

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

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 Kubierna (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 Kempthal:

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.