

Sonderdruck aus den
MITTEILUNGEN DER SCHWEIZERISCHEN ANSTALT
FÜR DAS FORSTLICHE VERSUCHSWESEN
Band XXIV., Heft 1, 1945

Kommissionsverlag
Beer & Cie., Buchhandlung, Peterhofstatt, Zürich 1

Leer - Vide - Empty

Der biologische Abbau von Zellulose- und Eiweiß-Testschnüren im Boden von Wald- und Rasengesellschaften

1. Mitteilung:

Methodischer Beitrag zur Bestimmung der biologischen
Bodenaktivität nach dem sog. Reiftest

Von der
Eidgenössischen Technischen Hochschule
in Zürich
zur Erlangung der
Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften
genehmigte

PROMOTIONSARBEIT

vorgelegt von
dipl. Forsting. **FELIX RICHARD**
aus Langenthal

Referent: Herr Prof. Dr. H. Pallmann
Korreferent: Herr Prof. Dr. M. Dügge

Leer - Vide - Empty

MEINER MUTTER

MEINEM
VERSTORBENEN
VATER

Herrn Prof. Dr. H. PALLMANN

meinem verehrten
Lehrer und Ratgeber

danke ich herzlich
für seine vielseitige Hilfe

Inhaltsverzeichnis.

Der biologische Abbau von Zellulose- und Eiweiß-Testschnüren im Boden von Wald- und Rasengesellschaften.

1. Mitteilung:

Methodischer Beitrag zur Bestimmung der biologischen
Bodenaktivität nach dem sog. Reißtest.

Von Felix Richard.

| | Seite |
|--|-------|
| Vorwort | 297 |
| A. Einleitung und Problemstellung | 298 |
| B. Experimentelle Ergebnisse | 302 |
| I. Methodischer Teil | 302 |
| 1. Der sog. Reißtest mit normierten Zellulose- und Eiweißtestschnüren | 302 |
| a) Theoretische und praktische Ansprüche an eine Methode zur quantitativen Bestimmung der biologischen Bodenaktivität | 302 |
| b) Kennzeichnende Eigenschaften der Zellulose- und Eiweiß-Testschnüre; die experimentelle Bestimmbarkeit des Zellulose- und Eiweißabbaues durch den Reißtest | 303 |
| Zellulose-Testschnüre | 303 |
| Eiweiß-Testschnüre | 305 |
| Ueber die Eignung der Viskose-Zellulose und des Seidenfibroins für die biologischen Abbaueversuche | 306 |
| Der Reißapparat des Agrikulturchemischen Institutes | 306 |
| c) Laboratoriums-Untersuchungen über den Abbau der Zellulose- und Eiweiß-Testschnüre (Orientierende Vorversuche) | 307 |
| Der Einfluß der Temperatur auf den biologischen Abbau der Zellulose- und Eiweiß-Testschnüre | 307 |
| Der Einfluß der Temperatur auf den rein hydrolytischen Abbau der Zellulose- und Eiweiß-Testschnüre bei pH 2,0 und in reinem Wasser | 310 |
| Einige Abbaueversuche mit bestimmten Pilz-Reinkulturen | 312 |
| d) Feldversuche (Versuchsanlage, Probenahme, Verarbeitung der Testkörper, Fehlermöglichkeiten) | 313 |
| e) Die rechnerische Auswertung und Darstellung der im Gelände vorgenommenen Bestimmungen der biologischen Bodenaktivität | 315 |
| Allgemeines | 315 |
| Rechnerische Auswertung bei sog. kontinuierlicher Versuchsanlage | 317 |
| Rechnerische Auswertung bei sog. diskontinuierlicher Versuchsanlage | 319 |
| Die graphische Darstellung der biologischen Aktivität des Bodenprofils | 320 |
| 2. Der Streueabbau | 322 |
| a) Problemstellung | 322 |
| b) Versuchsmethode | 323 |
| II. Vergleichende Untersuchungen über die biologische Tätigkeit der Böden verschiedener Wald- und Rasengesellschaften der Schweiz | 325 |
| 1. Versuchsgruppe «a»: Braunerdeserie der Laubwälder des schweizerischen Mittellandes | 325 |
| a) Allgemeines und Standortsübersichten | 325 |
| b) Zellulose- und Eiweißabbau bzw. Streueabbau in der vollentwickelten Braunerde des <i>Querceto-Carpinetum aretosum</i> | 328 |

| | Seite |
|---|-------|
| c) Zellulose- und Eiweißabbau bzw. Streueabbau in der schwach podsolierten Braunerde des <i>Querceto-Carpinetum luzuletosum</i> | 330 |
| d) Zellulose- und Eiweißabbau bzw. Streueabbau in der leicht podsolierten bis schwach marmorierten Braunerde des <i>Querceto-Betuletum</i> | 332 |
| e) Vergleich der biologischen Tätigkeit in den Böden des <i>Querceto-Carpinetum aretosum</i> , <i>Querceto-Carpinetum luzuletosum</i> und <i>Querceto-Betuletum</i> | 333 |
| Zelluloseabbau | 333 |
| Eiweißabbau | 340 |
| Bemerkungen über den Einfluß einiger Standortfaktoren auf die biologische Bodenaktivität | 344 |
| Streueabbau | 345 |
| 2. Versuchsgruppe «b»: Subalpine Föhren-, Arven-Föhren- und Weidengesellschaften im Schweizerischen Nationalpark | 352 |
| a) Allgemeines und Standortsübersichten | 352 |
| b) Zellulose- und Eiweißabbau im Boden des <i>Pineto-Caricetum humilis</i> (Br.-Bl.) | 357 |
| c) Zellulose- und Eiweißabbau im Boden des <i>Mugeto-Ericetum caricetosum</i> (Br.-Bl.) | 358 |
| d) Zellulose- und Eiweißabbau im Boden des <i>Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum</i> (Br.-Bl.) | 359 |
| e) Zellulose- und Eiweißabbau im Eisenpodsol des <i>Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum</i> (Pallmann-Haffter) | 361 |
| f) Zellulose- und Eiweißabbau im Boden des <i>Trisetetum flavescens</i> | 362 |
| g) Vergleich der biologischen Tätigkeit in den Böden der untersuchten Pflanzengesellschaften des Schweizerischen Nationalparkes | 363 |
| Zelluloseabbau | 364 |
| Eiweißabbau | 368 |
| 3. Versuchsgruppe «c»: Subalpine Zwergstrauch- und Weidengesellschaften auf «Alp Piscium», Airolo | 370 |
| a) Allgemeines und Standortsübersichten | 370 |
| b) Zellulose- und Eiweißabbau im subalpinen Humuspodsol des <i>Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum</i> (Pallmann-Haffter) | 373 |
| c) Zellulose- und Eiweißabbau im subalpinen, sekundär verbrauchten Gebirgsweide-Boden des <i>Nardetum strictae subalpinum</i> | 374 |
| d) Vergleich der biologischen Tätigkeit in den Böden des <i>Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum</i> und des <i>Nardetum strictae subalpinum</i> | 375 |
| Zelluloseabbau | 375 |
| Eiweißabbau | 380 |
| 4. Versuchsgruppe «d»: Untersuchungen über die bBA im Wiesendüngungsversuch «Rüteli» des landwirtschaftlichen Lehrgutes Roßberg bei Kempththal | 382 |
| a) Allgemeines und Standortsübersichten | 382 |
| b) Eiweißabbau in der vollreifen Braunerde des Düngungsversuches «Rüteli» | 383 |
| c) Vergleich der biologischen Bodenaktivität im Düngungsversuch «Rüteli» bei verschiedener Düngergabe | 384 |
| Eiweißabbau | 384 |
| C. Zusammenfassung | 389 |
| Literaturnachweis | 396 |

Der biologische Abbau von Zellulose- und Eiweiß-Testschnüren im Boden von Wald- und Rasengesellschaften.

1. Mitteilung:

Methodischer Beitrag zur Bestimmung der biologischen Bodenaktivität nach dem sog. Reißtest.

Von Felix Richard.

(Mitteilung aus dem Agrikulturchemischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich.)

(Vorstand: Prof. Dr. H. Pallmann.)

Vorwort.

Vorliegende Arbeit wurde auf Anregung von Herrn Prof. Dr. H. Pallmann, Vorstand des Agrikulturchemischen Institutes der Eidgenössischen Technischen Hochschule, hauptsächlich in den Vegetationsperioden der Jahre 1942—1944 durchgeführt.

Vom Direktor der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Herrn Prof. Dr. H. Burger, wurde aus speziellen Forschungskrediten ein namhafter Beitrag bewilligt, aus dem die Kosten der Feldversuche bestritten werden konnten.

Herr Prof. Dr. M. Dügeli führte in zuvorkommender Weise einige bakteriologische Sonderuntersuchungen durch und stellte uns Brutschränke für Versuche zur Verfügung.

Herr Prof. Dr. E. Güm ann erlaubte uns, während längerer Zeit verschiedene Thermostaten zu benützen.

Die Wissenschaftliche Nationalparkkommission bewilligte uns, Böden des Schweizerischen Nationalparks zu untersuchen.

Für die vielseitige Hilfe und für die Anregungen, die zur Förderung der Arbeit beitrugen, danke ich hiemit herzlich.

Besonderen Dank schulde ich auch Herrn Dr. H. Etter, der mich auf besonders geeignete Laubwaldbestände hinwies und mit dem ich in gelegentlichen Gesprächen und gemeinsamen Exkursionen viele Einzelfragen behandeln konnte.

Zürich, im September 1945.

A. Einleitung und Problemstellung.

Der Bodenkundler begnügt sich nicht mit der analytisch-statischen Erforschung des Bodenprofils und der Feststellung der geographischen Verbreitung der verschiedenen, morphologisch und chemisch kennzeichnenden Bodenbildungen, er sucht nach den Zusammenhängen zwischen der Bodenbildung und den diese beeinflussenden Umweltfaktoren. Die Abhängigkeit der Bodenbildung vom Gestein, vom Klima und der biotischen Umwelt ist mannigfaltig, nur zum geringen Teil herrscht befriedigende wissenschaftliche Klarheit.

Der Boden ist bekanntlich kein statisches System; er verändert sich, er reift und altert und vermag auch die Entwicklungsrichtung nach jüngeren Bodenstadien einzuschlagen. Die mit den Pflanzensoziologen gemeinsam unternommenen Studien zeigen deutlich den Einfluß der Pflanzenwelt auf die Entstehung und Umbildung eines Bodenprofils. Auch umgekehrt weiß man um die verschiedenen Ansprüche, die eine bestimmte natürliche Pflanzengesellschaft — z. B. eine natürliche Waldgesellschaft — an Boden, Klima und an die Hydrologie des Standortes stellt. Die dem Forstmann geläufigen Begriffe «standortsgemäß» und «standortsfremd» entspringen diesen Tatbeständen.

Nicht nur die höheren Pflanzen und ihre Gesellschaften sind für die Bodenbildung bedeutsam, auch die dem Boden innewohnende Mikroflora (Pilze, Bakterien, Algen usw.), die Mikrofauna und die höhern Bodentiere haben daran maßgebenden Anteil. Das reiche Wechselspiel zwischen Ursache und Wirkung ist kaum entwirrbar. Nur durch geduldige und zeitraubende Einzelarbeit, die Stück um Stück aus dem Gesamtvorgangskomplex herausarbeitet, rundet sich die Kenntnis über das Gesamtgeschehen der Bodenbildung.

Das Studium des bodenkundlichen Problemkomplexes hat nicht nur akademische Bedeutung, die Bodenkunde ist seit langem wichtigste Hilfsdisziplin des Land- und Forstwirts. Der Waldbauer beispielsweise sucht mit Gewinn die Zusammenhänge zwischen dem Waldbestand, dessen Boden und dem herrschenden Klima zu ergründen. Erfolgreiche forstliche Bestandesbegründungen sind ohne Kenntnis des Gesellschaftshaushaltes der wichtigsten Waldgesellschaften (Ansprüche an Boden, Klima usw.) unsicher. Die Oberflächengestaltung des Landes, der geologische Untergrund, die hydrologischen Faktoren und das Klima ändern sich wie der Boden auf kleinstem Raum. Das zu kennzeichnenden Pflanzengesellschaften zusammengefügte Artenmosaik bietet sich aus diesen Gründen in reicher Mannigfaltigkeit. Die natürliche Vegetation ist oft ein feiner Indikator kleinster Standortsunterschiede. Der Waldbau muß auf solche naturgesetzlichen, bodenkundlichen, pflanzensoziologischen und klima-

tischen Gegebenheiten Rücksicht nehmen. Marktpolitisch an sich wünschenswerte, jedoch standortsfremde Holzgewächse sollten mengenmäßig nur soweit angebaut werden, als sie die natürliche, für den betreffenden Standort kennzeichnende Entwicklung von Boden und Vegetation nicht zu stark stören. In forstlich fehlbestockten Beständen ist diese theoretische und auch praktisch zunehmend erwiesene Forderung bei eventuellen Umwandlungsplänen als richtunggebend zu betrachten.

Bis zum befriedigenden wissenschaftlichen Verständnis all der vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen Boden und Pflanze, auch nur schon der Bodenbildung selbst, ist noch viel Arbeit zu leisten. Die Bodenkunde ist bekanntlich eine noch recht junge Wissenschaft, und es mangelt noch an wichtigen Arbeitsmethoden. Die Forschungsverfahren der Mineralogen, Chemiker und Biologen können nicht durchwegs übernommen werden, da der dynamische und belebte Boden seine eigenen Probleme stellt, die nur mit spezifischen Untersuchungsmethoden zu lösen sind. Es ist wohl so, daß mit genügendem Zeit- und Geldaufwand und mit ausreichenden Arbeitskräften zahlreiche Bodeneigenschaften und Standortfaktoren ermittelt werden können. Die Bodenuntersuchung verlangt aber häufig Methoden, mit denen eine Vielzahl von Proben in nützlicher Frist und mit genügender Genauigkeit untersucht werden können. Es sind daher Arbeitsmethoden erwünscht, die mit tragbarem Geld- und Zeitaufwand hinreichend genaue Werte und zwar in genügender Vielzahl zu liefern vermögen. So kann z. B. die sog. «wirksame Mitteltemperatur» (24)¹ ohne großen Material- und Zeitaufwand im Felde in Großversuchen bestimmt werden. Es fehlen aber noch geeignete Methoden zur kontinuierlichen Bestimmung der ökologisch wichtigen Wasser- und Feuchtigkeitsverhältnisse. Verschiedene Verfahren versuchen weiter die biologische Bodenaktivität zu bestimmen, die für die Humusbildung und für die Gefügeeigenschaften von großer Bedeutung ist.

Die vorliegende Arbeit setzte sich zum Ziel, einen methodischen Beitrag zur quantitativen Ermittlung der sog. biologischen Bodenaktivität (bBA) zu liefern. Wir verstehen unter diesem Begriff die Gesamtheit aller biologisch-physikalischen und biologisch-chemischen Vorgänge im Boden, die auf die Tätigkeit der höhern Pflanzen, der Mikroflora und -fauna wie auch der höhern Bodentiere zurückzuführen sind (7 bes. S. 278). Diese biologische Aktivität zeigt sich in der zoogenen Bodenschichtenmischung und der dabei erfolgenden Lockerung des Bodengefüges, in der Stampfwirkung flachwurzelter Fichtenbestände (Dichtung des Bodenfilters), in der natürlichen Drainage des Bodens durch tief wachsende Wurzeln, in der Lieferung der chemisch und feinbaulich verschiedenen Humusbildner, in der zoogenen Zerkleinerung der Humus-

¹ Siehe Literaturverzeichnis.

bildner und ihrer Vermengung mit mineralischer, mikrobenreicher Fein-erde im Verdauungstrakt der Bodentiere, in der mannigfachen und meist fermentativ erfolgenden Umsetzung der zahlreichen organischen Verbindungen des abgestorbenen Pflanzen- und Tierorganismus usw. (28). Die für den Boden so wichtige Humusbildung ist letztlich auf die biologische Tätigkeit im Boden zurückzuführen und die für die verschiedenen Bodentypen, Untertypen und Varietäten kennzeichnenden Humusformen sind ihr Werk. Durch die bBA werden für die Wurzeln der höhern Pflanzen verwertbare Nährstoffe (z. B. der Stickstoffreihe) geliefert.

Der praktische Landwirt, Förster und Gärtner sprechen von tätigen und untätigen Böden. Sie geben damit einer wissenschaftlich nur ungenügend erhellten Sache eine verständliche Bezeichnung. Die biologische Bodenaktivität wird vom Förster nach der Geschwindigkeit des Streu-abbaues, nach der Bodenflora, Bestandeshöhe, nach der Wuchskraft der Bäume, nach dem Aussehen der Humushorizonte und der Lockerheit der Bodenhorizonte indirekt geschätzt. Auch der Landwirt beurteilt sie meist aus ihren indirekten Wirkungen.

Es existiert wohl bereits eine große Zahl von Methoden, mit denen bestimmte, oft schwer definierbare Teilvorgänge der bBA beurteilt werden. Die methodischen Schwierigkeiten für eine umfassende Ermittlung des biologischen Geschehens sind offensichtlich.

So mißt man die Kohlensäuremenge, die pro Zeiteinheit einer bestimmten Bodenfläche entströmt (16). Diese CO_2 -Produktion ist auf die Lebenstätigkeit der Bodenlebewesen zurückzuführen. Die oxydative Umwandlung der Humusbildner, der Angriff der biogenen sauren Stoffwechselprodukte auf eventuell vorhandene Karbonate des Bodens und die Atmungstätigkeit bestimmter Bodenbewohner liefern das CO_2 -Gas. Die gasvolumetrische Bestimmung der bodenbürtigen Kohlensäure eignet sich für Einzelmessungen im Gelände und im Laboratorium sehr gut, der apparative Aufwand ist aber für größere Serien- und Vergleichsbestimmungen recht hoch.

Auch die quantitative Bestimmung der Nitratbildung im Boden kann zur Abschätzung der bBA verwendet werden (34). Oft werden die Bodenproben im Laboratorium mit Nährlösungen versetzt und hierauf auf ihr Nitrifikationsvermögen geprüft (8 bes. S. XXXIII). Diese Labor-methode zeitigt wohl recht interessante Resultate, sie kann aber nicht ohne weiteres mit der absoluten Nitratbildung in natürlich gewachsenen Böden — unter Feldbedingungen — identifiziert werden.

Zur indirekten Abschätzung der bBA wird von vielen Forschern der C:N-Quotient der organischen Bodensubstanz herangezogen (5, 14, 25), wobei hohe C:N-Quotienten [über 15] auf relativ geringen Abbau der ursprünglichen Humusbildner deuten (9, 26). Die bei verschiedenen Bodentypen sehr unterschiedliche Produktion von Humusbildnern kom-

pliziert die Uebertragbarkeit der analytischen Resultate auf das Problem der biologischen Bodenaktivität. Dies gilt auch für die beiden nächst-erwähnten Methoden.

Auch durch die Ermittlung des sog. acetylbromid-unlöslichen Humusantheils nach U. Springer (29) sucht man die biologisch weitgehend umgewandelten organischen Anteile des Gesamthumus zu ermitteln. Das Gleiche strebt indirekt die sog. Komplexanalyse der organischen Bodensubstanz nach S. Waksman (35) an, die Aufschluß über die Veränderungen im Chemismus der wichtigsten pflanzlichen Stoffgruppen gibt. A. Schmuziger untersuchte damit wichtige schweizerische Bodentypen (28). Diese Untersuchungen orientieren über die Veränderungen im Gehalt der Kohlehydrate, der Ligninkomplexe, der Wachse und Fette usw. Die Rückführbarkeit der Ergebnisse auf die biologische Bodenaktivität ist gleich zu bewerten wie bei den oben erwähnten Methoden. Als indirekte Methode zur Abschätzung der biologischen Aktivität ist zu erwähnen: die mikromorphologische Bodenbetrachtung bei natürlicher Lagerung im Profil oder aber im Bodendünnschliff. Diese Methode wurde von Kubierna (12) sehr gut ausgebaut und mit Gewinn auch bei schweizerischen Böden von E. Frei (7) verwertet.

Von Bodenbakteriologen und Mykologen wird der mikrobiologische Zustand des Bodens anhand von Keimauszählungen mittels Elektivkulturen (4, 13) bewertet. Die bakteriologischen Untersuchungsverfahren sind weitgehend entwickelt, die mykologische Bodenanalyse bedarf noch dringend weiteren methodischen Ausbaues. Hohe Keimzahlen und reiches Keimartenspektrum werden dabei indirekt als Zeichen hoher mikrobiologischer Bodenaktivität beurteilt. M. Düggele machte sich um die bakteriologische Erforschung schweizerischer Böden verdient (4).

Die neue, hier darzulegende Methode erfaßt selbstredend auch nicht alle Vorgänge, die zusammen die biologische Bodenaktivität ausmachen, sondern nur einen wichtigen Ausschnitt. Normierte Zellulose- und Eiweiß-Testschnüre werden dem Bodenprofil mittels langer Stahlnadeln eingezogen und nach bestimmten Versuchszeiten auf ihren Abbaugrad untersucht. Die Methode bietet den Vorteil leichter Durchführbarkeit und relativ geringer Kosten. Sie ermöglicht die Bodenuntersuchung bei gewahrter natürlicher Lagerung im Gelände. Der bei Zellulose und Eiweiß beobachtete Abbau wird unter natürlichen Verhältnissen durch die verschiedenen zur Produktion geeigneter Abbaufemente befähigten Mikroorganismen bewirkt. Parallel zu diesen Untersuchungen mittels Zellulose- und Eiweißtestkörpern wurde der Abbau der Streu quantitativ in kennzeichnenden Laubwaldgesellschaften des schweizerischen Mittellandes untersucht. Die Ergebnisse beider Methoden werden vergleichend besprochen.

B. Experimentelle Ergebnisse.

I. Methodischer Teil.

1. Der sog. Reißtest mit normierten Zellulose- und Eiweiß-Testschnüren.

a) Theoretische und praktische Ansprüche an eine Methode zur quantitativen Bestimmung der biologischen Bodenaktivität.

Es gibt heute keine Methode, die die Gesamtwirkung all der biologisch verursachten Vorgänge im Boden quantitativ zu erfassen vermöchte. Auch der hier methodisch erprobte Reißtest mit normierten Eiweiß- und Zellulose-Testschnüren vermag nur einen Ausschnitt aus der gesamten bBA zu vermitteln. Zahlreiche Laboratoriums- und Feldversuche sind noch nötig, um die Tauglichkeit der neuen Methode und die befriedigende Deutung ihrer Resultate abzuklären.

Die vorgeschlagene Methode erfaßt aus dem komplizierten biologischen Geschehen nur den Abbau der Zellulose und des Eiweißes. Beide Stoffe dienen den Bodenlebewesen z. T. als Energiequelle und nach mannigfacher Transformation als Lieferanten der Mikroben-Körpersubstanz. Beide Stoffe sind auch für den Humifizierungsvorgang, einen wichtigen biologischen Reaktionskomplex bei der Bodenbildung, bedeutsam.

In den meisten vegetabilischen Humusbildnern nimmt die Zellulose einen Hauptanteil an deren Zusammensetzung ein. Die Zellulose wird bei der Humifizierung stark angegriffen, sie verschwindet größtenteils mit den ursprünglichen Hemizellulosen und andern nichtaromatischen Pflanzenbausteinen. Durch deren Schwund werden das Lignin und dessen Humifizierungsderivate relativ im Rückstand angereichert, diese Lignin-humuskomplexe durchsetzen sich schließlich mit mikrobiell neusynthetisierten Hemizellulosen und Proteinen, sie fügen sich schließlich zu dem, was S. Waksman in seinen Arbeiten «Humuskern» nennt (35).

Das Eiweiß spielt ebenfalls bei der Humifizierung und dem ganzen Stickstoffumsatz des Bodens eine wichtige Rolle. Die Angriffsintensität der Bodenlebewesen auf Eiweiß zu kennen, scheint erstrebenswert.

Wenn auch die neu vorgeschlagene Methode nur diese beiden wichtigen Stoffe zu erfassen vermag, so scheint sie uns doch einen ansehnlichen Beitrag zum Gesamtproblem bieten zu können:

a) Die Eiweiß- und Zellulose-Testschnüre reproduzierbarer Eigenschaften können in den natürlich gelagerten Boden eingezogen werden. Man untersucht daher das biologische Geschehen dieses Teilabschnittes im Bodenprofil selbst, ohne größere Störung desselben.

- β) Durch die feldmäßige Durchführbarkeit der neuen Methode sind auch die Einflüsse des Standortes (Chemismus, Physik, Klima usw.) erfassbar. Diese Erfassbarkeit fehlt zum Teil den rein laboratoriumsmäßigen Bestimmungsmethoden.
- γ) Die Methode läßt sich zahlenmäßig auswerten. Der Abbaugrad ist methodisch erfassbar. Die in dieser Arbeit als Maß hierfür verwendete Reißfestigkeitsabnahme liefert sicher noch nicht die vollständige quantitative Maßzahl für den erfolgten Abbau, künftige, in Aussicht genommene Untersuchungen müssen das Testmaterial noch auf direktere Weise kennzeichnen (Viskositätsuntersuchungen zur Feststellung des Molekulargewichtes, Endgruppenbestimmungen usw.).
- δ) Die Methode ist experimentell und kostenmäßig leicht durchführbar, sie ermöglicht daher die Versuchsanlage in zahlreichen Parallelen.
- ε) Man erfaßt bei der vorgeschlagenen Untersuchung nicht allein die Tätigkeit einiger ausgesuchter Mikroorganismen, sondern die kombinierte Tätigkeit der zelluloselösenden und eiweißabbauenden Fermente der Bakterien und Pilze zusammen.

**b) Kennzeichnende Eigenschaften der Zellulose- und Eiweiß-Testschnüre;
die experimentelle Bestimmbarkeit des Zellulose- und
Eiweißabbaues durch den Reißtest.**

Für alle Untersuchungen wurde ein einheitliches Ausgangsmaterial verwendet, das in gleicher Qualität stets nachbezogen werden kann. Herrn Dr. Monsch (Thalwil) sind wir für die Beratung bei der Faserbeschaffung zu größtem Dank verpflichtet.

Zellulose-Testschnüre.

Die Zellulose ist chemisch ein Polymerisat des Glucoseanhydrids. Traubenzuckermolekel (β -Glukose) sind unter Wasseraustritt gegenseitig im Zellulosemolekül verknüpft, sie bilden in ihrer Gesamtheit ein vielgliedriges, fadenförmiges Makromolekül. Bei praktisch konstantem Chemismus besitzt die Zellulose recht variable Molekulargewichte, und mit diesen verändern sich vorab ihre physikalischen Eigenschaften außerordentlich stark. Innerhalb des Zellulosemolekels sind starke Bindekräfte tätig, die die einzelnen Glucoseanhydridglieder hauptvalenzmäßig zusammenhalten. Diese Verknüpfungsorte sind vor allem durch chemische oder fermentative Prozesse spaltbar: hier greifen vor allem die Abbaureaktionen an, die durch Wasserstoffionen (höhere Konzentrate) oder spezifische Bakterien-, Pilz- oder Tierenzyme getätigt werden.

Die Zellulose-Makromolekel können bei gegenseitiger Annäherung Aggregate bilden: im einen Extremfall bilden sich relativ dichtgefügte Zellulosekristallite parallelergerichteter Zelluloseketten, im andern Extrem wirrgelagerte und lockergefügte Zellulose-Gele fehlender innerer Orientierung ihrer Bauelemente. Während im einzelnen Zellulosemolekül nur starke Hauptvalenzkräfte tätig sind, so wirken zwischen den

verschiedenen Z-Molekeln innerhalb der so mannigfaltig gefügten und orientierten Aggregate die sogenannten Nebervalenzkräfte. Sie entspringen im Spezialfall vor allem den Hydroxylgruppen der Zellulose und drängen zum lockern bis festern Zusammenschluß der Aggregats-Elemente. Dieser nebervalenzmäßige Zusammenhalt ist um so ausgeprägter:

1. je dichter die Zellulosemolekel einander genähert sind,
2. je besser deren Parallellagerung ist,
3. je größer die Molekulargewichte, also je länger die Zellulosemolekel selbst sind,
4. je dehydratisierter das Aggregat erscheint.

Vom Zusammenwirken dieser Faktoren hängen die physikalischen Eigenschaften der Zellulose ab:

1. die Dispergierbarkeit,
2. die Viskosität der Lösungen,
3. die Dehnbarkeit der Fasern,
4. die Reißfestigkeit der Fasern.

Für unsere Untersuchungen wurde, wie oben betont, die Reißfestigkeit der Zellulose- (und auch der Eiweiß-) Testschnüre als Maß des Abbaugrades herangezogen. Je rascher die Reißfestigkeitsabnahme der Testschnüre erfolgt, um so höher wird die bBA bewertet. Der Reproduzierbarkeit des Testmaterials wegen wurde eine industriell erzeugte Zelluloseschnur verwendet: entölte Viskose-Kunstseide mit einem Gesamttiter von 7500 Deniers (75 Deniers 100fach zusammengezirnt). Die verschiedenen Lieferungen zeigten, mit unserem Spezialreiß-Apparat gemessen, Anfangsreißfestigkeiten von 9,7—10,3 kg. [Mittlerer Fehler des Mittels für RF 9,7 = $\pm 0,04$, für RF 10,3 = $\pm 0,17$ bei 23 bzw. 24 Reißproben.] Die geringen Schwankungen in der AnfangsRF der verschiedenen Lieferungen spielen bei der Auswertung keine Rolle, da die AnfangsRF stets relativ = 100 gesetzt wird.

Die Reißfestigkeit der Zellulose hängt kompliziert mit den Fasereigenschaften zusammen, vor allem tritt das Molekulargewicht (Kettenlänge) der Zellulose hierfür bestimmend auf.

Die Zugs-Querschnittsbelastungen werden beim Reißakt um so einheitlicher von der Hauptvalenzkette aufgenommen, je größer das Molekulargewicht, d. h. die Kettenlänge der Zellulose ist. Die hier zur Wirkung gelangenden Hauptvalenzkräfte verleihen dem Faden bzw. der Schnur die größte Zugfestigkeit (17).

Bei kurzen Kettenlängen, also kleineren Molekulargewichten kommen je Längeneinheit der Faser — also bereits des Zelluloseaggregates — wesentlich mehr Kontaktstöße zwischen den verschiedenen Zellulosemolekeln vor. Der Zusammenhalt wird nicht mehr überwiegend durch die Hauptvalenzkräfte, sondern stets zunehmend durch die schwächeren Nebervalenzkräfte getätigt. Die Reißfestigkeit der Fasern oder Schnüre nimmt daher mit abnehmendem Molekulargewicht rasch ab.

Für die Reißfestigkeit spielt aber auch der Orientierungsgrad innerhalb der Faser eine Rolle. Je besser die Parallelrichtung der Faserkomponenten verwirklicht ist, um so dichter können sie aneinandertreten und um so größer wird der durch die Nebervalenzen bewirkte Zusammenhalt. Beim Spinnprozeß erfolgt aber auch in weiten Grenzen des Molekulargewichtes die Orientierung der Zellulose-Hauptvalenzketten im Spinnstrang um so leichter, je länger die Zellulosemolekel sind.

Der Orientierungsgrad spielt beim gegebenen Versuchsmaterial nur die Rolle eines konstant bleibenden Faktors, er dürfte sich beim biologischen oder chemischen Abbau der fertigerstellten Faser nicht ändern und daher am Reißfestigkeitsverlust keinen Anteil haben.

Die Reißfestigkeit der Faser zeigt nun aber experimentell nur in einem bestimmten, wenn auch ziemlich breiten Gebiet der Molekulargewichte der Zellulose eine lineare Abhängigkeit. Uebersteigt die Länge der Hauptvalenzkette einen bestimmten obern Betrag, so nimmt die Reißfestigkeit nur noch unwesentlich zu. Auch bei sehr klein gewordenen Molekulargewichten ändert sich die Reißfestigkeit nur noch sehr schwach. Zwischen diesen Extremen liegt aber ein Gebiet, in dem die Reißfestigkeit sehr stark und annähernd mit dem Molekulargewicht sich ändert. Das «Reißen» einer Faser dürfte, näherungsweise dargelegt, auf zwei Vorgänge zurückgeführt werden (vgl. auch 17 bes. II, S. 308 ff.): 1. auf das eigentliche Reißen von Hauptvalenzbrücken (vorwiegend bei höchsten Molekulargewichten), 2. auf das gegenseitige Abgleiten der nebenvalenzmäßig verbundenen Zelluloseketten im Faserverband, das mit abnehmendem Molgewicht an Bedeutung zunimmt. Nach Staudinger (30 bes. S. 2—4) nimmt die Reißfestigkeit einer ursprünglich sehr hochmolekularen Zellulose beim Kettenabbau anfänglich nur langsam, dann in breiterem Gebiet beschleunigt und bei sehr klein gewordenen Kettenlängen wieder langsam ab. Diese Komplikation erschwert die quantitative Diskussion der Reißtestergebnisse beim Studium der bBA. Es sind von uns bereits Untersuchungen vorgesehen und z. T. unternommen worden, um die zahlenmäßige Auswertung der Abbauprobe zu verbessern. Viskositätsmessungen müssen die Reißfestigkeits-Ergebnisse im Gebiete starker Abbaugrade ergänzen.

Eiweiß-Testschnüre.

Als Versuchsmaterial diente natürliche Seide. Bekanntlich besteht der von der Seidenraupe gesponnene Seidenfaden aus einem zentralen Strang des Fibroins, der von einer klebenden Kitthülle, dem Sericin (auch Seidenbast genannt), umgeben wird. Das Seidenfibroin gehört zu den Gerüsteiweißen und ist als solches wasserunlöslich und von vorwiegend fadenförmiger Gestalt. Durch die dankenswerte Vermittlung von Herrn Dr. Monsch erhielten wir für die Versuche reine, nicht entbastete Seide (Japan-Grège) mit einem Gesamttiter von 2800 Deniers (15/15 Deniers 200fach zusammengezwirnt) und einer AnfangsRF von 10,4 bis 11,4 kg in den verschiedenen Lieferungen. [Mittlerer Fehler des Mittels für RF 10,4 = $\pm 0,04$, für RF 11,4 = $\pm 0,06$, bei 34 bzw. 38 Reißproben.] Auch hier wurde mit der relativen AnfangsRF = 100 gerechnet, wie bei der Zellulose.

Die Grundelemente des Fibroineiweißes sind Aminosäuren, die hauptvalenzmäßig durch Peptidbrücken zu Polypeptiden und diese wiederum durch Aminosäuren verknüpft zum eigentlichen Seideneiweiß werden. Aehnlich wie bei der Zellulose- nimmt auch bei der Eiweißfaser mit steigendem chemischen oder fermentativen Abbau die Molekulargröße, bzw. die Hauptvalenzkettenlänge des im Aggregat eingebauten Grundmolekels ab, und mit ihr ändern sich die physikalischen Eigenschaften, wie z. B. die Reißfestigkeit, die Viskosität der Sollösungen, das optische Verhalten im Strömungsdoppelbrechungsapparat usw. Die zwischen der Reißfestigkeit und dem Faserbau bei der Zellulose erwähnten Gesichtspunkte gelten prinzipiell auch für die Seide.

Ueber die Eignung der Viskose-Zellulose und des Seidenfibroins für die biologischen Abbauversuche.

Bekanntlich sind die Begriffe «Zellulose» und «Eiweiß» nicht unbedingt eindeutig. Das biologische und physikalische Reaktionsverhalten dieser Stoffe ist variabel, es hängt ab vom Molekulargewicht, von der Packungsdichte der Aggregate, vom Hydratationszustand, von der Beimengung von Systemsgenossen, beim Eiweiß auch vom Chemismus, dem Mengenanteil und der räumlichen Verteilungsart der Aminosäuren und übrigen Eiweißkomponenten. Da diese Stoffe selbst in der Natur sich recht verschieden präsentieren, erachten wir die Beiziehung industriell gefertigter Zellulosefäden bzw. des Seideneiweißes als erlaubt und angezeigt, da auch die Wiederbeschaffung gleichen Versuchsmaterials gesicherter erschien. Es ist unzweifelhaft, daß bei Verwendung anderer Zellulose- oder Eiweiß-Testmaterialien eventuell quantitativ abweichende Resultate erhalten würden. Diese Möglichkeit wurde bewußt in Kauf genommen.

Der Reißapparat des Agrikulturchemischen Institutes.

Damit zuverlässige Mittelwerte der RF berechnet werden können, müssen von den im Boden eingezogenen, meist 50 cm langen Testschnüren möglichst viele Reißproben bestimmt werden. Die üblichen Reißapparate der Textilprüfstellen sind für unsere Zwecke ungeeignet, da sie zu große Reißlängen verlangen. Ein durch die Firma Schiltknecht in Zürich speziell nach unsern Angaben konstruierter Reißapparat erlaubt, die Reißlänge bis auf einige Millimeter zu verkürzen (vgl. Bild 1).

Prinzip des Reißapparates: Am oberen Ende einer mit einem Handrad beweglichen senkrechten Schraubenspindel wird die Testschnur eingespannt. Die obere Einspannvorrichtung steht in Verbindung mit dem freien Ende einer einseitig eingespannten, horizontal gelagerten elastischen Stahllamelle. Durch das Senken der Schraubenspindel wird über die eingespannte Reißprobe das freie Ende der elastischen Stahllamelle aus ihrer Ruhelage, entsprechend der größern oder kleinern Reißfestigkeit der Probe, mehr oder weniger ausgebogen. Die maximale

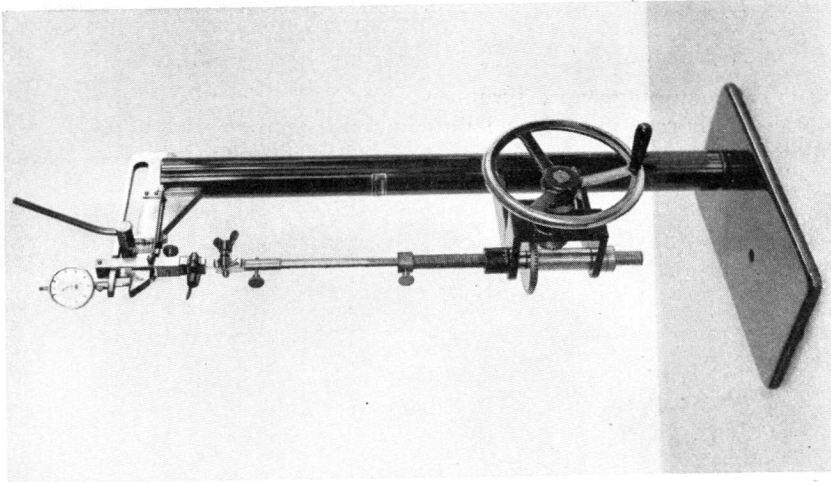


Bild 1

Reißapparat zur Bestimmung der Reißfestigkeit an normierten Zellulose- und Eiweiß-Testschnüren.



Bild 2

Zellulosebau. Ansicht der im Versuchsbalken freigelegten Testschnüre der Horizonte 2, 5, 10 und 20 cm. *Q.-Betuletum*, Versuchsfläche Irchelplateau.



Bild 3

Versuchsbalken mit zu Etappenprofilgruppen zusammengefaßten Reißtestprofilen, bestehend aus Zellulose- und Eiweiß-Testschnüren. Kontinuierliche Versuchsanordnung. *Q.-Betuletum*, Versuchsfläche Irchelplateau.

Durchbiegung beim Faserbruch wird mit einer Präzisionsmeßuhr auf $\frac{1}{100}$ mm gemessen. An Hand einer Eichskala wird die Durchbiegung in kg Reißfestigkeit umgerechnet.

c) **Laboratoriums-Untersuchungen über den Abbau der Zellulose- und Eiweiß-Testschnüre. (Orientierende Vorversuche.)**

Eine neue Methode sollte nicht nur im Felde erprobt werden, wo die Deutung der Resultate durch die Buntheit der variablen Systemsfaktoren erschwert wird, sie sollte im Laboratorium unter bewußter Vereinfachung des Systems zunächst untersucht werden. Diese Laboratoriumsuntersuchung hätte den Feldversuchen vorangehen sollen. Die ständigen militärdienstlichen Beanspruchungen haben auch diesen Plan durchkreuzt. Anschließend werden nur einige orientierende Vorversuche diskutiert, die durch eingehende, jetzt im Gang befindliche Studien erweitert werden müssen.

Im Laboratorium wurde die vorläufige Beantwortung folgender Fragen erstrebt:

1. Wie äußert sich die Temperatur auf den biologischen Abbau der in Versuchserde eingebetteten Testschnüre, wenn die Erde mit einer mit frischem Waldboden hergestellten Mischlösung von Mikroorganismen geimpft ist?
2. Wie groß ist der Einfluß der reinen, durch Wasserstoffionen katalysierten Hydrolyse der Zellulose- und Eiweiß-Testschnüre bei verschiedenen Temperaturen? Sind durch diese Hydrolyse Komplikationen beim biologischen Abbau zu erwarten?
5. Wie vermögen bestimmte Pilz-Reinkulturen die Zellulose- und Eiweiß-Testschnüre in Nährlösungen abzubauen? Herr Dr. S. Blumer, jetzt Eidgenössische Versuchsanstalt Wädenswil, übernahm in verdankenswerter Weise die Lieferung der Pilze und die Kulturbetreuung; die Testschnüre wurden von uns nach verschiedenen Zeiten ausgewertet.

Diese Untersuchungen sollten weiter ausgedehnt werden. Es ist beabsichtigt, die Wirkung bestimmter Pilze und Bakterien auf unser Testmaterial unter strengen und einheitlichen Versuchsbedingungen zu prüfen, wobei die Mitarbeit des Mikrobiologen erwünscht erscheint.

Der Einfluß der Temperatur auf den biologischen Abbau der Zellulose- und Eiweiß-Testschnüre.

Versuchsanstellung: Aus 0—10 cm Tiefe einer reifen Braunerde des *Querceto-Carpinetum aretosum* wurde eine Bodenmischprobe im Laboratorium getrocknet und durch ein 2-mm-Sieb getrieben. Je 50 g der Feinerde kamen in Petrischalen. Auf diese Bodenprobe wurde spiralg eine 60 cm lange Zellulose- resp. Eiweißschnur gelegt, die mit 25 g Boden zuge deckt wurde. Aus waldfischem Boden gleicher Herkunft wurde

eine Bodenaufschwemmung (2 g Boden auf 100 ccm HOH) hergestellt; mit je 20 ccm derselben wurde der Inhalt der Petrischalen geimpft. Die darauf in Thermostaten verschiedener Temperatur unter konstanter Feuchtigkeit gehaltenen Z- und E-Proben wurden einzeln nach verschiedenen Zeiten den Schalen entnommen und deren Reißfestigkeit bestimmt.

Mit (bis zu 33° C) steigender Temperatur wird die Abbaugeschwindigkeit der Zellulose stark erhöht. Der Temperatureinfluß macht sich besonders stark zwischen 0 und 12° C bemerkbar, die Proben von 18 bis 33° C zeigen wohl noch immer eine temperaturbedingte Geschwindigkeitssteigerung des Abbaues, die Abbaukurven scharen sich aber in diesem Gebiet sehr eng zusammen. Wie in einer folgenden Arbeit näher dargelegt werden soll, zeigen die Abbaukurven über das ganze untersuchte Temperaturgebiet einen ausgesprochenen S-förmigen Verlauf. In den Anfangszeiten erfolgt bei Konstanttemperatur zunächst ein langsamer Abbau, auf diesen folgt ein rascherer Schwund der Reißfestigkeit und schließlich wird bei kleinen absoluten RF-Werten die weitere RF-Abnahme wieder verlangsamt. Werden die Kurven zwischen den experimentell unvermeidbar streuenden Punkten stetig durchgezogen, so zeigt sich bei allen Versuchen ein Wendepunkt der S-Kurve bei halber ursprünglicher Reißfestigkeit. Wir können vorläufig den Temperatureinfluß auf die Abbaugeschwindigkeit durch die Angabe dieser graphisch ermittelten Halbwertszeiten verdeutlichen.

Die Halbwertszeiten der Reißfestigkeiten der Zellulose-Testschnüre bei verschiedenen Temperaturen. (Halbwertszeit in Tagen).

| Temperatur | 0° C | 6° C | 12° C | 18° C | 21° C | 27° C | 33° C |
|------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Halbwertszeit in Tagen | 83 | 38 | 16 | 12 | 10 | 10 | 10 |

Zelluloseabbau.

Reißfestigkeitsabnahme der Testschnüre in Abhängigkeit von der biologischen Bodenaktivität bei verschiedenen konstanten Temperaturen (Versuchsdauer = 175 Tage)

Tab. 2 Ausgangsreißfestigkeit = 100.

| | Probenahme | | | | | | | | | | | | | |
|------|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | 13. | 14. |
| Tage | 9 | 13 | 16 | 20 | 27 | 32 | 36 | 41 | 56 | 68 | 81 | 102 | 133 | 175 |
| 0° | 95 | 88 | 88 | 95 | 89 | 97 | — | 83 | 74 | 63 | 53 | 33 | 26 | 15 |
| 6° | 94 | 93 | 90 | 86 | 82 | 62 | 43 | 51 | 26 | 22 | 20 | 12 | 7 | 7 |
| 12° | 95 | 67 | 47 | 24 | 26 | 14 | 12 | 12 | 5 | 2 | 0 | — | — | — |
| 18° | 77 | 43 | 31 | 21 | 14 | 10 | 12 | 8 | 0 | — | — | — | — | — |
| 21° | 63 | 38 | 26 | 20 | 8 | 5 | 4 | 6 | 0 | — | — | — | — | — |
| 27° | 74 | 43 | 19 | 23 | 10 | 12 | 2 | 0 | — | — | — | — | — | — |
| 33° | 95 | 31 | 16 | — | 9 | 2 | 0 | — | — | — | — | — | — | — |

Der S-förmige Verlauf der RF-Abnahme mit der Zeit führt zu einer vorläufigen Komplikation, bei der zahlmäßigen Auswertung der später folgenden Versuchsergebnisse. Sehr wahrscheinlich spielt auch hier der bereits von Staudinger (30) betonte, nicht lineare Zusammenhang zwischen Reißfestigkeit und Moleküllänge eine Rolle.

Der Abbau des vorliegenden Fibroin-Eiweißes wird ebenfalls durch steigende Temperaturen beschleunigt. Auffallenderweise liegt hier das Maximum der Abbaugeschwindigkeit bei 21° C. Während der eingehaltenen Versuchszeiten vermochte das Seidenfibroin mit der gewählten Mischkultur aus dem *Querceto-Carpinetum aretosum* nur bei Temperaturen über 21° C nennenswert abgebaut zu werden. Unter 21° sinken die Reißfestigkeiten nach 175tägigem Versuch nur auf 67 % der Ausgangswerte. Mit Ausnahme an steilen Südlagen werden in den Oberhorizonten der Böden nur selten wirksame Temperaturen von über 21° C während längerer Zeit herrschen und diese führen dann meistens — wie die Versuche im Fuorngebiet zeigen — zu starken Austrocknungen, die ihrerseits den Abbau wieder hemmen.

Die pH-Änderungen in den Böden des Thermostatenversuches
beim Zellulose- und Eiweißabbau.

Tab. 3

| Versuchsdauer | Zelluloseversuch | | | Eiweißversuch | | |
|---------------|------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| | 0° C | 18° C | 33° C | 0° C | 18° C | 33° C |
| Beginn . . . | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 6,8 |
| 9 Tage . . . | 6,2 | 6,5 | 6,6 | 6,4 | 6,5 | 6,7 |
| 13 " . . . | 6,1 | 6,3 | 6,4 | 6,1 | 6,4 | 6,6 |
| 16 " . . . | 6,1 | 6,8 | 7,0 | 6,1 | 6,8 | 7,2 |
| 27 " . . . | 6,1 | 5,9 | 6,4 | 6,1 | 6,0 | 6,4 |
| 56 " . . . | 6,4 | 5,5 | 6,3 | 6,5 | 5,7 | 6,6 |
| 81 " . . . | 6,4 | — | — | — | — | — |
| 102 " . . . | 6,3 | — | — | 6,6 | 5,6 | 7,0 |
| 133 " . . . | 6,3 | 5,6 | 6,4 | 6,4 | 5,7 | 6,6 |

Die pH-Werte der Versuchsböden bleiben nicht völlig konstant (Tab. 3). Die zum Teil üppige Entwicklung der recht mannigfaltigen Mikroflora bedingt durch die produzierten Stoffwechselprodukte Schwankungen bis zu mehr als 1 pH-Einheiten. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen RF-Abnahmegeschwindigkeit und pH-Zahl ist nicht feststellbar, einzig beim Eiweiß zeigt sich der größte pH-Abfall bei 18° C; bei dieser Temperatur erscheint auch die bBA bedeutend größer als bei 0° resp. 33° C (vgl. Tab. 4).

Systematische Versuche mit Reinkulturen und Böden bestimmt variiert Säure- und Nährstoffverhältnisse müssen hier in Zukunft unternommen werden.

Eiweißabbau.

Reißfestigkeitsabnahme der Testschnüre in Abhängigkeit von der biologischen Bodenaktivität bei verschiedenen konstanten Temperaturen (Versuchsdauer = 175 Tage)
 Tab. 4 Ausgangsreißfestigkeit = 100.

| | Probenahme | | | | | | | | | | | | | |
|------|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | 13. | 14. |
| Tage | 9 | 13 | 16 | 20 | 27 | 32 | 36 | 41 | 56 | 68 | 81 | 102 | 133 | 175 |
| 0° | 95 | 92 | 94 | 94 | 95 | — | — | 90 | 89 | — | — | 83 | — | 83 |
| 6° | 97 | 97 | 96 | 92 | 93 | — | — | 85 | 80 | — | — | 79 | — | 77 |
| 12° | 96 | 92 | 87 | 87 | 92 | — | — | 75 | 78 | — | — | 76 | — | 75 |
| 18° | 94 | 86 | 77 | 79 | 73 | — | — | 71 | 77 | — | — | 72 | — | 67 |
| 21° | 89 | 88 | 79 | 78 | 79 | — | — | 69 | 72 | — | — | 35 | — | — |
| 27° | 95 | 90 | 89 | 84 | 80 | — | — | — | 74 | — | — | 78 | — | 34 |
| 33° | 96 | 91 | 86 | 89 | 87 | — | — | 74 | 77 | — | — | 78 | — | 74 |

Der Einfluß der Temperatur auf den rein hydrolytischen Abbau der Zellulose- und Eiweiß-Testschnüre bei pH 2,0 und in reinem Wasser.

Versuchsordnung: In mit destilliertem Wasser bzw. mit n/100 HCl gefüllte Glasampullen wurden 60 cm lange Zellulose- bzw. Eiweißtestschnüre gebracht und hierauf die Ampullen zugeschmolzen. Die reinen wäßrigen Systeme wurden während 15 Minuten bei 120° C im Autoklaven sterilisiert und nach dem Erkalten in Thermostaten von 100° C, 60° C, 37° C und 16° C gestellt. Die HCl-Proben wurden nicht hitzesterilisiert. Nach bestimmten Zeiten wurden Proben entnommen, mit destilliertem Wasser gewaschen und bei 20° C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit getrocknet und in der Meßapparatur zerrissen. Durch die 15 Minuten dauernde Sterilisation selbst wurde die AnfangsRF wie folgt erniedrigt:

in Wasser 120° C

Eiweiß von 11,4 kg auf 9,4 kg = 2,0 kg
 Zellulose von 11,7 kg auf 9,7 kg = 2,0 kg

Die nach der Sterilisation gemessenen Reißfestigkeiten wurden für die weiteren Versuche als Bezugsbasis = 100 gesetzt. Bei diesen Vorversuchen wurde damit die nicht strenge Vergleichbarkeit des weitem Abbautes zwischen den «HCl»- und «Wasser»-Versuchen in Kauf genommen. In nachstehender Tabelle werden die Resultate dieses Vorversuches zusammengestellt.

In n/100 HCl war bei 97° C die RF der Zellulose nach 6tägiger Hydrolyse derart klein, daß die aufgehängte nasse Testschnur beinahe unter dem eigenen Gewicht durchriß. Im Trockenzustand betrug die Reißfestigkeit weniger als 0,5 kg. Der RF-Verlust ist in den ersten 24 Stunden groß und wird vom 2. Versuchstag an zunehmend kleiner. Bei 60° C ist der in HCl n/100 erfolgte hydrolytische Abbau der Zellulose bedeutend kleiner als bei 97° C, erst nach 78 Tagen sinkt der ursprüngliche Wert der RF auf 41 %. Die reine Hydrolyse in Wasser gibt nur knapp außer-

Die Hydrolyse der Zellulose- und Eiweißtestschnüre in n/100 HCl, bzw. HOH von verschiedenen Konstanttemperaturen führt zu folgenden prozentischen Reißfestigkeitsverlusten:

Tab. 5

| Versuchszeit in Tagen | Reißfestigkeitsverluste in Prozenten | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-----------------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | Z - Testschnüre | | | E - Testschnüre | | | | | |
| | 97° C | 60° C | 37° C | 97° C | | 60° C | | 37° C | |
| | HCl | HCl | HCl | HCl | HOH | HCl | HOH | HCl | HOH |
| 1 | 62 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 ^{1/2} | 70 | 3 | — | 0 | 2 | 0 | 0 | — | — |
| 2 | 76 | — | — | 6 | 4 | — | — | — | — |
| 2 ^{1/2} | 81 | — | — | 23 | 8 | — | — | — | — |
| 3 ^{1/2} | 84 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 ^{1/2} | 88 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5 | 92 | — | — | 22 | 15 | — | — | — | — |
| 7 | 97 | — | — | 36 | 13 | — | — | — | — |
| 8 | 96 | 16 | — | 42 | 24 | — | — | — | — |
| 12 | 98 | — | — | 56 | 30 | — | — | — | — |
| 15 | — | — | — | 69 | 47 | 0 | 0 | — | — |
| 19 | — | — | — | — | — | 0 | 0 | — | — |
| 25 | — | 20 | 0 | 91 | 76 | 0 | 0 | — | — |
| 36 | — | 28 | 0 | 94 | 83 | 0 | 0 | — | — |
| 47 | — | 42 | 0 | 96 | 87 | 0 | 0 | — | — |
| 58 | — | 44 | 0 | — | — | 0 | 0 | — | — |
| 78 | — | 59 | 0 | — | — | 2 | 6 | 0 | 0 |

halb der Fehler meßbare RF-Verluste. Die RF-Verluste sind bei 60° C und 78tägiger Versuchsdauer unmeßbar klein, auch bei 97° C bewegen sich die RF-Abnahmen innerhalb des Fehlerbereiches der Messung. Bei Temperaturen von 37° C und weniger ließ sich sowohl in HCl n/100 als auch in Wasser kein RF-Verlust feststellen, so daß der Schluß erlaubt ist, daß in den Böden die reine pH-abhängige Hydrolyse auf den Zelluloseabbau ohne Einfluß ist. Der Abbau wird hier restlos durch biogene Mikroben-Fermente bewirkt.

Bei den Eiweiß-Testschnüren ist sowohl im HCl n/100 als auch in Wasser bei 97° C ein sehr starker Angriff zu beobachten; bei diesen Versuchen fällt die ursprüngliche RF nach 47 Tagen in n/100 HCl auf 4%, in Wasser auf 15% ab. Auffallend ist dagegen, daß bei 60° C der hydrolytische Eiweißabbau beim Seidenfibroin sowohl in HCl als auch in H₂O zu keinen meßbaren RF-Verlusten führt. Auch hier gilt daher, wie bei der Zellulose, daß unter den Temperaturverhältnissen des Bodens der Eiweißabbau nur biologisch-fermentativ erfolgt.

*Einige Abbauprobungen mit bestimmten
Pilz-Reinkulturen.*

In einem kurzen Vorversuch wurden einige Pilzkulturen auf ihre Fähigkeit zum Zellulose- und Eiweißabbau untersucht. Die Testschnüre wurden in die mit Pilzen beimpften Nährlösungen gelegt und nach 16 bzw. 35 Tagen im Reißapparat geprüft. Herrn Dr. S. Blumer sind wir für die Mithilfe dankbar.

Tab. 6 Zellulose- und Eiweißabbau durch Reinkulturen von Pilzen.

| | Reißfestigkeit in Prozent | | | |
|--|---------------------------|-----|---------|-----|
| | 16 Tage | | 35 Tage | |
| | Z | E | Z | E |
| <i>Null-Versuch</i> | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <i>Trichoderma viridis</i> (aus God del Fuorn, <i>Rhod.-Vacc. cembretosum</i> , Nationalpark) | 60 | 97 | 38 | 95 |
| <i>Acrostalagmus cinnabarinus</i> (aus Plan dala Posa, Nationalpark, <i>Mugeto-Rhod. hirs.</i>) | 98 | 93 | 76 | 90 |
| <i>Phoma RK II₁₇</i> (aus Plan dala Posa, <i>Pineto-Caricetum humilis</i> , Nationalpark) | nb | nb | 31 | 98 |
| <i>Geomyces RK₂</i> (aus God del Fuorn, Nationalpark, <i>Rhod.-Vacc. cembretosum</i>) | nb | nb | nb | 96 |

Trichoderma viridis und *Phoma RK II₁₇*, beides Pilze aus den Böden von Waldgesellschaften des Nationalparkes isoliert (s. o.), bauen Zellulose in Nährlösung rasch, Eiweiß etwas langsamer ab als *Acrostalagmus cinnabarinus*, der nach 16 Tagen Eiweiß stärker als Zellulose, nach 35 Tagen Zellulose stärker als Eiweiß abzubauen imstande ist. Von den untersuchten Pilzen baut dieser das Eiweiß am schnellsten ab.

Wird der Nährlösung weder N noch C zugegeben, dann vermag *Trichoderma viridis* weder Zellulose noch Eiweiß abzubauen, im Gegensatz zu *Acrostalagmus cinnabarinus*, der nach 35 Tagen die Reißfestigkeit der Zelluloseschnur auf 39 % und die der Eiweißschnur auf 94 % zu reduzieren vermochte. Dieser Pilz ist also imstande, Seidenfibroin als N-Quelle und zugleich die Viskoseseseide als C-Quelle zu benutzen.

d) Feldversuche (Versuchsanlage, Probenahme, Verarbeitung der Testkörper, Fehlermöglichkeiten).

In pflanzensoziologisch kennzeichnenden Wald- und Wiesengesellschaften mit typischen Bodenbildungen wird eine 50 cm breite und 3,0 m lange Versuchsfläche abgesteckt. In dieser muß die natürliche Lagerung des Bodens möglichst gewahrt bleiben. 80 cm breite Gräben, deren Tiefe sich nach der Zahl und Mächtigkeit der untersuchten Bodenhorizonte richtet, werden an beiden Längsseiten der abgesteckten Fläche ausgehoben. Durch diese vorbereitenden Arbeiten entsteht der sogenannte Versuchsbalken. In diesen werden mit 70 cm langen und 5 mm starken Stahlnadeln in den gewünschten Bodenhorizonten parallel zur Bodenoberfläche, senkrecht übereinander geordnet, Zellulose- und Eiweißschnüre eingezogen, die an nummerierten Holzleisten beidseitig des Versuchsbalkens angebunden und markiert werden. So entsteht das Reißtestprofil, das in jedem Versuchshorizont eine verwertbare Testschnur von 50 cm Länge hat. In horizontalen Abständen von 10 cm folgen sich diese Profile, alternierend zwischen Zellulose- und Eiweißschnüren. Je vier Profile werden für jede Versuchsetappe zusammengefaßt, also später zur selben Zeit entnommen und untersucht. In einer Versuchsperiode der Laubmischwälder wurden z. B. 6 Etappen gewählt. Der horizontale Abstand zwischen den Etappenprofilgruppen beträgt mindestens 20 cm (Bild 3).

Alle gut nummerierten Reißtestprofile (Aluminiumnummern) werden im Feldbuch notiert. Die Lage der Versuchsbalken wird in einer Situationsskizze festgehalten.

Das Schließen der ausgehobenen Seitengräben muß vorsichtig geschehen. Eine vollständige Rekonstruktion der natürlichen Lagerung des Bodens ist praktisch nicht mehr möglich. Die Erde wird schichtenweise in die Gruben zurückgelegt. Mischung von A_0 -Material mit solchem aus tieferen Bodenhorizonten ist zu vermeiden. An den Seitenflächen des Versuchsbalkens muß die Erde gut angepreßt werden, um übermäßigen Luftzutritt in den Boden zu verhindern.

Probenahme: Um die Testfäden aus dem Versuchsbalken zu entfernen, wird dieser von der Stirnseite her angegraben. Die einzelnen Schnüre werden sorgfältig herauspräpariert (vgl. Bild 2), in Papier gewickelt, angeschrieben und profilweise verpackt. Es ist nicht ratsam, die Testkörper seitlich herauszuziehen, da sie bei größerem Abbau leicht an Wurzeln und scharfen Gesteinskanten geschädigt werden. Während der Probenahme ist darauf zu achten, daß die Stirnwand vor den nächstfolgenden Proben, die in der nächsten Etappe zu ernten sind, mindestens 20 cm mächtig bleibt. Nach der Probenahme wird die Stirnseite wieder sorgfältig mit Erde aufgefüllt (vgl. oben).

Verarbeitung der Testschnüre: Im Laboratorium werden die Testschnüre sorgfältig in destilliertem Wasser gereinigt, von anhaftender Erde mit einem weichen Pinsel befreit und mindestens 12 Stunden in einem thermo- und feuchtigkeitskonstanten Raum von 20° C und 65 % rel. F. getrocknet. Es ist nicht nötig, die Schnüre vor dem Zerreißen zu entkeimen, vorausgesetzt, daß die Fäden gut ausgewaschen, rasch getrocknet und verarbeitet werden. Zur Bestimmung der Reißfestigkeit werden die Probeschnüre in 3 cm lange Stücke zerschnitten. Die Reißlänge beträgt 1 cm. Jede Testschnur gibt theoretisch 16 Reißproben.

Fehlermöglichkeiten: Es wurde vor Versuchsbeginn damit gerechnet, daß die Testschnüre eventuell durch höhere Bodentiere angefressen werden, und daß der Pilz- und Bakterienangriff ungleichmäßig über die ganze Testschnur erfolge, wodurch örtliche Schwächungen der Fasern entstünden. Die Erfahrungen im Felde haben die Bedenken entkräftet. Biologisch angegriffene Zellulose- und Eiweißtestschnüre zeigten bei mikroskopischen Untersuchungen in keinem Fall sog. Korrosionsfiguren, wie sie von Staudinger (30) bei Fischereinetzen festgestellt wurden. Wir führen dies hauptsächlich auf die Verschiedenheit des Fasermaterials und der angreifenden Lebewesen zurück. Die Fermente greifen in unsern Versuchen die Testfasern gleichmäßig an. Die Einzelreißwerte einer Testschnur weichen nicht stark vom arithm. Mittelwert ab, was aus dem mittleren Fehler des Mittels ersichtlich ist.

Zellulose- und Eiweißabbau.

Arithmetische Mittelwerte (M) gemessener Reißfestigkeiten und mittlerer Fehler des arithmetischen Mittels ϵ (M). Reißtestproben aus dem subalpinen Humuspodsol des *Rhod.-Vacc. extrasilv.* und aus dem sekundär verbrauchten Gebirgsweide-Boden des *Nard. strict. subalp.* «Alp Piscium», Airolo. (1. Etappe Juli bis August 1944).

Tab. 7

n = Zahl der Reißproben.

| Horizont cm | <i>Rhodoreto-Vacc. extrasilv.</i> | | | | | | Horizont cm | <i>Nardetum strict. subalp.</i> | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|----|----------------|--------|----|----------------|----------------------------------|---------------------------------|----|----------------|--------|----|----------------|
| | Zellulose | | | Eiweiß | | | | Zellulose | | | Eiweiß | | |
| | M | n | ϵ (M) | M | n | ϵ (M) | | M | n | ϵ (M) | M | n | ϵ (M) |
| A ₀ 0-1 | 5,3 | 28 | ± 0,4 | 10,0 | 32 | ± 0,1 | (b) A ₀ 0-1 | 1,3 | 13 | ± 0,5 | 8,7 | 29 | ± 0,3 |
| A ₁ ¹ 5-8 | 10,4 | 27 | ± 0,4 | 10,3 | 32 | ± 0,1 | (b) A ₅ ¹ | 4,4 | 25 | ± 0,5 | 9,7 | 32 | ± 0,3 |
| A ₁ ² 10-20 | 11,2 | 26 | ± 0,2 | 10,3 | 29 | ± 0,1 | (b) A ₁₀ ² | 5,8 | 30 | ± 0,6 | 10,1 | 33 | ± 0,1 |
| A ₂ 20-25 | 11,4 | 24 | ± 0,1 | 9,9 | 27 | ± 0,1 | (b) B-B ₂₅ | 8,8 | 25 | ± 0,5 | 10,4 | 35 | ± 0,1 |
| B _h 30 | 11,2 | 25 | ± 0,2 | 10,4 | 31 | ± 0,2 | (b) B-C ₄₀₋₄₅ | 10,6 | 18 | ± 0,2 | 10,0 | 37 | ± 0,2 |
| B _s 40 | 10,9 | 28 | ± 0,2 | 10,6 | 29 | ± 0,2 | | | | | | | |

Größer ist der Einfluß der längs des Versuchsbalkens ausgehobenen Erdgräben. Durch diese Seitengräben entstehen unmittelbar neben dem eigentlichen Versuchsbalken trotz aller Sorgfalt stark gestörte (gelüftete und mechanisch gemengte) Bodenpartien. Diese beeinflussen mehr oder minder die äußersten Randzonen der Versuchsprofile. Die in diese Randzonen verlegten Enden der Testschnüre werden daher für die Auswertung verworfen. Auf 50 cm Testschnurlänge kommen daher praktisch nur noch 10—12 Teilstücke — statt 16 — von 3 cm Länge.

Es ist notwendig, solche seitliche Gräben zu erstellen, weil nur so die Stahlnadeln an kontrollierbaren Stellen in die Bodenhorizonte eingezogen werden können. Durch Wurzeln und Skelettanteile werden die Nadeln beim Einstoßen häufig aus ihrer horizontalen Lage abgelenkt, so daß es mehrerer Versuche bedarf, bis die Testschnur in den gewünschten Horizont zu liegen kommt. Einstich und Ausstich der Nadel müssen überprüft werden können.

Dauer der Versuche: Man unterscheidet die kontinuierliche und diskontinuierliche Versuchsanordnung (vgl. Kap. e hiernach).

Die kontinuierliche Versuchsanordnung hat den Vorteil, daß die Einrichtung des Versuchsbalkens während einer Versuchsperiode nur einmal nötig ist. Für langfristige Versuchsperioden in biologisch aktiven Böden ist dieses Verfahren für Versuche über den Zelluloseabbau nicht empfehlenswert, da die Testkörper im Sommer innerhalb weniger Wochen abgebaut sind. In solchen Fällen ist die diskontinuierliche Versuchsanordnung anzuwenden. Sie hat den Nachteil, daß zu Beginn jeder Versuchsetappe ein frischer Versuchsbalken errichtet werden muß. Die erhaltenen Reißfestigkeitswerte sind jedoch beim diskontinuierlichen Versuch einfacher auswertbar, so daß wir diese Anordnung in den meisten Fällen anwendeten. Aus den in Kapitel b) besprochenen Gründen ist ein direkter Vergleich der Ergebnisse aus kontinuierlichen und diskontinuierlichen Versuchsanlagen unzulässig.

e) Die rechnerische Auswertung und Darstellung der im Gelände vorgenommenen Bestimmungen der biologischen Bodenaktivität.

Allgemeines.

Die im Gelände vorgenommenen Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf und die Intensität der bBA verteilen sich auf 4 Versuchsgruppen «a» bis «d». In den ersten drei Versuchsgruppen «a» bis «c» werden Böden kennzeichnender Wald- und Weidengesellschaften, in der vierten Gruppe «c» dagegen die Böden eines Düngungsversuches (Braunerde) unter Naturwiesen untersucht.

Versuchsgruppe «a»: Böden von Laubmischwäldern des schweizerischen Mittellandes:

1. *Querceto-Carpinetum aretosum*
2. *Querceto-Carpinetum luzuletosum helveticum*
3. *Querceto-Betuletum helveticum*

Versuchsgruppe «b»: Böden subalpiner Föhren-, Arven-Föhren- und Weidegesellschaften des Schweizerischen Nationalparks:

1. *Pineto-Caricetum humilis* (Plan dala Posa)
2. *Mugeto-Ericetum caricetosum humilis* (Plan dala Posa)
3. *Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum* (Plan dala Posa)
4. *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* (God dal Fuorn)
5. *Trisetetum flavescens* (Stavel Chod)

Versuchsgruppe «c»: Böden subalpiner Zwergstrauch- und Weidegesellschaften auf «Alp Piscium», Airolo:

1. *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum*
2. *Nardetum strictae subalpinum*

Versuchsgruppe «d»: Boden der Düngungsversuchsfläche «Rüteli» Roßberg/Kemppthal.

Als Maß für die bBA dient stets die Reißfestigkeitsabnahme der im Boden sorgfältig eingezogenen Zellulose- und Eiweißtestschnüre. Je größer der Reißfestigkeitsverlust in der Zeiteinheit ist, um so höher wird die bBA bewertet.

Aus methodischen Gründen wurden zwei verschiedene Versuchsanstellungen gewählt, die wir als kontinuierlich bzw. diskontinuierlich bezeichnen und die weiter unten kritisch besprochen werden.

Die kontinuierliche Versuchsanlage ist dadurch gekennzeichnet, daß die Testschnüre gesamthaft am Anfang der ganzen Versuchsperiode im Bodenprofil eingezogen werden. Die Versuchsperiode erstreckt sich stets über die ganze Vegetationszeit, meist sogar über ein ganzes Jahr. Während der Versuchsperiode werden in gewissen Zeitabständen die bei Versuchsbeginn dem Profil eingezogenen Testschnüre dem Boden entnommen und im Laboratorium weiter ausgewertet. Zwischen Versuchsbeginn t_0 und der ersten Probenahme (Zeit t_1), bzw. zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Probenahmen (zu den Zeiten t_{n-1} und t_n , usw.) liegen die sogenannten Versuchsetappen. Die ganze Versuchsperiode umfaßt also mehrere Versuchsetappen. Beim kontinuierlichen Versuch findet nur eine einmalige und zwar anfängliche Verlegung des Testmaterials statt. Bei jeder Etappe werden die zur Zeit t_0 verlegten Testschnüre dem Boden entnommen.

Die zweite Art der Versuchsanlage wird als diskontinuierlich bezeichnet. Stets zu Etappenbeginn, zuerst also zu Beginn der Versuchsperiode und hierauf stets neu bei jeder Probeentnahme, werden frische Testschnüre dem Boden eingezogen. Sie werden am Etappenende wieder herauspräpariert und im Laboratorium weiter untersucht.

Die auf die jeweiligen Versuchsetappen bzw. auf die gesamte Periode bezogenen RF-Verluste der beiden unterschiedenen Versuchsanlagen (kontinuierlich und diskontinuierlich) lassen sich aus physikalisch-chemischen Gründen nicht streng vergleichen, da sie bei konstant gehaltenem Zellulose- und Eiweißabbau (sinngemäß bei konstantbleibender biologischer Aktivität des Abbaumilieus) nicht linear mit der Zeit ansteigen (vgl. Kap. 1b).

Wenn immer möglich müssen die Testschnüre in kennzeichnende Schichten oder Horizonte des Oberbodens eingezogen werden. In vielen Fällen wurden mehrere analoge Bodenprofile im Parallelversuch studiert. Es ist daher wichtig, daß bei diesen Parallelversuchen die Testschnüre in vergleichbaren, d. h. analogen Horizonten vergraben wurden und daß die Versuchsetappen bei den Parallelversuchen zeitlich zusammenfallen.

So wurden beispielsweise in der vollreifen Braunerde des *Querceto-Carpinetum aretosum* des schweizerischen Mittellandes in verschiedenen Gegenden drei Bodenprofile zu Parallelversuchen verwendet. In allen drei Probeprofilen wurden die Testschnüre gleichzeitig verlegt und praktisch auch gleichzeitig geerntet.

Um den Umfang vorliegender, hauptsächlich methodisch orientierter Arbeit nicht unnötig zu vergrößern, wurden die zusammengehörigen Parallelwerte stets als Mittelwerte wiedergegeben. So stellen die Aktivitätswerte eines bestimmten angeführten Horizontes der vollreifen Braunerde z. B. stets das arithmetische Mittel mehrerer gleichwertiger Horizonte analoger Bodenprofile derselben Waldgesellschaft dar.

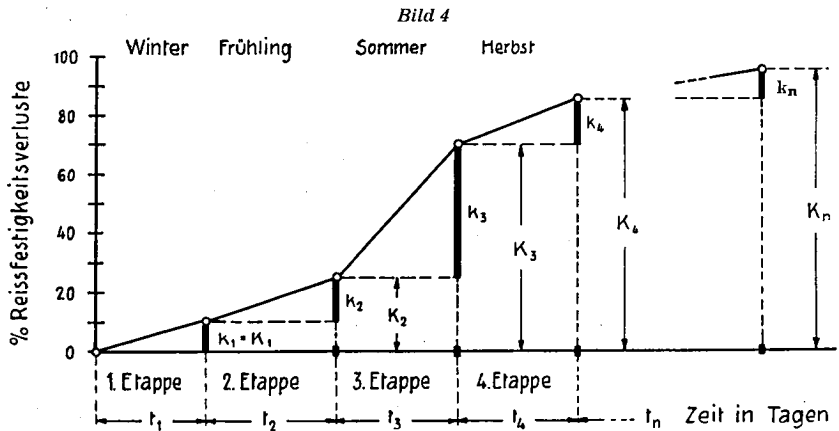
Bei der Entnahme der Testschnüre aus den Bodenprofilen — mindestens zwei je Profilhorizont und Versuchsfläche — werden bei nicht extremem Abbau 40—45 cm lange Schnüre erhalten. Diese werden mit dem oben beschriebenen Reißapparat in Stücken von je drei cm Länge quantitativ zerrissen. Aus den zahlreichen Probeschnüren der verschiedenen Parallelen resultieren daher 50—60 einzelne Reißwerte, die hierauf zum kennzeichnenden Mittelwert verrechnet wurden. Dieser Mittelwert ist Ausgangspunkt aller weiteren Berechnungen.

Rechnerische Auswertung bei sogenannter kontinuierlicher Versuchsanlage

Die Testschnüre werden nur einmal am Periodenanfang in bestimmte Horizonte des Bodenprofils eingezogen. Am Ende der ersten Versuchsetappe beträgt die Reißfestigkeitsabnahme K_1 , nach der zweiten Etappe K_2 , nach der n-ten Etappe K_n . Die zugehörigen Etappen sind durch die Zeitabschnitte (t_1 ; t_2 ; t_n) begrenzt. Die gesamte Periodendauer umfaßt die Summe aller Etappentage. In jeder einzelnen Versuchsetappe wird die

RF-Abnahme um einen für die jeweilige biologische Bodenaktivität kennzeichnenden Betrag größer. Der pro Etappe zu verzeichnende RF-Verlust ergibt die in der 3. Kolonne der Tab. 8 verzeichneten Werte: man vergleiche hierfür Bild 4.

Graphische Darstellung der Auswertung bei kontinuierlicher Versuchsanlage.



Tab. 8

Die RF-Verluste pro Einzeletappe und Horizont.

| Etappendauer in Tagen | Gemessener RF-Verlust seit Periodenbeginn | RF-Verlust pro Versuchsetappe |
|-----------------------|---|-------------------------------|
| t_1 | K_1 | $k_1 = K_1$ |
| t_2 | K_2 | $k_2 = K_2 - K_1$ |
| t_n | K_n | $k_n = K_n - K_{n-1}$ |

Die Etappen-Abbauwerte wachsen mit steigender biologischer Aktivität des Bodens und werden um so größer, je länger die Versuchsetappen sind. Soll die Abbaugeschwindigkeit oder die sogenannte Etappenaktivität dargestellt werden, so sind die k -Werte durch die Zahl der Etappentage zu dividieren.

$$\frac{k}{\text{Zahl der Etappentage}} = \text{Etappenaktivität} = E_k$$

Die mittlere Abbaugeschwindigkeit über die gesamte Versuchsperiode ergibt sich durch folgenden Ausdruck:

$$\frac{K_n}{\text{Zahl der Periodentage}} = \text{Periodenaktivität} = P_k$$

*Rechnerische Auswertung bei sogenannter
diskontinuierlicher Versuchsanlage*

Die Testschnüre werden zu Beginn jeder Versuchsetappe frisch ins Bodenprofil eingezogen. In jeder Etappe besitzen anfänglich die Zellulose- und Eiweißtestschnüre die initiale AnfangsRF = relativ 100. Die nach der Versuchsetappe festgestellten RF-Abnahmen werden daher durch die indizierten Buchstaben $d_1, d_2 \dots d_n$ wiedergegeben. Sie besitzen, wie bereits weiter oben dargelegt, andere absolute Zahlenwerte als beim zeitgleichen kontinuierlichen Versuch.

Die auf die Zeiteinheit (ein Tag) bezogenen Werte des Etappenabbaues berechnen sich wie in Tab. 9 angegeben (vgl. Bild 5).

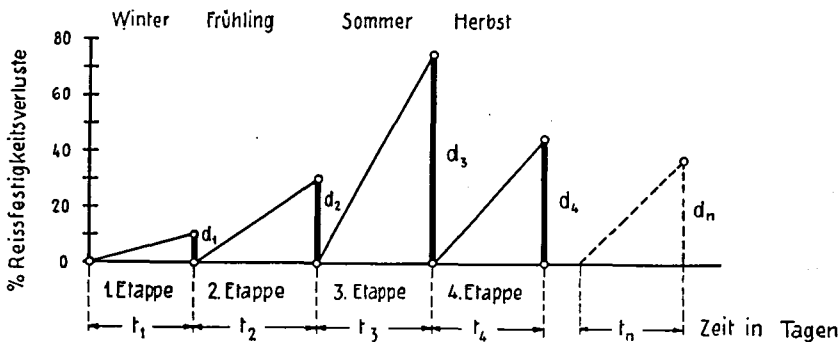
**Die RF-Verluste pro Einzelstufe bei diskontinuierlicher
Versuchsanlage.**

Tab. 9

| Etappendauer t in Tagen | Gemessener RF-Verlust je Etappe d | Etappen- aktivität E_d | Periodenaktivität P_d |
|------------------------------|---|-----------------------------|---|
| t_1 | d_1 | $d_1 : t_1 = E_{1d}$ | $\frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n} = P_d$ |
| t_2 | d_2 | $d_2 : t_2 = E_{2d}$ | |
| t_3 | d_3 | $d_3 : t_3 = E_{3d}$ | |
| t_n | d_n | $d_n : t_n = E_{nd}$ | |

Graphische Darstellung der Auswertung bei diskontinuierlicher
Versuchsanlage.

Bild 5

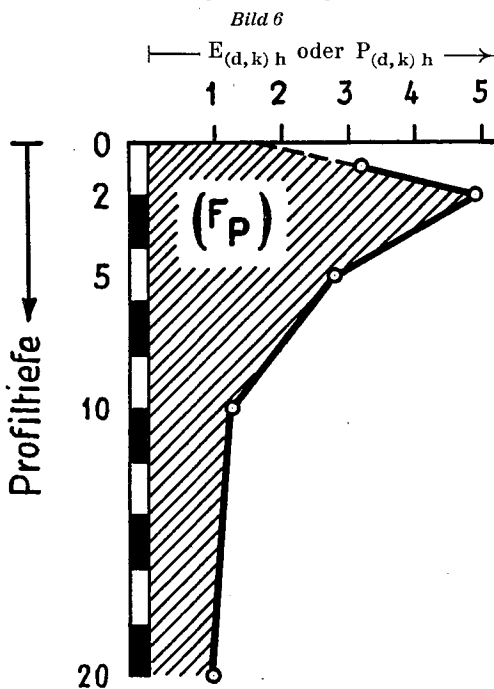


*Die graphische Darstellung der biologischen
Aktivität des Bodenprofils*

Die biologische Aktivität des Bodens ist im Oberprofil am größten, der Oberboden ist am tätigsten, im Unterboden nimmt die biologische Aktivität rasch ab.

In der graphischen Darstellung der Meßergebnisse werden auf der Ordinate die Bodentiefen vermerkt, in denen die biologischen Aktivitäten gemessen wurden, auf der Abszisse sind die Etappen- bzw. die Periodenaktivitäten aufgetragen. Bild 6 diene hierfür als Beispiel.

Profilmäßige Darstellung der biologischen Bodenaktivität.



Die sog. Profilaktivität je Versuchsetappe E_p bzw. je Versuchsperiode P_p berechnet sich aus der in Bild 6 dargestellten schraffierten Aktivitätsfläche über den gesamten untersuchten Profilschnitt.

In jeder Versuchsgruppe «a» bis «d» mißt man die bBA für Vergleichszwecke vorteilhaft an der bBA des inaktivsten Bodens. So besitzt beispielsweise unter den drei verglichenen Laubwald-Gesellschaften (Versuchsgruppe «a»)

- Q.-Carpinetum aretosum*
- Q.-Carpinetum luzuletosum*
- Q.-Betuletum*

die letztgenannte den biologisch untätigsten Boden. An dessen bBA werden die andern verglichen. Man spricht dann von der sog. relativen Profilaktivität und versteht darunter die Vergleichszahl, die angibt, wieviel mal größer die bBA in der Gesellschaft Y gegenüber der Bezugsgesellschaft X während einer bestimmten Etappe bzw. während der ganzen Periode ist. Unter Umständen ist es nötig, die relativen Bodenaktivitäten nicht für den gesamten Profilabschnitt, sondern horizontweise zu vergleichen. Wir bezeichnen diese Vergleichswerte als relative Horizontaktivitäten. Nachstehende Uebersicht erleichtert das Verständnis:

Die Berechnung der relativen (Vergleichs-) Aktivitäten in der Versuchsgruppe «a» (Laubmischwaldgesellschaften, Braunerdevarietäten).

Die Böden des *Q.-Betuletum* sind am untätigsten. Sie dienen als Bezugsbasis für die Böden der beiden andern Laubwaldgesellschaften.

| | | |
|---|---|--|
| 1. Relative Etappenaktivität des Profils « <i>Q.-Carpinetum aretosum</i> » | = | $\frac{E_{dp} (Q.-C. aret.)}{E_{dp} (Q.-Betuletum)}$ |
| 2. Relative Periodenaktivität des Profils « <i>Q.-Carpinetum aretosum</i> » | = | $\frac{P_{dp} (Q.-C. aret.)}{P_{dp} (Q.-Betuletum)}$ |
| 3. Relative Etappenaktivität des Horizontes x « <i>Q.-Carpinetum aretosum</i> » | = | $\frac{E_{dh} (Q.-C. aret.)}{E_{dh} (Q.-Betuletum)}$ |
| 4. Relative Periodenaktivität des Horizontes x « <i>Q.-Carpinetum aretosum</i> » | = | $\frac{P_{dh} (Q.-C. aret.)}{P_{dh} (Q.-Betuletum)}$ |

In welcher Jahreszeit ist die bBA eines bestimmten Versuchsbodens am größten, wie ändert sie sich innert den verschiedenen Jahreszeiten? Diese Vergleiche werden an den Böden ein und derselben bestimmten Gesellschaft angestellt. Die mittlere Periodenaktivität des Profils (P_p) (oder des Horizontes P_h) x wird dabei als Basis für den Vergleich der jeweiligen Etappenaktivitäten herangezogen. Die erhaltenen Vergleichswerte beantworten beispielsweise die Frage: Wieviel mal größer oder kleiner ist die Etappenaktivität über die Sommermonate als die mittlere Periodenaktivität, die ja definitionsgemäß einen Mittelwert über alle Etappen darstellt? Die Berechnung dieser Vergleichszahlen geht aus nachstehender Uebersicht hervor:

Berechnung der sog. relativen Etappenwerte
(diskontinuierlicher Versuch = d)

| | | |
|---|---|-------------------------|
| 1. Relativer Etappenwert des Profils (p) | = | $\frac{E_{dp}}{P_{dp}}$ |
| 2. Relativer Etappenwert des Horizontes (h) | = | $\frac{E_{dh}}{P_{dh}}$ |

Analog berechnen sich die Vergleichswerte für die kontinuierliche Versuchsanlage, die durch den Index k gekennzeichnet wird.

2. Der Streueabbau.

a) Problemstellung.

Bei gleichbleibender bBA ist die Abbaubereitschaft der Streue einzelner Holzarten sehr verschieden. Z. B. im *Querceto-Carpinetum aretosum* wird Ulmen- und Schwarzerlenstreue in wenigen Wochen, Stieleichen- und Buchenstreue dagegen erst nach Monaten abgebaut. Die Abbaugeschwindigkeit der Streue hängt außer von ihrer Provenienz von der bBA ab, die sich mit den Standortsgegebenheiten ändert (Höhenlage, Orographie, Klima, Bodenverhältnisse). Auch forstliche Maßnahmen zeigen ihre Rückwirkung auf den Streueabbau. Reine Nadelholzkulturen haben manche Standorte verschlechtert und den Streueabbau abgeschwächt. Die forstlich bedeutsame Frage nach der Verbesserungsmöglichkeit solcher Standorte ist z. B. von Krauß (10/11) und Mitarbeitern sowie von Wittich (38) bearbeitet worden.

Der Abbau einzelner Streuearten desselben Standortes sowie von Streueproben derselben Holzart verschiedener Wuchsgebiete wurde schon mehrfach untersucht. Wittich (39) z. B. wählte für seine Versuche einen Geschiebemergelboden mit geringer Sanddecke. Für eine Versuchsreihe stammt die Streue von Standorten derselben geologischen Unterlage, während für eine zweite Versuchsreihe Streue derselben Holzart aus Standorten mit verschiedenem geologischem Untergrund untersucht wurde. Die Streue wird von Wittich nach Holzarten getrennt, in Holzrahmen auf den Boden gelegt. Nõmmik (18) untersucht den Streueabbau der wichtigsten estländischen Holzarten, indem die Blätter in Park- und Waldbeständen gesammelt und unter Eichen auf kurzgeschnittenem Rasen in feinmaschigen Drahtsäcken z. T. getrennt nach Holzarten, z. T. als Gemisch von Laub- und Nadelstreue, dem Abbau ausgesetzt werden.

Um forstliche Standorte zu charakterisieren, ist es wünschenswert, Angaben über den Abbau der vorhandenen Bestandesstreue zu erhalten. Namentlich zur besseren Kenntnis der Aktivitätsverhältnisse in Böden natürlicher Waldgesellschaften können Untersuchungen über den Streueabbau der standortsgemäßen Holzarten wertvolle Anhaltspunkte geben. Es ist dabei möglich, den Einfluß bestimmter Holzarten auf die Rohhumusbildung zu verfolgen, ein Einfluß, der je nach Waldgesellschaft und Bodenverfassung verschieden groß ist. In den verschiedenen Waldgesellschaften des schweizerischen Mittellandes (*Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*) können große Unterschiede in der Streueabbau-Geschwindigkeit festgestellt werden. Nachdem Etter (6 bes. S. 102 bis 106) bereits über die Streue dieser Gesellschaften einige allgemeine Beobachtungen mitteilte, soll durch unsere Versuche der Laubabbau der natürlichen Holzarten übers Jahr nach dem herbstlichen Blattfall untersucht werden. Da in allen Versuchsbeständen die Buche künstlich eingebracht wurde, mußte auch ihr Laub einbezogen werden. Die Fragestellung lautet: Wie groß ist die Abbaugeschwindigkeit der verschiedenen,

den Boden in natürlicher Lagerung deckenden Laubstreu in den kennzeichnenden Laubwaldgesellschaften des schweizerischen Mittellandes? Von der Beantwortung erhofft man einen Beitrag zur Standortkenntnis.

b) Versuchsmethode.

Die Abbauversuche wurden vorerst ausschließlich im Gelände durchgeführt. Das im Herbst gefallene Laub kann aber in seiner natürlichen Lagerung nicht zu quantitativen Abbauversuchen verwendet werden, weil an den Blättern stets Erde klebt, die die Bestimmung der Ausgangsgewichte erschwert. Die Versuchsstreue wurde nach Holzarten im Bestande gesammelt; bei Versuchsbeginn standen daher nur frische Blätter zur Verfügung. Die verwendeten Blattmengen entsprechen angenähert den natürlichen Verhältnissen. Durch Blattauszählungen auf einigen m² Bodenoberfläche des Einzelbestandes konnten Anhaltspunkte hierfür ermittelt werden. Da gemäß Problemstellung in den verschiedenen Waldgesellschaften der Abbau der «natürlich» gemischten Streue untersucht werden soll, sind die Ausgangsgewichte der einzelnen Streuearten pro m² verschieden. Aus demselben Grunde sind im *Q.-C. aretosum*, im *Q.-C. luzuletosum* und im *Q.-Betuletum* auch nicht dieselben Gesamtstreuemengen und nicht die gleichen Holzarten untersucht worden.

Zusammenstellung der Holzarten und der Ausgangsgewichte für den Streueabbauversuch im *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*. Versuchsperiode November 1941 bis Dezember 1942. (Die kursiv gedruckten Holzarten sind in allen Versuchsflächen verfolgt worden.)

Tab. 10

| <i>Q.-C. aretosum</i> | | <i>Q.-C. luzuletosum</i> | | <i>Q.-Betuletum</i> | |
|--|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Holzart | Einwaage Trocken- gewicht g | Holzart | Einwaage Trocken- gewicht g | Holzart | Einwaage Trocken- gewicht g |
| <i>Quercus robur</i> . . | 97 | <i>Quercus robur</i> } | 135 | <i>Quercus petraea</i> . | 99 |
| <i>Carpinus betulus</i> . | 63 | <i>Quercus petraea</i> } | | <i>Carpinus betulus</i> . | 25 |
| <i>Populus tremula</i> . | 41 | <i>Carpinus betulus</i> . | 85 | <i>Populus tremula</i> . | 66 |
| <i>Fagus sylvatica</i> . . | 33 | <i>Populus tremula</i> . | 79 | <i>Fagus sylvatica</i> . . | 68 |
| <i>Betula pendula</i> . . | 14 | <i>Fagus sylvatica</i> . . | 107 | <i>Betula pendula</i>). | 36 |
| <i>Alnus glutinosa</i> . | 27 | <i>Betula pendula</i> . . | 17 | <i>Frangula Alnus</i> . . | 24 |
| <i>Ulmus scabra</i> . . | 22 | <i>Prunus avium</i> . . | 15 | | |
| <i>Fraxinus excelsior</i> | 44 | <i>Tilia cordata</i> . . | 57 | | |
| <i>Prunus avium</i> . . | 30 | <i>Acer campestre</i> . . | 30 | | |
| <i>Acer pseudo-</i> <i>platanus</i> . . . | 26 | | | | |

Unter $60 \times 60 \times 10$ cm große, geschwärzte Drahtgitter von 2,0 cm Maschenweite wurde in gleichmäßiger Mischung in 6 Versuchsflächen für je 6 Probenahmen die im Bestande gesammelte Laubstreue gelegt. Von analogen Streueproben wurden sofort im Laboratorium die Trockengewichte bestimmt. Da im *Q.-Betuletum* und auch teilweise im *Q.-C. luzuletosum* die Jahresproduktion an Laubstreue im folgenden Jahr nicht vollständig abgebaut wird, mußte das auf die Versuchsfläche frisch gefallene Laub sorgfältig von der ältern, d. h. mehr als einjährigen Auflagestreue getrennt werden. Auf diese wurde ein Fischernetz von 4,0 cm Maschenweite ausgebreitet, damit bei allen Probenahmen die Probestreue quantitativ geerntet werden konnte. Da im *Q.-C. aretosum* die Streue alljährlich abgebaut wird, durfte das Versuchslaub direkt auf den Mineralboden gelegt werden. Lockergewirkte Spaliergaze, die über die Drahtgitter gelegt wurde, verhinderte während des sommerlichen Laubfalles, daß kleinere Blätter durch die Maschen des Gitters zur Probestreue gelangen konnten. Die Zeiten der Probenahmen fallen mit denjenigen des Reißtestes zusammen. Aus arbeitstechnischen Gründen mußte der Streueversuch ungefähr vier Wochen früher angelegt werden als der Reißtest. Es war möglich, für den Streueversuch am Ende der Versuchsperiode eine sechste Ernte durchzuführen, die beim Reißtest nicht mehr möglich war (Tab. 11).

Streueabbau.

Gliederung der Versuchsperiode (November 1941 bis Dezember 1942) in Versuchsetappen, Zeiten der Probenahmen.

| | <i>Q.-C. aretosum</i> | <i>Q.-C. luzuletosum</i> | <i>Q.-Betuletum</i> |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| Versuchsanlage | 13. 11. 41 | 14. 11. 41 | 17. 11. 41 |
| 1. Etappe { Probenahme | 18. 3. 42 | 20. 3. 42 | 21. 3. 42 |
| t_1 | 125 | 126 | 124 |
| 2. Etappe { Probenahme | 3. 6. 42 | 6. 6. 42 | 6. 6. 42 |
| t_2 | 77 | 78 | 77 |
| 3. Etappe { Probenahme | 2. 8. 42 | 1. 8. 42 | 9. 8. 42 |
| t_3 | 60 | 56 | 64 |
| 4. Etappe { Probenahme | 28. 9. 42 | 30. 9. 42 | 26. 9. 42 |
| t_4 | 57 | 60 | 48 |
| 5. Etappe { Probenahme | 9. 11. 42 | 12. 11. 42 | 13. 11. 42 |
| t_5 | 42 | 43 | 48 |
| 6. Etappe { Probenahme | | 30. 12. 42 | 29. 12. 42 |
| t_6 | | 48 | 46 |
| (t) $t_1 - t_{5/6}$ | 361 Tage | 410 Tage | 407 Tage |

Die Probenahme: Das um das Gitter gefallene Laub wurde entfernt und die Versuchsprobe sorgfältig in einen Stoffsack gebracht. Im Laboratorium wurden die Blätter nach Holzarten sortiert, ausgezählt, gereinigt, während 6 Stunden bei 60°C getrocknet und hierauf gewogen.

Die Proben wurden pulverisiert und in Flaschen abgefüllt, um bei den später durchzuführenden chemischen Analysen als Ausgangsmaterial zu dienen.

Die Auswertung: Aus den Trockengewichten wird der Gewichtsverlust in Prozenten des Ausgangstrockengewichtes berechnet (Tab. 10). Die prozentischen Gewichtsverluste der einzelnen Streuearten werden unter sich etappenweise verglichen (Tab. 27/28/29).

Zur allgemeinen Charakterisierung der Standorte wird die Summe aller Gewichtsverluste je Waldgesellschaft etappenweise in Prozenten der betreffenden Ausgangsmenge ausgerechnet, graphisch dargestellt und verglichen (Tab. 30, Bild 14).

II. Vergleichende Untersuchungen über die biologische Tätigkeit der Böden verschiedener Wald- und Rasengesellschaften der Schweiz.

1. Versuchsgruppe «a»: Braunerdeserie der Laubwälder des schweizerischen Mittellandes.

a) Allgemeines und Standortsübersichten.

In den letzten Jahren sind einige kennzeichnende Gesellschaften der Laubwälder des schweizerischen Mittellandes pflanzensoziologisch und bodenphysikalisch durch H. Etter (6) untersucht worden. Als Beitrag zur Kenntnis der bBA-Verhältnisse im *Q.-C. aretosum*, im *Q.-C. luzuletosum* und im *Q.-Betuletum* werden in vorliegender Versuchsgruppe «a» aus den von Etter beschriebenen Gesellschaften möglichst typische Einzelbestände ausgewählt und mit Hilfe der sogenannten Z- und E-Reißtestmethode bzw. des Streueabbaues untersucht.

Übersicht über die untersuchten Standorte der Laubwälder.

Tab. 12

| Waldgesellschaft | Lokalität | Anzahl der Versuchsbalken |
|---|--|---------------------------|
| <i>Querceto-Carpinetum aretosum</i> . | Gde. Oberurdorf b. Zürich | 1 |
| <i>Querceto-Carpinetum aretosum</i> . | Gde. Kreuzlingen (Kt. Thg.) | 2 |
| <i>Querceto-Carpinetum luzuletosum helveticum</i> | Gde. Stetten im Reußtal (Kt. Aarg.) | 1 |
| <i>Querceto-Betuletum helveticum</i> . | Gde. Buch, Irchelplateau (Kt. Zch.) | 1 |
| <i>Querceto-Betuletum helveticum</i> . | Gde. Lengnau, Schneisingerplateau (Kt. Aargau) | 2 |

Die näheren Standortsbeschreibungen sind nachstehend zusammengefaßt:

- α) Waldgesellschaft: *Querceto-Carpinetum aretosum* = Aronstabreicher Eichen-Hagebuchenwald.
 Lokalität: Gde. Oberurdorf b. Zürich. Top.-Atl. 160, Koord. 675 900/247 900, 550 m ü. M., S-Teil des Waldkomplexes «Hau», im «Kleibersmätteli», W der Straße Uitikon-Schlieren. Neigung 9—15 %; Exposition WSW.
 Klimadaten des Jahres 1942¹: 935 mm (1072 mm)² N; 73 % (77 %) rel. F.; 8,8° (8,8°) C m. Jahrestemperatur.
 Muttergestein: Grundmoräne der letzten Vergletscherung als sedimentäres Mischgestein.
 Serien-Untertyp: Vollentwickelte reife Braunerde.
 Bodenvarietät: Tiefgründige, tonreiche, neutral reagierende, vollreife Braunerde; stabile, grobe, eher dichtgelagerte Krümel; gut entwickeltes Bodengefüge; hohe biologische Bodenaktivität und tiefreichende zoogene Profildurchwühlung. Kolloid geformter, hemorganisch innig gemengter, koprogener Mullhumus (G₁/U₂/F_{2b}/M_{1b}) (7 bes. S. 286—288) von 40—60 cm Mächtigkeit. CaCO₃-Grenze in 60—65 cm Tiefe, ohne Grundwassereinfluß.
 Untersuchte Horizonte: 0—1/2/5/10 und 20 cm = 5 Horizonte des Oberbodens.
 Versuchsdauer: 12. Dezember 1941 bis 9. November 1942 = 332 Tage.
- β) Waldgesellschaft: *Querceto-Carpinetum aretosum* = Aronstabreicher Eichen-Hagebuchenwald.
 Lokalität: Gde. Kreuzlingen, Kt. Thurgau. Top.-Atl. 60, Koord. 730912/277 725, 470 m ü. M., NE-Ecke des Staatswaldes Kreuzlingen, im «Möösli», ca. 225 m NW Pt 472 der Kantonsstraße Lengwil-Kreuzlingen. Neigung 12—15 %; Exposition NE.
 Klimadaten des Jahres 1942³: 877 mm (914 mm) N; 77 % (79 %) rel. F.; 8,0° (8,4°) C m. Jahrestemperatur.
 Muttergestein: Rheingletscher — Grundmoräne der letzten Vergletscherung (Würm).
 Serien-Untertyp: Vollentwickelte, reife Braunerde.
 Bodenvarietät: Tiefgründige, relativ tonarme, neutral reagierende, vollreife Braunerde mit stabilen, relativ locker gelagerten Krümeln und gutem Sekundärgefüge. Wurm- und Mäusgänge bis in 100 cm Tiefe; intensive Bodenschichtendurchmischung und hohe biologische Bodenaktivität. Kolloid geformter, hemorganisch innig gemengter, koprogener Mullhumus (G₁/U₂/F_{2b}/M_{1b}) von 30—60 cm Mächtigkeit. Deutliche CaCO₃-Grenze in 90—100 cm, reich an feinem Skelettmaterial. Kein Grundwassereinfluß.
 Untersuchte Bodenhorizonte: 0—1/2/5/10 und 20 cm = 5 Horizonte des Oberbodens.
 Versuchsdauer: 19. Dezember 1941 bis 10. November 1942 = 326 Tage.
- γ) Waldgesellschaft: *Querceto-Carpinetum luzuletosum helveticum* = schweizerische Variante des hainsimsenreichen Eichen-Hagebuchenwaldes.
 Lokalität: Gde. Stetten im Reußtal, Kt. Aargau. Top.-Atl. 155, Koord. 666 250/249 600, 415 m ü. M., zwischen Stetten und Künten, flacherer NW-Teil des «Thalhau», ca. 450 m SE Pt 404. Neigung 15—22 %; Exposition NE.

¹ Beobachtungsstation «Zürich» der M. Z. A. in Zürich.

² In (...) = langjährige Mittelwerte.

³ Beobachtungsstation «Kreuzlingen» der M. Z. A. in Zürich.

Klimadaten des Jahres 1942¹: 861 mm (1024 mm) N; 77% (77%) rel. F.; 8,6° (8,5°) C Jahrestemperatur.

Muttergestein: Reuß-Wallmoräne der letzten Vergletscherung (= Würm).

Serien-Untertyp: Schwach podsolige Braunerde.

Bodenvarietät: Tiefgründige, skelettreiche, sandig-lehmige, versauerte, schwach podsolige Braunerde mit locker gelagerten, unechten, instabilen Krümeln und labilem Gefüge. Beschränkte zoogene Durchwühlung. Dem oberen Mineralerde-Verwitterungshorizont aufgelagerter grobkörniger, holorganisch-schütterer, saurer Rohhumus ($G_2/U_1/F_{1a}/M_{2a}$) von 3–5 cm Mächtigkeit und taschenartigen Vertiefungen bis zu 10 cm. $CaCO_3$ -freie Feinerde bis in 150 cm Tiefe. Kein Grundwassereinfluß. Untersuchte Horizonte: 0–1/2/5/10 und 20 cm = 5 Horizonte des Oberbodens. Versuchsdauer: 15. Dezember 1941 bis 12. November 1942 = 331 Tage.

- d) Waldgesellschaft: *Querceto-Betuletum helveticum* = Eichen-Birkenwald der Nordschweiz.

Lokalität: Gde. Buch, Kt. Zürich. Top.-Atl. 27, Koord. 688 125/266 100. 690 m ü. M., SE-Teil des Irdelplateaus, ca. 125 m NE Pt 696. Neigung ca. 5%; Exposition ENE. Klimadaten des Jahres 1942²: 1083 mm (1131 mm) N; 86% (79%) rel. F.; 8,0° (8,2°) C m. Jahrestemperatur.

Muttergestein: Höherer Deckenschotter der ersten Eiszeit (Günz).

Serien-Untertyp: Leicht podsolierte Braunerde.

Bodenvarietät: Mittelgründige, sandig-lehmige, skelettarme, lockere, leicht podsolierte Braunerde mit unechten, leicht zerstörbaren Krümeln und primitivem Gefüge. Fehlende zoogene Bodenschichten-Mischung, geringe biologische Aktivität. Dem oberen Mineralerdeverwitterungshorizont aufgelagerter grobblättriger bis grobkörniger, schütterer, holorganischer Rohhumus ($G_2/U_1/F_{1a}/M_{2a}$) von 4–6 cm Mächtigkeit und taschenartigen Vertiefungen bis zu 10 cm.

Untersuchte Horizonte: 0–1/2/5/10 und 20 cm = 5 Horizonte des Oberbodens. Versuchsdauer: 16. Dezember 1941 bis 16. November 1942 = 335 Tage.

- e) Waldgesellschaft: *Querceto-Betuletum helveticum* = Eichen-Birkenwald der Nordschweiz.

Lokalität: Gde. Lengnau, Kt. Aargau. Top.-Atl. 37, Koord. 667 950/265 400. 590 m ü. M., 125 m NE der Straße 3. Kl. Schneisingen-Vogelsang, auf der Höhe «Im Kuhboden». Neigung 10–15%; Exposition SW.

Klimadaten des Jahres 1942³: 861 mm (1024 mm) N; 77% (77%) rel. F.; 8,6° (8,5°) C m. Jahrestemp.

Muttergestein: Höherer Deckenschotter der ersten Eiszeit (Günz).

Serien-Untertyp: Leicht podsolierte Braunerde.

Bodenvarietät: Mittelgründige, lehmige, im Oberboden skelettarme, lockere, leicht podsolierte Braunerde mit falschen, d. h. instabilen Krümeln und primitivem Gefüge. Im Unterboden von 60–80 cm verhärtete skelettreiche Schicht. Fehlende zoogene Durchwühlung, kleine biologische Aktivität. Dem Profil aufgelagerter 5–8 cm mächtiger, mittelblättriger bis grobkörniger, durch Pilzhyphen verfilzter, holorganischer Rohhumus ($G_2/U_1/F_{1b..}/M_{2a-4b}$) aus halbzersetzten Buchen- und Traubeneichenblättern.

Untersuchte Horizonte: 0–1/2/5/10 und 20 cm = 5 Horizonte des Oberbodens. Versuchsdauer: 22. Dezember 1941 bis 11. November 1942 = 324 Tage.

¹ Beobachtungsstation «Baden» der M. Z. A. in Zürich.

² Beobachtungsstation «Winterthur» der M. Z. A. in Zürich.

³ Beobachtungsstation «Baden» der M. Z. A. in Zürich.

Tab. 13 orientiert über die Unterteilung der Versuchsperiode in Versuchsetappen und über den Zeitpunkt der Probenahmen.

Zellulose- und Eiweißabbau innerhalb der Laubwälder. Gliederung der Versuchsperiode
Tab. 13 in Versuchsetappen, Zeiten der Probenahme.

| | <i>Q.-C. aretosum</i> | <i>Q.-C. luzuletosum</i> | <i>Q.-Betuletum</i> |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| Versuchsanlage | 15. 12. 41 | 15. 12. 41 | 19. 12. 41 |
| 1. Etappe { Probenahme | 18. 3. 42 | 16. 3. 42 | 21. 3. 42 |
| t_1 | 93 | 91 | 92 |
| 2. Etappe { Probenahme | 3. 6. 42 | 8. 6. 42 | 6. 6. 42 |
| t_2 | 77 | 84 | 77 |
| 3. Etappe { Probenahme | 2. 8. 42 | 30. 7. 42 | 9. 8. 42 |
| t_3 | 60 | 52 | 64 |
| 4. Etappe { Probenahme | 28. 9. 42 | 29. 9. 42 | 27. 9. 42 |
| t_4 | 57 | 61 | 49 |
| 5. Etappe { Probenahme | 9. 11. 42 | 12. 11. 42 | 14. 11. 42 |
| t_5 | 42 | 43 | 48 |
| (t) $t_1 - t_5$ | 329 Tage | 351 Tage | 350 Tage |

b) Zellulose- und Eiweißabbau bzw. Streueabbau in der vollentwickelten Braunerde des Querceto-Carpinetum aretosum.

Die untersuchten Waldbestände in Oberurdorf und Kreuzlingen entsprechen nach den floristischen Aufnahmen von Etter (6 bes. Vegetationstabelle Nr. 1 des Anhangs, Aufnahmen 19 und 81) der normalen Ausbildung des *Q.-C. aretosum*.

Das tiefgründige, vollreife Braunerdeprofil reagiert vom Muttergestein bis zum biogenen Anteil des Oberbodens neutral bis schwach sauer. Der tonige Lehm bedingt an sich ein großes Wasserbindevermögen und eine relativ kleine Luftkapazität. Diese veranlagungsmäßig vorhandenen ungünstigen Bodeneigenschaften kommen aber im Oberboden wegen der hohen bBA und des Gehaltes an günstigem Mullhumus nicht zur Auswirkung. Es ist dies für die vollreife Braunerde des *Q.-C. aretosum* kennzeichnend. Der Mullhumus klingt nach tieferen Bodenhorizonten in 40—50 cm allmählich aus und geht diffus in den mineralischen Untergrund über. Der eigentliche Mullhorizont des Oberbodens mit 4—12 % Humusstoffen schwankt zwischen 1—10 cm Tiefe (Bild 8). Die vorliegende Humusform ist typisch ausgebildet und für die günstigen Gefügeeigenschaften in erster Linie verantwortlich. Sie weist schon morphologisch auf große bBA hin, die sich auch aus den eigentlichen Versuchen wiedergibt. Im tonreichen Untergrund fehlen die humusverlagernden und gefüge-

lockernden Würmer und Mäuse. Die räumliche Lagerung der Boden-
vielfachteilchen wird dichter, die Porenweiten verengern sich; Tonver-
lagerungen fehlen.

Der Tongehalt des Bodens von Oberurdorf ist etwas höher als die
von Etter angegebene Norm für das *Q.-C. aretosum*. Die hohe bBA, be-
sonders die intensive Wühlarbeit höherer Bodentiere, lockert ihn und
vermengt ihn mit dem Mullhumus des Oberbodens. Das stabile, boden-
physikalisch günstig wirkende Bodengefüge bleibt als Kennzeichen der
Standorte des *Q.-C. aretosum* erhalten.

Der Boden in Kreuzlingen ist lehmiger. Die zahlreichen CaCO_3 -hal-
tigen, feinen Skelettanteile hemmen die Ton- und Humusentbasung im
Oberboden. Die pH-Reaktion bleibt neutral (6 bes. S. 109 und 112).

Die oekologischen Besonderheiten der Standorte des *Q.-C. aretosum*
ergeben sich hauptsächlich aus der hohen bBA, dem Tonreich-
tum der Böden und dem Einfluß der Vegetation auf die Bodenbildung:
die im Bodenprofil durch hohen Tongehalt mögliche große Wasserbin-
dung wird dank der lockernden, intensiven und tiefgehenden Mischung
von Mullhumus und Ton ungefährlich. Es entsteht ein Sekundär-
gefüge mit hoher Krümelstabilität. Auch die Wurzeln der Baum-,
Strauch- und Krautvegetation wirken gefügelockernd. Die sogenannten
Vielfachteilchen (zusammengelagerte Krümel [7 bes. S. 276/277]) wer-
den durch feine Saugwurzeln zusammengehalten. Das Blattwerk von
Haupt- und Nebenbestand wie auch die Bodenvegetation schützen vor
oberflächlicher Bodenaustrocknung und aggressivem Angriff des Regens.
Ab Mitte Juni wird dieser Schutz bedeutungsvoll. Zu diesem Zeitpunkt
ist die Laubstreu abgebaut, die Bodenoberfläche steht daher bis zum
herbstlichen Laubfall nur noch unter dem Schirm der Bestandesvegetation.

Ergebnisse der Z- und E-Testschnurmethode: Es wäre wün-
schenswert gewesen, die Zeiten der Versuchsetappen besser mit den Jah-
reszeiten in Uebereinstimmung zu bringen. Häufige militärische Ein-
berufungen zwangen zu zeitlich ungünstigen Probenahmen. Im Monat
Dezember 1941 wurden für sechs Probenahmen des folgenden Jahres
Zellulose- und Eiweißschnüre eingezogen. Da im *Q.-C. aretosum* der Zel-
luloseabbau sehr rasch erfolgt, waren zur Zeit der zweiten Probenahme
die Z-Testschnüre so weit abgebaut, daß bereits neue eingezogen werden
mußten. Aus dem ursprünglich kontinuierlich vorgesehenen Zellulose-
abbauversuch wurde ein diskontinuierlicher. Damit der Zelluloseabbau
im *Q.-C. aretosum* mit jenem anderer Laubwaldgesellschaften der
Versuchsgruppe «a» vergleichbar wird, mußte der diskontinuierliche Ab-
bauversuch in den Versuchsflächen des *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betule-
tum* ebenfalls nachträglich angelegt werden. Die Zellulose ist deshalb in
biologisch aktiven Böden vorteilhafter für kurzfristige, zirka zwei Monate
dauernde diskontinuierliche Abbauversuche zu verwenden.

Der Abbau der Eiweißschnüre dagegen wurde in einer kontinuierlichen Versuchsanordnung untersucht. Das Seidenfibroin ist abbauresistenter. Es kann in biologisch aktiven Böden für langfristige Versuche verwendet werden.

Ergebnisse des Streueabbaues¹: Die unter der Schneelast während des Winters zusammengepreßte Versuchsstreu wird gleich nach dem Ausapern hauptsächlich durch Regenwürmer, durch sprießende Krautvegetation und durch wachsende Keimlinge gelockert. Die im Verlaufe des Winters sich unter der Streue- und Schneedecke angereicherte Kohlensäure kann wieder ungehemmt entweichen. Das Schmelzwasser durchtränkt Versuchsstreu und oberste Bodenhorizonte. Blätter von Ulme, Esche, Schwarzerle, Kirschbaum und Hagebuche werden schleimig, sie quellen und zerreißen bei mechanischer Beanspruchung leicht. Eingerolltes Blattmaterial steckt in groben Wurmröhren, wo es eingezogen wird. Stieleichen-, Zitterpappel- und Buchenblätter bleiben eher lederig und zäh. Bei genügender Befeuchtung wachsen auf den Hauptnerven der Stieleichen- und Kirschbaumblätter zahlreiche, kleine nierenförmige Fruchtkörperchen von Pilzen. Mäuse beginnen schon im April ihre Haufen aufzuwerfen und helfen mit, die Laubstreue rasch dem Boden einzumischen. Diese Tätigkeit ist bemerkenswert, im Sommer 1942 wurden auf die Are im Durchschnitt 50—80 Mäushaufen gezählt.

Im Boden des *Q.-C. aretosum* wird in den Frühlings- und Sommermonaten die natürlich zusammengesetzte Laubstreue abgebaut. Es entsteht rasch der für die vollreife Braunerde kennzeichnende Mullhumus. Schon Ende Juli ist die Bodenoberfläche mit Wurmexkrementen überdeckt, und ein Großteil der Streue ist verschwunden.

c) Zellulose- und Eiweißabbau bzw. Streueabbau in der schwach podsolierten Braunerde des Querceto-Carpinetum luzuletosum.

Die Versuchsfläche «Thalhau» innerhalb des Gemeindebannes Stetten im Reußtal entspricht einem repräsentativen Einzelbestand des hainsimsenreichen Eichen-Hagebuchenwaldes (6 bes. Vegetationstabelle Nr. 1, im Anhang, Aufnahme 146).

Der schwach podsolige, saure, rostfarbene Waldboden ist in 140 cm Tiefe karbonatfrei. Die tonarme Wallmoräne ist ein grobkörniges Verwitterungsmaterial, ein grobes Bodenfilter. Die stark gehemmte bBA vermag die organischen und anorganischen Profilanteile nicht mehr völlig im Profil zu durchmischen. Die biologische Tätigkeit beschränkt sich nur auf die obersten 10—15 cm. Es entsteht ein saurer Rohhumus. Die gün-

¹ Die Probenahmen stimmen mit den Etappenzeiten des Zellulose- und Eiweißabbaues überein. (Vgl. Tab. 11.)

stige Luftkapazität des labilen Bodengefüges ist auf verminderten Tongehalt zurückzuführen. Zur Bildung mechanisch stabiler Krümel fehlen feine Humuskitte und koagulierende Elektrolyte. Die für das Pflanzenwachstum wichtigen Nährstoffe und Nährstoffträger (z. B. Tone, Humus) werden durch starke innere Profildrainage verstärkt aus dem Bodenprofil weggeführt. Der Boden entspricht in seinen morphologischen Eigenschaften der von Etter beschriebenen Variante Ia des *Q.-C. luzuletosum* (6 bes. S. 77 und 82).

Die oekologischen Besonderheiten der Standorte des *Q.-C. luzuletosum* sind in erster Linie gegeben durch die spezielle orographische Lage (Kuppen, obere Hangkanten), vergrößerte innere Profildrainage (grobes Bodenfilter, tonarm) und gebremste bBA. Das grobe Bodenfilter reduziert die Wasserkapazität und begünstigt in regenarmen Sommerperioden oberflächliche Bodenaustrocknungen. Die während des ganzen Jahres dem Oberboden aufgelagerte Laubstreueschicht beeinflusst den Wasserhaushalt gegenläufig: a) die auf den Waldboden fallenden Niederschläge werden aufgehalten und gelangen nur teilweise durch die Laubstreuedecke in tiefere Bodenschichten, während der Rest wieder verdunstet; b) das im Boden kapillar festgehaltene Wasser verdunstet verlangsamt durch die Streueschicht.

Die Bodengefügeeigenschaften sind an sich noch biologisch günstig, aber sehr unbeständig. Die Krümel zerfallen bei mechanischer Beanspruchung oder durch aufprallende Regentropfen in ihre Einzelteilchen. Nur das Kronendach und die Streuedecke bremsen diese gefügezerstörende Wucht der auffallenden Regentropfen. Der Boden ist mittel- bis tiefgründig. Die Hauptwurzeln streichen weniger tief als im *Q.-C. aretosum*.

Die Ergebnisse des Testschnurversuches zeigen, daß der Zellulose- und Eiweißabbau in allen untersuchten Horizonten langsamer vor sich geht als im *Q.-C. aretosum*. Die Zelluloseschnüre konservieren sich über eine längere Versuchszeit im Boden. Wie bereits oben erwähnt, ist auch in biologisch inaktiven Böden die diskontinuierliche Versuchsanordnung der kontinuierlichen vorzuziehen.

Das abbauresistentere Seidenfibroin wird in biologisch inaktiven Böden nur langsam abgebaut.

Die Ergebnisse des Streueabbaues weisen ebenfalls gegenüber dem *Q.-C. aretosum* auf eine geschwächte biologische Aktivität hin. Von einer einjährigen Laubproduktion wird in der folgenden Vegetationsperiode nur die leicht zersetzbare Streue vollständig abgebaut. Die geringe mechanische Wühltätigkeit der Bodentiere vermag die beginnende Rohhumusbildung nicht zu verhindern. Die abbauresistenten Buchen- und Eichenblätter fallen im Herbst zum Teil vor den sich rascher zersetzenden Hagebuchen-, Bergahorn- und Lindenblättern. Sie bilden eine gegen den bA_1/A_1 -Horizont isolierende bA_0/A_0 -Grenzschicht und verzögern zusätz-

lich den Streueabbau. Buchen-, Eichen- und Aspenlaub ist wohl zerfallen, reichert sich aber zum Teil als grobkörniger koprogener Morhumus an der Bodenoberfläche in einer mehr oder weniger gleichmäßigen Auflageschicht an. Nur sie ist im hainsimsenreichen Eichen-Hagebuchenwald der Ort erhöhter biologischer Tätigkeit.

d) Zellulose- und Eiweißabbau bzw. Streueabbau in der leicht podsolierten bis schwach marmorierten Braunerde des Querceto-Betuletum.

Als typische Einzelbestände des *Q.-Betuletum* sind die Standorte Irchel- und Schneisingerplateau in der Vegetationstabelle Nr. 2 von Etter (6 bes. S. 40 u. «Anhang» Aufnahme Nr. 107 u. 128) veröffentlicht worden.

Für die örtliche Bodenbildung sind hier die Plateaulage, der oben in der Legende erwähnte geologische Untergrund und die relativ hohen Humiditäten wichtig. Auf dem durchlässigen, älteren Deckenschotter entstehen sauerste Glieder der Braunerdeserie. Das Bodengefüge ist locker, aber instabil. Auf mechanische Beanspruchung zerfallen die unechten Krümel in ihre Einzelteilchen. Zur stabilen Krümelung fehlen das organische Kittmaterial, die mineralische Feinsubstanz und die Koagulatoren. Organische und anorganische Bodenkomponenten sind nur grob gemischt, selten innig gemengt. Die Bodenorganismen verlegen ihre beschränkte Tätigkeit auf die Morhumusschicht des Oberbodens. Das grobporige Porenfilter begünstigt die Kolloid- und speziell die Tonverlagerungen vom Ober- in den Mittel- und Unterboden.

Oekologisch bedeutungsvoll ist das kleine Wasserbindevermögen und der große Luftgehalt des mehrheitlich grobgekörnten Bodens. Der 2—5 cm mächtige, mit weißem Pilzmycelium durchwobene, blätterig geschichtete Rohhumus aus vorwiegend schwer abbaufähigen Buchen- und Traubeneichenblättern hemmt wohl den Gasaustausch zwischen Wurzelraum und Atmosphäre. Es fehlt die leicht zersetzbare Krautschicht, die den Bodentieren und hernach auch den Mikroorganismen bekömmliche Nahrung böte. Forstliche Uebernutzung, kleiner Schlußgrad im Hauptbestand (Traubeneiche-Birke, beides Lichtholzarten), fehlende Strauchschicht erhöhen die direkte Wärme- und Lichteinstrahlung. Es bleibt besonderen Studien vorbehalten, die klimatischen Standortsfaktoren dieser Gesellschaft näher zu untersuchen.

Die allgemeinen Ergebnisse des Testschnurversuches zeigen, daß das *Q.-Betuletum* auf dem biologisch inaktivsten Boden der ganzen Versuchsgruppe «a» stockt. Einzig im obersten Rohhumus wurde die Zellulose verhältnismäßig stark angegriffen, während in der mineralischen Verwitterungsschicht des Oberbodens über die ganze Versuchs-

periode nur geringe Abbaufortschritte feststellbar waren. Auch die zoogene Tätigkeit beschränkt sich augenfällig auf die Rohhumusaufgabe.

Bei der geringen biologischen Bodenaktivität kann der Eiweißabbau im kontinuierlichen Versuch verfolgt werden.

Die Ergebnisse des Streueabbaues weisen auf die kleine bBA des Standortes hin. Eine Jahresproduktion an Laub kann in einer Vegetationsperiode nicht abgebaut werden. Während des Winters preßt der Schnee die Streue zusammen. Die dichtgelagerten, verklebten Blätterpakete bleiben bis weit in den Sommer erhalten. Die nur geringe und nur oberflächliche Wühltätigkeit der Würmer und Mäuse vermag die Streue nicht zu lockern. Sie meiden diesen sauren Mineralboden und werfen nur selten Haufen auf, auch Wurmexkreme sind spärlich. Trocknet die A_0 -Schicht oberflächlich an, so rollen sich die obersten Blätter. An zugeckten Traubeneichen- und Buchenblättern wächst verfilztes Pilzmycel. Soweit dieses reicht, werden die Blätter im Verlaufe des Sommers gebleicht, diese Bleichstellen sind im durchfallenden Licht transparenter. Im biologisch aktiveren Boden des *Q.-C. aretosum* wird dieses Stadium offenbar sehr rasch durchlaufen.

Mit Ausnahme von Pulverholz, Birke und Hagebuche werden die Blätter der übrigen Versuchsholzarten bis zum Herbst nur zerkleinert. Ihre Herkunft ist aber noch deutlich erkennbar. Erst im Verlaufe der zweiten Vegetationsperiode werden auch sie zu amorphem Detritus abgebaut. Die Hauptmenge der Laubstreue braucht für diese Umwandlung etwas mehr als zwei Jahre.

e) Vergleich der biologischen Tätigkeit in den Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*.

Zelluloseabbau.

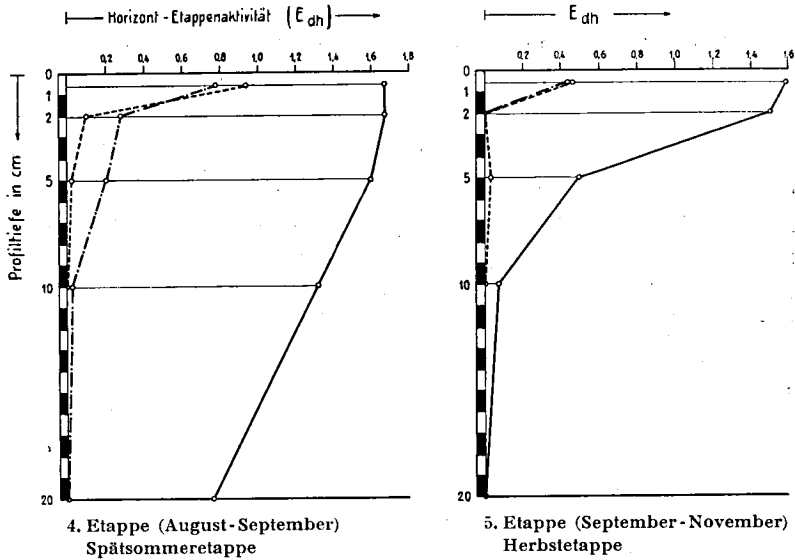
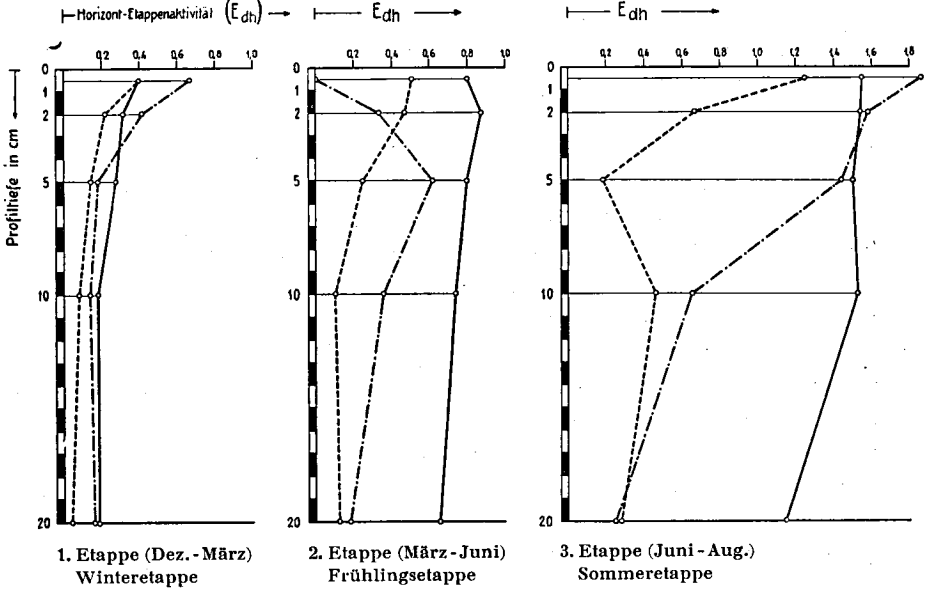
Die Horizont-Etappenaktivitäten (E_{dh}) (vgl. die früher gegebene Definition) der drei Laubwaldgesellschaften sind in Tab. 14 und Bild 7 für die verschiedenen Zeitabschnitte der ganzen Versuchsperiode einander gegenübergestellt.

Die vollreife Braunerde des *Q.-C. aretosum* ist der biologisch aktivste Boden unter den verglichenen. Im ungefrorenen Boden blieb auch während des Winters 1941/42 eine kleine bBA erhalten, die sich nicht stark von jener der anderen Waldgesellschaften unterscheidet. Während des Frühlings und Sommers nimmt die Etappenaktivität aller untersuchten Horizonte sehr stark zu. Im Spätsommer werden für die Horizonte 0—1, 2 und 5 cm die höchsten E_{dh} gemessen. Dasselbe trifft für die Horizonte 10 und 20 cm schon in der Sommeretappe zu. Die Abnahme der bBA in der 2. Hälfte der Vegetationsperiode beginnt in 10 und 20 cm

Zelluloseabbau.

Profilmäßige Darstellung der Horizont-Etappenaktivitäten (E_{dh}) in den Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*. (Versuchsperiode Dezember 1941 bis November 1942.)

Bild 7



— = *Q.-C. aretosum* - · - = *Q.-C. luzuletosum* - - - = *Q.-Betuletum*

Zelluloseabbau.

Profilmäßige Zusammenstellung der Horizont-Etappenaktivitäten (E_{dh}) in den Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*. Tab. 14

| Horizont cm | E_{dh} <i>Q.-C. aretosum</i> | | | | | E_{dh} <i>Q.-C. luzuletosum</i> | | | | | E_{dh} <i>Q.-Betuletum</i> | | | | |
|----------------|--------------------------------|------|------|------|------|-----------------------------------|------|------|------|------|------------------------------|------|------|------|------|
| | Etappen | | | | | Etappen | | | | | Etappen | | | | |
| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
| 0—1 | 0,40 | 0,80 | 1,55 | 1,67 | 1,59 | 0,67 | 0,00 | 1,73 | 0,79 | 0,44 | 0,39 | 0,51 | 1,25 | 0,94 | 0,46 |
| 2 | 0,33 | 0,87 | 1,55 | 1,67 | 1,50 | 0,41 | 0,33 | 1,58 | 0,29 | 0,00 | 0,22 | 0,47 | 0,66 | 0,10 | 0,00 |
| 5 | 0,28 | 0,80 | 1,50 | 1,60 | 0,50 | 0,18 | 0,62 | 1,44 | 0,21 | 0,00 | 0,14 | 0,25 | 0,19 | 0,02 | 0,04 |
| 10 | 0,17 | 0,74 | 1,52 | 1,32 | 0,07 | 0,14 | 0,36 | 0,65 | 0,02 | 0,00 | 0,09 | 0,10 | 0,46 | 0,00 | 0,00 |
| 20 | 0,12 | 0,66 | 1,12 | 0,77 | 0,00 | 0,18 | 0,17 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,13 | 0,28 | 0,00 | 0,00 |

Versuchstiefe schon in der Spätsommeretappe. Vom Monat September an bleiben diese Bodenhorizonte inaktiv, während in 0—1 und 2 cm die bBA angenähert die Werte der Vorperiode beibehält und in 5 cm auf $\frac{1}{3}$ der E_{dh} der Vorperiode sinkt. Kennzeichnend für die bBA-Verhältnisse im *Q.-C. aretosum* sind die großen E_{dh} -Werte aller untersuchten Horizonte, vom Monat März bis zum September. Für die tiefreichende bBA darf die intensive zoogene Durchwühlung des Bodens verantwortlich gemacht werden. Wie weit oberflächliche Bodenaustrocknungen den Verlauf der bBA beeinflussen, muß noch abgeklärt werden.

Die bBA der schwach podsoligen Braunerde des *Q.-C. luzuletosum* ist kleiner als im *Q.-C. aretosum*, jedoch größer als im Boden des *Q.-Betuletum*. Aus den Aktivitätskurven lassen sich Ähnlichkeiten zwischen *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* feststellen, es besteht eben große Ähnlichkeit auch in der Profilentwicklung. Der 5—7 cm mächtige Rohhumus hat die größte bBA. Die Testschnur des 10 cm-Horizontes liegt im oberen Mineralerdeverwitterungshorizont. Zufällig tiefer stoßende humose Keile können einen Einfluß auf die Z-Abbaugeschwindigkeit haben. Die bBA geht vom Rohhumus zum oberen Mineralerdeverwitterungshorizont rasch zurück. Am Ende der Winteretappe aperte die Versuchsfläche früher aus als im *Q.-C. aretosum*. Der erhöhte Wärmeeinfluß kann die bBA im *Q.-C. luzuletosum* leicht gesteigert haben.

In der Sommeretappe wird in allen Horizonten das Aktivitätsmaximum erreicht. Die Etappenaktivitäten (E_{dh}) der Horizonte 0—1, 2 und 5 cm machen 84% der total gemessenen Profilaktivität aus. Direkt unter der Bodenoberfläche wird die bBA größer als im *Q.-C. aretosum*. Zur Erklärung dieser Erscheinung mag folgendes dienen: Mitte bis Ende

Juni wird die letzte Laubstreu im *Q.-C. aretosum* abgebaut. Da zu diesem Zeitpunkt der Boden ohne Streueschutz ist, kann die bBA direkt unter der Erdoberfläche infolge Wasserverlust des Bodens herabgesetzt werden.

Im Spätsommer und Herbst nimmt die bBA sehr stark ab. Der Aktivitätsrückgang wird ausgeprägter von unten nach oben. Nur direkt unter der Bodenoberfläche ist die bBA noch meßbar. In der Herbstetappe bleibt das ganze Profil mit Ausnahme des obersten Meßhorizontes biologisch inaktiv.

Die leicht podsolierte und oft marmorierte Braunerde des *Q.-Betuletum* ist in der Versuchsgruppe «a» der biologisch inaktivste Boden. Bedeutende Aktivitäten sind nur in der Frühlings- und Sommeretappe feststellbar. Immer sind die Versuchshorizonte im Rohhumus biologisch aktiver als im Mineralerdeanteil des Oberbodens (> 10 cm Bodentiefe). Humose, tiefer ins Profil hinabreichende Zonen können Aktivitätssteigerungen, wie sie in der Sommeretappe in 10 cm beobachtet werden, hervorrufen. Auf die größten Aktivitätswerte der Sommeretappe folgt ein großer Abfall im Spätsommer und Herbst. Biologisch aktive Horizonte befinden sich nur noch direkt unter der Bodenoberfläche.

Die Horizont-Periodenaktivitäten (P_{dh}) geben repräsentative Werte der bBA für die Versuchsperiode. Gegenüber den Etappenaktivitäten sind die P_{dh} nicht wesentlich verschieden. Die vollreife Braunerde des *Q.-C. aretosum* bleibt auch in 20 cm biologisch aktiv, während die schwach podsoligen bzw. leicht podsolierten Braunerden des *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* nur im aufgelagerten Rohhumus größere bBA haben (Tab. 15, Bild 8).

Zelluloseabbau.

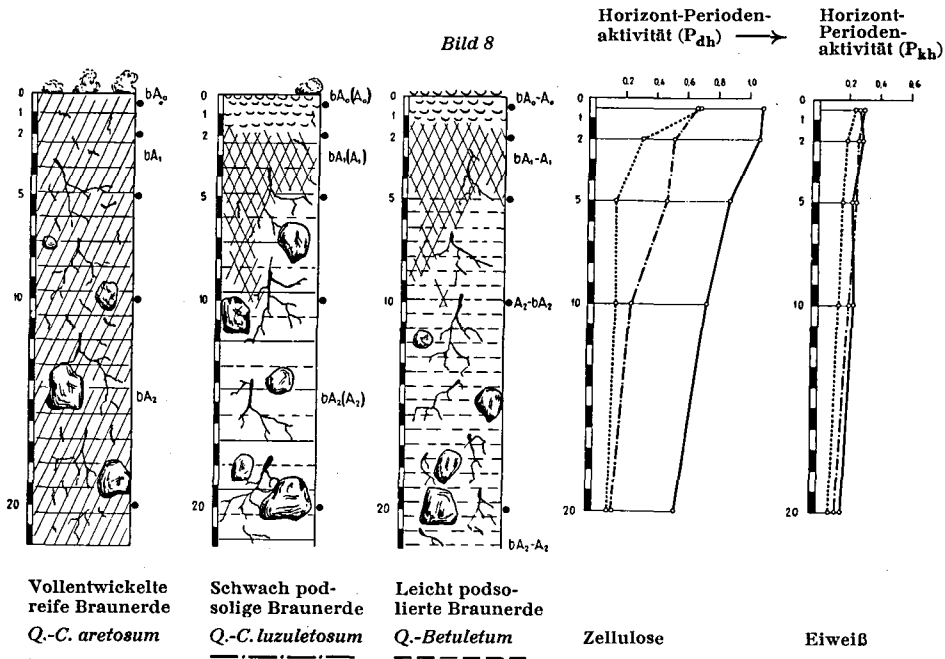
Profilmäßige Darstellung der Horizont-Periodenaktivitäten (P_{dh}) in den Tab. 15 Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*.

| Horizont cm | Horizont-Periodenaktivität (P_{dh}) | | |
|----------------|---|--------------------------|---------------------|
| | <i>Q.-C. aretosum</i> | <i>Q.-C. luzuletosum</i> | <i>Q.-Betuletum</i> |
| 0—1 | 1,08 | 0,66 | 0,68 |
| 2 | 1,06 | 0,50 | 0,31 |
| 5 | 0,88 | 0,47 | 0,14 |
| 10 | 0,73 | 0,24 | 0,14 |
| 20 | 0,53 | 0,13 | 0,10 |

Aus den Horizont-Etappenaktivitäten (E_{dh}) ergeben sich die Profil-Etappenaktivitäten (E_{dp}) (Tab. 16, Bild 9).

Zellulose- und Eiweißabbau.

Profilmorphologie in 0—20 cm Tiefe des Oberbodens und profilmäßige Darstellung der Horizont-Periodenaktivitäten (P_{dh}) in den Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*. (Versuchsperiode Dezember 1941 bis November 1942).



Zelluloseabbau.

Perioden- und Etappenaktivitäten des Profils (P_{dp} , E_{dp}) in den Böden des *Q.-C.-aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*. (Versuchsperiode Dezember 1941 bis November 1942.)

Tab. 16

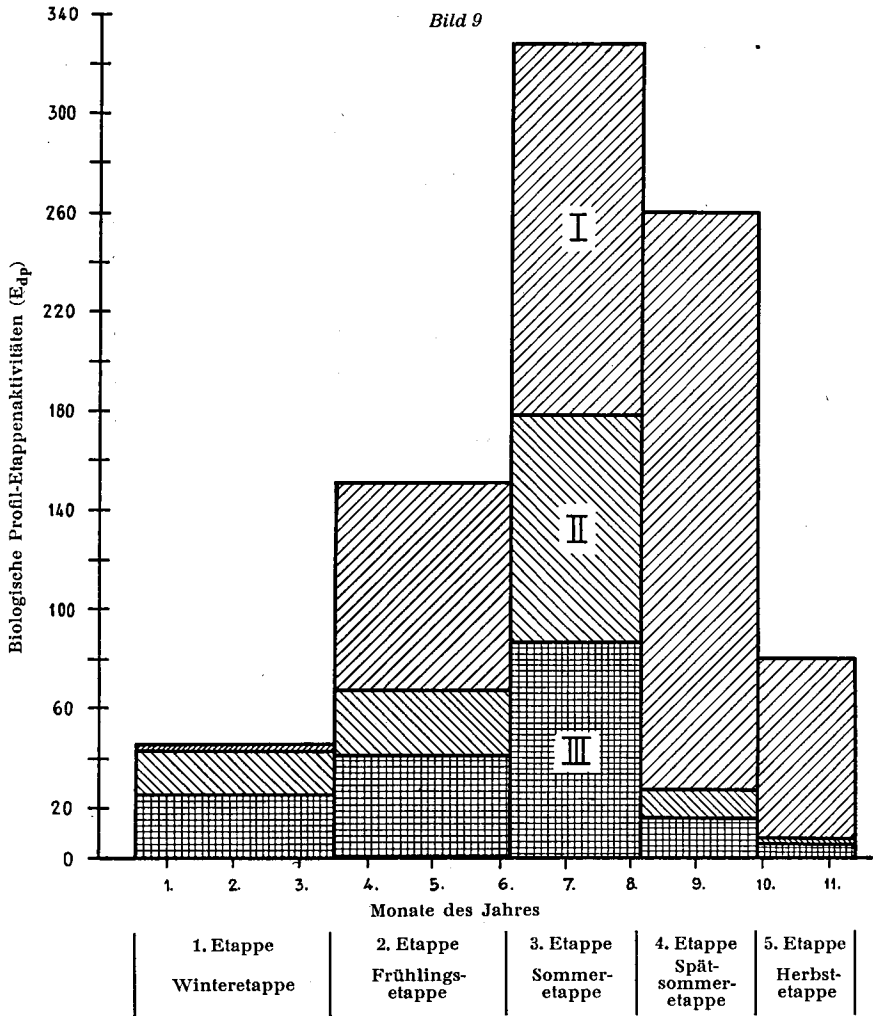
| | P_{dp} | 1. Etappe Dez.-März | 2. Etappe März-Juni | 3. Etappe Juni-August | 4. Etappe August-Sept. | 5. Etappe Sept.-Nov. |
|--------------------|----------|------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <i>Q.-C. aret.</i> | 154 | 43 | 151 | 327 | 260 | 80 |
| <i>Q.-C. luz.</i> | 63 | 44 | 67 | 178 | 27 | 6 |
| <i>Q.-Bet.</i> | 36 | 25 | 41 | 87 | 16 | 8 |

In der Winteretappe sind alle E_{dp} klein. Der steile Aktivitätsanstieg im Frühling und Sommer sowie der verzögerte Rückgang im Spätsommer und Herbst kennzeichnen die biologischen Eigenschaften der vollreifen Braunerde. Im Sommer erreicht die bBA ihren höchsten Wert zur Zeit, da die Streue von der Oberfläche verschwunden ist, wo durch Mithilfe der

Zelluloseabbau.

Vergleich der biologischen Profil-Etappenaktivitäten (E_{dp}) in den Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*.

- I = *Q.-C. aretosum*
- II = *Q.-C. luzuletosum*
- III = *Q.-Betuletum*



Bodentiere und mikrobieller Umwandlung der koprogene Mullhumus geformt wird. In der schwach podsoligen Braunerde des *Q.-C. luzuletosum* vermag die bBA nur in der Sommeretappe größer zu werden. Noch ausgeglichener ist die bBA der leicht podsolierten Braunerde im *Q.-Betuletum*.

Die relativen Etappenaktivitäten der Profile (Tab. 17) zeigen die großen Unterschiede in der bBA der drei Waldgesellschaften innerhalb der verschiedenen Etappen.

Zelluloseabbau.

Relative Etappenaktivitäten der Profile in den Böden des *Q.-C. aretosum* und des *Q.-C. luzuletosum*, bezogen auf das *Q.-Betuletum*.

E_{dp} (*Q.-C. aret.*, bzw. *luz.*): E_{dp} (*Q.-Bet.*)

Tab. 17

| | 1. Etappe Dez. - März | 2. Etappe März - Juni | 3. Etappe Juni - August | 4. Etappe August - Sept. | 5. Etappe Sept. - Nov. |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <i>Q.-C. aretosum</i> . . | 1,7 | 3,8 | 3,7 | 16,5 | 9,9 |
| <i>Q.-C. luzuletosum</i> . | 1,8 | 1,6 | 2,0 | 1,7 | 0,7 |
| <i>Q.-Betuletum</i> . . | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Um ein Maß für die bBA-Veränderung in den Versuchsetappen zu erhalten, sind in Tab. 18 die sogenannten relativen Etappenwerte der Profile zusammengestellt: die Winter-, Spätsommer- (Ausnahme *Q.-C. aretosum*) und Herbstetappen sind biologisch inaktiver als die gesamte Periodenaktivität der entsprechenden Gesellschaft. Die Werte der Frühlingsetappe entsprechen angenähert der P_{dp} , während die bBA der Sommeretappe für alle drei Waldgesellschaften wesentlich größer ist als die Profilaktivität der Versuchsetappe.

Zelluloseabbau.

Relative Etappenwerte der Profile in den Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*, bezogen auf die Profil-Etappenaktivität (P_{dp}) der Versuchsperiode Dezember 1941 bis November 1942.

E_{dp} (*Q.-C. aret.*, bzw. *luz.*, bzw. *Q.-Bet.*): P_{dp} (*Q.-C. aret.*, bzw. *luz.*, bzw. *Q.-Bet.*)

Tab. 18

| | P_{dp} | 1. Etappe Dez. - März | 2. Etappe März - Juni | 3. Etappe Juni - August | 4. Etappe August - Sept. | 5. Etappe Sept. - Nov. |
|--------------------|----------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <i>Q.-C. aret.</i> | 1,0 | 0,3 | 1,0 | 2,1 | 1,7 | 0,5 |
| <i>Q.-C. luz.</i> | 1,0 | 0,7 | 1,1 | 2,8 | 0,4 | 0,1 |
| <i>Q.-Bet.</i> | 1,0 | 0,7 | 1,1 | 2,4 | 0,4 | 0,2 |

Aus der relativen Periodenaktivität der untersuchten Bodenprofile folgt, daß für die gesamte Versuchsperiode das *Q.-C. luzuletosum* 1,7mal, das *Q.-C. aretosum* 4,2mal aktiver ist als das *Q.-Betuletum* (Tab. 19).

Zelluloseabbau.

Relative Periodenaktivitäten der Profile in den Böden des *Q.-C. aretosum* und *Q.-C. luzuletosum*, bezogen auf das *Q.-Betuletum*. (Versuchsperiode Dezember 1941 bis November 1942.)

| | P_{dp} | $\frac{P_{dp} \text{ (} Q.-C. \text{ aretosum, bzw. luzuletosum)}}{P_{dp} \text{ (} Q.-Betuletum)}$ |
|------------------------------------|----------|---|
| | | |
| <i>Q.-C. aretosum</i> | 154 | 4,2 |
| <i>Q.-C. luzuletosum</i> | 63 | 1,7 |
| <i>Q.-Betuletum</i> | 36 | 1,0 |

Eiweißabbau.

Der Eiweißabbau erfolgt wesentlich langsamer als der Zelluloseabbau. Im *Q.-C. aretosum* wird Eiweiß am stärksten und im *Q.-Betuletum* am schwächsten abgebaut. Das *Q.-C. luzuletosum* nimmt eine Mittelstellung ein. Die profilmäßige Zusammenstellung der Horizont-Etappenaktivitäten (E_{kh}) geschieht in Tab. 20 und Bild 10.

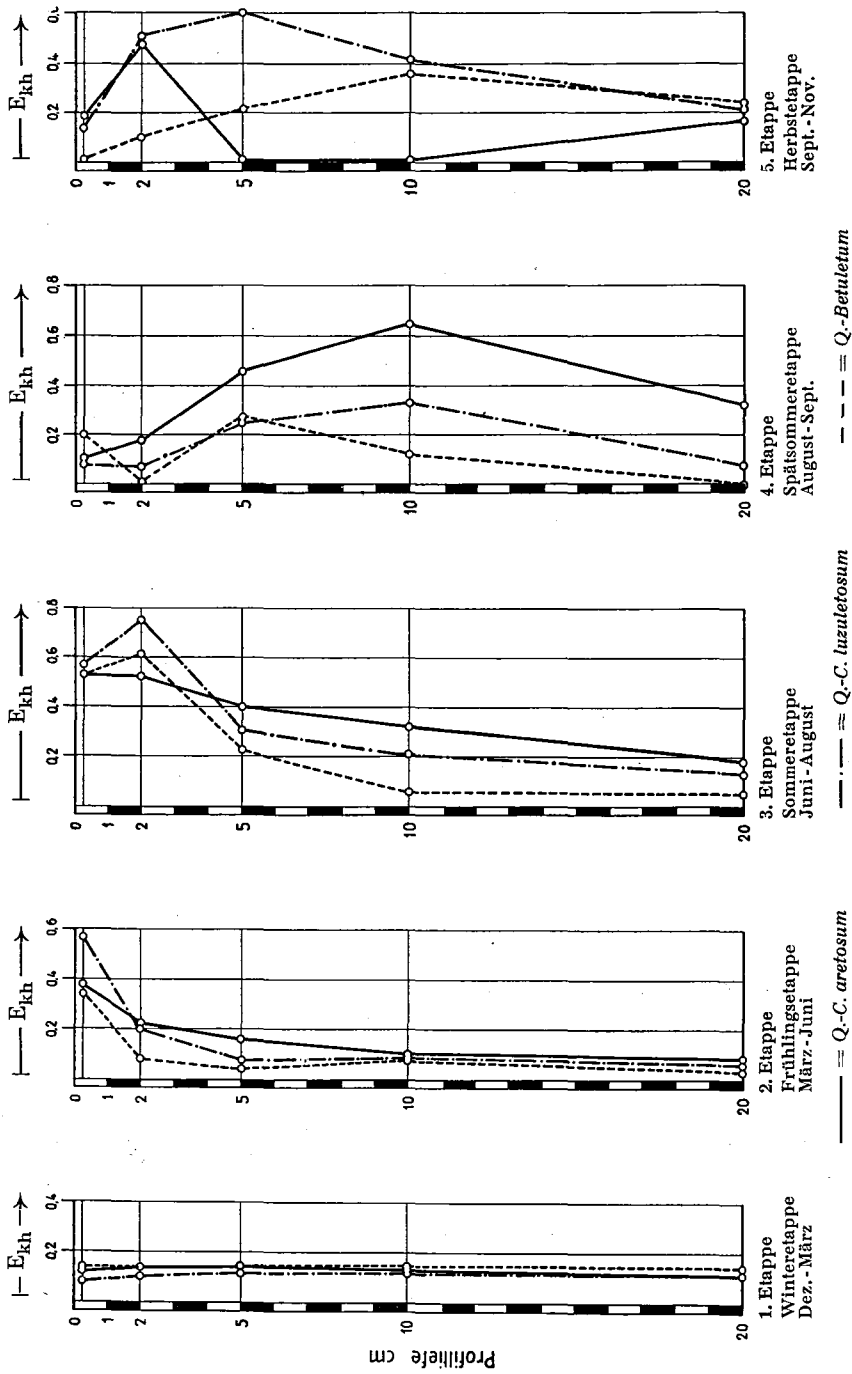
Eiweißabbau.

Profilmäßige Zusammenstellung der Horizont-Etappenaktivitäten (E_{kh}) in den Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*.

| Horizont cm | E_{kh} <i>Q.-C. aretosum</i> | | | | | E_{kh} <i>Q.-C. luzuletosum</i> | | | | | E_{kh} <i>Q.-Betuletum</i> | | | | |
|----------------|--------------------------------|------|------|------|------|-----------------------------------|------|------|------|------|------------------------------|------|------|------|------|
| | Etappen | | | | | Etappen | | | | | Etappen | | | | |
| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
| 0—1 | 0,13 | 0,38 | 0,53 | 0,09 | 0,19 | 0,08 | 0,57 | 0,57 | 0,10 | 0,14 | 0,14 | 0,34 | 0,52 | 0,20 | 0,00 |
| 2 | 0,14 | 0,22 | 0,53 | 0,18 | 0,48 | 0,10 | 0,20 | 0,75 | 0,07 | 0,51 | 0,14 | 0,09 | 0,61 | 0,00 | 0,10 |
| 5 | 0,14 | 0,16 | 0,40 | 0,46 | 0,00 | 0,12 | 0,07 | 0,31 | 0,25 | 0,60 | 0,14 | 0,04 | 0,23 | 0,26 | 0,21 |
| 10 | 0,13 | 0,09 | 0,32 | 0,65 | 0,00 | 0,12 | 0,08 | 0,21 | 0,33 | 0,42 | 0,14 | 0,08 | 0,06 | 0,12 | 0,36 |
| 20 | 0,12 | 0,08 | 0,18 | 0,32 | 0,17 | 0,12 | 0,07 | 0,13 | 0,08 | 0,21 | 0,14 | 0,04 | 0,05 | 0,00 | 0,23 |

In der Sommer- und Spätsommer-Etappe verlaufen die bBA für das *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* ähnlich. Von 0—1 cm vergrößert sich die bBA im Vergleich zur Frühlingsetappe nur wenig. Es ist naheliegend, diese Erscheinung als Folge oberflächlicher Bodenaustrocknung zu erklären, was um so gerechtfertigter ist, als in der Spätsommeretappe die bBA auch in 2 cm und für das *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* sogar in 5 cm Bodentiefe zurückgeht, um in der Herbstetappe in den Versuchshorizonten 2 und 5 cm (Ausnahme *Q.-C.*

Profilmäßige Darstellung der Horizont-Etappenaktivitäten (E_{kh}) in den Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*. (Versuchsperiode Dezember 1941 bis November 1942.)



aretosum) wieder leicht zuzunehmen. Weitere Untersuchungen sollen die Empfindlichkeit wichtiger Eiweißabbauer auf Feuchtigkeitsschwankungen abklären. Es ist möglich, daß diese größer ist als bei Zelluloseabbauern. Um so gleichmäßiger nimmt die bBA für das *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* im Versuchshorizont 10 cm von der Winter- bis zu der Herbstetappe zu. Dasselbe gilt für das *Q.-C. aretosum* nur bis zur Spätsommeretappe. Der stärkste Eiweißabbau wird in 5—10 cm Bodentiefe gemessen. In 20 cm geht die bBA allgemein wieder zurück.

Die für das *Q.-C. aretosum* in der Herbstetappe aus der Reihe fallenden Aktivitätswerte der Versuchshorizonte 5 und 10 cm sind noch schwer deutbar.

Die Werte der Horizont-Periodenaktivitäten (P_{kh}), dargestellt in Tab. 21 und Bild 8, lassen sehr kleine Aktivitätsunterschiede im Eiweißabbau zwischen den drei Waldgesellschaften erkennen.

Eiweißabbau.

Profilmäßige Darstellung der Horizont-Periodenaktivitäten (P_{kh}) in den Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*.

| Horizont cm | Horizont-Periodenaktivität (P_{kh}) | | |
|----------------|---|--------------------------|---------------------|
| | <i>Q.-C. aretosum</i> | <i>Q.-C. luzuletosum</i> | <i>Q.-Betuletum</i> |
| 0—1 | 0,26 | 0,29 | 0,25 |
| 2 | 0,28 | 0,27 | 0,19 |
| 5 | 0,23 | 0,22 | 0,16 |
| 10 | 0,23 | 0,20 | 0,14 |
| 20 | 0,16 | 0,11 | 0,09 |

Aus den Etappenaktivitäten des Profils (E_{kp}) (Tab. 22) ist zu entnehmen, daß der Eiweißabbau von der Sommer- zur Herbstetappe im *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* nach einer kleinen Abnahme in der Spätsommeretappe zunimmt, deshalb länger anhält als der Zellulose-

Eiweißabbau.

Perioden- und Etappenaktivitäten des Profils (P_{kp} , E_{kp}) in den Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*. (Versuchsperiode Dezember 1941 bis November 1942.)

| | P_{kp} | 1. Etappe Dez. - März | 2. Etappe März - Juni | 3. Etappe Juni - August | 4. Etappe August - Sept. | 5. Etappe Sept. - Nov. |
|--------------------|----------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <i>Q.-C. aret.</i> | 44 | 25 | 27 | 68 | 88 | 21 |
| <i>Q.-C. luz.</i> | 59 | 24 | 25 | 59 | 41 | 80 |
| <i>Q.-Bet.</i> | 29 | 29 | 15 | 36 | 24 | 47 |

abbau. Aus schon diskutierten Gründen macht das *Q.-C. aretosum* auch hier eine Ausnahme, erreicht dafür in der Spätsommeretappe die absolut höchste biologische Profil-Etappenaktivität der ganzen Periode.

Die relativen Etappenaktivitäten des Profils (Tab. 23), bezogen auf die bBA des inaktivsten Bodens im *Q.-Betuletum*, zeigen, daß der Boden des *Q.-C. aretosum* am aktivsten ist (Ausnahme in der Herbstetappe) und das *Q.C. luzuletosum* eine Mittelstellung zwischen diesem und dem *Q.-Betuletum* innehat.

Eiweißabbau.

Relative Etappenaktivitäten der Profile in den Böden des *Q.-C. aretosum* und des *Q.-C. luzuletosum*, bezogen auf das *Q.-Betuletum*.
 E_{kp} (*Q.-C. aretosum*, bzw. *luzuletosum*): E_{kp} (*Q.-Betuletum*)

Tab. 23

| | 1. Etappe Dez. - März | 2. Etappe März - Juni | 3. Etappe Juni - August | 4. Etappe August - Sept. | 5. Etappe Sept. - Nov. |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <i>Q.-C. aretosum</i> . . | 0,9 | 1,7 | 1,9 | 3,7 | 0,5 |
| <i>Q.-C. luzuletosum</i> . | 0,8 | 1,7 | 1,6 | 1,7 | 1,7 |
| <i>Q.-Betuletum</i> . . | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Die relativen Etappenwerte der Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* (Tab. 24) zeigen, daß die Profilaktivitäten der Winter- und Frühlingsetappe etwas mehr als halb so groß wie die als Mittelwert der Periode berechnete Periodenaktivität der entsprechenden Bodenprofile sind. Eine Ausnahme macht die Profilaktivität der Winteretappe im Boden des *Q.-Betuletum*, die genau gleich groß ist wie die P_{kp} . Erst in der Sommeretappe werden die bBA größer als der Mittelwert P_{kp} , d. h. ca. drei Monate später als beim Testversuch mit Zellose-schnüren.

Eiweißabbau.

Tab. 24

Relative Etappenwerte der Profile in den Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum*, bezogen auf die Profilaktivität (P_{kp}) der Versuchsperiode Dezember 1941 bis November 1942.

E_{kp} (*Q.-C. aret.*, bzw. *luz.*, bzw. *Q.-Bet.*): P_{kp} (*Q.-C. aret.*, bzw. *luz.*, bzw. *Q.-Bet.*)

| | P_{kp} | 1. Etappe Dez. - März | 2. Etappe März - Juni | 3. Etappe Juni - August | 4. Etappe August - Sept. | 5. Etappe Sept. - Nov. |
|--------------------|----------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <i>Q.-C. aret.</i> | 1,0 | 0,6 | 0,6 | 1,5 | 2,0 | 0,5 |
| <i>Q.-C. luz.</i> | 1,0 | 0,6 | 0,7 | 1,5 | 1,1 | 2,1 |
| <i>Q.-Bet.</i> | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 1,2 | 0,8 | 1,6 |

Ein allgemeiner Ueberblick über die bBA der Böden der drei Waldgesellschaften resultiert aus dem Vergleich der Profilaktivitäten der Versuchsperiode und der daraus berechneten relativen Periodenaktivitäten (Tab. 25). Entsprechend diesen Werten stehen die Profilaktivitäten je Versuchsperiode für die Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* im Verhältnis 1,5 : 1,3 : 1,0.

Eiweißabbau.

Relative Periodenaktivitäten der Profile in den Böden des *Q.-C. aretosum* und *Q.-C. luzuletosum*, bezogen auf das *Q.-Betuletum*. (Versuchsperiode Dezember 1941 bis November 1942.)
Tab. 25

| | P _{kp} | $\frac{P_{kp} \text{ (Q.-C. aretosum bzw. luzuletosum)}}{P_{kp} \text{ (Q.-Betuletum)}}$ |
|------------------------------------|-----------------|--|
| | | |
| <i>Q.-C. aretosum</i> | 44 | 1,5 |
| <i>Q.-C. luzuletosum</i> | 39 | 1,3 |
| <i>Q.-Betuletum</i> | 29 | 1,0 |

Bemerkungen über den Einfluß einiger Standortfaktoren auf die biologische Bodenaktivität.

Die Aktivitätszahlen beider Testsubstanzen zeigen für die drei Waldgesellschaften der Versuchsgruppe «a» innerhalb vergleichbarer Horizont-, Etappen- und Periodenwerte wesentliche Unterschiede. Schwierig wird die Beantwortung der Frage, welche Standortfaktoren oder Standortfaktorengruppen das Leben des Edaphons maßgebend beeinflussen.

Nach den vorliegenden Analysenresultaten (Tab. 26) besteht zwischen der Etappen- und Perioden-Profilaktivität der untersuchten Waldgesellschaften (Tab. 16 und 22) und den pH-Werten eine direkte Abhängigkeit: mit sinkendem pH nimmt in der untersuchten Braunerdeserie die bBA ab.

Während der Diskussion des Verlaufes der bBA in den Bodenprofilen der Versuchsgruppe «a» wurden einige Vermutungen über den Einfluß der Bodenaustrocknung auf das Leben der Zellulose- und Eiweißabbauer geäußert. Es fehlt bis heute eine Feldmethode, um den bodenbiologisch wichtigen Faktor Feuchtigkeit und seine Veränderlichkeit während einer Vegetationsperiode zahlenmäßig zu erfassen.

Ueberraschenderweise zeigen die über die ganze Versuchsperiode gemessenen sogenannten «wirksamen Mitteltemperaturen» zwischen den drei Böden der untersuchten Laubwaldgesellschaften nur geringe Unterschiede. Die Messungen sollten künftig über die Etappen und nicht allein über die Gesamtperiode vorgenommen werden.

Die pH-Etappenwerte in den Versuchsbalken des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* während der Versuchsperiode Dezember 1941 bis November 1942.

Tab. 26

| Horizont cm | 1. Etappe | | | 2. Etappe | | | 3. Etappe | | | 4. Etappe | | | 5. Etappe | | |
|--|----------------|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|
| | Dez. - März | | | März - Juni | | | Juni - Aug. | | | Aug. - Sept. | | | Sept. - Nov. | | |
| | Q.-C. aret. | Q.-C. luz. | Q.- Bet. | Q.-C. aret. | Q.-C. luz. | Q.- Bet. | Q.-C. aret. | Q.-C. luz. | Q.- Bet. | Q.-C. aret. | Q.-C. luz. | Q.- Bet. | Q.-C. aret. | Q.-C. luz. | Q.- Bet. |
| 0—1 | 6,7 | 5,8 | 5,1 | 7,2 | 5,3 | 5,0 | 7,2 | 4,9 | 4,8 | 7,1 | 5,6 | 4,6 | 7,2 | 5,3 | 4,9 |
| 10 | 6,7 | 5,2 | 4,9 | 6,7 | 4,8 | 4,5 | 6,9 | 4,4 | 4,5 | 7,0 | 4,8 | 4,6 | 7,0 | 4,7 | 4,5 |
| 30 | 8,0 | 5,4 | 5,0 | 7,5 | 4,7 | 4,7 | 7,2 | 4,7 | 4,6 | 7,2 | 4,7 | 4,6 | 7,1 | 4,7 | 4,5 |
| 60 | 8,3 | — | 5,2 | 7,5 | 4,7 | 4,6 | 7,2 | 4,8 | 4,6 | 7,2 | 4,7 | 4,7 | 7,0 | 4,8 | 4,6 |
| pH-Schwankungen an der Bodenoberfläche beim Streueabbauversuch | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oberfläche | 6,8 | 5,7 | 5,0 | 7,3 | 5,4 | 4,7 | 7,2 | 5,5 | 5,0 | 7,1 | 5,8 | 4,7 | 7,0 | 5,3 | 5,0 |

| Temperatur eT im | 0—2 cm | 10 cm Tiefe |
|-----------------------------|---------|-------------|
| <i>Q.-Carp. aretosum</i> | 10,0° C | 10,0° C |
| <i>Q.-Carp. luzuletosum</i> | 10,8° C | 10,5° C |
| <i>Q.-Betuletum</i> | 10,3° C | 9,3° C |

Die kleinen, über die gesamte Periode gemessenen Temperaturunterschiede zwischen den Böden des *Q.-C. aretosum* und *Q.-Betuletum* begründen die großen bBA-Differenzen der Böden nicht.

Näher zu untersuchen wäre bei künftigen Studien die Abhängigkeit des Mikroorganismenlebens:

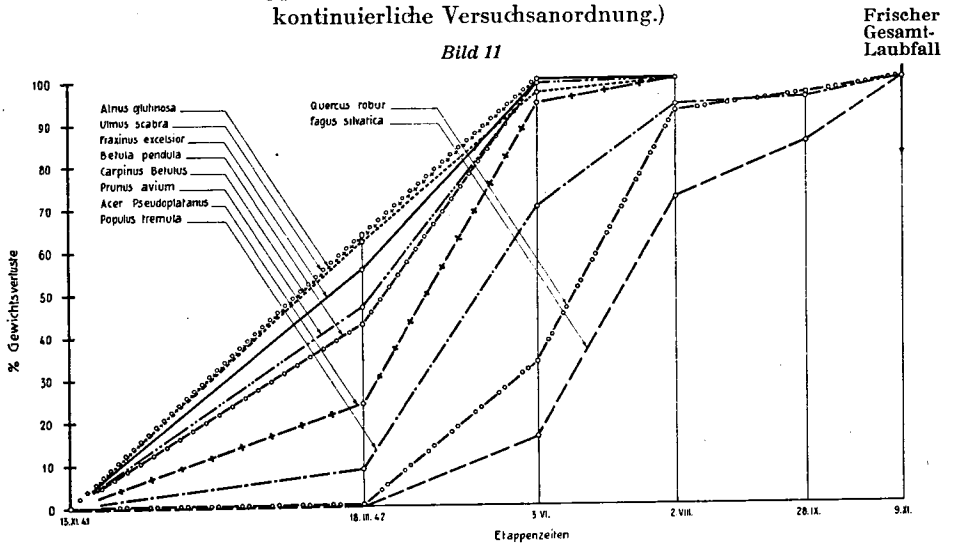
- vom Einfluß der Lichtfilterwirkung des Haupt- und des Nebenbestandes,
- von Temperaturschwankungen an der Bodenoberfläche und in den angrenzenden Bodenhorizonten während des Tages und der Nacht,
- vom Einfluß der Krautschicht als Bodenbedeckung und Bewurzelung der obersten Profilhorizonte, vor allem im *Q.-C. aretosum*.
- von der unzersetzten Streueschicht im *Q.-Betuletum*,
- vom physikalischen Bodenzustand,
- von der Verteilung fester Bodenbestandteile, Wasser und Luft, und von den Bodengefügeeigenschaften.

Streueabbau.

Im biologisch sehr aktiven *Q.-C. aretosum* wird die Versuchsstreue alljährlich völlig abgebaut. In Bild 11 sind die prozentischen Gewichtsverluste etappenweise zusammengestellt. Es lassen sich zwei Holzartengruppen ausscheiden:

Streueabbau.

Proz. Gewichtsverluste der Versuchsstreue mehrerer Holzarten im *Q.-C. aetiosum* nach verschiedenen Zeitetappen. (Versuchsperiode November 1941 bis Dezember 1942, kontinuierliche Versuchsanordnung.)



1. Rasch abbauende Laubstreue, die anfangs Juni eines Normaljahres praktisch abgebaut ist, wie Schwarzerle, Ulme, Esche, Birke, Hagebuche, Kirschbaum, Bergahorn;
2. langsam abbauende Laubstreue, die praktisch Ende August (November) abgebaut ist, wie Zitterpappel, Stieleiche und (Buche).

Mit Ausnahme der im Frühjahr etwas langsamer abbauenden Bergahornblätter sind von den Streueproben der ersten Gruppe Mitte März schon 42 bis 65 Gewichtsprozent der Blattsubstanz verschwunden (Tab. 27). Da zur Zeit der Märzernte noch stellenweise Schnee in den Versuchsbeständen lag, ist anzunehmen, daß die Streue nach der Versuchsanlage, also Ende November bis zum Einschneien abgebaut worden ist. Von Ulmen-, Schwarzerlen-, Hagebuchen- und Eschenblättern sind im vorliegenden Versuch Mitte März mehr als 50 % der ausgelegten Streue abgebaut.

Aus der Versuchsstreue der zweiten Gruppe ist zur selben Zeit von Stieleichen- und Buchenblättern nichts, und von Zitterpappelblättern 9 % abgebaut worden. Ihr stärkster Abbau erfolgt vom Juni bis zum August, zur Zeit, da die Streue der 1. Versuchsgruppe von der Bodenoberfläche verschwunden ist. Stieleichen- und Zitterpappelstreue ist anfangs August abgebaut (mehr als 90 %). Von den Buchenblättern sind Ende September in dieser Waldgesellschaft 85 % zersetzt.

Die Bodenlebewelt scheint beim Abbau der Streue auslesend vorzugehen. Bevor nicht die Mehrzahl der Ulmen-, Schwarzerlen-, Eschen- und Kirschaumblätter von der Bodenoberfläche verschwunden ist, werden Buchen- und Traubeneichenblätter nicht, Zitterpappel- und Bergahornblätter nur wenig angegriffen. B. Lindquist (15) machte an Regenwürmern die Beobachtung, daß sie Eichenlaub wegen des Gerbstoffgehaltes und auch Buchenlaub nur ungern verzehren. Die das Palisadengewebe der Blätter zernagenden Kleintiere gehen nur ausnahmsweise an Buchenblätter, selten an Stieleichen- und erst dann zahlreich an Zitterpappelblätter, wenn von der rasch zersetzbaren Laubstreue nur noch wenig zu finden ist. An Buchenblättern z. B. war es deshalb nie möglich, als temporären Abbaurückstand das vom Palisadengewebe vollständig kahlgefressene Blattnervennetz zu finden. Bei bestimmten Holzarten, in erster Linie Buche und in etwas geringerem Maß Stieleiche, werden die Blätter größtenteils nicht auf der Bodenoberfläche abgebaut. Bestimmte Bodentiere (vor allem der Regenwurm) ziehen die Blätter in den Boden, wo sie im innigen Kontakt mit dem Mull rasch abgebaut werden. Auch die Bedeckung durch Regenwurmmekremente wirkt abbausteigernd. Nach Stöckli (31) ist die aerobe Zellulosezerersetzung in Wurmekrementen wesentlich größer als im entsprechenden Waldboden. Auch diese «Spezialisten» greifen erst in der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode Buchen-, Stieleichen- und Zitterpappelblätter an.

Im *Q.-C. aretosum* muß vom Monat Juni an nur noch Buchen-, Stieleichen- und Zitterpappelstreue abgebaut werden; von diesem Zeitpunkt an geschieht der Abbau beschleunigt. Anfangs Juni sind bereits 81 % und anfangs August 96 % der Versuchsstreue abgebaut (Bild 14). Im *Q.-C. aretosum* wird die jährliche Streueproduktion angenähert in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode abgebaut (Tab. 27).

Streueabbau.

Prozentuale Gewichtsverluste der Versuchsstreue mehrerer Holzarten im *Q.-C. aretosum* nach verschiedenen Zeitetappen. (Versuchsperiode November 1941 bis November 1942, kontinuierliche Versuchsanordnung.) Tab. 27

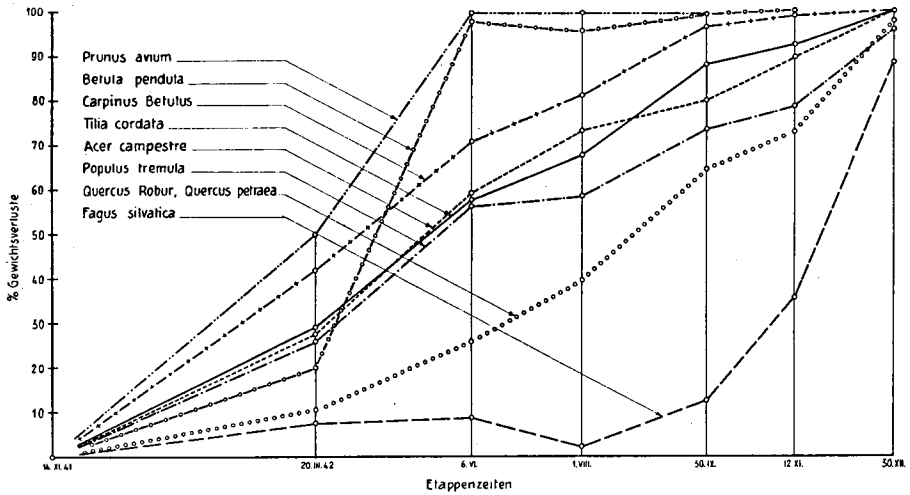
| | Gewichtsverluste in Prozenten seit Versuchsbeginn | | | | |
|-----------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| | 1. Etappe Nov. 41 bis März 42 | 2. Etappe Nov. 41 bis Juni 42 | 3. Etappe Nov. 41 bis Aug. 42 | 4. Etappe Nov. 41 bis Sept. 42 | 5. Etappe Nov. 41 bis Nov. 42 |
| <i>Quercus robur</i> | 0 | 33 | 93 | 96 | 100 |
| <i>Carpinus betulus</i> | 62 | 98 | 100 | — | — |
| <i>Populus tremula</i> | 9 | 70 | 94 | 96 | 100 |
| <i>Fagus sylvatica</i> | 0 | 16 | 72 | 85 | 100 |
| <i>Betula pendula</i> | 42 | 99 | 100 | — | — |
| <i>Alnus glutinosa</i> | 63 | 100 | — | — | — |
| <i>Ulmus scabra</i> | 63 | 100 | — | — | — |
| <i>Fraxinus excelsior</i> | 55 | 100 | — | — | — |
| <i>Prunus avium</i> | 47 | 100 | — | — | — |
| <i>Acer pseudo-platanus</i> | 24 | 94 | 100 | — | — |

Streueabbau.

Proz. Gewichtsverluste der Versuchsstreue mehrerer Holzarten im *Q.-C. luzuletosum* nach verschiedenen Zeitetappen. (Versuchsperiode November 1941 bis Dezember 1942, kontinuierliche Versuchsanordnung.)

Bild 12

Frischer
Gesamt-
Laubfall



Die kleinere bBA des *Q.-C. luzuletosum* kommt im langsamen Streueabbau deutlich zum Ausdruck. In den Versuchsbeständen gibt es keine Jahreszeit mit vollständig streuefreiem Waldboden. In der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode (ab Monat Juni) liegen immer noch 40 % der ausgelegten Versuchsstreue vor. Ausnahmen machen Kirschbaum- und Birkenstreue, die anfangs Juni abgebaut sind. Blätter der Hagebuche und der kleinblättrigen Linde sind zu Beginn des neuen Laubfalles (November) abgebaut. Alle übrigen Holzarten wurden im Versuchsjahr nicht vollkommen zersetzt. Sie führen zu einer Rohhumusauflage. Am 12. November betragen die Gewichtsverluste für Feldahorn 89 %, Zitterpappel 79 %, Eiche 73 % und Buche 35 %. Von der Buchenstreue sind deshalb zu Beginn des Laubfalles noch 65 % der Anfangsmasse unzersetzt. Im *Q.-C. luzuletosum* genügt eine Vegetationsperiode nicht, um alle Streue abzubauen. In Bild 12 erscheint allerdings Ende Dezember alle Streue als zersetzt. Dies ist nur möglich, weil die Versuchsstreue aus methodischen Gründen nicht mit der neuen, im Herbst gefallenen Laubmasse in Berührung kommt (vgl. Methodik S. 323) (Tab. 28).

In der biologisch untätigen, leicht podsolierten Braunerde des *Q.-Betuletum* ist der zeitliche Abbauverlauf anders als im *Q.-C. aretosum*: im *Q.-Betuletum* wird die Hauptmasse der Versuchsstreue erst in der zweiten Hälfte (Tab. 29, Bild 13) abgebaut. Eine Ausnahme macht das

Streueabbau.

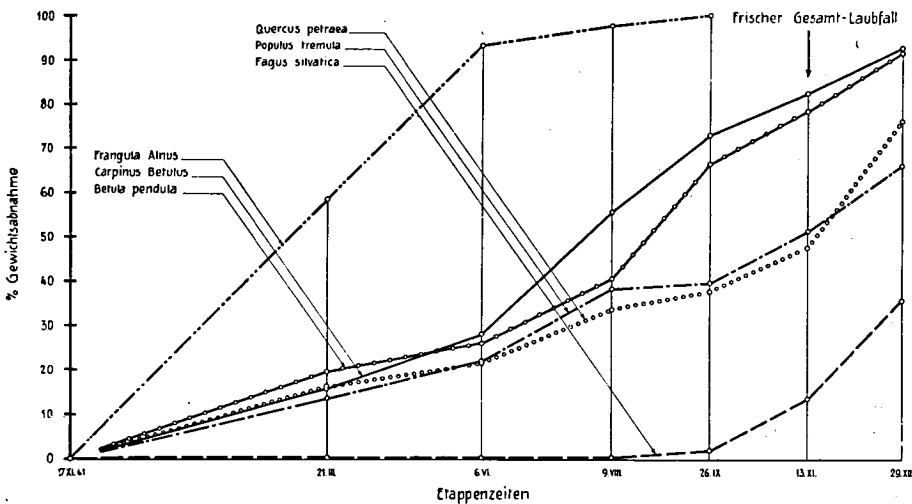
Prozentuale Gewichtsverluste der Versuchsstreue mehrerer Holzarten im *Q.-C. luzuletosum* nach verschiedenen Zeitetappen. (Versuchsperiode November 1941 bis Dezember 1942, kontinuierliche Versuchsanordnung.) Tab. 28

| | Gewichtsverluste in Prozenten seit Versuchsbeginn | | | | | |
|--|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | 1. Etappe Nov. 41 bis März 42 | 2. Etappe Nov. 41 bis Juni 42 | 3. Etappe Nov. 41 bis Aug. 42 | 4. Etappe Nov. 41 bis Sept. 42 | 5. Etappe Nov. 41 bis Nov. 42 | 6. Etappe Nov. 41 bis Dez. 42 |
| <i>Quercus robur</i> } <i>Quercus petraea</i> } | 10 | 25 | 39 | 64 | 73 | 98 |
| <i>Carpinus betulus</i> | 42 | 71 | 81 | 96 | 99 | 100 |
| <i>Populus tremula</i> | 27 | 57 | 58 | 73 | 79 | 96 |
| <i>Fagus sylvatica</i> | 7 | 8 | 2 | 12 | 35 | 88 |
| <i>Betula pendula</i> | 20 | 97 | 96 | 99 | 100 | — |
| <i>Prunus avium</i> | 50 | 99 | 99 | 99 | 100 | — |
| <i>Tilia cordata</i> | 28 | 58 | 67 | 88 | 93 | 100 |
| <i>Acer campestre</i> | 28 | 59 | 73 | 80 | 89 | 100 |

Streueabbau.

Proz. Gewichtsverluste der Versuchsstreue mehrerer Holzarten im *Q.-Betuletum* nach verschiedenen Zeitetappen. (Versuchsperiode November 1941 bis Dezember 1942, kontinuierliche Versuchsanordnung.)

Bild 13



leicht zerfallende Laub des Pulverholzes. Zu Beginn des neuen Blattfalles im November 1942 sind nur vom Laub der Hagebuchen, Birken und Zitterpappeln mehr als 50 % der Ausgangsmenge zersetzt, von Traubeneichen aber nur 47 %. Das biologisch sehr schwer abbaubare Buchenlaub ist kaum angegriffen. Im November, zur Zeit des neuen Laubfalles, sind von der letztjährigen Streue erst 62 % der gesamten Versuchsmenge abgebaut.

Streueabbau.

Prozentuale Gewichtsverluste der Versuchsstreue mehrerer Holzarten im *Q.-Betuletum* nach verschiedenen Zeitetappen. (Versuchsperiode November 1941 bis Dezember 1942, kontinuierliche Versuchsanordnung.)

| | Gewichtsverluste in Prozenten seit Versuchsbeginn | | | | | |
|-------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | 1. Etappe Nov. 41 bis März 42 | 2. Etappe Nov. 41 bis Juni 42 | 3. Etappe Nov. 41 bis Aug. 42 | 4. Etappe Nov. 41 bis Sept. 42 | 5. Etappe Nov. 41 bis Nov. 42 | 6. Etappe Nov. 41 bis Dez. 42 |
| <i>Quercus petraea</i> | 16 | 21 | 33 | 37 | 47 | 77 |
| <i>Carpinus betulus</i> | 16 | 28 | 56 | 73 | 83 | 93 |
| <i>Populus tremula</i> | 14 | 21 | 38 | 39 | 51 | 68 |
| <i>Fagus silvatica</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 13 | 35 |
| <i>Betula pendula</i> | 19 | 26 | 40 | 66 | 78 | 92 |
| <i>Frangula Alnus</i> | 58 | 93 | 98 | 100 | — | — |

Die prozentischen Gesamtgewichtsverluste aller untersuchten Streuearten sind in den drei Waldgesellschaften sehr verschieden und kennzeichnen die Standorte (Tab. 30, Bild 14).

Tab. 30

Streueabbau.

Prozentuale Gewichtsverluste der gesamten Versuchsstreue im *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* nach verschiedenen Zeitetappen. (Versuchsperiode November 1941 bis Dezember 1942, kontinuierliche Versuchsanordnung.)

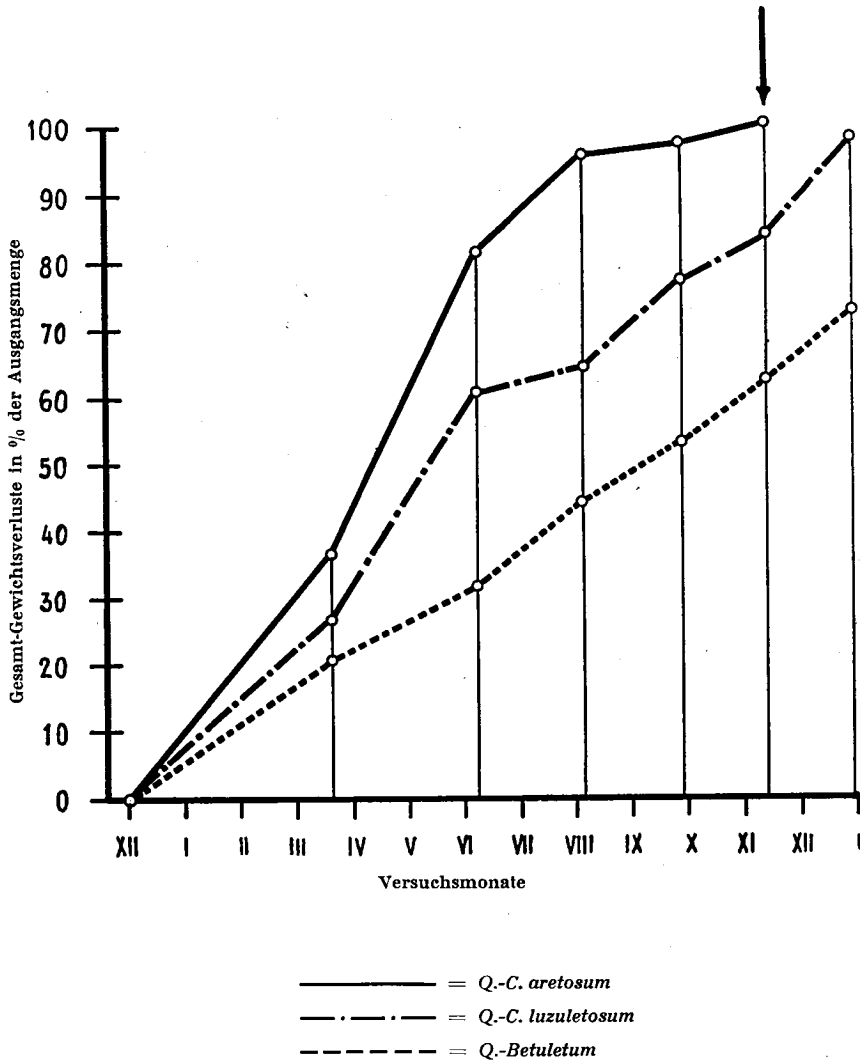
| | Prozentische Gewichtsverluste der Gesamtstreue | | |
|------------------------------------|--|--------------------------|---------------------|
| | <i>Q.-C. aretosum</i> | <i>Q.-C. luzuletosum</i> | <i>Q.-Betuletum</i> |
| 1. Etappe Nov. 1941 bis März 1942 | 37 | 26 | 20 |
| 2. Etappe Nov. 1941 bis Juni 1942 | 81 | 60 | 31 |
| 3. Etappe Nov. 1941 bis Aug. 1942 | 96 | 64 | 44 |
| 4. Etappe Nov. 1941 bis Sept. 1942 | 98 | 77 | 53 |
| 5. Etappe Nov. 1941 bis Nov. 1942 | 100 | 84 | 62 |
| 6. Etappe Nov. 1941 bis Dez. 1942 | — | 100 | 77 |

Streuabbau.

Proz. Gewichtsverluste der gesamten Versuchsstreue im *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* nach verschiedenen Zeitetappen. (Versuchsperiode November 1941 bis Dezember 1942, kontinuierliche Versuchsanordnung.)

Bild 14

Frischer
Gesamt-Laubfall



2. Versuchsgruppe «b»: Subalpine Föhren-, Arven-Föhren- und Weidegesellschaften im Schweiz. Nationalpark.

a) Allgemeines und Standortsübersichten.

Seit über 25 Jahren sind Vegetation und Boden des Schweizerischen Nationalparkes Gegenstand eingehender Untersuchungen. J. Braun-Blanquet und H. Jenny (2) publizierten 1926 eine erste Arbeit über die Vegetation und Bodenentwicklung in der alpinen Stufe. Später übernahm der Erstgenannte mit H. Pallmann das Studium der Vegetations- und Bodenforschung in der subalpinen Stufe; diese Arbeit wird in Bälde im Druck erscheinen. Von E. Frei (7) erschien 1944 eine gründliche Studie der morphologischen und kolloidchemischen Eigenschaften kennzeichnender Wald- und Weideböden des Fuorngebietes im S. N. Wie H. Pallmann und E. Frei (20 bes. S. 448) betonten, «finden sich im engern Untersuchungsgebiet des Fuorntales (Ofenpaß) für die Bodenbildung Muttergesteine von extremer petrochemischer Verschiedenheit: neben karbonatreichen Dolomiten kommen kieselsäurereiche Verrucanogesteine vor. Im ESE-WNW verlaufenden Fuorntal bieten die Talhänge den scharfen lokalklimatischen Gegensatz von Nord- und Südhang. Es weist dies Tal in seiner generalklimatischen Einheitlichkeit dank schroff wechselnder Petrographie und variabler Oberflächengestaltung eine seltene Reichhaltigkeit an gut ausgeprägten Bodentypen und der zugehörigen Vegetation auf.»

Die Eidg. Meteorologische Beobachtungsstation Buffalora ist mitten im Untersuchungsgebiet gelegen. Die von ihr beobachteten klimatischen Großwerte sind nachstehend vereinigt.

Allgemeinklima der Fuorngegend. Meteorologische Beobachtungsstation Buffalora 1977 m ü. M. (Thermometer in WNW-Exposition): Mittlere Jahresniederschläge (1917—1937) = 958 mm, mittlere Jahrestemperatur (1917—1937) = $-0,1^{\circ}$ C, mittlere Luftfeuchtigkeit (1937) = 79%.

H. Pallmann und E. Frei (20) untersuchten besonders die Temperaturverhältnisse in einigen kennzeichnenden Waldgesellschaften und deren Böden. Diese Untersuchungen zeigen den großen Einfluß des Reliefs und der Hangneigung auf das Lokalklima und weiter jenen des Lokalklimas auf Boden- und Vegetationsentwicklung.

Die Untersuchung einiger dieser Böden auf ihre biologische Aktivität drängte sich hier direkt auf, besonders weil seit einigen Jahren zahlreiche Profile durch die bodenbiologische Arbeitsgemeinschaft mikrobiologisch und faunistisch untersucht werden.

Nach Abschluß der Gemeinschaftsarbeit wird ein Vergleich mit den hier vorliegenden Aktivitätsmessungen recht interessant (Tab. 31).

**Übersicht über die mittels Z- und E-Reiftest auf ihre biologische Aktivität
untersuchten Böden subalpiner Wald- und Weidengesellschaften
des Schweiz. Nationalparks.**

Tab. 31

| Pflanzengesellschaft | Boden-Untertypen | Lokalität |
|--|--|-------------------|
| 1. <i>Pineto-Caricetum humilis</i> | Alkal. initialer Humuskarbonatboden | Plan d. Posa S |
| 2. <i>Mugeto-Ericetum caricetosum humilis</i> | Flachgr. subalp. Wald-Humuskarbonatboden | Plan d. Posa E |
| 3. <i>Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylacomietosum</i> | Tiefgr. extrem degrad. subalp. Wald-Humuskarbonatboden | Plan d. Posa N |
| 4. <i>Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum</i> | A ₂ -Varietät des subalp. Wald-Eisenpodsols | God d. Fuorn N |
| 5. <i>Trisetetum flavescens</i> | Mittelgründiger subalp. Weide-Humuskarbonatboden | Stavel Chod S |

Vier Profile (1, 2, 3 und 5) gehören der subalpinen Humuskarbonatbodenserie an und umfassen darin unterschiedlichste Entwicklungsstadien, sie fächern von den initialen Bodenbildungen über die reifen Glieder bis zu extremen Degradationsstadien. Ebenso stark divergieren die lokalklimatischen und weitem ökologischen Verhältnisse. Auch die waldbaulichen Gegebenheiten zeigen die bereits standörtlich ausgewiesenen großen Differenzen. Profil 4 gehört zur Podsolserie und stellt die kennzeichnendste Varietät derselben im Fuorngebiet dar.

Alle Versuche wurden nach Art des diskontinuierlichen Verfahrens angelegt (d).

Die speziellen Standortsbeschreibungen sind nachstehend zusammengefaßt.

a) Gemeinde Zernez, Il Fuorn. T. A. 424.

Koord. 811250 / 172025.

Plan dala Posa.

Muttergestein: Anstehender Wettersteindolomit mit Wettersteindolomit-Gehängeschutt.

Bodenserie: Subalpine Humuskarbonatboden-Serie.

Waldgesellschaft: *Pineto-Caricetum humilis* (Br.-Bl.) = Föhren-Seggen-Assoziation; 1910 m ü. M.; 66 % Neigung; Exposition S.

Serien-Untertyp: Initialer, subalp. Humuskarbonatboden.

Bodenvarietät: Extrem flachgründiger, feinerreicher, alkalischer und wenig fixierter mineralreicher Karbonatboden. Schwach entwickeltes Bodengefüge. Relativ hohe biologische Aktivität während der Vegetationszeit. Geringe zoogene Durchmischung, jedoch begünstigte mechanische Bodenschichtenverlagerungen. Locker gemengter, initialer, hemorganischer Mullhumus von geringer Mächtigkeit. In Horsten von *Carex humilis* Kalkskelett bis zur Oberfläche. (Analytische Daten vgl. Tab. 32.)

Versuchshorizonte: 0–12 cm rAC.

Versuchsdauer: 18. Juli bis 22. Oktober 1943 = 96 Tage.

Analytische Daten im Carex humilis-Polster des initialen Humuskarbonatbodens.

Tab. 32 (z. T. nach Pallmann, noch nicht veröffentlicht.)

| Horizonte | rA ₁ | rAC |
|---|-----------------|---------|
| pH (Juli) | 7,5 | 7,9 |
| Gesamthumus % | > 20,0 | ca. 3,0 |
| Biologische Horizont-Etappenaktivität Zellulose . | 0,77 | 0,62 |
| Biologische Horizont-Etappenaktivität Eiweiß . . | 0,17 | 0,18 |

β) Waldgesellschaft: *Mugeto-Ericetum caricetosum humilis* (Br.-Bl.) = Erika-Bergföhrenassoziation. 1910 m ü. M.; Neigung 17—26%; Exposition E.

Serien-Untertyp: Flachgründiger, subalpiner Wald-Humuskarbonatboden.

Bodenvarietät: Flachgründiger, skelettreicher, neutral bis schwach sauer reagierender, wenig verwitterter Humuskarbonatboden mit beginnender Profilgliederung in rA₀ -rA₁ -rA₂ und rAC. Mäßig bis gut (rA₁) entwickeltes Gefüge. Mäßige bBA und geringe Horizontmächtigkeit. Kalkskelett in lokalen Nestern bis an die Oberfläche. Leichte Verbraunungstendenz (Analytische Daten vgl. Tab. 33).

Versuchshorizonte: rA₀ (0—1 cm) / rA₁ (1—4 cm) / rA₂ (16 cm) / rAC (35—40 cm).

Versuchsdauer: 18. Juli bis 22. Oktober 1943 = 96 Tage.

Analytische Daten des subalpinen Wald-Humuskarbonatbodens.

Tab. 33 (z. T. nach Pallmann, noch nicht veröffentlicht.)

| Horizonte | rA ₀ | rA ₁ | rA ₂ | rAC |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| pH (Juli) | 6,0 | 6,8 | 7,7 | 7,9 |
| Gesamthumus % | 74,4 | 24,9 | 6,1 | 3,5 |
| Gesamt-N % | 0,90 | 0,46 | 0,07 | 0,01 |
| Austausch-Ca Mval | 30 | 44 | 23 | 14 |
| MgCO ₃ /CaCO ₃ % | 0 | 31,5 | 87,7 | 96,1 |
| P ₂ O ₅ % | 0,07 | 0,07 | 0,02 | 0,01 |
| H ₂ O (bis 105° C) % | 13,0 | 7,0 | 1,0 | 0,6 |
| Biologische Horizont-Etappenaktivität Zellulose | 0,89 | 0,92 | 0,21 | 0,15 |
| Biologische Horizont-Etappenaktivität Eiweiß | 0,17 | 0,12 | 0,10 | — |

γ) Waldgesellschaft: *Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum* (Br.-Bl.) = Calciphile Alpenrosen-Bergföhren-Assoziation. 1900 m ü. M.; Neigung 68%; Exposition NNE.

Serien-Untertyp: Extrem degradierter subalpiner Wald-Humuskarbonatboden.

Bodenvarietät: Tiefgründiger, grobkörniger, stark versauerter subalpiner Wald-Humuskarbonatboden. Dem Profil aufgelagerte, mächtige, saure A₀/A₁-Decke

auf grobskelettigem, durchlässigem, mäßig gekrümeltem rA_1 und schwach bis nicht gekrümeltem rA_2 bzw. rAC . Tonarm. Unentwickeltes Gefüge im mineralischen Profilanteil, schwache bBA. Geringe zoogene Durchmischung, beschränkt auf rA_1 und rA_2 . $CaCO_3$ in Feinerde und Skelett vorhanden bis in rA_1 -Horizont. (Analytische Daten Tab. 34.)

Versuchshorizonte: A_0 (0–1 cm) / A_1 (5 cm) / A_1 (10–14 cm) / A_1 (20–25 cm) / rA_1 (26–35 cm) / rA_2 (30–41 cm) / rA_2 (42–54 cm) / rAC (59 cm).

Versuchsdauer: 18. Juli bis 22. Oktober 1943 = 96 Tage.

Analytische Daten des extrem degradierten subalpinen Wald-Humuskarbonatbodens.

(z. T. nach Pallmann, noch nicht veröffentlicht.)

Tab. 34

| Horizonte | A_0/A_1^1 | A_1^2 | rA_1 | rA_2 | rAC |
|---|---------------|---------------|--------|---------------|-------|
| pH (Juli) | 4,8 | 4,1 | 6,8 | 7,2 | 7,5 |
| Gesamthumus % | 80,7 | 60,8 | | 10,8 | 2,2 |
| Gesamt-N % | 0,94 | 0,85 | | 0,17 | 0,13 |
| Austausch-Ca Mval | 26 | 29 | | 21 | 13 |
| $MgCO_3/CaCO_3$ % | 0 | 0 | | 78,2 | 96,5 |
| P_2O_5 % | 0,09 | 0,10 | | 0,03 | 0,01 |
| H_2O (bis 105° C) % | 14,0 | 13,2 | | 2,0 | 0,3 |
| Biologische Horizont- Etappenaktivität Zellulose | 0,66— 0,85 | 0,51— 0,25 | 0,31 | 0,19— 0,02 | 0,12 |
| Biologische Horizont- Etappenaktivität Eiweiß | 0,04— 0,07 | 0,04— 0,03 | 0,04 | 0,11— 0,09 | 0,14 |

δ) Gemeinde Zernez, Il Fuorn, T. A. 424, Koord. 812050/171450. God dal Fuorn (Nordhang des Munt la Schera), 1850 m ü. M.; 55–64 % Neigung; Exposition N. Waldgesellschaft: *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* (Pallmann und Haffter).

Muttergestein: Saurer, grobkörniger Verrucanohangschutt.

Bodenserie: Subalpine Podsolserie.

Serien-Untertyp: Wald-Eisenpodsol.

Bodenvarietät: A_2 -Variante des subalpinen Eisenpodsols. Unter faserigem, verfilztem, saurem Rohhumus mächtiger A_2 -Horizont, grobsandig und durchlässig. Sehr saure Bodenreaktion, primitives Gefüge in organischen und anorganischen Horizonten. Schwache bBA, fehlende zoogene Durchmischung. $CaCO_3$ im ganzen Profil fehlend. (Analytische Daten vgl. Tab. 35.)

Versuchshorizonte: A_0 (0–1 cm) / A_1 (3 cm) / A_1 (6 cm) / Kohlschicht (15 cm) / A_2 (25 cm) / A_2 (40 cm) / B_s (52–65 cm).

Versuchsdauer: 19. Juli bis 24. Oktober 1943 = 96 Tage.

ε) Gemeinde Zernez, Stavel Chod, T. A. 425, Koord. 814412/171950; 1970 m ü. M.; 11 % Neigung; Exposition S.

Weidegesellschaft: *Trisetetum flavescens* = Goldhafer-Assoziation.

Muttergestein: Hangschutt und Wildbachalluvion von Haupt- und Raiblerdolomit.

Bodenserie: Subalpine Humuskarbonatenbodenserie.

Analytische Daten der subalpinen A₂-Varietät des Wald-Eisenpodsoles.

Tab. 35

(z. T. nach P a l l m a n n, noch nicht veröffentlicht.)

| Horizonte | A ₀ | A ₁ | A ₂ | B _s | B _s ' |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| pH (Juli) | 4,5 | 3,7 | 4,5 | 5,0 | 5,6 |
| Gesamthumus % | 81,9 | 52,2 | 1,3 | 3,1 | 1,4 |
| Gesamt-N % | 1,28 | 0,89 | 0,01 | 0,04 | 0,02 |
| Austausch-Ca Mval | 18,0 | 8,4 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| MgCO ₃ /CaCO ₃ % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| P ₂ O ₅ % | 0,15 | 0,09 | 0,005 | 0,02 | 0,01 |
| H ₂ O (bis 105° C) % | 13,3 | 7,6 | 0,1 | 1,3 | 0,3 |
| Biologische Horizont- Etappenaktivität Zellulose | 0,85 | 0,60— 0,33 | 0,00 | 0,13 | — |
| Biologische Horizont- Etappenaktivität Eiweiß | 0,04 | 0,07— 0,05 | 0,07— 0,05 | 0,15 | — |

Serien-Untertyp: Subalpiner Weide-Humuskarbonatboden.

Bodenvarietät: Mittelgründiger, neutral bis leicht alkalisch reagierender, grobkörniger subalpiner Weide-Humuskarbonatboden. Feindisperser, geformter, hemorganisch innig gemengter, koprogener Mullhumus. Namentlich in rA₁ gut entwickeltes Gefüge, ohne Verlagerungserscheinungen. Tonbildung mäßig. (Analytische Daten vgl. Tab. 36.)

Versuchshorizonte: rA₀ (0—1 cm) / rA₁ (2 cm) / rA₁ (5 cm) / rA₁ (10 cm) / rA₂ (fehlt wegen » Ki) / rA₂ — rA₃ (45 cm).

Versuchsdauer: 19. Juli bis 24. Oktober 1943 = 96 Tage.

Analytische Daten des subalpinen Weide-Humuskarbonatbodens.

Tab. 36

[z. T. nach F r e i (7)].

| Horizonte | rA ₀ | rA ₁ | rA ₂ | rA ₃ | rAC |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| pH (frisch in H ₂ O) | 7,1 | 7,6 | 8,0 | 7,8 | 7,9 |
| Gesamthumus % | 69,9 | 16,1 | 2,2 | 4,8 | 2,4 |
| Gesamt-N % | 2,14 | 1,34 | 0,05 | 0,07 | 0,02 |
| Umtauschkapazität Mval | 157,5 | 33,2 | 9,0 | 25,9 | 9,0 |
| MgCO ₃ + CaCO ₃ % | — | 47 | 91 | 92 | 94 |
| Biologische Horizont- Etappenaktivität Zellulose | 0,96 | 0,91— 0,94 | — | 0,54 | — |
| Biologische Horizont- Etappenaktivität Eiweiß | 0,35 | 0,22— 0,17 | — | 0,14 | — |

Für alle Standorte der Versuchsgruppe «b» sind die Zellulose- und Eiweißschnüre diskontinuierlich eingezogen worden. Es konnte nur eine Versuchsetappe verwendet werden, da die Proben der zweiten und dritten Etappe wegen Militärdienst zu ungünstiger Zeit geerntet werden mußten. Die ausgewertete Versuchsetappe erstreckt sich vom 18./19. Juli bis zum 22./23. Oktober 1943 = 96 Tage. Aus diesen Gründen ist es nicht möglich, Periodenaktivitäten und relative Etappenwerte gesondert zu berechnen.

b) Zellulose- und Eiweißabbau im Boden des *Pineto-Caricetum humilis* (Br.-Bl.).

An vielen Stellen stößt am Südhang der anstehende Dolomit aus dem feinerdispersen Verwitterungsschutt heraus. Am Steilhang ist die Feinerde in ständiger schwacher Bewegung. Der Bodenfrost unterstützt alljährlich diese oberflächlichen Verlagerungen. Flachgründigkeit kennzeichnet den Standort. An einigen lokal etwas weniger geneigten Stellen verbauen Polster von *Carex-humilis* mit ihrem zähen Wurzelnetz in flächenmäßig kleiner Ausdehnung den Hang; mineralische Feinerde und Skelett stauen sich oberhalb dieser lebenden Stützelemente, ihnen sind vermehrt humusbildende Pflanzenreste beigemischt.

Die stark geneigte Südlage führt zu einem ausgesprochen kontinentalen Lokalklima. Der kleine Schlußgrad der Bergföhren und der nur geringe Bodenschutz durch Kräuter lassen die Sonne wenig abgeschwächt auf den humusarmen und flachgründigen Rohboden auffallen. In der schneefreien Jahreszeit erwärmt sich dieser tagsüber sehr stark [T_{\max} an Bodenoberfläche in der Zeit vom 20. Mai bis 20. Juni 1941 = 55°; T_{\min} = 2° (20, bes. S. 459)], er trocknet rasch aus und kühlt sich während der Nacht stärker ab als ein Boden mit besserem Vegetationsschutz. Hohe tägliche und jahreszeitliche Temperaturschwankungen kennzeichnen den Standort.

Die Anlage des Reißtestversuches hatte auf die standörtlichen Besonderheiten Bedacht zu nehmen. In die vegetationsfreien Stellen des Rohbodens konnten keine Testschnüre eingezogen werden, da sie durch die ständige Bodenverfrachtung ihre Lage änderten. Im *Pineto-Caricetum humilis* wurde deshalb die bBA in einzelnen *Carex-humilis*-Polstern und in der dahinter aufgehaltene, durch *Carex*-Wurzeln verfestigten Feinerde untersucht. Sicher wurden damit die biologisch aktivsten Stellen des Bodenmosaiks erfaßt. Die extremeren Rohbodenorte sind im gesamten weniger aktiv, es fehlt an org. Bodensubstanz und an genügender Wasserhaltung.

Die Ergebnisse der Testschnurmethode sind aus den oben erwähnten methodischen Gründen Höchstwerte der bBA. Die Zellulose und

das Eiweiß werden rasch angegriffen. Im Schutze der eng verwobenen Wurzeln wird die mit mehr Humus durchsetzte Feinerde angereichert, die Befeuchtung ist besser als im unverfestigten, rein mineralischen und grobdispersen Rohboden. Die täglichen Temperaturschwankungen sind in den Carexprofilen kleiner, den zellulose- und eiweißabbauenden Mikroorganismen werden damit die Lebensbedingungen verbessert.

c) Zellulose- und Eiweißabbau im Boden des Mugeto-Ericetum caricetosum (Br.-Bl.).

Die geringe Neigung des Standortes verhindert größere mechanische Bodenschichten-Verlagerungen. Aus den gebildeten Verwitterungsprodukten, der vermehrten Föhren- und Erika-Nadelstreue und der gesteigerten bBA entsteht ein flachgründiger, subalpiner Humuskarbonatboden mit deutlicher Profilgliederung. Ein dünner, schwach saurer rA_0 -Horizont ist dem schwach sauren bis schwach alkalischen rA_1 aufgesetzt. In diesem ist der Abbau organischer Substanz am weitesten fortgeschritten, der Feinerdeanteil und der Gehalt an Humusstoffen wird größer, die Krümel erscheinen auch stabiler. Vom alkalischen rA_2 zum rAC nehmen sowohl das Wasserbindevermögen als auch der Feinerde- und Humusgehalt wieder ab.

Als oekologische Besonderheiten des Standortes sind erwähnenswert: der stärkere Bestandesschluß und der mehr als die Hälfte der Bodenoberfläche deckende Erika-Rasen schützen den Boden vor starker Wärmeein- und -ausstrahlung. Die geringere lokale Kontinentalität und damit die gemäßigteren Feuchtigkeitsschwankungen begünstigen das Wachstum der Bodenlebewelt, was im rA_1 am besseren Abbau des organischen Pflanzenmaterials festgestellt werden kann. Nach E. Frei (7 bes. S. 309) ist der Regenwurm im rA_1 tätig. Er vermengt die Humusstoffe mit mineralischer Feinerde und erhöht damit die Stabilität des Krümel- und Bodengefüges. Immerhin reicht die bBA nicht aus, alle Humusbildner in feindisperse Humusstoffe umzuwandeln. Dem rA_1 ist daher eine schwach saure Rohhumusschicht aufgelagert, der jährliche Nadelfall vermag nicht in einer einzigen Vegetationsperiode zersetzt zu werden.

Die Hauptwurzeln der Strauch- und Krautschicht streichen im rA_1 -Horizont und in der Uebergangszone zum rA_2 . Sie gehen selten tiefer als 20 cm. Im rA_2 und rAC sind zum größten Teil nur Pinuswurzeln anzutreffen. Die bBA geht rasch mit abnehmendem Humusgehalt der tiefern Horizonte zurück (vgl. S. 365).

Die Ergebnisse der Testschnurmethode weisen auf die gegenüber dem Humuskarbonat-Rohboden fortgeschrittene Profilentwicklung hin. Die absolute bBA ist in den obersten Bodenhorizonten nicht viel

größer als im Boden der Carexpolster des *Pineto-Caricetum*, sie reicht aber in größere Bodentiefen. Im skelettreichen rA_2 und rAC stößt der Testschnurversuch auf methodische Schwierigkeiten. Die Stahlnadeln werden durch Gesteinstrümmer oft abgelenkt und können nur schwer im gewünschten Horizont parallel zur Erdoberfläche eingezogen werden. Die Gefahr, daß beim Einziehen der Testschnüre einzelne Fasern derselben an scharfen Gesteinskanten durchschnitten werden, erwies sich als unwesentlich.

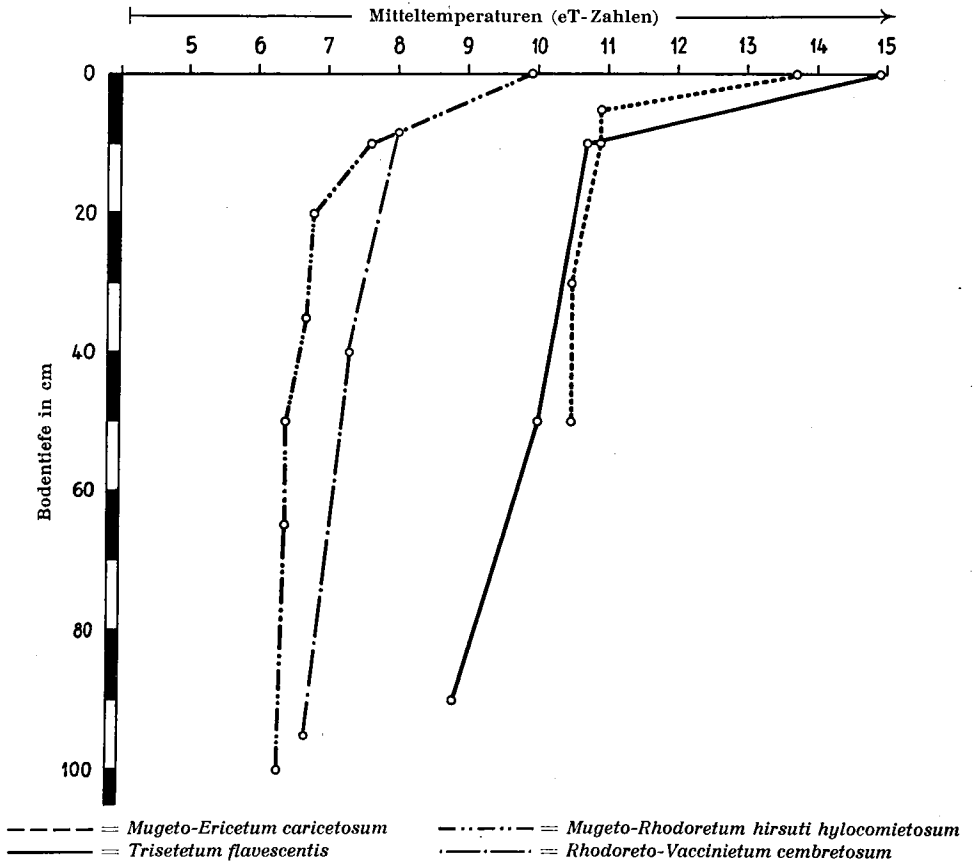
d) Zellulose- und Eiweißabbau im Boden des *Mugeto-Rhodoretum* *hirsuti hylacomietosum* (Br.-Bl.).

In Nordexposition wird bei gesteigerter lokaler Humidität die im *Mugeto-Ericetum caricetosum* bereits leicht angedeutete Bodendegradation extrem intensiviert. Dem skelettreichen dolomitischen Untergrund sind mächtige, stark versauerte A_0 - und A_1 -Horizonte aufgesetzt. Trotz der steilen Hanglage fehlen mechanische Schichtenverlagerungen, da das dichte Wurzelnetz der Bergföhren, Arven und Fichten zusammen mit den grobfilzigen, zähverflochtenen Alpenrosenwurzeln das tiefgründige Bodenprofil festigen. Unter dem grobfaserigen, sauren A_0 -Rohhumus liegt der mittelfaserige, wurzeln- und pilzhyphenverfilzte, holorganische saure Rohhumus A_1 mit hohem Wasserbindevermögen. Nach unten scharf abgegrenzt, folgt der in Skelett und Feinerde kalkhaltige rA_1 -Horizont mit mildem, koprogenem, hemorganischem Mull. Von hier an nimmt der Humus- und Feinerdegehalt mit größerer Profiltiefe (rA_2/rAC) ab; Skelettanteil und Durchlässigkeit nehmen zu.

Oekologische Besonderheiten ergeben sich aus der speziellen orographischen Lage des Standortes: durch die Nordexposition und starke Hangneigung wird die Feuchtigkeit im Bestande und im Boden erhöht. Hoher Schlußgrad der Bergföhren-, Arven- und Fichtenkronen hemmt zusammen mit der praktisch durchgehenden bodendeckenden Kraut-Strauchschicht die tägliche Verdunstung. Der dem Profil aufgesetzte mächtige Rohhumus bindet große Wassermengen, die auch in Trockenzeiten schwer abgegeben werden. Der hohe Feuchtigkeitsgehalt der sauren Profilaufgabe ist für den Standort ebenso kennzeichnend wie das grobe Bodenfilter des kalk- und skelettreichen Untergrundes. Das aus der großen Kalkreserve des Gesteins ins Bodenprofil ständig nachgelieferte $CaCO_3$ hemmt trotz großer Lokalhumidität die Entbasung des mineralischen Verwitterungsbodens in rA_1 ; rA_2 und rAC . Die sauren Rohhumusdecken sind dem Profil scharf aufgelagert. Die großen Aziditäts- und Feuchtigkeitsunterschiede in den verschiedenen Horizonten des Bodenprofils sind für die Verteilung der Mikroorganismen und der Bodentiere von Bedeutung.

- Mitteltemperaturen (eT-Zahlen) in verschiedenen Bodenhorizonten einiger Wald- und Weideböden des Schweizerischen Nationalparks.
(Versuchsetappe Juli bis Oktober 1943.)

Bild 15



Die Ergebnisse der Testschnurmethode sollten stets im Vergleich mit den im Versuchshorizont wirkenden Standortfaktoren, wie Luft, Wassergehalt, Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen, Bodenreaktion, Gefügeeigenschaften usw., diskutiert werden. Bisher kann leider diesem Bedürfnis aus methodischen Gründen nur selten entsprochen werden. Für die in vorliegender Arbeit untersuchten Gesellschaften des Plan dala Posa wurde die sog. wirksame Mitteltemperatur in verschiedenen Versuchshorizonten gemessen (Tab. 37, Bild 15). Eine einfache Abhängigkeit der bBA von der Temperatur läßt sich nicht erkennen. Trotz des mächtigen A₀-Horizontes wird der stark wasserhaltende A₁-Horizont von der Wärmeeinstrahlung noch erreicht, und er vermag sich in seinen oberen Schichten noch deutlich zu erwärmen. A₀ und A₁ wirken aber auf

die tiefer gelegenen Horizonte des Profils wärmeisolierend. Obwohl auch die bBA vom A₁- bis zum rAC-Horizont abnimmt, ist ihre Abhängigkeit von der Bodentemperatur kaum so einfach, daß endgültige Gesetzmäßigkeiten aus vorliegenden Versuchen abgeleitet werden könnten. Nicht jede Temperaturzunahme führt zu einer Aktivitätssteigerung, besonders wenn gleichzeitig die Bodenfeuchtigkeit stark abnimmt. Das Bodengefüge und die Vegetation spielen eine wesentliche, noch recht wenig erforschte Rolle.

Mitteltemperaturen (eT-Zahlen) in verschiedenen Bodenhorizonten einiger Wald- und Weideböden des Schweizerischen Nationalparks.

(Versuchsetappe Juli bis Oktober 1943.)

Tab. 37

| <i>Mugo-Ericetum caricetosum</i> | | <i>Mugo-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum</i> | | <i>Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum</i> | | <i>Trisetetum flavescens</i> | |
|----------------------------------|---------|---|---------|--|---------|------------------------------|---------|
| Horizont cm | eT-Zahl | Horizont cm | eT-Zahl | Horizont cm | eT-Zahl | Horizont cm | eT-Zahl |
| Oberfl. | 13,7 | Oberfl. | 9,9 | nb | nb | Oberfl. | 14,9 |
| rA ₁ 5 | 10,9 | A ₁ 10 | 7,6 | A ₁ 8 | 8,0 | rA ₁ 10 | 10,7 |
| rA ₂ 10 | 10,9 | A ₁ 20 | 6,8 | A ₂ 40 | 7,3 | rA ₃ 50 | 10,0 |
| rA ₂ 30 | 10,5 | rA ₁ 35 | 6,7 | B _s 95 | 6,7 | rC 90 | 8,8 |
| rAC 50 | 10,5 | rA ₂ 50 | 6,4 | | | | |
| | | rAC 65 | 5,4 | | | | |

e) Zellulose- und Eiweißabbau im Eisenpodsol des Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum (Pallmann-Haffter).

Auf dem karbonatfreien und kieselsäurereichen Verrucano bildet sich die sog. A₂-Varietät des subalpinen Wald-Eisenpodsoles. Unter einem grobfaserigen, zur Hauptsache aus Arven-Bergföhren- und Fichtennadeln, sowie aus Alpenrosen- und Heidelbeerblättern bestehenden sauren A₀-Horizont wird ein faseriger, engverfilzter holorganischer, saurer Rohhumus (= A₁-Horizont) ausgebildet, der die im grobkörnigen Verrucano-Verwitterungsmaterial ohnehin begünstigte Bodenentbasung beschleunigt. Schmale Kohlenbänder, die im Profil bis zum A₂-Horizont reichen, deuten auf ehemaligen Bodenbrand hin. Wegen geringen Gehaltes an feindispersen, mineralischen Bestandteilen und fehlenden Humuskitten können bei Abwesenheit stärkerer Koagulatoren natürlich keine festen Bodenkrümel gebildet werden. Das Gefüge des tiefgründigen, stark versauerten Bleicherdehorizontes A₂ ist primitiv. Verlagerungen von Feinerdeanteilen nach

B_s sind im groben Porenfilter möglich. So stieß man beim Einziehen der Stahlnadeln im leicht zementierten Anreicherungshorizont B_s auf bedeutend größeren Widerstand als im losen A₂- oder organischen A₁-Horizont.

Oekologische Besonderheiten des Standortes ergeben sich aus der extrem humiden schattigen Nordhanglage und dem kalkfreien durchlässigen Untergrund: der hohe Schlußgrad (> 50%) der Arven-, Bergföhren- und Fichtenkronen, das üppige Blattwerk von Alpenrosen und Heidelbeeren sowie ihr dicht gewobener und zäher Wurzelfilz setzen die tägliche Verdunstung herab. Andererseits werden in den Nadelkronen des Hauptbestandes und an den kleinen Blättern der Kraut-Strauchvegetation nur relativ geringe Regenmengen zurückgehalten. Die Niederschläge gelangen großenteils auf den Boden, wo sie vom sauren A₁-Horizont festgehalten werden. Hier entstehen die organischen Schutzkolloide des feindispersen Humus und anderer Oxysäuren. Im groben Porenfilter des A₂-Horizontes werden die Eisen- und Aluminiumhydroxyde aus den Hüllzonen der Mineralkörner gelöst, wanderungsbereit und erst im B_s-Horizont wieder isoelektrisch gefällt (23).

Im lockeren, grobdispersen Boden meiden die Baumwurzeln den nährstoffarmen A₂-Horizont, sie streichen flach. Die Filterporen im B_s-Horizont sind zum Teil abgedichtet und für Pflanzenwurzeln schlecht passierbar.

Die Ergebnisse der Testschnurmethode zeigen, daß das biologische Geschehen sich fast nur in den obersten organischen Horizonten abspielt. Das Einziehen der Testschnüre im lockeren, sandig-skelettigen A₂-Horizont ist schwierig. Stoßen die Stahlnadeln auf größere Steine, dann brechen die schütter-losen Horizontpartien leicht aus dem Versuchsbalken heraus. Eine nachträgliche Reparatur solcher Versuchshorizonte ist unzulässig, es müssen dann stets neue Profile gegraben werden.

f) Zellulose- und Eiweißabbau im Boden des *Trisetetum-flavescentis*.

Der subalpine Weide-Humuskarbonatboden auf Stavel-Chod ist sehr wahrscheinlich sekundär aus einem subalpinen Wald-Humuskarbonatboden entstanden. Nach der Waldrodung wurde die Fläche zunächst als Weide, später als staffelnahe Mähwiese bewirtschaftet. Seit 1918 dient sie ausschließlich den Hirschen zur Aesung. Ein dichter Gramineenrasen deckt das Bodenprofil. Die bBA ist auffallend groß: die anfallenden Humusbildner werden rasch zersetzt und humifiziert; es entsteht ein nach unten in 10—15 cm deutlich abgesetzter koprogener, hemorganischer Mullhumus. Die verhältnismäßig starke Bodendurchwühlung (Regen-

wurm-vorkommen) geht nicht tiefer als diese Mullschicht. Der rA_2 -Horizont ist heller gefärbt, er hat die Eigenfarbe des verwitterten Gesteins. Nach E. Frei (7 bes. S. 314—319) erscheint in ca. 40—55 cm Profiltiefe ein durch Wildbachgeschiebe verschütteter rA_1 -Horizont, erkennbar an Kohlenresten und angereichertem chemogenem Mullhumus.

Die oekologischen Besonderheiten des Standortes ergeben sich z. T. aus der früher vorgenommenen Entwaldung. Die Niederschläge fallen ungehindert auf den fest verfilzten Gramineenrasen. Dieser benetzt sich in trockenem Zustand relativ schwer. Ein Teil des Wassers fließt oberflächlich ab oder verdunstet. Nicht alles Niederschlagswasser gelangt deshalb zum rA_1 - und rA_2 -Horizont. Die Wärmeeinstrahlung wird durch den dichten Gramineenrasen ebenfalls abgeschwächt. Dieser schützt aber den Boden vor großen Wasserverlusten durch kapillaren Aufstieg und Verdunstung. Die nicht in den Boden gelangende Regenmenge wird durch diesen Schutz teilweise ausgeglichen [Wasserkapazität = 58% (7 bes. S. 318)]. Spezielle Versuche sollten den Wasser- und Wärmehaushalt dieses Bodens in Verbindung mit seinen Gefügeeigenschaften abklären.

Die Testschnurmethode erweist die hohe bBA des Profils. Die innige zoogene Mischung von koprogenem Mullhumus mit anorganischer Feinerde ergibt bei dem hohen Erdalkaliionengehalt stabile Krümel im rA_1 -Horizont. Der Vegetationswechsel von *Mugeto-Ericetum caricetosum* zum *Trisetetum flavescens* hat unter Einschluß der früheren Düngung die bBA zu steigern vermocht. Es war deshalb angebracht, die Etappenzeiten nicht länger als 60—70 Tage zu wählen, damit auch die Zellulose-Testschnüre des rA_0 und rA_1 -Horizontes mühelos geerntet werden konnten.

g) Vergleich der biologischen Tätigkeit in den Böden der untersuchten Pflanzengesellschaften des Schweiz. Nationalparkes.

In der Bodenserie der subalpinen Humuskarbonatböden sind die Serien-Untertypen an der kennzeichnenden Horizontgliederung erkennbar. Die bBA wurde deshalb nicht in bestimmten Profiltiefen, sondern in charakteristischen Bodenhorizonten untersucht.

Im extrem flachgründigen initialen Humuskarbonatboden des *Pineto-Caricetum humilis* steht der Fels meistens schon in 10 cm Bodentiefe an. Biologische Abbauprobe nach der Reißtestmethode können nicht tiefer angelegt werden. Im *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* dagegen wurden Testschnüre auch im B_s -Horizont (59 cm) eingezogen. Die Versuchsetappe umfaßt die Jahreszeiten Spätsommer und Herbst.

Zelluloseabbau.

Im flachgründigen initialen Humuskarbonatboden des *Pineto-Caricetum humilis* ist die bBA in *Carex humilis*-Polstern hoch (Tab. 38). Der Unterschied zu der flächenmäßig vorherrschenden vegetationsfreien und im Sommer meist staubig trockenen Bodenoberfläche ist augenfällig. Die Bodenlebewesen finden hier günstigere Wuchsbedingungen. Durch ihre Tätigkeit zerfallen die Humusbildner in ihre Zellbestandteile und werden teilweise zersetzt und humifiziert. Diese Vorgänge zeigen sich in der gesteigerten Zellulosezersetzung. Der günstige Einfluß der Bodenvegetation auf die bBA kommt an diesem Beispiel deutlich zum Ausdruck (Bild 16).

Zelluloseabbau.

Profilmäßige Darstellung der Horizont-Etappenaktivitäten (E_{dh}) in den Böden verschiedener Wald- und Weidegesellschaften des Schweizerischen Nationalparks.

Tab. 38

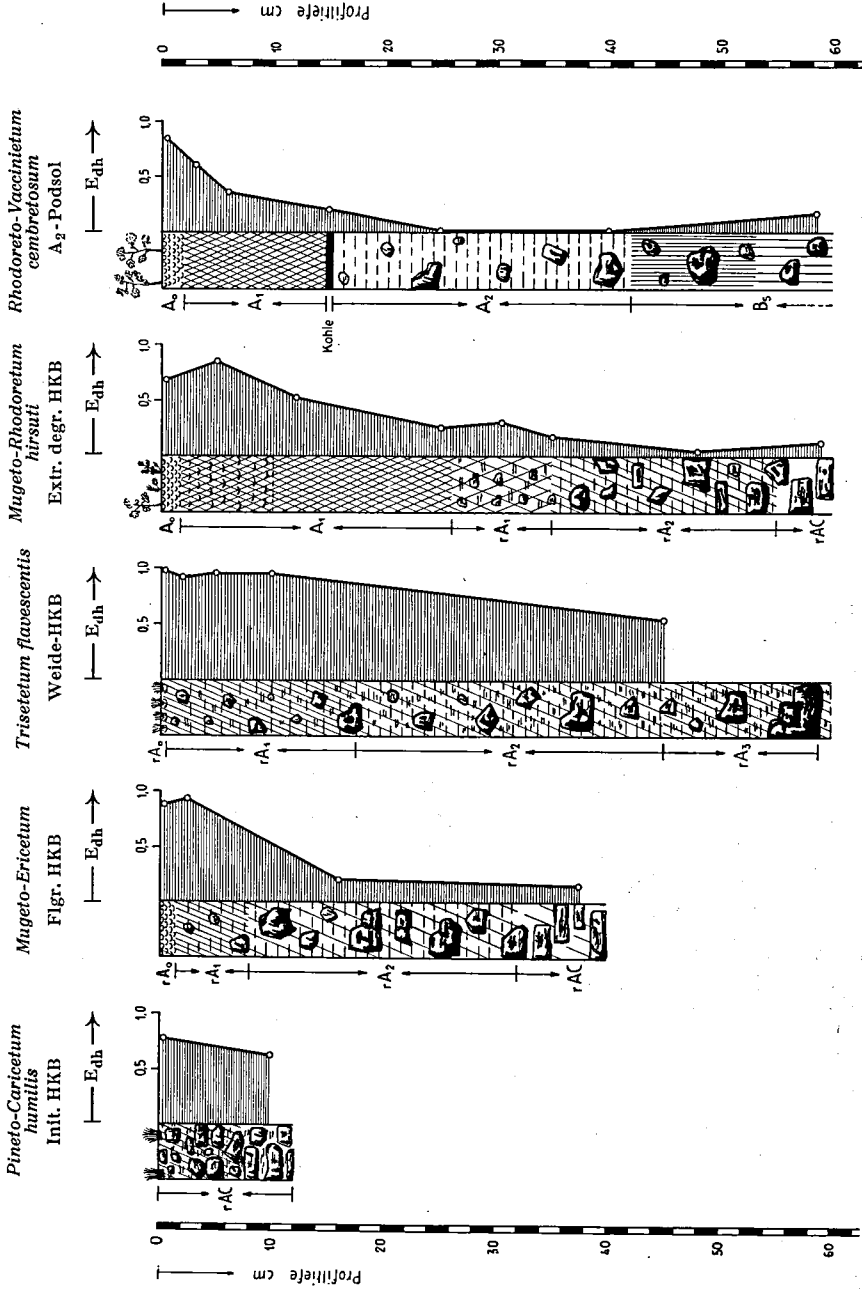
(Versuchsetappe Juli bis Oktober 1943.)

| <i>Pineto Caricetum humilis</i> | | <i>Mugeto-Ericetum caricetosum humilis</i> | | <i>Trisetetum flavescens</i> | | <i>Mugeto-Rhodretum hirsuti hylocomietosum</i> | | <i>Rhodoreto-Vaccinetum cembretosum</i> | |
|---------------------------------|----------|--|----------|--|----------|--|----------|---|----------|
| Horiz. | E_{dh} | Horiz. | E_{dh} | Horizont | E_{dh} | Horizont | E_{dh} | Horizont | E_{dh} |
| rAC 0-1 | 0,77 | rA ₀ 0-1 | 0,89 | rA ₀ 0-1 | 0,96 | A ₀ 0-1 | 0,66 | A ₀ 0-1 | 0,85 |
| rAC 8-12 | 0,62 | rA ₁ 1-4 | 0,92 | rA ₁ 2 | 0,91 | A ₁ 5 | 0,85 | A ₁ 3 | 0,60 |
| | | rA ₂ 16 | 0,21 | rA ₁ 5 | 0,94 | A ₁ 10-14 | 0,51 | A ₁ 6 | 0,33 |
| | | rAC 35-40 | 0,15 | rA ₁ 10 | 0,94 | A ₁ 20-25 | 0,25 | Kohle 15 | 0,16 |
| | | | | rA ₂ | nb | rA ₁ 26-35 | 0,31 | A ₂ 25 | 0,00 |
| | | | | rA ₂ - rA ₃ 45 | 0,54 | rA ₂ 30-41 | 0,19 | A ₂ 40 | 0,00 |
| | | | | | | rA ₂ 42-54 | 0,02 | B _s 52-65 | 0,13 |
| | | | | | | rAC 59 | 0,12 | | |

Im flachgründigen, nach E exponierten *Mugeto-Ericetum caricetosum* kann die größte bBA im rA₁-Horizont gemessen werden. Der geformte und gemengte, hemorganische koprogene Mullhumus setzt für seine Bildung eine größere bBA voraus, was der Kurvenverlauf des Zellulose-

Zelluloseabbau, Profilmäßige Darstellung der Horizont-Etappenaktivitäten (E_{dh}) in den Böden verschiedener Wald- und Weidgesellschaften des Schweizerischen Nationalparks. (Versuchsperiode Juli bis Oktober 1945.)

Bild 16



abbaues bestätigt. Die bBA ist bis in 7 cm Profiltiefe größer als im *Pineto-Caricetum humilis*. Beim Uebergang zum mineralerdereichereren und an zersetzten Humusbildnern ärmeren, dafür skelettreicheren rA_2 nimmt die bBA sehr rasch ab (Bild 16, Tab. 38). Der mangelnde Feinerde- und Tongehalt scheint demnach bei häufigem Wassermangel einen wesentlichen Einfluß auf die bBA zu haben. Die Bodenreaktion ist schwach alkalisch. Durch den hohen Porengehalt des rA_2 fehlt der günstige Kontakt der Bodenlebewesen mit den abzubauenen Humusbildnern. Der im rA_0 von 0—1 cm leichte Rückgang der bBA wird eine Folge der starken und raschen, oberflächlichen Austrocknung sein.

Im extrem degradierten Humuskarbonatboden des *Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum* ist die bBA trotz fortgeschrittener Versauerung im aufgesetzten A_0 - und A_1 -Horizont nur wenig kleiner als im *Mug.-Eric. caric.* Der Aktivitätsrückgang im obersten A_0 hängt wohl mit der relativ leichtern, oberflächlicheren Wasserverdunstung und mit den Gefügeeigenschaften des A_0 -Horizontes zusammen. Die Testschnüre bleiben auf größere Längen ohne Berührung mit dem weitmaschig vernetzten, nur wenig zerfallenen Alpenrosen- und Moosdetritus. Im A_1 -Horizont ist die bBA praktisch gleich wie im *Mugeto-Eric. caric.* Während hier durch fehlendes Feinerdematerial am trockeneren und flachgründigen Osthang die geringe Feuchtigkeit die bBA erniedrigt, führt im *Mug.-Rhod. hirs. hyl.* der genügende Wassergehalt im A_1 trotz saurer Horizontreaktion zu einer Erhöhung der bBA. Im alkalisch reagierenden rA_1 nimmt die bBA schwach zu.

Das Zusammenwirken der wichtigen Standortsfaktoren Feuchtigkeit, Wärme, Bodengefüge und Säurereaktion führt oft zu gegenläufigen Ergebnissen, so daß die nähere Deutung noch weiterer Abklärung bedarf.

Im extrem versauerten Profil des subalpinen Eisenpodsoles unter *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* wurde von allen untersuchten Böden die kleinste bBA gemessen. Am Nordhang des God dal Fuorn herrschen lokal extrem humide Verhältnisse. An der Bodenoberfläche im A_0 - und in den obersten Zonen des A_1 -Horizontes ist die bBA angenähert gleich groß wie im *Mug.-Eric. caric.* Im A_1 vermag die sehr saure Bodenreaktion die bBA stark zu schwächen. Im ausgelaugten A_2 -Horizont fehlen die Voraussetzungen zum intensiveren Mikroorganismenwachstum. Der durchlässige, quarzreiche Bleicherdehorizont ist extrem nährstoffarm. Der Zelluloseabbau ist beinahe null. Im B_s -Horizont nimmt die bBA wieder meßbare Werte an.

Der verbrauchte subalpine Weide-Humuskarbonatboden des *Trisetetum flavescens* von Stavel-Chod hat die größte bBA aller Böden der Versuchsgruppe «b». Die bBA wird mit zunehmender Profiltiefe kleiner, beträgt aber in 45 cm immer noch 57 % ihres größten Wertes in 5—10 cm. Der Aktivitätsrückgang von rA_1 zum rA_2 ist deutlich. Die Lebensbedin-

gungen für zelluloseabbauende Mikroorganismen sind im rA_1 und rA_2 günstig. Neben dem früher schon besprochenen, ausgeglicheneren Feuchtigkeitszustand, zu dem auch das etwas dichtere Bodengefüge beiträgt, mag die neutral bis schwach alkalische Bodenreaktion die bBA zu stimulieren. Unter diesen Bedingungen wird die bBA ebenfalls durch die erhöhte Bodentemperatur (Tab. 57) gesteigert.

Die Zahl der untersuchten Horizonte, deren Profiltiefe und die Zahl der Testschnüre ist von Bodenprofil zu Bodenprofil verschieden.

Zelluloseabbau.

Profil-Etappenaktivitäten (E_{dp}) in den Böden verschiedener Wald- und Weidengesellschaften des Schweiz. Nationalparks.
(Versuchsetappe Juli bis Oktober 1943.)

Tab. 59

| Gesellschaft | Profil-Etappenaktivität (E_{dp}) |
|---|--------------------------------------|
| <i>Pineto-Caricetum humilis</i> | 70 |
| <i>Mugeto-Ericetum caricetosum humilis</i> | 140 |
| <i>Trisetetum flavescens</i> | 359 |
| <i>Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylacomietosum</i> | 192 |
| <i>Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum</i> | 77 |

Die Profil-Etappenaktivitäten (E_{dp}) (Tab. 59) bestimmen sich graphisch aus den biologischen Aktivitäten der Horizonte und der gesamten untersuchten Profiltiefe. Nur die E_{dp} im Boden des *Mugeto-Rhodoretum hirsuti* und jene aus dem Boden des *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* dürfen zahlenmäßig miteinander verglichen werden, da die aktiven Profilabschnitte annähernd gleiche Mächtigkeit haben. Die E_{dp} der andern Bodenprofile sind nur unter Berücksichtigung ihrer Untersuchungstiefe zu betrachten. So ist im initialen Humuskarbonatboden des *Pineto-Caricetum humilis* z. B. die E_{dp} verhältnismäßig groß, sie ist aber nur auf ein 10 cm mächtiges Rohboden-Profil beschränkt (Bild 16). In der nach Osten gekehrten, etwas feuchteren Lage des *Mugeto-Ericetum* wird im flachgründigen Waldhumus-Karbonatboden die E_{dp} etwas größer. In der Gruppe der untersuchten subalpinen Humuskarbonatböden wurde das Profil des mittelgründigen subalpinen Weide-Humuskarbonatbodens vom *Trisetetum flavescens* bis in 45 cm untersucht, und es wurden dabei die größten biologischen Bodenaktivitätswerte erhalten. Die schon früher beschriebenen bBA-Rückgänge vom Boden des *Mug.-Rhod. hirs.* zum Boden des *Rhod.-Vacc. cembr.* kommen in den E_{dp} -Werten deutlich zum Ausdruck.

Eiweißabbau.

In den untersuchten Böden subalpiner Waldgesellschaften ist der Eiweißabbau klein. Im *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* und im *Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum* konnte kein meßbarer Reißfestigkeitsverlust an Eiweißtestschnüren festgestellt werden.

Eiweißabbau.

Profilmäßige Darstellung der Horizont-Etappenaktivitäten (E_{dh}) in den Böden verschiedener Wald- und Weidegesellschaften des Schweizerischen Nationalparks.

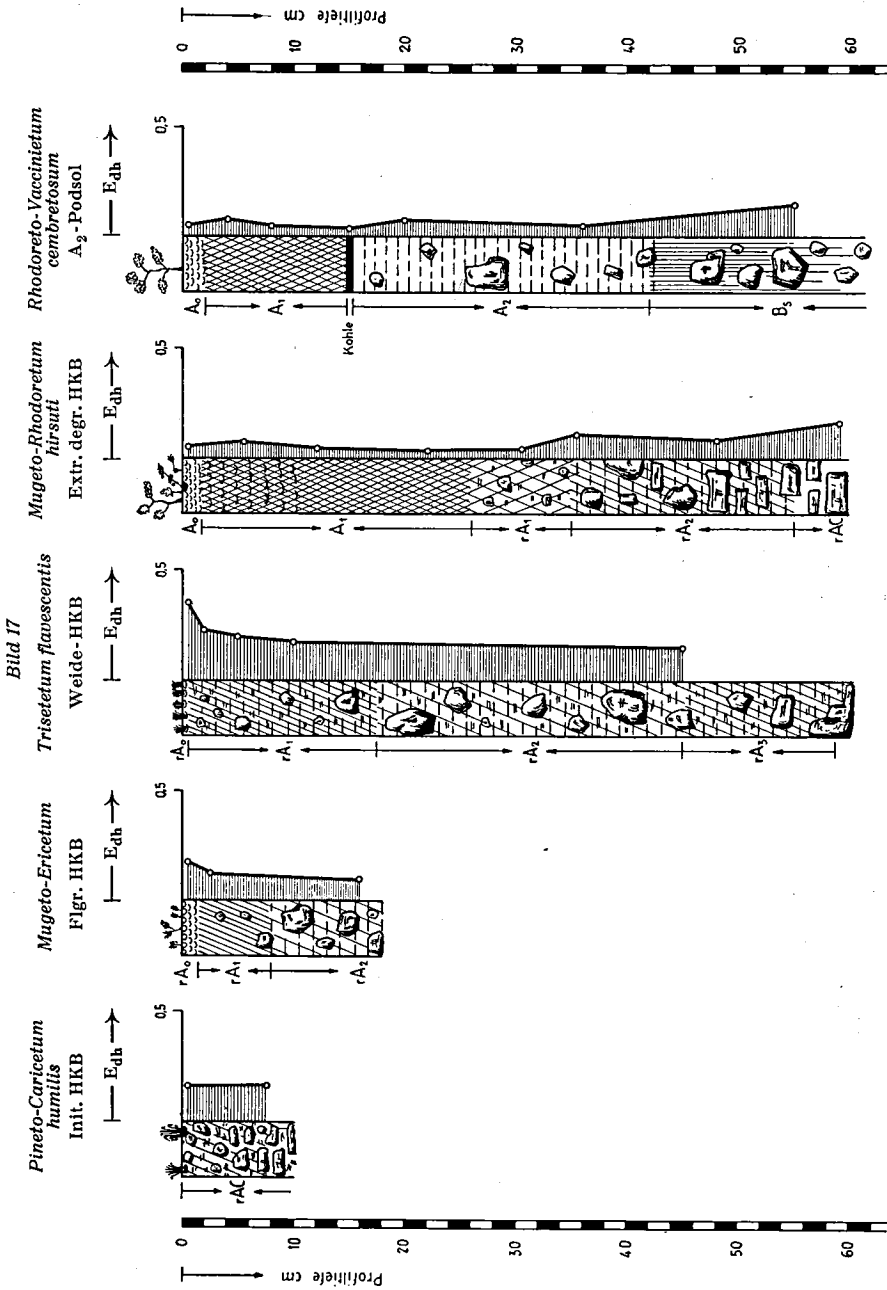
Tab. 40

(Versuchsetappe Juli bis Oktober 1945.)

| <i>Pineto-Caricetum humilis</i> | | <i>Mugeto-Ericetum caricetosum humilis</i> | | <i>Trisetetum flavescens</i> | | <i>Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum</i> | | <i>Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum</i> | |
|---------------------------------|----------|--|----------|--|----------|---|----------|--|----------|
| Horiz. | E_{dh} | Horiz. | E_{dh} | Horizont | E_{dh} | Horizont | E_{dh} | Horizont | E_{dh} |
| rAC 0-1 | 0,17 | rA ₀ 0-1 | 0,17 | rA ₀ 0-1 | 0,35 | A ₀ 0-1 | 0,04 | A ₀ 0-1 | 0,04 |
| rAC 7-8 | 0,18 | rA ₁ 1-4 | 0,12 | rA ₁ 2 | 0,22 | A ₁ 5-6 | 0,07 | A ₁ 3-5 | 0,07 |
| | | rA ₂ 16 | 0,10 | rA ₁ 5 | 0,19 | A ₁ 10-14 | 0,04 | A ₁ 6-10 | 0,05 |
| | | rAC 35-40 | nb | rA ₁ 10 | 0,17 | A ₁ 19-25 | 0,03 | Kohle 15 | 0,03 |
| | | | | rA ₂ | nb | rA ₁ 26-35 | 0,04 | A ₂ 15-25 | 0,07 |
| | | | | rA ₂ - rA ₃ 45 | 0,14 | rA ₂ 30-41 | 0,11 | A ₂ 30-42 | 0,05 |
| | | | | | | rA ₂ 42-54 | 0,09 | B ₃ 52-58 | 0,15 |
| | | | | | | rAC 59 | 0,14 | | |

Im verbraunten Weide-Humuskarbonatboden des *Trisetetum flavescens* (Tab. 40, Bild 17) ist der Eiweißabbau am größten. Für alle Versuchshorizonte bleibt die bBA mit Ausnahme der Bodenoberfläche (0-2 cm) annähernd gleich groß (ca. 0,17). Wärme und Feuchtigkeit dürften in neutral reagierenden Böden den Eiweißabbau besonders beeinflussen. Die schon aus den Ergebnissen der Vegetationsgruppe «a» abgeleitete Vermutung, die Eiweißabbauer seien auf Bodenaustrocknung empfindlicher als die Zelluloseabbauer, kann im Rohboden des *Pineto-Caricetum humilis* erneut konstatiert werden. Während hier für Eiweißabbauer das Milieu zu trocken scheint, mag der gleichmäßigere Feuchtigkeitsgehalt im *Trisetetum flavescens* ihnen besser zusagen. Der Boden des E-expo-

42 Eiweißabbau. Profilmäßige Darstellung der Horizont-Etappenaktivitäten (E_{dh}) in den Böden verschiedener Wald- und Weidgesellschaften des Schweizerischen Nationalparks. (Versuchsperiode Juli bis Oktober 1945.)



nierten *Mugeto-Ericetum caricetosum* ist nur von 0 bis ca. 15 cm Tiefe imstande, während der Versuchsetappe Eiweiß in meßbaren Mengen abzubauen. Die relativ günstigere Wasserhaltung gegenüber dem *Pineto-Caricetum* mag die Ursache hierfür sein.

Die Profil-Etappenaktivitäten (E_{dp}) der untersuchten Bodenprofile dürfen nur unter Berücksichtigung der bei den E_{dp} (Zellulose) gemachten Bemerkungen verglichen werden. Der Eiweißabbau geht allgemein sehr langsam, mit Ausnahme im mittelgründigen subalpinen Weidehumuskarbonatboden des *Trisetetum flavescens* (Tab. 41).

Tab. 41

Eiweißabbau.

Profil-Etappenaktivitäten (E_{dp}) in den Böden verschiedener Wald- und Weidengesellschaften des Schweiz. Nationalparkes. (Versuchsetappe Juli bis Oktober 1945.)

| Gesellschaft | Profil-Etappenaktivität (E_{dp}) |
|---|--------------------------------------|
| <i>Pineto-Caricetum humilis</i> | 10 |
| <i>Mugeto-Ericetum caricetosum humilis</i> | 17 |
| <i>Trisetetum flavescens</i> | 77 |
| <i>Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum</i> | 57 |
| <i>Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum</i> | 52 |

3. Versuchsgruppe «c»: Subalpine Zwergstrauch- und Weidengesellschaften auf «Alp Piscium», Airolo.

a) Allgemeines und Standortsübersichten.

Das subalpine *Rhodoreto-Vaccinietum* (Alpenrosen-Heidelbeergesellschaft) ist im Oberengadin eingehend von H. Pallmann und P. Haffter (22) untersucht worden. Die dort angegebene Sukzessionsfolge innerhalb der Subassoziationen kann auf der «Alp Piscium» bei Airolo ebenfalls beobachtet werden. Das heute dort an steilen Hanglagen vorhandene *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum* ist in rückläufiger Sukzession aus dem geschlossenen Nadelwald entstanden, der anthropogen zurückgedrängt wurde. Nachdem in ebeneren Lagen die Zwergsträucher aus Alpenrosen, Heidelbeeren, Rauschbeeren usw. entfernt waren, wurde das Gebiet alpwirtschaftlich benutzt. Auf der seit längerer Zeit bestoßenen Alpweide stellte sich sekundär an Stelle des *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum* ein *Nardetum strictae subalpinum* ein.

Mit der Reißtestmethode sollen die durch den pflanzensoziologischen Gesellschaftswchsel verursachten biologischen Bodenveränderungen untersucht werden, nachdem E. Frei (7) am selben Ort eingehend morphologische und kolloid-chemische Bodenuntersuchungen durchgeführt hat. Die zwei Versuchsorte sind ca. 300 m voneinander entfernt und liegen angenähert auf gleicher Meereshöhe.

Übersicht über die untersuchten Standorte der subalpinen Zwergstrauchgesellschaft und der Borstgrasweide.

| Gesellschaft | Lokalität | Exposition | Art der Versuchsanlage |
|--|-----------------------------|------------|------------------------|
| <i>Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum</i> | Alp Piscium | NNE | d |
| <i>Nardetum strictae subalpinum</i> . . | Alp Piscium 1750 m ü. M. | SSE | d |

In folgender Zusammenstellung sind die untersuchten Standorte näher beschrieben.

Klimawerte der Eidg. Meteorol. Beob.-Station Airolo 1142 m/M
 Jahresniederschlag 1568 mm
 Jahrestemperatur 5,9° C

Analytische Daten des subalpinen Humuspodsoles des *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum*. Z. T. nach Frei (7).

Tab. 42

| Horizonte | A ₀ | A ₁ ¹ | A ₁ ² | A ₂ | B _h | B _s |
|---|----------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| pH (Aug.) | 4,7 | 3,4 | 3,7 | 4,1 | 4,4 | 4,8 |
| Gesamthumus % | 86,2 | 77,3 | 87,0 | 2,6 | 16,5 | 8,0 |
| Gesamt-N % | 1,78 | 2,25 | 1,68 | 0,05 | 0,33 | 0,16 |
| Umtauschkapazität Mval | 226,7 | 239,1 | 205,6 | 9,5 | 103,8 | 87,3 |
| Austausch-Ca Mval . . | 38,79 | 1,76 | 2,42 | 0,60 | 1,32 | 0,54 |
| Wasserbindung in g je 100 g Boden | — | 450 | 147 | 60 | 105 | 99 |
| Biologische Horizont-Pe- riodenaktivität Zellulose | 1,05 | 0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,04 |
| Biologische Horizont-Pe- riodenaktivität Eiweiß . | 0,29 | 0,25 | 0,21 | 0,25 | 0,22 | 0,19 |

α) Waldgesellschaft: *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum* = waldfreie Alpenrosen-Vacciniengesellschaft. Gde. Airolo, Alp Piscium, T. A. 503, Koord. 690 400 / 152 300, 1750 m ü. M.; Neigung 44—55 %; Exposition NNE.

Muttergestein: Hangschutt aus Bündnerschiefer und Gneis.

Bodenserie: Subalpine Podsolserie.

Serien-Untertyp: Subalpines Humuspodsol.

Bodenvarietät: Tiefgründig mit extrem versauerter Rohhumusdecke: (A₀ / A₁¹ / A₂²) und vorwiegend petrogenem, stark versauertem Profilanteil: (A₂ / B_h / B_s / BC).

Die geringe bis fehlende bBA äußert sich in verfilztem, nur schwach koprogenem (A₁¹) und (A₂²)-Morhumus auf ziemlich grobdisperssem, durchlässigem Bleicherdehorizont (A₂). Darunter folgen die Anreicherungs horizonte B_h (Humus-Sesquioxido koagulate) und B_s (Sesquioxido koagulate) mit zementiertem Gefüge. (Analytische Daten vgl. Tab. 42.)

Versuchshorizonte: A₀ (0—1 cm) / A₁¹ (5—8 cm) / A₂² (10—20 cm) / A₂ (20—25 cm) / B_h (30 cm) / B_s (40 cm).

Versuchsdauer: 18. Juli bis 1. November 1944 = 106 Tage.

β) Weidegesellschaft: *Nardetum strictae subalpinum* = Subalpine Borstgrasweide. Gde. Airolo, Alp Piscium, T. A. 503, Koord. 690 325 / 152 325, 1740 m ü. M.; Neigung 26—31 %; Exposition SSE.

Muttergestein: Hangschutt aus Bündnerschiefer und Gneis.

Serien-Untertyp: Sekundär verbrauchter Gebirgsweide-Boden.

Bodenvarietät: Mittelgründiger, relativ grobkörniger, podsolierter, sekundär verbrauchter Boden. Mäßig entwickeltes Bodengefüge mit schwacher zoogener Durchmischung. Der aus koprogenem Morhumus bestehende humose (b) A₁-Horizont geht in 5—10 cm Tiefe in den humusärmeren (b) A₂-Horizont über. CaCO₃-freier Untergrund, durchlässig und locker (Analytische Daten vgl. Tab. 43).

Versuchshorizonte: (b) A₀ (0—1 cm) / (b) A₁ (5 cm) / (b) A₂ (10 cm) / (b) B-B_s (25 cm) / (b) B—C (40—45 cm).

Versuchsdauer: 18. Juli bis 1. November 1944 = 106 Tage.

Analytische Daten des subalpinen sekundär verbrauchten Gebirgsweide-Tab. 43 Bodens des *Nardetum strictae subalpinum* [z. T. nach Frei (7)].

| Horizonte | (b)A ₀ | (b)A ₁ | (b)A ₂ | bB/(B _s) | BC |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|------|
| pH (Aug.) | 6,2 | 4,9 | 5,2 | 5,1 | 5,4 |
| Gesamthumus % | 70,8 | 30,3 | 13,3 | 5,0 | 3,2 |
| Gesamt-N % | 1,90 | 1,29 | 0,63 | 0,22 | 0,09 |
| Umtauschkapazität Mval | 18,0 | 6,44 | 1,31 | 0,51 | 0,45 |
| Austausch-Ca Mval | 138,4 | 72,8 | 56,4 | 55,0 | 10,4 |
| Wasserbindung je 100 g Boden | — | 170 | 117 | 85 | 69 |
| Biologische Horizont-Periodenaktivität Zellulose | 1,77 | 1,33 | 0,91 | 0,61 | 0,43 |
| Biologische Horizont-Periodenaktivität Eiweiß | 0,53 | 0,29 | 0,24 | 0,21 | 0,25 |

Von den in den Jahren 1943/44 in vier Etappen diskontinuierlich angelegten Abbauprobungen konnten nur zwei des Sommers 1944 ausgewertet werden (vgl. Bemerkungen S. 584). Nachstehend sind die genauen Versuchszeiten zusammengestellt (Tab. 44).

Zellulose- und Eiweißabbau.

Tab. 44

Gliederung der Versuchsperiode in Versuchsetappen, Zeiten der Probenahme.

| | <i>Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum</i> | <i>Nardetum strictae subalpinum</i> |
|---------------------------------------|--|---|
| Versuchsanlage | 18. 7. 44 | 18. 7. 44 |
| 1. Etappe { Probenahme t_1 | 27. 8. 44 40 | 26. 8. 44 39 |
| 2. Etappe { Probenahme t_2 | 1. 11. 44 66 | 1. 11. 44 67 |
| Versuchsperiode $t_1 + t_2$ | 106 Tage | 106 Tage |

Wie schon im Kapitel über die rechnerische Auswertung der bBA (S. 315) betont wurde, steigt der Reißfestigkeitsverlust bei konstanter Abbauintensität nicht linear mit der Zeit. Er folgt eher einer S-förmigen Kurve mit verzögerter Anfangs-, beschleunigter Mittel- und verzögerter Endphase. Eine genaue Auswertung der Versuchsergebnisse hätte darauf Rücksicht zu nehmen. Es fehlen aber hierfür noch genügende Abbauprobungen unter strengster Konstanthaltung der Hydrolyseintensität. Die diesbezüglichen Untersuchungen sind im Gang.

b) Zellulose- und Eiweißabbau im subalpinen Humuspodsol des *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum* (Pallmann-Haffter).

Ueppig gedeihende acidiphile Alpenrosen-, Heidelbeer- und Rauschbeerensträucher produzieren neben *Calamagrostis villosa* große Mengen Humusbildner, die in dieser Meereshöhe in Nord-Exposition bei den herrschenden tiefen Temperaturen schlecht abgebaut werden. Eine saure Morhumusaufgabe mit kleiner bBA kennzeichnet die obersten Profilhori-zonte des Humuspodsols. Unter einem 5—5 cm mächtigen sauren Rohhumus (A_0) folgt die sogenannte Vermoderungsschicht (A_1), der Hauptwurzelschicht des Profils. Die Humusbildner sind weitgehend zerfallen, z. T. zersetzt. Nach unten anschließend folgt der sauerste Horizont des

Profils (A_1^2 mit pH 3,8), die sog. Humusstoffschicht. Die zoogene Tätigkeit ist hier sehr klein, der vorhandene Morhumus ist vorwiegend chemogen. Unter dem Bleicherdehorizont A_2 läßt sich ein deutlicher Humusanreicherungshorizont (B_h) feststellen, dem ein eigentlicher Sesquioxidanreicherungshorizont (B_s) folgt. Der B_s -Horizont geht in 50—60 cm Tiefe langsam in den BC-Horizont über.

Die Ergebnisse der Testschnurmethode zeigen, daß die Mikroorganismen-tätigkeit im Humuspodsol nur bis zum A_1^1 -Horizont relativ intensiv bleibt. In tieferen Horizonten konnte kein Abbau festgestellt werden.

**c) Zellulose- und Eiweißabbau im subalpinen, sekundär verbrauchten
Gebirgsweide-Boden des *Nardetum strictae subalpinum*.**

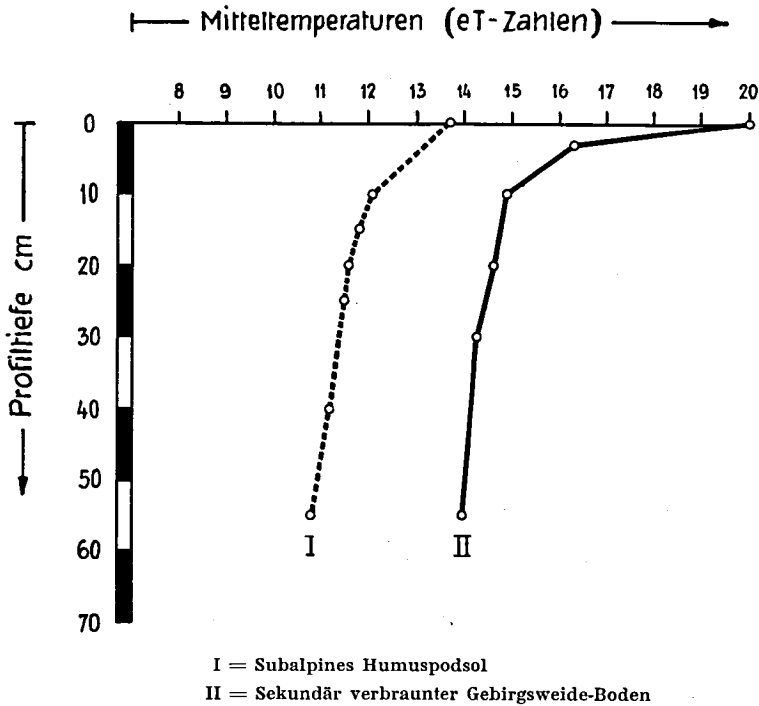
Mit der anthropogen, durch Roden und Beweidung ausgelösten Verbraunung des subalpinen Humuspodsols gleichen sich die profilmorphologischen und Gefügeeigenschaften morphologisch etwas den Braunerdeverhältnissen an. Die Horizontgrenzen werden diffus. Einzig der humose Hauptwurzelschicht (b) A_1 trennt sich etwas schärfer gegen den folgenden (b) A_2 -Horizont. Die Bodenart bleibt dieselbe wie im *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum*: grobkörnig, tonarm. Ein einfaches Gefüge mit zunehmendem Skelettgehalt findet sich bis gegen 50 cm Profiltiefe. Bei den hohen Niederschlägen werden die aufbereiteten Nährstoffe leicht ausgewaschen.

Die oekologischen Besonderheiten des Bodenprofils ergeben sich aus seiner Entstehung: durch Rodung und Viehtritt wird der ursprüngliche Waldboden verdichtet. Das Gefüge bleibt primitiv. Wie E. Frei (7. bes. S. 333) nachwies, ist die Luftkapazität gegenüber dem Oberboden des *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum* kleiner, die Wasserkapazität dagegen größer geworden. Die Wärmeverhältnisse sind günstiger, das Bodenprofil ist bis in 60 cm Tiefe um 3° wärmer (Bild 18).

Wie aus den Ergebnissen der Testschnurmethode hervorgeht, ist die bBA deutlich höher als im Podsolboden der benachbarten Zwergstrauchgesellschaft. Die gesteigerte zoogene Wühltätigkeit und der Viehtritt führen zu einer Mischung der Horizonte, es entstehen diffuse Grenzen. Der Zelluloseabbau geht im (b) A_1 in diesen durch das Weidevieh gedüngten Böden so rasch vor sich, daß in 40 Versuchstagen von Mitte Juli bis Ende August die Testschnur zu 90 % abgebaut ist.

Mitteltemperaturen (eT-Zahlen) im subalpinen Humuspodsol des *Rhod. Vacc. extrasilv.* und im sekundär verbrauchten Gebirgsweide-Boden des *Nard. strict. subalp.* (Versuchsperiode Juli bis November 1944, nach Frei (7), bes. S. 340.)

Bild 18



d) Vergleich der biologischen Tätigkeit in den Böden des *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum* und des *Nardetum strictae subalpinum*.

Wie in den Abbauversuchen im Nationalpark sind auch hier die Testschnüre in kennzeichnenden Horizonten und nicht nach konventionellen Profiltiefen eingezogen worden.

Zelluloseabbau.

Die ökologischen Bodenverhältnisse im *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum* sind derart, daß Zellulosestestschnüre nur direkt unter der Bodenoberfläche in 0—6 cm angegriffen werden können (Tab. 45).

Die hohe Luftkapazität zusammen mit der hinreichend großen täglichen Horzonterwärmung vermag den Wassergehalt so weit herabzu-

Zelluloseabbau.

Profilmäßige Darstellung der Horizont-Etappenaktivitäten (E_{dh}) im subalpinen Humuspodsol des *Rhod.-Vacc. extrasilv.* und im sekundär verbrauchten Gebirgsweide-Boden des *Nard. strict. subalp.*

(Versuchsperiode Juli bis November 1944.) «Alp Piscium», Airola.

| Horizont cm | Subalp. Humuspodsol des <i>Rhod.-Vacc. extrasilv.</i> | | Horizont cm | Sekundär verbrauchter Gebirgsweide-Boden des <i>Nard. strict. subalp.</i> | |
|--------------------------------------|--|--------------------------|----------------------------|---|--------------------------|
| | 1. Etappe Juli-August | 2. Etappe August-Nov. | | 1. Etappe Juli-August | 2. Etappe August-Nov. |
| A ₀ 0-1 | 1,20 | 0,95 | (b) A ₀ 0-1 | 2,23 | 1,49 |
| A ₁ ¹ 5-8 | 0,00 | 0,50 | (b) A ₁ 5 | 1,46 | 1,25 |
| A ₁ ² 10-20 | 0,00 | 0,00 | (b) A ₂ 10 | 1,13 | 0,78 |
| A ₂ 20-25 | 0,00 | 0,00 | (b) B-B _s 25 | 0,38 | 0,75 |
| B _h 30 | 0,00 | 0,05 | (b) B-C 40-45 | 0,00 | 0,69 |
| B _s 40 | 0,00 | 0,06 | | | |

setzen, daß trotz stark saurer Bodenreaktion eine deutlich meßbare bBA erhalten bleibt. Sie beschränkt sich aber auf die obersten Schichten des A₁¹-Horizontes, auf Profilstellen also, wo die Bodenreaktion den sauersten Wert noch nicht erreicht hat. Schon in 6 cm Tiefe hört aber der Abbau auf. Wegen kleinerer Mitteltemperaturen und erhöhten Wassergehalts fehlen in größeren Profiltiefen die Voraussetzungen zu meßbarer biologischer Bodenaktivität. In der Herbstetappe wird die bBA im A₀-Horizont nur wenig kleiner, während sie im A₁¹-Horizont 10 cm tiefer geht als in der Sommeretappe.

Im Vergleich zum Humuspodsol des *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum* ist der sekundär verbrauchte Gebirgsweide-Boden des *Nardetum strictae subalpinum* biologisch sehr aktiv (Tab. 45). Infolge der früher angegebenen oekologischen Gründe geht der Zelluloseabbau im Bodenprofil 7 mal tiefer und ist an der Bodenoberfläche angenähert doppelt so groß als im Humuspodsol. Gleichmäßig nimmt die bBA von oben nach unten ab. In ca. 42 cm Tiefe, wo der reine mineralische BC-Horizont beginnt, hört auch die bBA auf.

Die Horizont-Periodenaktivitäten (P_{dh}) (Tab. 46, Bild 19) geben die Mittelwerte der bBA für die Versuchsperiode. Sie fassen die Horizont-Etappenaktivitäten zusammen und zeigen die durchschnittlich großen bBA-Unterschiede der verglichenen subalpinen Bodenprofile.

Zellulose (Z)- und Eiweißabbau (E).

Tab. 46

Profilmäßige Darstellung der Horizont-Periodenaktivitäten (P_{dh}) im subalpinen Humuspodsol des *Rhod.-Vacc. extrasilv.* und im sekundär verbrauchten Gebirgsweide-Boden des *Nard. strict. subalp.*

(Versuchsperiode Juli bis November 1944.) «Alp Piscium», Airolo.

| Horizont cm | Subalp. Humuspodsol des <i>Rhod.-Vacc. extrasilv.</i> | | Horizont cm | Sekundär verbrauchter Gebirgsweide-Boden des <i>Nard. strict. subalp.</i> | |
|--------------------------------------|--|------|----------------------------|---|------|
| | Z | E | | Z | E |
| A ₀ 0-1 | 1,05 | 0,29 | (b) A ₀ 0-1 | 1,77 | 0,53 |
| A ₁ ¹ 5-8 | 0,31 | 0,25 | (b) A ₁ 5 | 1,33 | 0,29 |
| A ₁ ² 10-20 | 0,00 | 0,21 | (b) A ₂ 10 | 0,91 | 0,24 |
| A ₂ 20-25 | 0,00 | 0,25 | (b) B-B _s 25 | 0,61 | 0,21 |
| B _h 30 | 0,03 | 0,22 | (b) B-C 40-45 | 0,43 | 0,25 |
| B _s 40 | 0,04 | 0,19 | | | |

Ein Vergleich der Profil-Etappenaktivitäten (E_{dp}) (Bild 20) bzw. der sog. relativen Etappenaktivitäten des Profils (Tab. 47) veranschaulicht die bedeutend höhere bBA im verbrauchten Gebirgsweide-Boden gegenüber dem Humuspodsol.

Zelluloseabbau.

Relative Etappenaktivitäten des Bodenprofils des *Nardetum strictae subalpinum*, bezogen auf das *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum*.

E_{dp} (*Nard. strict. subalp.*): E_{dp} (*Rhod.-Vacc. extrasilv.*)

Tab. 47

| | 1. Etappe Juli - August | 2. Etappe August - November |
|---|----------------------------|--------------------------------|
| <i>Nard. strict. subalp.</i> | 7,2 | 5,1 |
| <i>Rhod.-Vacc. extrasilv.</i> | 1,0 | 1,0 |

Im biologisch aktiveren, verbrauchten Boden des *Nardetum* schwanken die bBA im Verlaufe der beiden Versuchsetappen weniger als im Humuspodsol des *Rhod.-Vacc. extr.* Die relativen Etappenwerte der Bodenprofile geben die numerischen Werte hiezu (Tab. 48).

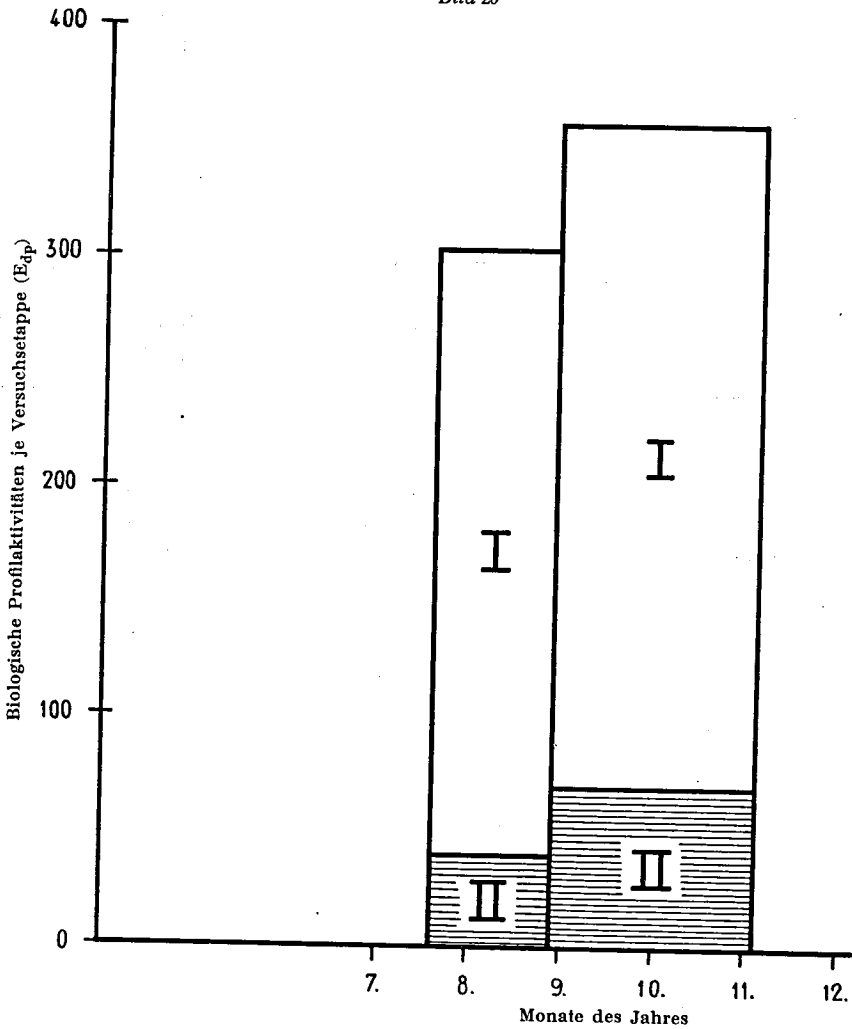
| | |
|--|----------|
| | P_{dp} |
| <i>Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum</i> | 59 |
| <i>Nardetum strictae subalpinum</i> | 337 |

Zelluloseabbau.

Vergleich der biologischen Profil-Etappenaktivitäten (E_{dp}) im subalpinen Humuspodsol des *Rhod.-Vacc. extrasilo.* und im sekundär verbrauchten Gebirgsweide-Boden des *Nard. strict. subalp.* (Versuchsperiode Juli bis November 1944.)

«Alp Piscium», Airolo.

Bild 20



I = E_{dp} im sekundär verbrauchten Gebirgsweide-Boden
 II = E_{dp} im subalpinen Humuspodsol

In Tab. 49 sind die relativen Periodenaktivitäten der Bodenprofile verzeichnet. Für die Versuchsperiode ist demnach die podsolierte Braunerde des *Nardetum strictae subalpinum* 5,7 mal biologisch aktiver als das Humuspodsol des *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum*.

Zelluloseabbau.

Relative Periodenaktivität des Bodenprofils des *Nardetum strictae subalpinum*, bezogen auf das *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum* in der Versuchsperiode Juli bis November 1944.

| | P_{dp} | $\frac{P_{dp} \text{ (Nard. strict. subalp.)}}{P_{dp} \text{ (Rhod.-Vacc. extrasilv.)}}$ |
|---|----------|--|
| <i>Nard. strict. subalp.</i> | 337 | 5,7 |
| <i>Rhod.-Vacc. extrasilv.</i> | 59 | 1,0 |

Eiweißabbau.

Das Eiweiß wird in beiden Versuchsflächen auffallend gleichmäßig abgebaut. Nur die obersten Profilhorizonte (5 cm) des verbraunten Gebirgsweide-Bodens des *Nardetum strictae subalpinum* sind biologisch aktiver (Tab. 50).

Tab. 50

Eiweißabbau.

Profilmäßige Darstellung der Horizont-Etappenaktivitäten (E_{dh}) im subalpinen Humuspodsol des *Rhod.-Vacc. extrasilv.* und im sekundär verbrauchten Gebirgsweide-Boden des *Nard. strict. subalp.* (Versuchsperiode Juli bis November 1944.)

| Horizont cm | Subalp. Humuspodsol des <i>Rhod.-Vacc. extrasilv.</i> | | Horizont cm | Sekundär verbrauchter Gebirgsweide-Boden des <i>Nard. strict. subalp.</i> | |
|----------------------|--|----------------------------|----------------------------|---|----------------------------|
| | 1. Etappe Juli - August | 2. Etappe August - Nov. | | 1. Etappe Juli - August | 2. Etappe August - Nov. |
| A_0 0-1 | 0,30 | 0,29 | (b) A_0 0-1 | 0,62 | 0,48 |
| A_1^1 5-8 | 0,25 | 0,24 | (b) A_1 5 | 0,38 | 0,24 |
| A_1^2 10-20 | 0,25 | 0,18 | (b) A_2 10 | 0,28 | 0,21 |
| A_2 20-25 | 0,32 | 0,20 | (b) B-B _s 25 | 0,23 | 0,19 |
| B _h 30 | 0,22 | 0,21 | (b) B-C 40-45 | 0,31 | 0,21 |
| B _s 40 | 0,17 | 0,20 | | | |

Ueber die ganze Versuchstiefe bleiben die RF-Verluste gleich und unterscheiden sich ebenfalls kaum in beiden Etappen voneinander.

Wie bereits in Kap. b dargelegt, sind im Humuspodsol die physikalischen und chemischen Verhältnisse der Bodenhorizonte sehr verschieden. Um so auffallender erscheint demgegenüber der gleichförmige Eiweißabbau. Die starke Versauerung beider Profile ist vielleicht hierfür entscheidend, ihr Einfluß überwiegt wohl jenen der übrigen Bodenfaktoren.

Die Horizont-Periodenaktivitäten (P_{dh}), (Tab. 46, Bild 19) zeigen durchschnittlich unwesentliche Aktivitätsunterschiede für den Eiweißabbau in den Profilen der beiden verglichenen subalpinen Böden.

Der Vergleich der relativen Periodenaktivitäten beider Bodenprofile (Tab. 51) zeigt die geringen Unterschiede im Eiweißabbau-Vermögen der beiden Böden, wobei aber deutlich das verbrauchte Weideprofil das Humuspodsol übertrifft.

Eiweißabbau.

Relative Periodenaktivität des Bodenprofils des *Nardetum strictae subalpinum*, bezogen auf das *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum* in der Versuchsperiode Juli bis November 1944. Tab. 51

| | P_{dp} | $\frac{P_{dp} \text{ (Nard. strict. subalp.)}}{P_{dp} \text{ (Rhod.-Vacc. extrasilv.)}}$ |
|---|----------|--|
| <i>Nard. strict. subalp.</i> | 109 | 1,2 |
| <i>Rhod.-Vacc. extrasilv.</i> | 92 | 1,0 |

In Bodenproben, die am 9. Oktober 1943 aus dem subalpinen Humuspodsol und aus dem sekundär verbrauchten Gebirgsweide-Boden entnommen wurden, führte Prof. Duggeli in verdankenswerter Weise Bakterienauszählungen durch (Tab. 52).

Der Vergleich von Keimzahlen und Horizont-Periodenaktivität (P_{dh}) zeigt, daß die Bakterienzahlen in biologisch aktiveren Horizonten meistens größer sind als in inaktiven Horizonten. Eine Ausnahme von dieser Regel macht der (b) A_0 -Horizont des verbrauchten Gebirgsweide-Bodens: hier sind bei größerer P_{dh} ungefähr gleichviel Keime gezählt worden wie im (b) A_1 -Horizont desselben Bodenprofils.

Aus denselben Untersuchungen geht hervor, daß *Azotobacter chroococcum* und die anaeroben Zellulosevergärer vollständig fehlten. Die nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien kamen sehr spärlich vor, während die Pektinvergärer in den mittels Reißtest biologisch weniger aktiv gemessenen Horizonten zahlreicher sind.

Bakterienkeimzahlen je Gramm feuchter Erde und Horizont-Periodenaktivitäten für Zellulose- und Eiweißabbau (P_{dh}) im sekundär verbrauchten Gebirgsweide-Boden und im subalpinen Humuspodsol auf «Alp Piscium», Airolo.

Tab. 52

(z. T. nach M. Düggeli.)

| | Keimzahlen je Gramm feuchte Erde | | | | | P_{dh} | |
|---|----------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|----------|------|
| | Gußkulturen von Nährgelatine | Gußkulturen von Agar | Zuckeragar hohe Schichtkultur | Harnstoffvergärer | Pektinvergärer | Z | E |
| <i>Subalpines Humuspodsol</i> (<i>Rhod.-Vacc. extrasilv.</i>) | | | | | | | |
| A ₀ (1—2 cm) | 610 000 | 660 000 | 900 000 | 100 000 | 10 000 | 1,05 | 0,29 |
| A ₁ ¹ (4—8 cm) | 500 000 | 210 000 | 700 000 | 10 000 | 10 000 | 0,31 | 0,25 |
| A ₁ ² (8—12 cm) | 490 000 | 280 000 | 600 000 | 1 000 | 100 | 0,00 | 0,21 |
| <i>Sekundär verbrauchter Gebirgsweide-Boden</i> (<i>Nard. strict. subalp.</i>) | | | | | | | |
| (b) A ₀ (1—2 cm) | 5 300 000 | 5 200 000 | 800 000 | 10 000 | 100 000 | 1,77 | 0,53 |
| (b) A ₁ (9—12 cm) | 5 500 000 | 3 500 000 | 1 100 000 | 1 000 000 | 100 000 | 1,33 | 0,29 |
| B _s (45 cm) | 310 000 | 260 000 | 700 000 | 10 000 | 1 000 000 | 0,61 | 0,21 |

4. Versuchsgruppe «d»: Untersuchungen über die bBA im Wiesendüngungsversuch «Rüteli» des landwirtschaftlichen Lehrgutes Roßberg bei Kempththal.

a) Allgemeines und Standortsübersichten.

Im Jahre 1934 wurde zu Lehrzwecken auf dem Gutsbetrieb Roßberg bei Kempththal durch das Institut für Pflanzenbau ETH ein Wiesendüngungsversuch angelegt, der 10 Jahre lang unterhalten wurde. Die Frage lautete: Wie beeinflussen bei gewahrter Grunddüngung (PK) die verschiedenen Stickstoffformen (Kalk-Salpeter, Ammonsulfat, Kalkstickstoff und Güllestickstoff) den Ertrag und die botanische Zusammensetzung der Naturwiese Rüteli? Gleichzeitig wurden vom landwirtschaftlich-bakteriologischen Institut der ETH (Prof. Düggeli) die düngungsbedingten Veränderungen der Bakterienflora des Bodens und von uns die Änderungen des Nährstoffgehaltes der verschiedenen Parzellen untersucht. Als Grunddüngung diente eine alljährliche Gabe von 70 kg P₂O₅ (als Superphosphat) und 100 kg K₂O (als 30% Kalisalz) je Hektar. Die zusätzlichen Stickstoffgaben beliefen sich alljährlich auf 40 kg N/ha. Im

Jahre 1944 wurde der Versuch abgebrochen. Die Versuchsanlage schien uns für die Erprobung der Testschnurmethode aussichtsreich, die Resultate widerspiegeln den Einfluß des Nährstoffzustandes auf den biologischen Zellulose- und Eiweißabbau.

Den Ergebnissen ist u. a. folgendes zu entnehmen (35): Die PK-Grunddüngung vermag an sich die Trockensubstanzerträge zu steigern.

Die zusätzlichen N-Gaben können die Erträge nicht mehr erhöhen. Durch die PK-Grunddüngung wird die mikrobielle Tätigkeit gegenüber der Nullparzelle sehr stark gesteigert. Es ist eine größere mikrobielle N-Bindung zu verzeichnen. Diese scheint die zusätzliche N-Gabe entbehrlich zu machen. Die Resultate sind versuchstechnisch gesichert.

Die näheren Angaben über den Versuchsstandort sind nachstehend zusammengefaßt:

Versuchsobjekt: Naturwiese auf dem Roßberg.

Lokalität: Gemeinde Kempththal b. Winterthur T. A. 67, Koord. 696 156/257 962, 518 m ü. M. S eines Waldrandes, Unterzelg, «Rüteli». Neigung 2—3 %; Exposition S.

Klimadaten des Jahres 1944: Niederschläge 1046 mm (1131 mm)¹, rel. F. 79 % (79 %), Jahrestemperatur 8,3° C (8,2° C).

Muttergestein: Schottermaterial der mittleren Rißterrasse (19).

Bodenserie: Braunerdeserie.

Serien-Untertyp: Vollreife Braunerde.

Bodenvarietät: Mittelgründige, skelettreiche, sandig-lehmige, neutral bis schwach sauer reagierende, mäßig gekrümelte Naturwiesen-Braunerde mit gut entwickeltem Gefüge. Intensiv zoogene Durchmischung nur im Oberboden, dort z. T. hohe biologische Aktivität. Kolloid geformter, hemorganisch innig gemengter, koprogener Mullhumus von geringer Mächtigkeit ($G_1/U_2/F_{2b}/M_{1b}$). Humusgehalte tiefenwärts rasch abnehmend. $CaCO_3$ erst im Mittelboden vorhanden.

Untersuchte Bodenhorizonte des biogenen Profilanteils 0—1 cm / 2 cm / 5 cm / 10 cm = 4 Horizonte des Oberbodens.

Zeitdauer der Versuche: 2. Mai bis 18. Oktober 1944 = 157 Tage.

b) Eiweißabbau in der vollreifen Braunerde des Düngungsversuchs «Rüteli».

Wie der Lokalname verrät und wie der örtliche Verlauf der Waldgrenze es bestätigt, ist auf der Versuchsfläche einmal Wald gestanden. Die pH-Werte und die Nährstoffgehalte sind nach 10jährigem Düngungsversuch ermittelt und in Tab. 55 zusammengestellt. Erwähnenswert ist die Konstanz der K_2O - und P_2O_5 -Gehalte sowohl durch die Grunddüngung (PK) als auch durch die zusätzlichen N-Gaben. In der Nitratparzelle erscheint der N-Gewinn am größten.

¹ Eingeklammert = langjährige Mittelwerte der nahen Met. Beob. Stat. Winterthur.

pH-Werte und Nährstoffgehalte im Oberboden der verschiedenen Düngungspartzellen
Tab. 53 [33]. (Die Düngungssymbole sind in Tab. 55 erläutert).

| | pH | pH (KCl) | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N |
|-------------------|-------------|-------------|-------------------------------|------------------|-------------|
| O | 6,62 ± 0,09 | 6,15 ± 0,04 | 0,09 ± 0,02 | 0,18 ± 0,00 | 0,35 ± 0,06 |
| PK | 6,34 ± 0,11 | 6,07 ± 0,05 | 0,11 ± 0,01 | 0,19 ± 0,01 | 0,42 ± 0,07 |
| PN ₁ K | 6,65 ± 0,05 | 6,25 ± 0,12 | 0,13 ± 0,03 | 0,20 ± 0,01 | 0,69 ± 0,02 |
| PN ₂ K | 6,21 ± 0,25 | 6,05 ± 0,13 | 0,12 ± 0,02 | 0,19 ± 0,01 | 0,59 ± 0,03 |
| PN ₃ K | 6,80 ± 0,13 | 5,83 ± 0,18 | 0,11 ± 0,01 | 0,20 ± 0,01 | 0,51 ± 0,01 |
| PN ₄ K | 6,75 ± 0,09 | 6,27 ± 0,20 | 0,11 ± 0,00 | 0,20 ± 0,01 | 0,52 ± 0,01 |

Ergebnisse der Testschnurmethode: Ständiger Militärdienst im Sommer und Herbst 1944 ließ die Etappenzeiten für den Zellulosetest zu lang werden. Infolge der hohen bBA waren die Zellulose-Schnüre in allen Versuchshorizonten so weit abgebaut, daß nur noch kurze Reststücke mit sehr kleiner Reißfestigkeit zurückblieben. Der Zelluloseabbau kann daher nicht diskutiert werden. Das langsamere Tempo des Abbaues der Eiweißtestschnüre erweist sich in biologisch aktiven Böden als vorteilhaft. Auch nach längeren Sommer-Versuchszeiten (> 50 Tage) kann noch genügend Testmaterial für die Auswertung gewonnen werden.

c) Vergleich der biologischen Bodenaktivität im Düngungsversuch
«Rüteli» bei verschiedener Düngergabe.

Eiweißabbau.

In drei aufeinanderfolgenden Etappen (Tab. 54) wurde der Reißfest diskontinuierlich angelegt.

Tab. 54

Eiweißabbau

im Wiesendüngungsversuch «Rüteli». Gliederung der Versuchsperiode in Versuchs-etappen, Zeiten der Probenahme (alle Düngungspartzellen gleichzeitig geerntet).

| 1. Etappe Mai-Juni | | | 2. Etappe Juni-August | | | 3. Etappe August-Oktober | | |
|--------------------|------------|------|-----------------------|------------|------|--------------------------|------------|------|
| Anlage | Probenahme | Tage | Anlage | Probenahme | Tage | Anlage | Probenahme | Tage |
| 2. 5. 44 | 30. 6. 44 | 59 | 1. 7. 44 | 23. 8. 44 | 53 | 24. 8. 44 | 18. 10. 44 | 55 |

Die Ergebnisse des Eiweißabbaues zeigen deutlich, wie die PK-Düngung gegenüber der ungedüngten Versuchspartzelle (= O-Versuch) die bBA im Hauptwurzelhorizont der Naturwiese (0—5 cm) stark zu steigern

vermochte (Tab. 55). Die durch die Düngergabe bewirkte Aktivitätszunahme sinkt mit zunehmender Bodentiefe sehr rasch ab. An Hand ihrer Größe kann die Tiefenwirkung des Düngers direkt abgeschätzt werden. Sie ist im Frühjahr (Mai-Juni) in 10 cm nicht mehr feststellbar. Im stark humosen Anteil des Oberbodens (0—3 cm), dem Orte großer Reaktionsoberflächen und guter Basen-Umtauschmöglichkeiten, nimmt die bBA am stärksten zu. In 5 cm Tiefe bleibt die bBA von der ersten zur zweiten Etappe angenähert für alle Versuchspartellen gleich und nimmt erst in der dritten Etappe zu. Erst gegen den Herbst, bei fortgesetzter zoogener Durchwühlung, setzt eine Aktivierung ein. In 10 cm Bodentiefe sind die bBA der ersten Etappe für alle Düngungspartellen (also exklusive Nullparzelle) angenähert gleich groß und in der zweiten Etappe nur wenig verschieden. Diejenigen der dritten Etappe sind etwas größer als jene der zweiten Etappe. Zufällig tiefergehende lokale, humusreichere Horizontausbuchtungen können solche Ausnahmen verursachen.

Die zur PK-Grunddüngung zugegebenen verschiedenen Stickstoffgaben vermochten die bBA gegenüber der Grunddüngung nicht wesentlich zu verändern. Aus den ermittelten Horizont-Etappenaktivitäten konnte keine systematische Abweichung festgestellt werden (Tab. 55).

Eiweißabbau.

Profilmäßige Darstellung der Horizont-Etappenaktivitäten (E_{dh}) in den verschiedenen Düngungspartellen des Wiesendüngungsversuches «Rüteli» auf dem Roßberg bei Kempthal. (Versuchsperiode Mai bis Oktober 1944.) Tab. 55

| Horizont cm | 1. Etappe | | | | | | 2. Etappe | | | | | | 3. Etappe | | | | | |
|----------------|-----------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 0 | PK | PN ₁ K | PN ₂ K | PN ₃ K | PN ₄ K | 0 | PK | PN ₁ K | PN ₂ K | PN ₃ K | PN ₄ K | 0 | PK | PN ₁ K | PN ₂ K | PN ₃ K | PN ₄ K |
| 0—1 | 0,34 | 1,37 | 0,93 | 1,03 | 1,19 | 0,85 | 0,41 | 1,11 | 1,57 | 1,21 | 1,38 | 1,21 | 0,75 | 1,47 | 1,55 | 1,42 | 1,35 | 1,40 |
| 2 | 0,37 | 1,22 | 0,88 | 0,80 | 1,03 | 1,22 | 0,41 | 1,09 | 1,34 | 0,51 | 1,13 | 1,17 | 0,58 | 1,27 | 1,44 | 1,25 | 1,31 | 1,35 |
| 5 | 0,34 | 0,80 | 0,53 | 0,54 | 0,66 | 0,49 | 0,32 | 0,53 | 0,60 | 0,32 | 0,51 | 0,68 | 0,47 | 0,95 | 1,09 | 1,13 | 0,64 | 1,24 |
| 10 | 0,42 | 0,24 | 0,27 | 0,36 | 0,34 | 0,31 | 0,26 | 0,49 | 0,51 | 0,34 | 0,36 | 0,36 | 0,47 | — | 0,65 | 0,62 | 1,29 | 0,84 |

0 = keine Düngung; PK = Grunddüngung mit Phosphorsäure (als Superphosphat) und Kali (als Kalisalz); PN₁K = PK + NO₃-Stickstoff; PN₂K = PK + NH₄-Stickstoff; PN₃K = PK + Ca-Stickstoff; PN₄K = PK + Gülle-Stickstoff.

Die N-gedüngten Partellen haben auffallenderweise in der ersten Etappe durchwegs kleinere relative Etappenaktivitäten der Profile als die mit PK-Grunddüngung behandelten Partellen. Die biologischen Profil-Etappenaktivitäten (E_{dp}) der ungedüngten und der mit PK gedüngten Partelle erreichten im Herbst (5. Etappe) das Maximum (Tab. 56) und im Sommer (2. Etappe) das Minimum der Versuchsperiode. Sommerliche

Feuchtigkeitsverluste sind in vorliegender Bodenart zu erwarten. Der Wasserverlust verschlechtert die Lebensbedingungen der Eiweißabbauer und reduziert den Abbau der E-Testschnur. Diese Ergebnisse bestätigen die in anderen Versuchsgruppen gemachten Beobachtungen.

Eiweißabbau.

Perioden- und Etappenaktivitäten des Profils (P_{dp} und E_{dp}) der Böden verschiedener Düngungsparzellen des Wiesendüngungsversuches «Rüteli». Versuchsperiode Mai bis Oktober 1944.

Tab. 56

| Düngungsparzelle | P_{dp} | E_{dp} (1. Etappe) Mai-Juni | E_{dp} (2. Etappe) Juni-Aug. | E_{dp} (3. Etappe) Aug.-Okt. |
|------------------|----------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 44 | 37 | 33 | 53 |
| PK | 88 | 83 | 72 | 123 |
| PN_1K | 91 | 60 | 87 | 112 |
| PN_2K | 78 | 52 | 49 | 107 |
| PN_3K | 89 | 53 | 72 | 104 |
| PN_4K | 93 | 65 | 78 | 119 |

Die Aktivitätszunahme im Herbst (3. Etappe) ist im Vergleich zur Profilaktivität der Periode (P_{dp}) sowohl in der ungedüngten wie in allen gedüngten Versuchspartzen groß (Tab. 56 u. 57). Da aber in den Partzen, wo zur PK-Grunddüngung zusätzlich N in verschiedenen Formen zugegeben wurde, die Ergebnisse sich eng um die bBA-Werte der PK-Partzelle scharen, sind in Bild 21 nur die Resultate des O- und PK-Versuches dargestellt.

Eiweißabbau.

Relative Etappenwerte der Profile in den Böden verschiedener Düngungsparzellen des Wiesendüngungsversuches «Rüteli», bezogen auf die Profilaktivität (P_{dp}) der Versuchsperiode Mai bis Oktober 1944.

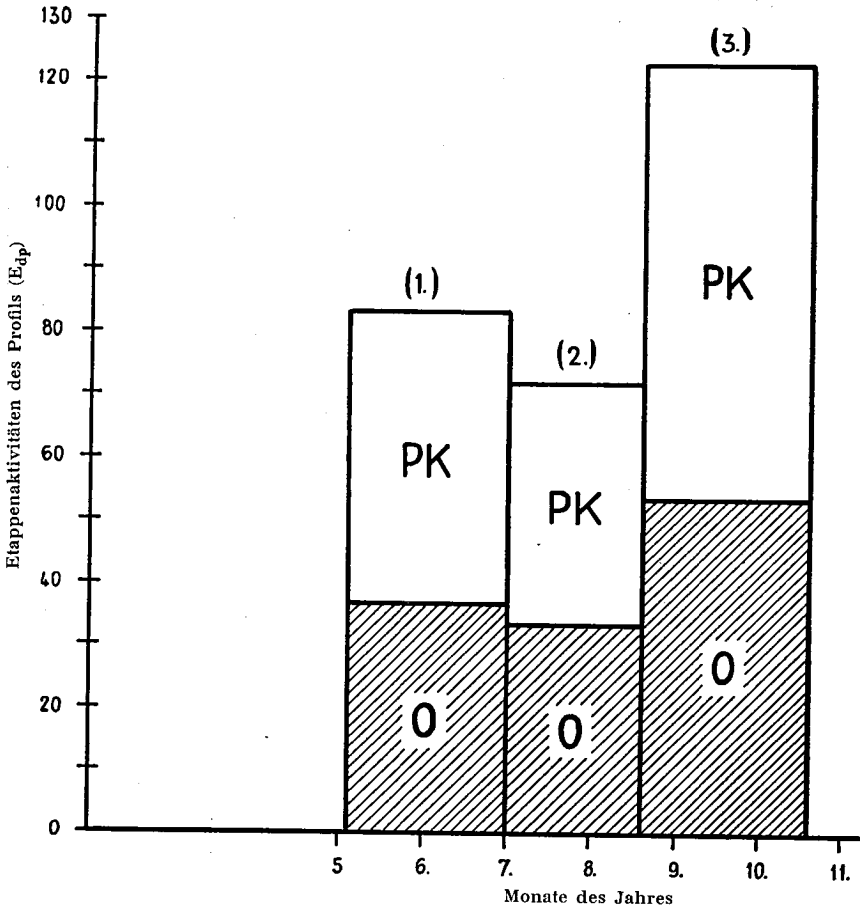
Tab. 57

| Düngungsparzelle | P_{dp} | 1. Etappe Mai-Juni | 2. Etappe Juni-August | 3. Etappe August-Oktober |
|------------------|----------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 0 | 1,0 | 0,8 | 0,8 | 1,2 |
| PK | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 1,4 |
| PN_1K | 1,0 | 0,7 | 1,0 | 1,2 |
| PN_2K | 1,0 | 0,7 | 0,6 | 1,4 |
| PN_3K | 1,0 | 0,6 | 0,8 | 1,2 |
| PN_4K | 1,0 | 0,7 | 0,8 | 1,3 |

Eiweißabbau.

Vergleich der biologischen Profil-Etappenaktivitäten (E_{dp}) in den Böden der Parzellen ohne und mit PK-Grunddüngung im Düngungsversuch «Rüteli», Roßberg. (Versuchsperiode Mai bis Oktober 1944.)

Bild 21



0 = Nicht gedüngte Versuchsparzelle
 PK = Versuchsparzelle mit Grunddüngung aus Superphosphat und Kalisalz
 1-3 = Versuchsetappen

Biologisch sehr aktiv ist der Hauptwurzelschicht des Oberbodens. In tieferen Horizonten nimmt die bBA rasch ab (vgl. Tab. 58 u. Bild 22).

Die PK-Düngergabe hat nach den Ergebnissen der Testschnurmethode im Mittel der Versuchsperiode die bBA gegenüber der Parzelle ohne Düngung zu verdoppeln vermocht (Tab. 59). Durch die zusätzliche N-Gabe tritt keine wesentliche Steigerung der bBA ein. Dieses Resultat deckt sich

mit den eingangs erwähnten 10jährigen Ernteergebnissen, wonach die N-Düngung neben der PK-Gabe den Heuertrag auch nicht zu steigern vermochte.

Eiweißabbau.

Profilmäßige Darstellung der Horizont-Periodenaktivitäten (P_{dh}) in den Böden verschiedener Düngungspartellen des Düngungsversuches «Rüteli».

Tab. 58

(Versuchsperiode Mai bis Oktober 1944.)

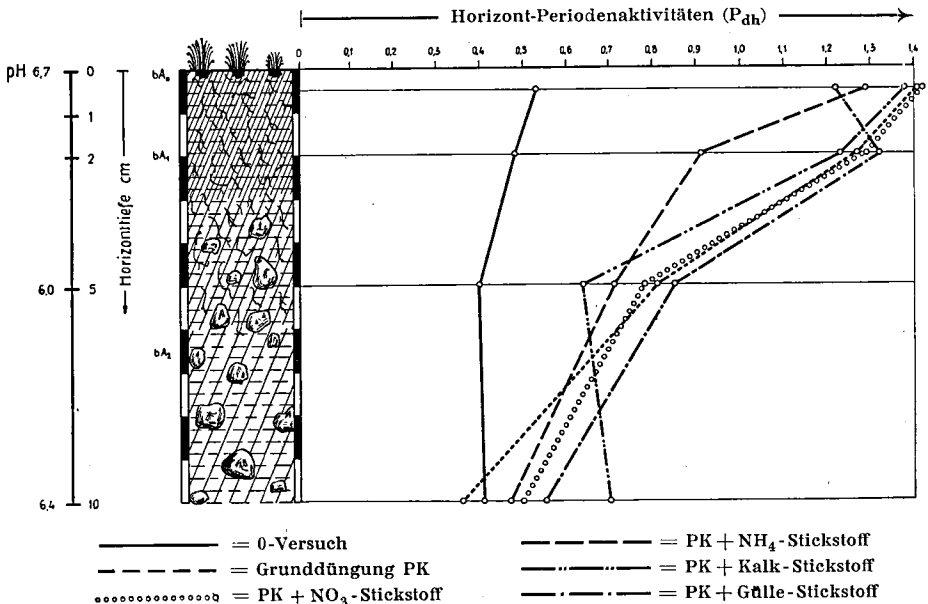
| Horizont cm | P_{dh} (der verschiedenen Düngungspartellen) | | | | | |
|----------------|--|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 0 | PK | PN ₁ K | PN ₂ K | PN ₃ K | PN ₄ K |
| 0—1 | 0,53 | 1,41 | 1,42 | 1,29 | 1,38 | 1,22 |
| 2 | 0,48 | 1,27 | 1,29 | 0,91 | 1,23 | 1,32 |
| 5 | 0,40 | 0,81 | 0,78 | 0,71 | 0,64 | 0,85 |
| 10 | 0,41 | 0,36 | 0,50 | 0,47 | 0,70 | 0,53 |

Eiweißabbau.

Profilmäßige Darstellung der Horizont-Periodenaktivitäten (P_{dh}) in den verschiedenen Düngungspartellen des Wiesendüngungsversuches «Rüteli», Roßberg.

(Versuchsperiode Mai bis Oktober 1944.)

Bild 22



Eiweißabbau.

Relative Periodenaktivitäten der Profile in den Böden verschiedener Düngungsparzellen des Düngungsversuches «Rüteli», bezogen auf die Periodenaktivität der Parzelle ohne Düngung. (Versuchsperiode Mai bis Oktober 1944.) *Tab. 59*

| Düngungsparzelle | P_{dp} | $\frac{P_{dp} \text{ (PK, bzw. PN}_1\text{K, PN}_2\text{K, PN}_3\text{K, PN}_4\text{K)}}{P_{dp} \text{ (Versuchsparzelle ohne Düngung)}}$ |
|-------------------|----------|---|
| 0 | 44 | 1,0 |
| PK | 88 | 2,0 |
| PN ₁ K | 91 | 2,1 |
| PN ₂ K | 78 | 1,8 |
| PN ₃ K | 89 | 2,0 |
| PN ₄ K | 93 | 2,1 |

C. Zusammenfassung.

1. In vorliegender Arbeit wird versucht, aus der nach Pallmann und Frei (7 bes. S. 278) definierten biologischen Bodenaktivität (bBA) den für den Humifizierungsvorgang wichtigen Zellulose- und Eiweißabbau zu messen.
2. Einleitend werden die Wechselbeziehungen zwischen Bodenbildung und Umweltfaktoren beschrieben. Die methodischen Schwierigkeiten, die beim Bestimmen einzelner Standortfaktoren entstehen, werden erwähnt. Die Bodenuntersuchung verlangt häufig Methoden, mit denen eine Vielzahl von Proben in nützlicher Frist und mit genügender Genauigkeit untersucht werden können. Verschiedene Verfahren versuchen die biologische Bodenaktivität zu bestimmen, die für die Humusbildung und für die Gefügeeigenschaften von großer Bedeutung ist:
 - a) Messung der vor allem durch die Lebenstätigkeit der Bodenlebewesen erzeugten Kohlensäuremenge (16), die pro Zeiteinheit einer bestimmten Bodenfläche entströmt.
 - b) Quantitative Bestimmung der Nitratbildung im Boden (34).
 - c) Bestimmung des C:N-Quotienten der organischen Bodensubstanz (5, 9, 14, 25, 26).
 - d) Ermittlung des sog. acetylbromidunlöslichen Humusanteils nach U. Springer (29).

- e) Mikromorphologische Bodenbetrachtungen bei natürlicher Lagerung im Profil und im Bodendünnschliff nach Kubiena (12) und Frei (7).
- f) Keimauszählungen mittels Elektivkulturen (4, 13).
3. Die Ansprüche an eine Methode zur Bestimmung der biologischen Bodenaktivität werden angegeben und kritisch besprochen.
 4. Es gibt heute keine Methode, die die Gesamtwirkung der biologisch bedingten Vorgänge im Boden erfassen kann. Der vorgeschlagene, methodisch erprobte Reißtest mit normierten Zellulose- und Eiweißtestschnüren vermag einen Ausschnitt aus der gesamten bBA zu geben. Die Untersuchungen erfolgen am natürlich gelagerten Boden, so daß die Einflüsse des Standortes im Meßergebnis zum Ausdruck kommen.
 5. Für alle Untersuchungen wurde ein einheitliches Ausgangsmaterial verwendet, das in gleicher Qualität nachbezogen werden kann:

Zellulose-Testschnüre: Entölte Viskose-Kunstseide, 7500 Deniers (75 Deniers 100fach zusammengezwirnt) mit einer Anfangs-RF von 9,7 kg ($\pm 0,04$) — 10,3 kg ($\pm 0,17$) bei 23 bzw. 24 Reißproben.

Eiweiß-Testschnüre: Reine, nicht entbastete Seide (Japan-Grège), 2800 Deniers (13/15 Deniers 200fach zusammengezwirnt) mit einer AusgangsRF von 10,4 kg ($\pm 0,04$) — 11,4 kg ($\pm 0,06$), bei 34 bzw. 38 Reißproben.
 6. Als Maß für die bBA dient stets die Reißfestigkeitsabnahme der im Boden eingezogenen Zellulose- und Eiweißtestkörper. Je größer der Reißfestigkeitsverlust in der Zeiteinheit ist, um so höher wird die bBA bewertet.
 7. Physikalische und chemische Eigenschaften des Ausgangsmaterials, sowie der Reißvorgang in der Zellulose- und Eiweißfaser werden besprochen. Die Abbaugeschwindigkeit stellt eine komplexe Funktion der jeweiligen Kettenlänge der Zellulose- und Eiweißmolekel dar. Weitere Untersuchungen müssen die Zusammenhänge abklären. Die in dieser Arbeit als Maß für den Abbau verwendete Reißfestigkeitsabnahme liefert noch nicht die vollständig quantitative Maßzahl für den Zellulose- und Eiweißabbau.
 8. In Feldversuchen werden Testschnüre nach einem beschriebenen Verfahren in bestimmte Horizonte natürlich gelagerter Böden eingezogen. Die Versuchsanordnung ist kontinuierlich (k) oder diskontinuierlich (d) (vgl. S. 315 u. ff.). Letztere wird in den meisten Fällen angewendet. Ergebnisse aus diskontinuierlichen Versuchen dürfen aus methodischen Gründen nicht ohne weiteres mit Ergebnissen aus kontinuierlichen Versuchen verglichen werden.

9. Die rechnerische Auswertung der Reißfestigkeitsabnahmen wird beschrieben. Die Versuchsperiode erstreckt sich über die ganze Vegetationszeit, meist sogar über ein Jahr. Die Versuchsperiode wird in Versuchsetappen unterteilt, am Etappenende werden die Proben herauspräpariert (vgl. S. 315 u. ff.).
10. Es werden folgende Aktivitätsbegriffe definiert (S. 315—321):
- Horizont-Etappenaktivität E_{kh} bzw. E_{dh}
 - Horizont-Periodenaktivität P_{kh} bzw. P_{dh}
 - Profil-Etappenaktivität E_{kp} bzw. E_{dp}
 - Profil-Periodenaktivität P_{kp} bzw. P_{dp}
 - Relative Profilaktivität
 - Relative Etappenwerte.
11. Die Zellulose- und Eiweißabbauversuche werden in Böden pflanzensoziologisch beschriebener Wald- und Rasengesellschaften, sowie in einem 10jährigen Düngungsversuch angelegt. Die Versuchsstandorte werden bodenkundlich beschrieben. Auf oekologische Besonderheiten wird hingewiesen. Es werden 4 Versuchsgruppen (a—d) ausgeschieden:

Versuchsgruppe «a»

Braunerdeserie der Laubwälder des schweizerischen Mittellandes:

Zelluloseabbau.

- Die vollreife Braunerde des *Q.-C. aretosum* ist der biologisch aktivste Boden unter den verglichenen (Tab. 14, Bild 7).
- Die bBA der schwach podsoligen Braunerde des *Q.-C. luzuletosum* ist kleiner als im *Q.-C. aretosum*, jedoch größer als im Boden des *Q.-Betuletum*. Der 5—7 cm mächtige Rohhumus hat die größte bBA (Tab. 15, Bild 8).
- Die leicht podsolierte und oft marmorierte Braunerde des *Q.-Betuletum* ist der biologisch inaktivste Boden. (Tab. 14, Bild 7; Tab. 15, Bild 8.) Immer sind die Versuchshorizonte im Rohhumus biologisch aktiver als im Mineralerdeanteil des Oberbodens.

Aus der relativen Periodenaktivität der untersuchten Bodenprofile folgt, daß für die gesamte Versuchsperiode der Boden des *Q.-C. aretosum* 4,2 mal, jener des *Q.-C. luzuletosum* 1,7 mal aktiver ist als jener des *Q.-Betuletum* (Tab. 19).

Eiweißabbau.

Der Eiweißabbau in der Naturseide-Testschnur erfolgt wesentlich langsamer als der Zelluloseabbau. Im Boden des *Q.-C. aretosum* wird Eiweiß am stärksten und in jenem des *Q.-Betuletum* am schwächsten abgebaut. Die schwach podsolige Braunerde des *Q.-C. luzuletosum* nimmt eine Mittelstellung ein (Tab. 20, Bild 10). Es ist möglich, daß die Empfindlichkeit wichtiger Eiweißabbauer auf Feuchtigkeitsschwankungen größer ist, als bei Zelluloseabbauern.

Entsprechend den relativen Periodenaktivitäten stehen die Profilaktivitäten je Versuchsperiode für die Böden des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* im Verhältnis 1,5 : 1,5 : 1,0 (Tab. 25).

Als Beitrag zur Standortkenntnis des *Q.-C. aretosum*, *Q.-C. luzuletosum* und *Q.-Betuletum* wird neben dem Zellulose- und Eiweißabbau die Abbaugeschwindigkeit der den Boden natürlich deckenden Laubstreue untersucht (vgl. Bilder 11, 12, 13 und 14).

Im *Q.-C. aretosum* wird die Versuchsstreue alljährlich vollständig, im *Q.-C. luzuletosum* zu 84 % und im *Q.-Betuletum* zu 62 % abgebaut (Tab. 30).

Versuchsgruppe «b»

Subalpine Föhren-, Arven-Föhren- und Weidegesellschaften im Schweizerischen Nationalpark:

Zelluloseabbau.

- a) Im initialen, subalpinen Humuskarbonatboden des *Pineto-Caricetum humilis* werden aus methodischen Gründen standörtliche Höchstwerte der BA gemessen (S. 357, Tab. 38, Bild 16).
- b) Im flachgründigen, subalpinen Waldhumuskarbonatboden des *Mugeto-Ericetum caricetosum humilis* wird die größte Horizont-Etappenaktivität im rA_1 -Horizont gemessen ($E_{dh} = 0,92$ Tab. 38, Bild 16). Im rA_2 -Horizont wird die bBA kleiner.
- c) Der subalpine Wiesen-Humuskarbonatboden des *Trisetum flavescens* ist unter den in der Versuchsgruppe «b» verglichenen Böden der biologisch aktivste. Die Lebensbedingungen der zelluloseabbauenden Mikroorganismen sind im rA_1 und rA_2 günstig. Die auch in 45 cm Profiltiefe hohen Horizont-Etappenaktivitäten ($E_{dh} = 0,54$ Tab. 38, Bild 16) kennzeichnen das Profil.

- d) Im extrem degradierten subalpinen Wald-Humuskarbonatboden des *Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum* führt der genügende Wassergehalt im A_1 -Horizont trotz saurer Horizontreaktion zu einer Erhöhung der in den übrigen Horizonten sehr kleinen Horizont-Etappenaktivität (Tab. 58).
- e) Von allen untersuchten Böden des Schweizerischen Nationalparks wurde im Wald-Eisenpodsol des *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* die kleinste bBA gemessen. Im A_0 - und in den obersten Zonen des A_1 -Horizontes sind die Horizont-Etappenaktivitäten angenähert gleich groß wie im Boden des *Mugeto-Ericetum caricetosum humilis* ($E_{dh} = 0,85$ bzw. $0,60$, Tab. 58). Die sehr saure Bodenreaktion des A_1 vermag aber die bBA stark zu schwächen. Im A_2 -Horizont war die $E_{dh} = 0$ und im B_s -Horizont sehr klein ($E_{dh} = 0,15$).

Die Profil-Etappenaktivitäten (E_{dp}) (Tab. 59) dürfen nur vom Boden des *Mugeto-Rhodoretum hirsuti* und von jenem des *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* zahlenmäßig miteinander verglichen werden. Die E_{dp} der anderen Bodenprofile sind nur unter Berücksichtigung ihrer Untersuchungstiefe zu betrachten.

Eiweißabbau.

In den untersuchten Böden subalpiner Waldgesellschaften ist der Eiweißabbau klein. Im Boden des *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* und in jenem des *Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum*, war der Eiweißabbau praktisch null (Tab. 40, Bild 17). Im verbraunten Weide-Humuskarbonatboden des *Trisetetum flavescens* ist der Eiweißabbau am größten. Für alle Versuchshorizonte bleibt die Horizont-Etappenaktivität (E_{dh}) mit Ausnahme der Bodenoberfläche (0—2 cm) annähernd gleich groß ($E_{dh} 0,17$).

Der initiale, subalpine Humuskarbonatboden des *Pineto-Caricetum humilis* scheint für Eiweißabbauer zu trocken zu sein. (S. 368).

Im flachgründigen, subalpinen Waldhumuskarbonatboden des *Mugeto-Ericetum caricetosum humilis* wird infolge der gegenüber dem Boden des *Pineto-Caricetum* relativ günstigeren Wasserhaltung Eiweiß auch im rA_2 (16 cm) abgebaut.

Zum Vergleich der Profil-Etappenaktivitäten (E_{dp}) müssen wieder die verschiedenen Untersuchungstiefen berücksichtigt werden (vgl. Bem. weiter oben).

Versuchsgruppe «c»

Subalpine Zwergstrauch- und Weidegesellschaften auf «Alp Piscium»,
Airolo:

Zelluloseabbau.

- a) Im subalpinen Humuspodsol des *Rhodoreto-Vaccinietum extrasilvaticum* wird die Zellulose-Testschnur praktisch nur bis zum A_1^1 -Horizont (6 cm) abgebaut. In tieferen Horizonten hört der Abbau wegen zu großem Wassergehalt, stark saurer Bodenreaktion und tieferen Mitteltemperaturen auf (Tab. 45, Bild 18 und 19).
- b) Im Vergleich zum subalpinen Humuspodsol ist der sekundär verbrauchte Gebirgsweide-Boden des *Nardetum strictae subalpinum* biologisch sehr aktiv (Tab. 45, Bild 18 und 19). Infolge besserer Wärmeverhältnisse und größerer zoogener Wühltätigkeit, geht der Zelluloseabbau 7 mal tiefer und ist an der Bodenoberfläche angenähert doppelt so groß als im Humuspodsol.

Der Vergleich der relativen Periodenaktivitäten der Profile beider untersuchten Böden zeigt, daß der sekundär verbrauchte Gebirgsweide-Boden 5,7 mal aktiver ist, als das subalpine Humuspodsol.

Eiweißabbau.

Das Eiweiß wird in beiden untersuchten Bodenprofilen auffallend gleichmäßig abgebaut. Nur die obersten Horizonte (5 cm) des verbrauchten Gebirgsweide-Bodens des *Nardetum strictae subalpinum* sind biologisch aktiver (Tab. 50, Bild 19). Die starke Versauerung der Profile ist vielleicht für diesen gleichförmigen Abbau entscheidend, ihr Einfluß überwiegt wohl jenen der übrigen Bodenfaktoren. Der Vergleich der relativen Periodenaktivitäten beider Bodenprofile (Tab. 51) zeigt die geringen Unterschiede im Eiweißabbau-Vermögen der beiden Böden, wobei aber deutlich das sekundär verbrauchte Gebirgsweide-Profil das Humuspodsol übertrifft.

Versuchsgruppe «d»

Untersuchungen über die bBA im Wiesendüngungsversuch «Rüteli» des landwirtschaftlichen Lehrgutes Roßberg bei Kemptthal:

Eiweißabbau.

Eine PK-Düngergabe vermag nach den Ergebnissen der Testschnurmethode im Mittel der Versuchsperiode die bBA gegenüber der Parzelle ohne Düngung zu verdoppeln (Tab. 59, Bild 22). Durch die zu-

sätzliche N-Gabe in verschiedener Form tritt keine wesentliche Steigerung der bBA ein. Dieses Resultat deckt sich mit den Ernteergebnissen, wonach die N-Düngung (neben der PK-Gabe) den Heuertrag auch nicht zu steigern vermochte.

12. Da die Zellulose- und Eiweißabbauversuche in den einzelnen Versuchsgruppen in verschiedenen Vegetationsperioden und zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt wurden, können die Versuchsergebnisse nur innerhalb der Versuchsgruppen verglichen werden. In Uebersichtstabellen sind die Aktivitätswerte zusammengestellt.
13. Der Einfluß der Standortfaktoren auf die bBA muß weiter untersucht werden. Einzelne unter ihnen können heute aus methodischen Gründen noch nicht befriedigend erfaßt werden.
14. Die neue Z- und E-Testmethode zur Bestimmung der bBA erweist sich als tauglich und ausbauwürdig.

Literaturnachweis.

1. Braun-Blanquet, J.: Pflanzensoziologie, Berlin 1928 (vergriffen).
2. Braun-Blanquet, J. und Jenny, H.: Vegetations-Entwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. Denkschriften der S. N. G. LXII, Abh. 2, 1926 (183—349).
3. Braun-Blanquet, J., Sissingh, G. und Vlieger, J.: Prodrömus der Pflanzengesellschaften, Hg. vom Ausschuß f. d. Prodrömus der Pflanzengesellschaften, Fsz. 6, 1939 (März).
4. Düggeli, M.: Die Bakterien des Waldbodens. Schw. Z. f. Forstw. 1925.
 — Bodenbakteriologische Studien. Landw. Jb. Schw. 38 (205—251), 1924.
 — Studien über die Bakterienflora alpiner Böden. Festschrift Carl Schröter. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich. 3. Heft, 1925.
 — Wie wirkt das öftere Betreten des Waldbodens auf einzelne physikalische und biologische Eigenschaften ein? Schw. Z. f. Forstw., 1937.
5. Engel, H.: Ueber den Einfluß des C:N-Verhältnisses in verschiedenen organischen Substanzen auf die Umsetzungen des Stickstoffes im Boden. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, Teil A, 19, 5/6, 1931 (314—325).
6. Etter, H.: Pflanzensoziologische und bodenkundliche Studien an schweizerischen Laubwäldern. Mitt. d. Schw. Anstalt f. d. forstl. Versuchswesen XXIII, 1, 1943 (1—132).
7. Frei, E.: Morphologische, chemische und kolloidchemische Untersuchung subalpiner Weide- und Waldböden der Rendzina- und der Podsolserie. Ein Beitrag zur Humusklassifizierung. Ber. Schw. Bot. Ges. 54, 1944 (281).
8. Hesselmann, H.: Studien über die Nitratbildung in natürlichen Böden und ihre Bedeutung in pflanzenoekologischer Hinsicht. Mitt. a. d. forstl. Vers.-Anst. Schwedens. Heft 13—14, 1916/17.
9. Jenny, H.: Einige praktische Bodenstickstoffprobleme in den USA. Schweizerische Landwirtschaftl. Monatshefte 9, 1933 (1—15).
10. Krauss, G. und Wobst, W.: Ueber die standörtlichen Ursachen der waldbaulichen Schwierigkeiten im vogtländischen Schiefergebiet. Thar. forstl. Jb. 86, 4/5, 1935.
11. Krauss, G., Härtel, F., Müller, K., Gärtner, G., Schanz, H.: Standortsgemäße Durchführung der Abkehr von der Fichtenwirtschaft im nordwestsächsischen Niederland. (Mit grundsätzlichen Bemerkungen über gleiartige Bodenbildungen.) Thar. forstl. Jb. 1939.
12. Kubierna, W.: Mikropedologie. Biologia Generalis, VII, 2, 1932.
 — Ueber das Elementargefüge des Bodens. Bodenkundliche Forschungen, IV, 4, 1935 (380—412).
 — Beiträge zur Bodenentwicklungslehre: Entwicklung und Systematik der Rendzinen. Bodenkunde u. Pflanzenern. 29 (7 4), 1943 (108—119).
13. Lafar, F.: Technische Mykologie. Jena 1897.
14. Lemmermann, O., Jessen, W., Engel, H.: Die Bedeutung des Kohlenstoff-Stickstoffverhältnisses und anderer chemischen Eigenschaften der organischen Stoffe für ihre Wirkung. Bodenkunde u. Pflanzenern. A 17, 1930 (321).
15. Lindquist, B., cit. in Franz, H.: Untersuchungen über die Bedeutung der Bodentiere für die Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit. Forschungsdienst, Org. d. d. Landwirtschaftswissenschaft, 13, 4/5, 1942 (326).
16. Lundegårdh, H.: Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur. Jena 1924.
17. Meyer, K. H., Mark, H.: Hochpolymere Chemie I und II, Leipzig 1940.
18. Nömmik, A.: Ueber die Zersetzungsgeschwindigkeit des gefallenen Laubes und der Koniferennadeln und über den Schwund einiger in ihnen enthaltenen Elemente. Bodenkunde u. Pflanzenern. 8, 1/2, 1938 (77—100).
19. Pallmann, H.: Die Böden des Gutsbetriebes Roßberg bei Kemptthal. Schw. Landw. Monatshefte XVII, 5, 1939.

20. Pallmann, H. und Frei, E.: Beitrag zur Kenntnis der Lokalklimate einiger kennzeichnender Waldgesellschaften des Schweizerischen Nationalparks (Fuorn). Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen des Schweizerischen Nationalparks, I (Neue Folge), 10, 1943 (437—464).
21. Pallmann, H., Frei, E. und Hamdi, H.: Die Filtrationsverlagerungen hochdispenser Verwitterungs- und Humifizierungsprodukte im Profil der mäßig entwickelten Braunerde. Koll.-Z. 103, 2, 1943 (111—119).
22. Pallmann, H. und Haffter, P.: Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im Oberengadin, mit besonderer Berücksichtigung der Zwergstrauchgesellschaften der Ordnung *Rhodoreto-Vaccinietalia*. Ber. d. Schw. Bot. Ges. 42, 2, 1933 (357—466).
23. Pallmann, H., Hasler, A. und Schmuziger, A.: Beitrag zur Kenntnis der alpinen Eisen- und Humuspodsole. Bodenkunde und Pflanzenernährung 9/10 (54/55), 1938 (94—122).
24. Pallmann, H., Eichenberger, E. und Hasler, A.: Eine neue Methode der Temperaturmessung bei oekologischen oder bodenkundlichen Untersuchungen. Ber. Schw. Bot. Ges. 50, 1940 (357—362).
25. Remezow, N. P.: Beiträge zur Charakteristik der organischen Substanz der Böden der UdSSR. Zeitschr. f. Pflanzenern., Düngung und Bodenkunde 30, 4/6, 1935 (285—311).
26. Salter, F. J.: The carbo-nitrogen ration in relation to the accumulation of organic matter in soils. Soil Sci. 31, 1931 (413).
27. Schinz, H. und Keller, R.: Flora der Schweiz, I. Teil, Zürich 1923 (vergriffen).
28. Schmuziger, A.: Ueber die Verteilung und den Chemismus der Humusstoffe in den Profilen einiger schweizerischer Bodentypen. Diss. E. T. H. 1935.
29. Springer, U.: Der heutige Stand der Humusuntersuchungsmethodik mit besonderer Berücksichtigung der Trennung, Bestimmung und Charakterisierung der Huminsäuretypen und ihre Anwendung auf charakteristische Humusformen. Bodenkunde und Pflanzenern. 5/6 1937 (312).
50. Staudinger, H., Staudinger, M. und Schmidt, H.: Ueber die Zerstörung der Zellulose durch Mikroorganismen. Zellwolle, Kunstseide, Seide, 45, 1, 1940 (2—4).
31. Stöckli, A.: Studien über den Einfluß des Regenwurmes auf die Beschaffenheit des Bodens. Landw. Jb. Schw. 42 (1—121), 1928.
32. Suter, H.: Geologie von Zürich, einschließlich seiner Exkursionsgebiete. Zürich 1939.
33. Volkart, A., Düggele, M., Pallmann, H.: Mitteilung über Wiesendüngungsversuche im «Rüteli» auf dem Roßberg (nicht veröffentlicht).
34. Waksman, S. A.: Der gegenwärtige Stand der Bodenmikrobiologie und ihre Anwendung auf Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenwachstum. Berlin, Wien 1930.
35. — Humus. Baltimore 1936 (daselbst ausführliche Literaturhinweise).
36. Weber, J.: Geologische Karte von Winterthur und Umgebung. Hg. v. d. Naturw. Ges. Winterthur.
37. Wiegner-Pallmann: Anleitung zum quantitativen agrikulturchemischen Praktikum. 2. Aufl., Berlin 1938 (vergriffen).
38. Wittich, W.: Die Aktivierung von Rohhumus extrem ungünstiger Beschaffenheit. Z. f. Forst- u. Jagdw. 74, 7/8, 1942.
39. — Untersuchungen über den Verlauf der Streuezersetzung auf einem Boden mit Mullzustand. Forstarchiv 5/6, 1939 (96—111).
- dto. II. Forstarchiv 1/2 (1—18), 1945.

Lebenslauf.

Ich, Felix Richard, von Langenthal, wurde am 6. November 1915 in Langenthal, Kt. Bern, geboren. Hier besuchte ich die Primar- und Sekundarschule, worauf ich an der Realabteilung des Gymnasiums Burgdorf im Herbst des Jahres 1935 die Maturitätsprüfung bestand. Zu Beginn des Winter-Semesters desselben Jahres immatrikulierte ich mich an der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Abteilung für Forstwirtschaft, wo ich nach Absolvierung des Normalstudienplanes im Frühjahr 1939 als Forstingenieur diplomierte. Die obligatorische Verwaltungspraxis trat ich im Sommer desselben Jahres in Freiburg an. Nach 15 Monaten Militärdienst setzte ich im Herbst 1940 die Gebirgspraxis in Martigny fort, beschäftigte mich während zwei Monaten in der Schweizerischen Schnee- und Lawinenforschung Davos-Weißfluhjoch, um im Herbst 1941 das Eidgenössische forstliche Wählbarkeitszeugnis zu erhalten. Kurz darauf wurde ich Assistent am Agrikulturchemischen Institut der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich, wo unter der Leitung des Vorstandes, Herrn Prof. Dr. H. Pallmann, vorliegende Arbeit angefangen und im Herbst 1945 abgeschlossen wurde. Zahlreiche langfristige militärische Einberufungen haben den Verlauf der Arbeit störend beeinflusst.