Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich

Herausgeber: Geobotanisches Institut Rübel (Zürich)

Band: 23 (1948)

Artikel: Die Pflanzengesellschaften der Schinigeplatte bei Interlaken und ihre Beziehungen zur Umwelt : eine vergleichend ökologische Untersuchung

Autor: Lüdi, Werner

Kapitel: V: Der Boden

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-307633

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: 10.08.2025

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

V. Der Boden

a) Überblick

Die Böden des Alpengartens sind an Ort und Stelle durch Verwitterung aus dem anstehenden Fels entstanden. Als Ausgangspunkt diente also der dünnbankige Fels des unteren Dogger, der meist aus einer Wechsellagerung von kalkigen oder sandig-kalkigen und schieferigen Schichten besteht, am großen Felskopf nur aus kalkigen Schichten (vgl. S. 10). Natürlich sind lokale Verlagerungen vorgekommen, Ausschwemmungen an den Steilhängen, Einschwemmungen in den flacheren Teilen und besonders in den kleinen Mulden. Etwas Schutt kam auch von weiter her, vom Gipfel der Geiß, an deren Flanke der Alpengarten angelehnt ist und vielleicht durch Vermittlung eines eiszeitlichen Lokalgletscherchens von dem benachbarten Gummihorn und der Daube. Dieser Schutt ist als homogener Malmkalk gekennzeichnet und findet sich in Form von Blöcken und Steinen aller Größen vor allem im mittleren Teile des Alpengartens, zum Teil tief in den durch Zusammenschwemmung entstandenen Boden hineinversenkt.

Die Felsunterlage ist in jedem Falle kalkreich. Proben aus den Spatkalken des großen Felsens ergaben einen Karbonatgehalt von ca. 95 %, in den tieferen Schichten auch weniger (78 %). In den Cancellophycusschichten war der Karbonatgehalt beträchtlich schwankend. Wir fanden in den kalkigen Bänken im Mittel einen Karbonatgehalt von ca. 92 % (84—96 %), in den schiefrigen Zwischenlagen ca. 25 % (19—32 %). Der Kalkgehalt wird bei der Verwitterung vollständig ausgewaschen. Der Schiefer zerfällt dabei in Feinerde, in der die Schluffkomponente vorwiegt; die sandigen Kalke werden vorerst ausgelaugt, und es entstehen poröse Sandsteine, die weiterhin zu Sand zerfallen. Da die Verwitterung des Doggerfelsens ziemlich rasch vor sich geht, so bilden sich, falls keine wesentliche Ausschwemmung stattfindet, Feinerdeschichten von bedeutender Mächtigkeit, die arm sind an gröberen Einschlüssen. Manchmal sind die eingestreuten Stücke des Malmkalkes die einzigen Anteile des Bodenskelettes. Überall da, wo diese Kalke bis an die Oberfläche reichen, zeigen sie deutlich eine lokal beschränkte Einwirkung auf die Zusammensetzung der Vegetation, indem kalkholde Arten auftreten.

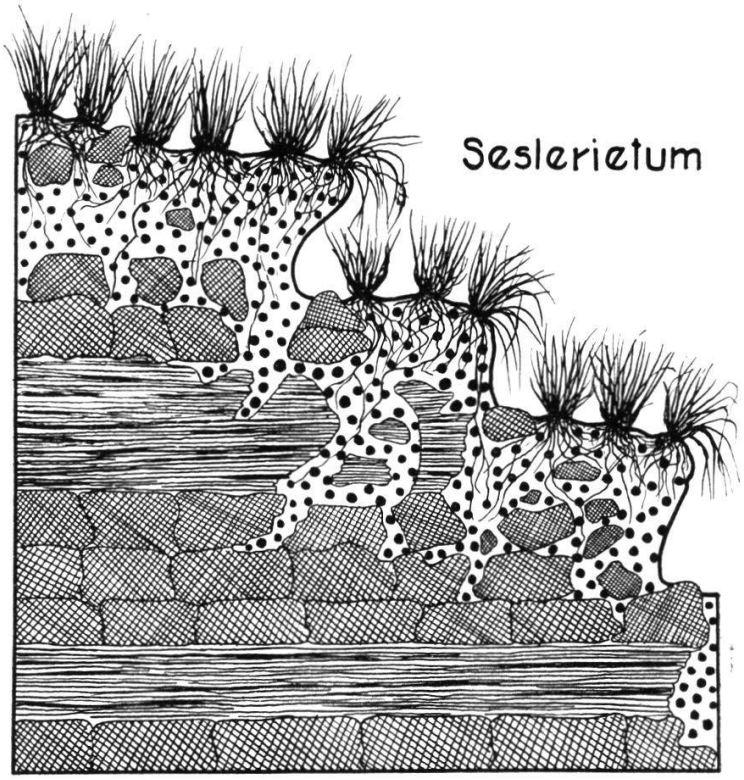

Abb. 15. Bodenprofil durch das Seslerieto-Semperviretum. Wechsel von kalkigen und schieferigen Bänken, treppiger Aufbau des Hanges. Feinerde gekrümelt, flachgründig, aber tief in Spalten hinabreichend.

Trotz des einheitlichen Ausgangsmaterials sind die Böden im Alpengarten recht vielgestaltig. Die steilen Hänge sind charakterisiert durch das Austreten der annähernd horizontalen, bankigen Felsschichten bis nahe an die Oberfläche. Auf ihnen lagert mineralischer Schutt in einer unregelmäßigen, aber meist wenig mächtigen Schicht. Es entsteht so eine natürliche Stufung, die den Ausgangspunkt der eigentlichen Bodenbildung abgab. Diese ist in Sonn- und Schattenlage total verschieden. In Sonnenlage (Abbildung 15) entstand ein schwärzlich-humoser oder dunkelbrauner, krümeliger, entkalkter und schwach saurer Boden, der ohne irgendwelche Schichtung 10—20 cm tief ist, nach unten von Steinen und Felsbrocken durchsetzt wird und wenig verändert in alle Spalten zwischen den Felsstücken hinabreicht (Humuskarbonatboden). Auf ihm gedeiht das Seslerieto-Semperviretum, dessen Grashorste den Schutt stauen und dadurch Absätze und Treppen bilden. Meist sind die Horste durch das Erdfließen an den Rand der Absätze gedrängt und reichen so weit nach außen, daß sich

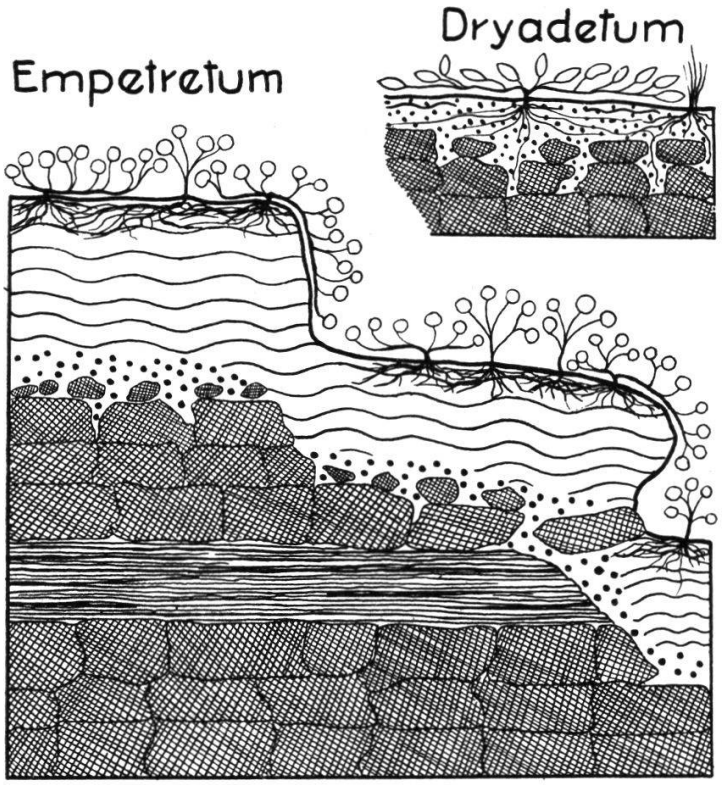

Abb. 16. Bodenprofil im Dryadetum und Empetreto-Vaccinietum. Im Empetretum dünne Schicht von mineralischer, sehr humoser Feinerde über dem Fels und darüber dicke Rohhumusschicht.

unter ihnen Höhlungen bilden, die schatten- und feuchtigkeitsliebenden Arten die Ansiedelung gestatten.

In der Schattenlage (Abb. 16) liegt auf dem Fels eine dünne Schicht alkalischer Mineralerde, die nach oben in eine schwärzliche, nasse, wenig saure Humusschicht übergeht. Darauf setzt sich ein mächtiger, brauner, stark saurer Humus. Die gesamte Dicke der Humusschicht beträgt meist 30—50 cm, wovon bis gegen 10 cm auf den schwarzen Humus entfallen können. Diese Böden tragen heute das Empetreto-Vaccinietum oder auch das Rhodoreto-Vaccinietum. Ihre Genese begann mit der Besiedelung des auf den Felsplatten liegenden Mineralschuttes durch eine basiphile Pioniervegetation, in der die Spaliere von *Salix retusa*, *Salix reticulata*, *Dryas octopetala* herrschend waren, in Verbindung mit Gräsern wie *Sesleria coerulea* und *Festuca pumila*. Moosrasen stellten sich ein. Diese Vegetation häufte den schwarzen Humus. Die von uns als Dryadeta beschriebenen Bestände sind noch Reste einer solchen Pioniervegetation. Die weitere Entwick-

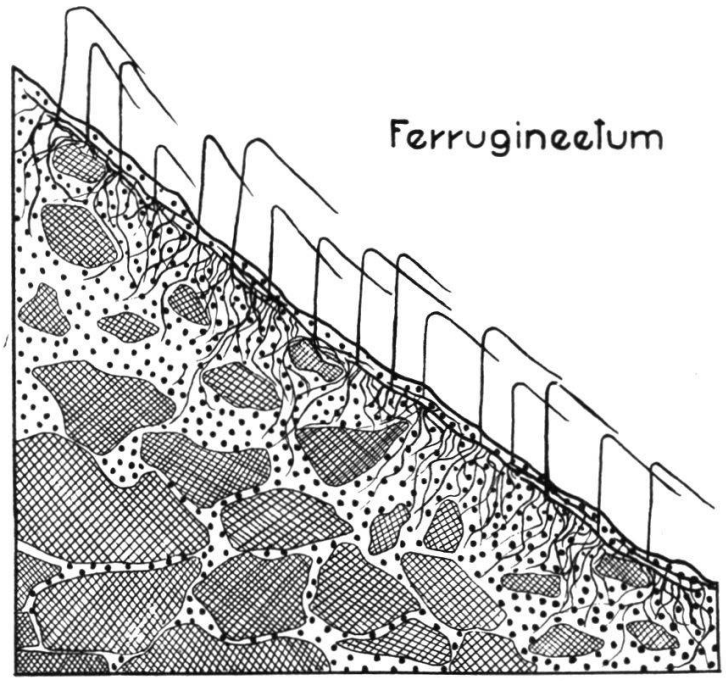

Abb. 17. Bodenprofil im Caricetum ferrugineae, Kalkschutt mit Feinerde zwischen den Steinen. Bodenoberfläche glatt. Kriechende Rhizome von Carex ferruginea.

lung, die in den meisten unserer Dryasbestände bereits angedeutet ist, wurde eingeleitet durch die Einwanderung und Ausbreitung von azidophilem Zwerg- und Spaliergesträuch und azidophilen Moosdecken. Diese Vegetation baute im Laufe der Zeit den mächtigen braunen Humus auf. Der Boden im Empetretum ist also im wesentlichen ein organogener, aufgelagerter Boden, eine selbständige Bildung ohne Zusammenhang mit dem primären Mineralboden, der unter ihm liegt.

Die von uns untersuchten Dryadeta (Abb. 16) weisen in der Tat als Unterlage einen schwärzlichen Humus auf, im Übergang vom Mineralboden zum reinen Humusboden. Das Dryadetum, Quadrat 32, besitzt stellenweise in 6—8 cm Bodentiefe ein schwärzliches Humusband, über dem ein heller gefärbter Mineralboden sichtbar ist. Hier haben wir einen lokal ausgebildeten Humuspodsol, indem das Humusband dem B-Horizont entspricht. Die Entwicklung gegen die Ericaceenheide hin ist in der Flora dieser Dauerfläche bereits deutlich sichtbar.

Schreckenthal (1935), die eine größere Studie über die Böden der Ostalpen veröffentlicht hat, nennt, in Anlehnung an Leiningen, alle autochthonen Humusböden der Alpen, mit Ausnahme der Moorböden, «Alpen-

moder». Wir finden diesen Begriff höchst unklar, da er ganz ungleiche Dinge (in unserem Fall z.B. die Dryadetum-, Seslerietum- und Empetretumböden) zusammenfaßt. Im Gegensatz zu Schreckenthal, die betont, sie habe niemals im Gebiet der Baumgrenze Rohhumus gefunden, rechnen wir unsern braunen Empetretum-Humus zu den Rohhumusbildungen.

An den steilen Schutthängen (Abb. 17) sind die Abtragungsvorgänge bedeutend, so daß die Anreicherung des Bodens an Feinerde gehemmt wird. Die Entwicklung dieser Böden bleibt deshalb in einem frühen Reifestadium stehen: der Boden ist reichlich mit Steinen durchmischt, zeigt keine abgegrenzte Feinerdeschicht und reagiert infolge seines Kalkgehaltes alkalisch. Da und dort, an Stellen größerer Stabilität, zeigt er Anfänge einer schwarzmehligen Humusschicht. Auf diesem Schuttboden hat sich der Bestand von *Carex ferruginea* angesiedelt und kann sich behaupten, solange die Bodenreifung nicht stärker fortschreitet.

Wird die Ausspülung schwächer, so häuft sich Feinerde an, und die oberen Bodenschichten werden entkalkt. Die Häufung der Feinerde nimmt in gleichem Maße zu, wie die Neigung des Bodens abnimmt und erreicht in den flacheren Teilen des Alpengartens beträchtliche Werte. An der Oberfläche (Abb. 18) liegt eine dünne Schicht schwärzlichen Humus (0,5—2 cm), und darunter kommt eine homogene, braune Feinerde von mittlerer Azidität, die bald mehr tonig-staubig, bald mehr feinsandig-staubig ist und ohne irgendwelche Schichtung und meist mit sehr wenig Steinen bis in größere Tiefe hinabreicht. In einzelnen Fällen wurde in 30 bis 40 cm Tiefe der kalkige Boden und damit der Übergang zum A-Horizont erreicht; in anderen Fällen ging die Entkalkung bis in 60—80 cm Tiefe. Dieser Boden ist ein degradierter, podsoliger Braunerdeboden und trägt heute im Alpengarten das Crepideto-Festucetum rubrae commutatae.

Eine etwas weitergehende Entwicklung zeigte der Boden der kleinen Terrassen mit den Nardus-Beständen, besonders im vorderen Nardetum (Abb. 18). Er wird auch hier von degradierter Braunerde gebildet, die aber da und dort unter der oberflächlichen Humusschicht eine grauliche Zwischenlage oder in den obersten 5 cm Bodentiefe graulich oder hellbräunlich verfärbte Schlierenbildungen zeigen, seltener auch in den darunterliegenden Schichten eine diffus verlaufende, kräftigere Braunfärbung. Das sind Anfänge der Podsolierung (A_1-, A_2-, B-Horizont).

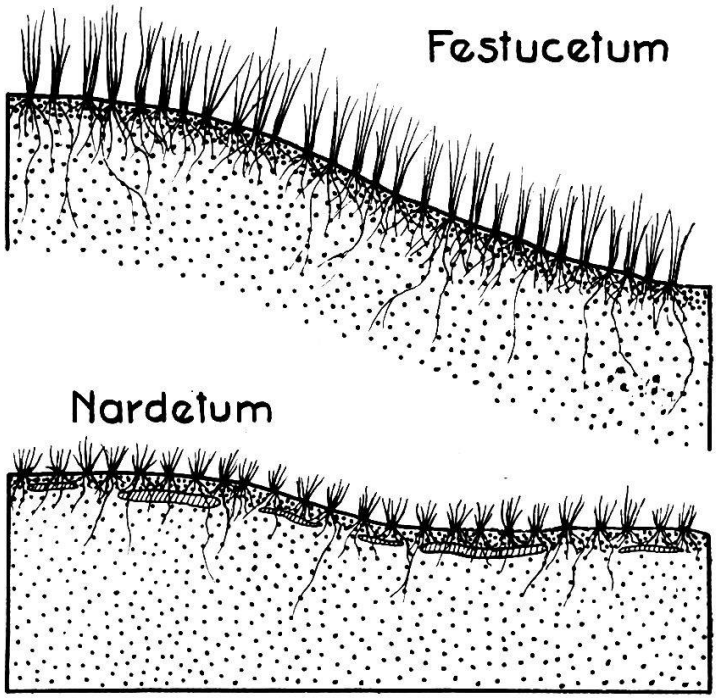

Abb. 18. Bodenprofil im Crepideto-Festucetum rubrae commutatae und im Sieversii-Nardetum strictae. Mächtige Feinerdeschicht ohne wesentliche Beimischung von Steinen; Oberflächenschicht humos; im Nardetum Anfänge von Ausbleichung.

Ohne Zweifel ist in dem kühl-humiden Klima unseres Untersuchungsgebietes der Podsol, und zwar der Eisenpodsol, das klimatische Endprodukt der Bodenreifung. Aber seine Ausbildung wird durch die Gesteinsbeschaffenheit stark beeinflußt. Am steilen Sonnenhang entstehen, wie wir gesehen haben, die in die Rendzinareihe zu stellenden Humuskarbonatböden, am steilen, felsigen Schattenhang die mächtigen Rohhumusbildungen, denen naturgemäß die für Podsol charakteristischen, im mineralischen Boden gelegenen Schichtungen fehlen. Und in flacheren Lagen, wo die Verwitterung und Einschwemmung zur Bildung tiefer Bodenprofile geführt haben, ist es gerade das starke Vorherrschen der feinen Komponenten in der Feinerde, das die Schichtbildung verhindert. Die feinerdigen und ziemlich elektrolytreichen Böden setzen dem Eindringen des Wassers, wie wir noch sehen werden, bedeutenden Widerstand entgegen, so daß der Großteil des Regenwassers in den obersten Bodenschichten abfließt. Die Auslaugung ist schwach und geht wenig in die Tiefe. Nur die leichter löslichen Bodenbestandteile, einschließlich des Kalkes, werden beweglich

gemacht und weggeführt, während Eisen- und Aluminiumhydroxyd in geringem Umfange verlagert werden. Der Boden kann nach der Terminologie von Pallmann (1932) als podsolig bezeichnet werden. Die Bildung der für den Podsol so charakteristischen Bodenschichtung ist nur selten und nur in den Anfangsstadien anzutreffen.

Diese Erscheinungen sind in den ausgedehnten Gebieten toniger Gesteine (Flysch, Dogger, Argovien, Oxfordien, untere Kreide) der Berner Alpen und der nördlichen «Kalkalpen» überhaupt immer wieder festzustellen, und ich habe bereits im Jahre 1928 darauf Bezug genommen. Ganz anders verhält es sich in den kristallinen Zentralalpen, wo durch die Verwitterung der Silikate vorwiegend sandige, grobkörnige Böden von geringer Adsorptivkraft und großer Wasserdurchlässigkeit entstehen: hier ist das Gebiet der charakteristischen Podsole der Alpen. In den nördlichen Alpen bietet, so weit mein Wissen geht, von den verbreiteteren Gesteinen nur der eozäne Hohgantsandstein der Bodenbildung ähnliche, ja noch ungünstigere Bedingungen dar (vgl. W. Lüdi, 1933, 1945).

Pallmann und Gessner (1934) haben eine Bodentypenkarte der Schweiz aufgestellt, in der das ganze Gebiet der Faulhornkette und gegen Westen anschließend auch die Männlichenkette und die Schilthornkette den Humuskarbonatböden zugerechnet wird. Wir können uns diesem Standpunkt nicht anschließen. In dem genannten Gebiet herrschen die Gesteine des untern Doggers, und diese geben bei der Verwitterung Braunerdeböden von etwas lehmiger Beschaffenheit, die degradieren und im Extrem podsolig werden, ohne aber richtige Podsole zu bilden. Die Humuskarbonatböden sind im wesentlichen an die homogenen Kalke des Malm gebunden und an steinreiche Steilhänge der kalkreicheren Doggerfazies. Die letzteren sind von beschränkter Verbreitung und repräsentieren nur ein Glied in der Kette der Bodenbildung zur Braunerde; die Malmkalke treten im Gebiete räumlich und bodenbildend sehr zurück und fehlen zum Beispiel der Männlichenkette.

Nach dieser allgemeinen Charakterisierung der im Alpengarten vorhandenen Bodentypen wollen wir die Ergebnisse ihrer genaue-

ren physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchung zur Darstellung bringen. In typisch entwickelten Beständen der verschiedenen Assoziationen untersuchten wir den gewachsenen Boden oder geeignete Bodenproben auf folgende Eigenschaften:

Physikalisch: die Korngröße, die Bodenstruktur (Poren- und Luftvolumen, Wasserkapazität usw.), die Durchlässigkeit, den Wassergehalt und seine Schwankungen.

Chemisch: den Gehalt an wichtigeren Elementarstoffen, den Karbonatgehalt, die Bodenazidität, die Pufferung gegen Säuren und Laugen, den Gehalt an verbrennlichen Stoffen und die Färbung des Glührückstandes, den Gehalt an kolloidalem Humus.

Biologisch: den Bakteriengehalt, die Boden-Mikrofauna, den Gehalt an größeren Bodentieren.

b) Physikalische Bodenuntersuchung

1. *Korngröße*

Der Dispersitätbestimmung wurde die internationale Skala von Atterberg zugrunde gelegt, nach welcher die Bodenfraktionen in folgender Weise definiert werden:

Bodenskelett: Teilchen mit mittlerem Durchmesser von mehr als	2 mm
Feinerde: Teilchen mit mittlerem Durchmesser von weniger als	2 mm
a) Grobsand: mittlerer Durchmesser der Teilchen	0,2—2 mm
b) Feinsand:	0,02—0,2 mm
c) Schluff (Staub):	0,002—0,02 mm
d) Ton: kleiner als	0,002 mm

Eine erste Bestimmung wurde mit dem Schlämmzylinder von Atterberg ausgeführt, eine zweite, umfassendere Untersuchung nach der Pipettmethode von Esenwein. Wir berücksichtigen nachstehend nur diese letzteren Ergebnisse. Die Vorbereitung der Böden geschah in der folgenden Weise: 10 g lufttrockenen Bodens wurden 2 Stunden gekocht und daraufhin 2 Stunden geschüttelt. Dann wurde der Grobsand durch ein 0,2-mm-Normalsieb ausgeschlämmt, das Übrigbleibende in den Pipettzylinder eingefüllt und die Fraktionen durch Sedimentation ermittelt. Die Methode findet sich bei Wiegner und Pallman (1938) beschrieben. Bei den humusreichen Böden wurden die organischen Stoffe vor dem Schlämmen durch Kochen mit Wasserstoffsuperoxyd zerstört und bei der Berechnung abgerechnet, so daß sich die Korngrößenangaben auf den reinen Mineralstoffgehalt beziehen. Bei den meisten der untersuchten Böden war aber der Humusgehalt so gering, daß er vernachlässigt werden konnte. Falls ein Boden Ergebnisse zeigte, die aus dem Rahmen der übrigen fielen, so führten wir eine zweite Bestimmung durch, die aber beinahe immer die erste bestätigte. Sonst wurde noch eine dritte Bestimmung vorgenommen. Bei den meisten Proben wurde der Grob-

sand außerdem auch mit dem Atterbergzylinder bestimmt, und wir erhielten Zahlen, die gewöhnlich nur um einzelne Prozente abwichen.

Die untersuchten Bodenproben stammten aus dem Seslerieto-Semperviretum, dem Caricetum ferrugineae, dem Dryadetum, dem Crepideto-Festucetum rubrae commutatae und dem Sieversii-Nardetum strictae, umfassen also mit Ausnahme der Humusböden des Empetretums alle wichtigeren Pflanzengesellschaften des Alpengartens. Sie wurden in verschiedenen Bodentiefen entnommen: je eine Probe unmittelbar unter der Oberfläche, im dichten Wurzelfilz (± 2 cm), eine zweite in 10 cm Tiefe, wohin die Wurzeln nur noch in ganz lockerer Verteilung gelangten, und weitere in 20, 30, 40, 50 cm Tiefe, soweit die Verhältnisse es ermöglichten. Für die Untersuchung wurden in der Regel mehrere Proben vereinigt, die aus verschiedenen benachbarten Lokalitäten des gleichen Bestandes stammten. Ferner wurden teilweise die Proben aus 20 und 30 oder 40 und 50 cm Bodentiefe vereinigt.

TABELLE 13

Korngrößenbestimmung der Alpengartenböden nach der Pipettmethode.

Nr.	Pflanzengesellschaft	Bodentiefe cm	Zahl der gemischten Proben	Fraktionen: Grobsand 2-0,2 mm	Feinsand 0,2-0,02 mm	Schluff 0,02-0,002 mm	Ton < 0,002 mm
				%	%	%	%
1.	Unteres Seslerietum	2	5	1	45	25	25
2.	Unteres Seslerietum	10	5	2	43	32	23
3.	Unt. u. ob. Seslerietum	2	4	4	52	28	16
4.	Unt. u. ob. Seslerietum	10	4	5	47	25	23
5.	Unt. u. ob. Seslerietum	20	4	3	39	33	25
6.	Caricetum ferrugineae	2	5	5	55	27	13
7.	Caricetum ferrugineae	10	5	5	51	33	11
8.	Caricetum ferrugineae	20	5	5	45	32	18
9.	Dryadetum octopetalae	10	5	2	60	15	23
10.	Dryadetum octopetalae	20	1	10	40	25	25
11.	Vorderes Festucetum	2	5	5	45	25	25
12.	Vorderes Festucetum	10	5	8	52	27	13
13.	Vorderes Festucetum	10+30	2	9	58	23	10
14.	Vorderes Festucetum	40	1	12	40	33	15
15.	Hinteres Festucetum	2	5	1	30	26	43
16.	Hinteres Festucetum	10	5	2	45	38	15
17.	Hinteres Festucetum	20+30	4	1	26	48	25
18.	Hinteres Festucetum	40+50	2	1	29	42	28
19.	Vorderes Nardetum	2	5	2	45	33	20
20.	Vorderes Nardetum	10	5	3	49	40	8
21.	Vorderes Nardetum	20+30	4	4	48	40	8
22.	Vorderes Nardetum	40	1	3	49	35	13
23.	Hinteres Nardetum	2	5	2	43	32	23
24.	Hinteres Nardetum	10	5	3	44	33	20
25.	Hinteres Nardetum	20+30	4	2	38	42	18
26.	Hinteres Nardetum	40	1	19	38	31	12
27.	Hinteres Nardetum	40	1	2	26	41	31
28.	Hinteres Nardetum	50	1	3	29	45	23

Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 zusammengestellt. Unsere Böden sind gekennzeichnet durch einen geringen Anteil des Grobsandes, einen hohen Anteil des Feinsandes und des Schluffes und einen mittleren Tongehalt. Man wird sie als Lehmböden oder zum Teil als tonig-lehmige Böden bezeichnen können. Durchgreifende Unterschiede zwischen den verschiedenen Pflanzengesellschaften existieren nicht, was darauf zurückzuführen ist, daß alle Böden durch Verwitterung aus dem gleichen Ausgangsmaterial entstanden sind. Eine geschlossene Gruppe bilden die Böden des Ferrugineetums, die in den verschiedenen Bodentiefen sehr einheitlich sind und sich auszeichnen durch sehr hohen Gehalt an Feinsand und kleinen Gehalt an Ton. Hier kommt wohl die relativ bedeutende Ausschwemmung am steilen Hang und vielleicht auch die noch nicht beendigte Verwitterung zum Ausdruck. Innerhalb der gleichen Pflanzengesellschaft können größere Unterschiede auftreten, als sie sich zwischen den verschiedenen Gesellschaften ergeben. So ist zum Beispiel der Boden in allen untersuchten Tiefen im vorderen Festucetum sichtlich gröber als im hintern. Das vordere und das hintere Nardetum dagegen verhalten sich in den oberen Bodenhorizonten übereinstimmend, in den tieferen Schichten in unregelmäßiger Weise ungleich. Einzelne starke Anreicherungen an Grobsand in größeren Bodentiefen (Proben 14 und 26) können auf unvollständige Verwitterung des sandig zerfallenden Sandkalkes zurückzuführen sein, stärkere Anreicherung toniger Art (Probe 15) auf lokale Einschwemmung. So machen die Abweichungen mehr den Eindruck der Zufälligkeit. Wesentliche Durchschlämmungen der tonigen Teile in tiefere Bodenschichten sind kaum vorhanden (vielleicht doch merkbar in einzelnen Tiefenhorizonten verschiedener Gesellschaften).

2. *Die Bodenstruktur, spezifisches Gewicht*

Die Volumenverhältnisse im Boden wurden nach der von E. Ramann entwickelten und von A. Engler verbesserten Methode ausgeführt. Sie ist bei H. Burger (1922) einläßlich dargestellt und kritisch überprüft.

Dem zu untersuchenden Boden wird mit einem Stahlzylinder von 1 dm^2 Querschnitt genau 1 dm^3 gewachsene Erde entnommen. Durch Wägen im frischen, wassergesättigten und völlig ausgetrockneten Boden werden der Wassergehalt und die Wasserkapazität bestimmt. Dann erfolgt im Pyknometer die Feststellung des Volumens der Feinerde, der Steine und eventuell der Wurzeln, und die so erhaltenen Werte erlauben, auch das spezifische Ge-

wicht, den Luftgehalt und die Luftkapazität herauszufinden. Die Methode gibt zuverlässige Ergebnisse (vgl. auch Lüdi und Luzzatto 1935), ist aber in der Anwendung ziemlich umständlich. Wir bauten einen Wässerkasten, so daß wir die frisch entnommenen Böden gleich ins Wasserbad bringen konnten, wo sie zur Sättigung 24 Stunden verblieben. Dann ließen wir sie 1½ Stunden abtropfen. Um das Abtropfen zu erleichtern, wurden die Zylinder mit den Böden aus dem Empetretum, dem Ferrugineetum und dem Dryadetum in der Hälfte der Abtropfzeit umgewendet. Die weitere Verarbeitung geschah im Laboratorium.

Die größte Schwierigkeit bietet die einwandfreie Probeentnahme. Wir gingen so vor, daß zuerst der lebende Rasen vollständig entfernt wurde. Dann setzten wir den mit einem schneidenden Rande versehenen Stahlzylinder auf den Boden auf und trieben ihn mit einem schweren Holzklöppel vorsichtig bis zur Oberkante ein. Um den Boden nicht zu quetschen, setzten wir einen Stahlring auf den Zylinder auf. In der Regel waren im Boden Steine vorhanden, und häufig traf der Zylinderrand auf solche Steine auf. Kleine Steine wichen aus, größere hemmten das Eindringen, brachten den Zylinder in eine schiefe Lage und verletzten den schneidenden Rand. Proben mit wesentlicher Beschädigung wurden weggelegt, und die Zylinderränder wurden immer wieder gerade geklopft. Der eingeschlagene Zylinder wurde durch Abgraben ringsherum freigelegt und dann samt der eingeschlossenen Erde abgehoben. So erhielten wir zugleich die Plattform für die Probeentnahme in der größeren Bodentiefe. Meist wurden übereinander zwei solcher Zylinderproben entnommen, da, wo es möglich war, auch drei (in der Regel 3—13, 17—27, 30—40 Zentimeter Bodentiefe). Gelegentlich brach beim Herausnehmen des Zylinders trotz aller Vorsicht ein Stücklein Erde heraus. Falls der Verlust nur klein war, wurde das fehlende Erdstück ergänzt. Die zur Bearbeitung gelangten Proben sind wohl alle einwandfrei entnommen worden. Mit dem Wässern war ein kleiner Verlust an Erde verbunden, den wir aus einer großen Zahl von Proben durch sorgfältiges Sammeln aller abgeschwemmten Erde bestimmten. Er machte im Mittel weniger als ein halbes Prozent des Trockengewichtes der Erde aus, kann also vernachlässigt werden.

Die verschiedenen Pflanzengesellschaften bereiteten der Probeentnahme ungleiche Schwierigkeiten. Leicht war die Entnahme im allgemeinen im hinteren Nardetum und im hinteren Festucetum. Hier war der Boden tiefgründig und arm an Steinen. Gelegentlich fanden sich aber Malmbrocken eingestreut, und wenn der Zylinder auf einen solchen harten Stein stieß, so wurde er verletzt, und die Probe war unbrauchbar. — Im Gegensatz dazu war der Boden des vorderen Nardetums, namentlich unterhalb 15 cm Tiefe, steinig. Aber die Steine waren morsch (ausgelaugte Stücke der Doggersandkalke) und wurden im allgemeinen vom Stahlzylinder glatt durchschnitten. — Im Ferrugineetum, dessen Boden sehr steinig ist, nahmen die Zylinder regelmäßig Schaden, und ein tieferes Eindringen als einfache Zylinderhöhe war nur ausnahmsweise möglich. — Sehr schwierig war die Probenentnahme im Seslerietum. Soweit der Boden Rasen trug, waren die obersten 5 cm durch die Wurzeln dicht verfilzt. Gewöhnlich fanden sich große Steine oder Felsbrocken bereits in weniger als 10 cm Bodentiefe. In größerer Tiefe ist die Erde beinahe überall auf Spalten zwischen den Steinen beschränkt, wobei sie aber ihren Charakter als dunkle, humose, krümelige Feinerde nicht ändert. Kleine Steine sind verhältnismäßig selten. Es gelang aber doch wiederholt, zwei Zylinderproben übereinander zu entnehmen. Die günstigsten Verhältnisse ergaben sich auf den breiteren Absätzen, die in den innern Teilen nur wenig bewachsen waren, so daß oft die dunkle Erde bloß lag. — Von den Dryadetum-Proben wurden Nr. 45—47 zwischen den beiden Dauerflächen 31 und 32 entnommen, die Nr. 48 auf flachem Absatze nördlich von Dauerfläche 32. Die Entnahme bot einige Schwierigkeiten wegen der geringen Mächtigkeit der Bodenhorizonte. Wir ließen die oberste, wurzelreiche Schicht, die oft als brauner Rohhumus

ausgebildet war, weg und entnahmen die Proben der darunterliegenden, schwärzlichen Humusschicht und den mineralischen Bodenhorizonten. Von etwa 20 cm Tiefe an traten reichlich Steine auf. Probe 46 enthielt einen großen Stein, der den Hauptteil des Steingehaltes ausmachte. — Im Empetretum war das Einschlagen der Zylinder nicht möglich, da der Rohhumusboden elastisch nachgab. Es ging aber sehr gut, die Zylinder, deren Unterrand geschärft worden war, unter sanftem Druck in den Boden einzudrehen. Durch die drehende Bewegung wurde die Humusmasse samt den sie durchziehenden Wurzeln glatt durchschnitten, doch ließen wir die obersten 10 cm ganz weg, da beim Zerschneiden der vielen Zwergstrauchstämmchen und Wurzeln doch Beschädigungen auftraten. Unterhalb 10 cm waren lebende Wurzeln nur vereinzelt. Im einzelnen ist folgendes zu bemerken. Dauerfläche 33: die Proben wurden unter dominantem *Empetrum,* viel *Vaccinium myrtillus,* etwas *Vaccinium uliginosum, Cladonien* und *Cetrarien* entnommen, beide Proben im braunen Rohhumus. Sie schienen gut; doch war der Torf wohl etwas komprimiert. Dauerflache 34: die Proben wurden unter dominanter *Arctostaphylos alpina* mit viel *Vaccinium vitis idaea,* etwas *Vaccinium myrtillus* und *uliginosum, Rhododendron ferrugineum* und Moosteppich entnommen *(Hylocomium proliferum, Ptilium crista castrensis).* Die Proben sind nicht ganz einwandfrei. Zwischen 10 und 20 cm ergab sich eine Quetschung durch eine dicke Rhododendron-Wurzel; die untere Probe enthielt unten Steine, zwischen denen Erde herausfiel, die ergänzt werden mußte. Dauerfläche 36: die Proben wurden unter *Empetrum* entnommen, unterhalb der sehr steil stehenden Dauerfläche auf einem Absatz. Die obere Probe war im braunen Humus, die untere im schwärzlichen Humus. Beide schienen gut, doch war auch hier der Torf wahrscheinlich etwas komprimiert. Die Untersuchung reiner Humusböden, wie das Empetretum und teilweise das Dryadetum sie bot, wurde m. W. zum erstenmal nach dieser Methode versucht.

Die Zeit der Probeentnahme ist wegen des wechselnden Wassergehaltes des Bodens nicht ohne Bedeutung. Wir können darüber die folgenden Angaben machen: Die Proben wurden entnommen im Festucetum (exkl. D 29) und vorderen und hinteren Nardetum am 3./5. X. 1928, 2—3 Tage nach dem rasch vorübergehenden ersten Herbstschnee und bei nassem Boden; im Seslerietum am 14. VII. 1929 bei trockenem Wetter; im Festucetum D 29, im Ferrugineetum, Dryadetum, Empetretum am 23./24. IX. 1929 während einer längeren Schönwetterperiode, die nur durch einen starken Regenfall am 21. IX. unterbrochen worden war.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in den Tabellen 14 und 15 zusammengestellt, in der Tabelle 14 für die einzelnen Proben, in der Tabelle 15 zusammengezogen als Mittelwerte für die einzelnen Pflanzengesellschaften, wobei es sich als zweckmäßig zeigte, das vordere und das hintere Nardetum auseinanderzuhalten, da das vordere Nardetum im wesentlichen reiner Verwitterungsboden zu sein scheint, während das hintere Nardetum starke Einschwemmungen zeigt. Immerhin ist zu bemerken, daß zur eigentlichen Mittelwertbildung doch zu wenig Beobachtungen vorliegen, besonders für die tieferen Bodenhorizonte. Probe 52 des Empetretums, die bereits den mineralischen Untergrund erreicht und nicht mehr für diese Gesellschaft repräsentativ ist, wurde bei der Mittelbildung weggelassen.

TABELLE 14

Erdgewicht, Erdvolumen, Porenvolumen, Wasser- und Luftgehalt von je 1 dm³ gewachsenen Bodens, im frischen, wassergesättigten und trockenen Zustand.

Nr.	Ort der Probenentnahme (D = Dauerfläche		Bodentiefe cm	Gewicht von 1 dm³ Boden in g: frisch	wassergesättigt	lufttrocken	bei 105° getrocknet: Feinerde	Steine	Zus.	Volumenanteile des frischen Bodens: Erde %	Poren %	Wasser %	Luft %	Wasserkapazität %	Luftkapazität %	Wassergehalt des Bodens ohne Steine in Gewichts-%: frischer Boden	gesättigt. Boden	lufttrock. Boden	Wassersättigung des frischen Bodens (ohne Steine) %
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.	Hinteres Festucetum,	D 29	5—15	1399	1501	911	871	4	875	33	67	52	15	63	4	38	42	4,0	93
2.			27—37	1506	1585	1021	877	115	992	37	63	51	12	59	4	37	40	3,2	95
3.		D 38	4—14	1493	1523	949	910	3	913	36	64	58	6	61	3	39	40	3,8	98
4.			17—27	1489	1544	978	922	7	929	35	65	56	9	61	4	38	40	5,0	97
5.			30—40	1547	1583	1032	1004	1	1005	38	62	54	8	58	4	35	37	2,6	98
6.		D 39	3—13	1414	1477	904	848	2	850	33	67	56	11	63	4	40	42	6,0	96
7.			17—27	1529	1569	998	963	3	966	37	63	56	7	60	3	37	38	3,2	98
8.	Vorderes Nardetum,	D 1	3—13	1339	1453	896	822	33	855	35	65	48	17	60	5	37	42	4,7	92
9.			17—27	1382	1502	940	753	163	916	38	62	47	15	59	3	38	44	3,1	92
10.		D 2	2—12	1329	1443	846	795	13	808	32	68	52	16	64	4	40	44	4,5	92
11.			17—27	1559	1638	1125	847	257	1104	45	55	46	9	53	2	35	39	2,4	95
12.		D 3	2—12	1356	1397	795	735	18	753	30	70	60	10	64	6	45	47	5,4	97
13.			17—27	1429	1475	881	695	169	864	36	64	56	8	61	3	45	47	2,4	97
14.		D 4	4—14	1083	1231	603	561	23	584	25	75	50	25	65	10	47	53	3,3	88
15.			17—27	1240	1368	787	591	176	767	32	68	47	21	60	8	44	50	3,2	91
16.		D 4	3—13	1275	1379	777	674	74	748	31	69	53	16	63	6	44	48	4,1	93
17.			20—30	1382	1467	882	751	114	865	35	65	52	13	60	5	41	45	2,2	95
18.		D 5	4—14	1316	1375	746	669	50	719	29	71	60	11	66	5	47	50	3,9	96
19.			17—27	1537	1588	1042	909	115	1024	40	60	52	8	56	4	36	38	1,9	97

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20.		D 37	3—13	1419	1502	975	893	10	903	36	64	52	12	60	4	37	40	7,5	95
21.			17—27	1517	1592	1071	976	50	1026	40	60	49	11	57	3	34	37	4,4	95
22.	Hinteres Nardetum,	D 6	3—13	1433	1490	931	880	<1	880	33	67	55	12	61	6	39	41	5,5	97
23.			17—27	1463	1526	945	903	17	920	35	65	54	11	61	4	38	40	2,8	96
24.			30—40	1562	1611	1070	996	35	1031	38	62	53	9	58	4	35	37	3,8	97
25.		D 7	3—13	1430	1482	927	860	<1	860	33	67	57	10	62	5	40	42	7,2	97
26.			17—27	1457	1508	945	909	<1	909	35	65	55	10	60	5	38	40	3,8	97
27.		D 8	3—13	1410	1467	872	810	13	823	32	68	59	9	64	4	42	44	5,6	96
28.			17—27	1347	1472	876	812	37	849	32	68	50	18	62	6	38	43	3,2	92
29.		D 9	3—13	1385	1450	857	827	<1	827	32	68	56	12	62	6	40	43	3,5	96
30.			17—27	1467	1530	959	902	<1	902	33	67	57	10	63	4	38	40	5,9	96
31.		D 10	3—13	1396	1468	875	841	5	846	33	67	55	12	62	5	39	42	3,3	95
32.			17—27	1496	1557	992	946	—	946	35	65	55	10	61	4	37	39	4,6	96
33.	Caricet. Ferrug.,	D 25	5—15	1210	1371	750	697	20	717	29	71	49	22	65	6	41	48	4,5	88
34.		D 26	5—15	1220	1357	752	681	38	719	29	71	50	21	64	7	42	49	4,6	90
35.		D 27	3—13	1285	1437	835	779	23	802	31	69	48	21	64	5	38	45	4,1	90
36.			16—26	1356	1456	897	819	45	864	33	67	49	18	59	6	38	42	3,9	93
37.		D 28	3—13	1294	1442	852	796	25	821	32	68	47	21	62	6	37	44	3,7	90
38.			20—30	1455	1539	970	879	61	940	36	64	52	12	60	4	37	41	3,3	95
39.	Seslerietum,	D 12	5—15	669	998	403	360	12	372	18	82	30	52	63	19	45	64	7,7	67
40.		D 15	1—11	840	1121	592	541	28	569	24	76	27	49	55	21	33	50	4,1	75
41.			13—23	983	1271	655	595	29	624	26	74	36	38	65	9	38	52	4,9	77
42.		D 17	5—15	807	1169	549	439	88	527	22	78	28	50	64	14	39	59	4,8	69
43.		D 46	5—15	788	1128	469	440	3	443	20	80	35	45	69	11	44	61	5,5	70
44.			18—28	992	1214	627	571	20	591	25	75	40	35	62	13	41	52	5,9	82
45.	Dryadetum,	D 31—32	8—18	591	926	184	163	—	163	9	91	43	48	76	15	72	83	11,0	64
46.			20—30	915	1165	429	266	139	405	18	82	51	31	76	6	66	74	8,3	79
47.		D 31—32	10—20	1091	1215	502	455	12	467	20	80	62	18	75	5	58	62	7,1	90
48.		D 32	10—20	1095	1190	503	470		470	20	80	63	17	72	8	57	61	6,6	92
49.	Empetretum,	D 33	10—20	541	891	151	133	—	133	8	92	41	51	76	16	75	85	12,0	61
50.			25—35	566	922	167	143	—	143	9	91	42	49	78	13	75	85	14,0	62
51.		D 34	10—20	620	935	175	156	—	156	10	90	46	44	78	12	75	83	11,0	67
52.		D 36	10—20	510	784	131	117	—	117	7	93	39	54	67	26	77	85	11,0	65
53.			30—40	565	894	146	129	—	129	8	92	44	48	77	15	77	86	12,0	64

Einige Ergebnisse aus dem hinteren Nardetum sind bereits unter anderen Gesichtspunkten veröffentlicht worden (Lüdi 1936).

Die Tabellen enthalten zuerst das Gewicht der Erde, dann die Volumenanteile von Erde, Wasser und Luft, die Wasserkapazität und die Luftkapazität und schließlich die Wassergehalte. (Für die Lage der einzelnen Dauerflächen vgl. Abb. 14, S. 61.)

Die spezifischen Gewichte (Tab. 15) schwanken innerhalb des gleichen Bodentyps nur wenig. Sie betragen im Festucetum, Nardetum und Caricetum ferrugineae 2,5—2,7, im Seslerietum und Dryadetum 2,3 und im Empetretum 1,5—1,7. Die reinen Mineralböden stehen also am höchsten, der Boden im vorderen Nardetum, der tonärmer, aber reicher an verwitterten Steinen ist, als die übrigen Mineralböden, ist spezifisch etwas leichter, der stark humose Seslerietum- und Dryadetumboden setzt sich deutlich ab, und der reine Humusboden des Empetretums ist viel leichter.

Die auf das Volumen bezogenen Trockengewichte lassen die gleiche Gesetzmäßigkeit erkennen (vgl. auch

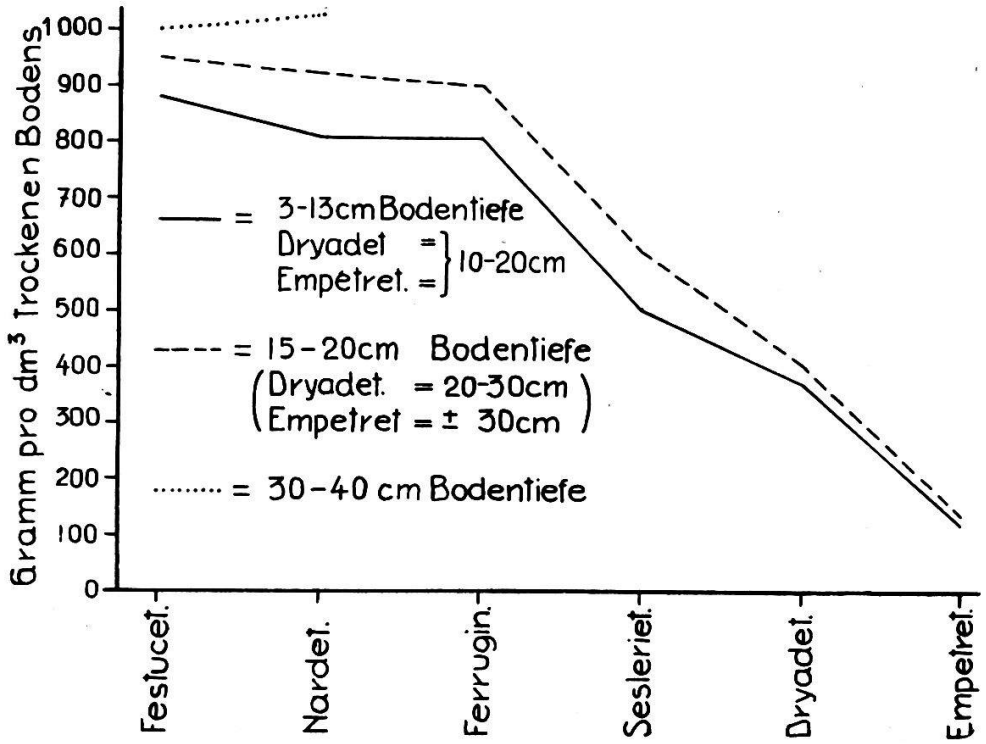

Abb. 19. Trockengewicht von 1 dm³ gewachsenen Bodens in den verschiedenen Pflanzengesellschaften und Bodentiefen.

TABELLE 15

Gewichts- und Volumenanteile (Erde, Wasser, Luft) von je 1 dm³ gewachsenen Bodens. Mittlere Werte der einzelnen Bodentiefen, berechnet nach Tabelle 14.
Um den Vergleich der verschiedenen Horizonte zu ermöglichen, wurden die Messungen in der obersten Bodenschicht, denen keine in größerer Tiefe nachfolgten, bei der Bildung der Mittelwerte weggelassen. Der Unterschied gegenüber der Berücksichtigung aller Werte ist allerdings nur geringfügig.

Ort der Probenentnahme	Bodentiefe cm	Spezifisches Gewicht der Erde	Gewicht von 1 dm³ Boden bei 105° getrocknet		Volumenanteile des frischen Bodens				Volumenanteile		Wassergehalt in Gewichts-%			Wassersättigung d. frisch. Bodens %
			g	davon Steine g	Erde %	Poren %	Wasser %	Luft %	Wasser-Kapazität %	Luft-Kapazität %	frischer Boden	gesättigter Boden	lufttrockener Boden	
Hint. Festucetum	3—13	2.6	879	3	34	66	55	11	62	4	39	41	4.6	96
	17—27	2.6	948	5	36	64	56	8	60	4	37	38	4.1	97
	30—40	2.6	999	58	38	62	53	9	58	4	36	39	2.9	97
Vord. Nardetum	3—13	2.5	768	32	31	69	54	15	63	6	42	46	4.8	93
	15—25	2.5	938	149	38	62	50	12	58	4	39	43	2.8	95
Hint. Nardetum	3—13	2.6	847	4	33	67	56	11	62	5	40	42	5.0	96
	15—25	2.7	905	11	34	66	54	12	61	5	38	40	4.1	95
	30—40	2.7	1031	35	38	62	53	9	58	4	34	36	3.6	97
Ferrugineetum	3—13	2.6	812	24	31	69	48	21	63	6	38	45	3.6	90
(exkl. Nr. 33, 34)	15—25	2.6	902	53	35	65	51	14	60	5	38	42	3.6	94
Seslerietum	3—13	2.3	506	16	22	78	31	47	62	16	39	56	4.8	72
(exkl. Nr. 39, 42)	15—25	2.3	608	25	26	74	38	36	64	10	39	52	5.4	79
Dryadetum	10—20	2.3	367	4	16	84	56	28	74	10	62	69	8.2	82
	20—30[1]	2.3	405	139	18	82	51	31	76	6	56	65	8.3	79
Empetretum	10—20	1.7	125	—	8	92	40	52	72	21	76	85	11.5	63
(exkl. Nr. 51)	25—35	1.5	136	—	9	91	43	48	77	14	76	86	13.0	63

[1]) Einzelmessungen

Abb. 19): die mineralischen Böden bilden die eine Klasse mit hohen Trockengewichten von 768—1031 g pro dm^3 im Mittel (584—1104 im Extrem); die humosen Böden variieren von 405 bis 608 g im Mittel (372—624 im Extrem) und die Humusböden, zu denen auch ein Dryadetumboden gerechnet werden muß (Nummer 45) von 125—136 g im Mittel (117—163 im Extrem). Innerhalb des gleichen Bodenprofils nimmt das Trockengewicht von oben nach unten zu, als Folge der dichteren Lagerung, der schwächeren Verwitterung, des größeren Steingehaltes. Diese Zunahme ist meist recht bedeutend und auch im Empetretum vorhanden. Auffallend gering ist das Trockengewicht in einzelnen Proben des oberen Horizontes im vorderen Nardetum (vor allem Nr. 14), wohl infolge des bedeutenden Rohhumusgehaltes. Der Rohhumus ist immer locker gelagert.

Das Trockengewicht der schwersten und der leichtesten unserer Böden verhält sich wie 8 : 1.

Die Humusböden sind steinfrei. In den Mineralstoffböden nimmt der Steingehalt von oben nach unten zu, doch im Ferrugineetum und Seslerietum in wenig ausgeprägter Weise. Er ist im Festucetum und im hinteren Nardetum im allgemeinen gering, nur einige Gramm im dm^3, erreicht im Ferrugineetum und im Seslerietum mittlere Werte, die sich um 5 % des Feinerdegewichtes bewegen und steigt nur im vorderen Nardetum im tieferen Horizont auf Werte an, die 10 % erreichen oder überschreiten. Wir haben bereits darauf hingewiesen, daß hier zahlreiche, in Verwitterung begriffene Sandkalke die tieferen Bodenschichten durchsetzen. Für das Ferrugineetum und das Seslerietum ist zu berücksichtigen, daß wir besonders steinarme Teile zur Untersuchung heraussuchen mußten, um überhaupt Proben entnehmen zu können.

Sehr instruktiv ist die Verteilung des Volumens auf die festen Bestandteile und die Poren und die Anteile von Wasser und Luft in den Poren des Bodens (vgl. Abb. 20 und 21). Erdvolumen und Porenvolumen machen zusammen 100 % aus, und ihr Verhältnis bleibt in einem gegebenen Boden stabil. Die Poren sind entweder von Wasser oder von Luft gefüllt. Dieses Verhältnis schwankt, indem das Wasser sich je nach der Witterung bald mehr, bald weniger ausbreitet.

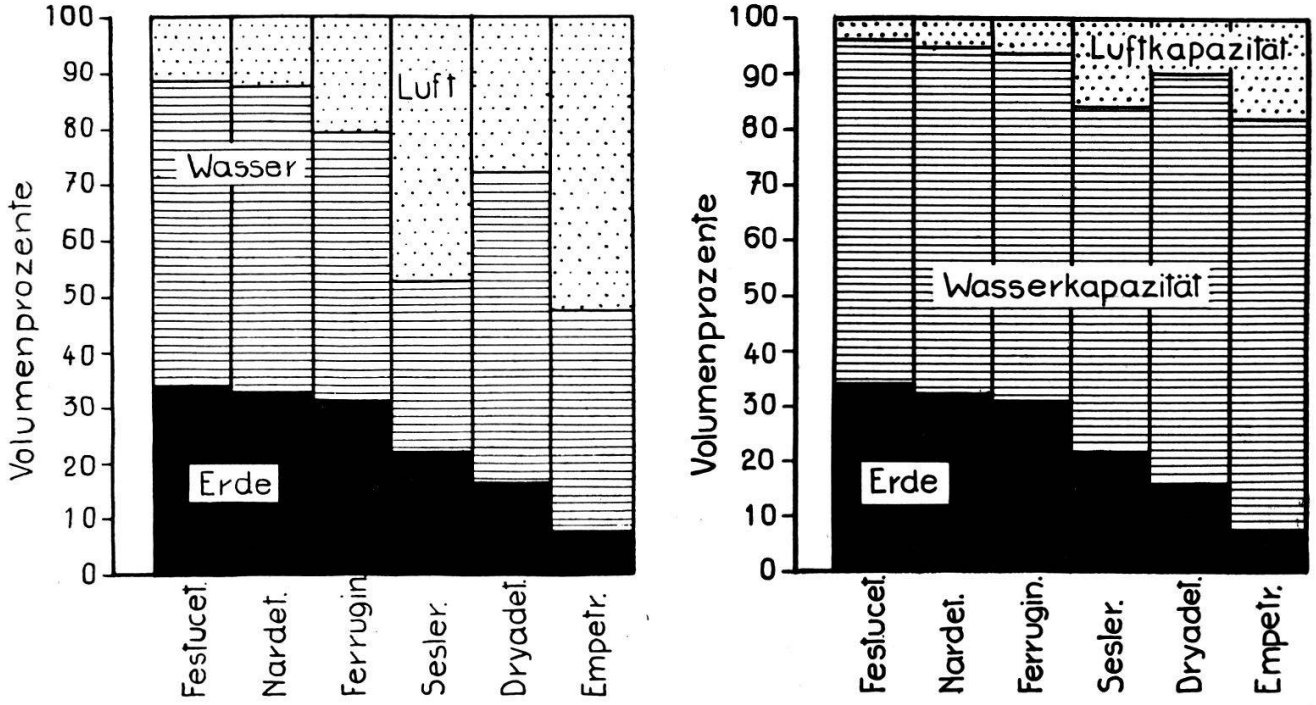

Abb. 20. Volumenanteile von Erde, Wasser und Luft der verschiedenen Pflanzengesellschaften (5—15 cm Bodentiefe; Dryadetum und Empetretum 10—20 cm), links im frischen Boden, rechts im wassergesättigten Zustande.

Während die festen Stoffe in den mineralischen Böden rund $^1/_3$ des Bodenvolumens ausmachen, bei deutlichem Ansteigen von der Oberfläche in die tieferen Bodenhorizonte, kommt ihnen im Seslerietum nur noch $^1/_4$ zu, im Dryadetum $^1/_6$ und im Empetretum $^1/_{11}$—$^1/_{12}$. Bei den meisten Böden entfällt ungefähr die Hälfte des Gesamtvolumens auf das Wasser, beim Festucetum und Nardetum etwas mehr, beim Empetretum und namentlich beim Seslerietum beträchtlich weniger. In den Mittelwerten nahm der Wasseranteil im Festucetum, Nardetum und Dryadetum von oben nach unten etwas ab, bei den andern Pflanzengesellschaften etwas zu, am stärksten im Seslerietum. Der Luftgehalt des frischen Bodens war sehr ungleich. Er nimmt von der Oberfläche gegen unten hin meist ab (die Ausnahme im Dryadetum ist nur scheinbar, vgl. Tab. 14), doch nur im Seslerietum und Ferrugineetum in beträchtlichem Umfang. Die mittleren Luftgehaltsprozente schwanken im Festucetum und Nardetum von 8—15 %, erreichen im Ferrugineetum 21 %, resp. 14 %, im Dryadetum 28 %, im Seslerietum 47, resp. 36 % und im Empetretum 52, resp. 48 %. Die Humusböden zeigen also eine außerordentlich stärkere Durchlüftung als

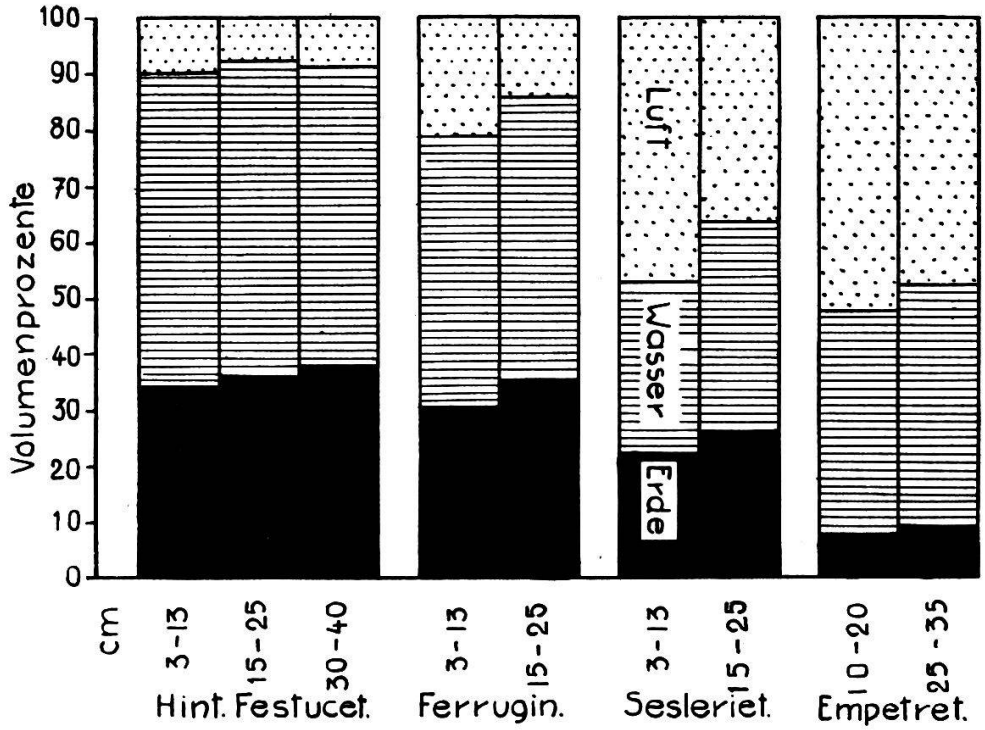

Abb. 21. Volumenanteile von Erde, Wasser und Luft im frischen Boden der verschiedenen Pflanzengesellschaften in verschiedenen Bodentiefen.

die Tonböden, während die kalkig-humosen Böden eine Mittelstellung einnehmen. Das zeigt sich auch für die Luftkapazität. Sie gibt an, wie viel Luft im wassergesättigten Boden noch erhalten bleibt und gibt naturgemäß einen niedrigen Wert, für alle mineralischen Böden im Mittel 4—6 %, während der humose Seslerietumboden auf 10—16 % und der eigentliche Humusboden des Empetretums auf 13—18 % kommen (vgl. auch S. 92).

In bezug auf das Porensystem und namentlich auch auf die Durchlüftung sind also die Böden des Seslerietums und des Empetretums hervorragend günstig gestellt, die des Festucetums und des Nardetums weit ungünstiger, was sich auch bei der Prüfung der Bodendurchlässigkeit bestätigen wird. Im Seslerietum, Empetretum und Dryadetum sind größere Schwankungen des Luftgehaltes zu erwarten, im Festucetum und Nardetum nicht. Doch ist zwischen dem Empetretum und dem Seslerietum ein großer Unterschied. Im Empetretum ist der Boden ein lockerer, poröser Filz von Humusstoffen mit zahlreichen großen Hohlräumen und Kanälen, und der Anteil der festen Bodenbestandteile ist außerordentlich klein. Er verhält sich wie ein Schwamm. Im Seslerietum

dagegen ist ein reichliches mineralisches «Bodenskelett» vorhanden, indem die Hohlräume größerenteils durch die Krümelung der feinsten Bodenteile entstehen und vor allem in kapillarer Form vorhanden sind. Er ist der einzige, im Alpengarten untersuchte Boden, der eine hochentwickelte Struktur aufweist.

Ähnliche Untersuchungen an gewachsenen Böden sind an alpinen Standorten in neuester Zeit durch Erwin Frei (1944) ausgeführt worden. Frei untersuchte Bestandestypen im Schweizerischen Nationalpark im Unterengadin auf Dolomitunterlage und 2 andere Bestandestypen in Nante bei Airolo, auf Bündnerschiefer. Wir bringen in der Tabelle 16 die charakteristischen Werte.

TABELLE 16

Einige Ergebnisse physikalischer Untersuchung von subalpinen Böden, nach E. Frei.

	Trockengewicht von 1 dm³ gewachsenen Boden g	Porenvolumen %	Wasserkapazität %	Luftkapazität %
1. Erica-Bestand mit Pinus montana-Oberwuchs von Stabel-chod, 1970 m, 1—20 cm	831	68	49	10
2. Trisetum flavescens-Fettwiese von Stabel-chod, 1—10 cm	631	73	58	15
3. Ebenda, ± 50 cm	1263	53	36	17
4. Rhodoreto-Vaccinietum von Nante, ± 20 cm	108	93	64	29
5. Sieversii-Nardetum von Nante, ± 5 cm, A_1-Horizont	813	61	58	3
6. Ebenda, 15—30 cm, B-Horizont	925	63	60	3

Von diesen Beständen kann das Ericetum unserem Seslerieto-Semperviretum verglichen werden (Humuskarbonatboden). Das Trisetetum ist floristisch dem Crepideto-Festucetum nahe verwandt; der Boden ist aber steinreich, karbonatreich und in den obersten 10 cm auch humusreich, so daß er als Humuskarbonatboden wohl auch unserem Seslerietumboden am nächsten steht. Das Rhodoreto-Vaccinietum mit seinem reinen Rohhumus in der obersten Bodenschicht eines richtigen Podsolbodens können wir dem Empetreto-Vaccinietum vergleichen, das Nardetum mit podsolierter Braunerde unserem Nardetum.

Die Übereinstimmung in den Werten ist auffallend, wobei der Rhodoretumboden noch etwas extremer ausgebildet ist als der

unseres Empetretums, der Ericetumboden dem des Nardetums genähert. Eine Ausnahme macht der Tiefenhorizont des Trisetetums, der sich durch auffallend hohes Trockengewicht und geringes Porenvolumen bereits als dichtgelagert aufweist, aber trotzdem eine hohe Luftkapazität besitzt. Diesen Typ haben wir im Alpengarten nicht gefunden.

In der Höhenlage, der Schinigeplatte (alpine Waldgrenze), hat Gertrud Schreckenthal-Schimitschek (1935) in den Ostalpen physikalische Bodenuntersuchungen gemacht, mit einer Methodik, die im wesentlichen der unsrigen entspricht. Leider hat aber Schreckenthal ihre Probeentnahmen nicht in klar charakterisierten Pflanzengesellschaften ausgeführt, wahrscheinlich meistens auch nicht in homogenen Vegetationsflächen, so daß es nicht möglich ist, die von ihr veröffentlichten Untersuchungsergebnisse bestimmten Assoziationen zuzuordnen. Vermutlich wird aber ein Carex firma-Carex sempervirens-Dryas octopetala-Rasen auf Rendzinaboden in 1950 m Höhe unserem Seslerieto-Semperviretum verwandt sein, eine Carex sp.-Festuca sp.-Almwiese auf schwerem, aus Kalkgestein hervorgegangenem Boden und wahrscheinlich auch einzelne Almwiesen mit Braunerdeböden auf Silikatgestein unserem Crepideto-Festucetum, ein Vaccinium myrtillus-Vaccinium uliginosum-Bestand mit Hylocomium splendens und Dicranum sp. mit mächtigem «Alpenmoder» über Kalkgrus unserem Empetreto-Vaccinietum. Doch wurden die meisten Proben in Schattenlagen oder doch im Halbschatten entnommen. Beim Vergleiche mit unseren entsprechenden Proben fällt ein sehr starkes Schwanken der erhaltenen Werte auf, auch bei Proben, die dem Anscheine nach der gleichen Gruppe angehören sollten. Das mag daher kommen, daß vielfach Böden ungleicher Reifung nebeneinander stehen, weil die Probenentnahmestellen in rein zufälliger Weise verteilt wurden, ohne auf homogene Vegetationsausschnitte Rücksicht zu nehmen. Auffallend ist regelmäßig die geringe Wasserkapazität und die hohe Luftkapazität. Die letztere erreicht bei den von mir zum Vergleiche herbeigezogenen Rendzinaböden 19—20 % (teilweise noch viel höher, bis 40 %), bei den schweren Kalkböden 6—14 % (—22 %), bei den Braunerden 7—15 % (—26 %), bei dem Vaccinietum 18—33 % (—43 %). Wahrscheinlich handelt es sich hier nicht um wirkliche Unterschiede. Schreckenthal hat die aus dem Wasser kommenden, erdegefüllten Stahlzylinder zum Abtropfen auf Fließpapier gestellt, das so lange ausgewechselt wurde, bis es mindestens 10 Minuten trocken blieb. Das hat einen bedeutend stärkeren Wasserentzug zur Folge, als bei dem freien Abtropfenlassen während einer Stunde, wie wir es machten, und dadurch wird die Luftkapazität auf Kosten der Wasserkapazität begünstigt. Die Trokkengewichte der Böden stimmen in der Größenordnung mit denen der Schinigeplatte überein. Sie ergeben die scharfe Sonderung nach dem Humusgehalt, z. T. durch reichlichen Steingehalt getrübt, und bei den reinen Humusböden bleibt das Litergewicht im trockenen Zustand unter 200 g. In bezug auf die Korngröße dominiert im Rendzinaboden der Feinsand, im schweren Kalkboden Feinsand und Schluff. Ton tritt sehr zurück. Es scheinen also auch die aus Kalkgestein entstandenen Böden im allgemeinen grobkörniger zu sein als unsere Alpengartenböden.

Umfassende Untersuchungen, die von Hans Burger mit den gleichen Methoden ausgeführt worden sind, hat die Eidgenössische Forstliche Versuchsanstalt wiederholt aus dem shweizerischen Mittelland veröffentlicht. In seiner großangelegten

Arbeit von 1922 untersucht Burger vor allem das Verhalten von Waldböden, zieht aber auch einige Dauerwiesen bei.

In Zofingen wurde der Boden einer solchen Wiese während 1½ Jahren 7mal und in verschiedenen Jahreszeiten untersucht, bei Probenentnahme aus 0—10, 40—50 und 80—90 cm Tiefe, in Biel je 3 Proben aus 0—10 und 20 bis 30 cm, in Boudry je 4 Proben aus 0—10 und 20—30 cm Tiefe. Da es sich um Mineralböden von mehr oder weniger lehmiger Beschaffenheit handelt, so können wir sie mit denen unseres Festucetums und Nardetums vergleichen.

Die Proben der obersten Bodenschicht stimmen im allgemeinen gut überein; doch weisen die Schinigeplatteböden ein etwas größeres Porenvolumen und eine gleichmäßigere Luftkapazität auf, die etwa den Mittelwerten Burgers entspricht, aber die starken Sprünge nach oben und unten nicht mitmacht. Die stärkeren Schwankungen bei Burgers Böden dürften davon herkommen, daß die oberste Probe von der Bodenoberfläche an entnommen wurde, während wir die obersten 2—5 cm, bei den Humusböden sogar bis 10 cm, wegließen. Bedeutend werden die Unterschiede in den tieferen Horizonten. Da zeigen die Wiesenböden von Burger eine auffallende Zunahme des Erdevolumens, so daß in 20 bis 50 cm Bodentiefe das Porenvolumen nur noch um 40—50 % ausmacht. Dementsprechend ist das Trockengewicht der Böden hoch, rund 1300—1500 g. In größerer Bodentiefe steigt es noch höher, in Einzelfällen (80—90 cm Tiefe) auf über 1800 g, während es in den Schinigeplatteböden meist in der Bodentiefe von 20 bis 40 cm um 1000 g schwankt und ein einziges Mal 1100 g etwas überschreitet. Auch das Gewicht bei Wassersättigung ist entsprechend hoch, gegen 2000 g, und in einzelnen Fällen etwas darüber. Nicht nur der Wasser- und Luftgehalt, sondern auch die Wasserkapazität und die Luftkapazität nehmen mit der größeren Bodentiefe stark ab; die Luftkapazität wird wiederholt gleich Null.

Innerhalb der von Burger untersuchten Wälder ergeben sich je nach der Bodenbeschaffenheit noch bedeutendere Unterschiede in den physikalischen Bodenwerten als in den Wiesen. So schwankt das Porenvolumen von ca. 28—69 %, und die Luftkapazität kann in den oberflächlichen Schichten, wo sie gewöhnlich ziemlich groß ist, bis 27 % erreichen, während sie im Gegensatz zu den Wiesen auch in den tiefen Bodenschichten gewöhnlich noch einige Volumenprozente ausmacht.

A. Engler untersuchte Böden von Großviehweiden im Rappengraben bei Wasen im Emmental (1050 bis 1150 m) und fand folgende Verhältnisse (Mittelwerte von 24 Proben aus den Jahren 1915/17):

	0—10 cm	40—50 cm
Gewicht von 1 dm^3 des getrockneten Bodens in g	1180	1480
Porenvolumen in %	45	36
Wasserkapazität in %	49	40
Spezifisches Gewicht	2.15	2.30

Also auch hier eine starke Zunahme des Trockengewichtes mit größerer Bodentiefe, verbunden mit Abnahme von Porenvolumen und Wasserkapazität, und gegenüber den vergleichbaren Rasenböden der Schinigeplatte ein sehr hohes Trockengewicht, namentlich in der tieferen Bodenschicht, ein kleines Porenvolumen und eine kleine Wasserkapazität. Das spezifische Gewicht ist verhältnismäßig klein, vor allem in der Oberflächenschicht, wo ein reichlicher Wurzelgehalt von Einfluß ist.

Worauf diese Unterschiede beruhen, ist schwer zu sagen. Messungsfehler sind wohl auszuschließen; denn die Einzelwerte weichen weder im Rappengraben noch auf der Schinigeplatte stark voneinander ab, und gerade das Trockengewicht sowie das Gewicht des wassergesättigten Bodens ist leicht und sicher zu bestimmen. Eine von mir in lehmigen Mischwaldböden des Zürichbergs und im Rasen des Gartens des Geobotanischen Forschungs-Institutes Rübel in Zürich ausgeführte physikalische Bodenuntersuchung ergab in der oberflächlichen Schicht ein Porenvolumen von 54, resp. 52 % und eine Wasserkapazität von 48, resp. 47 %, schließt sich also mehr an die von Burger und Engler gefundenen Werte an als an die der Schinigeplatte. Der Einfluß des winterlichen Gefrierens auf die Bodenlockerung der lehmigen Schinigeplatteböden kann nicht sehr tiefgehend sein, da diese in der Regel im Winter von einer dicken Schneedecke geschützt werden, unter der nur unwesentliche Frostwirkungen auftreten. Vielleicht ist das sehr hohe Porenvolumen dadurch mitbedingt, daß diese Böden nie sehr stark austrocknen und infolgedessen eine Dichtlagerung nicht stattfinden kann. Wir werden sehen, daß trotz der hohen Lage die Kleinlebewelt dieser Böden gut entwickelt ist und auch die bodenlockernden Regenwürmer und Insektenlarven nicht fehlen.

3. *Wassergehalt*

Angaben über die Wassergehalte der Schinigeplatteböden sind in den Tabellen 14 und 15 für die zur Volumenbestimmung entnommenen Böden zusammengestellt. Der Wassergehalt des frischen Bodens in den Mittelwerten für alle mineralischen Böden, eingeschlossen das Seslerietum, schwankt zwischen 34 und 41 Gewichtsprozenten, bewegt sich also in der gleichen Größenordnung. Im Dryadetum ist er bedeutend höher und steigt im Empetretum nochmals stark an, so daß dort der frische Boden zu 76 % aus Wasser besteht. In bezug auf die Volumenprozente des Wassers vgl. S. 85.

Der Vergleich der verschiedenen Bodenhorizonte ergibt im Festucetum, Nardetum und Dryadetum in der Regel in den tieferen Bodenschichten einen etwas kleineren Wassergehalt als in den oberen Schichten. Im Seslerietum, Ferrugineetum und Empetretum sind die Werte in den beiden Horizonten annähernd gleich. Die Proben aus der obersten untersuchten Bodenschicht ergeben innerhalb der gleichen Pflanzengesellschaft bedeutend größere Unterschiede als die verschiedenen Horizonte des gleichen Bodenprofils.

Bei Wassersättigung erhöhte sich der Wassergehalt im Festucetum und im Nardetum nur um wenige Prozente, etwas mehr im Ferrugineetum (4—7 % im Mittel), Dryadetum (7—9 % im Mittel), Empetretum (9—10 % im Mittel) und Seslerietum (13—17 % im Mittel). Eine bedeutende Zunahme liegt also nur beim Seslerietum und bei den eigentlichen Humusböden vor. Die Böden waren zur Zeit der Untersuchung sehr feucht. Nur das Seslerietum weist stärkere Austrocknung auf, da die Probenentnahme in eine Trockenperiode fiel, die sich in diesem Bestande stark auswirkte.

In der letzten Kolonne von Tab. 14 und 15 geben wir den Sättigungsgrad der Böden (abzüglich der Steine) an, d. h. der Gewichtsprozente an Wasser, die der frische Boden in sich trägt, wenn das Sättigungsgewicht = 100 gesetzt wird. Es ergeben sich zum Teil wesentlich andere Werte als bei der Bestimmung des Wassergehaltes, bei dem auf die trockene Feinerde als Basis abgestellt wurde. Der Sättigungsgrad beträgt im Festucetum und Nardetum im Mittel 95—98 % (Extreme 88—98 %), im Ferrugineetum 90—94 % (Extreme 88—95 %). Bei der Proben-

entnahme im Festucetum und Nardetum war der Boden naß; aber die Wassersättigung ist im Ferrugineetum, und in der Festucetumfläche Nr. 29, in denen die Proben bei relativ trockener Witterung entnommen wurden (s. S. 79), nur wenig kleiner. Bedeutend größer ist das Sättigungsdefizit im Seslerietum mit 72—79 % im Mittel (Extreme 67—82 %) und am größten im Rohhumusboden des Empetretums (63 % im Mittel) und im ähnlich beschaffenen Dryadetumboden Nr. 45. Der Humusboden nimmt bei Wassersättigung größere Mengen von Wasser auf, gibt aber einen Teil davon wieder leicht ab.

Im Zustande der Sättigung ist der Wassergehalt in allen Böden sehr hoch, da das Wasser den größten Teil der Poren des Bodens ausfüllt. Sein Volumen entspricht der Wasserkapazität. Diese erreicht die niedrigsten Werte in den tieferen Horizonten der Festucetum- und Nardetumböden mit 58 % und steigt in den obersten Schichten dieser Böden und im Ferrugineetum und Seslerietum bis auf 64 %, in den Dryadetum- und Empetretumböden bis auf rund 75 % des Bodenvolumens.

In Gewichtsprozenten gehen die Werte für den Wassergehalt des wassergesättigten Bodens weiter auseinander; sie erleiden eine Differenzierung nach dem Humusgehalt, der das Bodengewicht beträchtlich verändert. Da die Steine unserer Böden, ausgenommen im Zustande starker, löcheriger Verwitterung (vorderes Nardetum), kein Wasser zu binden vermögen und zudem im Boden ungleich verteilt sind, so ergeben sie in steinigen Böden für die Bestimmung des Wassergehaltes eine bedeutende Fehlerquelle. Der Wassergehalt erscheint zu niedrig. Wir haben deshalb bei der Berechnung nach Gewichtsprozenten die Steine ausgeschieden und nur die Feinerde berücksichtigt. Für die Mineralböden beträgt der maximale Wassergehalt rund 40 Gewichtsprozente (33—48); für die humosen Böden des Seslerietums schwankt er von 49—63 %, für die Humusböden des Dryadetums von 61—83 % und im Empetretum, wenn wir die nicht repräsentative Nr. 52 weglassen, von 83—86 %.

Im lufttrockenen Zustande haben die Mineralböden ihr Wasser bis auf wenige Prozente verloren (1,7—7,4 Gewichtsprozente, Mittelwerte 2,8—5,0 %); das Seslerietum steht, namentlich in den Minimalwerten, ein wenig höher (Extreme 4,1—7,7 %,

Mittelwerte 4,8—5,4 %), und die reinen Humusböden enthalten noch beträchtliche Wassermengen, die größtenteils adsorptiv gebunden sind (Empetretum 11—14 %). Die bei den chemischen Bodenanalysen beobachteten Wassergehalte im lufttrockenen Zustande (Tab. 21) halten sich in der gleichen Größenordnung. Das Wasserhaltungsvermögen geht also in unseren Böden im wesentlichen dem Humusgehalt parallel.

Wassergehalt der Böden in Trockenperioden. Der Wassergehalt der frisch entnommenen Bodenproben schwankt naturgemäß beträchtlich, je nach der Witterung. Für das Gedeihen der Pflanzen sind die maximalen Austrocknungsgrößen der Böden bei anhaltend trockener Witterung von besonderer Bedeutung. Lange andauernde Trockenperioden kommen in unseren Nordalpen nur selten vor, wie im Abschnitt über das Klima unseres Untersuchungsgebietes genauer dargelegt wird. Zur Ergänzung unserer Ergebnisse haben wir aber wiederholt nach längeren Trokkenzeiten in den verschiedenen Pflanzengesellschaften Bodenproben entnommen und auf ihren Wassergehalt geprüft.

Das Frischgewicht der Proben wurde entweder gerade unmittelbar nach der Entnahme im Laboratorium des Alpengartens bestimmt, oder die Proben wurden in Glasfläschchen mit eingeschliffenem Stöpsel sorgfältig verpackt und in Bern, resp. Zürich, untersucht. Steinchen wurden ausgelesen, einzelne lose, relativ trockene Proben (z. B. Seslerietum 7. IX. 1930) durch das 2-mm-Sieb von den Steinen gesäubert. Dann wurden die Proben gewogen, bei 105° getrocknet und nach der Abkühlung wieder gewogen. Vergleichende Untersuchungen an getrockneten Böden zeigten, daß die eventuell noch in der Probe verbliebenen Steinchen den Betrag von 1 % nicht überstiegen, also als Fehlerquelle vernachlässigt werden konnten.

In Tabelle 17 sind Proben aus den Jahren 1930—1933 zusammengestellt. Am 23. VI. 1930 wurden sie zwei Tage nach dem letzten Gewitterregen entnommen, am 7. IX. 1930 nach zweiwöchiger Trockenheit (letzter Regen 22. VIII.) und vorausgegangener, vorwiegend trockener Witterung, am 20. VIII. 1932 nach einer heißen, trockenen Woche und unbedeutenden Niederschlägen seit dem 5. August, am 12. VIII. 1933 nach nur 2 mm Niederschlag seit Ende Juli und unmittelbar vor einem Gewitter. In der Tabelle 18 finden sich die Ergebnisse einer Probenentnahme am 9. VIII. 1937, unmittelbar vor einem Gewitter, nachdem seit dem 1. VIII. kein Regen gefallen war.

TABELLE 17

Wassergehalt der Böden im Alpengarten nach längeren Schönwetterperioden, 1930—1933.

Ort der Probeentnahme (D = Dauerfläche)		Bodentiefe cm	Wassergehalt in %			
			23. VI. 30	7. IX. 30	20. VIII. 32	12. VIII. 33
Hint. Festucetum	D 38	5	38	35	36	
		25	39	34	35	
Vord. Nardetum	D 2	5	36	24	32	30
		25	33	33	34	27
Hint. Nardetum	D 8	5	40	30	45	32
		25	37	33	35	32
Ferrugineetum	D 26	5	36	34	32	28
		25	36	28	35	—
Seslerietum	D 12	5	34	31	27	22
		25	34	28	29	26
	D 16	5	30	19	19	
		25	33	17	22	
Vord. Empetretum	D 36	5		73	69	72
		25		75	74	73
Hint. Empetreum	D 33	5		71	70	
		25		70	74	

Ganz extreme Trockenheit haben wir mit unseren Proben nicht erfaßt. Immerhin waren die Trockenperioden vor dem 7. IX. 1930 und dem 20. VIII. 1932 von einer Dauer, die in unserem Gebiete nur selten überboten wird. Auch der so außergewöhnlich trockene Sommer 1947 brachte auf der Schinigeplatte keine ausgeprägte Trockenheit.

Die höchste Feuchtigkeit fanden wir jederzeit im Empetretum. Hier schwankt der Wassergehalt nur in der Oberflächenschicht in wesentlichem Umfange, indem er vereinzelt etwas unter 70 % hinabging. Sonst hielt er sich auf 70—75 % (im Mittel aller Proben 71,5 %), erreichte also auch in den Trockenperioden annähernd $^3/_4$ des Bodengewichtes. Aber sogar der an der Bodenoberfläche festgestellte Minimalgehalt ist noch größer als er je in einer andern Pflanzengesellschaft gemessen wurde, wenn wir von einem Humusboden des Dryadetums absehen. Eine zweite Gruppe bilden auch in den Trockenzeiten die eigentlichen Mineralböden. Der mittlere Wassergehalt aller Proben betrug im Festucetum 35,5 % und im Ferrugineetum 34,5 %. Die im hinteren Gartenteil gelege-

TABELLE 18

Wassergehalt der Böden im Alpengarten nach längerer Schönwetterperiode am 9. VIII. 1937.

Ort der Probeentnahme (D = Dauerfläche)	Bodentiefe cm	Wassergehalt %
Hint. Festucetum zw. D 39 u. 40	1—2	39
	5	37
	15	38
Vord. Festucetum (große Mulde)	2—5	28
	15	31
Vord. Nardetum D 41	2—5	44
	15	29
Hint. Nardetum D 43	2—5	44
	15	35
Ferrugineetum, unterh. d. Weges	1—2	32
	5	33
	15	36
Ferrugineetum, oberh. d. Weges	1—2	40
	5	39
	15	39
Unt. Seslerietum D 16	2—5	34
	15	35
Unt. Seslerietum D 14, dicht bewachsen	2	32
	5	34
	15	32
Ob. Seslerietum, off. Stelle, SW	2	20
	15	25
Ob. Seslerietum, dicht bewachsen	1—5	30
	15	26
Ob. Seslerietum, dicht bewachsen	2—5	35
	15	34
Vord. Empetretum, dicht bewachsen	2—5	73
	15	75
Vord. Empetretum, offener Boden	0—2	62
	5	72
	15	72
Hint. Empetretum, dicht bewachsen	2—5	68
	15	72

nen Bestände zeigen dabei etwas größeren Wassergehalt und wohl auch größere Schwankungen als die im vorderen Gartenteile gelegenen, die mehr gegen die Sonne exponiert sind (vgl. Abb. 22). Die stärkste Austrocknung zeigt, wie zu erwarten war, das Seslerietum mit einem Mittelwert des Wassergehaltes aller Proben von 28,3 % und einer Schwankung von 17—35 %, wobei das

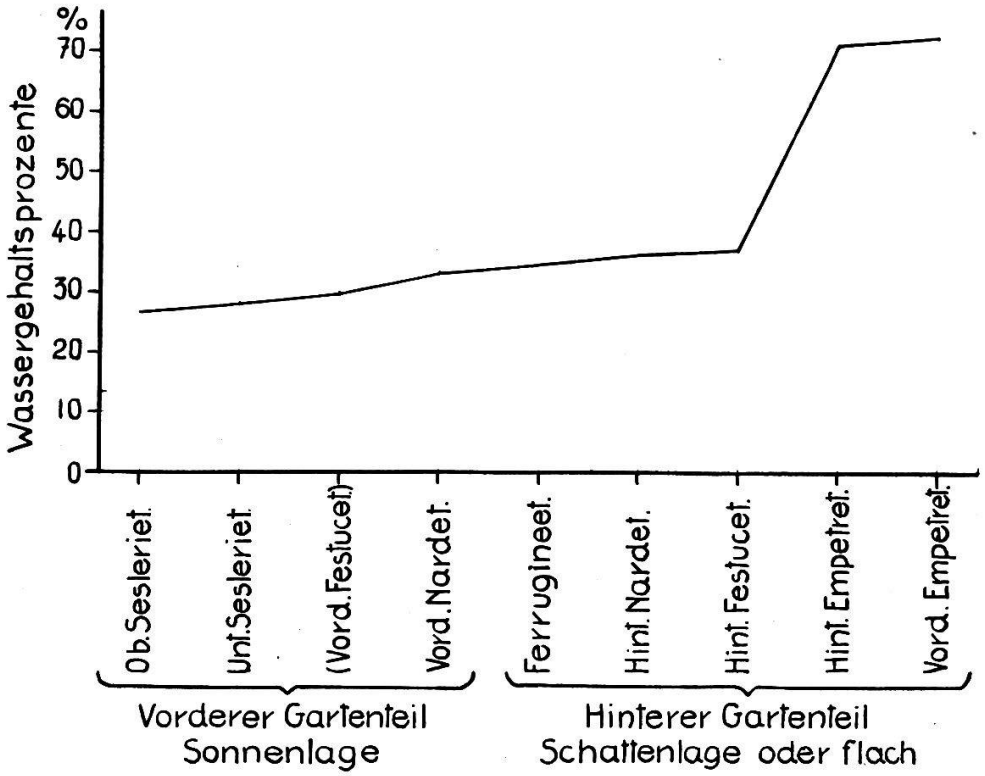

Abb. 22. Wassergehalt der Böden der verschiedenen Pflanzengesellschaften in Prozenten des Frischgewichtes. Mittelwerte vieler Proben.

obere Seslerietum am 9. VIII. 1937 deutlich trockener war als das untere. Bemerkenswert sind im Seslerietum die starken Schwankungen innerhalb des Bestandes im gleichen Zeitpunkt (17—31 %, 19—29 %, 20—35 %). Der treppenartige Aufbau des Bestandes und die Art der Bewachsung schaffen stark beschattete und frei exponierte, dicht bewachsene und nackt liegende Standorte, die Untergrundbeschaffenheit flachgründige und tiefergründige, mit gutem und mit schlechtem Wassernachschub versehene Böden.

Bei der Untersuchung der Bodenvolumen in den Jahren 1928/1929 wurde vorwiegend die obere Bodenschicht etwas feuchter befunden als die untere. Das ist in einer Zeit starker Niederschläge das normale. In Trockenzeiten ist aber zu erwarten, daß der umgekehrte Vorgang eintrete: stärkere Austrocknung der oberen Bodenhorizonte, teils durch direkte Wasserabgabe an den anstoßenden Luftraum, teils infolge der Wasserverdunstung durch die Rasenpflanzen und Zwergsträucher, die ihre Wurzeln meist in den obersten 5 cm des Bodens ausbreiten. Da der Wassernachschub aus den tieferen Bodenschichten nur langsam erfolgt,

so sollten diese nach einiger Zeit der Trockenheit feuchter sein als die oberflächlichen Bodenschichten. Ein solches, annähernd regelmäßiges Gefälle des Wassergehaltes von unten nach oben tritt nur im Empetretum auf. Die übrigen Gesellschaften verhalten sich unregelmäßig, indem in einzelnen Fällen auch nach längerer Trockenzeit die obersten Bodenschichten wasserreicher erscheinen als die tieferen (vgl. 23. VI. 1930, Nardetum, 7. IX. 1930, Seslerietum und Ferrugineetum, 20. VIII. 1932, hinteres Nardetum, 12. VIII. 1933, vorderes Nardetum, 9. VIII. 1937, Nardetum und oberes Seslerietum z. T.). Wir führen diese Erscheinung vor allem auf den starken Tau-Niederschlag zurück, der für die Oberflächenschicht des Bodens den Wasserentzug durch die Verdunstung teilweise ausgleichen kann. Da sich die Faktoren der Verdunstung, des Wassernachschubes und des Tau-Niederschlages auf vielgestaltige und auch innerhalb der gleichen Pflanzengesellschaft immer wieder wechselnde Weise miteinander verbinden können, so entsteht nach einer längeren Trockenperiode das bunte Mosaik des Wassergehaltes im Boden, das unsere Messungen ergeben haben. Auch der «staubtrockene» Boden, wie er gelegentlich im Seslerietum entsteht, hat noch den mehrfachen Wassergehalt des lufttrockenen Bodens. Ein wirkliches Staubtrockenwerden wird schon durch den beinahe regelmäßig eintretenden, nächtlichen Taufall verhindert.

Wie weit die Pflanzen unseren Böden noch nach längeren Trockenperioden Wasser zu entziehen vermögen, ist ein anderes Problem, das hier nicht zur Diskussion steht. Immerhin kann gesagt werden, daß ein wirkliches Wasserdefizit im Untersuchungsgebiet für xerophytische Arten kaum und für mesophytische nur gelegentlich im Seslerietum entstehen wird. Die Pflanzen welkten im Alpengarten während der längsten, beobachteten Trockenperioden auch an den trockenen Hängen nicht in wesentlichem Umfange, wohl aber in der Umgebung auf homogenem Kalkfels oder Kalkschutt, wie zum Beispiel am Südwesthang des Oberberghornes. Starkes Welken im Seslerieto-Semperviretum des hinteren Lauterbrunnentales (Obersteinsberg) haben wir im Herbst 1926 nach außergewöhnlich langer Trockenzeit beobachtet und kurz beschrieben (Lüdi, 1928). Eine Bodenprobe unter welkendem *Helianthemum grandiflorum* zeigte damals noch 28 % Wasser.

In Kulturversuchen, die Rapp-Nowosad (1941) mit *Pisum sativum* bei abgestuftem Wassergehalt des Bodens ausführte, zeigten die Pflanzen bei einem Wassergehalt des Bodens von 30 und 40 % der Wasserkapazität kümmerliches Gedeihen, ein optimales bei 60—70 %. Als Boden wurde «Gartenerde» verwendet, die wohl ähnlich beschaffen war wie unser Seslerietumboden. Unsere Kulturerbse, die zwar aus dem Mittelmeergebiet stammt, aber doch als Mesophyt betrachtet wird, kommt also noch bei verhältnismäßig kleinen Wassergehalten des Bodens fort. Der niedrigste Wassergehalt, den wir in den nach der Methode Burger untersuchten Böden fanden, betrug 47 % der Wasserkapazität (Tab. 14, Nr. 39). Die geringen, absoluten Wassergehalte in mehreren Proben der Tabellen 17 und 18 lassen wesentlich niedrigere Wasserkapazitätsprozente erwarten, ohne daß richtiges Welken eingetreten wäre.

H. Burger hat in seinen physikalischen Bodenuntersuchungen im schweizerischen Mittellande (1922) auch eine große Zahl von Gewichtsbestimmungen des Wassergehaltes der von ihm untersuchten Böden ausgeführt.

Dazu befreite er die in verschiedenen Bodentiefen entnommenen Bodenproben durch ein 5 mm-Sieb von den größeren Steinen. Er gibt seine Werte in Prozenten des Trockengewichtes an, was zur Folge hat, daß sie viel größer sind, als wenn sie in Prozenten des Frischgewichtes angegeben werden, wie wir dies getan haben. Burger findet, wie wir, in der größeren Bodentiefe bald eine Abnahme, bald eine Zunahme des Wassergehaltes. Oft nimmt der Wassergehalt von der Oberfläche nach unten zuerst ab, um gegen unten hin wieder zuzunehmen. Tiefere Bodenschichten sind im Walde merklich trockener als in der Wiese. In den Wiesen von Zofingen schwankte der Wassergehalt um 40 % des Trockengewichtes, in Biel maß er im Mittel in 0—10 cm Bodentiefe 34 %, in 20—30 cm Bodentiefe 38 %, in St-Blaise nur 26 % an der Oberfläche und bis 17 % in 50—60 cm Bodentiefe. Dabei wurden nicht etwa Zeiten nach langer Trockenheit bevorzugt, sondern die Messungen auch nach Regenfällen ausgeführt.

Beim Vergleiche mit unseren Ergebnissen fällt der viel niedrigere Wassergehalt aller von Burger untersuchten Böden des Tieflandes auf. Wenn wir unsere Werte der Volumenbestimmungsproben auf Trockengewichtsprozente umrechnen, so erhalten wir in den Böden des Festucetums, Nardetums und Ferrugineetums Wassergehalte von 52—80 %, im Empetretum ca. 300 %, und sogar das Seslerietum geht nicht unter 50 %. Diese Werte stehen in Übereinstimmung mit dem Porenvolumen und der Wasserkapazität, die wir bereits näher verglichen haben.

Bei Schreckenthal (1935) wird der Wassergehalt der frischen Böden in Volumenprozent angegeben. Verglichen mit unseren Werten fallen die sehr niedrigen Extremwerte und die hohen Schwankungen der Braunerdeböden und Podsolböden auf (Braunerde 17—71 %), während sich die Rendzina- und schweren Kalkböden bei immerhin bedeutenden Schwankungen viel eher im Ausmaße unserer humosen und mineralischen Alpengartenböden halten.

4. *Wasserdurchlässigkeit*

Auch die Wasserdurchlässigkeit der Böden muß am gewachsenen Boden untersucht werden. Wir wendeten dazu die von J. Kopecky und G. Wiegner erdachte und von H. Burger (1922) ausgebaute Methode an.

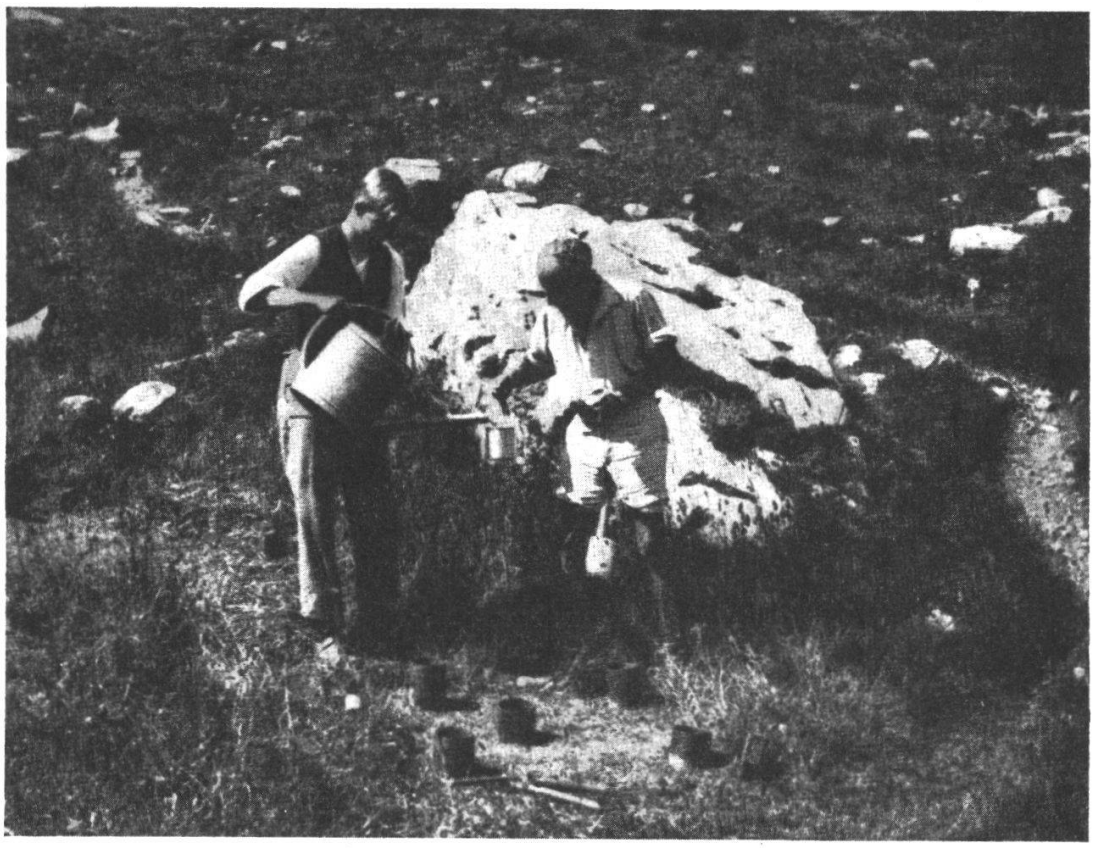

Abb. 23. Sickerversuch in Dauerfläche 38. Fünf Sickerzylinder sind in den Boden eingeschlagen; das Wasser (1 Liter pro Zylinder) wird eingefüllt.
Phot. W. Lüdi, August 1933

Ein Stahlzylinder von 1 dm² Querschnitt wird 1 dm tief in den zu untersuchenden Boden eingeschlagen. Der Zylinder ist 25 cm hoch mit rund herum laufenden Marken in 10 und 20 cm Höhe. Ein Liter Wasser wird zugegossen (20 cm Marke) und die Zeit bestimmt, die verfließt, bis das Wasser vollständig im Boden versickert ist. Die Methode ist in der genannten Abhandlung von Burger eingehend beschrieben und kritisch beleuchtet.

Wir verwendeten, abgesehen von den ersten Versuchen, kein über die Bodenoberfläche gelegtes Sieb, schnitten aber den Rasen und eventuell vorhandene Ästchen von Zwerggesträuch vor dem Einschlagen des Zylinders über dem Boden weg. Die Schwierigkeiten und Fehlermöglichkeiten, die wir beim Einschlagen der Zylinder zur Volumenbestimmung erwähnt haben, treten hier auch auf. Durch unvorsichtiges Einschlagen kann der Boden aufgerissen oder gepreßt werden, wodurch die Durchflußverhältnisse eine Veränderung erfahren. Diese Gefahr ist im Empetretum besonders groß, kann aber durch langsames Eindrehen des Zylinders in den Boden hinein vermieden werden. Die Wurzeln wurden durch die geschärften Zylinderränder meist glatt durchschnitten. Sind größere Steine innerhalb der Zylinderfläche, so wird der Abfluß verlangsamt, durch Mäuselöcher naturgemäß sehr gefördert. Wir haben augenscheinliche Fehlmessungen weggelassen; aber kleinere Zufälligkeiten der genannten Art lassen sich nicht ausschließen, so daß eine einzige Messung nichts Sicheres aussagen kann. Um Mittelwerte zu bekommen, wurden deshalb in den wichtigeren Pflanzengesellschaften des Gartens eine größere Zahl von Versuchen vorgenommen (Abb. 23).

Eine besondere Schwierigkeit bietet das abfallende Gelände, da der Zylinder mit dem Boden einen schiefliegenden Berührungskreis bildet und das Wasser auf der schiefen Berührungsfläche nicht zu gleicher Zeit verschwindet. So weit es möglich war, wurden zur Ausführung der Versuche auch an den Hängen waagrechte Stellen herausgesucht. Auch am Hang schlugen wir den Zylinder stets senkrecht in den Boden hinein, so weit, bis die 10-cm-Marke vom Boden in der Mitte des Querschnittes geschnitten wurde. Die Durchsickerung wurde als beendigt betrachtet, wenn das Wasser auch an der tiefst gelegenen Stelle des vom Zylinder eingeschlossenen Bodens verschwunden war.

In der Tabelle 19 geben wir die Ergebnisse dieser Einsickerungsversuche. Sie wurden bei folgender Wetterlage ausgeführt:

4./6. X. 1928: Wetter gut, aber Ende IX. viel Niederschlag und anfangs X. erster Schneefall; Boden naß.
12. VIII. 1933: Wetter trocken.
19. VIII. 1933: Wetter trocken, nach kleineren Niederschlägen vom 12.—16. VIII.
1. X. 1933: Wetter trocken.
17. VIII. 1934: nach 2wöchiger Regenperiode, Boden naß.
28./29. IX. 1938: Wetter trocken.
18. VIII. 1939: Wetter trocken.

Die besten Vergleichswerte ergeben sich bei gleicher Durchfeuchtung des Bodens, also nach längerer Regenperiode, die alle Böden in den Zustand der annähernden Wassersättigung führt. Wir mußten unsere Untersuchung bei verschiedener Wetterlage ausführen, was für unser Untersuchungsgebiet von keiner großen Bedeutung ist, da die Böden, wie wir gesehen haben, nie stark austrocknen, mit seltener Ausnahme des Seslerietums. Zudem zeig-

TABELLE 19

Einsickerungsversuche in den verschiedenen Pflanzengesellschaften des Alpengartens (Zeit, die zum Versickern einer 10 cm hohen Wassersäule auf 1 dm² Boden benötigt wird).

Tag und Ort	Zahl der Messungen	Versickerungszeit in Minuten		
		Mittel	Extremwerte	
Vord. Nardetum				
4./5. X. 1928	4	270.5	45.0—	550.0
12. VIII. 1933	5	14.6	4.5—	35.2
1. X. 1933	13	11.2	1.0—	35.0
17. VIII. 1934	6	11.8	2.0—	21.5
Hint. Nardetum				
6. X. 1928	3	60.0	30.0—	90.0
12. VIII. 1933	5	2 5	1.4—	6.5
19. VIII. 1933	4	3.7	2.3—	7.0
17. VIII. 1934	2	23.2	16.0—	30.5
28./29. IX. 1938	2	75.5	42.0—	109.0
Vord. Festucetum				
1. X. 1933	6	16.5	8.7—	24.8
17. VIII. 1934	1	64		
Hint. Festucetum				
12. VIII. 1933	5	3.9	1.1—	10.0
19. VIII. 1933	12	114.7	1.8—	415.0
1. X. 1933	5	113.6	27.0—	208.5
17. VIII. 1934	6	36.1	14.0—	87.5
28./29. IX. 1938	4	73.0	12.0—	186.0
Ferrugineetum				
12. VIII. 1933	5	1.5	0.7—	3.0
1. X. 1933	8	6.4	0.8—	25.2
17. VIII. 1934	7	1.8	0.5—	4.2
28./29. IX. 1938	5	5.6	1.2—	15.5
18. VIII. 1939 (unterh. d. Weges)	5	10.8	2.0—	32.0
Seslerietum				
12. VIII. 1933 (Unt. S.)	5	2.7	0.8—	6.3
1. X. 1933 (Ob. S.)	10	1.5	0.4—	3.8
17. VIII. 1933 (Ob. S.)	7	1.4	0.4—	3.0
28./29. IX. 1938 (Unt. S.)	5	2.3	0.8—	3.5
Dryadetum				
17. VIII. 1934	7	1.2	0.4—	2.2
Vord. Empetret., bewachs.				
12. VIII. 1933	5	0.8	0.2—	2.5
19. VIII. 1933	5	0.9	0.1—	2.5
1. X. 1933	5	0.4	0.1—	0.8
17. VIII. 1934	4	0.5	0.5	
28./29. IX. 1938	5	0.2	0.1—	0.4
ebenda, flache, nackte Rohhumusabsätze				
28./29. IX. 1938	4	21.2	3.3—	66.0

ten die Einsickerungsreihen, daß eine wesentliche Verlangsamung der Einsickerung erst nach wiederholten Aufgießungen eintrat, also nach einer Wasserzugabe, die in dieser Größe bei unserem natürlichen Niederschlag nicht vorkommt.

Die Tabelle 19 zeigt ganz außerordentliche Schwankungen in der Einsickerungsgröße zwischen den verschiedenen Beständen und innerhalb der gleichen Pflanzengesellschaft sowohl bei den zu gleicher Zeit ausgeführten Messungen als auch zu verschiedenen Zeiten. Die zu gleicher Zeit in der gleichen Pflanzengesellschaft ausgeführten Messungen ergeben zwischen dem raschesten und dem langsamsten Einsickern bis 10fache Zeiten, in einzelnen Fällen noch viel mehr (z. B. am 1. X. 1933 vorderes Nardetum 35fach, Ferrugineetum 31fach; 19. VIII. 1933 vorderes Empetretum 25fach; 28./29. IX. 1938 Empetretum-Absätze 20fach). Auch die Mittelwerte können innerhalb der gleichen Pflanzengesellschaft sehr große Schwankungen zeigen. Im vorderen Nardetum fällt die Beobachtung vom 4./5. X. 1928 ganz aus der Reihe; das hintere Nardetum zeigt 2 hohe, einen mittleren und 2 niedrige Mittelwerte; die vordere Frischwiese einen mittleren und einen hohen; das hintere Festucetum stuft sich von einem niedrigen bis zu zwei sehr hohen Mittelwerten ab; das Ferrugineetum hat zwei sehr niedrige und drei mehrmals höhere Mittelwerte, mit der Extremschwankung von 1 : 7; die bewachsenen Teile des vorderen Empetretums mit sehr niedrigen Werten schwanken immerhin von 1 : 4,5. Nur im Seslerietum sind die Schwankungen der Mittel klein, nicht mehr als 1 : 2.

Eine klare Beziehung zur Wetterlage läßt sich nicht feststellen. Zwar sind die Werte vom 4./6. X. 1928 (nasser Boden) vorwiegend hoch, die vom 12. VIII. und 1. X. 1933 (trockenes Wetter) meist niedrig. Aber am 12. VIII. 1933 maßen wir im Seslerietum den höchsten Mittelwert und im Empetretum den zweithöchsten, und im hinteren Festucetum erreicht die Einsickerungszeit gerade am 1. X. 1933 einen außerordentlich hohen Wert und ist auch im Ferrugineetum relativ hoch. Am 17. VIII. 1934 sind die Einsickerungszeiten trotz des vorausgegangenen schlechten Wetters vorwiegend niedrig (hoch im vorderen Festucetum), am 28./29. IX. 1938 bei trockenem Wetter zum Teil hoch, zum Teil niedrig, wobei das Empetretum die niedrigsten, dort beobachteten Werte auf-

weist, trotzdem es in dieser Jahreszeit nur noch sehr wenig besonnt wird.

Obgleich eine Beziehung zwischen den Schwankungen der Wasserdurchlässigkeit unserer Böden und dem augenblicklichen Sättigungsdefizit theoretisch wahrscheinlich scheint, so genügt diese nicht, um die Schwankungen zu erklären. Wichtiger ist die Beschaffenheit der Böden. Für die Erklärung der sehr geringen Durchlässigkeit der Nardetumböden am 4./5. X. 1928 liegt es nahe, die starken Pressungen der Oberflächenschicht durch die häufige Lagerung von Vieh und Mensch beizuziehen. Nachdem die Weidenutzung aufgehört hat und die Plätze dem Betreten entzogen sind, lockerte sich der Boden auf. Dann kommen aber auch lokale Unterschiede sehr in Betracht, einerseits mehr steiniger Boden oder besonders dichte Bodenlagerung, andererseits Hohlräume und Mäusegänge, die sich der Beobachtung entzogen. So waren die Meßpunkte vom 4./5. X. 1928 im vorderen Nardetum in besonders steinigen Teilen zwischen den Dauerflächen gelegen, und es ist anzunehmen, daß sich die durch Treten und Lagerung verursachte, ausgeprägte Dichtlagerung des Bodens, mit starkem Steingehalt und weitgehender Wassersättigung, zu dem besonders ungünstigen Ergebnis vereinigten. — Die so sehr auseinandergehenden Werte von der hinteren Frischwiese können zum Teil daraus erklärt werden, daß die Messungen in zwei verschiedenen Teilen ausgeführt wurden: die Messungen vom 12. VIII. 1933 wurden in der kleinen Mulde mit besonders üppigem, hochwüchsigem Rasen bei Dauerfläche 39 ausgeführt, die vom 19. VIII. zum Teil auch dort, zum Teil weiter abwärts, wo die vermagernde Dauerfläche 38 vier ungünstige Werte lieferte, die vom 1. X. östlich von Dauerfläche 38, in ganz steinfreiem Boden, mit schönem, kleereichem Rasen. Die Messungen vom 17. VIII. 1934 und vom 28./29. X. 1938 wurden auf beide Teile verteilt. Gerade hier wird es offenbar, wie innerhalb der gleichen Pflanzengesellschaft bei geringfügigen floristischen Unterschieden durchlässige und schwer durchlässige Böden nebeneinander vorhanden sein können, oft bei Wechsel auf kleinstem Raum. Über die Veränderungen in der Durchlässigkeit, die bei experimenteller Beeinflussung des Rasens eintraten, haben wir bereits anderswo berichtet (vgl. Lüdi, 1936). Auffallend war namentlich die Zunahme der Durchlässigkeit bei Volldüngung

und auch die starke Verkleinerung der Durchlässigkeit in Böden, die wiederholt gestampft worden sind.

Im Empetretum zeigen die Messungen vom 28./29. IX. 1938, daß auf den unbewachsenen Absätzen die Dichtlagerung des Bodens außerordentlich viel größer ist (im Mittel ca. 35mal) als im Zwerggesträuch, wo die übrigen Messungen durchgeführt wurden. Die Dichtlagerung dürfte vor allem auf den Tritt des Menschen zurückgeführt werden, der seit langer Zeit diese Treppen zum Begehen des Hanges verwendete. Die Dicke der Rohhumusschicht kommt weniger in Frage, da diese überall mehr als 20 cm beträgt.

Trotzdem unsere Untersuchungen nachweisen, daß innerhalb des gleichen Bestandes sehr große Schwankungen in der Bodendurchlässigkeit auftreten, oft schon auf kleinem Raume, und somit der Boden in dieser Hinsicht ein sehr verwickeltes System bildet, so ergeben sich dort für die verschiedenen Pflanzengesellschaften charakteristische Mittelwerte, wie die Tabelle 20 und Abb. 24 zeigen.

TABELLE 20

Einsickerungsversuche in den verschiedenen Pflanzengesellschaften des Alpengartens. Mittelwerte aus allen Messungen.

Pflanzengesellschaft	Zahl der Messungen	Versickerungszeit im Mittel, in Minuten
Crepideto-Festucetum	39	67.5
Sieversii-Nardetum	44	40.3
Caricetum ferrugineae	30	4.5
Seslerieto-Semperviretum	27	1.8
Empetreto-Vaccinietum (exkl. nackte Absätze)	24	0.6

Die Zahl der Messungen ist so groß, daß die Zufälligkeiten und extremen Abweichungen in ihrer Bedeutung zurücktreten, die Werte also als charakteristisch angesprochen werden dürfen. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Gesellschaften erreichen sehr große Maße. Es ergibt sich eine klare, absteigende Reihe, in der Festucetum und Nardetum einander nahestehen, das Ferrugineetum eine rund 10mal größere Durchlässigkeit des Bodens aufweist, das Seslerietum wieder 2,5mal größere, das Empetretum wieder 3mal größere. Die Stufenleiter entspricht der Abnahme des Bodengewichtes und der Zunahme des Porenvolumens. Doch

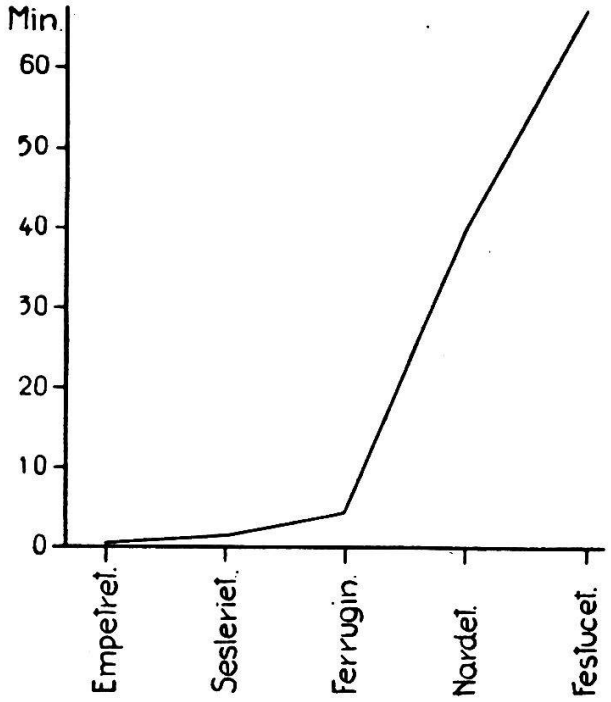

Abb. 24. Mittlere Versickerungszeit für 1 Liter Wasser pro dm² Fläche in verschiedenen Pflanzengesellschaften.

fehlt eine engere Parallelität, sonst müßten sich das Festucetum, das Nardetum und das Ferrugineetum viel näher zusammenschließen, und der Sprung vom Seslerietum zum Empetretum müßte viel größer sein.

Messungen der Versickerungszeiten in schweizerischen Böden wurden in bedeutendem Umfange von A. Engler und H. Burger ausgeführt und in den bereits genannten Arbeiten veröffentlicht.

Engler machte seine Untersuchungen an herausgenommenen Bodenzylindern; sie sind infolgedessen mit den unsrigen nicht vergleichbar. Burger dagegen hat die Methode angewendet, die wir von ihm übernommen haben. Doch hat er bei langsamem Einsickern das Ende nicht abgewartet, sondern aus der innerhalb einer bestimmten Zeit gemessenen Erniedrigung des Wasserspiegels im Zylinder die gesamte Versickerungszeit berechnet (z. B.: für 1.2 cm Erniedrigung des Wasserspiegels wurden 15 Min. benötigt, macht für 10 cm = 125 Min.). Da die Einsickerung sich in der Regel stark, aber unregelmäßig verlangsamt (vgl. unten), so bekommt man auf diese Weise nur einen groben Näherungswert, der wesentlich zu niedrig ist. Die Dauerwiesen in Zofingen, Biel, Boudry und Büren verlangten für die Einsickerung eines Liters Wasser im Mittel ca. 45 Min., bei einer Schwankung von 13 bis 200 Min.

Diese Werte, die zu niedrig sind, da sie bei langsamem Einsickern, wie erwähnt, nur geschätzt wurden, stehen in der Größen-

ordnung unserer lehmigen Böden des Festucetums und Nardetums, bleiben aber in den Extremen hinter ihnen zurück. Die zur gleichen Zeit von Burger in den Waldböden festgestellten Versickerungszeiten sind wesentlich kleiner und gleichmäßiger, namentlich für gutwüchsigen, alten Laubwald. Sie betragen manchmal nur 1,5 bis wenige Minuten. Im Eichenwaldboden von Büren zeigten sich bereits nach 5 Min. in 70—80 cm Bodentiefe Spuren des eingedrungenen Wassers. In schlechtem Waldboden und namentlich in Kahlschlagflächen wurde zum Einsickern eines Liters Wasser bedeutend mehr Zeit benötigt, bis zu einer Stunde im Mittel und $2^3/_4$ Stunden im Einzelfall. Rohhumusböden zeigten eine schlechte Wasserableitung. Das steht im Gegensatz zu unseren Erfahrungen im Empetretum, dürfte aber darauf zurückzuführen sein, daß Burger seine Messungen in dem durch Verfilzung der Nadelstreu oder Begehung dichtgelagerten, nackten Waldboden machte und nicht unter Vaccinien-Zwerggesträuch. Die nackten, durch Tritt mehr oder weniger dicht gelagerten Absätze unseres Empetretums ergaben ja auch eine verhältnismäßig langsame Einsickerung (im Mittel 21,2 Min.). Untersuchungen über die Einsickerungszeiten im Empetreto-Vaccinietum des Oberengadins machten Pallmann und Haffter (1933). Auch sie fanden kurze Einsickerungszeiten für einen Liter Wasser. Sie sind mit 2—5 Minuten immerhin bedeutend größer als die unsrigen, was aber teilweise davon herrührt, daß die Einsickerungsfläche um die Hälfte kleiner war (innerer Durchmesser des Sickerzylinders 8 cm). Auf festgetretenem Boden stieg die Einsickerungszeit bis auf maximal 28 Minuten an.

Einige Messungen der Einsickerungszeiten gibt uns auch E. Frei (1944) aus den bereits auf S. 87 näher bezeichneten Gesellschaften. Er findet als nötige Zeit zum Versickern von einem Liter Wasser auf 1 dm^2 Fläche im Erica-Bestand 1,3 Minuten, in der Trisetumwiese 10—36 Minuten und im Rhodoreto-Vaccinietum 11 Minuten. Der Ericetumwert stimmt mit unserem Seslerietumwert überein; der Trisetetumwert liegt bereits in der Größenordnung unserer Nardetum- und Festucetumwerte, wohl weil der Unterboden ganz anders beschaffen ist. Der Rhodoretumwert steht etwa 20mal höher als für unser Empetreto-Vaccinietum im geschlossenen Bestande, stimmt aber auffallend mit demjenigen

der dichtgetretenen, nackten Absätze überein. Vielleicht wurde die Messung auf solchem offenen und nackten Boden vorgenommen; vielleicht ist auch die Beschaffenheit des Untergrundes von Bedeutung, der auf unserem Hang in zerklüfteten Fels übergeht, dem der Humus zum Teil mit großen Höhlungen aufliegt, in Nante dagegen über einen sandigen Bleicherdehorizont in den sandig-tonigen Unterboden.

Nach der gleichen Methode führte auch Schreckenthal (1935) in Gebirgsböden der Ostalpen Messungen der Einsickerungszeit aus. Sie fand Schwankungen, die noch weit über unsere Extreme hinausgehen (z. B. Rendzinaböden 4—192, schwere Kalkböden 4—1400 Min. für 1 Liter Wasser), aber teilweise davon herrühren, daß Humusböden und humusarme Böden, Humushorizonte und Mineralhorizonte vermischt dargestellt sind. Die meisten Humusböden ergaben niedrige Einsickerungswerte, aber immerhin einige Minuten; ein einziger Boden im Vacciniumbestand nur 20 Sekunden.

Reihenversuche. Um weiteren Einblick in die Gesetzmäßigkeiten der Wasserversickerung zu erhalten, haben wir Reihenversickerungen durchgeführt, indem wir unmittelbar nach dem Einsickern des ersten Liters einen neuen Liter Wasser nachfüllten und diesen Vorgang wiederholten. So entsteht eine ganze Reihe von sich folgenden Einsickerungen, und die dazu benötigten Zeiten lassen erkennen, in welcher Art die Einsickerung durch den immer wieder erfolgenden Wassernachschub verändert wird. Naturgemäß ist mit der zunehmenden Wassersättigung und der Verschlämmung der Wasserwege im Boden eine Zunahme der zur Versickerung eines Liters Wasser erforderlichen Zeit zu erwarten; aber Näheres über solche Vorgänge ist bis jetzt nicht bekannt geworden.

Die Arbeit wurde am 28./29. IX. 1938 ausgeführt, mit einer ergänzenden Nachuntersuchung im Ferrugineetum am 18. VIII. 1939, beidemal bei gutem, trockenem Wetter. Alle Zylinder wurden im typischen, geschlossenen Bestand aufgestellt, bei sorgfältigem Ausschluß der irgendwie beschädigten oder durchwühlten Böden. Die mittlere Versickerungszeit des ersten Liters ergab im hinteren Nardetum die höchsten, an dieser Lokalität gemessenen Zeiten; gleich verhielt sich das Ferrugineetum im Jahre 1939. Im Gegensatz dazu wurden im Empetretum die niedrigsten, mittleren Zeiten gemessen. Für die übrigen Stationen (Festucetum, Ferrugineetum 1938, Seslerietum) lagen sie etwas über dem Mittel aller Werte.

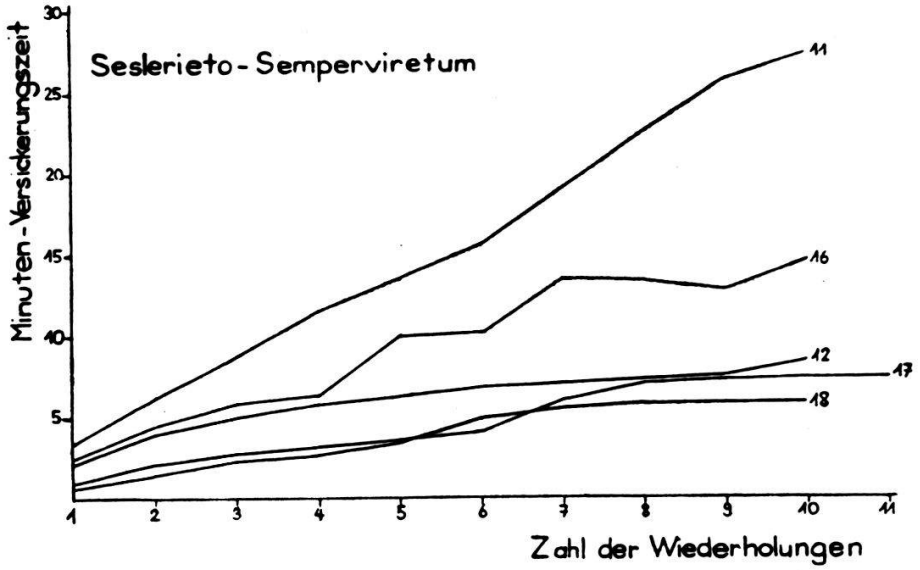

Abb. 25. Versickerungszeit für 1 Liter Wasser pro dm² Fläche bei wiederholter Wasserzugabe im Seslerieto-Semperviretum.

Die Ausgangslage war also nicht einheitlich und auch die Fortsetzung nicht. Wir haben die Ergebnisse in den Kurvenbildern, Abb. 25—28, zusammengestellt. Sie zeigen mit vereinzelten Ausnahmen ein außerordentlich großes Wasserschluckvermö-

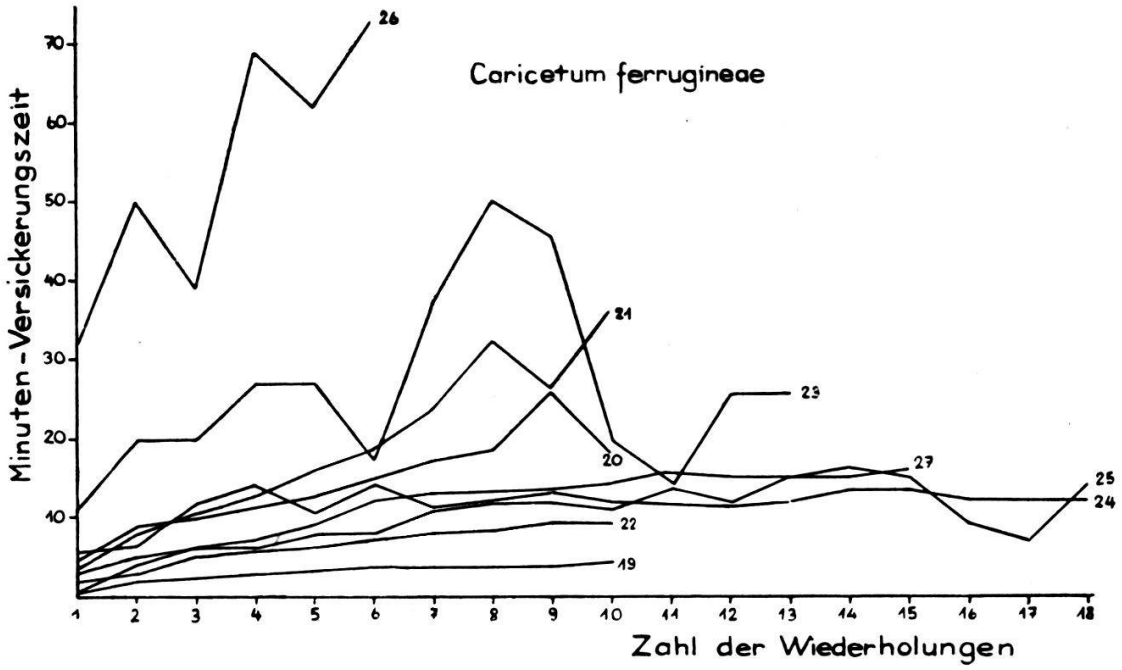

Abb. 26. Versickerungszeit für 1 Liter Wasser pro dm² Fläche bei wiederholter Wasserzugabe im Caricetum ferrugineae.

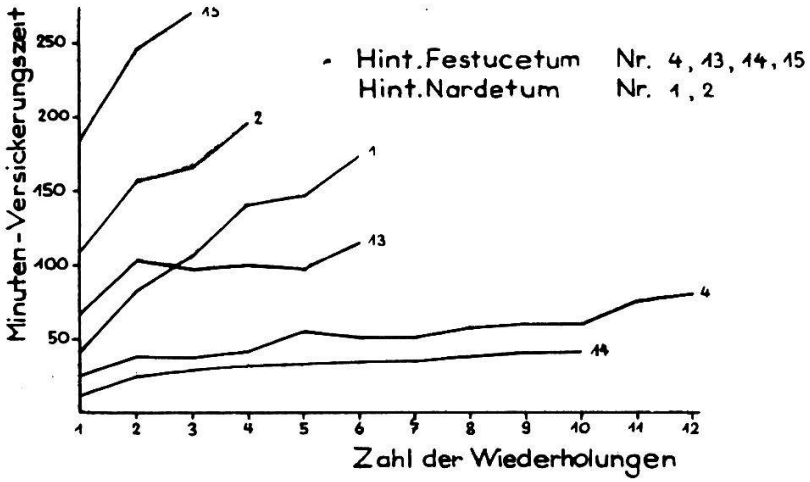

Abb. 27. Versickerungszeit für 1 Liter Wasser pro dm² Fläche bei wiederholter Wasserzugabe im hinteren Festucetum und im hinteren Nardetum.

gen unserer Böden. Auf der Bodenfläche von 1 dm² versickerten 10 Liter Wasser im Mittel

im Empetretum in	4,4 Minuten	(5 Messungen),
im Seslerietum in	79,9 Minuten	(5 Messungen),
im Ferrugineetum in	123,8 Minuten	(8 Messungen),
im Festucetum in	406,5 Minuten	(2 Messungen).

Die besten Zeiten sind teilweise noch wesentlich kleiner: im Empetretum 1,6 Minuten, Seslerietum 28,2 Minuten, Ferruginee-

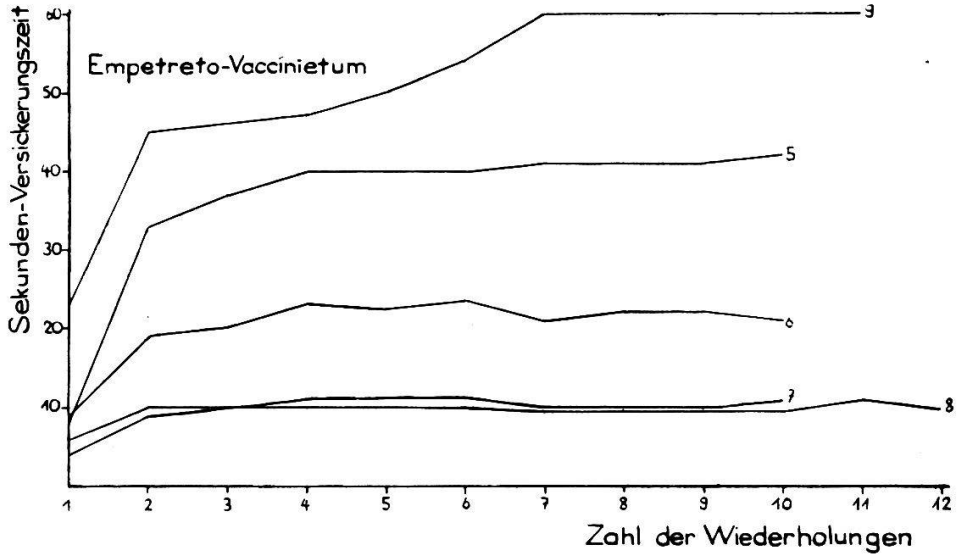

Abb. 28. Versickerungszeit für 1 Liter Wasser pro dm² Fläche bei wiederholter Wasserzugabe im Empetreto-Vaccinietum.

tum 31,8 Minuten. Mehrere Reihen weichen aber stark nach oben ab, einzelne so weit, daß es in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht möglich war, 10 Einsickerungen zu erreichen. Das gilt vor allem für die Proben im Festucetum und Nardetum. Im Festucetum erhielten wir 2 ganze Reihen. Eine dritte umfaßt 6 Einsickerungen in 9,7 Stunden, was auf Grund der sehr langsamen Zunahme der benötigten Zeiten eine Gesamtheit von etwa 18 Stunden für 10 Einsickerungen erwarten läßt. Eine vierte Reihe benötigt für 3 Einsickerungen bei starkem Ansteigen der Zeiten bereits 11,7 Stunden, also für eine ganze Reihe sicher mehrere Tage. Im hinteren Nardetum wurden zwei Versuche unternommen; doch gelangten wir zu keiner vollständigen Reihe; die Einsickerung war ausgesprochen langsam, mit starker Zunahme der benötigten Zeiten. Ein Zylinder benötigte für 6 Einsickerungen ca. 11,5 Stunden und würde vermutlich für die ganze Reihe von 10 Einsickerungen etwa 24 Stunden gebraucht haben. Der andere Versuch verlief noch bedeutend langsamer.

So ergeben die verschiedenen Pflanzengesellschaften sehr große Unterschiede für die Einsickerungszeit einer Wassersäule von 1 m Höhe. Verglichen mit dem Empetretum als Einheit verlangt das Seslerietum etwa 20mal mehr, das Ferrugineetum 30mal mehr, das Festucetum 100mal mehr und das Nardetum mindestens so viel wie das Ferrugineetum. Diese Unterschiede in der Größenordnung zwischen den verschiedenen Beständen gehen sehr schön aus der Zusammenstellung in Abb. 29 hervor, wobei erst noch zu berücksichtigen ist, daß wir für das Festucetum die Kurven mit den schnellsten Einsickerungszeiten gewählt haben. Die übrigen liegen hoch über dem Niveau unserer Abbildung.

Eine Wassersäule von 1 m Höhe wird allerdings beim natürlichen Niederschlag in unserem Gebiet nie innerhalb kurzer Zeit auf den Boden fallen (s. S. 208). Nach unseren Beobachtungen nehmen die geschlossenen Rasen, auch die Weiderasen des Festucetums und des Nardetums, bei starken Wolkenbrüchen die Hauptmenge des fallenden Wassers auf. In der Weide unterhalb der Schinigeplatte liegt eine flache Mulde, in der wiederholt nach sehr starken Gewitterregen eine Wasseransammlung beobachtet wurde. Die Hauptmenge des angesammelten Wassers dürfte aber von den Bahn- und Weganlagen und den Felsplatten der Schinige-

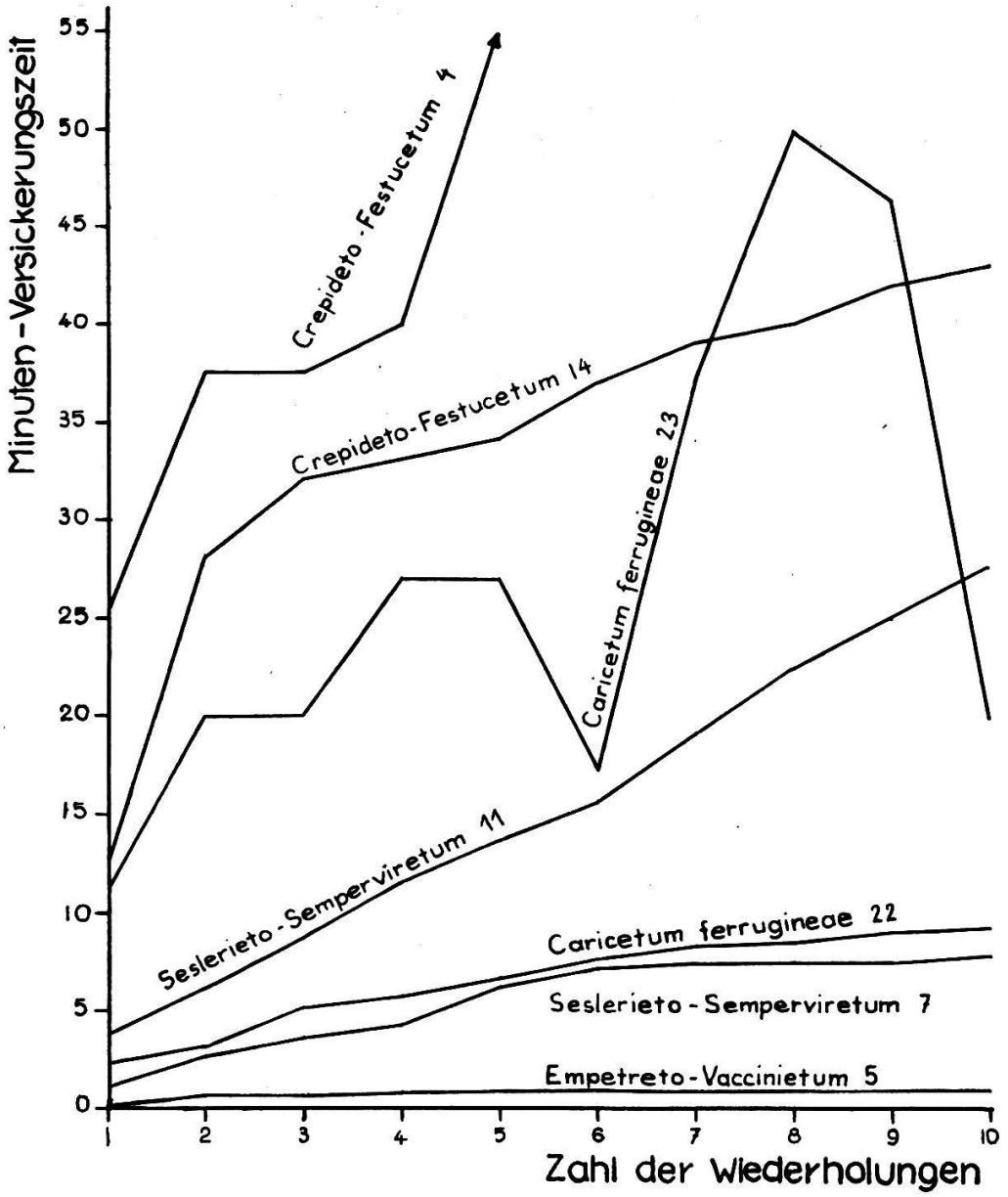

Abb. 29. Versickerungszeit für 1 Liter Wasser pro dm² Fläche bei wiederholter Wasserzugabe in den verschiedenen Pflanzengesellschaften.

platte herstammen. Spätestens nach einigen Stunden war alles versickert.

Wir haben festgestellt, daß die Zeiträume, die zum Versickern eines Liters Wasser benötigt werden, bei der Wiederholung des Versuches zunehmen. Aber diese Veränderungen erfolgen in einer sehr verschiedenartigen Weise. Zwei extreme Typen sind zu unterscheiden, der eine mit schlechter, der andere mit guter Wasserableitung. Im ersten Fall füllen sich bei der Bewässerung die

Poren in der Erde, während eine Weiterleitung des aufgenommenen Wassers gar nicht oder nur sehr langsam eintritt. Wir erhalten eine Sickerkurve, die steil ansteigt, im Extremfall senkrecht wird, nachdem die Poren der Erde mit Wasser gefüllt sind. Solche Böden haben wir nicht; alle untersuchten Böden verfügen über einen deutlichen Wasserabfluß, wenngleich er in einzelnen Fällen sehr geringfügig ist.

Bei stärkerer oder schwächerer Ableitung des Wassers durch den Boden ergeben sich mehrere Möglichkeiten. Ist die Ableitung gleichmäßig, so nimmt die Sickerkurve eine annähernd horizontale Lage ein. Da anfänglich die Hohlräume im Boden nahe der Aufgußstelle aufgefüllt werden, so nehmen die Zeiten, die zum Versickern eines Liters Wasser notwendig sind, am Anfang zu, nähern sich dann einander und bleiben schließlich ungefähr gleich. Dieser Typus der Kurve ist sehr verbreitet in allen untersuchten Gesellschaften, besonders ausgeprägt im Empetretum. Die horizontale Lage tritt in verschiedener Höhe der Ordinate ein. Ist sie tief, so will das sagen, daß die Wasserableitung sehr gut funktioniert, ein rascher und gleichmäßiger Abfluß stattfindet; ist sie hoch gelegen, so bedeutet dies einen langsamen, aber stabilen Abfluß durch den Boden.

Wenn die Schnelligkeit des Wasserabflusses durch den Boden sich fortlaufend verlangsamt, so entstehen Kurven, die andauernd ansteigen, je nach dem Grade der Verlangsamung langsamer oder rascher, eventuell auch ungleichmäßig, wenn der Abfluß bald schneller, bald langsamer erfolgt. Nimmt die Verlangsamung gleichmäßig zu, so entsteht eine gerade Linie. Wir finden in unserem Beobachtungsmaterial auch diese Typen von Kurven in verschiedenen Übergängen zum vorigen und gegen den Typus des Nichtabflusses hin. Am schönsten ist die gleichmäßige Verlangsamung in einer Seslerietumkurve vorhanden, die beinahe eine gerade Linie bildet, allerdings gegen den Schluß hin doch langsam zur Horizontalen umbiegt.

Einige Kurven weisen größere Unregelmäßigkeiten auf, so wiederholte, stufenweise Abnahme oder Wechsel von stärkerer und schwächerer Abnahme oder sogar Wechsel von Abnahme und Zunahme der Versickerungsgeschwindigkeit. Das führt im Extrem zu völliger Unregelmäßigkeit der Kurven.

Diese Vielgestaltigkeit im Wasserabfluß durch den Boden beruht auf einer entsprechenden Vielgestaltigkeit der Bodenstrukturen. Lehmböden, wie im Nardetum und Festucetum, sind wenig durchlässig und zudem der Verschlämmung ausgesetzt. In ihnen geht die Versickerung langsam vor sich, bis zum beinahe völligen Stillstand. Doch gibt es auch in diesen Böden kleine Hohlräume oder Gänge der Bodenlebewesen, und diese ermöglichen rascheren Wasserabzug. Gelegentlich wird das Wasser erst während des Versuches einen solchen Gang auffinden, und das bewirkt dann die plötzliche Abnahme der Verlangsamung im Wasserabfluß und das stufenweise Ansteigen der Kurve. Einzelne Festucetumböden zeigen einen sehr gleichmäßigen Durchfluß, also eine unterirdische Drainage, die uns nicht näher bekannt ist. Um Mäuselöcher kann es sich kaum handeln, da der Abfluß doch recht langsam erfolgt. — Im Seslerietum sind die Böden lockerer, schon infolge der Krümelung; das langsame Rutschen des Bodens und die Durchsetzung mit Steinen und Felsbrocken bringt es mit sich, daß auch Spalten und Hohlräume auftreten. Infolgedessen geht der Wasserabfluß ganz allgemein schneller vor sich als in den lehmigen Böden und ist je nach der individuellen Beschaffenheit der Lokalität, an der die Messung ausgeführt wird, in der Art erst recht verschieden. Wir finden nebeneinander rasche und langsamere Stabilisierung bei raschem Abfluß, ausgeprägt stufenweises Ansteigen der Verlangsamung und gleichmäßige, sehr weitgehende Verlangsamung. — Wie unsere Sickerkurven zeigen, ist der Kalkschuttboden des Ferrugineetums am stärksten von Hohlräumen und Spalten durchsetzt. Wir bestätigen damit, daß er nicht umsonst als «wasserzügig» bezeichnet wird. In der Mehrzahl der Versuche erwies sich der Wasserabfluß als außerordentlich günstig und gleichmäßig. Beim Versuch 24 und 25 (Abb. 26) wurde nacheinander 23mal ein Liter Wasser aufgeschüttet, und noch beim letztenmal benötigte das Wasser zum Abfluß nur 16, resp. 19 Minuten. Das Wasser, das im Boden seinen Weg ja nicht nur senkrecht unterhalb des in der oberflächlichen Schicht aufgesetzten Zylinders sucht, sondern seine Wege nach allen Richtungen hin nimmt, findet hier immer wieder neue Gänge, die es auffüllt oder durch die es abfließen kann. Das führt in einzelnen Fällen zu außerordentlich unregelmäßigen Kurven, zu einem Durch-

einander von Abnahme und Zunahme der Versickerungsgeschwindigkeit. Bei Kurve Nr. 23 zum Beispiel wurde beim 13. aufgegossenen Liter Wasser wieder die anfängliche Versickerungsgeschwindigkeit erreicht. Es ist möglich, daß einzelne starke Beschleunigungen im Wasserdurchfluß durch das Eindringen des Wassers in Mäusegänge hervorgerufen wurden. — Sehr viel einfacher liegen die Verhältnisse im Empetretum (Abb. 28). Der Rohhumusboden ist nach allen Richtungen von Gängen durchsetzt, die ein rasches und gleichmäßiges Durchfließen des Wassers sicherstellen. Verschlämmungen treten nicht auf, und es ist nicht die Art des Abflusses, sondern nur die Schnelligkeit, die durch die individuelle Gestaltung des Ortes der Messung beeinflußt wird. Dabei werden die großen Hohlräume im Untergrund, zwischen Rohhumus und Felsstufen, ausschlaggebend sein.

So ergeben die Sickerkurven weitgehende, neue Einblicke in die innere Struktur des Bodens und heben gewisse Unterschiede, die darin zwischen den einzelnen Pflanzengesellschaften bestehen, deutlich hervor.

c) Chemische Bodenuntersuchung

1. *Totalanalysen*

Diese wurden ausgeführt von Fräulein Dr. Clara Aellig in Bern im Jahre 1931/32, zuerst unter Benützung eines Laboratoriums im Botanischen Institut der Universität (damals Direktion Prof. Ed. Fischer) und später in der Eidgenössischen Agrikulturchemischen Versuchsanstalt Liebefeld-Bern (damals Direktion Dr. E. Truninger). Wir sagen Fräulein Aellig für die uneigennützige Mitarbeit und den Institutsdirektoren für ihr Entgegenkommen nochmals besten Dank.

Die Proben wurden am 30. IX. 1931 in den verschiedenen Pflanzengesellschaften des Alpengartens gesammelt:

Crepideto-Festucetum rubrae commutatae, Nr. 1 und 2 unterhalb Dauerfläche 39, Nr. 3 unterhalb D 38 (östlich des Weges, anläßlich einer Tiefengrabung).

Sieversii-Nardetum strictae, Nr. 4 und 5 zwischen D 6 und 7 im hinteren Nardetum. Unter der dünnen Humusschicht (A_1) war etwas Bleicherde vorhanden (A_2). Die Probe 4 umfaßte auch diesen Horizont.

Caricetum ferrugineae, Nr. 6 und 7 im staudenreichen Bestande des steilen Hanges zwischen der Windecken-Felswand und dem vorderen Empe-

tretum, unterhalb D 28. Die Probe 7 mußte zwischen den Steinen hervorgegraben werden.

Seslerieto-Semperviretum, Nr. 8 im unteren Seslerietum oberhalb D 16 durch Anschnitt einer von *Sesleria coerulea* und *Carex sempervirens* bewachsenen Stufe.

Empetreto-Vaccinietum, Nr. 9, 10, 11 auf einem Absatz unterhalb D 36, mit rund 40 cm mächtiger Schicht von Rohhumus, die dem Felsabsatz aufliegt, aber nach außen über die Stufe hinaushängt. In der Probe 9 waren noch reichlich Wurzeln und Rhizome vorhanden. Die Probe 11 lag auf der mineralischen Grundschicht.

Soweit es anging, entnahmen wir die Proben in Stücken von ca. 1 dm^2 Fläche und 5 cm Höhe. Sie wurden im Laboratorium in kleine Stücke zerbröckelt, lufttrocken gemacht und die Feinerde durch ein 2-mm-Sieb abgetrennt. Dann bestimmten wir im lufttrockenen Boden die Wasserstoffionenkonzentration, die Pufferung, den Glühverlust, den Karbonatgehalt und den Stickstoffgehalt, darauf im Salzsäureauszug den Gehalt an CaO, MgO, K_2O, P_2O_5, $Al_2O_3+Fe_2O_3$, SiO_2, Mn_3O_4.

Der Salzsäureauszug wurde nach den Vorschriften von G. Wiegner (Anleitung zum quantitativen agrikulturchemischen Praktikum) angefertigt: für die Nummern 1—8 nahmen wir je 150 g lufttrockene Feinerde und kochten sie mit 300 cm^3 30 % HCl 1 Stunde lang. Dann wurde der Auszug filtriert und auf 500 cm^3 aufgefüllt. Die Böden Nr. 9—11 mußten des hohen Humusgehaltes wegen vor der Herstellung des HCl-Auszuges verascht werden. Von den Böden 9 und 11 stunden zudem weniger als 100 g zur Verfügung, zur Veraschung von Boden Nr. 9 = 62,33 g, Nr. 10 = 150 g, Nr. 11 = 49,1 g, lufttrockene Feinerde. Bestimmung von N: die Prüfung mit Diphenylamin ergab für die Böden Nr. 3, 4, 6, 8, 9, 11 völlig Freiheit an Nitraten, für Nr. 1, 2, 7, 10 nur Spuren unter 0,001 %. Deshalb wurde der Gesamtstickstoff nach der Methode von Kieldahl bestimmt (nach Wiegner). Bestimmung von P_2O_5, Al_2O_3, Fe_2O_3, Mn_3O_4 nach der Anleitung von Wiegner. Bestimmung von CaO, MgO, K_2O nach der Methode der Versuchsanstalt Liebefeld (K_2O = Platinchloridmethode).

Da jeweilen nur eine Bodenprobe aus dem gleichen Bodenhorizont einer Pflanzengesellschaft verarbeitet wurde, so bleibt es etwas unsicher, ob wir stets Normalwerte erhalten haben. In bezug auf pH, Glühverlust und Karbonatgehalt entsprechen die Böden den normalen Werten, die unsere übrigen Untersuchungen ergeben haben, mit der Einschränkung, daß das Festucetum-Bodenprofil etwas saurer ist als das Mittel dieser Böden, der tiefere Nardetumhorizont dagegen bedeutend weniger, als der Norm entsprechen würde. Die Analysen selber sind aber zuverlässig; jede Bestimmung wurde zweimal ausgeführt, und die beiden Proben zeigen gute Übereinstimmung.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Tabelle 21 und in Abb. 30 zusammengestellt.

SiO_2: Trotzdem der Mineralboden zum größten Teile aus Kieselsäure besteht, ist diese nur in sehr kleinen Mengen in salzsäure-

TABELLE 21

Bodenanalysen aus den verschiedenen Pflanzengesellschaften des Alpengartens, berechnet auf die bei 105° getrocknete Feinerde.

Nr.	Ort der Probenentnahme	H_2O im lufttrock. Boden %	Ca CO_3 %	Glüh-verlust %	pH	N %	SiO_2 %	K_2O %	P_2O_5 %	Ae_2O_3 + Fe_2O_3 %	Mn_3O_4 %	CaO %	MgO %	C/N
1.	Festucetum, 2—7 cm	4,61	—	15	4,90	0,673	0,09	0,352	0,317	11,01	—	0,052	0,156	10
		4,58				0,701		0,336	0,323	11,02		0,054	0,174	
2.	20—25 cm	4,66	—	9	5,37	0,371	0,11	0,348	0,271	11,90	Spur	0,140	0,749	9
		4,63				0,372		0,343	0,269	11,99		0,136	0,695	
3.	100 cm	2,86	—	4	5,16	0,138	0,12	0,306	0,146	13,11	—	0,536	1,273	(5)
		2,95				0,137		0,309	0,145	13,00		0,573	1,294	
4.	Nardetum, 2—7 cm	5,26	—	16	4,49	0,787	0,18	0,233	0,205	10,77	—	0,274	0,644	10
		5,07				0,761		0,229	0,208	10,76		0,271	0,648	
5.	20—25 cm	3,47	—	7	6,49	0,259	0,13	0,237	0,105	12,39	Spur	0,107	0,901	9
		3,37				0,252		0,220	0,099	12,53		0,113	0,902	
6.	Ferrugineetum, 2—7 cm	4,34	—	15	6,88	0,560	0,13	0,227	0,194	7,33	—	1,349	0,524	12
		4,37				0,570		0,224	0,193	7,29		1,332	0,523	
7.	20—25 cm	3,42	0,38	10	8,11	0,441	0,12	0,254	0,185	8,20	—	1,301	0,452	9
		3,37				0,439		0,264	0,183	8,11		1,332	0,449	
8.	Seslerietum, 5—15 cm	5,62	—	28	6,30	0,867	0,09	0,128	0,182	5,54	—	1,740	0,457	16
		5,42				0,841		0,132	0,181	5,37		1,856	0,537	
9.	Empetretum, 5—10 cm	12,95	—	91	3,98	1,868	0,09	0,246	0,174	0,62	—	1,775	0,186	27
		13,00				1,858		0,259	0,179	0,64		1,761	0,157	
10.	25—30 cm	12,69	—	90	4,07	2,128	0,25	0,109	0,162	0,66	—	2,714	0,100	23
		12,62				2,135		0,106	0,167	0,67		2,706	0,109	
11.	35—40 cm	14,13	—	76	6,49	2,185	0,32	0,311	0,290	3,05	—	5,896	0,133	19
						2,230		0,302	0,280	3,17		5,866	0,180	

löslichem Zustande vorhanden, am meisten in den tieferen Horizonten des Empetretums. Dort wird es sich wohl im wesentlichen um zugeführten Staub handeln, der dann durch die Humussäuren in kolloidalen Zustand übergeführt und in den tieferen Bodenhorizonten ausgefällt wurde.

Al_2O_3 und Fe_2O_3: Der Gehalt an löslichem Eisen und Aluminium ergibt eine ausgesprochene Abstufung von den tonigen Mineralböden des Festucetums und Nardetums mit 10,8—13,1 % über den kalkigen Mineralboden des Ferrugineetums mit 7,3—8,2 %, den humosen Mineralboden des Seslerietums mit 5,5 %, den mineralreichen Humusboden im Grunde des Empetretums mit 3,1 % zum reinen Rohhumusboden des Empetretums mit 0,6 %. Der auffallend geringe Gehalt des Ferrugineetums beruht wohl auf dem geringeren Verwitterungsgrad dieses Bodens und die am steilen Hang beträchtliche Ausschwemmung der gelösten Stoffe. In den Mineralböden stellen wir eine deutliche Anreicherung der Sesquioxyde in den tieferen Bodenschichten fest, als Folge der Auslaugung der obersten Schichten und teilweisen Umlagerung in tiefere Schichten. Sie ist im Nardetum am stärksten, aber auch im Festucetum und Ferrugineetum wesentlich. Im Empetretum ist eine solche Zunahme des Gehaltes an Sesquioxyden erst in den halbmineralischen Grundschichten des Bodens festzustellen, wo sie wahrscheinlich primärer Natur ist. Über die Verteilung innerhalb des Seslerietum-Profils können wir nichts aussagen, da dort nur eine einzige Probe untersucht wurde.

CaO: Die Kalkwerte sind im Nardetum und Festucetum sehr klein. Sie steigen im Festucetum von der Oberfläche bis in 100 cm Tiefe auf das Zehnfache an, von 0,05 % auf 0,5 %, während im Nardetum der Gehalt von der Oberfläche nach unten hin abnimmt; der relativ hohe Gehalt der obersten untersuchten Bodenschicht dürfte wohl auf der starken Adsorbierung zur Neutralisation der Bodensäuren beruhen. Im Ferrugineetum ist der Kalkgehalt bedeutend höher und in beiden untersuchten Bodenhorizonten gleich hoch (1,3 %), trotzdem der tiefere Spuren von Karbonat aufwies. Im Seslerietum liegt er noch etwas höher (1,8 %). Auffallenderweise ist der Kalkgehalt im Empetretum am höchsten. In den oberflächlichen Bodenschichten ist er so hoch wie im Seslerietum und nimmt mit der größeren Bodentiefe stark zu. Im Grunde

des Bodens erreicht er 5,8 %, trotzdem auch diese Erde karbonatfrei war. Dieser Kalk kann sowohl aus den abgestorbenen Pflanzenresten als auch direkt aus dem durch die Winde herbeigeführten Staub herstammen; er ist aber jedenfalls adsorptiv fest gebunden und dadurch der Gehalt angereichert.

Nach M. Maercker (zitiert bei Wiegner-Pallmann, Seite 254) gilt ein Boden mit weniger als 0,1 % CaO als kalkarm, bei 0,25—0,5 % als normal, mit mehr als 1 % als reich. Diese Mengen gelten für schwere Böden; für leichte genügen bereits kleinere Mengen von Kalk im Boden, und E. W. Hilgard (zit. ibid.) gibt an, daß bereits bei einem CaO-Gehalt des Bodens von 0,75 % sich Kalkwuchs bemerkbar mache. Demnach müßten von unseren Böden nur der Festucetumboden und der tiefere Horizont des Nardetums als kalkarm oder als mäßig mit Kalk versorgt bezeichnet werden, während schon die obere Bodenschicht des Nardetums als normal versorgt und alle übrigen Böden als reich oder überreich gelten müßten. Aber die Angaben der Agrikulturchemie beziehen sich im wesentlichen auf Kulturböden, und bei sauren Naturböden sind die Verhältnisse anders, indem der Kalk, auch wenn er in beträchtlicher Menge im Boden vorhanden

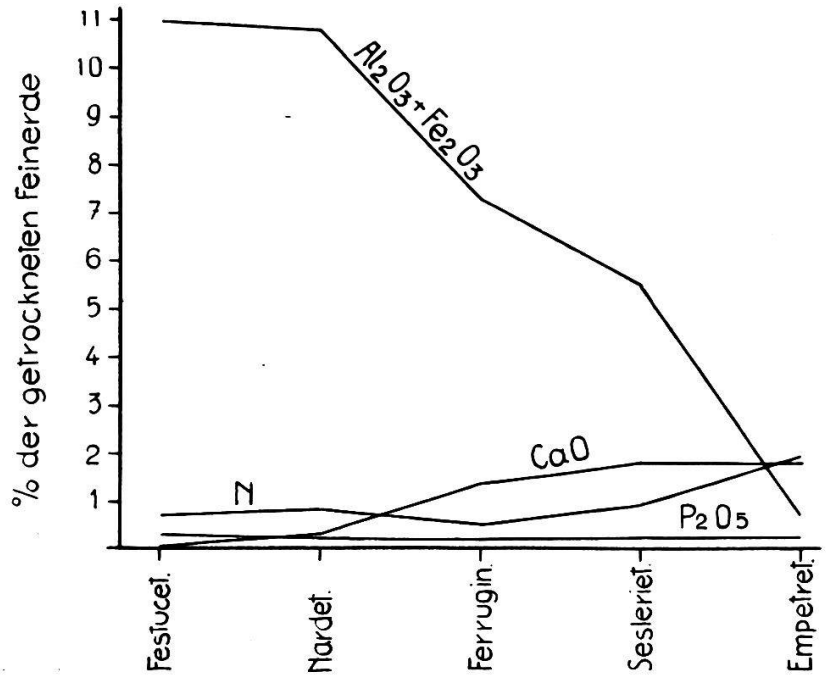

Abb. 30. Gehalt der Böden an verschiedenen Mineralstoffen: N, P_2O_5 (und ähnlich K_2O), CaO, Sesquioxyde, im Salzsäureauszug in verschiedenen Pflanzengesellschaften (5 cm Bodentiefe).

ist, nicht zur Auswirkung kommt. Nur unter diesem Gesichtspunkte ist der hohe Kalkgehalt im Empetretum zu verstehen. Nach Wiegner-Pallmann ist für Heidehumus, der nach der Vegetation beurteilt, unserem Empetreto-Vaccinietum-Boden am nächsten steht, ein Kalkgehalt von nur 0,35 % normal. Dagegen ergibt eine Studie von Pallmann, Hasler und Schmutziger über alpine Eisen- und Humuspodsole (1938) für einen Eisenpodsol aus dem Oberengadin und einen Humuspodsol aus dem oberen Tessintal ganz ähnliche Verhältnisse: Die in Salzsäure austauschbaren, basischen Ionen, unter denen das Kalziumion 75 bis 80 % ausmacht, sind in den Rohhumusschichten außerordentlich stark angereichert, im A_2-, B- und BC-Horizont, also den mineralischen Bodenschichten, dagegen nur in sehr kleiner Menge vorhanden. Die Bauschanalyse des Humuspodsols umfaßt auch die Humusschichten und gibt im A_1-Horizont, der unseren Proben 9 und 10 in Tabelle 20 entspricht, im Glührückstand 1,98 % CaO. Das entspricht bei einem Humusgehalt von 59 % einem CaO-Gehalt im trockenen Gesamtboden von ca. 0,8 %. Ein direkter Vergleich ist allerdings nicht möglich, da die Bauschanalyse den gesamten Bodenkörper umfaßt, nicht nur den in kochender Salzsäure löslichen Teil, wie die von uns angewendete Methode. Auch der Betrag von 0,8 % ist also noch zu hoch gegenüber dem Salzsäureauszug. Die tieferen Bodenschichten des Humuspodsols ergeben nach der Bauschanalyse noch höhere Anteile von CaO, die aber bei der Behandlung, wie wir sie durchgeführt haben, zum Teil nicht in Lösung gegangen wären. Doch ist zu berücksichtigen, daß die von Pallmann und seinen Mitarbeitern untersuchten Böden aus den kristallinen Alpen stammen, und wir dürfen annehmen, daß auch anderswo in Kalkgebieten im Rohhumus des Empetretums oder ähnlicher Gesellschaften die hohen CaO-Werte der Schinigeplatte gefunden würden.

MgO: Auch das Magnesiumoxyd läßt in den Böden des Nardetums und des Festucetums eine Anreicherung in den tieferen Bodenhorizonten erkennen und ergibt in 100 cm Bodentiefe des Festucetums, einem Boden, der sich dem Rohboden bereits etwas nähert, den sehr hohen Wert von 1,3 %. Im übrigen tritt der Magnesiumgehalt in ein ausgesprochenes Wechselverhältnis zum Kalziumgehalt, teilweise weil er in den verschiedenen Böden viel

geringere Schwankungen aufweist (Extreme ca. 1 : 10, CaO ca. 1 : 100). Er ist im Nardetum und Festucetum, den Böden mit geringem Kalkgehalt, bedeutend höher als der Kalkgehalt, im Ferrugineetum und Seslerietum, die einen hohen Kalkgehalt aufweisen, bedeutend niedriger, und im Empetretum, der Gesellschaft mit weitaus dem höchsten Kalkgehalt, auch weitaus am niedrigsten. In auffallender Weise ist der Magnesiumgehalt in der obersten Bodenschicht des Festucetums niedrig, nicht höher als im Empetretum, wobei allerdings ein noch 3mal niedrigerer Wert des Kalkgehaltes parallel geht.

Es wird angegeben, für die Qualität eines Bodens sei ein Magnesiumgehalt, der größer ist als der Kalkgehalt, ungünstig. Das würde also für unsere Nardetum- und Festucetumböden gelten, in denen das Wachstum vorwiegend schwach ist. Immerhin ist der Festucetum-Rasen qualitativ günstig. Umgekehrt ist im Empetretum, wo das umgekehrte Ca/Mg-Verhältnis seinen Höchstwert erreicht, der Boden höchst unfruchtbar. Nach Wiegner-Pallmann soll die oben genannte Beziehung nicht immer gelten. Der Boden des Sihlwaldes bei Zürich enthält 2—6mal mehr Magnesium als Kalzium und ist doch ein vorzüglicher Waldboden *(Abies, Fagus, Fraxinus, Acer, Picea).*

Mn_3O_4: Dieses Spurenelement, dessen Bedeutung erst in jüngster Zeit erkannt worden ist, konnte mit der angewendeten Methode nur in dem 20—25-cm-Horizont des Festucetums und Nardetums nachgewiesen werden. Doch war die Untersuchung wohl kaum fein genug, um schwache Spuren festzustellen. Das Fehlen oder doch sehr geringfügige Vorkommen des Mangans wird aber in den sauren Böden kaum von wesentlichem Einfluß sein.

K_2O: Der Kaligehalt schwankt in den untersuchten Mineralböden nur von 0,1—0,35 % und ist am höchsten im Festucetum. Von der Tiefenlage erscheint er wenig beeinflußt; doch ist er im Festucetum in 100 cm Bodentiefe deutlich kleiner als in den oberen Bodenhorizonten. Der humose Seslerietum-Boden hat nur ungefähr die Hälfte des Kaligehaltes der eigentlichen Mineralböden, und im Empetretum ist der Gehalt sehr schwankend: mittel an der Oberfläche, klein in der mittleren Schicht und groß in der Grundschicht.

Nun sind die Kaliwerte nicht leicht einwandfrei zu bestimmen und fallen je nach der angewandten Analysenmethode wesentlich verschieden aus. Auch der normale Kalibedarf eines Bodens ist offenbar schwer anzugeben. Er schwankt mit der allgemeinen Bodenbeschaffenheit und mit der Art der zu ernährenden Pflanzen. Wohltmann (zit. nach Wiegner-Pallmann) bezeichnet einen Gehalt von 0,2—0,4 % als gut. Von unseren Böden stehen nur der Seslerietumboden und die mittlere Schicht des Empetretumbodens unter diesem Betrag. Der Gehalt im Seslerietum würde noch als normal oder doch als mäßig zu bezeichnen sein; der mittlere Empetretumhorizont dagegen als arm. Nach den Durchschnittszahlen des Kaligehaltes der Böden, wie sie von Wiegner-Pallmann gegeben werden, liegen die Werte unserer Mineralböden in der Gruppe der Lehmböden, die des Seslerietum- und des mittleren Empetretumbodens in der Gruppe der sandigen Lehme. Die Durchschnitte der Moorböden, insbesondere der Hochmoorböden, liegen viel tiefer (0,03—0,05 %). Auch in Bezug auf das Kalium muß aber hervorgehoben werden, daß seine Bindung in den sauren Böden so fest ist, daß der reichliche Gehalt den Pflanzen, die sich aus dem Boden ernähren müssen, nichts nützt.

P_2O_5: Der Gehalt unserer Alpengartenböden an Phosphorsäure schwankt zwischen 0,1—0,3 %. Am höchsten ist er in den oberen Horizonten des Festucetums und im Grundhorizont des Empetretums, am niedrigsten im unteren Horizont des Nardetums (0,1 %). Allgemein nimmt der Gehalt von oben nach unten etwas ab, am stärksten im Nardetum, wo er bis in 20—25 cm Bodentiefe auf die Hälfte absinkt, was im Festucetum erst in 100 cm Tiefe erreicht wird. Im Empetretum zeigt die tiefste Schicht wieder eine Zunahme. Ferrugineetum, Seslerietum und oberste Schicht des Empetretums sind in den Phosphorsäurewerten auffallend übereinstimmend.

Nach Wiegner-Pallmann kann ein Gehalt von mehr als 0,15 % als reich, 0,10 % als gut bezeichnet werden. Alle unsere Böden sind also reich an Phosphorsäure, mit Ausnahme des Tiefenhorizontes der Frischwiese, der an der Grenze gut-reich liegt, und des unteren Nardetumhorizontes, der an die Grenze gutmäßig gerückt ist. Die Aufnahmefähigkeit der Phosphorsäure

durch die Pflanzen ist im allgemeinen bei saurer Bodenreaktion gut, und infolgedessen sollte die Zugänglichkeit des Phosphorvorrates in unseren Böden nicht schlecht sein. Als günstig für die Ausnützungsmöglichkeit der Phosphorsäure im Boden wird ein niedriges Verhältnis der Phosphorsäure zu den Sesquioxyden angegeben. Das Verhältnis 1 : 40—1 : 60 zum Beispiel gilt als günstig, 1 : 90 und mehr als ungünstig. Unsere Böden aus dem Festucetum, Nardetum, Ferrugineetum und Seslerietum halten sich im Verhältnis zwischen 1 : 30 und 1 : 50, sollten also zur Ausnützung der Phosphorsäure günstig sein. Eine Ausnahme machen nur der Nardetumboden von 20—25 cm Tiefe und der Festucetumboden aus 100 cm Tiefe, für die das Verhältnis ungünstig wird (1 : 125, resp. 1 : 86). Im Empetretum ist das Verhältnis 1 : 3—1 : 10, und es ist uns unbekannt, wie sich ein solches auswirkt.

N: Der Stickstoffgehalt nimmt in den Mineralböden von der Bodenoberfläche gegen die Tiefe hin ab und steigt im humosen Seslerietumboden und noch viel mehr in den Rohhumusböden des Empetretums an. Nach Wohltmann (zit. in Wiegner-Pallmann) wird ein Boden mit mehr als 0,3 % Stickstoff als sehr reich bezeichnet. Diesem Anspruch genügen alle unsere Böden mit Ausnahme des 100-cm-Horizontes im Festucetum und des 20—25-cm-Horizontes im Nardetum, die aber nach dem gleichen Autor immer noch zu den N-reichen Böden zu rechnen sind. E. Frei (1944) findet in den korrespondierenden Gesellschaften (vgl. S. 87) in den obersten Bodenschichten (A_1) ähnliche, zum Teil infolge des größeren Humusgehaltes auch höhere N-Gehalte. Diese nehmen mit steigender Bodentiefe sehr stark ab, im Humuskarbonatboden des Trisetetums schon im A_2-Horizont auf 0,05 %, im AC-Horizont auf 0,01 %. Unser Festucetumboden aus 100 cm Tiefe, der auch als AC-Horizont zu werten ist, besitzt mit seinen 0,14 % einen verhältnismäßig hohen N-Gehalt, was noch auf wesentliche Beeinflussung von der Oberfläche her hinweist. Der Eisenpodsol von Pallmann, Hasler und Schmuziger (1938) hat im A_1-Horizont einen N-Gehalt von 1,4 %, im A_2- und B-Horizont noch von ca. 0,15 %.

Der absolute Gehalt im Salzsäureauszug sagt über die Ausnutzungsmöglichkeit des Stickstoffes nichts aus. Er ist in den sauren Böden an den Rohhumus festgebunden. Günstig sind die

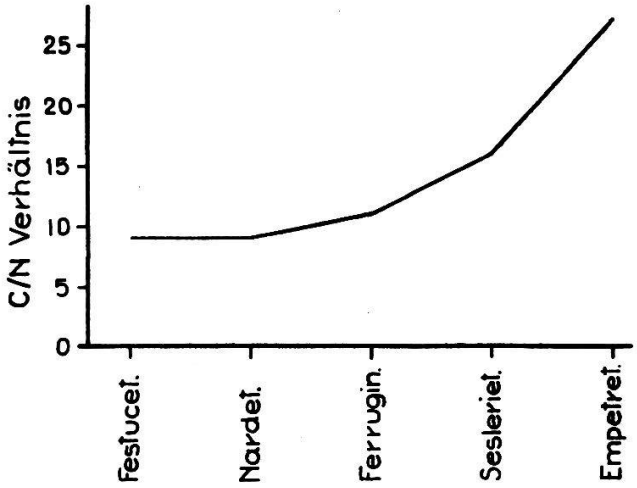

Abb. 31. C/N-Verhältnis der Böden in verschiedenen Pflanzengesellschaften.

Verhältnisse jedenfalls im Ferrugineetum, wo wir das üppige Gedeihen der Stauden weitgehend auf den Stickstoffreichtum zurückführen dürfen. Diese Betrachtung wird gestützt durch die Untersuchung des Kohlenstoff-Stickstoffverhältnisses in den Böden.

C:N: In der letzten Kolonne der Tabelle 21 und in Abb. 31 haben wir das Verhältnis von Kohlenstoff und Stickstoff dargestellt. Da der Kohlenstoffgehalt nicht analytisch bestimmt wurde, berechneten wir ihn aus dem Glühverlust. Wir machten von der Prozentzahl des Glühverlustes zuerst einen Abzug von 3 % für die humusärmeren und 4 % für die humusreichen Böden als mittleren Wert für das beim Trocknen der Erde (105°) noch zurückbleibende Wasser und betrachteten den Rest als verbrannte, organische Masse, von der wir, entsprechend der allgemeinen Vereinbarung, 58 % als Kohlenstoff rechneten. Dieses Verfahren ist grob, gibt aber doch Annäherungswerte.

Das C:N-Verhältnis wird in jedem Boden mit der steigenden Bodentiefe enger. In 100 cm Tiefe des Festucetumbodens läßt der geringe Glühverlust eine eigentliche Berechnung nicht zu; das C:N-Verhältnis dürfte aber, angesichts des bedeutenden N-Gehaltes, in der Nähe von 5 : 1 liegen. Betrachten wir nach K. Maiwald das C:N-Verhältnis von 10 : 1 als normal für einen gesunden Boden, in dem sich Aufbau und Abbau von organischer Substanz im Gleichgewichte befinden, so entsprechen unsere Festucetum-, Nardetum- und Ferrugineetumböden dieser Norm. Im Tiefenhorizont von 100 cm des Festucetums ist ein relativer Stick-

stoffüberschuß vorhanden, d. h. sehr wenig oder keine unzersetzte, organische Substanz, während im Seslerietum, in stärkerem Maße im Empetretum und wohl ganz allgemein in den humusreichen Böden unseres Gebietes der Stickstoff zur Hauptsache in wenig zersetztem Pflanzenmaterial festgelegt und dadurch, trotz des großen Gesamtgehaltes, Mangel an beweglichem Stickstoff für die Durchführung der Abbauvorgänge der organischen Substanz herrscht.

Wenn wir die Ergebnisse dieser Bodenanalysen überblicken, so stellen wir fest, daß die untersuchten Böden der Schinigeplatte im allgemeinen mit den wichtigeren Pflanzen-Nährstoffen gut versehen sind. Wir finden nur die nachstehenden Ausnahmen: Die Festucetumböden in den oberen Horizonten und ebenso der tiefere Nardetumhorizont sind kalkarm. Der oberste Festucetumhorizont und das ganze Empetretum sind magnesiumarm. Der untere Nardetumhorizont besitzt einen mäßigen Gehalt an Phosphorsäure, das Seslerietum einen mäßigen Gehalt an Kali. Ob es sich bei diesen Minderwerten um lokale Zufälligkeiten handelt oder um gesetzmäßige Unterschiede in der Verteilung, muß dahingestellt bleiben. Wir haben auch im Nardetum der tiefer am Hang gelegenen Versuchsweide, die viel ausgeprägter den Charakter der vermagerten Weide aufweist, nach den gleichen Grundsätzen eine chemische Analyse vorgenommen, die ebenfalls beträchtliche Mengen von Nährstoffen im Boden ergab. Aber infolge der Versauerung der Böden sind die Närhstoffe im Festucetum, Nardetum und Empetretum größtenteils fest gebunden und können von den Pflanzen nicht aufgenommen werden. Das erklärte den starken und anhaltenden Erfolg der Kalkung dieser Böden. Sie macht die gebundenen Nährstoffe frei, ändert in der Folge die Zusammensetzung des Rasens völlig und ermöglicht ein verhältnismäßig üppiges Wachstum, das in der Versuchsweide Schinigeplatte noch nach 15 Jahren anhält.

2. *Karbonatgehalt*

Wir haben in der einleitenden Betrachtung zur Bodenbildung erwähnt, daß der anstehende Fels beträchtliche Mengen von Kalziumkarbonat enthält, die aber bei der Verwitterung völlig aus-

gelaugt werden. Auch die kleinen Beträge an Gesamtkalk in den chemischen Bodenanalysen lassen erwarten, daß Karbonate fehlen. In der Tat haben wir bei unseren vielen untersuchten Bodenproben nur ganz vereinzelt Karbonate feststellen können:

im Ferrugineetum bei D 28 in 30—35 cm Tiefe	0.4 %
im Ferrugineetum bei D 27 in 30 cm Tiefe	1.0 %
im Ferrugineetum, andere Stelle, in 20 cm Tiefe	0.7 %
im Ferrugineetum, andere Stelle, in 30 cm Tiefe	1.0 %
im untern Seslerietum bei D 15 in 2 cm Tiefe	2.5 %
im Festucetum (mit etwas *Carex ferruginea*) bei D 29 in 40 cm Tiefe	2 %
im Dryadetum bei D 31/32 in 25—30 cm Tiefe	2.8 %
ebenda an anderer Stelle in 20—25 cm Tiefe	11.3 %
im Empetretum bei D 33, in 40—44 cm Tiefe, Grundschicht	1.9 %
im Empetretum bei D 34, in 40 cm Tiefe, Grundschicht	1.6 %

Die Karbonatvorkommnisse beschränken sich also auf den Untergrund der flachgründigen Bodenprofile, auf den unter der eigentlichen Verwitterungsschicht liegenden Schutt oder Fels. Ganz vereinzelt fanden wir einmal in einer Nardetumprobe aus 25—28 cm Tiefe bei D 7 den geringen Karbonatgehalt von 0,15 %, der wohl von einem eingeschlossenen, noch nicht völlig verwitterten Kalkstein herrührte. Die im Boden eingeschlossenen, größeren Steine enthalten noch Karbonat, so im hintern Nardetum und Festucetum vereinzelte Brocken von homogenem Kalk (Malm), im Ferrugineetum, im Seslerietum und auf dem Grund des Dryadetums und Empetretums auch einzelne Doggerkalke. Wie früher ausgeführt wurde, verwittern die Doggerkalke durch Auslaugung des Karbonates, während das Silikatgerippe noch bestehen bleibt. Es bildet sich eine Verwitterungskruste, die 5 mm dick und dicker werden kann, und nur die größeren Steine enthalten im Innern noch das unverwitterte, karbonathaltige Gestein.

3. *Bodenazidität*

Wir bestimmten die aktuelle Wasserstoffionenkonzentration elektrometrisch mit der Chinhydronelektrode in der lufttrockenen Feinerde, die 24 Stunden aufgeweicht worden war (2 Teile Aq. dest. auf 1 Teil Boden). Die Untersuchung wurde ein erstes Mal in den Jahren 1928/30, ein zweites Mal 1932/33 (beinahe ausschließlich Proben aus 5 cm Tiefe) und ein drittes Mal 1942 vorgenommen, das erste Mal in verschiedenen Monaten des Sommers, im Zusammenhang mit den physikalischen Bodenbestimmungen, das zweite Mal und das dritte Mal jeweilen im August.

Um einen Überblick über die Variation der pH-Werte zu geben, bringen wir in Tab. 22 von den Messungen der Jahre 1928/30 die Einzelwerte. In Tab. 23 haben wir die Mittelwerte

TABELLE 22

Wasserstoffionenkonzentration und Glühverlust von Alpengartenböden in den Jahren 1928/1930.

Nr.	Ort der Probenentnahme (D=Dauerfläche)	Bodentiefe cm	p H	Glühverlust %
	Festucetum			
1	D 29	5—8	5,97	15
2		20	6,07	11
3		30	6,62	11
4		40	8,25	7
5	D 38	3—10	4,68	17
6		25—28	4,87	14
7		40—42	5,16	4
8	D 39	4—10	4,90	15
9		25—28	5,37	9
	Vord. Nardetum			
10	D 1	5—10	4,47	12
11		25—28	4,66	6
12	D 2	5	4,55	14
13		4—10	4,63	11
14		25 - 28	4,83	4
15	D 3	4—10	4,76	13
16		25—28	4,94	6
17	D 4	5—10	4,43	11
18		25—28	4,99	7
19		5—10	4,57	11
20		25—28	4,95	5
21	D 5	5—10	4,55	11
22		25—28	4,85	5
23	D 37	5	4,62	18
24		4—10	4,66	12
25		25—28	5,00	6
	Hint. Nardetum			
26	D 6	4—10	4,49	16
27		25—28	4,71	8
28		40—43	6,49	7
29	D 7	5	4,55	23
30		4—10	4,81	15
31		25—28	7,03	10
32	D 8	4—10	4,64	17
33		27—30	5,02	8
34	D 9	4—10	4,79	17
35		25 - 28	5,82	11
36	D 10	4—10	4,56	16
37		25 - 28	4,89	8

Nr.	Ort der Probenentnahme (D=Dauerfläche)	Bodentiefe cm	p H	Glühverlust %
	Ferrugineetum			
38	D 25	5—8	6,87	19
39		20	7,55	16
40	D 26	5—8	6,69	16
41		20	7,83	11
42	D 27	5 8	6,91	16
43		20	7,88	11
44		30	8,07	9
45	D 28	5—8	6,88	15
46		20	7,86	10
47		30—35	8,11	10
	Seslerietum			
48	D 12	5	6,38	30
49		5 - 10	5,95	38
50		15—22	6,40	32
51	D 15	1—5	6,68	16
52		15 - 20	6,86	18
53		25—30	6,77	14
54	D 16	5	6,30	28
55	D 17	5—10	6,01	29
56		14—20	6,15	23
57	D 46	5 - 10	5,69	35
58		25	6,95	21
59		32—35	7,15	21
	Dryadetum			
60	D 31/32	5—10	5,51	74
61		15—20	6,33	47
62		25—30	7,32	27
63		8	6,56	50
64		10—15	6,40	30
65		20—25	7,56	19
66	D 32	4—8	6,18	43
67		12—17	6,91	25
68		20—25	6,58	23
	Empetretum			
69	D 33	10	4,03	92
70		20	3,96	91
71		30	5,87	65
72		40—44	7,14	39
73	D 34	10	4,40	92
74		20	4,43	92
75		30	4,72	46
76		40	7,59	26
77	D 36	5—10	3,98	94
78		20	4,15	92
79		30	4,07	89
80		40	6,49	55

TABELLE 23

Mittelwerte der pH-Messungen und der Glühverluste in den verschiedenen Bodentiefen der untersuchten Pflanzengesellschaften des Alpengartens aus den Jahren 1928—1933.

Bodentiefe cm	Zahl der Proben	pH	Zahl der Proben	Glühverlust %
Crepideto-Festucetum				
± 5	19	5,13	3	15,7
20—30	5	5,58	4	11,2
40	2	6,70	2	5,5
Sieversii-Nardetum				
± 5	54	4,70	15	14,7
20—30	13	5,18	12	7,0
40	1	6,49	1	7,0
Caricetum ferrugineae				
± 5	5	6,81	4	16,5
20	5	7,74	4	12,0
30	2	8,09	2	9,5

Bodentiefe cm	Zahl der Proben	pH	Zahl der Proben	Glühverlust %
Seslerieto-Semperviretum				
± 5	13	6,10	1	29,3
20	4	6,59	4	23,5
30	2	6,96	2	17,5
Dryadetum				
5—10	3	6,04	3	55,7
10—20	3	6,55	3	34,0
20—30	3	7,15	3	23,0
Empetreto-Vaccinietum				
5—10	4	4,11	3	92,7
20	4	4,36	3	91,7
30	3	4,89	3	66,6
40	3	7,07	3	40,0

aller Messungen von 1928/32 nach Bodentiefen geordnet zusammengestellt und ebenso in Tab. 24 die Mittelwerte aller Messungen von 1942. Die Abb. 32 enthält die Mittelwerte aller Messungen für die oberflächlichen Schichten. Die angegebenen Bodentiefen sind als Mittelwerte zu betrachten; im Jahre 1942 wurde auch die Schicht, die unmittelbar unter der dicht verfilzten, obersten Wurzelschicht, ca. 2—3 cm unter der Oberfläche lag, gemessen, die früher nicht berücksichtigt worden war.

Festucetum. Die Mittelwerte für die Proben der oberflächlichen Bodenschicht liegen etwas über pH 5. Die Azidität nimmt bei den Messungen von 1928/33 nach unten beträchtlich ab und erreicht für die beiden Proben aus 40 cm Tiefe pH 6,70. Bei den Messungen von 1942 erscheint die Azidität der oberflächlichen Schichten etwas niedriger als 10 Jahre vorher; nach der Tiefe zu tritt eine kleine Zunahme ein, und erst in 50 cm Tiefe erfolgt

wieder eine kleine Abnahme. Diese Unterschiede offenbaren in erster Linie die Schwankungen der Azidität innerhalb der Festucetumbestände, die sich besser aus den Einzelwerten der Tab. 22 herauslesen lassen. Ganz allgemein ist die Azidität in der großen Mulde des vorderen Festucetums und dann am steileren Osthang (Dauerfläche 29) kleiner als in den flacheren Teilen des hinteren Festucetums. Erst ganz oben in der kleinen Mulde des hinteren Festucetums, wo das Terrain anfängt, sich stärker zu heben, ergab die Oberflächenschicht einen Wert von pH 6, der in der vorderen Frischwiese wiederholt erreicht wurde. Die Schwankungen liegen allgemein zwischen pH 5 und 6. Normalerweise ist die Azidität im Bodenprofil gegen unten hin nur wenig verändert, bald etwas abnehmend, bald etwas zunehmend. Doch treten gelegentlich plötzlich bedeutend kleinere Aziditätsgrade auf, die wohl im allgemeinen mit der Verwitterung von Kalkbrocken, wie sie besonders im hintern Festucetum vertreten sind, in Verbindung gebracht werden müssen. Auffällig war diese Erscheinung in der Dauerfläche 29, wo in 40 cm Bodentiefe eine ausgesprochen basische Reaktion festgestellt wurde. Diese Dauerfläche, die innerhalb des Festucetums die geringste Azidität aufweist, zeigt auch in der Vegetation eine starke Verwandtschaft mit dem Ferrugineetum.

Nardetum. In den oberflächlichen Bodenschichten ist die Variation der Azidität nicht sehr bedeutend. Sie schwankt zwischen pH 4,5 und 5,0, und in den zahlreichen Messungen aus 2 und 5 cm Bodentiefe sind nur 3 aus 0—10 cm Tiefe, die den Wert von 5,0 etwas überschreiten, alle von 1942 und aus dem hinteren Nardetum stammend (max. pH 5,20). Der Mittelwert schwankt zwischen pH 4,7—4,8. Nach unten nimmt die Azidität langsam aber deutlich ab, bis auf etwa pH 5,5 in 40 cm Bodentiefe. Vereinzelt sinkt im hinteren Nardetum die Azidität in tieferen Bodenschichten auf den Neutralpunkt, oder es kann sogar eine alkalische Reaktion eintreten. Es ist dies die gleiche Erscheinung, die wir soeben für das Festucetum festgestellt haben, und sie findet auch die gleiche Erklärung. Verglichen mit den Werten im Nardetum der Versuchsweide Schinigeplatte und in andern typischen Nardeten der Umgebung ist die Azidität im Alpengarten um ein weniges geringer. Das in sehr vielen Messun-

TABELLE 24

Mittelwerte der Wasserstoffionenkonzentration, Glühverluste, Gehalt an kolloidalem Humus in den verschiedenen Bodentiefen der untersuchten Pflanzengesellschaften des Alpengartens, VIII. 1942.

Bodentiefe cm	Zahl der Proben	pH	Glühverlust %	kolloid. Humus Skala 1—5
Crepideto-Festucetum				
2	10	5,5	20,6	2,8
10	10	5,5	13,1	2,3
20	3	5,3	10,0	2,3
30	3	5,3	9,3	2,5
40	3	5,3	7,3	1,3
50	2	5,5	8,0	0,8
Sieversii-Nardetum				
2	10	4,8	29	4,4
10	10	4,9	14	3,7
20	4	4,9	9	3,8
30	4	4,9	8	3,1
40	3	5,5	7	2,0
50	1	7,3	8	0,0
Caricetum ferruginae				
2	5	6,5	17	1,4
10	5	6,7	13	0,6
20	5	7,0	11	0,3
30	2	7,3	9	0,0

Bodentiefe cm	Zahl der Proben	pH	Glühverlust %	kolloid. Humus Skala 1—5
Seslerieto-Semperviretum				
2	10	6.1	33	1,7
10	10	6,3	27	1,2
20	5	6,7	21	1,0
Dryadetum octopetalae				
2	5	6,6	77	1,5
10	5	6,8	58	1,4
20	1	6,6	28	1,0
Empetreto-Vaccinietum				
2	5	4,8	94	3,3
10—20	8	4,4	92	3,6
30—50	4	5,1	80	3,5
40—50	5	6,7	63	1,4

Bemerkungen: Festucetum: Proben entnommen an 4 Stellen im vorderen F. (große Mulde hinter dem Bankplatz) und an 6 Stellen im hinteren F. (von D 39—D 30 und anschließend östlich des Weges). Nardetum: von je 5 Stellen im vorderen und hinteren Nardetum, die den Nardetum-Charakter noch am besten bewahrt haben. Ferrugineetum: von 3 Stellen im «Spalt» (D 27, 28 und unterh.) und 2 Stellen unterhalb des Weges. Seslerietum: 7 Stellen bei den D im untern S-S, und 3 Stellen, verteilt im obern S-S, unter *Sesleria, Carex semp., Helianthemum gr., Erica* u. a. Dryadetum: 5 Stellen bei D 31—32, unter *Dryas*. Empetretum: 3 Stellen im vorderen E. und 2 Stellen im hinteren E., unter *Empetrum, Vaccinium, Arctostaphylos alpina*. Die Proben sind hier nicht nur nach der Tiefenlage angeordnet, sondern unter Berücksichtigung der Bodenhorizonte (s. Text).

gen gefundene und geringe Schwankungen aufweisende Mittel der Versuchsweide steht für 5 cm Bodentiefe auf pH 4,5—4,6.

Ferrugineetum. Die Proben aus gleicher Bodentiefe stimmen gut miteinander überein. Die oberflächlichen Schichten sind leicht sauer (pH 6,5—6,8); doch schon in 20 cm Tiefe, in Einzelfällen schon weniger tief, wird der Neutralpunkt erreicht oder überschritten, trotzdem der Boden auch in dieser Tiefe in der Regel entkalkt ist. Aber er enthält reichlich Gesteinsbrocken kalkiger Art. Diese reichen bis in die oberflächlichen Schichten, die auch jetzt noch gelegentlich einen Zuschuß an Gesteinsmaterial von den überliegenden, felsigen Hängen her erhalten.

Seslerietum. Diese Böden sind völlig entkalkt, aber die Azidität ist noch schwach. Sie nimmt von der Oberfläche, wo sie im Mittel 6,1 pH beträgt, nach unten hin deutlich ab. In 20 cm Bodentiefe mißt sie im Mittel pH 6,6—6,7, und zwei Proben in 30 cm Tiefe erreichten ungefähr den Neutralpunkt. Die Schwankungen der gleichen Bodenhorizonte sind nicht unbedeutend; die Extremwerte gehen in den obersten Horizonten von pH 5,59 bis 6,80; die Mehrzahl der Proben hält sich aber zwischen 6,0 und 6,5. Höhere Aziditätswerte sind durch hohen Humusgehalt hervorgerufen, wie er sich namentlich unter *Erica carnea* bildet, niedri-

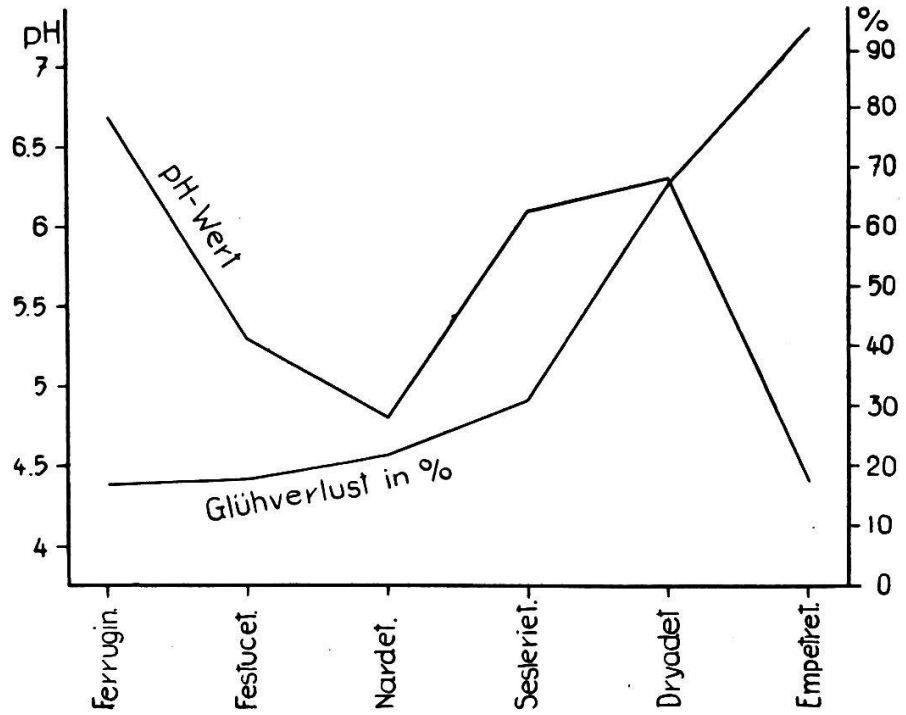

Abb. 32. Mittlere pH-Werte und Glühverluste der Böden in 2—5 cm Tiefe für die verschiedenen Pflanzengesellschaften.

gere Werte durch eingelagerten Kalkschutt. So können Höchst- und Niedrigstwerte räumlich sehr benachbart auftreten.

Dryadetum. In dieser Gesellschaft sind die Böden schwach sauer bis neutral. Die Aziditätswerte bewegen sich normalerweise zwischen pH 6 und pH 7. Sie fallen von der Oberfläche, die schwach sauer ist (im Mittel pH 6,04—6,6, im Extrem 5,51—6,99), gegen unten ab. Doch sind die Unregelmäßigkeiten bedeutend, entsprechend dem recht ungleichen Reifungsgrad der Böden. Unter den 4 Messungen aus 20—30 cm Tiefe sind zwei ausgesprochen alkalisch, zwei deutlich sauer (vgl. Tab. 22 und 24). In letzterem Falle nimmt die Azidität mit steigender Bodentiefe zuerst ab und dann wieder zu.

Empetretum. Die Empetretumböden sind stark sauer. Wir haben hier die größten Aziditätswerte des Alpengartens gefunden (Extrem = pH 3,96; Mittel ± pH 4,5). Die Azidität verteilt sich in gesetzmäßiger Weise im Bodenprofil. Die obersten Bodenschichten, die aus wenig zersetzten Pflanzenresten bestehen, sind deutlich weniger sauer als die schon stärker zersetzten, braunen Rohhumusschichten von etwa 5 cm Tiefe an. Gegen unten nimmt die Azidität noch im braunen Rohhumus wieder ab, und im Grund des Bodenprofils, im schwarzen Humus und im Übergang zum Mineralboden, wird die Bodenreaktion in überraschender Weise neutral oder sogar alkalisch (bis pH 7,59). Da die Bodenprofile des Empetretums innerhalb dieser allgemeinen Gesetzmäßigkeit eine individuelle Ausprägung haben, die einzelnen Schichten bald von größerer, bald von kleinerer Mächtigkeit sind, so haben wir in der Berechnung der Mittelwerte nicht die gleichen Bodentiefen, sondern die gleichwertigen Schichten miteinander vereinigt.

Pallmann und Haffter (1933) haben im Empetreto-Vaccinietum des Oberengadins als Mittelwert sehr zahlreicher Aziditätsmessungen ein pH von 4,1 gefunden (häufige Werte 3,8—4,4; Extreme 3,5—4,8). Im Engadin sind also die Empetretumböden wesentlich saurer als auf der Schinigeplatte. Es ist aber zu berücksichtigen, daß dort überall Kristallinunterlage vorhanden war, also für die Versauerung wesentlich günstigere Bedingungen herrschten.

Im Zusammenhang mit Experimenten über die künstliche Veränderung von Pflanzengesellschaften haben wir eine Anzahl Azi-

ditätsmessungen im Festucetum, Nardetum und Seslerietum ausgeführt, die in Tabelle 25 zusammengestellt sind. Wie aus der Untersuchung von Bodenprofilen bereits zu erwarten war, sind die pH-Werte durch verstärktes Mähen von Festucetum- und Nardetumrasen, durch das Zusammenklopfen von Festucetumrasen, durch die Entfernung der Altrasen, mit und ohne Umgraben, mit und ohne Ansaat sowie durch mineralische Volldüngung ohne Kalk innerhalb 4—5 Jahren nicht wesentlich verändert worden (vgl. die Tab. 25 mit der ersten Kontrolle dieser Flächen vor ihrer Beeinflussung im Jahre 1928/29, Tabelle 22). Immerhin scheint das Schälen und Umgraben zu einem kleinen Rückgang der Azidität geführt zu haben, das Düngen dagegen nicht. Beigabe von Kar-

TABELLE 25

Wasserstoffionenkonzentration von Bodenproben aus 5 cm Bodentiefe einer Auswahl von experimentell beeinflußten Dauerflächen im Alpengarten. Probenentnahme am 18. VIII. 1932 und 18. VIII. 1933.

Dauerfläche	Art der Beeinflussung	pH 1932	pH 1933
	Festucetum		
29	Mähen	5,99	
	„	6,20	
30	Rasen zusammengeklopft	5,00	4,99
	Rasen nicht beeinflusst	4,95	4,99
38	Mähen	4,95	4,90
	„	4,77	
40	Rasen zusammengeklopft	5,15	5,04
	Rasen unverändert	5,09	5,00
	Vorderes Nardetum		
1	Aussaat ohne Düngung	4,79	4,80
	„ „ „	4,64	
2	Volldüngung	4,59	4,78
	„	4,45	
3	Natürl. Neubesiedlung nach umgraben	4,97	4,80
	„ „	4,92	
4	Aussaat + NPK-Düng.	4,66	4,57
	„ „ „	4,62	
5	Aussaat ohne Düngung	4,78	4,78
	„ „ „	5,02	
41	Natürl. Neubesiedlung	4,62	4,71
	nach Schäl. d. alt. Rasens	4,62	
42	Aussaat + NPK-Düng.	4,52	
	„ „ „	4,52	4,56
	Hinteres Nardetum		
7	NPK-Düngung	4,43	4,66
	„ „	4,95	
8	Mähen	4,92	4,71
	„	5,11	
9	Aussaat ohne Düngung	4,78	4,73
	„ „ „	4,84	
43	Entfernung d. Magerkeitszeiger + Düngung	4,62	4,83
	„ „ „	4,77	
44	Entfernung d. Magerkeitszeiger ohne Düngung	4,92	4,81
	„ „ „	4,62	
	Seslerieto-Semperviretum		
14	Aussaat	6,10	
	„	6,25	
16	NPK-Düngung	6,05	
	„ „	6,01	

bonat dagegen bewirkte naturgemäß rasch eine Reduktion der Azidität (vgl. Lüdi, 1936).

Der Vergleich der im vorstehenden beschriebenen Aziditätsverhältnisse läßt erkennen, daß die verschiedenen Pflanzengesellschaften sich in charakteristischer Weise unterscheiden: der Boden des Ferrugineetums ist schon an der Oberfläche annähernd neutral und wird in der Tiefe rasch alkalisch. Im Seslerietum ist er leicht sauer und erreicht auch in größerer Tiefe nur selten den Neutralpunkt. Im Dryadetum steht er ebenfalls der neutralen Reaktion nahe, ist aber sehr unregelmäßig aufgebaut, gelegentlich deutlich in Versauerung begriffen. Der Festucetumboden ist von mittlerer Azidität. Der des Nardetums ist in den tieferen Horizonten gleich dem Festucetum beschaffen, aber an der Oberfläche stärker versauert. Im Empetretum ist der braune Humus sehr sauer, der dunkle Humus bedeutend weniger, und die Basis des Profils wird alkalisch. Während im allgemeinen die Azidität im Boden von oben nach unten abnimmt, erreicht sie im Empetretum ihren Höchstwert in etwa 5—15 cm Bodentiefe.

Angaben der Wasserstoffzahlen sind aus Böden der Alpen wiederholt veröffentlicht worden, und wir haben auch selber eine sehr große Zahl von Messungen in den verschiedensten Gesellschaften ausgeführt. Die Untersuchungen im Alpengarten Schinigeplatte gliedern sich den bisherigen Ergebnissen im ganzen genommen harmonisch ein. Auf Unterschiede gegenüber Empetretumböden in kristallinen Gebieten wurde bereits hingewiesen. Es ist auch etwas auffallend, daß der Boden im Ferrugineetum und noch mehr im Seslerietum völlig entkalkt ist und, zum mindesten oberflächlich, etwas sauer reagiert. Das ist auf die Beschaffenheit der Bodenunterlage zurückzuführen. Diese ist für die genannten Gesellschaften meist homogener Kalk oder Dolomit, hier aber der viel karbonatärmere Doggerfels.

4. *Pufferung*

Die Wasserstoffionenkonzentration eines Bodens ist ziemlich stabil; sie wird bei starker Durchfeuchtung oder Austrocknung, ja, innerhalb bestimmter Grenzen auch bei Zusatz von Lauge oder Säure, wenig verändert. Diese Widerstandsfähigkeit des Bodens

gegenüber Einwirkungen, die geeignet sind, die Zahl der freien Wasserstoffionen im Boden zu verändern, heißt man Pufferung. Sie stellt ein kompliziertes chemisches System dar, ist aber für bestimmte Bodentypen charakteristisch. Wir haben versucht, die Pufferung der wichtigeren Bodentypen des Alpengartens zu erfassen, zuerst in einer Aufschwemmung von Kaliumchlorid, in einer späteren Untersuchung im destillierten Wasser.

Die Messung der Pufferung erfolgte in beiden Fällen dadurch, daß der Bodenaufschwemmung steigende Mengen von Lauge oder Säure zugeführt und dann die Wasserstoffionenkonzentration bestimmt wurde. Bei Messungen im alkalischen Raum gibt die Chinhydronelektrode nicht mehr genaue Werte; es hat sich aber gezeigt, daß bei einiger Übung und raschem Arbeiten doch eine genügende Sicherheit bis gegen pH 10 hin erhalten wird. Für die Theorie und Methodik vergleiche: H. Jenny, 1925, H. Kappen, 1929, E. Blanck, 1931.

a) Aufschwemmung in KCl-Lösung. Diese Untersuchung wurde von Fräulein Dr. C. Aellig ausgeführt. Wir bildeten 4 große Bodenproben, durch Mischung mehrerer kleinerer Einzelproben aus dem gleichen Pflanzenbestand:

1. Festucetumboden: 5 Proben aus den Dauerflächen 38—39, aus 3—42 cm Bodentiefe.
2. Ferrugineetumboden: 7 Proben aus den Dauerflächen 25, 26, 27, aus 5 bis 30 cm Tiefe.
3. Seslerietumboden: 9 Proben aus den Dauerflächen 12, 15, 17, 46, aus 5 bis 30 cm Tiefe.
4. Empetretumboden: 7 Proben aus den Dauerflächen 33, 34, 36, aus 5—30 cm Tiefe.
5. Statt einer Untersuchung in dem Nardetum des Alpengartens fügen wir noch das Ergebnis der Untersuchung eines Nardetumbodens der benachbarten Versuchsweide bei, wobei wir aus einer Reihe ähnlicher Proben eine beliebige herausgreifen (Dauerfläche 174, 5 cm Bodentiefe, pH 4.25).

Die Untersuchung wurde nach verschiedenen Vorversuchen wie folgt durchgeführt: Wir versetzten 10 g lufttrockene Feinerde mit normaler KCl-Lösung und ließen das Ganze in Erlenmeyerkolben unter wiederholtem Schütteln einen Tag stehen. Dann wurde dieser Suspension $^1/_{10}$ normale Natronlauge zugesetzt, in steigender Menge, wobei für jeden Laugenzusatz die Wasserstoffionenkonzentration bestimmt wurde, sobald diese nach längerem Schütteln konstant geworden war. Die Reaktionszahlen bei den verschiedenen Laugenzusätzen ordneten wir in ein Abszissensystem ein und erhielten so eine Kurve, die als Maß für die Pufferung des Bodens gegen Lauge dienen kann.

Die Bestimmung der Azidität im KCl-Auszug des Bodens, die nach Kappen Austauschazidität genannt wird, ergibt höhere Werte, als der frische Boden sie aufweist, da das Neutralsalz im Boden dissoziiert und durch Basenaustausch adsorptiv gebundene Wasserstoffionen frei werden. Kaliumchlorid ergibt einen maxi-

malen Austausch an solchen Ionen. Die Methode verschafft ein Maß für den Gesamtgehalt des Bodens an Wasserstoffionen und ist zugleich für unsere Probleme besonders geeignet, weil bei den Düngungen gerade das Kali-Ion für solche Austauschvorgänge in Betracht fällt.

Wir haben für jede der oben genannten Bodenmischungen mehrere Pufferungskurven bestimmt, indem wir steigende Konzentrationen von KCl anwendeten (1,87 %, 3,75 %, 7,5 %, 15 %), und auch die Menge der zugesetzten Flüssigkeit variierten. Die Unterschiede waren nicht bedeutend und nicht einheitlich. Immerhin ergaben im allgemeinen die höheren KCl-Konzentrationen oder auch die kleineren Flüssigkeitsmengen im Verhältnis zum Gewicht des Bodens die höhere Zahl freier Wasserstoffionen. Zur Darstellung haben wir stets diejenige Kurve ausgewählt, die wir mit 25 g normaler KCl (7,5 %) auf 10 g lufttrockener Feinerde erhalten haben. Die Ergebnisse sind in Abb. 33 zusammengestellt.

Die Kurve des Ferrugineetums steigt zuerst steil aufwärts, die des Seslerietums ebenso, nur etwas tiefer. Viel stärker ist die Pufferung in den lehmigen Böden des Festucetums und des Nardetums. Die Nardetumkurve setzt tiefer ein, steigt aber stärker an als die Festucetumkurve. Bei stärkerem Laugenzusatz fallen beide völlig aufeinander. Der Empetretum-Humusboden weist weitaus die größte Pufferung auf; er wird durch den Zusatz der

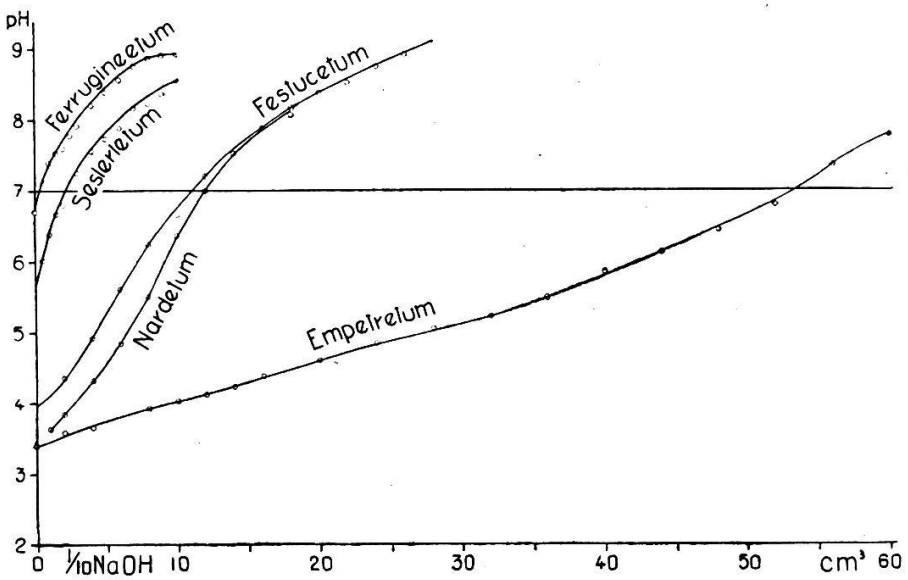

Abb. 33. Pufferungskurven der Böden verschiedener Gesellschaften gegen Lauge nach Beifügung von KCl.

Lauge in seiner Reaktion nur wenig beeinflußt. Wir können ein Maß für die Pufferung bekommen, wenn wir den Zusatz von $^1/_{10}$ n NaOH, der notwendig ist, damit ein bestimmtes pH erreicht wird, angeben. Um ein pH von 8,0 zu erreichen, müssen wir zusetzen im

Ferrugineetum	3	cm³ $^1/_{10}$ norm. NaOH.
Seslerietum	6	
Festucetum	17	
Nardetum	17	
Empetretum	62	

b) Untersuchung der Pufferung in wässeriger Bodenaufschwemmung. Wir benutzen dazu die im Alpengarten im August 1942 entnommenen Bodenproben in den gleichen Mischungen, wie wir sie zur Korngrößenbestimmung verwendeten (vgl. S. 76). Die Untersuchung wurde auch auf die Pufferung gegen Säuren ausgedehnt und ging wie folgt vor sich:

10 g lufttrockene Feinerde wurden im Erlenmeyerkolben mit 100 g destilliertem Wasser und den vorgesehenen Mengen von $^1/_{10}$ NaOH oder HCl versetzt, dann 4 Stunden geschüttelt und 1 Tag stehengelassen unter mehrmaligem Aufschütteln. Die Messung erfolgte ebenfalls mit der Chinhydronelektrode. Jede Bodenprobe bekam also von Anfang an einen bestimmten Säure- oder Laugenzuschuß und wurde nur zu einer einzigen Messung verwendet. Die aufsteigende Säure- oder Laugenreihe wurde der Individualität der Böden angepaßt, aber immer so gewählt, daß die kleinen Laugenzusätze, bei denen eine stärkere Reaktion zu erwarten war, näher beisammen lagen als die großen.

Eine Auswahl der erhaltenen Kurven, je 1 von jedem Vegetationstyp, ist in den Abbildungen 34—39 zusammengestellt.

Neben der Pufferkurve der Böden wurde auch die berechnete Aziditätskurve der reinen Säure- oder Laugenlösung eingetragen, der jede Pufferung fehlt. Sie zeigt im Neutralpunkt die charakteristische, plötzliche Verschiebung der pH-Werte bei kleinem Zusatz von Säure und Lauge. Die Böden dagegen ergeben sehr verlangsamte Veränderungen in individueller Ausbildung.

Wenn wir den Kurvenverlauf als Ganzes vergleichen, so ergeben sich in den verschiedenen Pflanzengesellschaften gesetzmäßige Unterschiede. Im Empetretum (Abb. 34) sind die Kurven ziemlich gestreckt und verlaufen annähernd parallel, weit voneinander entfernt. Einer stärkeren Pufferung im alkalischen Raum ent-

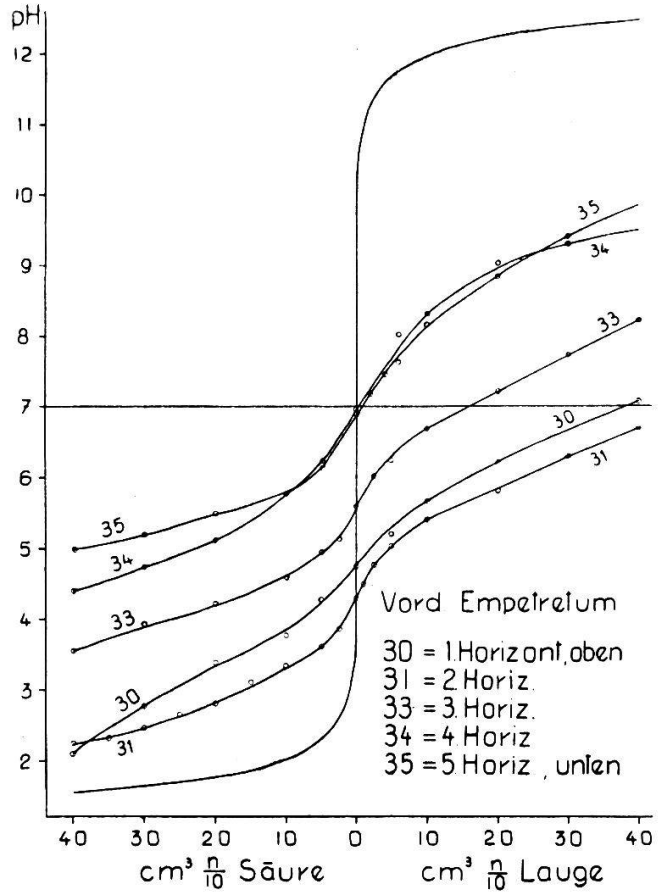

Abb. 34. Pufferungskurven des Bodens im vorderen Empetretum gegen Lauge und Säure.

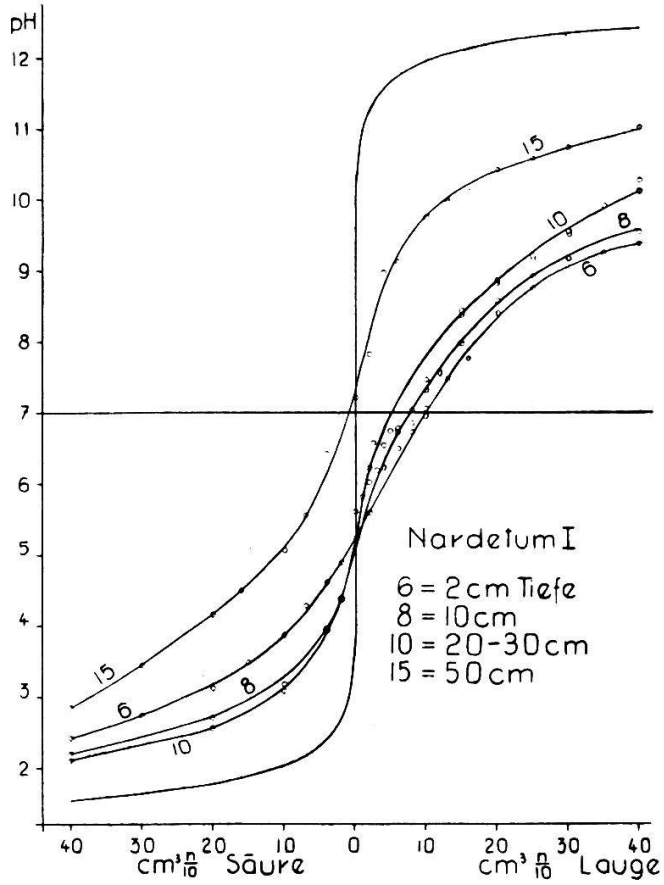

Abb. 35. Pufferungskurven des Bodens im Nardetum I gegen Lauge und Säure.

spricht eine schwächere im Säurenraum und umgekehrt. Nur die nicht mehr typischen Kurven 34 und 35 aus den basalen, neutral oder basisch reagierenden Bodenhorizonten, die von den übrigen weit abgesetzt sind, verlaufen sehr benachbart und überschneiden sich. Im vorderen Nardetum (Abb. 35) verlaufen die Kurven in den mittleren Teilen wesentlich steiler und überschneiden sich in charakteristischer Weise, so daß die Kurve aus der obersten Bodenschicht, die im Laugenteil am tiefsten liegt, im Säurenteil am höchsten steht. Die stärkste Pufferung gegen Lauge verbindet sich also in der Oberflächenschicht mit der stärksten Pufferung gegen Säure. Mit steigender Bodentiefe nimmt die Pufferung gegen Lauge ab und gegen Säure zu. Die Kurve aus dem tiefsten Bodenhorizont verläuft hoch über allen andern Kurven; die kleinste Pufferung gegen Lauge verbindet sich in diesem von der Verwitterung wenig beeinflußten Horizont mit der größten gegen Säure. Allgemein zeigen die Nardetumkurven gegen die Lauge eine weit größere Pufferung als gegen Säure. Die beiden Nardeta unterscheiden sich nur wenig. Im vorderen Nardetum verlaufen die Kurven der oberen und mittleren Bodenhorizonte im Basenteil etwas enger benachbart, im hinteren Nardetum im Säurenteil, und die Kurve des tiefsten Bodenhorizontes aus dem hintern Nardetum schließt sich im Säurenteil eng an die andern an. — Die Festucetumkurven (Abb. 36) sind denen des Nardetums ähnlich, namentlich zeigt auch hier die Kurve des obersten Bodenhorizontes im Säurenteil und im Laugenteil die stärkste Pufferung, so daß die charakteristischen Überschneidungen entstehen. Doch verlaufen sie im mittleren Teil etwas steiler und steigen im alkalischen Raume stärker an. Die Kurve des tiefsten Bodenhorizontes hebt sich von den andern nicht stark ab; nur im vorderen Festucetum ist ihre Pufferung im Laugenteil deutlich kleiner als die der andern Bodenhorizonte. Es bestätigt sich auch hier, daß wir im Festucetum mit den zutiefst entnommenen Proben noch keineswegs in den C-Horizont geraten sind. — Einen ganz andern Charakter besitzen die Dryadetumkurven (Abb. 37), indem sie eine starke Pufferung gegen Laugen und gegen Säuren aufweisen. Sie gleichen in ihrem flachen Verlaufe den Empetretumkurven, aber ihr Niveau liegt viel höher, gegen den alkalischen Raum hin verschoben. Wir sehen in dem charakteristischen

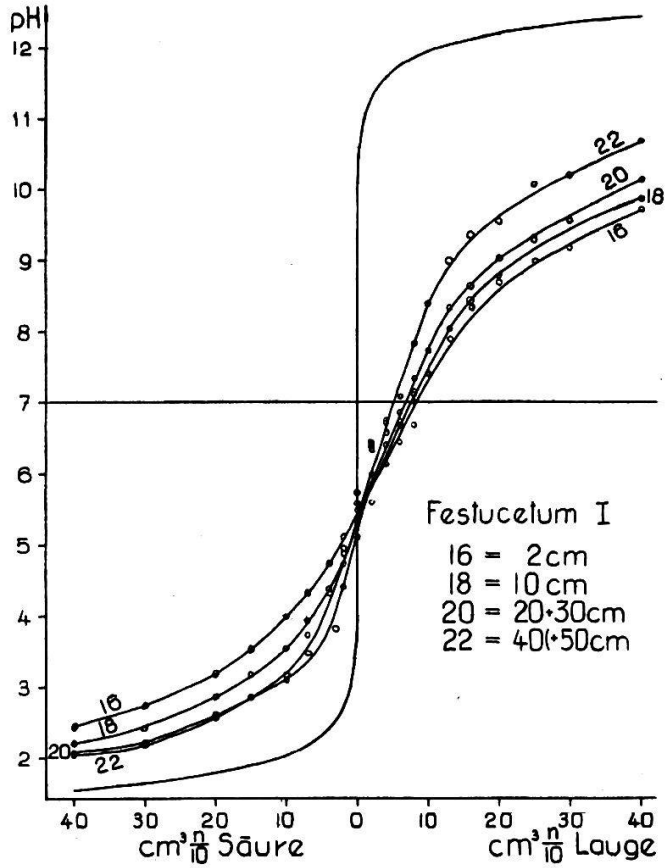

Abb. 36. Pufferungskurven des Bodens im Crepideto-Festucetum I gegen Lauge und Säure.

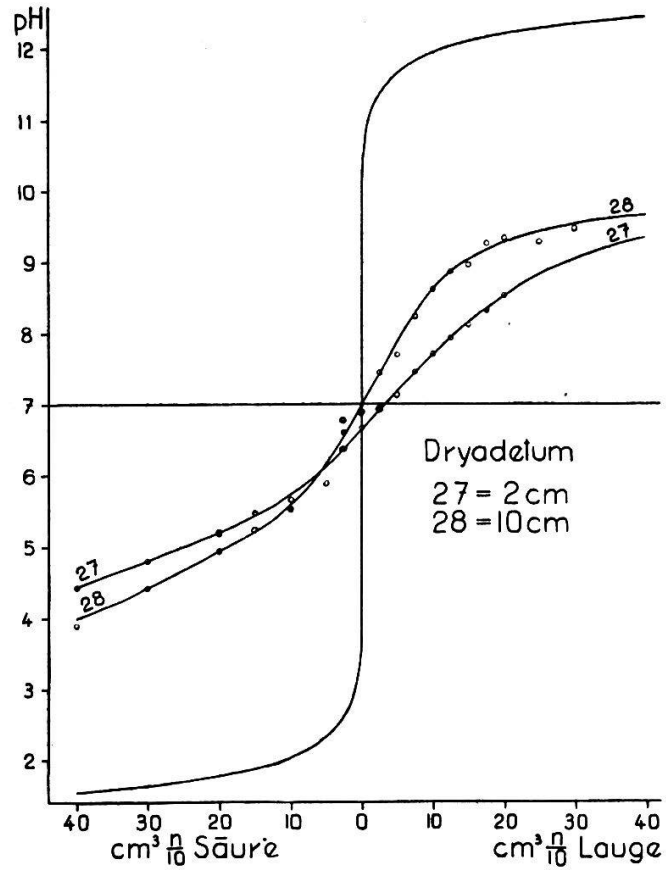

Abb. 37. Pufferungskurven des Bodens im Dryadetum gegen Lauge und Säure.

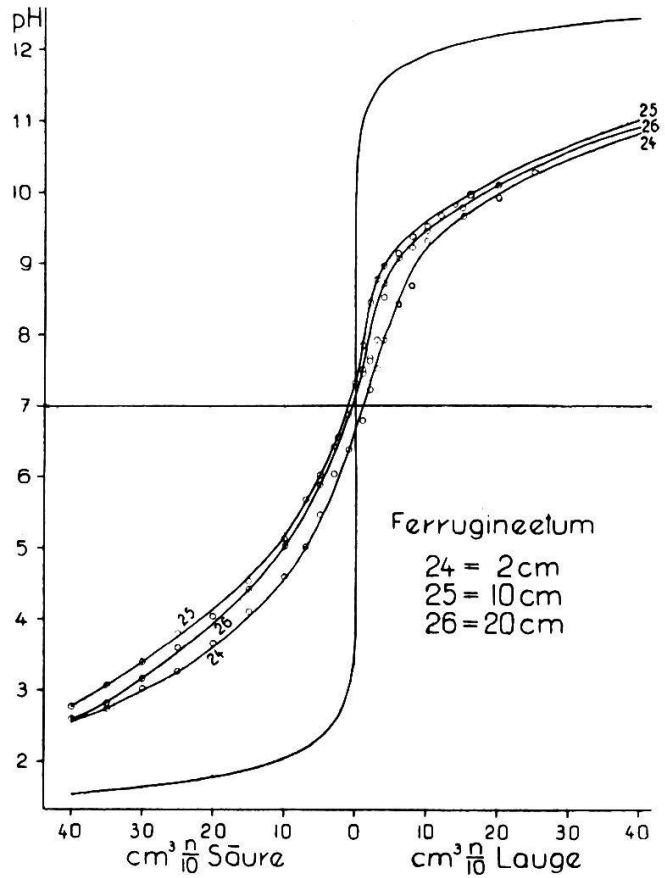

Abb. 38. Pufferungskurven des Bodens im Caricetum ferrugineae gegen Lauge und Säure.

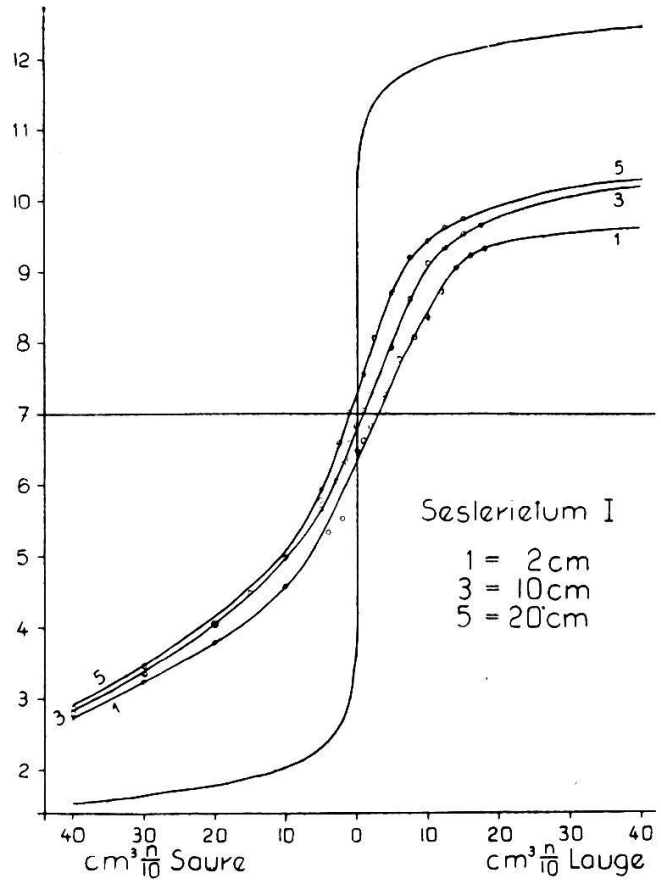

Abb. 39. Pufferungskurven des Bodens im Seslerieto-Semperviretum I gegen Lauge und Säure.

Verlauf dieser Kurven wohl die Wirkung des hohen Gehaltes an Humus, der kolloidal stark abgesättigt ist (s. S. 148). Die beiden Kurven überschneiden sich in ausgesprochener Weise: der obere Bodenhorizont erweist sich sowohl gegen Lauge als auch gegen Säure stärker gepuffert. — Im Ferrugineetum (Abb. 38) verlaufen die Kurven eng benachbart, ohne sich zu überschneiden und zeigen eine mittelhohe, gleichmäßige Pufferung im alkalischen und im sauren Raum. Die Kurve des obersten Bodenhorizontes verläuft am tiefsten; sie zeigt also im alkalischen Raume die stärkste Pufferung, in sauren die geringste. Aber die Unterschiede sind nicht wesentlich. Die beiden Seslerietumprofile verhalten sich ungleich. Im Seslerietum I (Abb. 39, meist Proben aus dem untern Seslerietum) verlaufen die Kurven, ganz ähnlich wie im Ferrugineetum, benachbart, ohne sich zu berühren. Sie liegen im Laugenteil etwas weniger eng beisammen als im Säurenteil. Im Seslerietum II (Mehrzahl der Proben aus dem oberen Seslerietum) ist die Pufferung in der Größenordnung gleich; aber die beiden Kurven überschneiden sich in ausgesprochener Weise: die Pufferung ist in der Oberflächenschicht nach beiden Seiten hin größer.

Ein Vergleich der mit wässeriger Aufschwemmung und mit der Kaliumchloridlösung erhaltenen Pufferkurve unserer Böden ist ohne großen Fehler möglich, da wir stets 10 g lufttrockene Feinerde mit den gleichen Mengen Natronlauge versetzten. Es ist nur zu berücksichtigen, daß im KCl jeweilen eine Mischung von Bodenproben aus verschiedenen Bodentiefen untersucht wurde, die einen Mittelwert des Gesamtbodens ergab, während wir in der wässerigen Aufschwemmung die einzelnen Bodenhorizonte getrennt behandelten. Wir können also jede Pufferkurve der Abbildung 33 einem Mittelwert der Pufferkurven für die entsprechenden Gesellschaften der Abbildungen 34—39 gegenüberstellen und erhalten dann einen Index für die Einwirkung des Kaliumchlorids auf den Gehalt des Bodens an freien Wasserstoffionen. Am einfachsten ist es, wenn wir einen bestimmten Punkt der Kurven vergleichen, zum Beispiel die Zahl der cm^3 von Natronlauge, die notwendig war, um das pH 8 zu erzeugen. Wir haben dies für die KCl-Kurven bereits ausgeführt (S. 136) und setzen die Mittelwerte der Wasser-Kurven daneben (s. Tab. 26).

TABELLE 26

Vergleich der Pufferungswerte der verschiedenen Böden des Alpengartens in wässeriger Aufschwemmung und in KCl-Lösung, dargestellt durch die cm^3 NaOH $^1/_{10}$ normal, die bis zum Erreichen eines pH = 8,0 zugesetzt werden mußten.

Pflanzengesellschaft	zugefügte NaOH $^1/_{10}$ Norm. in cm^3 bei Aufschwemmung in	
	KCl	Wasser
Ferrugineetum	3	2 (1—4)
Seslerietum	6	5 (2—8)
Festucetum	17	9 (5—16)
Nardetum	17	12 (2—23)
Empetretum (nur 1 Tiefenhoriz. berücks.)	62	46 (9—79)
Dryadetum		10 (6—16)

Es ergibt sich bei der Behandlung mit KCl als Folge des Ionenumtausches im Boden durchwegs in den Mittelwerten eine Steigerung der Azidität. In den Extremen gehen allerdings die zur Berechnung des Mittels verwendeten Wasser-Kurvenwerte weit auseinander, da die tieferen Bodenschichten im allgemeinen bedeutend weniger sauer sind als die oberen und der hohe Gehalt an Humus, besonders wenn er adsorptiv ungesättigt ist, die Pufferung gegen Lauge stark erhöht. Und dieser Humusgehalt nimmt ebenfalls mit steigender Bodentiefe ab.

Um die Unterschiede, die mit Bezug auf die Pufferung zwischen den verschiedenen Pflanzengesellschaften bestehen, zahlenmäßig fassen zu können, haben wir für die in wässeriger Lösung ausgeführte Untersuchung die Pufferflächen berechnet, das heißt, die Fläche, die zwischen der Pufferkurve und der reinen Säure- und Laugenkurve liegt, wobei wir vom Nullpunkt bis zu einem Zusatz von 40 cm^3 ausmaßen (Tab. 27). Je größer diese Flächen sind, desto größer ist auch die Pufferung.

Die Pufferung gegen Laugen nimmt mit der steigenden Bodentiefe ab, nur wenig im Ferrugineetum; im Seslerietum, Festucetum und Dryadetum um $^1/_4$—$^1/_5$; im Empetretum um $^1/_3$, im Nardetum um $^1/_2$. Beim Vergleich der verschiedenen Bodentypen erzeigt sie sich am größten im Empetretum, wo in charakteristischer Weise der zweitoberste Horizont, der auch größte Azidität aufwies, den Maximalwert erreicht. Am kleinsten ist die Pufferung im Ferrugineetum. Sie erreicht dort in den verschiedenen Horizonten ungefähr die Beträge, die im Nardetum dem Basishorizont zufallen. Festucetum II und Seslerietum liegen zwischen dem Fer-

TABELLE 27

Pufferflächen der Bodenproben aus den verschiedenen Pflanzengesellschaften und Bodentiefen des Alpengartens.

Herkunft der Probe	Nr. d. Bodens	Bodentiefe cm	Pufferfläche in cm²	
			gegen Lauge	gegen Säure
Seslerietum I	1	2	328,7	211,0
	3	10	270,8	240,0
	5	20	243,2	254,9
Seslerietum II	2	2	303,76	319,00
	4	10	265,75	259,54
Ferrugineetum	24	2	245,8	200,8
	25	10	206,5	252,4
	26	20	219,5	232,5
Dryadetum	27	2	380,8	345,0
	28	10	313,8	321,8
Festucetum I	16	2	396,3	153,0
	18	10	376,0	120,3
	20	20+30	355,8	90,3
	22	40(+50)	302,2	85,3
Festucetum II	17	2	310,3	184,9
	19	10	265,5	155,6
	21	20+30	238,0	114,7
	23	40(+50)	228,6	126,3
Nardetum I	6	2	418,2	151,4
	8	10	395,8	106,3
	10	20+30	352,1	94,8
	15	50	201,8	254,0
Nardetum II	7	2	435,8	100,8
	9	10	353,2	80,4
	11	20+30	321,0	74,2
	14	50	219,4	111,3
Empetretum	30	I	595,8	143,0
	31	II	632,8	104,8
	33	III	492,7	244,9
	34	IV	339,6	344,9
	35	V	340,5	373,2

rugineetum und dem Empetretum und sind untereinander ungefähr gleich groß. Nardetum I und II und Festucetum I (exkl. Basishorizont) weisen eine etwas größere Pufferung auf und sind untereinander wenig verschieden.

Die Pufferung gegen Säure verhält sich bedeutend weniger einheitlich. Sie nimmt mit der Bodentiefe im allgemeinen auch ab (Ausnahme Seslerietum I und Ferrugineetum), in den tiefsten

Bodenhorizonten von Festucetum II und Nardetum sowie den mittleren und tiefen Horizonten des Empetretums aber wieder zu, zum Teil in sehr bedeutender Weise. Im Empetretum wird die Pufferfläche in den tieferen Bodenschichten beinahe 4mal größer als in dem Horizont mit dem kleinsten Wert, im Nardetum I beinahe 3mal größer.

Als Ganzes betrachtet ist im Seslerietum, Ferrugineetum und Dryadetum, also in den schwach sauren Böden, die Pufferung gegen Säure und Lauge ungefähr gleich groß und nimmt mit steigendem Humusgehalt zu. Im Festucetum, Nardetum und Empetretum, also in den stark sauren Böden, ist im allgemeinen die Pufferung gegen Säure viel kleiner, wobei wiederum mit hohem Humusgehalt die höchsten Pufferungswerte parallel gehen. Doch ist in den sauren Böden wiederholt ein unterschiedliches Verhalten festzustellen, indem im tiefsten Horizont die Pufferungsfläche gegen Lauge plötzlich abnimmt, diejenige gegen Säure zunimmt, im Nardetum I und im Empetretum sogar die Laugenpufferung übersteigt. Dieses Verhalten ist die Folge der schwachen Bodenauslaugung und findet seinen Ausdruck auch in den niedrigen Wasserstoffzahlen. Im Grunde des Empetretums ist die höchste Stufe der Pufferung gegen Säure vorhanden, verbunden mit hoher Pufferung gegen Lauge. Das entspricht der neutralen Bodenreaktion bei hohem Humusgehalt.

Wir haben auf jungen Moränen und im Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum-Podsolboden des Aletschwaldes Pufferungsmessungen nach der gleichen Methode durchgeführt (Lüdi, 1945). Die Pufferungsflächen sind auf den jungen Moränen entsprechend der geringen Bodenreifung kleiner als in den Böden des Alpengartens, und da es sich um Silikatgestein handelt, ist die Pufferung gegen Lauge ausgesprochen größer als diejenige gegen Säure. Sobald die Humuseinlagerung bedeutend wird, steigt auch die Pufferung schon in jungen Böden stark an. Im A_1-Horizont des Rhodoretum-Eisenpodsols erreicht die Pufferung gegen Lauge Werte in der gleichen Größenordnung wie im Empetretum des Alpengartens, während sie gegenüber der Säure deutlich kleiner bleibt.

Auf andere Weise erarbeitete Pufferungswerte lassen sich nicht zahlenmäßig, aber doch qualitativ vergleichen. E. Frei

(1944) findet in seinen Humuskarbonatböden des Pineto-Ericetums und des Trisetetum flavescentis sehr hohe Pufferungswerte gegen die Säure und mit Ausnahme der obersten Bodenschicht sehr niedrige gegen Basen (ca. 1 : 20), was zeigt, daß diese Böden, verglichen mit denen der entsprechenden Gesellschaften des Alpengartens, noch wenig gereift sind. Sie enthalten ja auch noch reichlich Karbonate. Die Silikatböden des Rhodoretums und des Nardetums von Nante dagegen verhalten sich ähnlich wie die entsprechenden Böden des Alpengartens: durchwegs Dominanz der Pufferung gegen Lauge. Die ausgesprochene Podsolstruktur läßt in den einzelnen Horizonten ein sehr verschiedenes Verhalten erkennen: Pufferung groß im Horizont A_1, sehr klein im A_2- und erneutes Ansteigen im B-Horizont.

5. *Glühverlust*

Die Bestimmung des Glühverlustes von Erde, die vorher bei 105° bis zur Gewichtskonstanz getrocknet worden ist, gibt einen Annäherungswert für den Humusgehalt des betreffenden Bodens.

Es bleibt allerdings auch beim Trocknen bei 105° noch etwas Wasser im Boden gebunden, bei unseren Lehmböden etwa 3—4 %, bei humusreichen Böden etwas mehr, und wir können ihn in Rechnung stellen. Jedenfalls gibt für ökologische Untersuchungen allgemein orientierender Art der so einfach zu bestimmende Glühverlust größenordnungsmäßig Werte von genügender Genauigkeit. In karbonathaltigen Böden, die allerdings bei dieser Studie nur ganz vereinzelt auftreten, kann durch das Glühen ein Teil der Kohlensäure ausgetrieben und dadurch ein zu hoher Humusgehalt vorgetäuscht werden. Wir haben diesen Fehler dadurch vermieden, daß wir die karbonathaltigen Böden so lange glühten, bis alle Kohlensäure verschwunden war und später den von der Karbonatbestimmung her bekannten Gehalt an Karbonatkohlensäure wieder abrechneten.

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 22—24 zusammengestellt, die Mittelwerte für die Oberflächenschichten auch in Abb. 32. Sie zeigen im allgemeinen für die verschiedenen Untersuchungszeiten gute Übereinstimmung. Doch heben sich die Werte der obersten Bodenschicht des Jahres 1942 stark heraus (Tab. 24), was davon herrührt, daß damals die Hauptwurzelschicht in 1—3 cm Bodentiefe auch beigezogen wurde, während wir bei früheren Untersuchungen die obersten 3—4 cm wegließen. Regelmäßig ergibt sich der größte Glühverlust in der obersten Bodenschicht und dann eine mehr oder weniger starke Abnahme gegen unten hin.

In bezug auf den Humusgehalt lassen sich drei Gruppen von Böden unterscheiden: Die erste Gruppe umfaßt die eigentlichen mineralischen Böden, das Festucetum, Nardetum und Ferrugineetum. Der Glühverlust des obersten Bodenhorizontes unterhalb der Wurzelschicht (in den Tabellen 5, resp. 10 cm) schwankt um 15 %; der Humusgehalt nach Abzug des Wassergehaltes erreicht also rund 10 %. Nach unten nimmt der Gehalt an organischen Stoffen stark ab, bis auf wenige Prozent. Im Festucetum und Nardetum wurde wiederholt ein Glühverlust von 4 und 5 % gemessen, was einem annähernd humusfreien Boden entspricht. Im Ferrugineetum sinken die Werte nicht so tief, selten unter 10 %.

Die zweite Gruppe wird vom Seslerietum repräsentiert. Der Glühverlust beträgt in den obersten Schichten des Bodens rund 30 % (der Humusgehalt also ca. 25 %) und nimmt gegen unten nur sehr langsam ab, so daß er in 20 cm Bodentiefe noch über 20 % beträgt. Der Boden erscheint sehr gut durchmischt.

In der dritten Gruppe stehen die eigentlichen Humusböden, das Dryadetum und das Empetretum. Hier besteht der feste Anteil des Bodens nicht nur nach Volumen, sondern auch nach Gewicht zum größeren Teil aus organischen Stoffen. Die Glühverluste betragen im Dryadetum in der Oberflächenschicht im Mittel 77 % und erreichen auch im Grund des Bodenprofils, in 20—30 cm Tiefe, noch ca. 25 %. Weitaus am höchsten sind die Humusgehalte im Empetretum, wo die Glühverluste in der Oberflächenschicht im Mittel 94 % betragen, in Einzelfällen sogar wiederholt bis 97 %, was einem Humusgehalt von annähernd 92 % entspricht. Gegen unten hin nimmt der Glühverlust zuerst langsam ab (in 20 cm Tiefe 92 %) und dann schneller. Doch maßen wir noch auf dem Grunde der Profile in den Mittelwerten 40, resp. 63 %. Die Übereinstimmung ist in den oberen und mittleren Horizonten, im braunen Rohhumus, viel größer als in dem schwarzen Humus der tiefsten Horizonte, weil dort in unregelmäßiger Weise der Übergang in die Grundschicht erfolgt, wo der Humus, mit dem mehr oder weniger stark entwickelten Mineralschutt vermischt, dem Fels aufliegt.

Verglichen mit den von Pallmann und Haffter (1933) im Empetretum des Oberengadins gefundenen Humusgehalten (in den obersten 10 cm 15—85 %) zeigen diejenigen der Schinige-

platte meist höhere und vor allem viel regelmäßig hohe Werte. Das kommt daher, weil im Kalkgebiet das Empetretum erst im reinen Humusboden auftritt, im Silikatgebiet dagegen bedeutende Beimischungen der sauren, quarzigen Mineralerde wohl erträgt. Die Humusbildung erscheint in unserem Untersuchungsgebiet viel kräftiger entwickelt zu sein als im Engadin, wo die Verwitterungsprofile, inkl. Mineralschichten, selten mehr als 30 cm betragen. Das ist wohl die Folge des humideren Klimacharakters.

Der beim Glühen der Böden entstehende mineralische Glührückstand hat eine charakteristische Färbung, die meist auch einen Rückschluß auf den Bodenzustand erlaubt. Im Festucetum und Nardetum ist die Färbung des Glührückstandes ziegelrot, in den obersten Schichten oft hell (vor allem im Nardetum), sonst sozusagen immer sehr kräftig. Das bei der Verwitterung entstehende, den Boden rot färbende Eisenhydroxyd ist also im wesentlichen erhalten geblieben. Doch zeigt auch die Färbung des Glührückstandes an, was die Totalanalyse quantitativ ergab, daß in den obersten Schichten eine merkliche Auslaugung der Sesquioxyde stattgefunden hat. Ist einmal ein richtiger A-Horizont entstanden, so wird der Glührückstand grau oder weißlich, auch wenn er vorher durch den Humus schwarz gefärbt war (A_1), während der Anreicherungshorizont (B-Horizont) sich durch eine besonders kräftige Ziegelrotfärbung auszeichnet.

Im Ferrugineetum sind die Glührückstände im wesentlichen gleich gefärbt wie im Festucetum und Nardetum; gelegentlich ist auch hier der obere Horizont etwas heller als der untere. Aber es treten häufiger abweichende Farbentöne auf, Karmin oder Braunrot, besonders in den obersten Horizonten. Im Seslerietum ist die Erscheinung von rotbraunen oder karminfarbenen, gelegentlich auch braunen Farbtönen, noch häufiger; ein schönes Ziegelrot wurde nur vereinzelt beobachtet. In den besonders humusreichen Oberflächenhorizonten kann es vorkommen, daß die rote Färbung nur noch blaß ist, was eine recht bedeutende Umlagerung der Sesquioxyde andeutet. Im Dryadetum sind die Grundschichten in der Regel kräftig ziegelfarben; die Oberflächenschichten hellziegelfarben, braun oder rotbraun, in den besonders humusreichen Proben bereits grau. Und im Empetretum sind die Glührückstände leichte, graue oder weißliche, seltener leicht

bräunliche Aschen; nur die schwärzlichen, neutralen, humusärmeren Basisschichten ergeben braune oder braunrote Glührückstände. So spiegelt sich der Bodencharakter im Bild des Glührückstandes, und einzelne Pflanzengesellschaften lassen sich auch an ihm erkennen.

6. *Kolloidaler Humus*

Der adsorptiv ungesättigte, hochdisperse, sogenannte saure Humus kann durch Behandlung des Bodens mit einer Ammoniaklösung herausgelöst werden. Bei einmaliger Behandlung geht allerdings nur ein Teil dieser Humusstoffe in Lösung, namentlich bei Rohhumusböden; die Methode ist also nicht streng quantitativ; aber der erhaltene Auszug liefert doch ein Maß für die Größenordnung des im Boden enthaltenen kolloidalen Humus (vgl. Lüdi 1945).

Die Bestimmung erfolgte auf nachstehende Weise: 2 g lufttrockenen Bodens wurden mit 10 cm³ 2 %-Ammoniaklösung eine Minute geschüttelt, dann abfiltriert und der Gehalt an kolloidalem Humus nach der Färbung des Filtrates im Reagensglas mit 6teiliger Skala geschätzt (0 = Filtrat wasserklar, 1 = leicht bräunlich, 2 = kräftig braun, 3 = dunkelbraun, 4 = schwärzlichbraun, 5 = schwarz, Licht nicht durchscheinend). Diese Skalenwerte entsprechen aber nicht einer linearen Progression, sondern einer viel stärkeren Zunahme des Gehaltes an kolloidalem Humus. 4 bedeutet ca. 100mal die Einheit, 5 mehrere hundert Mal. Bei Humusböden wurde nur 1 g Boden oder dann 20 cm³ Lösung genommen, um genügend Filtrat zu erhalten.

Wir bestimmten den kolloidalen Humus bei den 138 Bodenproben, die im Jahre 1942 in den verschiedenen Pflanzengesellschaften entnommen wurden. Die Ergebnisse sind in Tab. 24 und in Abb. 40 in den Mittelwerten zusammengestellt. Der Gehalt an kolloidalem Humus ist in den oberen Bodenschichten des Nardetums am höchsten. Hier erreicht er den Maximalwert in der Wurzelschicht, bleibt aber bis in 20 cm Tiefe hoch und nimmt dann rasch ab. In zweiter Linie kommt das Empetretum, dessen Gehalt an kolloidalem Humus in 10—20 cm Tiefe den Höchstwert erreicht, aber bis zur Grundschicht hin ungefähr gleich bleibt. Nach der ganzen Bodenbeschaffenheit und insbesondere der Azidität würde man im Empetretum entschieden höhere Werte erwartet haben. Vielleicht ist die leichte Durchlässigkeit des Empetretumbodens, welche die Ausschwemmung begünstigt, an dem relativ geringen Gehalt von kolloidalem Humus schuld. Wir haben wiederholt die Beobachtung gemacht, daß in sauren Humusböden

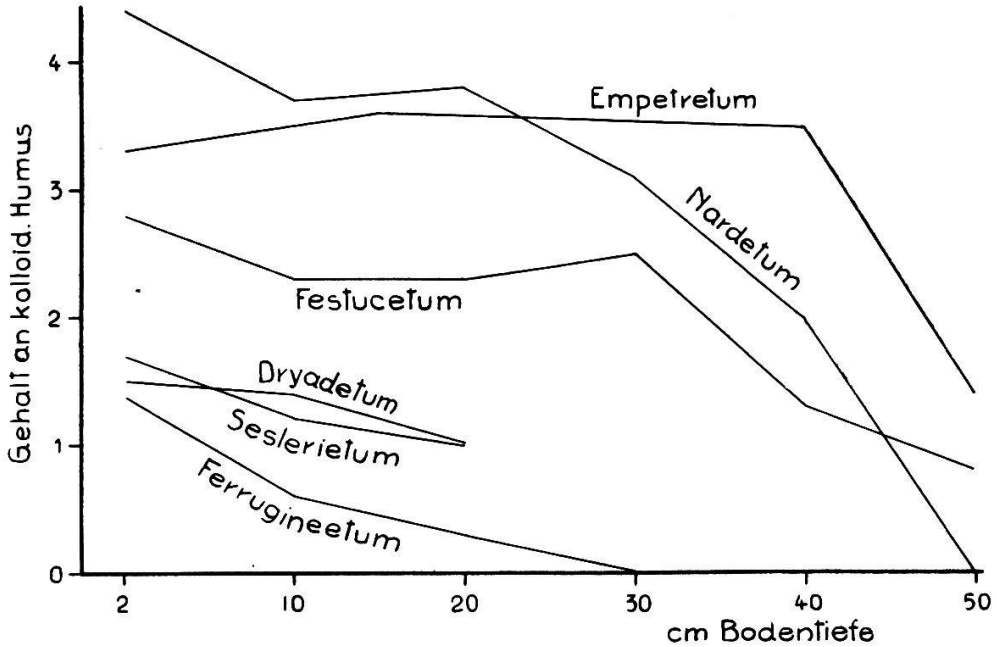

Abb. 40. Gehalt des Bodens an kolloidalem Humus in verschiedenen Pflanzengesellschaften und Bodentiefen (5teilige Skala mit steigendem Gehalt von 0—5, s. Text S. 148).

der Hauptteil des Humus wenig aktiv ist, während humusärmere, saure Mineralböden große Mengen von hochdispersem Humus enthalten können. Immerhin würden bei wiederholter Behandlung mit Ammoniaklösung aus dem Empetretumboden wahrscheinlich doch größere Mengen von kolloidalem Humus frei geworden sein als aus dem Nardetumboden. Einen mittleren Gehalt an kolloidalem Humus weist das Festucetum auf, wo einzelne Oberflächenschichten bis zu 4 Skalenteilen ansteigen.

In den übrigen Beständen ist der Gehalt an kolloidalem Humus gering, im Ferrugineetum mit Ausnahme der Oberflächenschicht beinahe fehlend. Wenn wir vom Empetretum absehen, zeigt sich allgemein eine Abnahme von der Bodenoberfläche nach unten hin, die aber in den mittleren Bodenschichten oft verzögert ist. In der tiefsten untersuchten Schicht des Nardetums konnte kein kolloidaler Humus nachgewiesen werden. Der Befund war wohl zufällig, und wir dürfen annehmen, daß sich in unseren Lehmböden des Nardetums und Festucetums noch kolloidaler Humus bis in mindestens 50 cm Tiefe vorfindet. Er kann durch Einschwemmung von oben her dorthin gelangt sein; aber auch einzelne Wurzeln von Krautpflanzen (z. B. von *Plantago alpina)* reichen bis in diese Tiefe.

Auch Gehalt und Verteilung des kolloidalen Humus in den Böden der Schinigeplatte erweisen sich also für die einzelnen untersuchten Pflanzengesellschaften als charakteristisch.

d) Biologie des Bodens

Während man früher nur die größeren Bodentiere kannte, haben neuere Forschungen eine ganz ungeahnte Fülle von mikroskopisch kleinen Bodenlebewesen offenbart, die für den Bodenzustand und direkt oder indirekt auch für den Pflanzenwuchs von bedeutendem Einfluß sind, auch wenn keine spezielle Beeinflussung oder Schädigung erkennbar wird. Das Studium dieser Kleinlebewelt und der sich daranknüpfenden Probleme ist aber so schwierig, daß auch der Spezialist nur langsam vorwärtskommen kann. In einer Untersuchung wie der vorliegenden ist es unmöglich, die Bodenbiologie bis in die Einzelheiten zu verfolgen, aber doch wünschbar, wenigstens einen groben Überblick über die Zusammensetzung der Bodenlebewelt zu geben und eventuell zwischen den verschiedenen Bodenformen und Pflanzengesellschaften vorhandene Unterschiede hervorzuheben. Wir haben die Bakterienflora untersucht, und verschiedene Zoologen haben in den ihnen zugesandten Bodenproben die Mikrofauna bestimmt. Wir danken allen, die dabei mitwirkten und die im nachstehenden genannt werden, für ihre freundliche Bereitwilligkeit.

1. *Bakterien des Bodens*

Eine erschöpfende Untersuchung des Bakterienlebens im Boden erfordert die wiederholte Analyse von Proben aus verschiedenen Jahreszeiten und Jahren, damit nicht nur der einmalige Zustand, sondern die Wandlung im Laufe der Jahreszeiten erfaßt werden kann. Wir haben nur eine zweimalige Untersuchung des Bakteriengehaltes vorgenommen, deren Ergebnisse im nachfolgenden kurz dargestellt werden.

Für die Verarbeitung der Bodenproben stellte uns Herr Prof. Dr. M. Düggeli die Hilfsmittel des Landwirtschaftlich-Bakteriologischen Institutes der Eidg.-Techn. Hochschule und seinen erfahrenen Rat zur Verfügung. Nach dem unerwartet frühen Tode Düggelis ermöglichte uns das Entgegenkommen und die Hilfe der Herren Prof. Dr. E. Zollikofer und Dr. O. Richard eine zweite, vorher mit Düggeli verabredete Untersuchung. Die Arbeit wurde nach der von Düggeli ausgearbeiteten und seit langem

mit viel Erfolg angewendeten Methode ausgeführt. Sie ist in der Literatur wiederholt dargestellt worden (vgl. z. B.: Düggeli, 1921, 1923).

Wir entnahmen die Proben zur ersten Untersuchung am 16. Juni 1932 in den wichtigeren Pflanzengesellschaften des Alpengartens, je eine im unteren Seslerietum, Ferrugineetum («Spalt»), vorderen Festucetum und vorderen Empetretum in 0—10 cm Bodentiefe und 2 im vorderen Nardetum, die eine in 0—10, die andere in 10—20 cm Bodentiefe. Jede Probe bildete einen zusammenhängenden Erdwürfel von etwa 1 dm^3 Größe. In den folgenden Tagen wurden die Böden in Zürich verarbeitet, wobei wir aus jeder Bodenprobe zweimal, an zwei verschiedenen Tagen, eine vollständige Reihe von Bakterienkulturen anfertigten. Zur Verarbeitung gelangten jeweilen 30 g des frischen Bodens, die mit 270 g sterilem Wasser 15 Minuten geschüttelt wurden. Die 10prozentige Bodenaufschwemmung diente als Ausgangspunkt für die Verdünnung, die in Abstufungen von je 1 : 10 den besonderen Kulturen angepaßt und teilweise bis auf 1 : 1 000 000 gebracht wurden. In einigen speziellen Fällen wurde von 1 g Boden ausgegangen.

Mit den einen Kulturen versuchten wir Anhaltspunkte über die gesamte Keimzahl zu gewinnen. Um verschiedene Wachstumsmöglichkeiten zu geben, wurden Kulturen auf Gelatine, Agar und Zuckeragar hohe Schicht angelegt. Zur Prüfung auf den Gehalt an Bakterien, denen physiologisch eine besondere Bedeutung zukommt, legten wir eine Anzahl Elektivkulturen an (s. Tabelle 28). Für die Beschaffenheit der Böden sei auf das früher Gesagte verwiesen. Der Wassergehalt der zur Untersuchung verwendeten Proben hielt sich in den Grenzen, die für eine mittlere Durchnässung charakteristisch sind (vgl. S. 91). Nur in dem tieferen Nardetumhorizont war der Wassergehalt für die Verhältnisse der Schinigeplatte niedrig (31 %).

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 28 zusammengestellt. Die Tabelle enthält nur die Mittelzahlen der beiden Versuche, die in der Mehrzahl der Fälle gut übereinstimmten, gelegentlich aber auch stark voneinander abwichen, vor allem im Festucetum.

TABELLE 28

Ergebnisse der Bakterienkulturen aus verschiedenen Böden des Alpengartens, entnommen am 16. VI. 1932. Zahl der Keime in 1 g frischen Bodens.

Bakterientyp	Festucetum 5 cm	Nardetum 5 cm	Nardetum 15 cm	Ferrugineetum 5 cm	Seslerietum 5 cm	Empetretum 5 cm
Gelatinewüchsige Bakterien	4 200 000	19 500 000	1 600 000	4 300 000	6 600 000	1 250 000
Agarwüchsige Bakterien	5 700 000	9 100 000	420 000	1 050 000	3 450 000	500 000
In Zuckeragar, hohe Schicht	3 500 000	350 000	120 000	110 000	400 000	30 000
Harnstoffvergärer	> 100 000	> 100 000	> 100 000	> 100 000	> 100 000	> 100 000
Denitrifizierende	800	1 000	5	50	55 000	5
Pektinvergärer	500 000	550 000	10 000	10 000	100 000	1 000
Buttersäurebakterien	10	—	—	1 000	—	—
Anaerobe Eiweißzersetzer	10	10	10	10	10	—
Anaerobe Zellulosevergärer	1	10	—	1	1	1
Aerobe Zellulosevergärer	50	10	—	—	—	—
Anaerobe Stickstoff-Fixierer	6	10	10	6	55	1
Aerobe Stickstoff-Fixierer	—	—	—	—	—	—
Nitrifizierende	—	1	—	1	—	—

Gelatinegußkulturen: Die Zahl der Bakterienkeime, die auf Nährgelatine zur Entwicklung kommen, schwankt in den verschiedenen Böden von 1 250 000—19 500 000 pro g frischen Bodens. Am höchsten ist sie in dem oberen Nardetum-Horizont. Mittlere Werte zeigen das Festucetum, Ferrugineetum und Seslerietum; am niedrigsten ist die Keimzahl im tieferen Nardetumhorizont und im Empetretum. — Agar-Gußkulturen: Die auf Nähragar wachsenden Keime sind an Zahl kleiner als die auf Gelatine wachsenden. Sie schwanken von 420 000—9 100 000. Die Reihenfolge der Pflanzengesellschaften bleibt sich ungefähr gleich; doch ist der relativ niedrige Wert im Ferrugineetum auffallend. Die beiden Teilwerte des Festucetums gingen weit auseinander (11 000 000 — 430 000), so daß der in der Tabelle angegebene Mittelwert unsicher ist. — Zuckeragar, hohe Schicht: Diese Kulturmethode soll die Entwicklung der anaeroben Bakterien begünstigen, während das Aufkommen der aeroben zwar nicht verhindert, aber doch gegenüber den beiden ersten Kulturarten erschwert ist. Die Zahl der erfaßten Keime schwankt von 30 000 bis 3 500 000 pro g frischer Erde. Sie ist im Empetretum sehr gering, während Seslerietum- und oberer Nardetumhorizont Werte liefern, die sich einer halben Million nähern. Der untere Nardetumhorizont und das Ferrugineetum kommen nicht weit über 100 000 hinaus. Sehr viel höher als alle übrigen Stationen ist die Zahl der Keime im Festucetum; aber hier weichen die beiden Werte ebenfalls stark voneinander ab (6 800 000 ... 320 000). — Unter den Elektivkulturen gelangen die Harnstoffvergärer in allen Böden über 100 000 Keime hinaus. Da die Verdünnung nur bis ein Hunderttausendstel ging, konnte ihre genauere Zahl nicht ermittelt werden. — Denitrifizierende Bakterien sind spärlich vorhanden, im Empetretum, Ferrugineetum und im tieferen Nardetumhorizont nur wenige Individuen pro g Boden. Etwas mehr fanden sich im oberen Nardetumhorizont und im Festucetum und eine bedeutende Zahl im Seslerietum, wo die beiden Teilproben 100 000 und 10 000 aufweisen. — Die Pektinvergärer schwanken von 1000—500 000 pro g frischen Bodens. Ihre Zahl ist am höchsten im oberen Nardetumhorizont und im Festucetum, wo die beiden Teilwerte stark voneinander abweichen (1 000 000 ... 10 000). Bedeutend ist sie auch noch im Seslerietum.

klein im Empetretum. — In geringerer Zahl sind die anaeroben Säurebildner vertreten, und es dürfte sich dabei im wesentlichen um schwache Säurebildner handeln, wie Milchsäurebildner, welche die Magermilch gelb färben und zum Gerinnen bringen. Die Buttersäurebildner konnten nur im Ferrugineetum und Festucetum mit Sicherheit nachgewiesen werden. — Anaerobe Eiweißzersetzer *(Bacillus putrificus)* wurden im Empetretum keine gefunden, in den übrigen Gesellschaften regelmäßig, aber in kleiner Zahl. — Die Zersetzung der Zellulose wurde auf aerobem und anaerobem Weg geprüft, die aerobe sogar mit zwei Methoden. Die gefundenen Keimzahlen sind immer klein. Aerobe Zellulosevergärer fanden wir nur im oberen Nardetumhorizont und in einer Festucetumprobe; die anaeroben fehlten im unteren Nardetumhorizont völlig und im Festucetum, oberen Nardetumhorizont und Ferrugineetum in einer der beiden Teilproben. — Nitrifizierende Bakterien traten vereinzelt in je einer Probe des Ferrugineetums und des oberen Nardetumhorizontes auf. — *Bacillus amylobacter,* der auf anaerobem Wege Luftstickstoff fixiert, wurde in allen Proben nachgewiesen, aber immer in kleiner Menge, am reichlichsten im Seslerietum. — *Azotobacter chroococcus* dagegen, der Luftstickstoff auf aerobem Wege gewinnt, fand sich in keiner einzigen Probe.

Die gefundenen Bakterienzahlen dürfen nur in den Hauptzügen verglichen werden. Es ergeben sich aber doch deutlich Unterschiede zwischen den einzelnen Pflanzengesellschaften. Das Empetretum erweist sich als ausgesprochen bakterienarm. In allen Bodenproben waren von den mit Elektivkulturen gezüchteten Formen nur die Harnstoffvergärer und Pektinvergärer reichlich vorhanden; die meisten Typen fehlten ganz oder wurden nur in Spuren gefunden. Am größten war der Bakteriengehalt in dem oberen Bodenhorizont des Nardetums; das Ferrugineetum und das Seslerietum bleiben nur wenig zurück. Im Festucetum trafen wir auf eine sehr bakterienreiche und eine bakterienarme Probe. Das Nardetum, der einzige Bestand, von dem wir verschiedene Bodenhorizonte untersuchten, zeigt mit steigender Bodentiefe eine sehr starke Abnahme der Keimzahl. Bemerkenswert ist, daß Nitratbildner nur im Ferrugineetum und im Oberflächenhorizont des Nardetums gefunden wurden.

Bei der Beurteilung ist zu berücksichtigen, daß unsere Probenentnahme im Frühling, kurz nach der Schneeschmelze, stattfand. Nur das Seslerietum dürfte bereits seit einiger Zeit schneefrei gewesen sein, während die hinteren Teile des Alpengartens großenteils noch unter Schnee lagen (hinteres Nardetum, hintere Frischwiese). Das Zahlenverhältnis der Bodenbakterien kann sich im Laufe der Vegetationsperiode noch sehr verschieben. Es ist aber wenig wahrscheinlich, daß der Rückstand des Empetretums aufgeholt wird. Um dieser Frage nachzugehen, haben wir im Hochsommer 1946 (8. August) nochmals nach der gleichen Methode eine Serie von Bodenproben aus den verschiedenen Gesellschaften auf ihren Bakteriengehalt untersucht. Bei gutem, trockenem Wetter wurden die folgenden Proben entnommen:

Vorderes Festucetum (große Mulde), flach, SE.
Hinteres Festucetum, östl. Dauerfläche 38, flach, N.
Ferrugineetum, im «Spalt», steil, NE, im üppigen und typischen Bestand, 2 Proben, eine höher oben, eine tiefer.
Unteres Seslerietum, steil, SE, bei D 45.
Oberes Seslerietum, steil, S, bei D 21.
Vorderes Empetretum, kleiner Absatz am steilen NNE-Hang mit Vaccinien und Moospolstern.
Hinteres Empetretum, steil, NNE, *Empetrum, Vaccinium* und Moospolster.
Dryadetum unterh. d. hinteren Bankplatzes bei D 31 und 32, steil, NE, *Dryas*-Spalier und schwärzlicher Humus, sehr locker.
Nardetum der Versuchsweide, 1920 m, flach, S, 2 Proben.

Alle Proben stammen aus typischen Beständen. Da im Alpengarten kein richtiges Nardetum vorhanden ist, entnahmen wir die Nardetumproben dem ausgeprägten und typischen, seit 15 Jahren nicht mehr genutzten Nardetum der Versuchsweide (s. S. 47). Die Erde war verhältnismäßig sehr trocken, namentlich im Seslerietum (ca. 20 % Wassergehalt). Das vordere Festucetum war bedeutend trockener als das hintere.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tab. 29 und für die Hauptkulturen in Abb. 41 zusammengestellt. Die beiden der gleichen Pflanzengesellschaft entnommenen Proben wichen im allgemeinen nicht stark voneinander ab, und wir bringen nur ihre Mittelwerte.

Beim Vergleich mit der Frühlingszählung von 1932 ergibt sich eine bedeutende Steigerung der auf Gelatine, Agar und Zuckeragar wachsenden Keime im Ferrugineetum und Seslerietum, eine schwächere Steigerung oder ungefähr gleiche Werte im Festucetum, wo sogar die Zahl der auf Zuckeragar wachsenden Keime viel kleiner geworden ist. Allerdings war der hohe Wert von 1932 vielleicht ein Zufallswert, da er nur 1 Probe betraf. Im Nardetum

TABELLE 29

Ergebnisse der Bakterienkulturen aus verschiedenen Böden des Alpengartens, entnommen am 8. VIII. 1946. Zahl der Keime in 1 g frischen Bodens.

Bakterientyp	Festucetum 3—5 cm	Nardetum (Versuchsweide) 3—5 cm	Ferrugineetum 3—5 cm	Seslerietum 3—5 cm	Empetretum 3—5 cm	Dryadetum 3—5 cm
Gelatinewüchsige Bakterien	11 000 000	6 000 000	23 000 000	10 500 000	1 200 000	4 000 000
Davon gelatineverflüssigend	1 000 000	1 800 000	3 500 000	800 000	70 000	300 000
Agarwüchsige Bakterien	6 800 000	5 300 000	7 800 000	11 500 000	1 400 000	4 500 000
In Zuckeragar, hohe Schicht	900 000	3 300 000	1 500 000	2 500 000	800 000	900 000
Harnstoffvergärer	1 000 000	5 500 000	5 500 000	5 500 000	55 000	5 500 000
Denitrifizierende	1 000	10 000	10 000	5 500	5 500	10 000
Pektinvergärer	100 000	550 000	100 000	1 000 000	10 000	100 000
Buttersäurebakterien	1 000	550	50	1 000	100	550
Anaerobe Eiweißzersetzer	55	—	—	50	—	1
Anaerobe Zellulosevergärer	5	1	1	5	1	1
Anaerobe Stickstoff-Fixierer	10	10	55	55	5	55
Aerobe Stickstoff-Fixierer	—	—	—	—		—
Nitrifizierende	—	—	—	—		—

hat die Zahl der gelatine- und agarwüchsigen Keime bedeutend abgenommen, während die auf Zuckeragar wachsenden rund 10-mal zugenommen haben. Aber die Nardeta von 1932 und 1946 sind ihrer Art nach verschieden. 1932, im Alpengarten, war es ein dem Festucetum nahestehendes Nardetum, das sich nach Aufhören der Nutzung rasch wieder dem Frischwiesentyp näherte, während das Versuchsweide-Nardetum von 1946 sehr ausgeprägt ist und zäh an seiner floristischen Eigenart festhält. Auffallend ist im Nardetum der Versuchsweide auch der verhältnismäßig hohe Gehalt an gelatineverflüssigenden Keimen. Das Empetretum zeichnet sich neuerdings durch seine Bakterienarmut aus. Das zum erstenmal geprüfte Dryadetum steht zwischen dem Empetretum und den übrigen Gesellschaften.

Unter den Elektivkulturen fallen die Harnstoffvergärer, die diesmal voll erfaßt werden konnten, durch ihre enorme Zahl auf. Die Zahl der denitrifizierenden Bakterien ist, mit Ausnahme des Seslerietums, stark gesteigert, ebenso die der Pektinvergärer. Hier macht wieder das Festucetum eine Ausnahme, was die Wahrscheinlichkeit verstärkt, daß die Probe mit der hohen Keimzahl von 1932 zufälliger Art war. Buttersäurebakterien fanden sich 1946 durchwegs, aber ziemlich spärlich, merkwürdigerweise am wenigsten im Ferrugineetum. Die übrigen mit den Elektivkulturen

gezüchteten Bakteriengruppen sind spärlich vorhanden oder fehlen: anaerobe Eiweißzersetzer fanden sich nur im Festucetum und Seslerietum und vereinzelt im Dryadetum, während sie im Jahre 1932 nur dem Empetretum fehlten.

Unsere Untersuchung ergibt in erster Linie, daß man mit der Auswertung von solchen Bakterienkulturen, namentlich in quantitativer Hinsicht, vorsichtig sein muß. Je nach der Wetterlage und der jahreszeitlichen Entwicklung kann die Zahl dieser Kleinlebewesen im Boden sehr verschieden sein. Sie ist offenbar auch zur gleichen Zeit an der gleichen Lokalität starken Schwankungen unterworfen, je nachdem sich lokalisierte Hemmungs- oder Förderungsfaktoren auswirken.

Gewisse Ergebnisse heben sich aber doch heraus. Da ist einmal die allgemeine Zunahme der Keimzahl von der Zeit der Schneeschmelze gegen den Hochsommer hin. Ferner die enorme Menge der Harnstoffbakterien, die große Zahl der Pektinverzehrer, die mittlere bis kleine Zahl der denitrifizierenden Bakterien und der Buttersäurebakterien, die ganz unbedeutende Zahl der an-

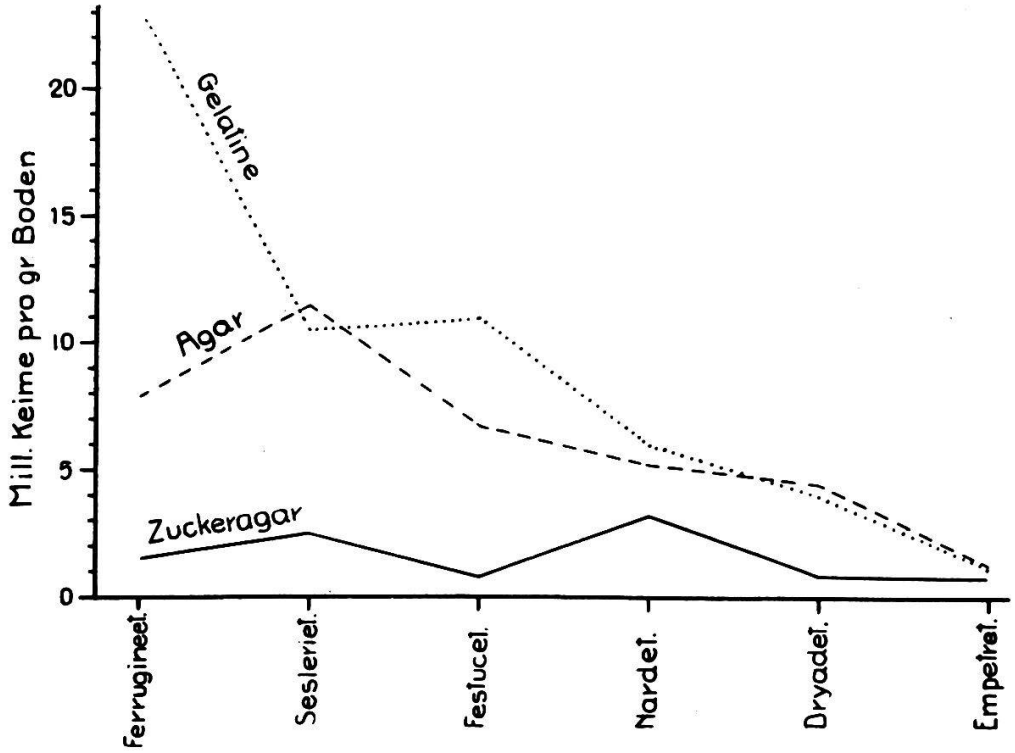

Abb. 41. Gehalt des Bodens an Bakterienkeimen in verschiedenen Pflanzengesellschaften.

aeroben Eiweißzersetzer, der Zellulosevergärer, der anaeroben Stickstoff-Fixierer (*Amylobacter*-Typ). Aerobe Stickstoff-Fixierer *(Azotobacter)* konnten nie nachgewiesen werden, nitrifizierende Bakterien nur vereinzelt im Frühling. Wie weit unvollständige Erfassung der Keime durch die angewandte Methode von Einfluß auf das Ergebnis ist, kann ich nicht beurteilen.

Sodann ergibt der Vergleich der Bakterienzahlen der verschiedenen Gesellschaften (vgl. Abb. 41), daß nährkräftige Böden von annähernd neutraler Reaktion das günstigste Medium abgeben (Ferrugineetum, Seslerietum), saure, aber nährkräftige Böden wenig zurückstehen (Festucetum), nährstoffarme, stark saure Mineralböden (Nardetum) oder nährstoffarme, im wesentlichen abgesättigte Humusböden (Dryadetum) mittlere Bakterienzahlen ergeben, stark saure Rohhumusböden (Empetretum) ausgesprochen bakterienarm sind. Unterschiede im Wassergehalt scheinen innerhalb der in unseren Untersuchungen vorliegenden Grenzen für die Art und Zahl dieser Lebewesen nicht von ausschlaggebender Bedeutung zu sein.

Wir haben die Bakterienzahlen vom Gramm frischen Bodens angegeben, wie es nach der Methode von Düggeli üblich ist. Statt dessen könnte man sie auch auf die Volumeneinheit beziehen, entsprechend unserem Vorgehen bei der Mikrofauna. Bei der Umrechnung unserer Bakterienzahlen von Gramm auf cm^3 erfahren die Keimzahlen für die Volumengewichte von über 1000 g eine Zunahme, für diejenigen unter 1000 g eine Abnahme. Da die Volumengewichte des frischen Bodens unserer Pflanzengesellschaften sich parallel zur Humuszunahme von ca. 1500 g auf ca. 500 g verkleinern, so ergibt sich für das Maß der Veränderungen der Bakterienzahlen eine Reihenfolge nach dem Humusgehalt. Im cm^3-Wert sind die Bakterienzahlen im Festucetum 1,45-, im Nardetum 1,35-, im Ferrugineetum 1,25mal größer, im Seslerietum 0,8-, im Dryadetum ca. 0,6-, im Empetretum 0,55mal kleiner als die Grammwerte unserer Tabellen 28 und 29. Sie bleiben also in der Größenordnung gleich, lassen aber die Bakterienarmut des Empetretums noch stärker in Erscheinung treten.

Die Bodenbakterien ernähren sich von dem Abbau organischer Substanzen, und deshalb ist es von Interesse, ihre Keimzahl auch in Beziehung zum Gehalt unserer Böden an Humusstoffen zu

bringen. Da dem zunehmenden Gehalte an organischen Stoffen eine starke Abnahme des Gewichtes der festen Bodenteile parallel geht, so sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Pflanzengesellschaften nicht so groß, wie man erwarten würde. Der Anteil der organischen Stoffe in den Böden unserer Pflanzengesellschaften erreicht pro dm^3 Boden in den obersten 10 cm Bodentiefe (± 5 cm) etwa folgende Beträge (vgl. Tab. 15, 23, 24):

Festucetum	100 g	Empetretum	105 g
Ferrugineetum	100 g	Dryadetum	ca. 120 g
Nardetum	105 g	Seslerietum	130 g

Wenn wir die gefundenen Bakterienzahlen auf das Gramm Humussubstanzen beziehen, so nehmen sie allgemein gewaltig zu, gegenüber den Werten der Tabellen 28 und 29 im

Festucetum	14mal	Seslerietum	6mal
Nardetum	13mal	Empetretum	5mal
Ferrugineetum	12mal	Dryadetum	5mal

Durch diese Beziehung auf den Humusgehalt werden also die Bakterienzahlen der Gesellschaften mit mineralischem Boden sehr erhöht, die der Humusböden im Vergleich zu ihnen gedrückt, wobei das Seslerietum am schlechtesten wegkommt. Es kommt aber nicht nur auf das Ausmaß der vorhandenen organischen Stoffe an, sondern auf ihre Beschaffenheit, worunter wohl in erster Linie die Verdaulichkeit, resp. Abbaufähigkeit zu verstehen ist. Aber die hier anschließenden Probleme sind sehr komplexer Natur.

M. Düggeli hat wiederholt den Bakteriengehalt alpiner Böden untersucht.

Er berücksichtigt dabei wohl auch das Nardetum und Festucetum, obschon in der Standortsbeschreibung die Pflanzengesellschaft nicht in unserem Sinne definiert wird. — Doch wird seine «magere Weide» im allgemeinen mit dem Nardetum übereinstimmen, die «gute Weide» mit dem Festucetum. In der Arbeit von 1928 über den Einfluß des Rohhumus auf den Bakteriengehalt werden Vegetationstypen behandelt, von denen einzelne zum Empetreto-Vaccinietum gehören oder ihm nahestehen, während die dort aufgeführten Nardusbestände kaum mit unserem Nardetum verglichen werden können, da im speziellen ein vorhandener Rohhumushorizont untersucht worden ist. Auch dem Seslerietum nahestehende Bestände wurden beigezogen (Ericetum mit mehr oder weniger *Sesleria coerulea*).

Düggeli findet ganz allgemein von den Äckern und Fettwiesen zu den ungedüngten Wiesen und Weiden (cf. Festucetum) und weiterhin zu den neutralen Humusböden (cf. Dryadetum, cf. Seslerietum), den vermagerten Weiden (cf. Nardetum) und den

Rohhumusböden mit dominanten Vaccinien eine absteigende Bakterienzahl, die in der Größenordnung mit unseren Werten übereinstimmt, wobei aber gelegentlich große und unerwartete Schwankungen vorkommen. Die Bakterienzahl der Rohhumusböden ist auch in Düggelis Befunden auffällig niedrig gegenüber den übrigen Böden. Aerobe, stickstoffbindende Bakterien *(Azotobacter)* wurden in den alpinen Naturböden nie gefunden, nitrifizierende Bakterien und anaerobe Zellulosevergärer selten, denitrifizierende wenig. In einem gewissen Gegensatz zu unseren Befunden stehen diejenigen Düggelis in bezug auf die Buttersäurebakterien, von denen er im allgemeinen viele nachweisen konnte (auch in ungedüngten Weideböden wiederholt 100 000 im Jahre 1921) und die Harnstoffvergärer, die in seinen Böden im allgemeinen in bedeutend kleineren Quantitäten vorkamen, gelegentlich beinahe fehlten. Doch steigen sie bisweilen auf Zahlenwerte von 100 000 im Gramm frischen Bodens, z. B. im Rohhumus (1928, in den Proben 17 und 35) und in alpinen Weideböden (1921, wiederholt). Auch die Pektinvergärer erreichen bei Düggeli nur selten hohe Werte, so in der Arbeit von 1921 in ungedüngtem Weideboden einmal 1 000 000 und einmal 100 000.

Einige Vergleichsdaten können wir auch einer Arbeit von Milos Deyl (1938) über den Bakteriengehalt der alpinen Böden in den Ostkarpathen entnehmen.

Von den Pflanzengesellschaften, die Deyl untersuchte, ist nur eine, das Vaccinietum uliginosi, wahrscheinlich mit einer von uns untersuchten, dem Empetretum, näher verwandt. Immerhin ist der Humusgehalt bedeutend kleiner (Glühverlust 61 %), die Azidität dagegen annähernd gleich (pH 4.3). Deyl fand in dieser Pflanzengesellschaft in 5 cm Bodentiefe im Gramm frischen Bodens folgende Bakterienflora:

auf Agar wachsend, aerob	3 000 000
auf Agar wachsend, anaerob	20 000
Zellulosezersetzer	10 000
Buttersäurebildner	1 000
NH_4-bildende (Harnstoffzersetzer)	1 000 000
NO_2-bildende (Stickstoffixierende)	1 000
nitrifizierende	—

Verglichen mit unserem Empetretum ist der Gehalt an aeroben, agarwüchsigen Keimen in der gleichen Größenordnung; derjenige der agarwüchsigen Anaeroben entspricht unserer Frühlingszahl, der Gehalt an Buttersäurebildnern und Harnstoffzersetzern unserer Sommerzahl. Die Zahl der Zellulosezersetzer und der Stickstoff-

fixierer dagegen erscheint sehr hoch. Da aber die genauere Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften nicht gegeben ist, die Böden im Herbst gesammelt wurden und die Kulturmethoden vielleicht nicht identisch waren, so müssen wir uns weiterer Schlußfolgerungen enthalten.

Als weitere pflanzliche Bodenorganismen sind die Bodenalgen und Bodenpilze zu nennen. Einzellige Bodenalgen finden sich oft zu vielen Tausenden pro cm^3 Boden und gehen bis in beträchtliche Tiefen. Noch viel reichlicher sind die Bodenpilze, die sich auf alle möglichen Pilzgruppen verteilen und von denen ein einzelner Waldboden Hunderte von Arten enthalten kann. Besonders reichlich und auffallend sind in unserem Untersuchungsgebiet die Bodenpilze im Empetretum, wo ihre Mycelien den Rohhumus nach allen Richtungen durchspinnen. Sie gleichen die relative Armut dieser Böden an Bakterien aus und beherrschen dort offensichtlich den Verlauf der Zersetzungsvorgänge der organischen Substanz. Fertiger Rohhumus besteht weitgehend aus Pilzgeweben. Untersuchungen über Pilz- und Algengehalt unserer Böden konnten wir nicht vornehmen.

2. *Mikrofauna des Bodens*

Herr Dr. A. Stöckli an der Eidgenössischen Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Zürich-Oerlikon übernahm in Verbindung mit unserer Laborantin, Fräulein A. Mohler, die Auszählung der Milben, Collembolen, Proturen, Nematoden, Enchytraeiden, Rotatorien, Tardigraden und der größeren Wirbellosen, die sich in den Bodenproben fanden, quantitativ mit Unterscheidung der Hauptgruppen. Herr Dr. H. Gisin in Genf bearbeitete die Collembolen quantitativ und namentlich qualitativ und zählte ebenfalls die Milben aus. Herr Dr. F. Heinis in Basel bearbeitete die Protozoen, Rotatorien, Tardigraden und Nematoden quantitativ und qualitativ. Wir bringen im nachstehenden nur die Hauptergebnisse; die ins einzelne gehende Auswertung ist Sache der Tierökologie und wird von den genannten Forschern selber vorgenommen, soweit sie dies als gegeben betrachten.

Dr Gisin erhielt 2 Probesendungen, am 27. Juli und am 13. August 1946, die beiden anderen Herren nur 1 Sendung am letztgenannten Termin.

Die Proben für Dr. Gisin wurden in Blechschachteln von 4—4,5 cm Tiefe und 2—2,5 dm^2 Fläche verpackt und waren der Größe der Schachtel angepaßt. Der Rasen oder das Zwerggesträuch wurde bis auf die Bodenoberfläche weggeschnitten und dann die Bodenprobe als zusammenhängendes Stück möglichst ohne Quetschung entnommen. Für Dr. Stöckli entnahmen wir einen Bodenwürfel von rund 1 dm^3, von der Bodenoberfläche an abwärts. Zur Untersuchung gelangten Ausschnitte aus dem Würfel unter der dichten Wurzelschicht, also in etwa 2—6 cm Tiefe. Dr. Heinis erhielt von jeder Probenentnahmestelle 2 Proben in Stoffhaltern, die eine aus der Oberflächenschicht (0—1 cm), die andere aus ca. 3 cm Tiefe, also gerade unterhalb des Wurzelfilzes.

Die Gewinnung der Arthropoden durch die Herren Stöckli und Gisin erfolgte mittels Berlesetrichter. Die Bodenprobe (Dr. Stöckli 125 cm^3) wird in den Trichter gebracht und von oben her langsam ausgetrocknet. Die Tierchen fliehen in der Richtung der größeren Feuchtigkeit und fallen schließlich aus dem Trichter in ein darunter angebrachtes Schälchen mit Alkohol. Sie werden dann unter dem Mikroskop ausgezählt. Die Arbeit ist beendigt, wenn keine Tierchen mehr auskriechen. Zur Zählung der Nematoden und verwandter Gruppen verwendete Dr. Stöckli 2 Methoden. 50 g frischen Bodens werden in ein feines Gazesäcklein gebracht und dieses in einen wassergefüllten Trichter gehängt. Die Nematoden kriechen aus der Erde durch die Gazewand in das Wasser, fallen nach unten und sammeln sich im engen Hals des Trichters an. Auf diese Weise wird aber nur ein Bruchteil der Würmer gewonnen. Deshalb wurde von jeder Bodenprobe noch 1 g in kleine Teilstücke zerlegt und direkt unter dem Mikroskop ausgezählt.

Dr. Heinis nahm für die von ihm untersuchten Gruppen eine erste kursorische Kontrolle zur Bestimmung der Arten sogleich nach dem Empfang des Materials vor. Zur weiteren Untersuchung wurde nach sorgfältiger Mischung der Probe ein kleiner Teil mit sterilem Wasser ausgeschlämmt, zentrifugiert, durch ein feines Sieb gelassen und dann mikroskopiert. Soweit nötig wurden einzelne Individuen isoliert und Vitalfärbungen vorgenommen. Um die Individuenzahl festzustellen, wurden 0.02 g Boden ausgeschlämmt und dann bis zum letzten Tropfen ausgezählt.

Die Proben stammten von den gleichen Örtlichkeiten, wie für die Bakterien-Untersuchung (s. S. 154), z. T. genau vom gleichen Ort, z. T. etwas entfernt, aber im Bestand von gleicher typischer Zusammensetzung. Doch wurden am 13. VIII. die beiden Nardetumproben in der offenen Weide, unmittelbar neben der Versuchsweide, im typischen Nardetum entnommen, und die Probe aus dem vorderen Empetretum entnahmen wir am 26. Juli auf einem nackten Rohhumusabsatz und am 13. August unter einem dichten Spalier von *Empetrum* und allen 3 *Vaccinium*-Arten.

Die Probeentnahme erfolgte am 26./27. VII. bei schönem Wetter und nach einer längeren Periode trockenen Wetters; doch war am 25. um Mittag ein heftiger Regenguß gefallen. Die Probeentnahme vom 13. VIII. fiel auf das Ende einer längeren Schönwetterperiode mit vereinzelten und leichten Niederschlägen. Die Böden waren in der Sonnenlage verhältnismäßig sehr trocken, naß nur im Empetretum und Dryadetum. Während der Entnahme der Bodenproben begann es zu regnen. Aber nur für die Oberflächenprobe des Ferrugineetums und des Nardetums von Dr. Heinis könnte die Benetzung von einigem Einflusse sein.

Wir bringen in den Tabellen 30—38 eine Zusammenstellung der durch die Herren Gisin, Heinis und Stöckli gewonnenen Ergebnisse, samt den notwendigen Erklärungen, wobei wir uns teilweise auf Mitteilungen der genannten Herren stützen. Die

einzelnen Proben werden mit Ausnahme der Zusammenfassungen gesondert aufgeführt.

Collembolen und Proturen

Die durch A. Stöckli festgestellten Individuenzahlen schwanken für den dm³ gewachsenen Bodens in den verschiedenen Pflanzengesellschaften von 512—2512 (Tab. 30). Die von H. Gisin gefundenen Werte waren niedriger. Parallelproben von 2 verschiedenen Stellen des gleichen Bestandes (Nardetum, Dryadetum) stimmen annähernd überein; Proben aus zwei verschiedenen Beständen des gleichen Typs stimmen zum Teil auch überein, weisen aber teilweise starke Abweichungen auf (Seslerietum, Empetretum). Den kleinsten Collembolengehalt besitzen das Dryadetum und das Empetretum, also neutrale und stark saure Humusböden, den höchsten Gehalt das Ferrugineetum; doch bleiben Festucetum und Nardetum nur wenig zurück (s. Abb. 42, S. 179). Die verhältnismäßig humusarmen, neutralen und sauren Böden bilden also für sich eine Gruppe. Seslerietum mit humosem, schwach saurem Boden enthält einmal sehr hohe und einmal niedrige Individuenzahlen.

TABELLE 30

Collembolen und Proturen in den Böden verschiedener Pflanzengesellschaften des Alpengartens, entnommen im August 1946, untersucht von Dr. A. Stöckli. Zahl der Organismen pro dm³ gewachsenen Bodens. (Ausgezählt in $^1/_8$ dm³ Boden im Auslaufapparat.)

Herkunft der Proben	Festucetum		Nardetum (Versuchsweide)		Ferrugineetum		Seslerietum		Empetretum		Dryadetum	
	Vorderes	Hinteres	I	II	oben	unten	Unteres	Oberes	Vorderes	Hinteres	I	II
Protura	24	8	88	24	64	56	16	8	0	0	8	0
Poduromorpha	1048	560	560	1064	1008	616	1776	368	152	272	96	104
Entomobryomorpha	776	976	1008	744	1424	1080	324	440	360	808	672	520
Sminthuridae	0	24	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0
Neelidae	0	72	0	0	16	0	0	0	0	0	24	0
Total	1848	1640	1656	1832	2512	1768	2116	816	512	1080	800	624

Stöckli hat beim Auszählen die systematischen Hauptgruppen unterschieden. Die Hauptzahl der Individuen entfällt

TABELLE 31

Collembolen-Fauna in den Böden der verschiedenen Pflanzengesellschaften des Alpengartens. Artenverzeichnis und Häufigkeit nach den Untersuchungen von Dr. H. Gisin. Häufigkeitsskala: 1 = vereinzelt, 5 = sehr häufig. In jeder Abteilung bedeutet die vordere Kolonne (bei Nardetum die beiden vordern) die Probeentnahme im Juli, die hintere (bei Nardetum die beiden hintern) im August. Im Dryadetum beide Kolonnen August.

	Arten	Festucetum				Nardetum Versuchsweide				Ferrugineetum				Seslerietum				Empetretum				Dryadetum	
		Vord.		Hint.		Weide nicht genutzt		Weide genutzt		Ob.		Unt.		Unt.		Ob.		Vord.		Hint.			
Hemiedaphon	*Hypogastrura armata*	3	3	2	3		1				1	2	1	2		1				1		1	
	Hypogastrura monticola	4	1		4	2	3	3	5		1	3	1	5	2	1	2						
	Odontella lamellifera														5			1	3	5		1	3
	Folsomia quadrioculata	5	5	4	1		1		4		3	1		3	3	5	5	1	4	3	4	4	4
	Isotoma sensibilis	2		1	3			5	4		2		1	1			5		2		2		
	Isotoma notabilis	2	4	3	5	3	3	2	3	2	4	2	3	5	3	2	4	1	4	3	4	4	4
	Entomobrya lanuginosa							1	1	2					1		1						
	Lepidocyrtus violaceus	1	2	1		1	1	1				1		2	3	2	3		1		1	2	
	Lepidocyrtus lanuginosus		2		2			1	2			3	1	1					1				
	Sminthurides pumilis	2		1	3		3		1			1											
Euedaphon	*Tullbergia affinis*									1				1		5							
	Tullbergia quadrispina		2	4	1						1	4											
	Tullbergia Krausbaueri	5	1	4		1	1					3	1	2	1	2	1						
	Arrhopalites pygmaeus	1			1							2											
	Neelus minimus				3						3	1	2						2				
	Onychiurus fimetarius			2						4	3	2	4										
	Onychiurus affinis																	1		1	3		
	Onychiurus armatus	1	4	2	5	4	3	5	4	4	3	4	4	3	5	4	3	1	3	1	3	4	3
	Micranurida Handschini																		1				
	Isotomiella minor			5	1	5	5	5	5	5	5	4	5	5	2	4	1		4	4	3	4	3
	Artenzahl	10	9	11	12	6	9	8	9	6	10	14	10	11	9	9	9	5	10	7	7	7	5

immer auf die Poduromorphen und Entomobryomorphen; doch ist der Anteil dieser beiden Gruppen recht wechselnd, auch innerhalb der gleichen Gesellschaft.

Gisin gibt uns einen Überblick über die Arten und ihre Häufigkeit (Tab. 31). Er fand insgesamt 20 Arten. Die Artenzahl pro Probe schwankt von 5—14. In einigen Gesellschaften erscheint sie in den verschiedenen Proben ziemlich ausgeglichen (Festucetum, Seslerietum), in andern treten bedeutende Unterschiede auf (Ferrugineetum, Nardetum, Empetretum), von denen wir nicht sagen können, ob sie zufälliger Art sind. Im Durchschnitt ist die Artenzahl relativ hoch im Festucetum, Ferrugineetum und Seslerietum, niedrig im Empetretum und Dryadetum, was den festgestellten Individuenzahlen parallel geht.

Eine Anzahl Arten sind ubiquistischer Natur, finden sich in allen Gesellschaften und meist häufig; andere kommen nur spärlich oder nur in wenigen Gesellschaften vor. Zwei Arten sind auf das Empetretum beschränkt; alle andern finden sich in mehreren Gesellschaften. Es hält schwer, Gesetzmäßigkeiten in der Verbreitung festzustellen. Verhältnismäßig eng scheinen die Beziehungen zwischen Festucetum und Ferrugineetum zu sein, die ja auch in bezug auf ihre floristische Zusammensetzung sehr verwandt sind und zahlreiche Übergänge aufweisen. 3 Arten fanden sich nur in diesen beiden Gesellschaften. Dann gibt es aber merkwürdige Sprünge. Einzelne in der Mehrzahl der Proben der gleichen Gesellschaft häufige Arten fehlen in einer Probe oder werden doch selten, oder umgekehrt wird innerhalb einer Gesellschaft eine Art in einer Probe häufig, während sie sonst fehlt oder selten ist. Eine sonst dem Empetretum und Dryadetum eigene Art erscheint plötzlich in Menge in einer Probe des untern Seslerietums. Zum Teil ist der Collembolenbestand der Juli- und der Augustprobe recht verschieden.

Gisin (gefl. schriftl. Mitteilung) betrachtete *Onychiurus affinis* und *Odontella lamellifera* als kennzeichnend für sauren Humus, *Hypogastrura monticola* als Bewohnerin alpiner Mineralböden. *Tullbergia affinis* (Seslerietum), *T. quadrispina* (Festucetum) und *Onychiurus fimetarius* (Ferrugineetum) faßt er als ökologisch vikariierende Arten auf. Als Ganzes genommen findet er folgende Charakteristik der Collembolenfauna: im Empetre-

tum die Charakterarten des Rohhumus, wie man sie auch im subalpinen Nadelwald überall trifft; im Nardetum trivialisiert, d. h. ohne Arten, die nicht überall sonstwo leben könnten; im Seslerietum typische Synusien trockener Wiesen, auch in der Ebene; zwischen dem Festucetum und dem unteren Ferrugineetum herrscht eine auffallend große Übereinstimmung, und sie enthalten auch einen typischen Collembolen mesophiler Wiesen, während das obere Ferrugineetum eine etwas besondere Stellung einnimmt.

Milben

Die von A. Stöckli gezählten Bodenmilben geben ganz überraschend hohe Zahlen, am höchsten im Dryadetum und im Empetretum, am niedrigsten im Nardetum (s. Tab. 32 und Abb. 42). Das Festucetum verhält sich uneinheitlich: der vordere, auf der Sonnseite gelegene Bestand ergab die geringste gefundene Zahl, der hintere, gegen Norden geneigte, eine mittelgroße. Der Unterschied wird aber kaum nur mit der Sonnenlage oder Bodentrockenheit in Verbindung zu bringen sein, da beide Seslerieta, die bodentrok-

TABELLE 32

Milben (Acari) in den Böden verschiedener Pflanzengesellschaften des Alpengartens, entnommen im August 1946, untersucht von Dr. A. Stöckli. Zahl der Organismen pro dm^3 gewachsenen Bodens. (Ausgezählt aus $^1/_8$ dm^3 Boden im Auslaufapparat.)

Herkunft der Proben	Festucetum		Nardetum (Versuchsweide)		Ferrugineetum		Seslerietum		Empetretum		Dryadetum	
	Vorderes	Hinteres	I	II	oben	unten	Unteres	Oberes	Vorderes	Hinteres	I	II
Parasitiformes	56	136	152	144	512	320	608	104	120	376	288	144
Trombidiformes	152	960	130	104	336	240	800	144	264	488	552	360
Oribatei	336	1144	768	448	1424	1186	1208	2064	2232	2304	2112	2792
Acaridae	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	544	2248	1050	696	2272	1746	2616	2324	2616	3168	2952	3296

kensten Bestände, Milbenzahlen ergaben, die höher sind als der höhere Festucetumwert. Von den 3 unterschiedenen systematischen Gruppen erscheinen die Oribatiden (Hornmilben) ausgesprochenermaßen in größter Zahl. Die Trombidiformes sind vor allem im hintern Festucetum und untern Seslerietum stark vertreten, die Parasitiformes im Ferrugineetum und untern Seslerietum.

Nematoden

Diese winzigen Bodenwürmer wurden, wie bereits erwähnt, von Dr. Stöckli auf 2 Arten bestimmt. Die Bestimmung der im Wassertrichter aus der Erde herausgelaufenen Organismen ergab Werte, die um 10- bis 50mal kleiner waren als die unter dem Mikroskop aus 1 g Boden ausgezählten. Sie erfassen also ohne Zweifel nur einen kleineren Teil der im Boden befindlichen Nematoden, und wir können sie außer Betracht lassen. Die Ergebnisse der mikroskopischen Auszählung sind in Tab. 33 und Abb. 42 dargestellt.

TABELLE 33

Nematoden und Enchytraeiden in den Böden verschiedener Pflanzengesellschaften des Alpengartens Schinigeplatte, entnommen am 13. VIII. 1946 und untersucht von Dr. A. Stöckli.
Zahl der Individuen in 1 g frischen Bodens (mikroskopische Auszählung).

Tiergruppe	Festucetum		Nardet. (Versuchsweide)		Ferrugineet.		Seslerietum		Empetretum		Dryadetum	
	V.	H.	I.	II.	Oben	Unten	Oben	Unten	V.	H.	I.	II.
Nematoden	113	68	112	92	24	87	132	76	43	149	105	98
Enchytraeiden	10	10	20	+	10	10	30	30	+	0	10	0

+ = keine Enchytraeiden bei der mikroskopischen Auszählung, aber einzelne im Auslaufsapparat (weniger als 1 pro g Boden).

Die Untersuchung zeigt, daß in allen Böden ganz enorme Mengen dieser kleinen Würmer vorhanden sind. Stöckli ist der Ansicht, daß auch die sorgfältige, mikroskopische Auszählung nicht viel mehr als die Hälfte umfaßt. Es würden sich also im Kilogramm frischen Bodens ca. 100 000—200 000 Nematoden finden. Zwischen den verschiedenen Gesellschaften ergeben sich keine klaren Unterschiede, da alle Werte in der gleichen Größenordnung bleiben und die Schwankungen innerhalb des Bestandestyps groß sind. Immerhin scheint das Ferrugineetum deutlich einen niedrigeren Gehalt zu haben als die übrigen Bestände. F. Heinis, der seine Proben auch nach Nematoden untersuchte, findet den höchsten Gehalt im Empetretum und eine ausgesprochen geringe Zahl im Ferrugineetum. Er gibt uns ein Artenverzeichnis mit folgenden 8 Arten:

Tripyla setifera Bütschli
Cephalobus nanus De Man
Teratcephalus terrestris (Bütschli) De Man
Plectus auriculatus De Man
Tylenchus filiformis Bütschli
Dorylaimus Carteri Bast.
Dorylaimus macrodorus De Man
Dorylaimus sp. cf. *elongatus* De Man

TABELLE 34

Individuenzahl der niederen Bodentiere in den Bodenproben aus den verschiedenen Pflanzengesellschaften im Alpengarten, nach den Untersuchungen von Dr. F. Heinis. Gehalt in 1 g Boden. (Für Rhizopoden, Flagellaten und Ciliaten wurden 0,025 g Boden ausgezählt und dann auf 1 g umgerechnet.) Wir geben die Mittelwerte der beiden Proben aus dem gleichen Bodenprofil.

Tiergruppe	Festucetum		Nardetum (Versuchsweide)		Ferrugineetum		Seslerietum		Empetretum		Dryadetum	
	Vorderes	Hinteres	I	II	oben	unten	Unteres	Oberes	Vorderes	Hinteres	I	II
Rhizopoden	800	1100	525	600	400	650	775	850	1500	2600	1150	1150
Flagellaten	75	25	100	100	75	175	100	150	150	175	225	50
Ciliaten	250	175	275	225	250	300	200	225	375	475	500	375
Tardigraden	1	—	—	1	—	—	—	1	3	5	2	1
Rotatorien	1	1	1	3	—	1	1	2	3	3	2	1
Inaktive Keime (Cysten, Eier)	550	900	475	375	350	400	725	500	475	355	325	400
Total	1677	2201	1376	1304	1075	1526	1801	1728	2506	3613	2204	1977
Mittel für jeden Bestandestyp	1939		1340		1300		1764		3059		2090	

TABELLE 35

Artenzahl der niederen Bodentiere in den Bodenproben aus den verschiedenen Pflanzengesellschaften im Alpengarten. Nach den Untersuchungen von Dr. F. Heinis.

Tiergruppe	Total	Gesamtzahl der festgestellten Arten						Mittlere Artenzahl pro Bodenprobe					
		Festucetum	Nardetum (Versuchsw.)	Ferrugineet.	Seslerietum	Empetretum	Dryadetum	Festucetum	Nardetum (Versuchsw.)	Ferrugineet.	Seslerietum	Empetretum	Dryadetum
Rhizopoden	48	28	21	17	23	37	28	12,7	8,7	6,7	9,5	18,5	10,2
Flagellaten	6	4	3	2	3	5	3	1,0	1,0	1,2	1,5	1,8	1,2
Ciliaten	13	7	4	5	4	9	8	2,0	2,5	2,5	2,0	4,2	3,7
Tardigraden	7	1	1	1	1	6	4	0,2	0,2	0,2	0,2	2,5	1,0
Rotatorien	13	2	6	0	3	6	4	0,5	1,7	0,0	1,0	2,5	1,5
Gesamtzahl	87	42	35	25	34	63	47	16,4	14,1	10,6	14,2	29,5	17,6

Enchytraeiden

Zusammen mit den Nematoden wurden von Stöckli auch die Enchytraeiden gezählt. Ihre Zahl war bedeutend kleiner als die der Nematoden, betrug aber doch 10 000—30 000 im kg frischen Bodens (Tab. 33). Im Empetretum fehlten sie beinahe gänzlich, während sie im Seslerietum den Höchstwert erreichten.

Tardigraden

Sie wurden von F. Heinis (Tab. 34 und 35) und A. Stöckli (Tab. 36) gezählt. Die Tardigraden sind spärlich vorhanden, im Gramm Boden meist nur ein Individuum oder gar keines. Das Gramm Boden ist offensichtlich zur Zählung dieser Lebewesen zu klein. Auch im Auslaufapparat von Stöckli mit 50 g Boden ergab die Hälfte der Proben kein positives Ergebnis, und die übrigen blieben in der Individuenzahl hinter den Angaben von Heinis zurück. Was den Forschern zu Gesicht kam, sind offenbar Zufallsfunde. Aber bei beiden Untersuchungen zeigt sich, daß das Empetretum weitaus den größten Gehalt an Tardigraden aufweist. Auch das Dryadetum steht etwas über den Gesellschaften auf Mineralboden. Es scheint, daß die Tardigraden Humusböden bevorzugen.

Heinis stellte insgesamt 7 Arten fest, davon im Empetretum 6, im Dryadetum 4 und in den übrigen Gesellschaften nur je 1 (Tab. 37). Doch genügt die Individuenzahl, solange sie kaum größer ist als die Artenzahl, nicht, um Schlüsse auf Artbestand und Artverbreitung zu ziehen.

TABELLE 36

Tardigraden und Rotatorien in den Böden verschiedener Pflanzengesellschaften des Alpengartens, entnommen am 13. VIII. 1946 und untersucht von A. Stöckli.

Zahl der Individuen in 1 kg frischen Bodens (Auszählung von 50 g Boden im Auslaufsapparat, multipliziert mit 20).

Tiergruppe	Festucet.		Nardet.		Ferrugineet.		Sesleriet.		Empetret.		Dryadet.	
	V.	H.	I.	II.	Oben	Unten	Oben	Unten	V.	H.	I.	II.
Tardigraden	0	60	0	0	0	60	0	20	360	200	0	320
Rotatorien	0	0	0	20	0	0	20	100	80	120	200	480

Rotatorien

Die Rädertierchen wurden von F. Heinis (Tab. 34 und 35) und A. Stöckli (Tab. 36) gezählt. Sie schließen sich an das an, was wir für die Tardigraden gefunden haben: Relativ kleine Individuenzahl, die nur Zufallswerte liefert. Immerhin ist der Gehalt an Rotatorien im Dryadetum und Empetretum deutlich höher als in den übrigen Gesellschaften. In absteigender Linie folgen Seslerietum und Nardetum, während Stöckli im Festucetum und beide Forscher im Ferrugineetum keine Rädertierchen fanden. Die von Heinis festgestellte Zahl der Arten beträgt 13 (Tab. 37). Davon fanden sich im Nardetum und Empetretum je 6 bei 8, resp. 11 Individuen, im Dryadetum 4 Arten mit 7 Individuen, bei den übrigen Gesellschaften war jede Art nur mit einem Individuum vertreten.

Ciliaten

Heinis bestimmte 12 Arten (Tab. 37), zu denen noch unbestimmbare Formen hinzukommen (in der Tabelle als 1 Art eingerechnet). Die Artenzahl (Tab. 35) schwankt zwischen den verschiedenen Gesellschaften von 4—9, pro Bodenprobe von 2,0 bis 4,2. Sie ist hoch im Empetretum, Dryadetum und Festucetum, niedrig im Nardetum, Seslerietum und Ferrugineetum.

Die Individuenzahl (Tab. 34) ist stets sehr hoch und erleidet bei den verschiedenen Gesellschaften Schwankungen von 175 bis 500 pro Gramm Boden. Sie ist deutlich am höchsten im Empetretum und Dryadetum, während die übrigen Gesellschaften bei einem um die Hälfte kleineren Gehalt nicht weit voneinander abweichen. Es scheint somit, daß die Humusböden saurer und neutraler Art für diese Tiergruppe etwas günstigere Existenzmöglichkeiten bieten als die humusärmeren Böden.

In jeder Gesellschaft erreichen einzelne Arten bedeutende Häufigkeit (Tab. 37). Mehrere Arten scheinen ubiquistisch zu sein; andere bevorzugen einzelne Gesellschaften oder mehrere Gesellschaften, wobei aber auffällige Lücken und merkwürdige Verbindungen auftauchen, die uns die Annahme von Zufälligkeiten nahelegen. Wenn eine Art z. B. nur in einer einzigen Gesellschaft, aber zugleich nur in einer von 4 Proben derselben auftritt, so

TABELLE 37

Flagellaten, Ciliaten, Rotatorien, Tardigraden in den Böden der verschiedenen Pflanzengesellschaften des Alpengartens, VIII. 1946, nach den Untersuchungen von Dr. F. Heinis. — In jeder Abteilung bedeuten die erste und dritte Kolonne 0—1 cm Bodentiefe, die zweite und vierte Kolonne 3 cm Bodentiefe. Häufigkeitsskala: 1 = selten, 6 = massenhaft, + = Vorkommen ohne Abschätzung der Häufigkeit.

	Festucetum				Nardetum (Versuchsweide)				Ferrugineetum				Seslerietum				Empetretum				Dryadetum			
	Vord.		Hint.						Oben		Unten		Unter.		Ober.		Vord.		Hint.					
Flagellaten																								
Bodo saltans Ehrbg.																	2							
Cercobodo cf. *terricolus* Mart.		2													2		2	1			3			
Monas guttula Ehrbg.	1								2	1		2							1		3	2	3	
Oikomonas termo (Ehrbg.)			2		1										3									
Tetramitus rostratus Perty								2					3	1	2	3			4	2				
Nicht näher bestimmbare Arten	3					1		3			2	1						3			4			
Total der Arten	2	1	1	—	1	1	—	2	1	1	1	2	1	1	3	1	2	2	2	1	3	1	1	—
Ciliaten																								
Chilodon cucullulus Stein										3									4	1				
Colpidium colpoda Stein		3										2		4			1		3	5	4	3	2	
Colpoda cucullus O. F. M.				3	3	4	1		3	3	3	5	3	3	4			1	5	2		3		3
Cyclidium glaucoma O. F. M.	4				1	3		2	3	1			2		3	2	4	2						
Glaucoma scintillans Ehrbg.			4																					2
Lionotus pleurosigma Stokes				1													2							
Microthorax spiniger Pen.																4					3			
Oxytricha pellionella O. F. M.	2																	4			5	5	4	
Phacodinium muscorum Prow.																			3					
Spathidium cultriforme Pen.										2	1													
Uroleptus musculus Ehrbg.																						3		
Urotricha sp.								2										1			3			
Nicht näher bestimmbare Arten		4		2		2	3	2									4	2		3	2	2	2	
Total der Arten	2	2	1	3	2	3	2	3	2	4	2	2	2	2	2	2	4	5	4	4	5	5	3	2

	Festucetum		Nardetum			Ferrugineetum		Seslerietum		Empetretum				Dryadetum			
	Vord.	Hint.	(Versuchs-weide)			Oben	Unten	Unter.	Ober.	Vord.		Hint.					
Tardigraden																	
Macrobiotus Hufelandii C. A. Sch.	+					+			+	+		+	+	+			
— *Harmsworthii* Murr.												+					
— *montanus* Murr.														+			
— *islandicus* Richt.					+								+		+		
Hypsibius scoticus Murr.										+	+	+					
Pseudechinicus suillus Ehrbg.										+						+	
Milnesium tardigradum Doy.												+					
Total der Arten	1 —	— —	— —	1	—	1 —	— —	— —	1 —	3	1	4	2	2	1	1	—
Rotatorien																	
Adineta vaga (Davis)													+				
— *gracilis* Jans.												+					
Habrotrocha tridens (Milne)					+												
— *angusticollis* (Murr.)			+		+									+			
Macrotrachela Ehrenbergii (Jans.)	+				+			+	+		+	+	+	+	+		+
— *multispinosa* Thomps.		+								+	+						
— *multispinosa* var.					+												
— *Zickendrathii* (Richt.)					+												
— *papillosa* Thomps.												+					
Mniobia symbiotica (Zel.) Mn.														+			
— *magna* Plate																+	
Pleuretra alpinum (Ehrbg.)					+				+								
Philodina vorax Jans.									+	+		+					
Total der Arten	1 —	1 —	1 —	3	3	— —	— —	1 —	3 —	2	2	4	2	3	1	1	1

ist damit nicht gesagt, daß sie für diese Gesellschaft etwa charakteristisch sei.

Flagellaten

Heinis bestimmte 5 Arten (Tab. 37), wozu noch nicht näher bestimmbare Formen kamen (als 1 Art eingerechnet). Für die einzelnen Gesellschaften schwankt die Artenzahl zwischen 2 und 5 (Tab. 35). Die Individuenzahl (Tab. 34) ist hoch und bleibt bei den verschiedenen Gesellschaften trotz beträchtlichen Schwankungen in der gleichen Größenordnung (Extrem: 25—225, Gesellschaftsmittel: 50—160 pro Gramm Boden). Eine eigentliche Vorliebe für bestimmte Gesellschaften kann nicht festgestellt werden. Sie ist am ehesten für das Empetretum vorhanden. Nach der Artenzahl ist das Empetretum am günstigsten, das Ferrugineetum am ungünstigsten, nach der Individuenzahl steht das Empetretum am höchsten, das Festucetum am tiefsten. Eine Bevorzugung bestimmter Gesellschaften durch einzelne Arten kann nicht mit Sicherheit gefolgert werden (Tab. 37). Eine einzige Art ist auf eine Gesellschaft beschränkt, findet sich aber nur in einer von vier Proben.

Rhizopoden

Die Rhizopoden bilden unter der Mikrofauna bei weitem die größte Gruppe. Heinis stellte 48 Arten fest (Tab. 38), die sich ziemlich ungleich verteilen, indem das Empetretum mit 37 Arten weitaus am meisten Arten enthält, das Festucetum und Dryadetum im 2. Rang, das Seslerietum und Nardetum im 3. Rang stehen, während das Ferrugineetum mit 17 Arten zuletzt kommt. Die mittlere Artenzahl pro Bodenprobe schwankt dementsprechend von 18,5 im Empetretum bis 6,7 im Ferrugineetum (Tab. 35). Die Individuenzahl erreicht außerordentlich hohe Werte (Tab. 34) und geht in der Rangordnung der Gesellschaften der Artenzahl ungefähr parallel. Ausgesprochen am größten ist sie im Empetretum mit 2050 Individuen im Mittel, zu denen noch zahlreiche Cysten kommen, am niedrigsten im Ferrugineetum mit 525 Individuen im Mittel. Auffallenderweise ist die Zahl der Cysten im Ferrugineetum kaum weniger hoch als im Empetretum.

In bezug auf die Verbreitung und Häufigkeit der einzelnen Arten läßt sich das gleiche sagen wie für die Ciliaten. Im Zentrum steht entschieden das Empetretum, in dem eine Anzahl Arten als häufig und mehrere mit Massenverbreitung angegeben sind. Von hier aus scheinen die Beziehungen besonders zum Dryadetum eng zu sein. Aber auch zu den andern Gesellschaften führen viele Wege. Nur das Ferrugineetum fällt auffallend zurück.

Überblick über die Mikrofauna

Die Wertung der Mikrofauna unserer Schinigeplatteböden stößt auf große Schwierigkeiten. Wir geben dazu Herrn Dr. H. Gisin als Fachzoologen das Wort, der mir zu diesem Thema folgendes schreibt:

Diskussion der bodenfaunistischen Resultate vom zoologischen Standpunkte aus. Die Untersuchung der Bodenfauna hatte den Hauptzweck, eine weitere biologische Charakteristik der betrachteten Assoziationen zu erhalten.

Es gilt zunächst abzuklären, inwiefern rein quantitative Feststellungen ein Maß von produktionsbiologischer Bedeutung sein können. Bei der Beurteilung dieser Frage müssen folgende Einschränkungen in Betracht gezogen werden:

1. Die Erfahrung zeigt, daß auch geringe Verschiedenheiten in der Auslesetechnik (Probeentnahme, Transportbedingungen, Größe der auf den Berlese-Apparten trocknenden Erdblöcke usw.) eine absolute Vergleichsmöglichkeit stark beeinträchtigen. Es gibt zudem keine Methode, die gestattet, alle verschiedenen Erdtiere aus einem gegebenen Erdwürfel zu isolieren. Die Arthropoden, die Nematoden, die Lumbriciden und Enchyträen usw. verlangen je ein eigenes Verfahren, bei dem die anderen Organismengruppen verloren gehen.

2. Es ist bekannt, daß die zeitlichen Schwankungen in der zahlenmäßigen Entwicklung der Bodenfauna so bedeutend sind und hauptsächlich vom Witterungsverlauf (Feuchtigkeit, Temperatur) abhängen, daß zur Mittelbildung langjährige Beobachtungen notwendig wären, ähnlich wie in der Meteorologie. Nur gleichzeitig und am gleichen Ort entnommene Proben sind daher untereinander absolut vergleichbar.

3. Auch die lokalen Schwankungen innerhalb eines scheinbar homogenen Bodens sind im allgemeinen überraschend groß. Sie dürften nicht allein durch Variationen der physikalischen und biologischen Beschaffenheit des Lebensraumes zu erklären sein (Anhäufung von Humusbildnern usw.), sondern die biocönotischen Verhältnisse werden durch soziale überdeckt. Es kann in Zuchten von Collembolen beobachtet werden, daß die Individuen gewisser Arten eine gegenseitige Anziehung aufeinander ausüben und, ganz unabhängig von Nahrung, Feuchtigkeit oder Licht, sich gerne in dichten Scharen drängen. Die Massenerscheinungen in «Flecken», wie sie besonders im Schnee auffallen und oft beschrieben worden sind, gehen auf dieselbe Ursache zurück. Dieser Umstand bedingt ebenfalls, daß brauchbare Mittel von Zahlen sich auf sehr viele Analysen stützen müssen.

Immerhin werden die örtlichen Schwankungen zumeist durch Extrapolation der Auszählungen übertrieben. Wenn in je 1 Gramm Erde 0 oder 4 Rotatorien nachgewiesen wurden, so hat diese Schwankung nichts Erstaun-

TABELLE 38

Rhizopoden in den Böden der verschiedenen Pflanzengesellschaften des Alpengartens, VIII. 1946, nach den Untersuchungen von Dr. F. Heinis. In jeder Abteilung bedeuten die erste und dritte Kolonne 0—1 cm Bodentiefe, die zweite und vierte Kolonne 3 cm Bodentiefe. Häufigkeitsskala: 1 = selten, 6 = massenhaft.

Arten	Festucetum				Nardetum (Versuchsweide)				Ferrugineetum				Seslerietum				Empetretum				Dryadetum			
	Vord.		Hint.						Oben		Unten		Unt.		Ob.		Vord.		Hint.					
Amoeba alba Greeff							1	1						2			2							
— *guttula* Duj.						1				2	1	1			2		2		3		3	3		2
— *limax* Duj.		1		2				1							1	1		1					2	
— *terricola* Greeff inkl. *A. verrucosa* Ehrbg.	3	2	4	1	3	2	3		2	2	3		3	2	5	4	5	4	5	2	2	2	1	3
— *sphaeronucleolus* Greeff																			1					
— *striata* Pen.																			2					
— *vesiculosa* Pen.						2		2					1									1		
— *velata* Parona																						1		1
— spec.						2										1	1	2				2		
Arcella arenaria Greeff			2			2					2					2						1		
— *discoides* Ehrbg.															2									
— *vulgaris* Ehrbg.				3							1									3		1		
Assulina seminulum Ehrbg.					2														4	1			2	
— *muscorum* Greeff				3	2												2	3	3					
Bullinula indica Pen.																		1		1				
Centropyxis aerophila Defl.	3		6	2								2	3				1	4	2	2	1		3	1
— var. *silvatica* Defl.						3					3		6	2	5	1	2	3	6	4	3		4	4
— *cassis* (Wallich)		1												2					2	1				
— *constricta* Ehrbg.		2																				1		
— *eurystoma* Defl.									1								2		5				2	5
— *laevigata* Pen.	2	3	1	1					2				1		3	2			2		1	2		
— *orbicularis* Defl.	1		3		2		2		1	2			3	1				2	4		2		2	1
— *platystoma* (Pen.) Ehrbg.	2	4	5	4					2		2	1		2	4		2	1	5	5	2	2		

Arten	Festucetum				Nardetum (Versuchsweide)				Ferrugineetum				Seslerietum				Empetretum				Dryadetum			
	Vord.		Hint.						Oben		Unten		Unt.		Ob.		Vord.		Hint.					
Chlamydophrys stercorea Cienk.																	1		3					
Cochliopodium crassiusculum Pen.																	1							
Corythium dubium Tar.																		3	5					
— *pulchellum* Pen.		2					1				1	1						2					2	
Cryptodifflugia oviformis Pen.		1			1			2									2							
Difflugia lucida Pen.		2	3		2		4		2				2				2	4			2			
— *pulex* Pen.	2			2							3		1										1	
— *pyriformis* var. *bryophila* Pen.	1													2										
Euglypha ciliata Pen.			3			3				3							5	4			3		2	
— *compressa* Cart.																			2					
— *laevis* Perty			2				5	2				2			3	2	3		4	1				
Helopera petricola Leidy		2		2																				
— *silvatica* Pen.							2																	
Nebela collaris Ehrbg.					3	2	5										5		6	5			4	1
— *lageniformis* Pen.			5	2															4					
— *tubulosa* Pen.			2																				3	
— *americana* Tar.																			2				3	
Parmulina cyathus Pen.				2														1					2	
Phryganella hemisphaerica Pen.	3		5	2			2		4	3			3	3	5	4	5	6		2		5	2	2
Pseudochlamys patella G. et L.	2													1						1				
Sphenoderia dentata Pen.																		3						
Trigonopyxis arcula (Leidy) Pen.		3	5	2										3					4	5	5	2		1
Trinema enchelys (Ehrbg.)	3	4			3		3	4						3			4	5	5	3	4	1		2
— *complanatum* Pen.			3																					
— *lineare* Pen.		3	2		4		3	2	3		5					2	2	1		3	3			
Total der Arten	10	13	15	13	9	8	11	7	8	5	9	5	9	11	9	9	19	18	22	15	12	13	15	11

liches. Wenn aber in zwei nebeneinanderliegenden dm^2 derselben Wiese bald 0, bald 4000 Individuen lebten, so bedeutete das etwas ganz anderes. Jeder Multiplikation erhaltener Zahlen haftet die große Gefahr an, zu ganz falschen Vorstellungen über die wirklich beobachtete Genauigkeit und Schwankung zu führen. Extrapolierte Zahlen entsprechen keiner Wirklichkeit.

4. Die Besiedlungsdichte nimmt bekanntlich mit der Tiefe rasch ab. Angenommen, ein Boden enthielte in den oberen 5 cm 80 % der Organismen, was glaubhafte Zahlen sind; wenn dann ein Würfel von 1 dm Kantenlänge dieses Bodens 1000 Individuen birgt, so enthält ein Kubus von 1 dm^3, gebildet aus den oberen 5 cm desselben Bodens, 1600 Individuen, und wenn man von noch dünneren Schichten ausgeht und extrapoliert, so wird die Diskrepanz noch viel größer. Es ist deshalb in quantitativen Angaben unerläßlich, die Art des Ausgangsmaterials genau zu berücksichtigen. Die Abnahme der Besiedelungsdichte mit der Tiefe ist aber in den diversen Bodentypen ganz verschieden: im einen Boden mögen die oberen 4 cm 80 %, in einem anderen nur 30 % der Tiere enthalten, was wiederum den Vergleich der rohen Zahlen stört.

5. Die Individuenzahlen sollten auf den Lebensraum bezogen werden. Für die Regenwürmer ist dieser gleich dem Erdvolumen. Für Arthropoden ist es aber nur der Raum der Poren oberhalb einer gewissen Mindestgröße, die selbst von der Größe der betrachteten Tiere abhängig ist, also nicht nur für jede Art, sondern für jede Größenklasse von Organismen gesondert betrachtet werden müßte. Diese Bezugsgröße — und erst recht die eigentlich noch wichtigere Oberfläche des Lebensraumes im Boden — ist praktisch in den einzelnen Fällen unfaßbar. Die beste Bezugseinheit bleibt daher ein bestimmtes Volumen unter Angabe der Oberfläche und der Tiefe der Probeentnahme.

6. Absolute Individuenzahlen sind nur von Organismen derselben Größenordnung vergleichbar. Der kleinste Collembole mißt (erwachsen!) ca $^1/_3$ mm, der größte erdbewohnende ca. 2 mm. Volumetrisch bedeutet das ein Verhältnis von über 1 : 200, was hinreichend die ungleiche produktionsbiologische Bedeutung verschiedener Arten auch derselben Tierordnung verdeutlicht. Desgleichen können ca. 50 jugendliche Tiere dem Volumen nach gleichbedeutend sein mit einem erwachsenen derselben Art, und doch nur ca. 98 % der juvenilen werden bis zur Fortpflanzung überleben. Da die Generationen der Bodentiere im allgemeinen keiner festen Periodizität unterliegen, vielmehr Jung- und Alttiere fast immer zusammen, aber zur gleichen Jahreszeit an verschiedenen Stellen in verschiedenen Proportionen vorgefunden werden, resultieren daraus Schwankungen mehr rechnerischer als produktionsbiologischer Natur, abgesehen davon, daß nicht alle Arten derselben Körpergröße die gleiche ökologische und ökonomische Rolle spielen. Beim heutigen Stand unserer Kenntnisse über die Bodenfauna übersteigt es aber die Arbeitskraft eines Einzelnen, die Lebensformen (z. B. Parasiten, Saprophyten usw.) getrennt auszuzählen.

Soweit Dr. Gisin.

Unsere Proben lassen sich trotz allen Mängeln qualitativ und vergleichend quantitativ auswerten, sobald wir in den Schlußfolgerungen die nötige Vorsicht walten lassen. Wir begnügen uns im folgenden damit, einige ins Auge fallende Tatsachen überblickend hervorzuheben. Auf verschiedene Gesetzmäßigkeiten wurde bereits bei der Besprechung der einzelnen Tiergruppen hingewiesen.

Auffallend sind vor allem die große Zahl und die außerordentliche Vielgestaltigkeit der Kleinlebewesen in diesen alpinen Böden: Ein Gramm Boden kann neben Millionen von Bakterien Tausende von Rhizopoden und Nematoden beherbergen, Hunderte von Ciliaten und Flagellaten, bis über 2 Dutzend Milben und Collembolen. Auch die Artenzahl, die allerdings nicht für alle Gruppen bestimmt wurde, zeigt sich als sehr bedeutend. Heinis stellte für die Protozoen mindestens 67 verschiedene Arten fest, für die Tardigraden 7, die Rhizopoden 13, die Nematoden 8. Gisin fand 20 verschiedene Collembolenarten.

Vergleichbare Zahlen über den Gehalt von Mikroorganismen in den Böden gut definierter, alpiner Pflanzengesellschaften sind mir nicht bekannt. Bei A. Stöckli (1946, S. 3) findet sich eine Zusammenstellung von Individuenzahlen der systematischen Hauptgruppen aus nicht näher bezeichneten Wiesenböden tieferer Lagen. Damit verglichen sind unsere Zahlen der Protozoen und Bakterien viel zu klein, in der Größenordnung etwa 1000mal; nach gefl. mündlicher Mitteilung von Stöckli wurden diese Werte von Russell durch mikroskopische Auszählung in englischen Böden ermittelt. Für die Nematoden sind unsere Werte etwas größer, aber in der gleichen Größenordnung, für die Enchytraeiden etwa 1000mal größer, für die Collembolen und Milben etwa 10mal größer als die von Stöckli gefundenen Zahlen. Stöcklis Angaben beziehen sich auf die oberste, 15 cm mächtige Schicht, unsere nur auf die tierreicheren, obersten ca. 1 bis 6 cm. Ob aber wirklich solche quantitativen Unterschiede in Böden mit geschlossener Pflanzendecke vorhanden sind, kann bezweifelt werden. H. Gisin (1942) gibt an, 1 dm^3 Erde enthalte 200—1000 Collemboden-Individuen und nähert sich mit dem 1000-Wert unseren Ergebnissen. Bei Franz (1943) finden wir für die hochalpinen Grasheiden der Hohen Tauern einige quantitative Werte der metazoischen Bodenfauna, die für alle vergleichbaren Gruppen viel kleiner sind als wir sie auf der Schinigeplatte gefunden haben. Er hebt aber hervor, daß die Zählungen nur unvollständig durchgeführt werden konnten. Zweckmäßige Behandlung der Bodenproben und sorgfältige Auslese, die leider sehr zeitraubend ist, entscheiden weitgehend über die zutage geförderten Quantitäten der kleinen Bodenlebewesen.

Eine so gewaltige Zahl von Organismen ist ohne Zweifel auch auf die Bodenbildung und auf die lebende Pflanzendecke von bedeutendem Einfluß. Schon durch den Anteil am Bodenvolumen. H. Gisin hat versucht, einen Anhaltspunkt zu finden für das Volumen der von ihm in den Juli- und Augustproben ausgezählten Collembolen und Milben. Er reinigte die kleinen Geschöpfchen von Erdteilchen, füllte sie in ein enges Glasröhrchen, so daß er ihr Volumen abschätzen konnte und fand folgende Werte für das Volumen der Collembolen und Milben in 1 dm^3 Erde (Mittel aus 4 Proben, Dryadetum 2 Proben):

Festucetum	= 95 mm^3	Seslerietum	= 95 mm^3
Nardetum	= 102 mm^3	Empetretum	= 162 mm^3 *
Ferrugineetum	= 62 mm^3	Dryadetum	= 180 mm^3

* bei Weglassung der Probe aus nacktem, festgetretenem Boden = 213 mm^3.

Diese Maße sind unter sich vergleichbar, aber absolut genommen bedeutend zu klein (vgl. S. 162). Volumen- und Gewichtsberechnungen, welche die Bedeutung der Bodentiere ins Licht rücken, finden sich bei A. Stöckli (1946). Die unzähligen Bodentierchen, von denen sich viele aktiv im Boden bewegen oder sogar Wanderungen unternehmen, tragen auch wesentlich zur Lockerhaltung und zur Krümelung des Bodens bei.

Wichtig ist der Boden als Nährstoffquelle für die Mikrofauna. Im allgemeinen wird wohl die Regel gelten, daß der Größere den Kleineren auffrißt. Viele Protozoen nähren sich von Bakterien, Rotatorien von Protozoen, Bodenarthropoden von kleineren Lebewesen. Aber daneben kommt der Ernährung durch unterirdische Pflanzenteile oder durch pflanzliche oder tierische Zerfallsprodukte doch größere Bedeutung zu, von den Bakterien bis zu den makroskopischen Bodentieren; denn sie bildet die Grundlage für das ganze Ernährungssystem. Auf vielfältige Weise werden die organischen Reste abgebaut und die letzten Zerfallsprodukte wieder den Aufbauvorgängen zugeführt. Große Gruppen der Mikrofauna nähren sich ausschließlich oder vorwiegend von toter organischer Substanz. Humusbildung im Boden und Materialisierung abbaubarer, organischer Stoffe unter Bildung von Kohlensäure sind also Leistungen der Bodenorganismen, die dabei den für die höheren Pflanzen wichtigsten Teil ihrer Tätigkeit entfalten.

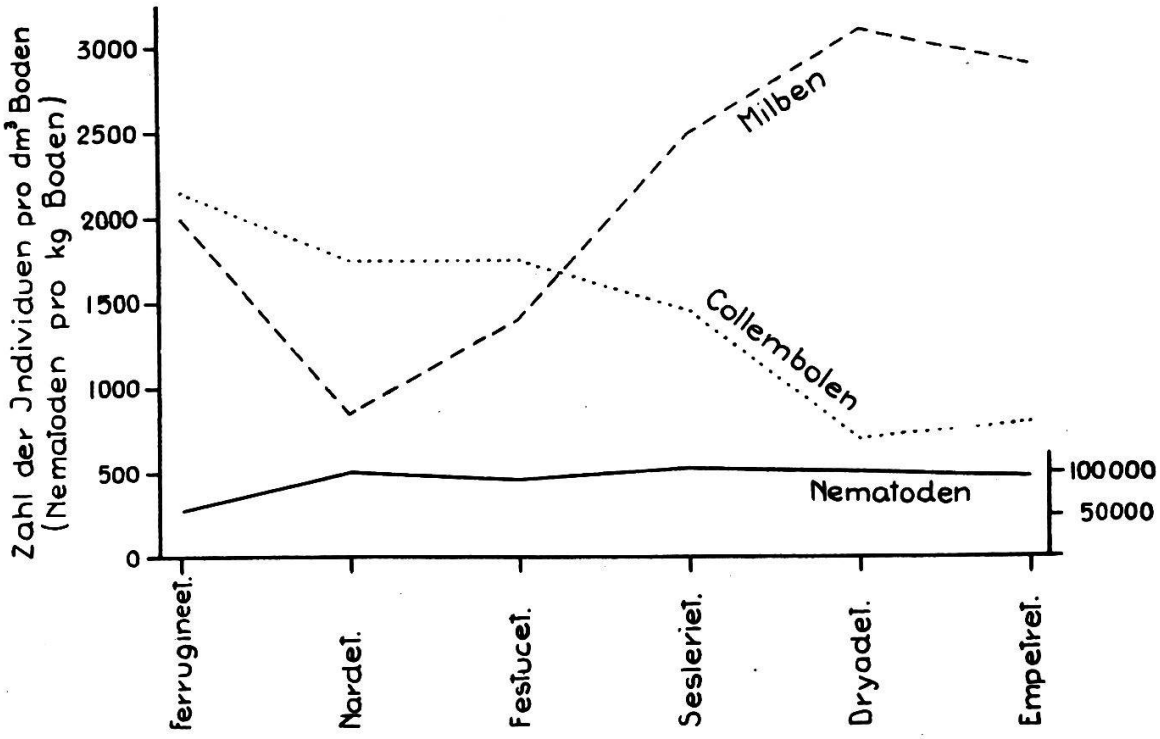

Abb. 42. Gehalt des Bodens an Milben, Collembolen und Nematoden in verschiedenen Pflanzengesellschaften (Skala rechts für die Nematoden).

Alle diese Vorgänge sind im einzelnen noch wenig geklärt. Sie müssen aber in den verschiedenen Pflanzengesellschaften, entsprechend der verschiedenen Bodenbeschaffenheit, wesentliche Unterschiede aufweisen.

Diese Annahme findet auch bereits bei grober Betrachtung ihre Stütze in Unterschieden in der Zusammensetzung der Mikrofauna. Es ist auffallend, wie das Empetretum und das Dryadetum arm sind an Collembolen, aber reich an Milben. Es scheint zwischen diesen beiden Tiergruppen eine Art Wechselverhältnis zu herrschen, das in der Abb. 42 zum Ausdruck kommt. Auch die Enchytraeiden sind im Empetretum und Dryadetum am spärlichsten vorhanden. Die Nematoden kommen in allen Böden in Menge vor, am sparsamsten dem Anscheine nach im Ferrugineetum. Tardigraden und Rotatorien finden sich im Empetretum und im Dryadetum ausgesprochen am reichlichsten; in den eigentlichen Mineralböden (Festucetum, Nardetum, Ferrugineetum) sehr spärlich. Ebenso sind die Protozoen im Empetretum und Dryadetum am reichlichsten, im Ferrugineetum und Nardetum am sparsamsten vorhanden (vgl. Abb. 43). Allerdings wird der Gang der Protozoenkurve hauptsächlich durch die Rhizopoden bestimmt; aber

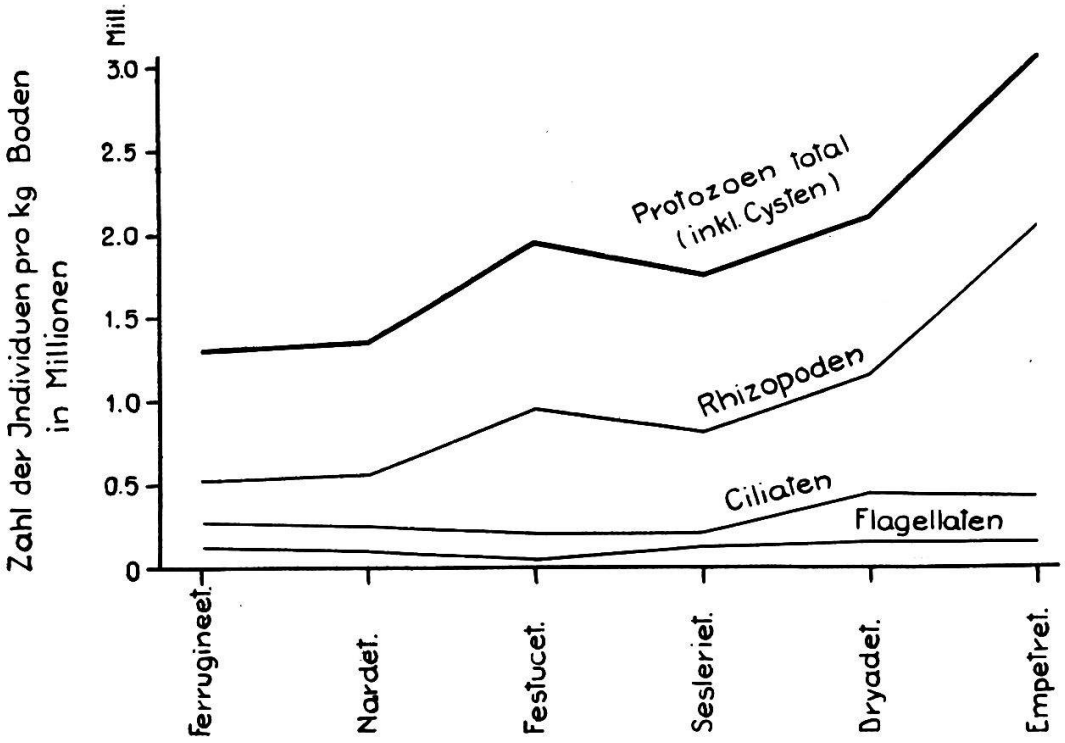

Abb. 43. Gehalt des Bodens an Protozoen in verschiedenen Pflanzengesellschaften.

die verschiedenen Gruppen verhalten sich im wesentlichen übereinstimmend. Wir machen auch nochmals aufmerksam auf die Verschiedenheiten im Bakteriengehalt, der im Empetretum ausgesprochen am kleinsten ist.

Wodurch werden diese generellen Unterschiede der Mikrofauna zwischen den einzelnen Pflanzengesellschaften bedingt? Der reichliche Gehalt an Protozoen im Empetretum könnte die Ursache sein für die relativ geringe Zahl der als Protozoenfutter dienenden Bakterien und zugleich für den relativen Reichtum der Rotatorien und eventuell auch anderer protozoenfressender Bodentiere. Ebenso kann man den hohen Gehalt an Bakterien im Ferrugineetum mit der relativ kleinen Zahl der Protozoen in Verbindung setzen, die kleine Rotatorienzahl mit der kleinen Zahl der Protozoen. In dieser Erklärungsweise wird ein Körnlein Wahrheit stecken; sie ist aber doch ungenügend und viel zu einfach, schon weil die große Mehrzahl der Bodentiere sich von pflanzlicher Substanz nährt.

Wir müssen die Faktoren der abiotischen Umwelt beiziehen, welche die Kleintierwelt bald in günstiger, bald in ungünstiger Weise beeinflussen, vielleicht die einzelnen Gruppen in ungleicher

Weise. Betrachten wir im besondern die Bodenfaktoren, in denen das Empetretum und das Dryadetum sich von den übrigen Gesellschaften unterscheiden. Da gelangen wir in erster Linie zum Wassergehalt und zum Humusgehalt. Empetretum und Dryadetum haben Böden, die immer naß sind. Auch in der relativ sehr trockenen Zeit, während der im August 1946 die untersuchten Bodenproben entnommen wurden, betrug der Wassergehalt im Dryadetum 57—63 %, im Empetretum 66—74 %. Aber der Wassergehalt kann für sich nicht ausschlaggebend sein; denn das Ferrugineetum, das mit Ausnahme der Collembolen und Bakterien mittlere oder gar die niedrigsten Werte der Mikrofauna aufweist, ist immer verhältnismäßig feucht (VIII. 1946 = 32—46 %), während die tierreicheren Gesellschaften der Sonnseite trockenere Böden aufweisen (Seslerietum = 16—21 %, vorderes Festucetum = 23 %, Nardetum = 29 %). Die oberflächlich stark ausgetrockneten Böden des Seslerietums und Nardetums (Versuchsweide) zeichneten sich nicht einmal durch besonders hohen Gehalt an inaktiven Keimen aus (Tab. 34). Der Höchstwert wurde im verhältnismäßig feuchten, hinteren Festucetum (Wassergehalt 35 %) gefunden; aber (gefl. schriftl. Mitteilung von F. Heinis) die Cystenhüllen sind in den Gesellschaften der Sonnseite relativ dickwandig. Heinis stellte auch fest, daß die Größe mancher Protozoen, besonders der Thecamböden vom Seslerietum und Nardetum zum Empetretum, stark zunimmt, was er der größeren Feuchtigkeit zuschreibt. Die ungünstigen Einflüsse der Trockenheit auf die Mikroorganismen werden offenbar durch andere begünstigende Faktoren (Erwärmung; der Empetretumboden ist ausgesprochen kalt, s. mikroklimatischer Abschnitt) wieder teilweise kompensiert.

Hingegen scheint der hohe Humusgehalt von stark förderndem Einfluß auf die Bodenmikrofauna zu sein. Humus, vor allem wenig zersetzte Pflanzen- und Tierteile, bedeutet für eine große Zahl von Bodenbewohnern Futter und liefert dadurch indirekt auch den Carnivoren Nahrung.

Ein Teil der fördernden Wirkung des Humusgehaltes auf das Bodenleben ist außerdem der physikalischen Struktur der Humusböden zu verdanken. Die Empetretumböden sind ganz außerordentlich porös (s. S. 85); ihnen stehen diejenigen des Dryade-

tums nahe, und auch die des Seslerietums besitzen noch ein hohes Porenvolumen. Das erleichtert die Durchlüftung und die Zirkulation der kleinen Bodentiere. Diese sind ja im wesentlichen für ihre Existenz auf die im Boden vorhandenen Poren angewiesen. Das Porenvolumen ist ihr Lebensraum. Größere Arten sind auf größere Poren angewiesen, und je kleiner die Organismen sind, desto größer wird der ihnen zur Verfügung stehende Anteil am Porenvolumen des Bodens (vgl. auch A. Stöckli, 1946). So sind nach Gisin unsere Empetretumböden durch das Vorherrschen großer Bodenmilbenarten ausgezeichnet. Eine der Juli-Bodenproben des Empetretums wurde auf einem nackten Absatz entnommen, wo der Boden viel dichter gelagert ist (vgl. S. 101, Tab. 19, unterster Absatz). Hier war die Collembolen- und Milbenfauna, die von Gisin ausgezählt wurde, ganz auffallend klein, 10—20mal kleiner als an den übrigen Stellen und ergab die kleinste Zahl, die überhaupt beobachtet wurde. Auch die Verteilung der Bodenmilben auf die verschiedenen Pflanzengesellschaften scheint vor allem mit dem Porenvolumen in Beziehung zu stehen.

Von einiger Bedeutung scheint auch die Bodenazidität zu sein, dahingehend, saurer Boden fördere die Entwicklung der Mehrzahl der kleinen Bodenlebewesen, besonders ihre Artenzahl. So läßt sich am ehesten der geringe Gehalt des Ferrugineetums an Urtierchen und Nematoden erklären; denn dieser Boden, der feucht, nährstoffreich, ziemlich humos und locker ist, nähert sich von allen am meisten dem Neutralpunkt (in der oberflächlichen Schicht pH 6,5—6,8, tiefer unten neutral bis alkalisch). Eine Ausnahme machen allerdings die Collembolen, die man aber, als Ganzes genommen, zu Unrecht als säurefliehend bezeichnen würde, da ihre Zahl in den sauren Böden des Nardetums und Festucetums die des Ferrugineetums annähernd erreicht. Aber die ausschlaggebende Bedeutung, die diesem Faktor bisweilen zugeschrieben wird, kann ihm nicht zukommen. Das schwach saure Seslerietum (pH 6,0—6,5) steht meist in der Zahl der Bodentierchen nicht hinter dem stark sauren Nardetum (pH ca. 4,5) und Festucetum (pH 5,0—5,5) zurück, und vor allem ist das Dryadetum trotz seines hohen Gehaltes an Bodenlebewesen nur schwach sauer (pH ca. 6,5), mit kolloidal weitgehend abgesättigtem Humus.

So verbinden sich ohne Zweifel eine ganze Anzahl von Faktoren miteinander zu den Komplexen, die für das Gedeihen und die Konkurrenzfähigkeit jedes einzelnen Gliedes der Mikrofauna des Bodens maßgebend sind. Die Reaktion der verschiedenen Arten oder verwandten Artengruppen von Bodentieren auf diese vielgestaltigen Einwirkungen der Außenwelt wird daher differenziert ausfallen, wobei manchmal verwandte Formen gleich reagieren werden, öfters aber verschieden, wenigstens quantitativ. Dazu kommt, daß im Boden entstehende Mikrostandorte (z. B. absterbende Wurzeln, größere, absterbende Bodentiere usw.) infolge der Kleinheit der Geschöpfe zur Ausbildung einer spezifischen, sehr lokalen Bodenfauna führen können, deren Erforschung mit unsern groben Methoden Schwierigkeiten bereitet und die das Bild der durch die normalen Bodenverhältnisse bedingten Bodenfauna wesentlich zu beeinflussen imstande ist. Alle die Bodenstandorte erleiden des weitern regelmäßig wiederkehrende, jahreszeitliche Schwankungen, z. B. Wechsel der Bodentemperaturen, ungleicher Anfall von Nahrungsstoffen. So ergibt sich ein außerordentlich weites und schwieriges Forschungsgebiet, das erst in den Anfängen der Erkenntnis steckt. Als Pionierarbeiten für die alpinen Böden, die in steigendem Maße in die Tiefe der Probleme eingedrungen sind, nennen wir die im Literaturverzeichnis in Auswahl aufgeführten Arbeiten von K. Diem, Ed. Handschin, F. Heinis, A. Stöckli, H. Gisin, H. Franz, ohne auf deren Ergebnisse und den Vergleich mit den unsrigen näher einzutreten, da dies zu weit führen würde.

Wenn wir zum Schlusse die Frage stellen, ob jeder unserer Pflanzen-Assoziationen des Alpengartengebietes Schinigeplatte auch eine charakteristische Gesellschaft von Mikroorganismen des Bodens entspreche, so können wir darauf keine sichere Antwort geben. Manches in unseren Ergebnissen deutet darauf hin, namentlich wenn wir auch die qualitativen Verhältnisse beiziehen. Gisin (1947) bejaht die Frage für die Collembolen unter gewissen Vorbehalten.

Das durch ein- oder zweimalige Probenentnahme erhaltene Material ist aber noch zu sehr zufallsbedingt, um eine sichere Basis abzugeben. Gisin (1947) macht auch darauf aufmerksam, daß sämtliche von ihm in den Böden der Schinigeplatte gefun-

denen Collembolen, auch die für bestimmte Assoziationen charakteristischen, sich in andern Gegenden und anderer Meereshöhe auch in völlig verschiedenen Pflanzengesellschaften finden. Das dürfte auch für die meisten übrigen Konstituenten der Mikrofauna unserer Schinigeplatteböden gelten. Aber die Eignung dieser Bodentiere zur lokalen Charakterisierung von Tiergesellschaften parallel zu den Pflanzengesellschaften ist damit nicht ausgeschlossen. Franz (1943) findet in der Bodenfauna der Zwergstrauchstufe der Hohen Tauern, etwa in der Höhenlage unseres Alpengartens, namentlich große Unterschiede zwischen Wiesen und Zwerggesträuch. Im Zwergstrauchgürtel hat die Bodenfauna unter Zwerggesträuch im wesentlichen die gleiche Zusammensetzung wie im subalpinen Wald, während die der Wiesen und Weiden zwischen derjenigen der hochalpinen Grasheiden und der Talwiesen steht, näher der ersteren, aber arten- und individuenreicher. Doch stecken die Untersuchungen von Franz in bezug auf die Bodenfauna des Hochgebirges auch noch in den Anfängen, sind unvollständig, und vor allem fehlen als Grundlage scharf abgegrenzte, charakteristisch ausgebildete Pflanzengesellschaften.

3. *Größere Bodentiere*

Über diese für die Bodenbildung ebenfalls wichtigen Geschöpfe können wir nur wenige Angaben bringen.

Kleine Regenwürmer (Lumbriciden), deren Arten nicht näher bestimmt wurden, finden sich hin und wieder im Festucetum, Nardetum und etwas häufiger im Ferrugineetum. Sie sind wenig auffällig, und ihre Bedeutung ist wohl viel geringer als in tieferen Lagen. Gelegentlich trafen wir bei unseren Grabungen auf größere Käferlarven (Engerling-Typ).

Dr. A. Stöckli bestimmte in den von ihm untersuchten Bodenproben auch die größeren Bodentiere und machte folgende Funde in 1 kg frischer Erde:

Mollusken: nur im oberen Seslerietum, 10 Individuen.

Lumbriciden: nur im Ferrugineetum, oberer Teil, 10 Individuen.

Spinnen: nur in einer Nardetumprobe, 12 Individuen.

Hexapoden: Dryadetum I = 710 Individuen, meist Wurzelläuse; Dryadetum II = 204 Individuen, meist Wurzelläuse.
Vorderes Empetretum = 108 Individuen, wovon 76 Wurzelläuse; über den Rest keine weitern Angaben.
Nardetum I = 11 Individuen, keine näheren Angaben; Nardetum II = 46 Individuen, keine näheren Angaben.

Larven: keine im Empetretum, sonst in allen Proben 12 bis 99 Individuen pro Probe, ca. $^4/_5$ Käferlarven, $^1/_5$ Fliegenlarven.

Das sind natürlich Zufallsfunde. Die Bestimmung müßte in größeren Bodenquantitäten durchgeführt werden.

Ameisen sind in allen Beständen zu finden, besonders reichlich in den Sonnenlagen, also im Seslerietum und auch im Nardetum der Weide, wo die Nardetumproben für die mikrofaunistischen Untersuchungen entnommen wurden. Wir fanden nur die rote Waldameise (*Formica rufa* r. *pratensis* R.). Im obern Seslerietum befindet sich in Südlage ein Nesthaufen dieser Art, an dessen Rand *Festuca ovina, Phleum Michelii* und *Buplerum ranunculoides* besonders üppig gedeihen. Ein anderer Ameisenhaufen liegt im vorderen Empetretum, am Grat gegen das Spalt-Ferrugineetum, unmittelbar oberhalb Dauerquadrat 35. Er war bereits im Jahre 1928, bei der Anlage dieser Dauerfläche, vorhanden und hat sich seither erhalten und eher vergrößert, indem er gegen die Dauerfläche vorrückte. Da sonst auf der Schattenseite nur wenig Ameisen zu finden sind, ist dieser Nestbau im Empetretum eine auffallende Erscheinung. Er liegt aber an der Grenze des Bestandes und wurde nach einer Äußerung von sachkundiger Seite vermutlich seinerzeit auf einem alten Baumstrunk angelegt, was nach der ganzen Lage gut möglich ist. Im Seslerietum kommt auch eine kleine, dunkle Form von *Formica rufa pratensis* vor, var. *nigricans,* die ihr Nest unter Steinen im Boden anlegt und ein ziemlich verborgenes Dasein führt. Die Einwirkung der Ameisen auf Boden und Vegetation ist vielgestaltig. Auf die Vorgänge der Humusbildung haben sie an den von ihnen bevorzugten Stellen wesentlichen Einfluß. Ebenso auf die Lockerung der obersten Bodenschichten. Bekanntlich verschleppen sie auch die Samen verschie-

dener Gewächse und werden dadurch zu einem wichtigen Faktor der Pflanzenverbreitung.

Viel auffallender wirken die Wühlmäuse. Sie legen ihre Gänge in allen Rasentypen des Alpengartens an, am reichlichsten wohl in einzelnen Teilen des Caricetum ferrugineae, so im «Spalt». Mit Vorliebe durchwühlen sie die neuangelegten Kulturen und alle gedüngten Böden. Offensichtlich bevorzugen sie als Nahrung die Wurzeln der gutwüchsigen Vegetation. Die Mäuse gehen auch an Wurzeln oder Rhizome, die uns als scharf oder giftig bekannt sind, wie *Aconitum*-Arten, *Ranunculus pyrenaeus, Aquilegia alpina.* Oberirdische Pflanzenteile werden nicht verschont. Eines Sommers verschwanden im oberen Seslerietum alle Blütenstände des Edelweißes *(Leontopodium alpinum),* und man mußte annehmen, daß rücksichtslose Besucher sie gepflückt hätten. Da fand eines Tages das Gartenpersonal in einer kleinen Höhlung ein Mäusenest, das ganz mit Edelweißköpfchen ausgepolstert war. Das Edelweiß ist also nicht nur bei den Menschen und Schnecken, sondern sogar bei den Mäusen, hier vermutlich von der Waldmaus (s. unten), begehrt.

Der Fraß-Schaden der Mäuse ist nicht leicht abzuschätzen, wird aber für gewöhnlich nicht groß sein, und die wühlende Tätigkeit hat neben der zerstörenden auch eine wichtige positive Seite, indem sie den Boden auflockert, tiefere Bodenschichten an die Oberfläche bringt und überhaupt den Boden, wenngleich in grober Weise, durchmischt. Wenn die Mäuse aber zur Massenvermehrung gelangen, was während der Beobachtungszeit wiederholt, zuletzt im Jahre 1944, der Fall war, so wird die Zerstörung der Vegetation in den bevorzugten Gebieten so groß, daß eine beträchtliche Schadenwirkung eintritt.

Über die im Gebiet vorhandenen Mäusearten kann eine erschöpfende Auskunft nicht gegeben werden. Ich habe wiederholt außerhalb des Alpengartens die graulichen Schneemäuse beobachtet (auch beim Eintragen von «Heu» in ihr Nest), und einzelne im Alpengarten gefangene Wühlmäuse, die Herr Dr. E. Kuhn vom Zoologischen Museum der Universität Zürich in freundlicher Weise bestimmte, erwiesen sich als Schneemäuse (*Microtus nivalis*). Neben der Schneemaus ist aber auch die Waldmaus, *Mus silvaticus,* verbreitet, dem Anscheine nach häufiger als die

Schneemaus. Von 15 untersuchten Mäusen gehörten 4 zur Schneemaus und 11 zur Waldmaus. Ferner wurde eine Alpenspitzmaus (*Sorex alpinus* Schinz) gefangen (Bestimmung Dr. E. Kuhn).

Ein weiterer Wühler, der in sehr unangenehmer Weise auftreten kann, ist der Maulwurf *(Talpa europaea).* In der natürlichen Vegetation ist er selten oder jedenfalls ganz unauffällig; sobald aber infolge der Kulturmaßnahmen, besonders der Düngung, der Pflanzenwuchs und offenbar parallel dazu auch die höhere Bodenlebewelt reichlicher wird, stellt er sich ein und vermehrt sich beträchtlich. Wir sind erst in den letzten Jahren darauf gekommen, daß die größeren Erdhaufen von Maulwürfen stammen und haben auch mehrere Exemplare gefangen.

In den vollgedüngten Versuchsflächen der Versuchsweide war der Schaden am Rasen durch die Tätigkeit der Mäuse und Maulwürfe wiederholt so groß, daß die Ergebnisse unbrauchbar wurden. Erdhaufen der Maulwürfe, die hier gewöhnlich nur etwa 5 bis 10 cm hoch werden, aber mehrere dm^2 Rasen decken, brauchen einige Jahre, bis sie wieder überwachsen sind.

4. *Tiere auf der Bodenoberfläche*

Anschließend seien noch wirbellose Geschöpfe erwähnt, die über dem Boden in Menge vorkommen und einen gewissen Einfluß auf die Vegetation haben können, namentlich wenn sie bestimmte Arten als Nährpflanzen vorziehen. Da ist zu nennen die Gartenschnecke (*Tachea hortensis* Müll.). Sie kommt im Alpengarten in großen Mengen vor und gedeiht trotz der großen Höhenlage ausgezeichnet. Nach Dr. W. Höhn, der die Freundlichkeit hatte, die Art zu bestimmen, weichen die Größenmaße nur wenig von den Normalgrößen des Tieflandes ab. Vielleicht wurde diese Schnecke zufällig durch aus einem Tiefland-Garten bezogene Kulturpflanzen eingeschleppt. Sie gelangt zur Massenvermehrung, und das Gartenpersonal hat Jahr für Jahr manchen Kessel voll dieser Schnecken abgelesen. Gelegentlich fand sich im Alpengarten auch die große Weinbergschnecke, *Helix pomatia.* — Im Sommer treten auf der Sonnseite des Schinigeplattehanges, im Alpengarten also besonders im Seslerietum und Nardetum, die Heuschrecken sehr reichlich auf und entwickeln sich teilweise bis zur Geschlechtsreife. Herr Prof. Dr. Schneider-Orelli und

Assistent W. Büttiker von der Eidgenössischen Technischen Hochschule hatten die Freundlichkeit, unser gesammeltes Insektenmaterial zu bestimmen und stellten fest: *Acryptera fusca* und *Decticus verricivorus* L.

Ohne Zweifel wäre eine für die verschiedenen Pflanzengesellschaften vergleichend ausgeführte Untersuchung der über der Bodenoberfläche lebenden Fauna, die sich vor allem aus Insekten zusammensetzt, sehr interessant gewesen. Franz (1943) hat damit in den Ostalpen bemerkenswerte Ergebnisse erzielt, wobei er zum Schluß kam, daß Tier- und Pflanzenassoziationen sich nicht entsprechen, die Tiergesellschaften im allgemeinen viel weniger spezialisiert seien.

VI. Das Klima

a) Das Allgemeinklima des Schinigeplattegebietes

Um eine richtige Grundlage für unsere Darstellung der mikroklimatischen Verhältnisse in den verschiedenen Pflanzengesellschaften des Alpengartengebietes zu erhalten, wollen wir zuerst an Hand unserer Messungen und Beobachtungen das Allgemeinklima betrachten. Die Hauptzüge des Klimas in unserem Untersuchungsgebiet ergeben sich aus seiner Lage in den nördlichen Alpen, die durch ihre feuchtkühlen Sommer ausgezeichnet sind. Besonderheiten sind aber doch zu erwarten, vor allem infolge der sehr bemerkenswerten Lage der Schinigeplatte im allgemeinen und des Alpengartens im besonderen, die in der geographischen Orientierung geschildert worden ist. Neben den klimatischen Messungen in den einzelnen Pflanzengesellschaften wurden deshalb in den Jahren 1931—1934 auch allgemein klimatisch gerichtete Untersuchungen vorgenommen. Diese beschränkten sich auf die Zeit, während der das Alpengartenhaus geöffnet war und als Stützpunkt dienen konnte, also von anfangs oder Mitte Juni bis Ende September oder anfangs Oktober. Diese Zeitspanne umfaßt annähernd die ganze Vegetationszeit (vgl. S. 63).

Zur Messung gelangten die Lichtstrahlung, die Schattentemperaturen, die relative Luftfeuchtigkeit, die Niederschlagsmenge, die Taubildung. Wir beobachteten außerdem die Bewölkung, die Son-