle*

Das Ziel, floristische bzw. ökologische Gradienten in einer sinnvollen Anordnung der Aufnahmen und der Arten sichtbar zu machen, kann auf verschiedenen Wegen erreicht werden. Für grössere Datenmengen empfiehlt es sich, den Computer einzusetzen, um Zeit zu sparen und Umschreibfehler zu vermeiden.

Die in der Pflanzenökologie hauptsächlich verwendeten rechnerischen Methoden sind die Polarordination nach BRAY und CURTIS (1957), die Hauptkomponentenanalyse (z.B. GROENEWOUD 1965, WILDI 1977) und die Korrespondenzanalyse (BENZECRI 1969, LEBART und FENELON 1971, BENZECRI et al. 1973, GUINOCHET 1973). Letztere heisst im französischen Sprachgebrauch "analyse factorielle des correspondances", HILL (1973) schlägt den englischen Namen "reciprocal averaging" vor, der in der Folge akzeptiert wurde (GAUCH et al. 1977, AUSTIN 1976). Ein eigener Name für den deutschen Sprachgebrauch existiert meines Wissens nicht, weshalb ich den Ausdruck Korrespondenzanalyse verwenden werde. Der Hauptvorteil der Korrespondenzanalyse liegt darin, dass nicht nur Arten oder Aufnahmen ordiniert werden, sondern beide gemeinsam. So ergibt sie eine Ordination der Aufnahmen, die der einer Hauptkomponentenanalyse mit standardisierten Daten ähnlich ist, gleichzeitig aber liefert sie eine Ordination der Arten, welche sinnvoller ist als die mit einer Hauptkomponentenanalyse erreichte (HILL 1973).

Vergleiche zwischen verschiedenen Ordinationsmethoden mit künstlich erzeugten Daten, von welchen die "richtige" Anordnung bekannt ist, wurden

von AUSTIN (1976) und GAUCH et al. (1977) veröffentlicht (s. dort weiterführende Literatur).

GAUCH et al. (1977) kommen zum Schluss, dass die Korrespondenzanalyse einfache Gradienten auf der ersten Achse sichtbar macht, dass Ausreisser die Ordination jedoch beeinträchtigen. Dies muss aber kein Nachteil sein. Wird nämlich neben der Ordination auch eine Klassifikation angestrebt, so liefern solche Ausreisser bereits einen Hinweis. In einem zweiten Durchlauf ohne Ausreisser kann der Gradient sichtbar gemacht werden.

Für Daten mit mehreren ökologischen Gradienten (z.B. nass-trocken, hell-dunkel, nährstoffreich-nährstoffarm etc.) ergibt jedoch auch die Korrespondenzanalyse keine direkte Lösung. Durch Elimination von abtrennbaren Gruppen und weitern Durchläufen mit dem reduzierten Material kann jedoch der einzelne Gradient erkannt und eine Lösung gefunden werden. Bei komplexer Datenstruktur ist es auch möglich, erst eine Klassifikation und nachher eine Ordination zu erreichen, indem die aus der Korrespondenzanalyse herausgezogenen Faktorenladungen einer Gruppierungsanalyse (Clusteranalyse) unterworfen werden. Die resultierenden Aufnahme- bzw. Artengruppen lassen sich von Hand in die gewünschte Reihenfolge bringen (unveröffentlichte eigene Untersuchungen mit Daten aus Afrika).

4.2. *Bodenkundliche Methoden*

In Pfeifengras-Föhrenwäldern und möglichst nahe in Buchenwäldern, in denen auch Föhren stocken, wurden Profile geöffnet und morphologisch beschrieben. Im weitern wurde der Boden beidseitig der oft scharfen Grenze zwischen Buchen- und Föhrenwald hinsichtlich des Muttergesteins verglichen (Stationen in Abb. 2). Es wurden weitere Oertlichkeiten geprüft, an denen sonst keine neuen Vegetationsaufnahmen gemacht wurden (Diebis am Uetliberg ZH; Bürglenstutz am Albis ZH; Kemptnertobel bei Wetzikon ZH; Rütiwald bei Gossau SG; Imenberg, Kalthäusern TG und Weingarten TG).

4.2.1. *Physikalische Methoden*

4.2.1.1. *Korngrössenverteilung*

Die Körnung der Feinerde (in der Regel bestand das Bodenmaterial in den oberen Horizonten nur aus Feinerde) wurde folgenderweise bestimmt:

Zuerst wurde die Probe in Wasserstoffperoxid erhitzt, um die organischen Bestandteile zu zerstören (STICHER et al. 1971). Die Suspension wurde mit Calgon dispergiert und die Verteilung der Korngrössen mit dem Aräometer gemessen (STEUBING 1965). Die Auswertung erfolgte nach der Methode von BURNAND (1976). Diese beruht ebenfalls auf der Formel von STOKES, erlaubt aber mit Hilfe einer Tabelle eine raschere Umrechnung der Ablesung auf den Korndurchmesser.

4.2.1.2. *Dichte*

Die reelle Dichte (ϱ_r, in g/cm^3) wurde mit dem Pyknometer bestimmt (STEUBING 1965). Angegeben wurden die Mittelwerte aus zwei Messungen.

Zur Bestimmung der scheinbaren Dichte (ϱ_a, in g/cm^3) wurden mit Stechzylindern von 1000 cm^3 Inhalt natürlich gelagerte Bodenproben entnommen. Nach dem Trocknen bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz wurden die Proben gewogen. Dies ergab die Bodenmasse, welche in natürlicher Lagerung pro Volumeneinheit Boden vorhanden ist. Die angegebenen Werte sind das Mittel aus drei Messwerten.

Weiter lässt sich die Porosität berechnen: $E = 1 - \frac{\varrho_a}{\varrho_r}$.

4.2.1.3. *Desorptionskurven*

Es wurden pro Profil in ein bis zwei Horizonten ungestörte Bodenproben entnommen und daraus im Labor die Desorptionskurve bestimmt. Das Vorgehen wurde von RICHARDS (1949) und RICHARD und BEDA (1953) beschrieben. An den Versuchsböden wurden die Wassergehalte bei 1, 5, 20, 80, 690 cm Wassersäule sowie bei 2 und 15 at bestimmt. Für die Druckstufen bis 690 cm WS wurde der Drucktopf mit porösen Stahlfilter- und Keramikplatten verwendet, für den Bereich über 1 at die Druckmembranapparatur. Zur Kontrolle wurden jeweils der Wassergehalt von zwei Checkproben mitbestimmt.

4.2.1.4. *Zur Bestimmung der Durchwurzelungstiefe*

Oft finden sich noch in ziemlich tiefen Schichten eines Bodens einzelne Baumwurzeln, was eine verlässliche Abschätzung der Durchwurzelungstiefe erschwert. Diese muss aber für quantitative Berechnungen angenähert bekannt sein. Das im folgenden beschriebene Verfahren soll gewährleisten, dass das durchwurzelte Bodenvolumen nicht zu klein geschätzt wird.

Im geöffneten Profil wurden die noch gut durchwurzelten Schichten be-

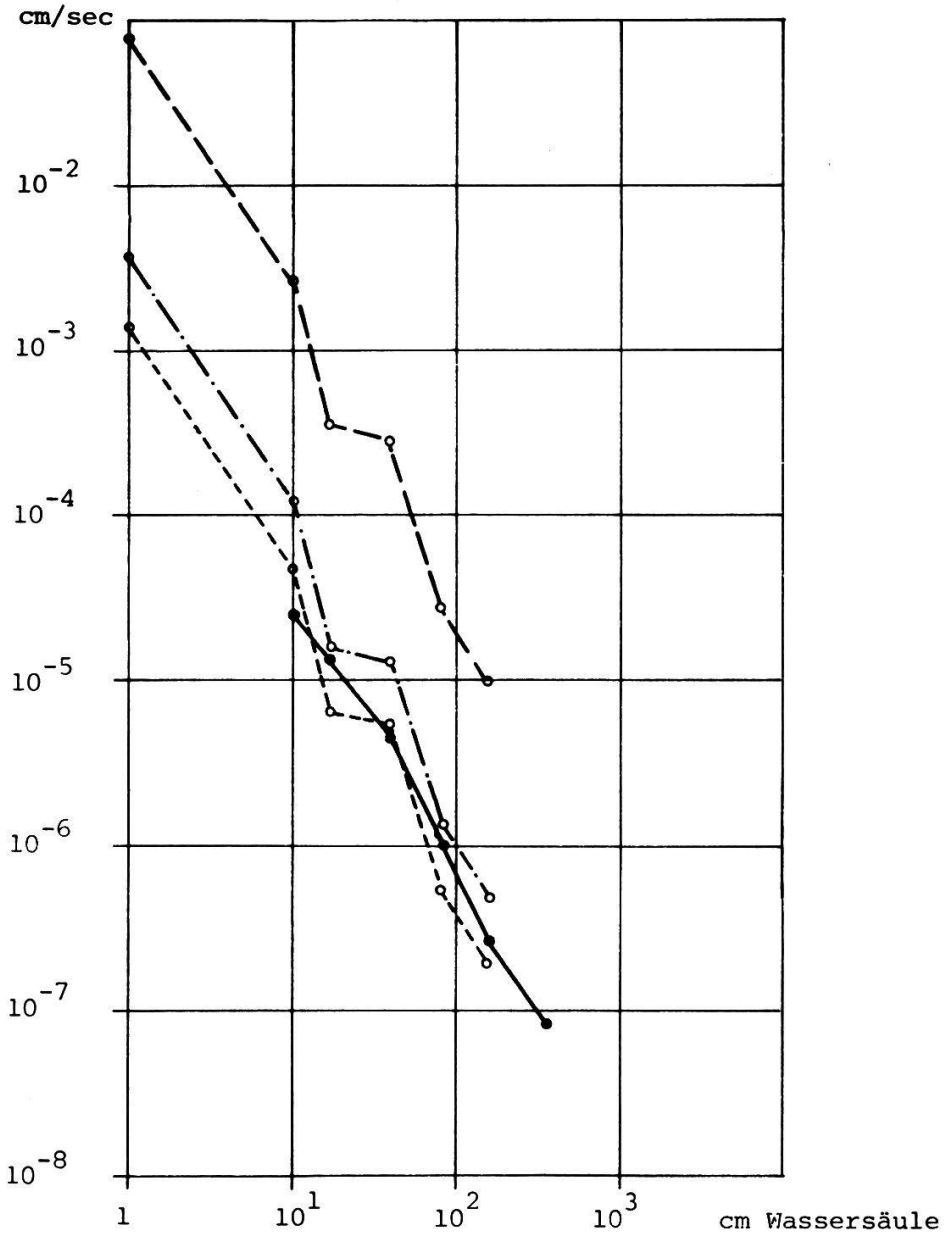


Abb. 4. Berechnung der Wasserleitfähigkeitskurve Buchberg 5 - 15 cm aus BRüLHART 1969

grob gestrichelt: berechnet nach MARSHALL (1958)
strichpunktiert : berechnet nach MARSHALL und korrigiert mit mf = k/k(-1 cm WS)
fein gestrichelt: berechnet nach MARSHALL und korrigiert mit mf = f (SILT)
ausgezogen : gemessen von BRüLHART (1969)

stimmt. Zu dieser Tiefe wurden noch 10 cm hinzugezählt, wodurch tiefreichende Wurzeln, welche nur einen Teil des entsprechenden Horizontvolumens erschliessen, einbezogen werden (vgl. hierzu LAATSCH 1969).

4.2.1.5. *Wasserleitfähigkeit nach DARCY*

Es wurde die Wasserleitfähigkeit nach DARCY sowohl im gesättigten (k-Wert) wie im teilgesättigten Boden (k(S)-Wert in Abhängigkeit von der Saugspannung S) bestimmt. Ueber die Bedeutung des k-Wertes bzw. des k(S)-Wertes siehe BRüLHART (1969) und RICHARD (1973).

Der Durchlässigkeitswert nach DARCY kann entweder im Labor gemessen (RICHARDS und MOORE 1952), oder nach MARSHALL (1958) aus der Desorptionskurve angenähert berechnet werden. KUNZE et al. (1968) geben eine verbesserte Berechnungsmethode an, indem sie einen einzelnen k(S)-Wert berechnen und die ganze nach MARSHALL (1958) berechnete Kurve "Wasserdurchlässigkeit in Funktion der Saugspannung" um den entsprechenden Quotienten, den sogenannten matching factor, korrigieren. Dieser Korrekturwert ist das Verhältnis des gemessenen zum berechneten Wert bei der gewählten Saugspannung. KUNZE et al. (1968) berechneten für verschiedene Böden solche Korrekturwerte. Homogenität der Probe vorausgesetzt, sind sie umso kleiner, je feinkörniger der Boden ist.

Um den Ansatz von KUNZE et al. (1968) zu überprüfen, wurden aus den Desorptionskurven in BRüLHART (1969) die k(S)-Werte nach MARSHALL (1958) berechnet. Für alle Messwerte der Kurve wurden sodann die Korrekturwerte bestimmt. Sie bewegten sich in der selben Grössenordnung (10^{-1} - 10^{-2}). Entsprechende Korrekturwerte wurden auch aus den Daten von FLüHLER (1973) und SCHUSTER (1974) bestimmt, allerdings nur mit dem Quotienten "gemessener k-Wert/berechneter k(1 cm WS)", doch ist der Fehler gering. Da der k-Wert jedoch mit kleinem Aufwand gemessen werden kann, wird er am häufigsten bestimmt.

Der gleiche Quotient wurde auch aus den Daten von BRüLHART (1969) berechnet.

Im nächsten Schritt wurden diese Werte mit andern Bodenkennwerten verglichen: mit Ton-, Schluff- und Sandgehalt, mit der scheinbaren Dichte, dem Humusgehalt und dem Porenvolumen. Die Korrelation war am deutlichsten mit dem Schluffgehalt. Ein Polynom zweiten Grades beschreibt diesen Zusammenhang am besten (14 Daten aus BRüLHART 1969, FLüHLER 1973 und SCHUSTER 1974):

$$mf = 0{,}20315 - 0{,}67699(SILT) + 0{,}5651(SILT)^2$$

mf = matching factor, Korrekturwert
SILT = Schluffgehalt in %
F-Wert = 59,57
Die Regressionskoeffizienten sind von Null verschieden:

$F_{o,ool;2,11} = 13{,}81$

Abbildung 4 zeigt,wie eine Kurve aus BRüLHART (1969) nach den drei Methoden berechnet werden kann. Der Ansatz nach MARSHALL (1958) liegt weit neben den tatsächlich gemessenen Werten. Die um den Faktor "gemessener k-Wert/ berechneten k(1 cm WS)" angepasste Kurve bringt bereits eine deutliche Annäherung an die gemessenen Werte. Am besten stimmt die Kurve überein, für welche der Korrekturwert aus dem Schluffgehalt berechnet wurde.

4.2.1.6. *Saugspannung*

Mit Hilfe eines Röhrenbohrers von 20 mm lichter Weite konnten Proben von 5 cm Länge ausgestochen werden. Aus vier Bohrungen je Horizont wurde eine Mischprobe hergestellt und die Löcher wieder verstopft. Die Proben wurden sogleich in Plastiksäcke verpackt und innerhalb einer Stunde gewogen. Im Ofen wurden sie bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz, die nach 24 Stunden stets erreicht war, getrocknet, so dass ihr Trockengewicht und auch der Wassergehalt in Gewichtsprozent bestimmt werden konnten. Durch rechnerische Interpolation mit den Daten der Desorptionskurve wurden die zugehörigen Saugspannwerte ermittelt und graphisch dargestellt. Diese so ermittelten Werte geben den Zustand im Freiland allerdings nur annähernd an, weil die Wassersättigung einer Laborprobe bei gegebener Saugspannung in der Regel grösser ist als der Wassergehalt einer im Feld entnommenen Probe.

4.2.2. *Chemische Methoden*

4.2.2.1. *Organische Substanz / Humus*

Der organisch gebundene Kohlenstoff in der Feinerde wurde durch eine Lösung von Kaliumbichromat in konzentrierter Schwefelsäure in der Wärme völlig abgebaut. Der Chrom(III)-Gehalt wurde anschliessend photometrisch bestimmt.

Der so gefundene Wert, mit 1,72 multipliziert, wurde als Humusgehalt angegeben (STEUBING 1965).

4.2.2.2. *Karbonatgehalt*

Der Gehalt an Karbonaten wurde mit dem Passon-Gerät bestimmt. Dazu wurde die Feinerde mit zehnprozentiger Salzsäure versetzt und das entstehende Kohlendioxid volumetrisch gemessen. Diese Messwerte mussten mit einem Faktor, der die herrschende Temperatur und den Luftdruck berücksichtigt, auf Standardbedingungen umgerechnet werden (FIEDLER et al. 1965).

4.2.2.3. *Bodenreaktion*

Die Feinerdeproben wurden mit destilliertem Wasser zu einem dickflüssigen Brei angerührt und nach vier Stunden mit der Glaselektrode (Polymetron, Transistor-pH-Meter) gemessen.

4.3. *Mikroklimatische Methoden*

4.3.1. *Temperaturprofile*

Am 7. August 1975 (Strahlungstag) wurden im Mülitobel an zwei hinsichtlich Exposition und Neigung vergleichbaren Stellen der Temperaturverlauf gemessen. Die Ablesungen erfolgten in 30-minütigen Intervallen, die Messpunkte befanden sich in 200, 100, 50, 40, 30, 20, 10, 5 und 0 cm Höhe sowie in 1, 5, 10, 20, 30 und 40 cm Tiefe im Boden. Verwendet wurde das von GIGON (1971) beschriebene Thermistorengerät.Die Messfühler waren stets beschattet, notfalls wurden sie mit Aluminiumfolie abgedeckt, womit die Werte untereinander vergleichbar wurden.

4.3.2. *Evaporation der Piche-Evaporimeter*

An denselben Stellen und zur selben Zeit wie die Temperaturmessung wurde die Verdunstung mit Piche-Evaporimetern gemessen. Diese wurden vor direkter Einstrahlung (um einen Dampfdruck im Innern zu vermeiden) und vor Bewegungen durch Luftzug geschützt. In den Höhen 200, 50, 20 und 5 cm über der Bodenoberfläche wurden je zwei Evaporimeter aufgehängt und stündlich abgelesen. Zur Methode vgl. STEUBING (1965).

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 Aufnahmenummern 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).

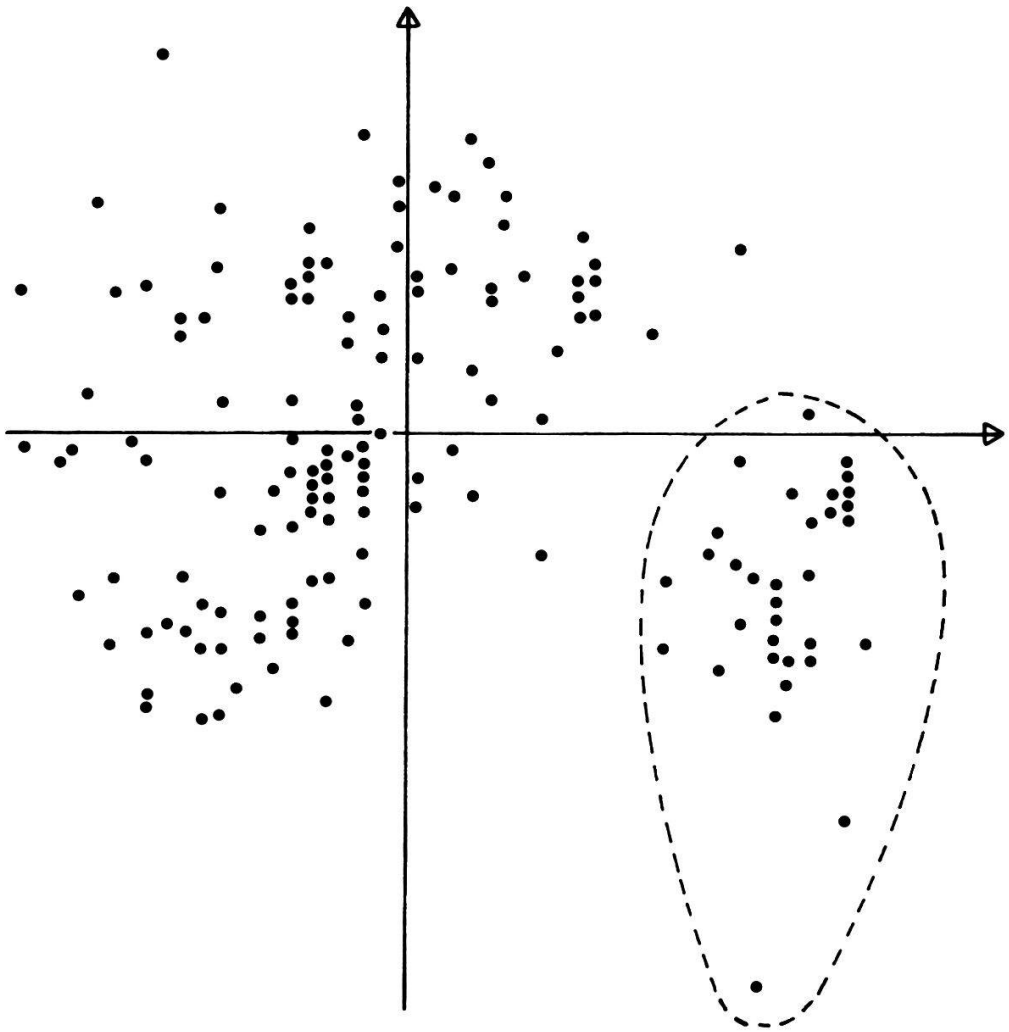


Abb. 5. Ordination der 150 Aufnahmen mit 89 Arten.
Horizontale Achse: 2. Faktor; vertikale Achse: 3. Faktor.
Eingerahmt die Aufnahmen 117 bis 150, aus NUSSBAUMER (1971).

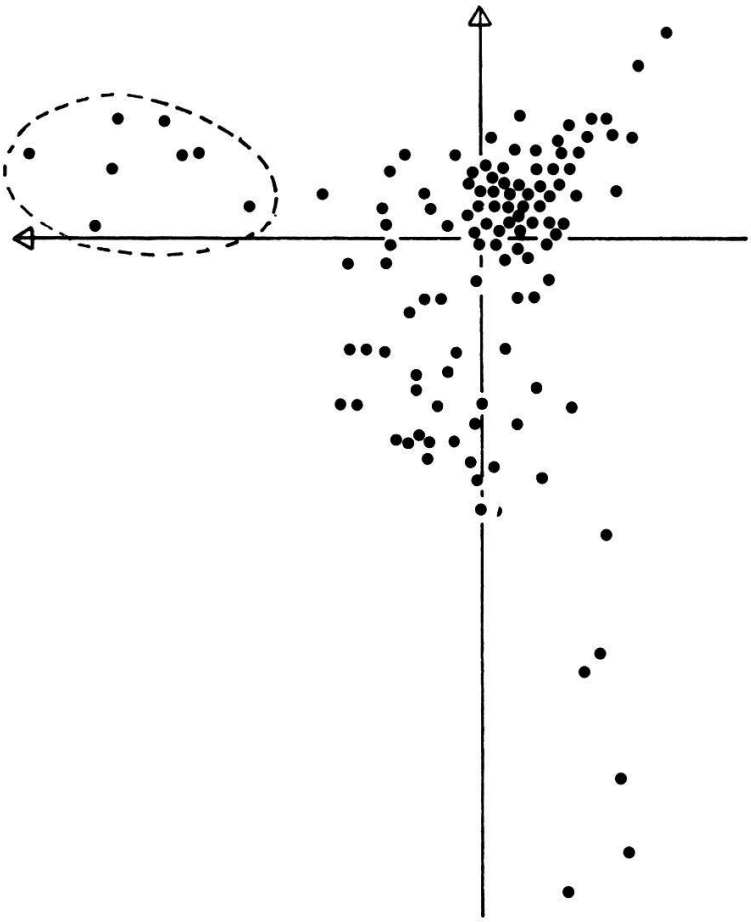


Abb. 6. Ordination der Aufnahmen 1 bis 117 mit 88 Arten.
Vertikale Achse: 1. Faktor; horizontale Achse: 2. Faktor
Eingerahmt die Aufnahmen 84 bis 91, aus ZOLLER (1951).

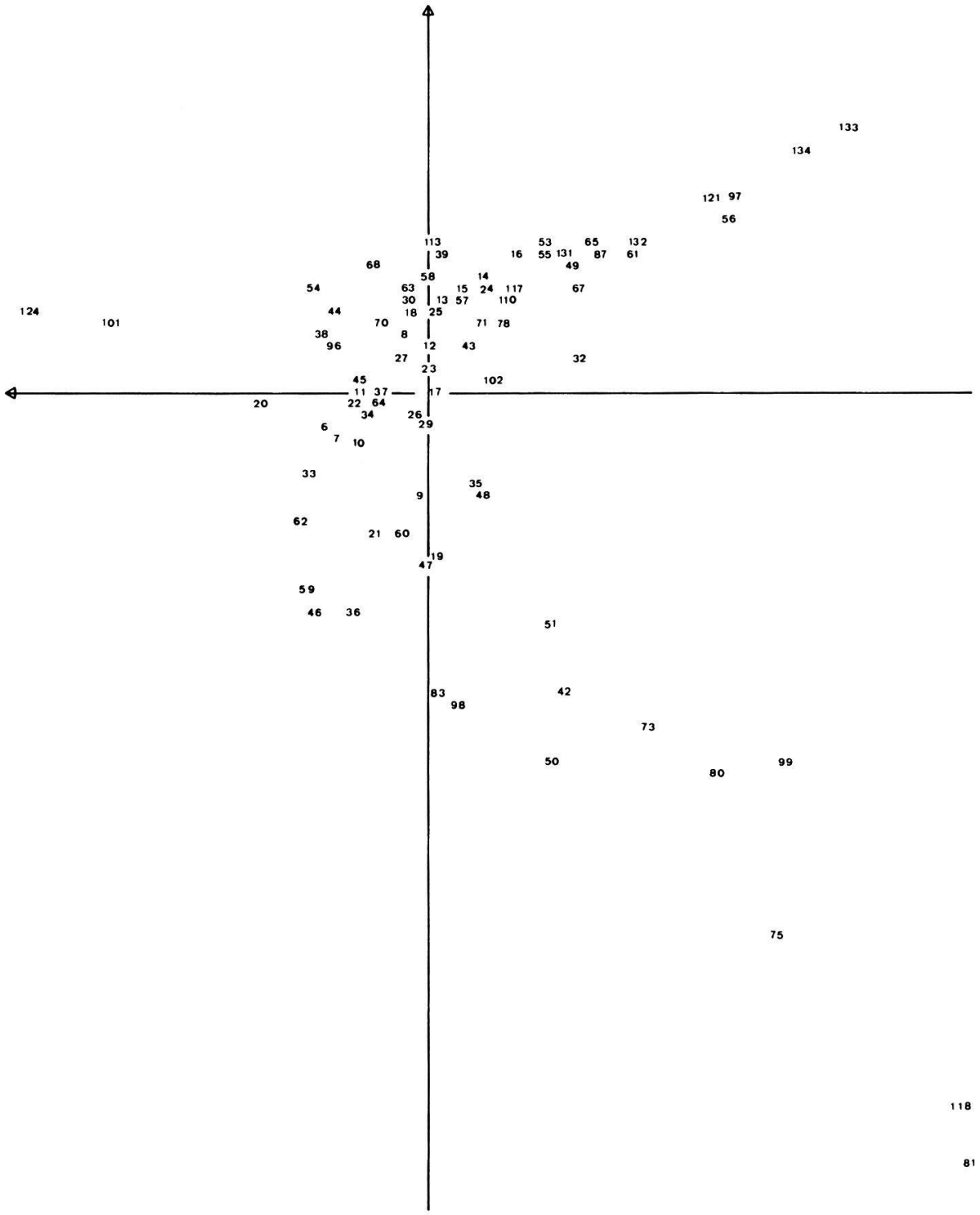


Abb. 7. Ordination der 82 Arten, die für die Ordination der Aufnahmen 1 bis 83 und 92 bis 117 verwendet wurden.
Vertikale Achse: 1. Faktor; horizontale Achse: 2. Faktor.
Die Nummern sind Artennummern.

5.1.2. *Minimum-spanning-tree*

Mit dem Programm VEGLIB (Dr. N. KUHN, Birmensdorf ZH) kann auf Grund der Euklidschen 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 Aufnahmenummern, rechts mit den entsprechenden Einheitennummern der Schlusstabelle.

5.1.3. *Aehnlichkeit der Einheiten nach KULCZINSKI*

Mit dem Aehnlichkeitsindex nach KULCZINSKI (aus KNAPP 1971) können Verwandschaftsverhältnisse von Pflanzengesellschaften auf Grund der Stetigkeitstabelle berechnet werden. Die Verwandschaftszahl 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.

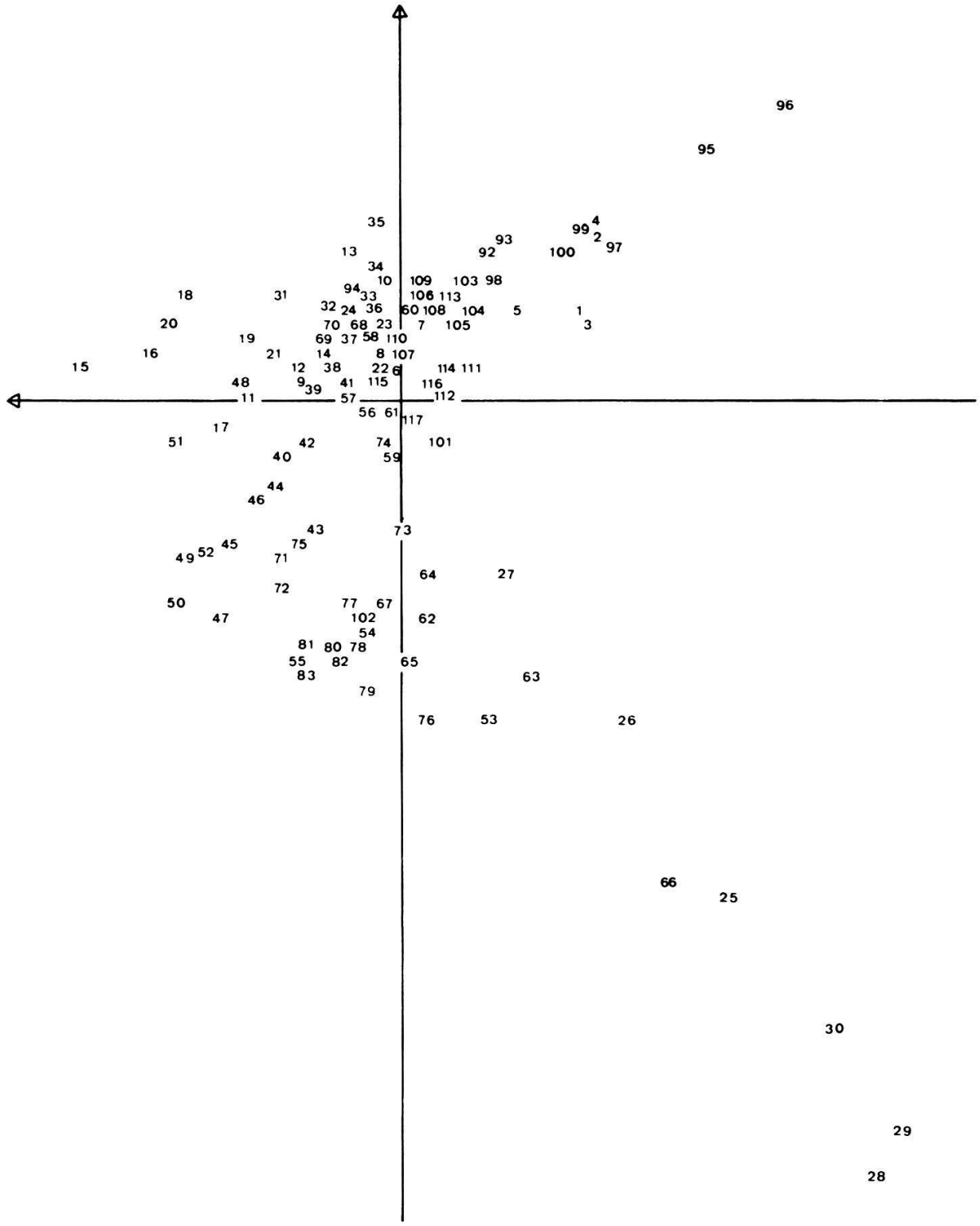


Abb. 8. Ordination der Aufnahmen 1 bis 83 und 92 bis 117 mit 82 Arten.
Vertikale Achse: 1. Faktor; horizontale Achse: 2. Faktor.
Die Nummern sind Aufnahmenummern.

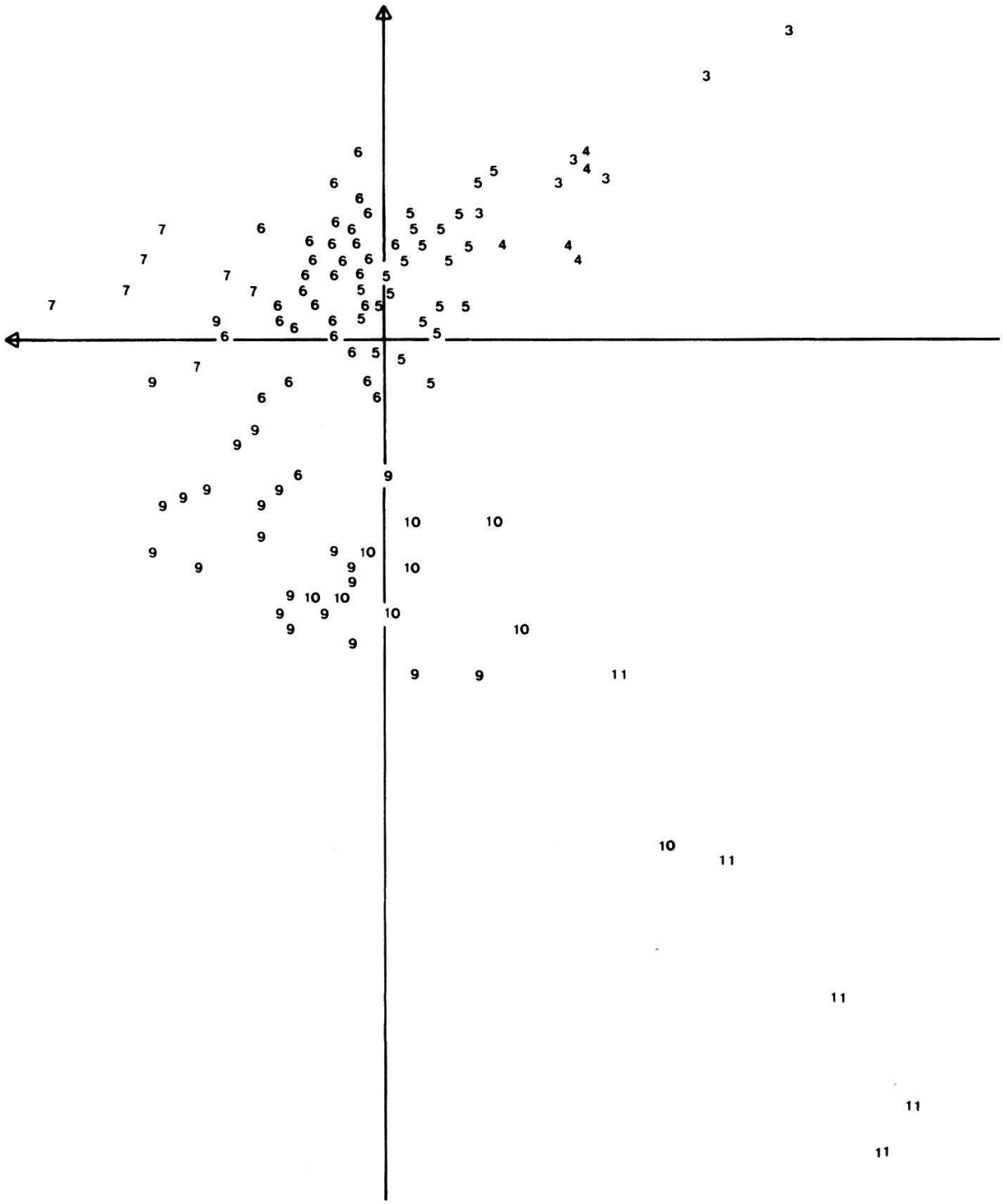


Abb. 9. Ordination der Aufnahmen 1 bis 83 und 92 bis 117 mit 82 Arten.
Vertikale Achse: 1. Faktor; horizontale Achse: 2. Faktor.
Die Nummern sind die Einheitennummern der entsprechenden Aufnahmen aus Abb. 8.

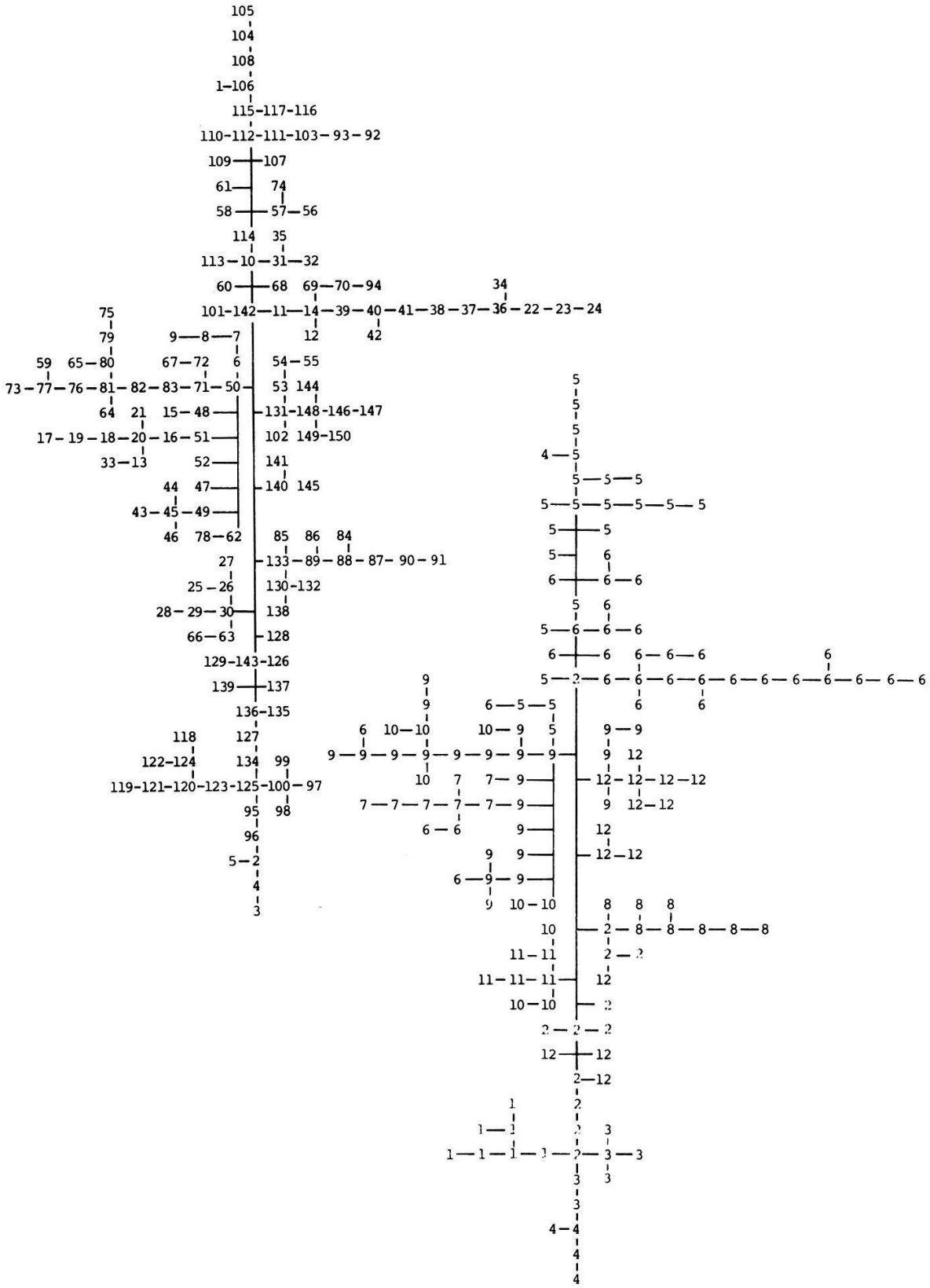


Abb. 10. Minimum-spanning-tree der Aufnahmen. Links Vegetationsaufnahmenummern, rechts Nummern der Einheiten der entsprechenden Aufnahmen

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.

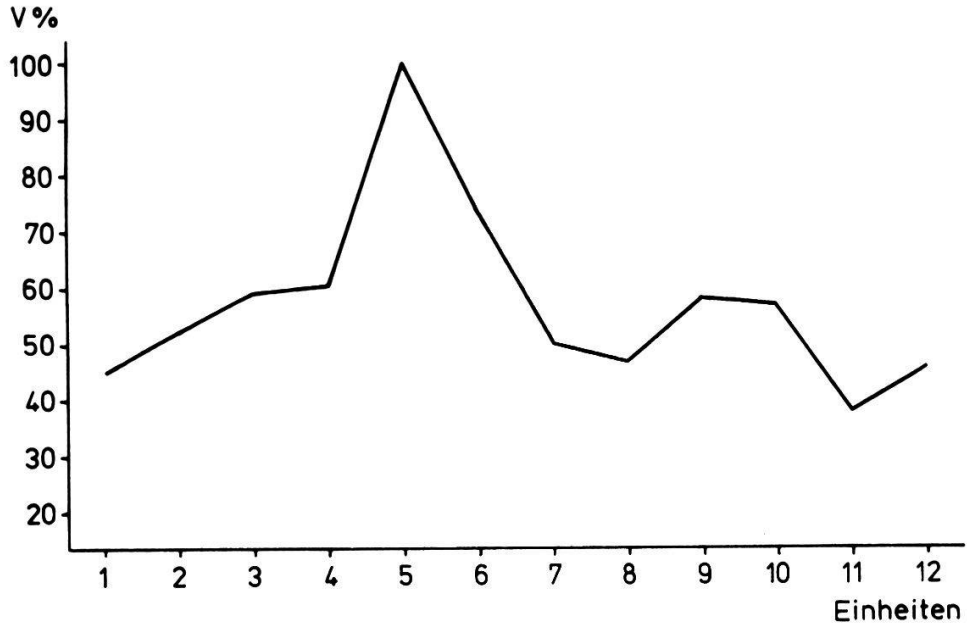


Abb. 11. Verwandschaftsverhältnisse der Einheiten nach KULZCINSKI, bezogen auf Einheit 5.

Abb. 12 stellt den Minimum-spanning-tree der Einheiten auf Grund der Verwandschaftsverhältnisse 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.

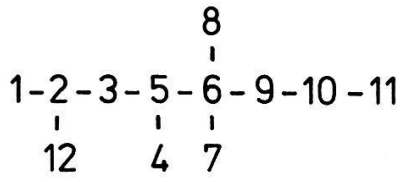


Abb. 12. Minimum spanning-tree der Einheiten (Aehnlichkeiten zwischen den Einheiten berechnet nach KULCZINSKI).

Tabelle 3. Stetigkeitstabelle.

Einheiten:

1: *Molinio-Pinetum* Subass. mit *Bromus erectus*, *Epipactis palustris*-Variante
2: do. *Listera ovata*- Variante
3: do. *Genista tinctoria*-Variante
4: do. *Sanguisorba minor*-Variante
5: *Molinio-Pinetum* Subass. mit *Laserpitium latifolia*, typische Variante
6: do. *Geranium sanguineum*-Variante
7: do. *Parnassia palustris*-Variante
8: *Cirsio tuberosi-Pinetum montanae*
9: *Cephalanthero-Pinetum*, *Angelica silvestris*-Ausbildung
10: do. *Viola silvestris*-Ausbildung
11: *Taxo-Fagetum*
12: *Pulmonario-Fagetum melittetosum*

Stetigkeitsklassen:

* = 1 - 10 %, 1 = 11 - 20 %, 2 = 21 - 40 %, 3 = 41 - 60 %, 4 = 61 - 80 %, 5 = 81 - 100 %

	ARTNAMEN	EINHEITEN 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	DIFFERENZIERENDE ARTEN:												
A	BROMUS ERECTUS	5	3	5	4					*			1
B	CARLINA VULGARIS	3		5	2	1	2	1					
	GYMNADENIA ODORATISSIMA	3			1	1	*				1		
	BRIZA MEDIA	3		1	4	1			2	*			
	FESTUCA OVINA	5	*	2	2	1	1						
	KOELERIA PYRAMIDATA	5	2		3	*	2						*
	PIMPINELLA SAXIFRAGA	2	*	5	1	2	2		2		1		1
	ASPERULA CYNANCHICA	1		1	2	*	*						
C	GENISTA TINCTORIA K			5									
	CENTAUREA ANGUSTIFOLIA	1		4									
D	ONONIS SPEC.,REPT.,SPIN.			3	5	*	*			*			
	PLATANTHERA BIFOLIA			3	3	*	1			*			
	LEONTODON HYOSEROIDES	1	*	3	2	*	*		2				*
	EUPHRASIA ROSTKOVIANA			3	1	*			2				
	TEUCRIUM CHAMAEDRYS			3	4	*							
	HELIANTHEMUM OVATUM			2	2								
E	SANGUISORBA MINOR	2			3	*	1						1

	ARTNAMEN	EINHEITEN 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	POLYGALA CHAMAEBUXUS	5	5		5	5	5	4			3	1	3
	SUCCISA PRATENSIS	5	3	2	5	4	3	1			2	2	1
	AQUILEGIA ATRATA	1	2	2	2	4	2		2	2	4		*
	RANUNCULUS NEMOROSUS	2	1	5	3	*	2		2	2	3		2
O	GALIUM BOREALE					1	3			1	2		
	SERRATULA TINCTORIA					*	2						
P	CIRSIUM TUBEROSUM	2	*	2		*	3	2	4	1			
	GENTIANA CILIATA			1			2	3	2		1		
	THESIUM ALPINUM					*	3	4	3				*
	CHRYSANTHEMUM LEUCANTHEMUM					*	3	3	2	*			
Q	AMELANCHIER OVALIS S S.L.					1	4	5	3	2	1	2	
	FESTUCA AMETHYSTINA			1		1	4	5	4	3			
	SALIX APPENDICULATA S						1	4	2	2			
R	GERANIUM SANGUINEUM				1	*	4			1	3		
	POLYGONATUM OFFICINALE			1	1		2	1	2	1	1		
S	FAGUS SILVATICA B				2	*	*		2	3	5	4	*
	ACER PSEUDOPLATANUS B				2	*	*		2	2	4	5	
	FRAXINUS EXCELSIOR B					*	*			2	3	3	*
	CENTAUREA MONTANA					*	1		4	3	1	1	
	LILIUM MARTAGON								2	2	2	2	

	HYPERICUM MONTANUM				3	*	*	1			2		
	CEPHALANTHERA RUBRA				3	*							
	FESTUCA RUBRA				2	*	*						
F	BUPHTHALMUM SALICIFOLIUM			5	4	3	4	1			1		
	GALIUM VERUM			4	4	2	2			1	1		
	EUPHORBIA CYPARISSIAS		*	5	5	5	*			*	3	1	
	CAMPANULA ROTUNDIFOLIA		*	5	5	3					1		*
	CENTAUREA SCABIOSA			1	1	*	3			*			
G	EPIPACTIS ATROPURPUREA	1	3	5	5	5	4	4	3	*			*
	GYMNADENIA CONOPEA	3	2	2	4	4	3	3	4	*		1	1
	TOFIELDIA CALYCULATA	3	2	1	5	3	2	5	2	*			
	PRUNELLA GRANDIFLORA	5	*	5	5	4	4	3					*
	LOTUS CORNICULATUS	5	2	5	5	4	4		4				
	HIPPOCREPIS COMOSA	5	3	5	5	4	3		3				2
H	PEUCEDANUM CERVARIA				5	4	4			*			
	TRIFOLIUM MONTANUM		*		5	2	*		1	*			
	CAREX ORNITHOPODA			1	3	2	2	3		2			
	ANTHYLLIS VULNERARIA				2	*	2	3					
	GOODYERA REPENS				2		1	3		*			
I	SCABIOSA COLUMBARIA			1	5	2	2		4				
	THYMUS SERPYLLUM S.L.			1	3	2	3	2	3				
J	ANTHERICUM RAMOSUM			2	4	4	5	3	5	1	3	1	
	KNAUTIA SILVATICA			2	4	4	4	3	2	5	4	5	
	SORBUS ARIA B			3	4	3	3	2	3	5	5	5	1
	SORBUS ARIA S		*	4	3	3	4	4	2	4	4	5	
K	BELLIDIASTRUM MICHELII				5	4	4	5	5	3	3		
	CREPIS PRAEMORSA				2	1	*		2		2		
	CALAMAGROSTIS VARIA		1	1	4	4	4	5	5	5	4		
	SOLIDAGO VIRGA-AUREA				3	3	*		2	2	5		
	LATHYRUS PRATENSIS				2	2	2	1	5	2	1		*
L	LASERPITIUM LATIFOLIUM					4	5	5	4	5	4	2	
	BETONICA OFFICINALIS				1	3	4			1	4	1	
	GENTIANA ASCLEPIADEA				1	2	2	2		3	2		
	PHYTEUMA ORBICULARE				1	2	4	1	4	2	3		
	ORIGANUM VULGARE				1	4	3		3	2	2	1	
	SESLERIA COERULEA			2		3	5	5	5	5	3		
	MELICA NUTANS				1	2	*		2	1	2		
	GALIUM MOLLUGO				1	*	*		2	*	2		*
M	VIBURNUM LANTANA S		4	4	5	4	5	4	2	5	5	5	4
	CORNUS SANGUINEA S		1	3	3	3	3			3	4	5	3
	BERBERIS VULGARIS S		4	4	3	1	*			*	2	3	2
	LONICERA XYLOSTEUM S		*		2	2	3	1	2	4	5	4	4
	LIGUSTRUM VULGARE S		2	5	5	4	3			3	5	5	3
	CRATAEGUS MONOGYNA S		2	3	3	*	1		2	1	2	4	3

	MERCURIALIS PERENNIS			1		*			2	3	3	4	
	PRENANTHES PURPUREA					*	2		2	3	5	1	
T	CAREX SEMPERVIRENS								5				
	GENTIANA LUTEA								5				
	CARLINA ACAULIS								4				
	HERACLEUM ALPINUM								4				
	PIMPINELLA MAJOR					*	1		4	*	1		
U	ANGELICA SILVESTRIS				1	*	*			4			1
V	VINCETOXICUM OFFICINALE			1	1	1	1			2	4	1	
	CYPRIPEDIUM CALCEOLUS		*			1	1			3	1		*
	CORYLUS AVELLANA S					*	*			2	2		
	CONVALLARIA MAJALIS					*	*			2	1		
	LATHYRUS VERNUS					*	*			1	2		
	DAPHNE MEZEREUM S									2	2		1
	CEPHALANTHERA LONGIFOLIA				2	*	1			2	3		
W	TAXUS BACCATA B						*			1	1	4	
X	VIOLA SILVESTRIS		1							*	3	4	3
	POLYGONATUM MULTIFLORUM		*				*				2	3	3
	EUPHORBIA AMYGDALOIDES										2	2	1
	CLEMATIS VITALBA S				1		*				3	4	
	FRAGARIA VESCA				1	*	*				2	3	
	TAMUS COMMUNIS				1	*				*	2		4
	PHYTEUMA SPICATUM					*	*			1	3		2
	AJUGA REPTANS									*		3	1
	PARIS QUADRIFOLIUM									*		2	3
Y	GALIUM ODORATUM												5
	GALIUM ROTUNDIFOLIUM												3
	GEUM URBANUM		*										2
	CIRCAEA LUTETIANA												2
Z	LISTERA OVATA			4	1	2	*	*		*			4
a	EPIPACTIS PALUSTRIS	5					*						
	CAREX ACUTIFORMIS	4											
	CAREX PANICEA	5	*							1			
	ORCHIS TRAUNSTEINERI	3	2		1		*						1
	CAREX HOSTIANA	3	1		1						1		
b	PARNASSIA PALUSTRIS						*	5					
	RHINANTHUS ANGUSTIFOLIUS				1	*	*	5			1		
	SAXIFRAGA MUTATA							3					
c	PINUS SILVESTRIS B	3	5	5	5	5	4	3	3	5	5	5	5
	MOLINIA LITORALIS	5	5	5	4	5	5	3	5	5	5	5	5
	CAREX FLACCA	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	4
	POTENTILLA ERECTA	5	5	4	5	2	4	3	2	3	2	2	3
	CAREX MONTANA	5	5	5	5	5	5	3	4	5	5	5	5
	BRACHYPODIUM PINNATUM	5	5	4	2	5	4		2	3	3	5	5

Tabelle 3. Stetigkeitstabelle (Fortsetzung)

ARTNAMEN	EINHEITEN 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BAUMSCHICHT (VOLLSTAENDIG):												
PINUS SILVESTRIS B	3	5	5	5	5	4	3	3	5	5	5	5
SORBUS ARIA B			3	4	3	3	2	3	5	5	5	1
PICEA EXCELSA B		3		1	*	*		2	2	3		5
PINUS MONTANA B						3	5	4	3		2	
FAGUS SILVATICA B				2	*	*		2	3	5	4	*
ACER PSEUDOPLATANUS B				2	*	*		2	2	4	5	
FRAXINUS EXCELSIOR B					*	*			2	3	3	*
SORBUS TORMINALIS B				3		*			*	1	3	2
TAXUS BACCATA B						*			1	1	4	
QUERCUS PETRAEA B				1					*	2	3	*
ACER CAMPESTRE B					*	*			1	2		
ALNUS INCANA B						*	2					1
PINUS SILV. X MONTANA B						*		2				
QUERCUS ROBUR B		1		1								*
SORBUS LATIFOLIA B+S				2	*							
HEDERA HELIX B				1					*	1		
STRAUCHSCHICHT (VOLLSTAENDIG):												
PINUS SILVESTRIS S	4	2	4	4	2	2	3	2	1	1		
SORBUS ARIA S		*	4	3	3	4	4	2	4	4	5	
PICEA EXCELSA S	3	5		3	1	*	3	2	2	1		5
PINUS MONTANA S						1	5	4	1			
FAGUS SILVATICA S		1	2		2	1	3	2	2	3	1	*
ACER PSEUDOPLATANUS S			1			1	2		1			
FRAXINUS EXCELSIOR S				1	*	*	1	2	2	3	1	*
SORBUS TORMINALIS S			1	3	*					1		*
TAXUS BACCATA S				2					1	2		
QUERCUS PETRAEA S				1	*	*				1		
ACER CAMPESTRE S				1	*				2	2		
ALNUS INCANA S	2	1	3	1	3	2	5	2	3			3
QUERCUS ROBUR S				2	*				*			
HEDERA HELIX S											3	
PRUNUS AVIUM S				2					1	1	2	1
SORBUS MOUGEOTII S								2				
PIRUS PIRASTER S			2	2								

ARTNAMEN	EINHEITEN 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ALNUS INCANA K	2		1		3	1	5					3
QUERCUS ROBUR K		2	2			*				1		*
HEDERA HELIX K				2	1				2	3	3	*
PRUNUS AVIUM K		1	2		*				1	2		4
ABIES ALBA K				1		*						
PIRUS PIRASTER K			3									
POPULUS TREMULA K							1					1
JUGLANS REGIA K	1	1	1		*							1
VIBURNUM LANTANA K	1	3	5		4	2	4		*	3	1	5
JUNIPERUS COMMUNIS K	5	4	5		2		1					1
LIGUSTRUM VULGARE K		2	3		3	1			*	3	1	3
CORNUS SANGUINEA K		1	3		2	2	1		*	2	1	3
LONICERA XYLOSTEUM K		3	1		1	*	1		*	3		4
FRANGULA ALNUS K	4	5	2		2	1	3			1		5
AMELANCHIER OVALIS K					1	1	3		*			
CRATAEGUS MONOGYNA K		*	1		*	*	1			2	1	2
SALIX APPENDICULATA K						*	4					
BERBERIS VULGARIS K		*	3									4
SALIX SPEC. K					1							
CORYLUS AVELLANA K			1	2	1	*				2		*
ROSA ARVENSIS K					*	*				2		
DAPHNE MEZEREUM K	1	3			*	*		2	1		3	5
VIBURNUM OPULUS K		2			*					2		3
CLEMATIS VITALBA K									*	3		2
LONICERA ALPIGENA K					*	*						
CRATAEGUS OXYACANTHA K										2		
PRUNUS SPINOSA K					*					2		1
SALIX NIGRICANS K				1		*			*			
GENISTA TINCTORIA K			5									
ROSA SPEC. K		2										2
RUBUS SAXATILIS K		*										2
RUBUS SPEC. K						*				2		2
UEBRIGE ARTEN DER KRAUTSCHICHT:												
CARDUUS DEFLORATUS			5		*	4	2	2	2	1		
EPIPACTIS LATIFOLIA		5		1	*	2			2	4	1	4
MELITTIS MELISSOPHYLLUM			1	1	1	4			4	5	5	
CAREX HUMILIS			3		3	4			2	3		

POPULUS TREMULA S			1	4	1	*	1				
JUGLANS REGIA S									*	1	
JUNIPERUS COMMUNIS S	5	5	4	5	4	3	3	4	1		3
FRANGULA ALNUS S	1	5	5	2	2	2	3		2	1	5
LIGUSTRUM VULGARE S		2	5	5	4	3			3	5	5	3
VIBURNUM LANTANA S		4	4	5	4	5	4	2	5	5	5	4
CORNUS SANGUINEA S		1	3	3	3	3			3	4	5	3
LONICERA XYLOSTEUM S		*		2	2	3	1	2	4	5	4	4
CRATAEGUS MONOGYNA S		2	3	3	*	1		2	1	2	4	3
BERBERIS VULGARIS S		4	4	3	1	*			*	2	3	2
AMELANCHIER OVALIS S					1	4	5	3	2	1	2	
SALIX APPENDICULATA S						1	4	2	2			
SALIX SPEC. S					2	1			2			
CORYLUS AVELLANA S					*	*			2	2		
ROSA ARVENSIS S				2	*	1			1	2	3	
DAPHNE MEZEREUM S									2	2		1
VIBURNUM OPULUS S				1		*			2	2		1
CLEMATIS VITALBA S				1		*				3	4	
LONICERA ALPIGENA S					*			2	1			
ILEX AQUIFOLIUS S				2				2		2	3	
SALIX CAPREA S		*		1	*	*		2				
CRATAEGUS OXYACANTHA S			1	3	*					1		
PRUNUS SPINOSA S				2	*					2		
ROSA CANINA S						*			*	2		
COTONEASTER TOMENTOSA S				1		*			*			
HOLZARTEN DER KRAUTSCHICHT:												
PINUS SILVESTRIS K	1		5	3	2	2	2				
SORBUS ARIA K			4	5	4	2	3		*	2	
PICEA EXCELSA K	5	5	1	4	2	*	5		*		4
PINUS MONTANA K						2	5				
FAGUS SILVATICA K	1	1	4	4	4	2	3		1	2		3
ACER PSEUDOPLATANUS K		3	3	5	4	3	5		4	3	3	3
FRAXINUS EXCELSIOR K	2	3	3		4	3	5		4	4	5	5
SORBUS TORMINALIS K			2									2
TAXUS BACCATA K						*			1	4	1	
QUERCUS PETRAEA K	2	3	4	3	1	2	4			2		4
ACER CAMPESTRE K				1	*	*			*	3		

ORCHIS MACULATA		*	1		1	2	3	1	3	1		*
HIERACIUM MURORUM			2	2	2	*	4	1	1	2	2	2
PTERIDIUM AQUILINUM				3	1	*			3	4	5	
EUPHORBIA DULCIS			5		1	1			2	3		
NEOTTIA NIDUS-AVIS		*		1	1	1	2		2	2	3	2
TRIFOLIUM MEDIUM		2	2	3	1	2		1		1		1
POLYGALA AMARELLA			5		*	3	2					
LINUM CATHARTICUM			3		1	2	2	2				
PLATHANTHERA CHLORANTHA	3	2			*	*		2		1		*
ASTER AMELLUS				2	*	2				1	1	
SANICULA EUROPAEA				2		*			*	2	1	3
BRACHYPODIUM SILVATICUM				2	1	*			*	2		2
TEUCRIUM MONTANUM			1			2	2					
CAREX DIGITATA				1		*			2	2		1
COLCHICUM AUTUMNALE				1	*				1	1	1	1
OPHRYS INSECTIFERA			1	1	1	1					1	
CEPHALANTHERA DAMASONIUM				1	2					1		
ANEMONE NEMOROSA				1					2	2		
VICIA CRACCA	1	1	1	1	*							2
AGROSTIS GIGANTEA	2	*				*	3		*			
SALVIA GLUTINOSA					1				*	2		
HIERACIUM UMBELLATUM				1		2						
BLACKSTONIA PERFOLIATA					*	1						
VIOLA HIRTA	1	*	1		*			2				
AEGOPODIUM PODAGRARIA			2		*					1	2	
EUPATORIUM CANNABINUM					*				*	2		
PINGUICULA VULGARIS				1	*	*	2					
SATUREJA VULGARIS						*		1		2		
GENTIANA GERMANICA			1			*	1					
CHRYSANTHEMUM CORYMBOSUM					*					2		
CAMPANULA COCHLEARIIFOLIA					*	*	1					
ANTHOXANTHUM ODORATUM						*						
CAREX DAVALLIANA									1			
PRIMULA VERIS								2				
VACCINIUM MYRTILLUS									1			
SILAUM SELINOIDES						*						
TARAXACUM OFFICINALE						*						1
ORCHIS USTULATA			1					2				
DESCHAMPSIA FLEXUOSA								2				*

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 obern Teil der Tabelle zu finden, die indifferenten oder Schattenzeiger im untern 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 nen. 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. Aehnliches beschreibt KEEL (1974) vom Tannbühl in Bargen SH.

Die Variante mit *Epipactis palustris* enhält neben Trocken- und Wechseltrockenheitszeigern auch Wechselfeuchte- und Wechselnässezeiger. 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 Subassoziation 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 Subassoziation 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

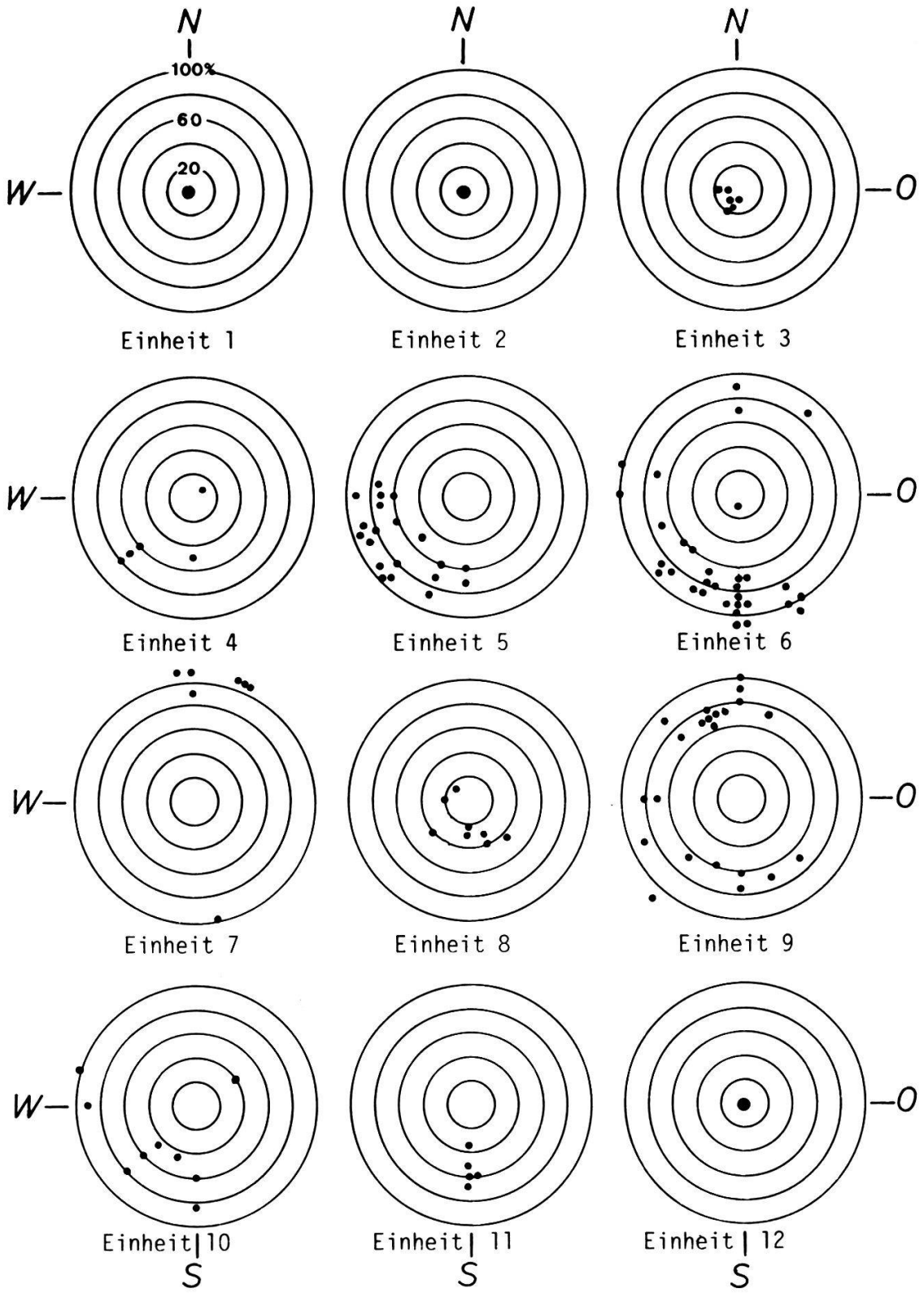


Abb. 13. Exposition und Neigung der Aufnahmen nach Einheiten geordnet. (Ein Punkt entspricht einer Aufnahme, ein grosser Punkt bedeutet mehr als sechs Aufnahmen. Aufnahmen mit mehr als 100 % Neigung sind ausserhalb des äussersten Kreises eingetragen.)

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 Bodenpflanzen 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 reliktisch 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* enhält 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 reliktische Florenelemente aufweist, z.B. *Pinus montana, Campanula cochleariifolia, 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 Keimschwierigkeiten, 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*).

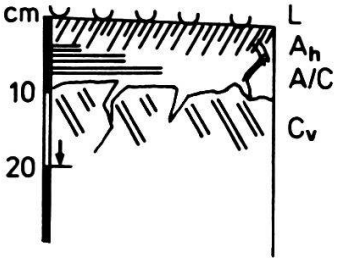
Oft entwickeln sich Pfeifengras-Föhrenwälder an Steilhängen auf Flächen, die durch Rutschungen blossgelegt worden sind. Die Anrissstellen treten dann als Stufen im Gelände hervor. Ausserhalb der Rutschflächen herrschen Laubwälder, deren Böden (im Falle von Buchenwäldern meist Rendzinen) noch Moränenschichten 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 entwikkeln 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



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

Abkürzungen und Symbole:

L Streuehorizont

F Vermoderungshorizont

A_h humushaltiger Mineralerdehorizont

A/C Uebergangshorizont 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

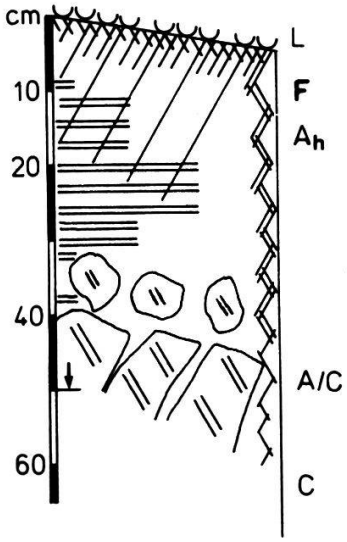
Abb. 14. Profilbeschreibung

Profil 202/203: Bürersteig, Gde. Remigen AG

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

Exposition: S
Neigung: 15 %
Höhe ü.M.: 550 m

Tiefe	Sand	Schluff	Ton	Humus	Karbonat	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität
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	%	%	%	%	%				



Profil 204/205: Bürersteig, Gde. Remigen AG

Bodentyp: kolluviale Mullrendzina
Vegetation: *Pulmonario-Fagetum*

Exposition: S
Neigung: 15 %
Höhe ü.M.: 545 m

Tiefe	Sand	Schluff	Ton	Humus	Karbonat	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität
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	%	%	%	%	%				

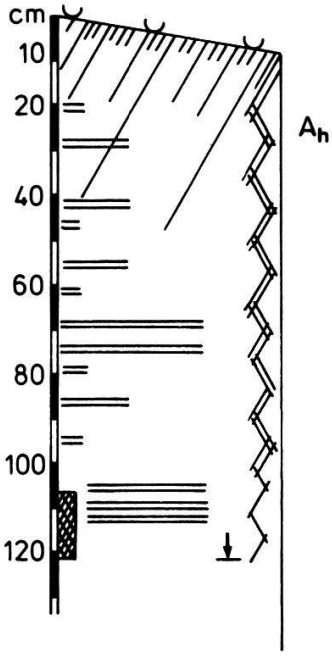


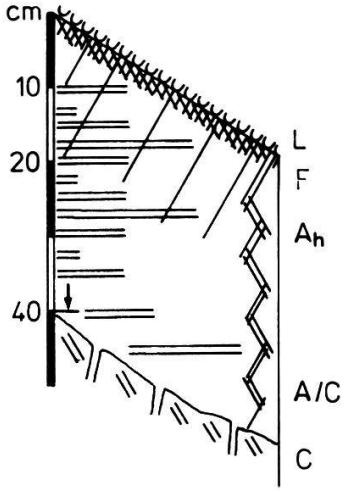
Abb. 14. Profilbeschreibung (Fortsetzung)

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

Tiefe cm	Sand %	Schluff %	Ton %	Humus %	Karbonat %	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität
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



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

Tiefe cm	Sand %	Schluff %	Ton %	Humus %	Karbonat %	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität
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

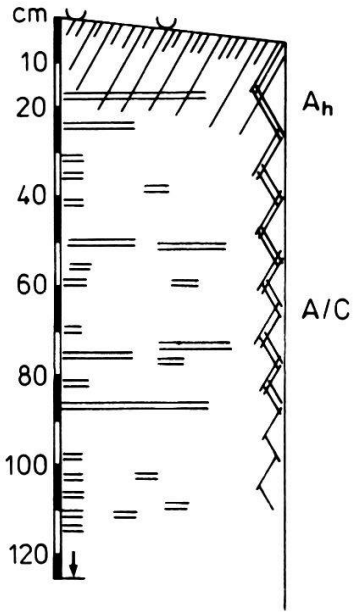


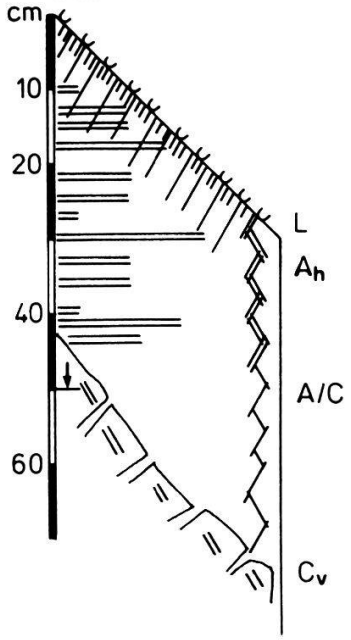
Abb. 14. Profilbeschreibung (Fortsetzung)

Profil 212: Mülitobel, Gde. Kyburg ZH

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

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

Tiefe cm	Sand %	Schluff %	Ton %	Humus %	Karbonat %	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität
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				



Profil 211: Mülitobel, Gde. Kyburg ZH

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

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

Tiefe cm	Sand %	Schluff %	Ton %	Humus %	Karbonat %	pH-Wert	scheinbare Dichte	reelle Dichte	Porosität
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				

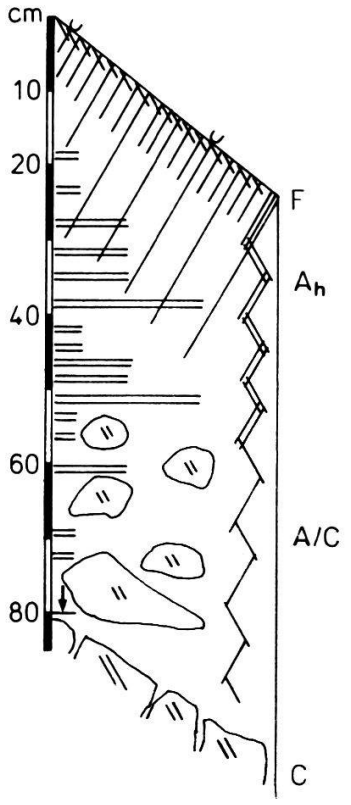


Abb. 14. Profilbeschreibung (Fortsetzung)

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 $dm^3\ m^{-2}$ ≙ 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.

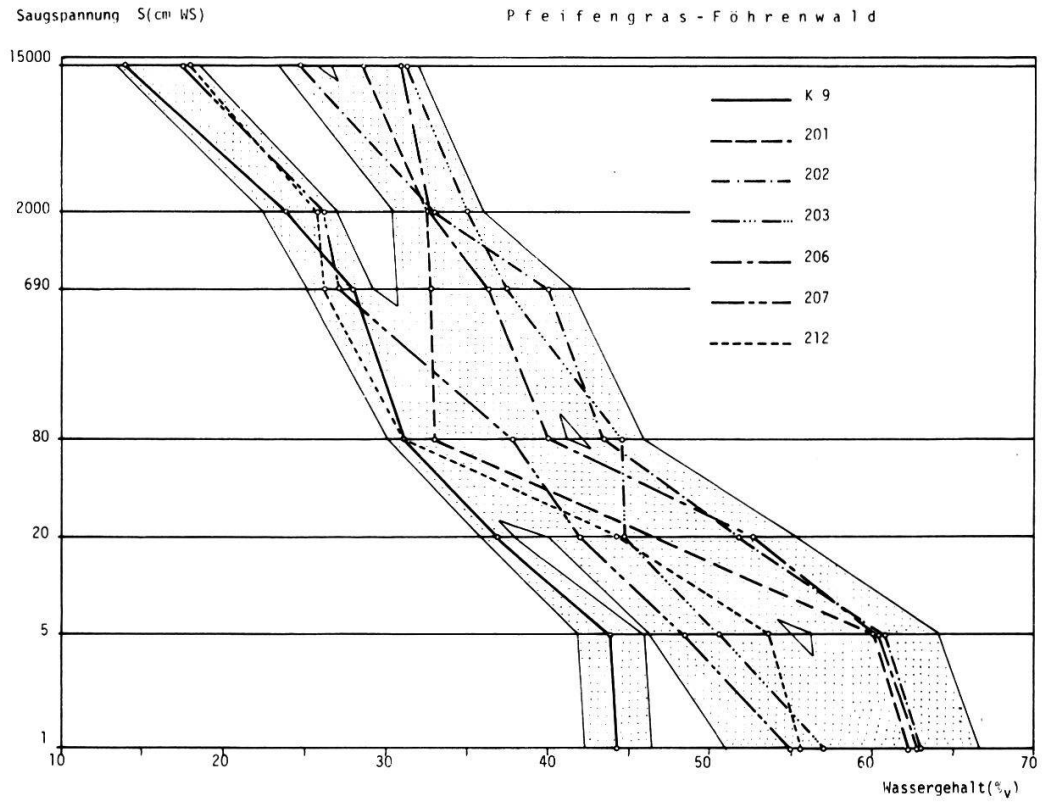
Saug-span-nung WS cm	Profil K5 Kyburg		Profil 201 Effingen		Profil 202/203 Bürersteig			
	25 - 25 cm		1 - 11 cm		3 - 13 cm		25 - 35 cm	
	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)	W(%v)	W(%g)
1	44.25 ±2.06	32.30 ±1.50	62.24 ±4.36	49.09 ±3.44	63.19 ±3.52	69.82 ±3.89	56.97 ±2.73	34.68 ±1.66
5	43.81 ±2.00	31.98 ±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

Saug-span-nung 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.

Saug-span-nung WS cm	Profil K9 Kyburg 20 - 30 cm		Profil 204/205 Bürersteig 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

Saug-span-nung WS cm	Profil 208 Girstel II 10 - 20 cm		Profil 209/210 Girstel III 10 - 20 cm		50 - 70 cm		Profil 211 Mülitobel 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 ±9.32	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



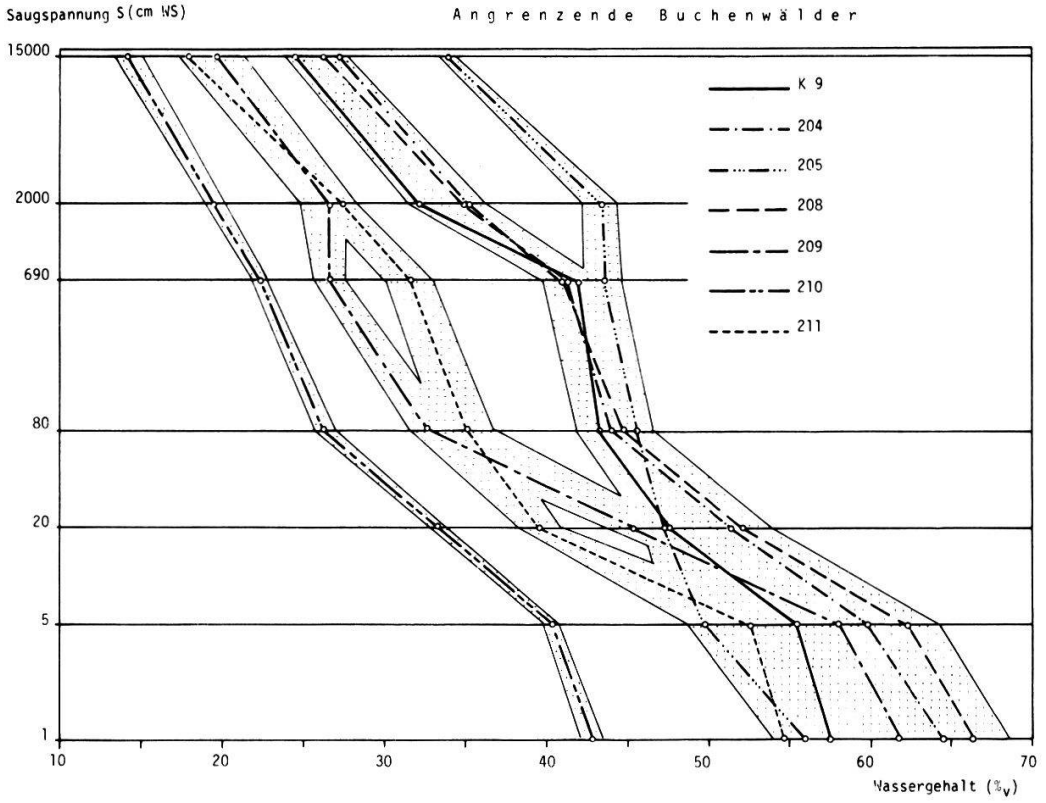


Abb. 15. Desorptionskurven aus Profilen unter Pfeifengras-Föhrenwäldern (oben) und angrenzenden Buchenwäldern (unten). Streuung der Mittelwerte punktiert.

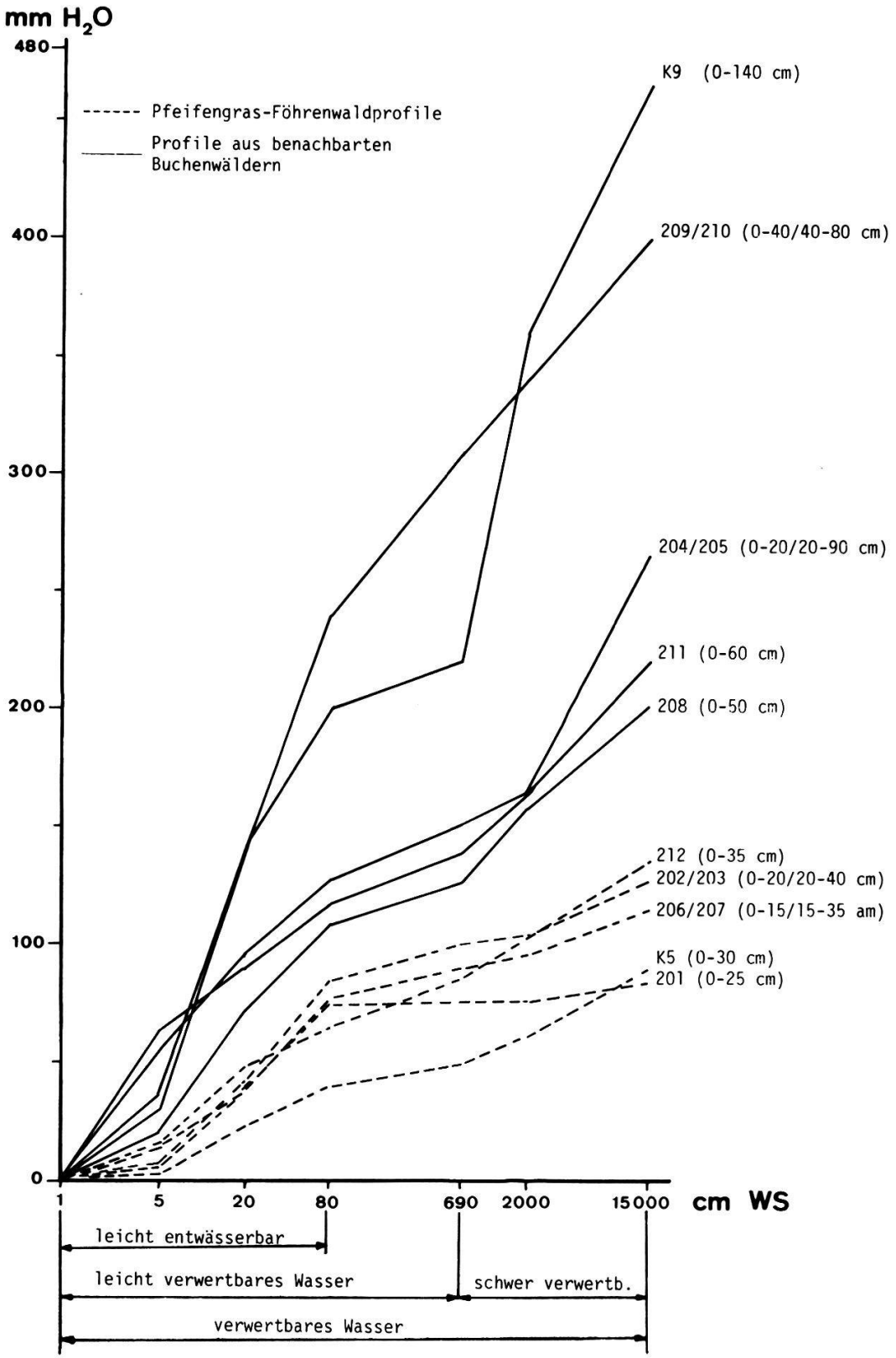


Abb. 16. Theoretisch speicherbare Wassermenge unter der vereinfachten Annahme, der Boden sei mit Wasser gesättigt. In Klammern: Horizontmächtigkeit. Erläuterung im Text.

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, Pfeigengras-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 höhern 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.

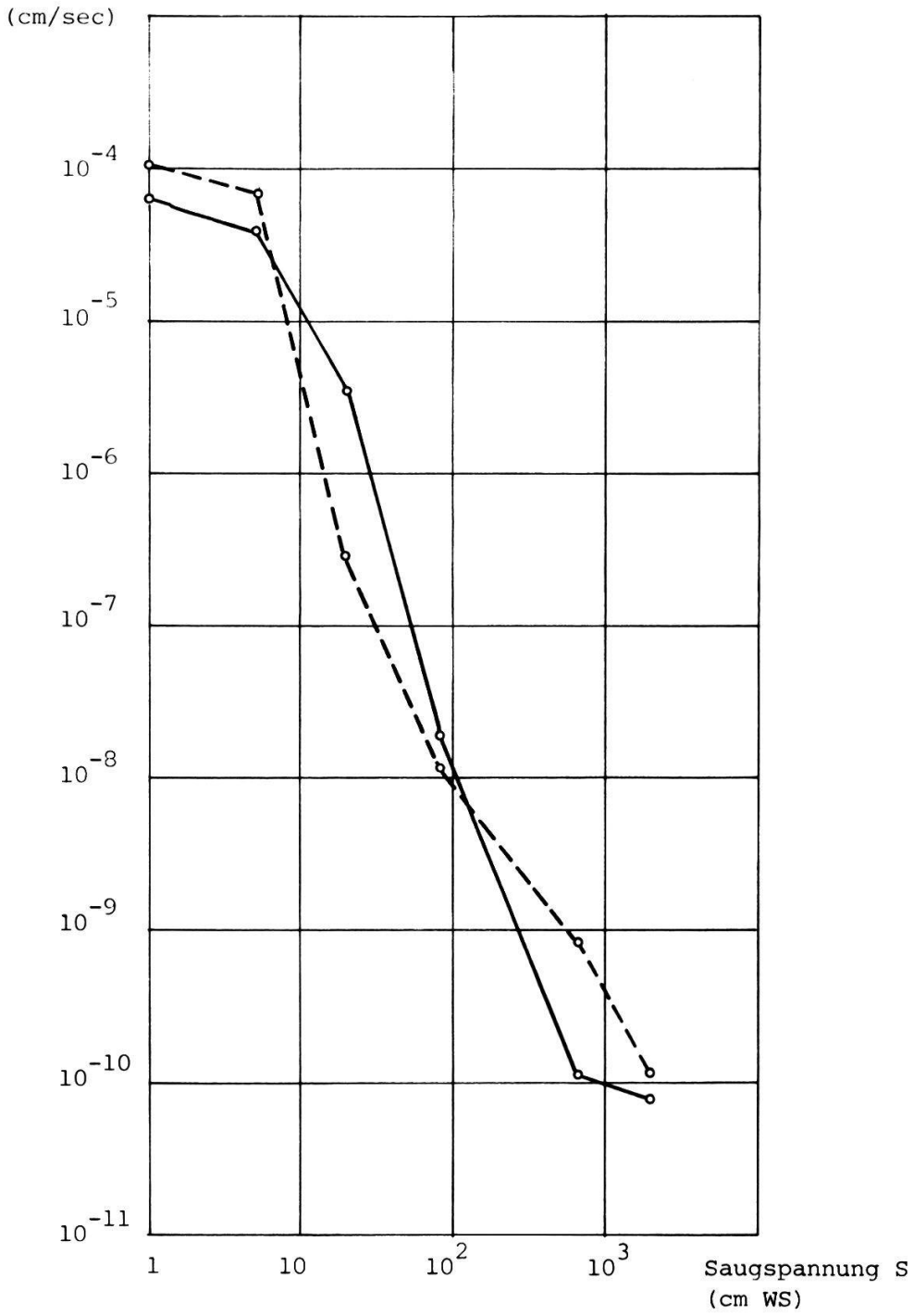


Abb. 17. Nach MARSHALL (1958) berechnete und mit mf = f(Silt) korrigierte k(S)-Kurven der Profile Mülitobel
ausgezogen: Profil 212, 20 - 30 cm, *Molinio-Pinetum*
gestrichelt: Profil 211, 15 - 25 cm *Carici-Fagetum*

5.2.5. *Verlauf der Saugspannung der Profile Mülitobel (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.

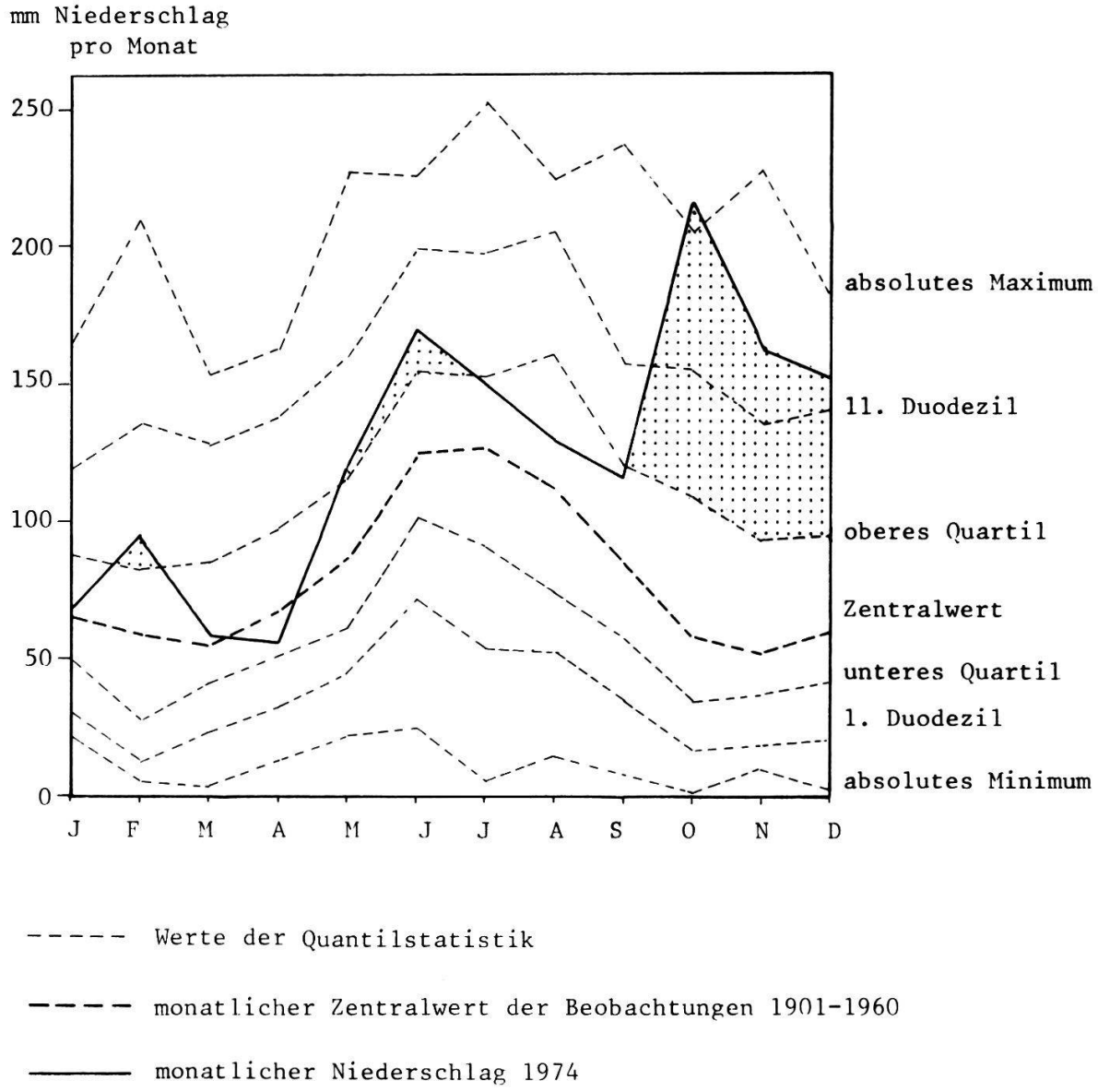


Abb. 18. Vergleich der monatlichen Niederschläge des Jahres 1974 mit der Quantilstatistik der Station Winterthur (UTTINGER 1966). Abweichungen vom obern Quartil punktiert.

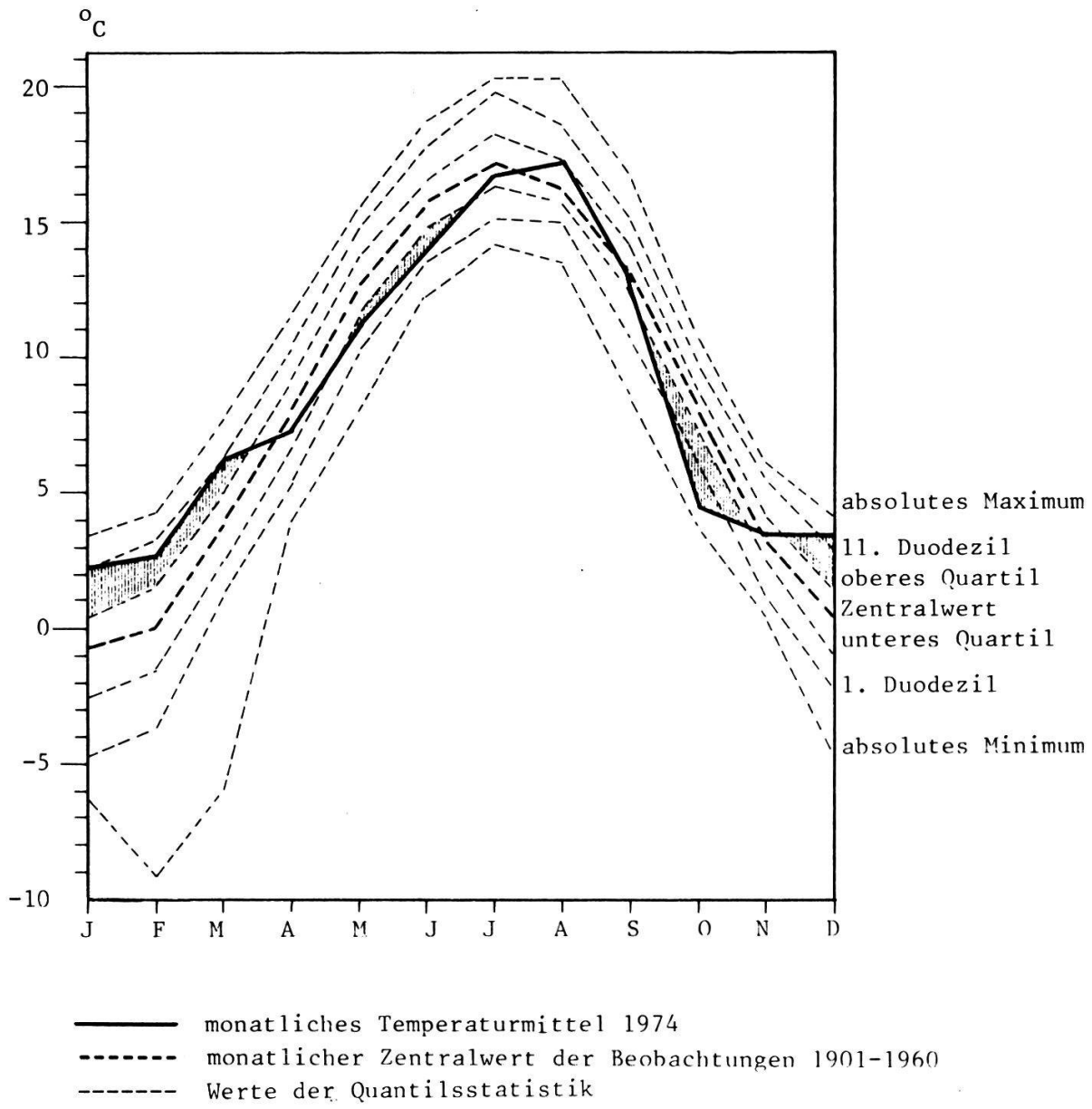


Abb. 19. Vergleich der monatlichen Temperaturmittel des Jahres 1974 mit der Quantilstatistik der Station Winterthur (SCHüEPP 1967). Abweichungen vom obern und untern Quartil schraffiert.

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.

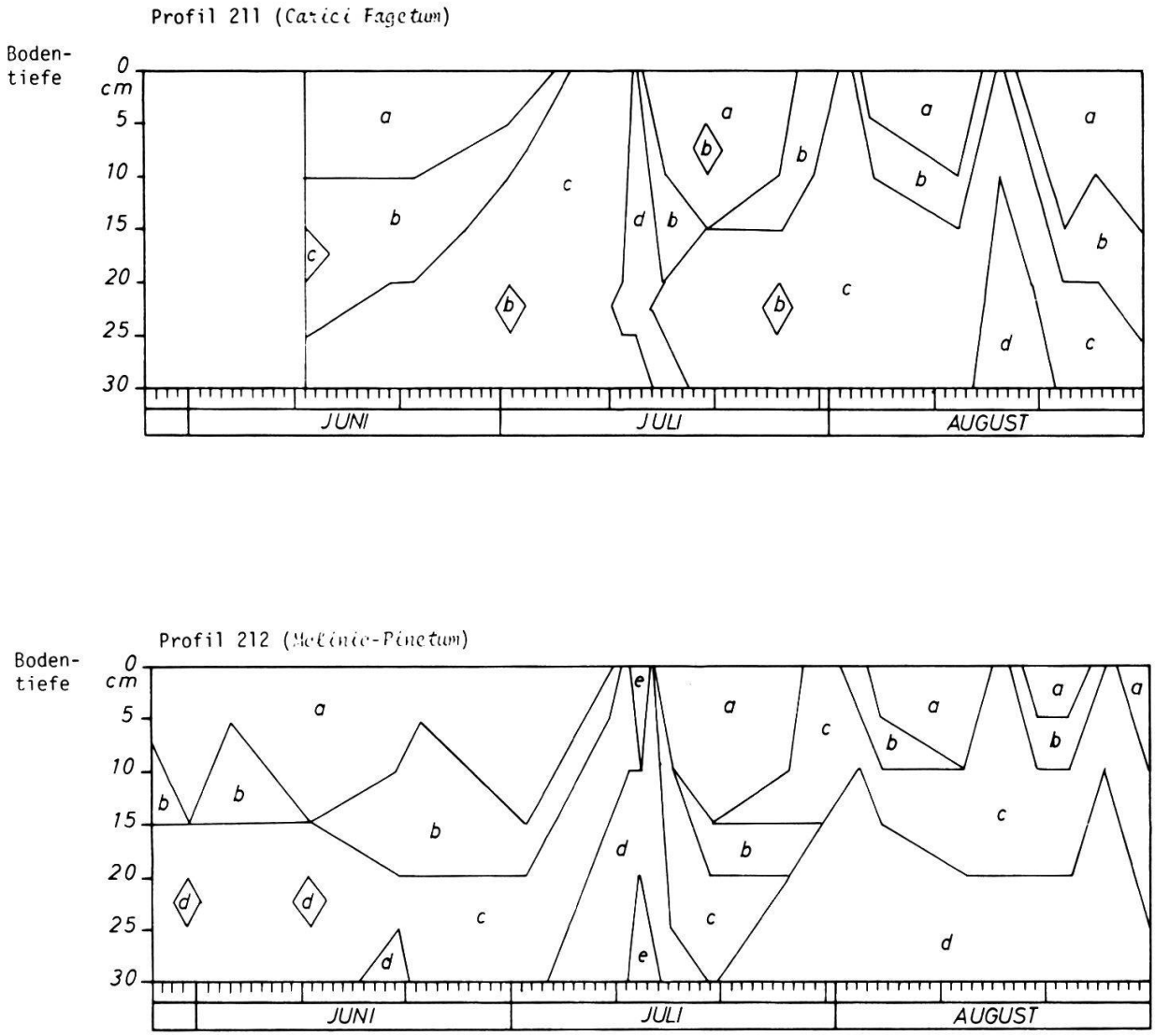


Abb. 20. Saugspannungsverlauf in den obersten 30 cm der Profile 211 und 212 in den Monaten Juni bis August 1974.
a = 80 cm WS, b = 80 - 690 cm WS, c = 690 - 5000 cm WS,
d = 5000 - 15000 cm WS, e = über 15000 cm WS.

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 (≙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

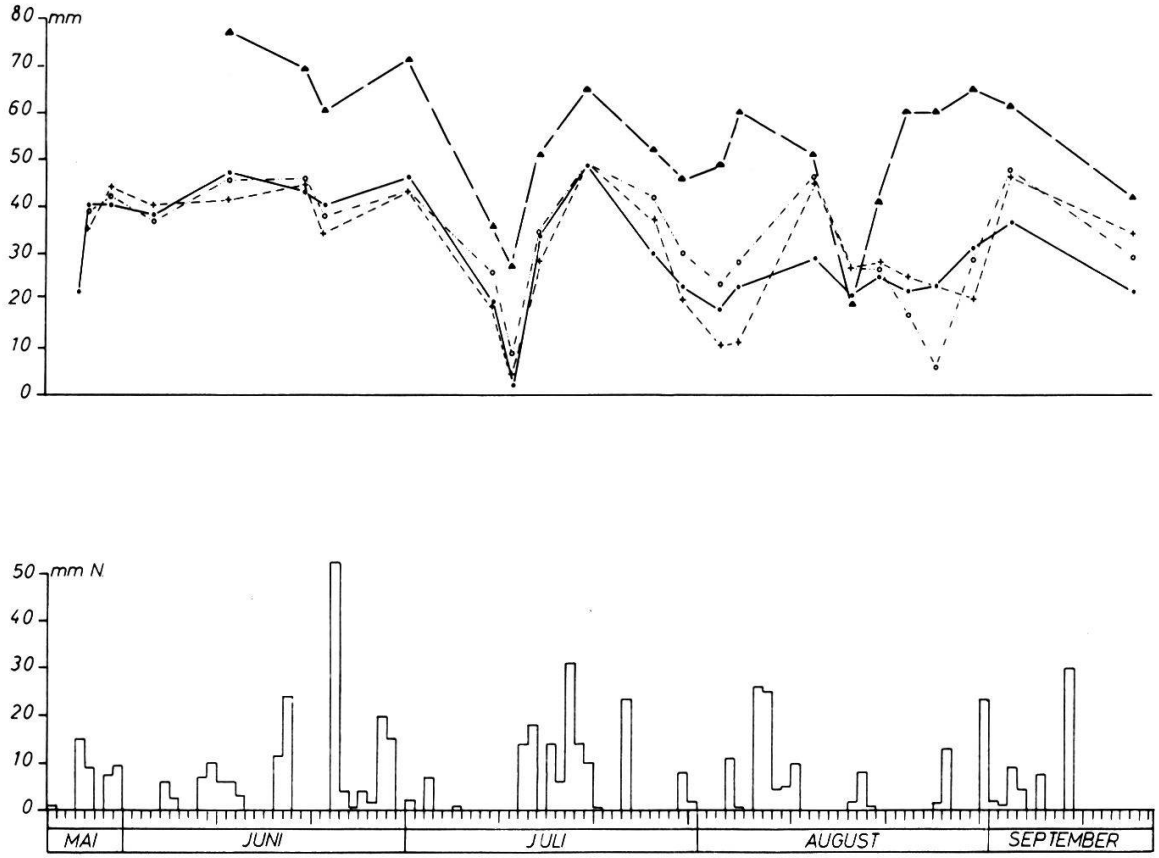


Abb. 21. Verfügbares Bodenwasser in den Profilen 211 (*Carici-Fagetum*) und 212 (*Molinio-Pinetum*) und Niederschläge der Station Winterthur, 1974.

——▲—— 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)

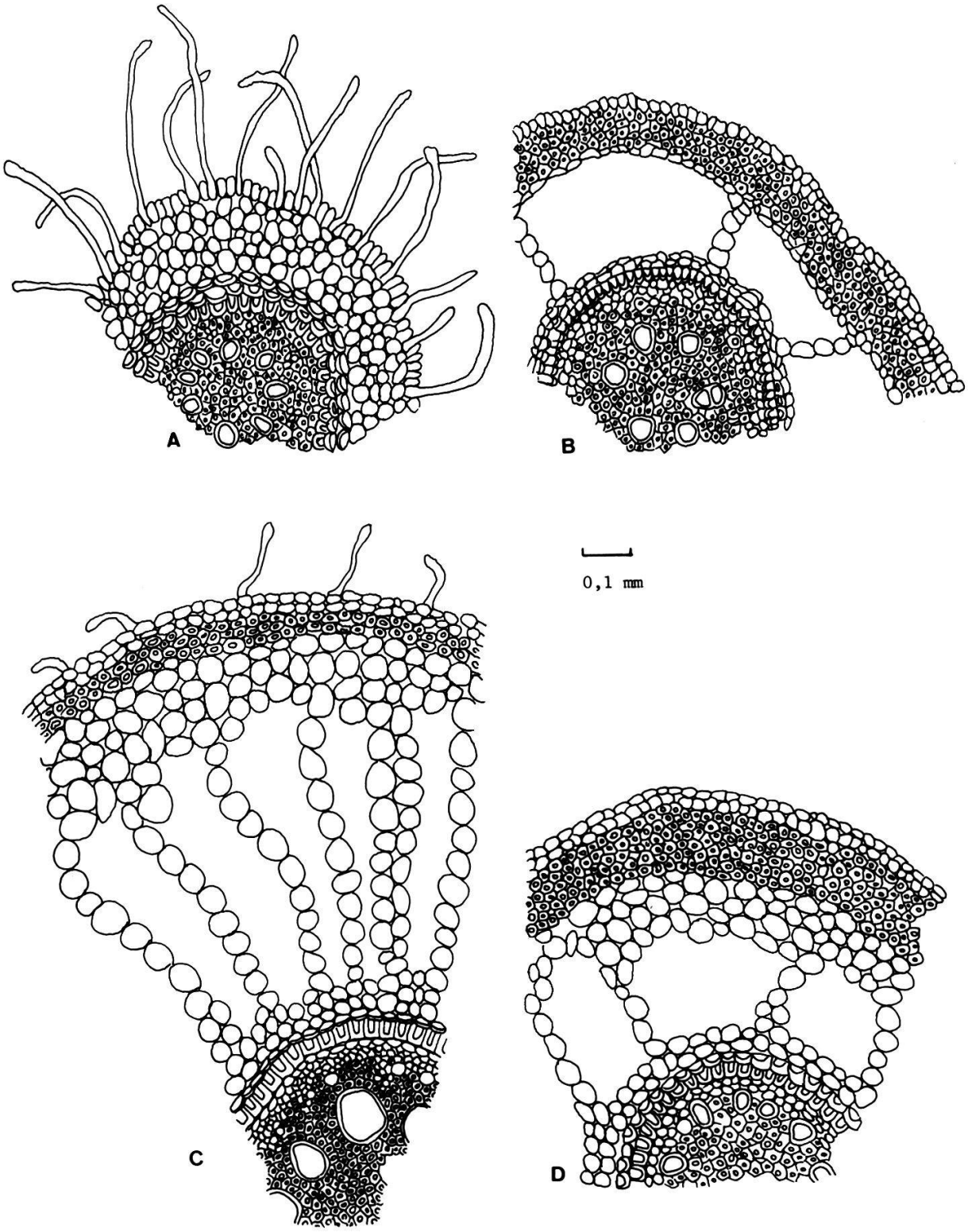


Abb. 22. Wurzelquerschnitte einiger Graminoiden aus dem Pfeifengras-Föhrenwald (beim Profil 212). A = *Brachypodium pinnatum*, B = *Carex flacca*, C = *Molinia litoralis*, D = *Calamagrostis varia*.

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:

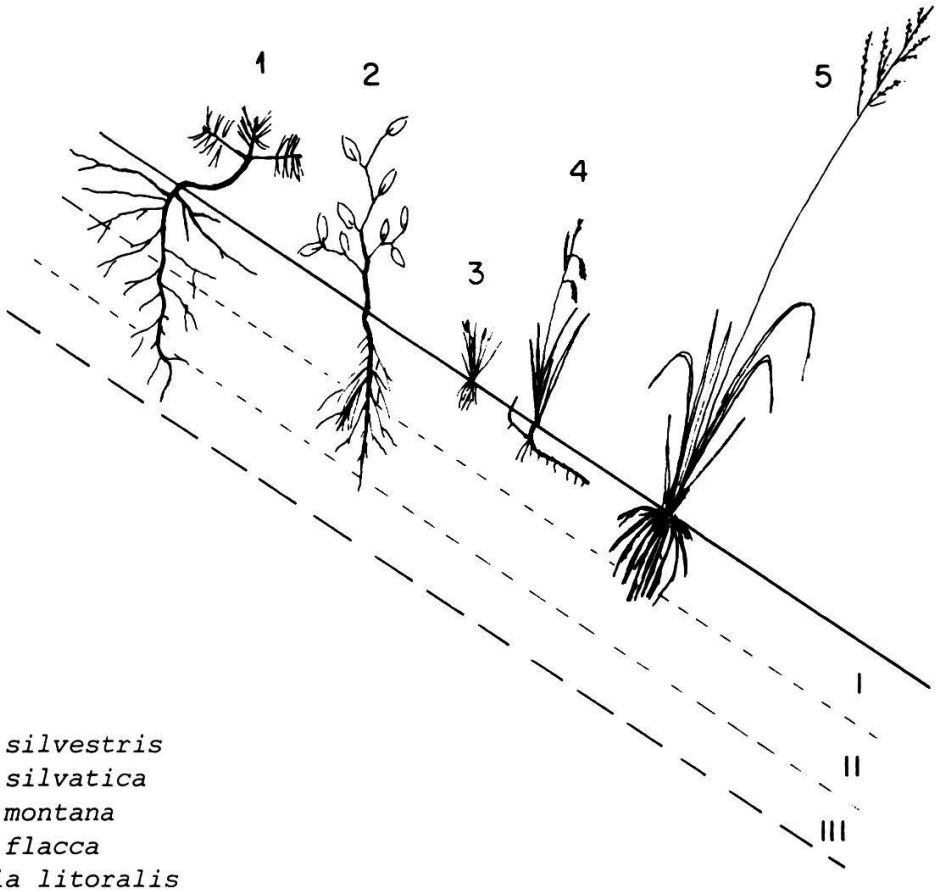
Profil 212	8.8.1975	28.6.1976	7.7.1976
0- 5 cm	über 15 atm	12 atm	über 15 atm
5-10 cm	14 atm	13 atm	über 15 atm
10-15 cm	7 atm	über 15 atm	über 15 atm
15-20 cm	über 15 atm	über 15 atm	über 15 atm
20-25 cm	über 15 atm	über 15 atm	über 15 atm
25-30 cm	über 15 atm	über 15 atm	über 15 atm

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).



1 *Pinus silvestris*
2 *Fagus silvatica*
3 *Carex montana*
4 *Carex flacca*
5 *Molinia litoralis*

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,

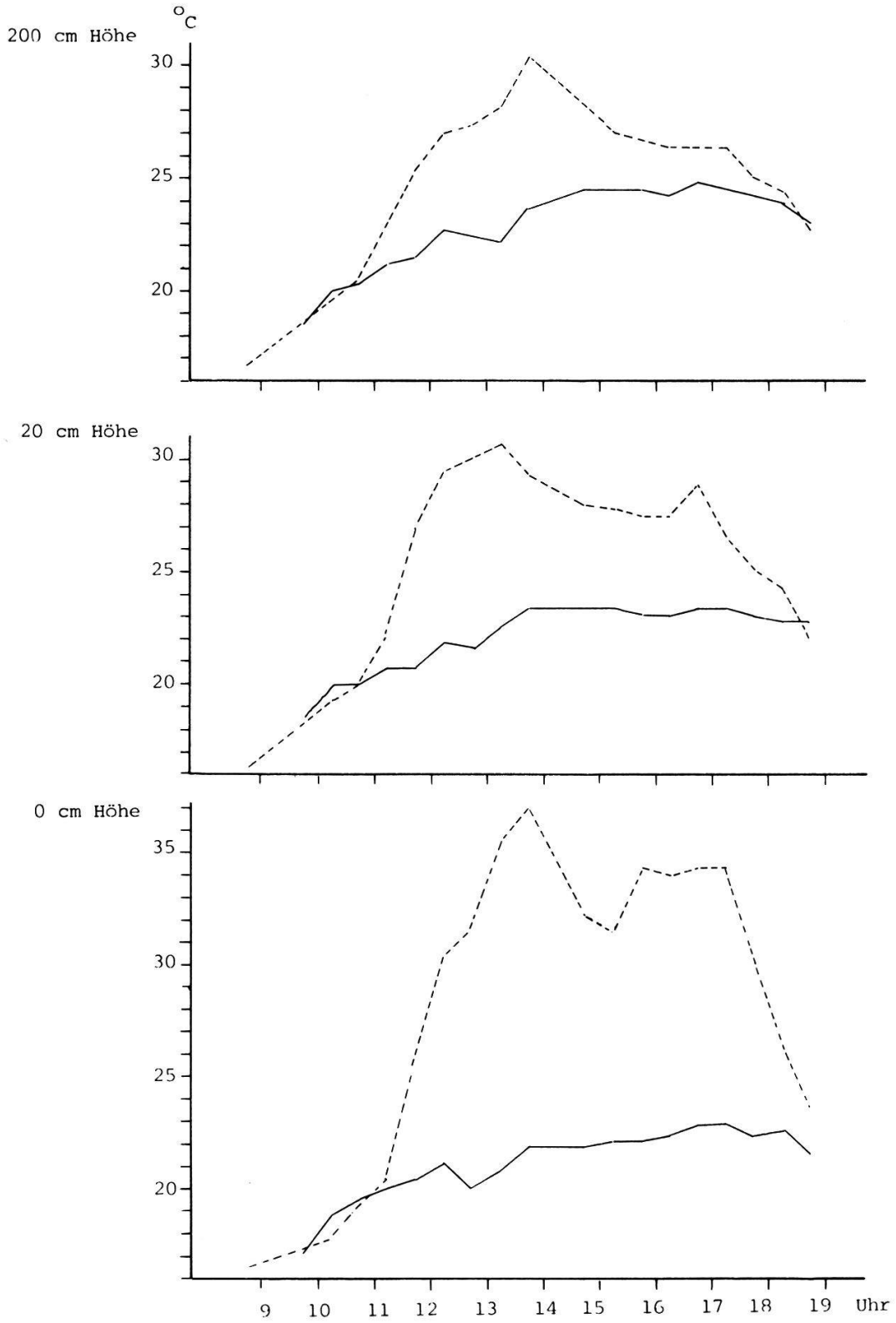
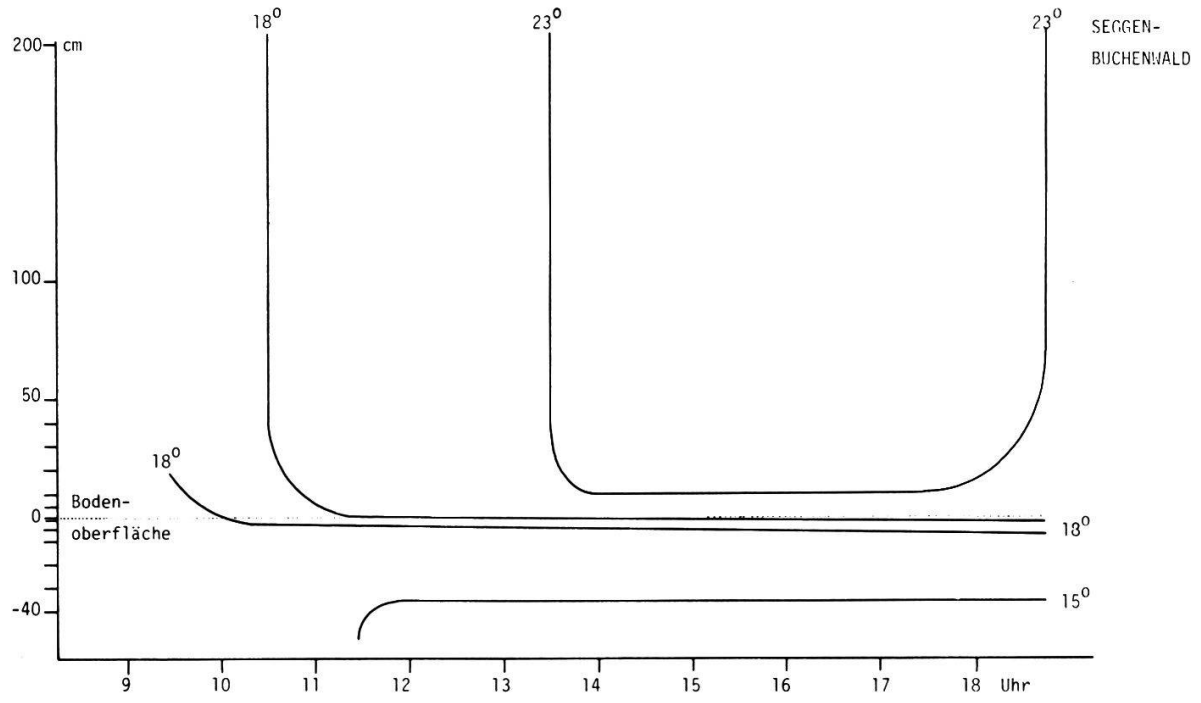


Abb. 24. Gang der Temperaturen am 7. August 1975 im Mülitobel in verschiedenen Höhen.
Ausgezogene Linien = Seggen-Buchenwald, gestrichelte Linien = Pfeifengras-Föhrenwald.



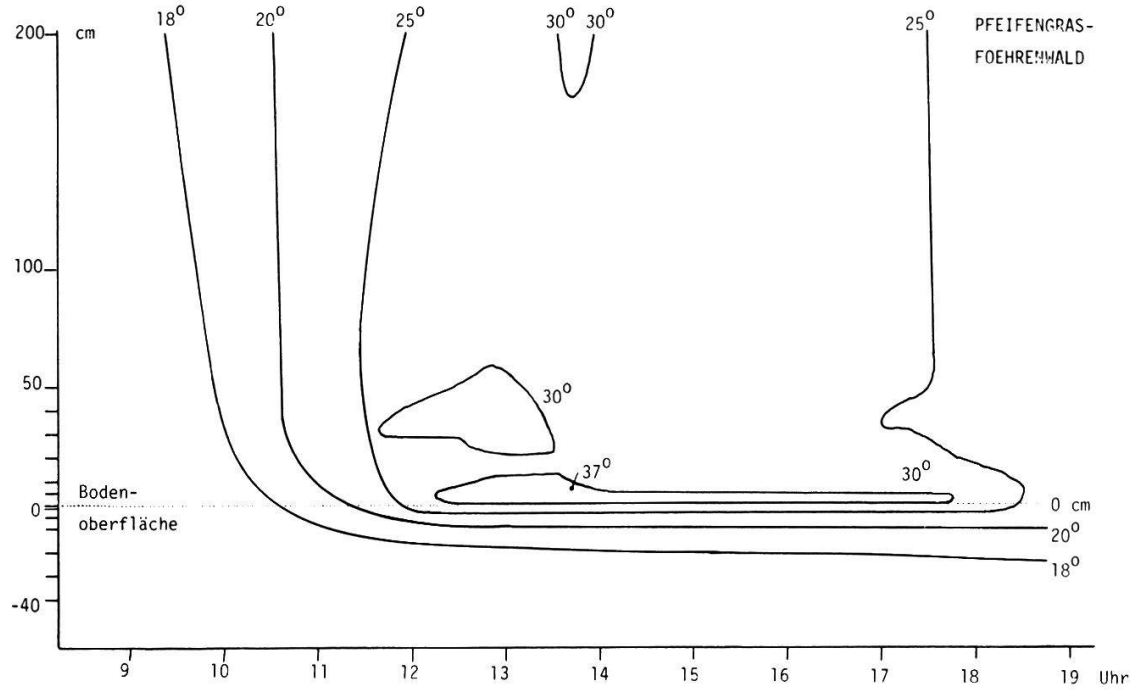


Abb. 25. Temperaturtautochoren in °C im Pfeifengras-Föhrenwald (oben) und im Seggen-Buchenwald (unten). Profile 212 bzw. 211.
7. August 1975, Strahlungstag. Y-Achse = Entfernung von der Bodenoberfläche.

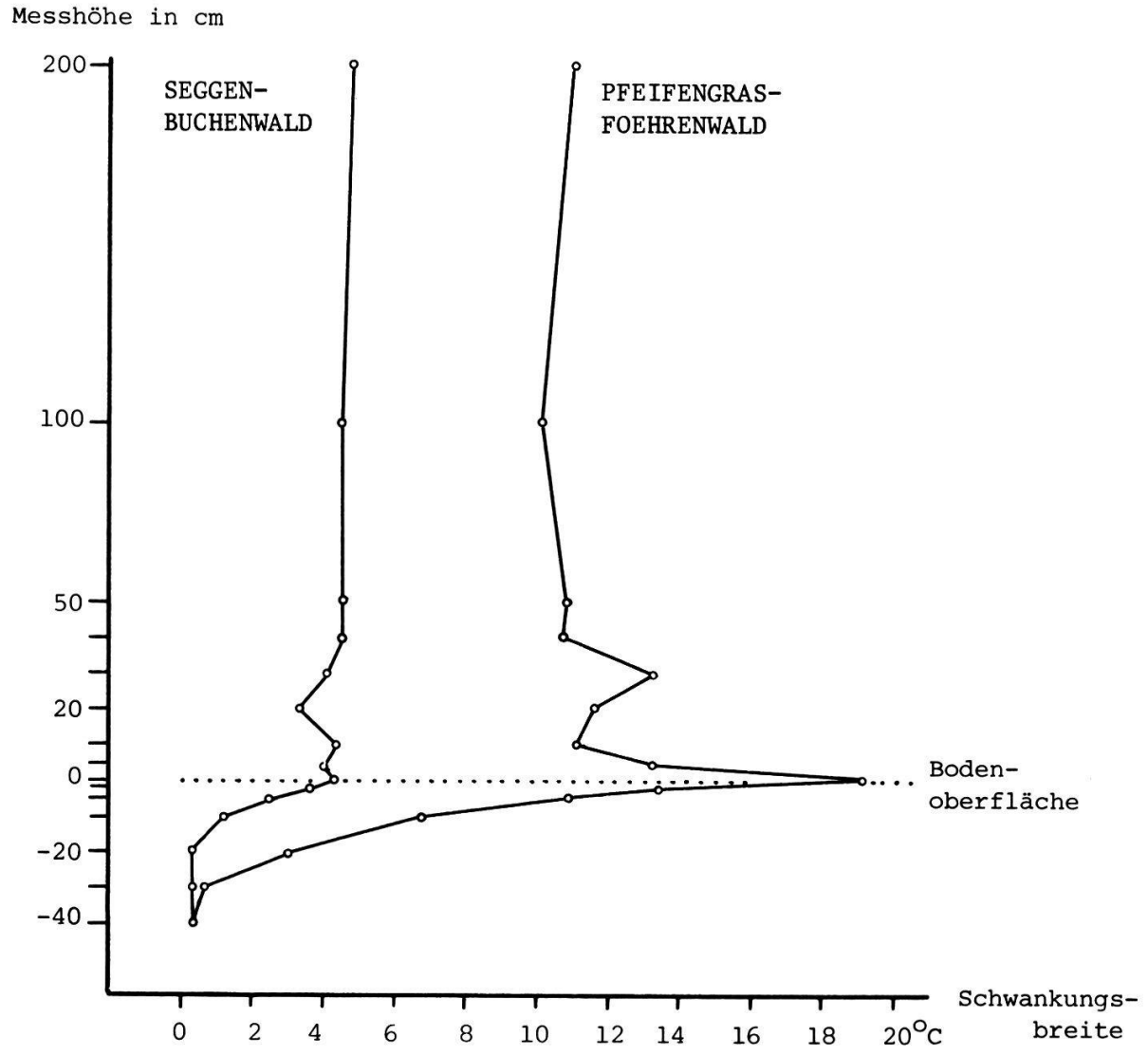


Abb. 26. Differenzen zwischen höchster und tiefster Messung der Temperatur zwischen Auf- und Untergang der Sonne (7.8.1975)

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°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 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 Waldföhre eine stresstolerante Art, wie auf Grund des folgenden Vergleichs in Anlehnung 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

Der Ausdruck "Allzeit-Bereit-Strategie" für die Föhre nach KLöTZLI (1975) und BURNAND (1976) bezieht sich auf Photosynthese und Nährstoffaufnahme. Quantitativ braucht ein Buchenbestand unter sonst vergleichbaren Bedingungen mehr Nährstoffe als ein Föhrenbestand (DENGLER 1930, OVINGTON 1962, RENNIE 1957, LEYTON 1958). Die Föhre weist einen inneren Nährstoffkreislauf auf gegenüber einem äussern der Laubbäume wie der Buche (KREBS 1972 nach OVINGTON 1965), wodurch die Föhre unter ungünstigen Nährstoffverhältnissen bevorteilt ist. Die Föhre transpiriert dementsprechend weniger Wasser, um 1 g Trockensubstanz zu erzeugen: 110 g gegenüber 1043 g der Buche (n. HORTON 1932 aus KLöTZLI 1968b).

Eine stresstolerante Art braucht nicht gegen jede Art von Stress tolerant zu sein. So ist die Waldföhre zum Beispiel empfindlich gegen Beschattung. Dafür weist sie einen weit höheren Lichtsättigungswert auf als Laubbäume (DEKKER 1944 aus CARLISLE und BROWN 1968). voller Lichtgenuss von 64'100 footcandles (690'000 Lux) ergibt maximale Photosyntheserate pro Blatt). Auch zeigt sie eine vernachlässigbar kleine Mittagsdepression der Photosyntheserate (POLSTER 1950 aus CARLISLE und BROWN 1968). Die Föhre kann bei geeigneten Bedingungen auch im Winter assimilieren (Lit. in CARLISLE und BROWN 1968).

Das opportunistische Verhalten der Waldföhre erlaubt ihr, noch auf extremen Standorten zu gedeihen, die den Wettbewerbsarten wie der Buche verschlossen bleiben. Andererseits wird die konkurrenzschwache Föhre von Standorten, welche von Wettbewerbsarten besiedelt und dominiert werden, am Aufkommen gehindert. Dabei spielt wohl nicht zuletzt die Beschattung der Jungföhren eine Rolle. Zwar kann die Föhre auf lichten Flächen keimen und dank ihres raschen Wachstums bis in die Baumschicht vorstossen. Sind aber daneben stark schattende Hölzer wie die Buche aufgekommen, so verjüngt sich die Föhre nicht. Natürlicherweise bildet sie nur dort Bestände mit regelmässiger Verjüngung, wo konkurrenzkräftigere Baumarten sich nicht durchzusetzen vermögen.

6.2. *Zur Entstehung von Pfeifengras-Föhrenwäldern*

Es konnten zwei verschiedene Entstehungsarten festgestellt werden. Einmal hat der Mensch an manchen Stellen durch Humus- oder Mergelabbau bzw. durch Bewirtschaften (s. ZOLLER 1954) Bedingungen geschaffen, die auf Mergel nur noch Pioniergesellschaften das Wachstum erlauben. Dazu gehören die Unter-

suchungsorte Effingen (*Molinio-Pinetum silvestris*, Variante mit *Genista tinctoria*) und Uewachs bei Kloten (Variante mit *Epipactis palustris* und Variante mit *Listera ovata*), beides mehr oder weniger ebene Lagen.

Die zweite Möglichkeit, wie Pfeifengras-Föhrenwälder entstehen können, ist auf Steillagen beschränkt. An Stellen, wo der Boden natürlicherweise (durch Bacherosion und nachfolgendes Abrutschen der Flanke beispielsweise oder durch Mergelfliessen wie am Bürersteig) erodiert wird oder wo der Mensch durch Hanganschnitt beim Strassenbau einen Oberbodenverlust bewirkt (z.B. Schlosshalde bei Kyburg), kommt wenig oder gar nicht verwitterter Mergel zu Tage.Darauf findet die Sukzession statt, die beim Pfeifengras-Föhrenwald oft abgeschlossen ist (vgl. Abb. 27). Je nach den ökologischen Gegebenheiten tritt der Pfeifengras-Föhrenwald in verschiedenen Varianten auf. Ihnen allen aber fehlt die Buche in der Baumschicht. Nur auf Unterlagen, die neben Mergel einen verhältnismässig grossen Anteil an Sand aufweisen (z.B. Diebis am Uetliberg) können sich Böden entwickeln, deren Gründigkeit für Laubwälder, in der Regel Buchenwälder, ausreicht.

6.3. *Pfeifengras-Föhrenwald als Dauergesellschaft*

Die Entwicklung eines Bodens ist eng mit der darauf stattfindenden Pflanzensukzession verknüpft. Die fortschreitende Bodenentwicklung veranlasst eine Veränderung der Pflanzendecke, indem der Boden in der Regel die Einflüsse des Muttergesteins abschwächt und ganz generell das Gedeihen der Mikroorganismen und der höheren Pflanzen erleichtert. Die Pflanzen beeinflussen ihrerseits die Bodenbildung, indem sie beispielsweise die Klimaeinflüsse, die Wasserführung sowie bestimmte chemische und physikalische Eigenschaften des Bodens verändern.

Unter normalen Bedingungen führen diese Wechselwirkungen mit der Zeit zur grossklimatisch bedingten Schlussgesellschaft, der Klimax. Wenn aber Störgrössen den vollständigen Ablauf der Sukzession bzw. der Bodenentwicklung verhindern, entwickelt sich eine Dauergesellschaft. In diesem Fall übt ein Umweltfaktor eine derart bestimmende Rolle aus, dass weitere Reifungsprozesse überlagert oder verunmöglicht werden. Bekannte Beispiele solcher Störfaktoren sind Mahd, alljährliche Ueberflutung während der Vegetationszeit oder Lawinenniedergänge.

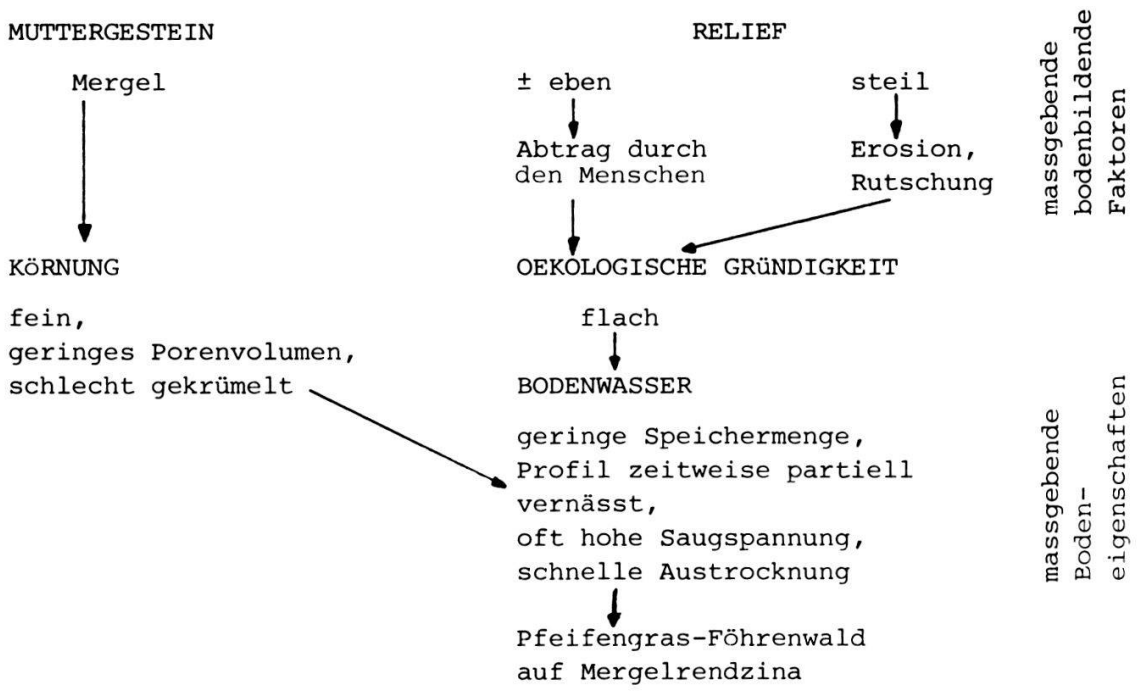


Abb. 27. Bedingungen für das Entstehen eines Pfeifengras-Föhrenwaldes.

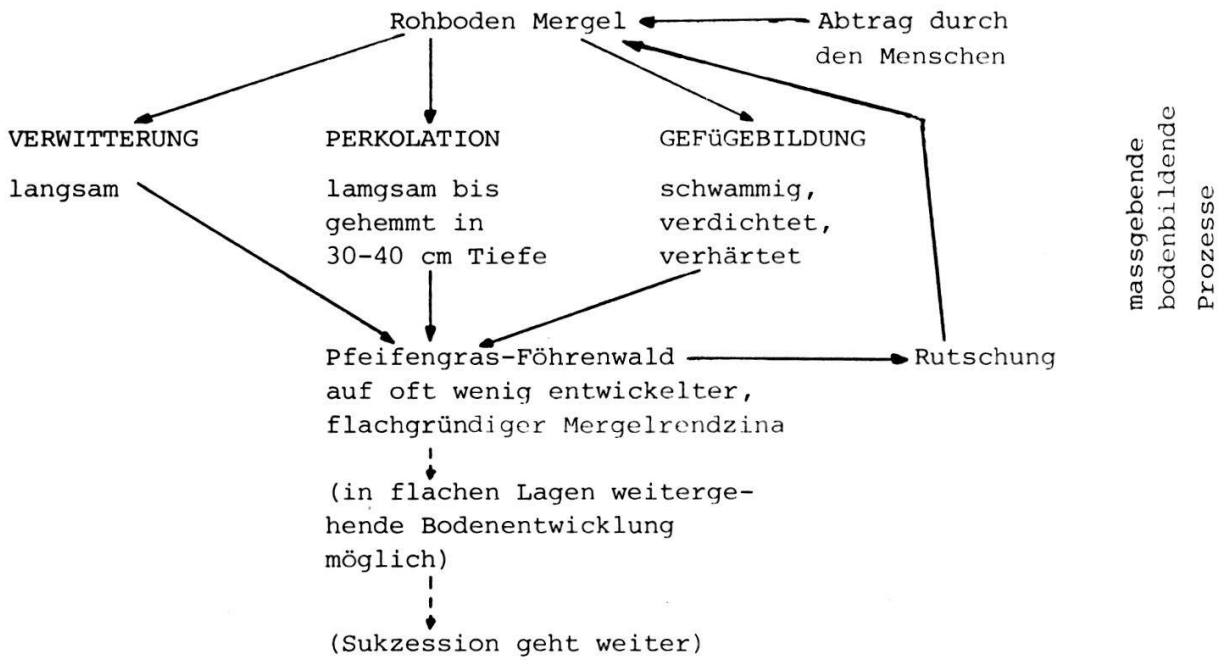


Abb. 28. Der Pfeifengras-Föhrenwald als Dauergesellschaft.

Der Pfeifengras-Föhrenwald zählt ebenfalls zu den Dauergesellschaften. Die in ebenen Lagen weiter fortschreitenden bodenbildenden Prozesse sind hier verlangsamt bzw. beeinträchtigt, ja werden oft wieder rückgängig gemacht wie z.B. bei Rutschungen. Das gibt zu Rotationen in der Sukzessionsfolge Anlass: Rohboden - Initialrasen - Pfeifengras-Föhrenwald - Rohboden etc.

Es sollen nun die Prozesse der Bodenbildung auf ihre Wirksamkeit im Pfeifengras-Föhrenwald diskutiert werden. Die Verwitterung verläuft beim Mergel an sich schon sehr langsam, verglichen z.B. mit einer Moräne als Ausgangsgestein. Wie aus Abb. 20 ersichtlich, kann das Wasser in den tieferen Bodenschichten periodisch knapp werden, was einer intensiveren Zersetzung des Muttergesteins entgegenwirkt.

Die Mullbildung ist im Profil möglich (vgl. Abb. 14). Die Humusbildung wird durch nasse Bedingungen erleichtert, was in den oberen, meist feuchten bis nahezu gesättigten Schichten der Profile festzustellen war. Der an Steilhängen erwartete Verlust an Humus durch Erosion wird durch die dachziegelartige Lagerung der toten Gräser eingeschränkt.

Das Gefüge schliesslich ist nicht stabil. Das Schwammgefüge der Mergelrendzina schwankt bedingt durch den hohen Gehalt an Ton- und Schluffteilchen zwischen plastischer Konsistenz im Nasszustand und äusserster Härte in Trokkenzeiten.

Dies alles erlaubt nur eine langsame, kaum mehr fortschreitende Bodenbildung, die in Kombination mit Rutschen oder durch umgestürzte Föhren freigelegte Muttergesteinsflächen eine Bodenreifung zu einem tiefgründigen, gut durchlüfteten, stabilen Boden mit günstiger Wasserversorgung verhindert. Der Boden bleibt in einem Initialstadium stehen.

6.4. *Die buchenhemmenden Faktoren im Pfeifengras-Föhrenwald*

Die Wuchsbedingungen für die Buche sind in den Pfeifengras-Föhrenwäldern sehr ungünstig. Sie keimt zwar, weist auch eine genügende Mykorrhizierung auf (FROIDEVAUX mdl.), kann aber infolge der ökologischen Bedingungen höchstens zu Strauchhöhe, meist aber nur bis 30 - 40 cm Höhe aufwachsen. Anhand der Knospenspuren konnte festgestellt werden, dass solche Kümmerbuchen bis gegen dreissig Jahre alt werden. In Abb. 29 sind die Wuchsbedingungen für diese Buchen aufgezeichnet. In analoger Weise gilt dieses vereinfachte Schema auch für andere Pflanzen.

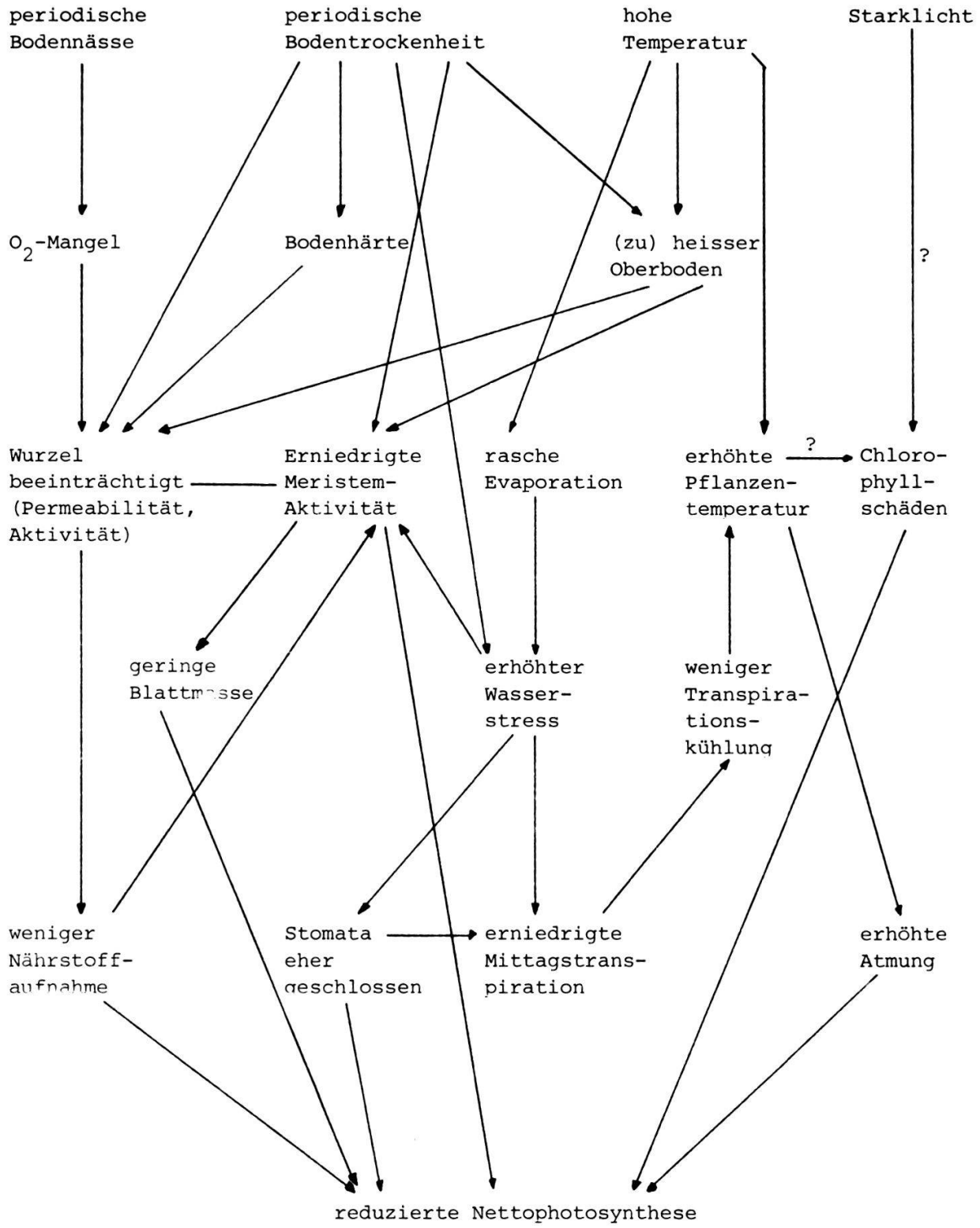
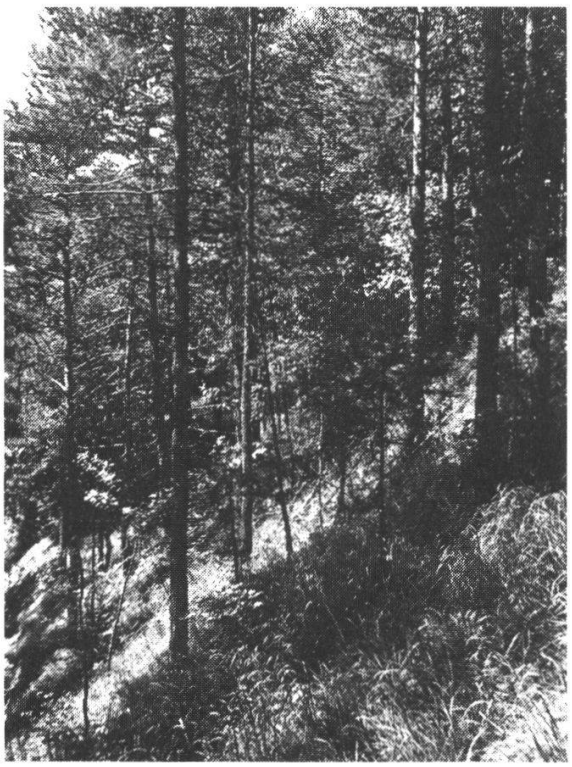


Abb. 29. Theoretisches Wirkungsnetz zur Frage, warum die Buche im Pfeifengras-Föhrenwald nicht bis in die Baumschicht aufwächst (in Anlehnung an FRITTS et al. 1971).

a



b

c

d

Abb. 30. Bilder aus Pfeifengras-Föhrenwäldern.
a. Anthropogenes *Molinio-Pinetum* (Uewachs ZH). b. Natürliches *Molinio-Pinetum* (Mülitobel ZH). c. Anriss in einem *Molinio-Pinetum*, beginnende Stabilisierung durch *Sesleria coerulea* (Immenberg TG).
d. Kleine, ca. 16-jährige Buche im *Molinio-Pinetum* (Schlosshalde ZH).

Wie durch Ausgraben festzustellen war (vgl. Abb. 23), sucht die Buche zwar mit ihren Wurzeln die in Bezug auf die Wasserführung günstigsten mitteltiefen Bodenbereiche auf, d.h. sie wurzelt nicht in den oft sehr nassen Schichten. Dagegen wird sie immer wieder den schädigenden Bedingungen grosser Trokkenheit ausgesetzt. Dadurch wird das Wurzelwachstum und indirekt also auch die Ausbildung einer grossen Blattmasse behindert.

An Süd- bis Westhängen ist das Klima, dem die Assimilationsorgane der Buche ausgesetzt sind,im Sommer oft heiss, sodass im Zusammenwirken mit Trokkenheit ihre Produktionskraft eingeschränkt wird. Die Blätter sind neben der Wärme- auch der Lichtstrahlung direkt ausgesetzt, was nach MONTFORT und KRESSRICHTER (1950) zu Chlorophyllschäden führen soll. In der Jugend ist die Buche eine Schattenpflanze, sie wird deshalb durch extreme Licht- und Temperaturbedingungen besonders beeinträchtigt. Darauf weisen auch die brüchigen und gelben Blätter hin, die sie im Pfeifengras-Föhrenwald ausbildet.

Ebensowenig wie Esche, Eiche oder Ahorn kann die Buche im Pfeifengras-Föhrenwald zur dominierenden Baumart werden, weil sie den herrschenden ökologischen Gegebenheiten schon physiologisch nicht angepasst ist. Dafür kann sich die anspruchslose und stresstolerantere Waldföhre durchsetzen.

Zusammenfassung

Natürliche und anthropogene Pfeifengras-Föhrenwälder wurden im Schweizer Mittelland pflanzensoziologisch und bodenkundlich untersucht.

Neben eigenen wurden bereits veröffentlichte Aufnahmen beigezogen,und so war es möglich,die Gesellschaft wie folgt zu gliedern:

a) *Molinio-Pinetum,* Subassoziation mit *Bromus erectus*
   1) *Epipactis palustris* - Variante
   2) *Listera ovata* - Variante
   3) *Genista tinctoria* - Variante
   4) *Sanguisorba minor* - Variante

b) *Molinio-Pinetum*, Subassoziation mit *Laserpitium latifolium*
   5) Typische Variante
   6) *Geranium sanguineum* - Variante
   7) *Parnassia palustris* - Variante

Die Varianten 1 bis 3 sind offene, lichte Wiesenföhrenwälder. Die Variante 4 beruht auf mit einer ungewohnten Technik aufgenommenen Aufnahmen und kann daher nicht verglichen werden. Varianten 5 bis 7 sind die natürlichen Pfeifengras-Föhrenwälder an Steilhängen des nordöstlichen Schweizer Mittellandes. Die Variante 6 zeigt trockenere Bedingungen als die typische Variante, ist aber ebenfalls vornehmlich süd- bis westexponiert. Die Variante 7 besiedelt sickerfeuchte Stellen an nördlich ausgerichteten Steilhängen der Albiskette.

Allen Pfeifengras-Föhrenwäldern ist gemeinsam, dass die Buche in der Baumschicht fehlt, obschon sie sonst als Klimaxart die Wälder dieser Höhenstufe beherrscht. Auf Grund vergleichender ökologischer Untersuchungen wurde der Schluss gezogen, dass die Pfeifengras-Föhrenwälder auf Mergelrendzinen stocken, die jünger und flachgründiger sind als die Böden der benachbarten Buchenwälder. Der Boden unter einem Pfeifengras-Föhrenwald entwickelt sich sehr langsam, durch Rutschungen an den Steilhängen wird der Oberboden gelegentlich wieder abgetragen, wonach erneut initiale Rasen die Sukzession beginnen, die bis zum *Molinio-Pinetum* führt. Die Buche keimt zwar in diesen Wäldern, sie wird auch bis gegen 30 Jahre alt, wird dabei aber selten über 50 cm gross. Zeitweise nasse Böden, die aber in regenarmen Perioden rasch profilumfassend stark austrocknen, behindern sie so stark, dass sie zeitlebens in der Krautschicht verbleiben muss. Der verantwortliche Faktor, der die Buche in ihrem eigenen Klimaxgebiet von den mit Pfeifengras-Föhrenwald bestockten Flächen ausschliesst, ist die Flachgründigkeit der Mergelrendzina, die verbunden mit den erwähnten Eigenschaften des Mergels anspruchsvollen Arten, insbesondere aber der Buche, ein normales Gedeihen nicht gestattet.

Summary

The present paper deals with phytosociological and pedological investigations in natural as well as anthropogenous forests of the *Molinio-Pinetum* from Swiss Midlands. The author's results having been compared with the previous data, the following classification of the *Molinio-Pinetum* is suggested:

a) subassociation with
   1) *Epipactis palustris* - variant
   2) *Listera ovata* - variant
   3) *Genista tinctoria* - variant
   4) *Sanguisorba minor* - variant

b) subassociation with *Laserpitium latifolium*
   5) typical variant
   6) *Geranium sanguineum* - variant
   7) *Parnassia palustris* - variant

The variants described under 1 - 3 represent open forests with well-developed herb layer containing numerous *Graminae* and *Cyperaceae*. The variant No. 4 cannot be fully compared to them, for a different method has been used for the resp. releves. The variants No. 5 - 7 are natural forests occurring on steep slopes of northwestern Swiss Midlands; the variant No. 6 appears on drier soils than the typical variant, but its exposure is most frequently the same, i.e. southern or western. The variant No. 7 occurs on N-exposed steep slopes within the ridge of Albis, in sites that are permanently wet due to seeping soil water.

All the studied variants are characterized by the absence of *Fagus silvatica* in the tree layer, in spite of the fact that the beech represents the climax forest species of colline and submontane zone within the studied area. The present investigations show that the *Molinia-Pinus* forests inhabit the marly rendzina that is younger and shallower than soils of the neighbouring forests of *Fagus*. Marly rendzina developes very slowly; its uppermost layer may sometimes be removed by landslides which results in recurrent successions. *Fagus silvatica* is able to germinate in the *Molinio-Pinetum*, its life span beeing about 30 years; however, only exceptionally grow the individuals taller than 50 cm and so they nearly always remain within the herb layer. The abnormally reduced growth is apparently caused by properties of the marl soil that may remain quite wet for some time, but rapidly manifests a strong water deficiency in dry periods. The shallowness of marly rendzina as well as the above mentioned qualities of the marl may accordingly be considered as principal factors responsible for the absence of *Fagus silvatica* in the *Molinia-Pinus* forests occurring within the climax zone of this species.

Literatur

AUSTIN, M.P., 1976: Performance of four ordination techniques assuming three different non-linear species response models. Vegetatio *33*, 43-49.

BäSCHLIN, K., 1945: Ueber den Föhrenwald. Mitt. Aarg. Naturf. Ges. *22*, 138-157.

BENZÉCRI, J.P., 1969: Statistical analysis as a tool to make patterns emerge from data. In: S. WATTANABE, Hrsg.: Methodologies of pattern recognition. New York Academic. 35-74.

- Hrsg., 1973: L'analyse des données. Dunod, Paris/Bruxelles/Montréal. I: La taxinomie. 615 S. II. L'analyse des correspondances. 619 S.

BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensoziologie. 3. Aufl. Wien. 685 S.

BRAY, J.R. und CURTIS, J.I., 1957: An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. Ecol. Monogr. *27*, 325-349.

BRüLHART, A., 1969: Jahreszeitliche Veränderung der Wasserbindung und der Wasserbewegung in Waldböden des schweizerischen Mittellandes. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. *45*, 2, 127-232.

BURNAND, J., 1976: *Quercus pubescens*-Wälder und ihre ökologischen Grenzen im Wallis (Zentralalpen). Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *59*, 138 S.

BUXTORF, A. und CHRIST, P., 1951: Geologische Generalkarte der Schweiz, 1:200000, Blatt 2: Basel Bern. Verhandl. Geolog. Kommission der Schweiz. Naturf. Gesellschaft.

CARLISLE, A. und BROWN, A.H.F., 1968: Biological Flora of the British Isles. *Pinus silvestris* L. J. Ecol. *56*, 269-307.

DAFIS, S.A., 1962: Struktur- und Zuwachsanalysen von natürlichen Föhrenwäldern. Beitr. geobot. Landesaufn. Schweiz *41*, 86 S.

DENGLER, A., 1930: Waldbau auf ökologischer Grundlage. Springer, Berlin. 560 S.

DIXON, W.J., 1970: B.M.D. Biomedical Computer Programs. Health Sciences Computing Facilities, Dept. Prev. Med. U.C. Los Angeles. 600 S.

DÖSSEGGER, G., 1974 (uneröff.): Beziehungen zwischen Klima und Vorkommen der Weisstannenwälder in den Nordalpen. Diplomarbeit ETH Zürich, Manuskript, 67 S.

ELLENBERG, H., 1974: Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas. Scripta geobotanica IX, 97 S.

- und KLöTZLI, F., 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. *48*, 587-928.

ETTER, H., 1947: Ueber die Waldvegetation am Südostrand des schweizerischen Mittellandes. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. *25*, 141-210.

- und MORIER GENOUD, P.-D., 1963: Etude phytosociologique des forêts du Canton de Genève. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. *39*, 113-148.

FABIJANOWSKI, J., 1950: Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Exposition, Relief, Mikroklima und Vegetation in der Fallätsche. Beitr. geobot. Landesaufn. Schweiz *29*, 104 S.

FIEDLER, H.J., HOFFMANN, F., HöHNE, H. und LEUTSCHIG, S., 1965: Die Untersuchung der Böden. Verlag Theodor Steinhoff, Dresden/Leipzig. Bd. 2. 256 S.

FLüHLER, J., 1973: Sauerstoffdiffusion im Boden. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. *49*, 124-250.

FRITSCHI, A., 1956: Ueber die natürliche Waldvegetation der Umgebung St. Gallens. Ber. St. Gall. naturw. Ges. *75*, 1-58.

FRITTS, H.C., BLASING, T.J., HAYDEN, B.P. und KUTZBACH, J.E., 1971: Multivariate techniques for specifying tree-growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in palaeoclimate. J. Appl. Meteor. *10*, 845-864.

GADEKAR, H., 1975: Ecological conditions limiting the distribution of *Fagus silvatica* L. and *Abies alba* Mill. near Schwarzenberg (Lucerne) Switzerland. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *54*, 98 S.

GAUCH, H.G., WHITTAKER, R.H. und WENTWORTH, T.R., 1977: A Comparative study of reciprocal averaging and other ordination techniques. J. Ecol. *65*, 157-174.

GIGON, A., 1971: Vergleich alpiner Rasen auf Silikat- und auf Karbonatboden. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *48*, 159 S.

GRIME, J.P., 1977a: Abstracts from "Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory". Manuscript, 3 S.

- 1977b: Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. Amer. Natur. *111*, 1169-1194.

GROENEWOUD van, H., 1965: Ordination and classification of Swiss and Canadian coniferous forests by various biometric and other methods. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *36*, 28-102.

GUINOCHET, M., 1973: Phytosociologie. Masson, Paris. 227 S.

HANTKE, R., 1967: Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete. Vierteljahresschr. naturforsch. Ges. Zürich *112*, 91-122.

HESS, H.E., LANDOLT, E. und HIRZEL, R., 1967-1972: Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. 3 Bde. Birkhäuser Verlag, Basel und Stuttgart.

HILL, M.D., 1973: Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. J. Ecol. *61*, 237-249.

JäCKLI, H., 1970: Die Schweiz zur letzten Eiszeit. Atlas der Schweiz, Blatt 6, 1 : 550'000. Eidg. Landestopographie, Bern.

KEEL, A., 1974 (unveröff.): Orchideenreiche Waldstandorte. Manuskript. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich. 79 S.

KLÖTZLI, F., 1968a: Ueber die soziologische und ökologische Abgrenzung schweizerischer Carpinion- von Fagion-Wäldern. Feddes Repertorium *78*, 15-37.

- 1968b: Wald und Umwelt. Schweiz. Z. Forstw. *119*, 264-334.

- 1975: Oekologische Besonderheiten *Pinus*-reicher Waldgesellschaften. Schweiz.Z. Forstwes. *126*, 672-710.

KNAPP, R., 1971: Einführung in die Pflanzensoziologie. Ulmer, Stuttgart. 388 S.

KRAL, F., 1974: Grundzüge einer postglazialen Waldgeschichte des Ostalpenraumes. In: H. MAYER, 1974: Wälder des Ostalpenraumes. Fischer Verlag, Stuttgart. 344 S.

KREBS, C.J., 1972: Ecology, Harper & Row, New York. 694 S.

KUHN, N., 1967: Natürliche Waldgesellschaften und Waldstandorte der Umgebung von Zürich. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *40*, 84 S.

KUNZE, R.J., UEHARA, G. und GRAHAM, K., 1968: Factors important in the calculation of hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. *32*, 760-765.

LAATSCH, W., 1969: Das Abschätzen der Wasserversorgung von Waldbeständen auf durchlässigen Standorten ohne Grund- und Hangwasser. I. Teil: Leicht durchlässige Standorte. Forstw. Cbl. *89*, 257-271. II. Teil: Böden mit vorübergehender Staunässe (Parabraunerde). Forstw. Cbl. *89*, 351-358.

LANDOLT, E., 1977: Oekologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich. *64*, 208 S.

LEBART, L. und FENELON, J.-P., 1971: Statistique et informatique appliquées. Dunod, Paris. 426 S.

LEUTHOLD, C., 1979: Die ökologische und pflanzensoziologische Stellung der Eibe (*Taxus baccata*) in der Schweiz und ihre waldbaulichen Aspekte. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *67* (im Druck).

LEYTON, L., 1958: The mineral requirements of forest plants. In: W. Ruhland, Hrsg.: Hb. Pfl.phys. *4*, 1020-1039.

LüDI, W., 1955: Die Vegetationsentwicklung seit dem Rückgang der Gletscher in den mittleren Alpen und ihrem nördlichen Vorland. Ber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel 1954, 36-68.

MARSHALL, T.J., 1958: A relation between permeability and size distribution of pores. J. Soil Sci. *9*, 1-8.

MEUSEL, H.E., JAEGER, E. und WEINERT, E., 1965: Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. FEB Fischer, Jena. Textteil 585 S., Kartenteil 258 S.

MONFORT, C. und KRESS-RICHTER, 1950: Reversible photochemische Chlorophyllzerstörungen in besonnten Laubblättern von *Aurea*formen und ihre Beziehungen zu Strahlungsklima und Erbgut. Planta, *38*, 516-520.

MONOD, M., 1975 (unveröff.): Description des minerais à canche bleue sur les côteaux du Lavaux. (Manuscript) Lausanne, Inst. de Bot. Syst. 14 S.

NUSSBAUMER, H., 1971 (unveröff.): Pflanzensoziologische und waldbauliche Untersuchungen im Uewachs bei Kloten. Diplomarbeit, Manuskript. 34 S.

- 1973: Pflanzensoziologische und waldbauliche Untersuchungen im Uewachs bei Kloten. Schweiz. Z. Forstwes. *124*, 45-56.

OVINGTON, J.D., 1962: Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept. Advances Ecol. Res. *1*, 103-192.

PFADENHAUER, J., 1971: Vergleichend-ökologische Untersuchungen an Plateau-Tannenwäldern im westlichen Aargauer Mittelland. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *47*, 76 S.

PRIMAULT, B., 1962: Du calcul de l'évatranspiration. Archiv f. Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie *12*, 124-150.

- 1972: Etude méso-climatique du canton de Vaud. Office cantonal vaudois de l'Urbanisme. Cahier de l'aménagement régional *14*, 186 S.

REHDER, H., 1962: Der Girstel - ein natürlicher Pfeifengras-Föhrenwaldkomplex am Albis bei Zürich. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *33*, 17-64.

RENNIE, P.J., 1957: Les prélèvements des éléments nutritifs des forêts exploitées et leur importance sur les sols pauvres pour la production du bois. Rev. Forest. Franç. *7*, 529-545.

RICHARD, F., 1973: Ueber die Durchlässigkeit und Entwässerbarkeit von Böden. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwes. *124*, 415-432.

- und BEDA, J., 1953: Methoden zur Bestimmung der Wasserbindung und der Porengrössen in natürlich gelagerten Waldböden. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Ver.wes. *29*, 293-314.

RICHARD, J.-L., 1962 (unveröff.): Pflanzensoziologische Karte vom Reppischtal. Mit Aufnahmen. Archiv Inst.f. Waldbau ETH Zürich.

RICHARDS, L.A., 1949: Methods of mesuring soil moisture tension. Soil Sci. *68,* 95-112.

- und MOORE, D.C., 1952: Influence of capillary conductivity and depth of wetting on moisture retention in soil. Amer. Geogr. Union Transactions *33*, 531-540.

ROTH, C., 1972 (unveröff.): Oekologisch-soziologische Untersuchung im Grenzbereich Buche-Föhre. Manuskript. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich. 40 S.

SCHERRER, M., 1925: Vegetationsstudien im Limmattal. Veröff. Geobot. Forsch. Inst. Rübel, Zürich *2,* 115 S.

SCHMID, E., 1933: Beziehungen zwischen Florengeschichte und Geomorphologie im schweizerischen Mittelland. Ber. Schweiz. Bot. Ges. *42*, 699-704.

- 1936: Die Reliktföhrenwälder der Alpen. Beitr. geobot. Landesaufn. Schweiz *21,* 190 S.

SCHMID, P. und KUHN, N., 1970: Automatische Ordination von Vegetationsaufnahmen in pflanzensoziologischen Tabellen. Die Natw. *9*, 462-463.

SCHMID-HOLLIGER, R., 1972: Der Föhrenwald Bürersteig. Brugger Neujahrsblätter 1972, 50-84.

SCHüEPP, M., 1967: Lufttemperatur. Klimatologie der Schweiz, C. 3. und 4. Teil, 106 S. Beih. Ann. MZA 1966.

SCHULZE, E.-D., 1970: Der CO_2-Gaswechsel der Buche (*Fagus silvatica* L.) in Abhängigkeit von den Klimafaktoren im Freiland. Flora *159,* 177-232.

SCHUSTER, C., 1974: Wasserspiegelabsenkung zwischen Drainagegräben in natürlich gelagerten Böden am Hang. Mitt. Eidg. Anst. Forstl. Vers.wes. *50*, 3-83.

SEIBERT, P., 1962: Die Auenvegetation an der Isar nördlich von München und ihre Beeinflussung durch den Menschen. Landespflege und Vegetationskunde *3*, 124 S.

STEUBING, L., 1965: Pflanzenökologisches Praktikum. Parey Berlin/Hamburg. 262 S.

STICHER, H., SCHMIDT H.W.T. und GEISSMANN, T., 1971: Agrikulturchemisches Praktikum für Landwirte und Förster. 2. Aufl. Verlag der Fachvereine an der ETH Zürich. 81 S.

STöCKER, G., 1967: Anwendungsmöglichkeiten von parameterfreien Prüfverfahren bei geobotanischen und ökologischen Untersuchungen. Flora, Abt. B, *157*, 112-148.

THORNTHWAITE, C.W. und MATHER, J.R., 1957: Instructions and tables for computing evapotranspiration and the water balance. Drexel Inst. of Techn. Public. in Climat. X, No.3, 131 S.

UTTINGER, H., 1966: Niederschlag. Klimatologie der Schweiz, E, 4. Teil. Beih. Ann. MZA 1965. 170 S.

WALTER, H., und LIETH, H., 1960, 1964, 1967: Klimadiagramm-Weltatlas. Verlag Fischer, Jena.

WEIGER, H., 1971: Das Abschätzen der Wasserversorgung von Waldbeständen auf Pseudogleyen. Forstw. Cbl. *90*, 375-390.

WILDI, O., 1977: Beschreibung exzentrischer Hochmoore mit Hilfe quantitativer Methoden. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *40*, 128 S.

ZOLLER, H., 1951: Das Pflanzenkleid der Mergelsteilhänge im Weissensteingebiet. Beitrag zur Kenntnis natürlicher Reliktvegetation in der montan-subalpinen Stufe des Schweizer Juras. Ber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel, Zürich 1950, 67-95.

- 1954: Die Typen der *Bromus erectus*-Wiesen des Schweizer Juras. Beitr. geobot. Landesaufn. Schweiz *33*, 309 S.
- und KLEIBER, H., 1971: Ueberblick der spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte in der Schweiz. Boissieria *19*, 113-128.