

Zur Enzymaktivität in einer subalpinen Bodenserie mit abnehmender Windexposition

Von
Gudrun Malicky-Schlatte

Aus dem Institut für Anatomie und Physiologie der Pflanzen,
Universität Graz

1. Einleitung

Auf die Bedeutung des Windes für die Vegetation exponierter, alpiner Standorte wurde bereits mehrfach hingewiesen (BROCKMANN-JÉROSCHE 1925–1929, PISEK 1952, NEUWINGER-RASCHENDORFER & CZELL 1961 u. a.). Sie liegt vor allem darin, daß windausgesetzte Rücken im Winter von Schnee freigeblasen werden. Dadurch kommt es zu einer Zonierung der Vegetation entsprechend der Fähigkeit der Pflanzen, verschieden lange Schneefreiheit und Wind zu ertragen. BRAUN-BLANQUET & JENNY 1926 (zitiert auch in BRAUN-BLANQUET 1964) geben neben der direkten Windwirkung auf den Standort auch eine indirekte über eine Änderung der Bodenkonstitution, der Bodenfauna usw. an.

Die Aufgabe dieser Arbeit soll es sein, festzustellen, ob der Wind die potentielle Enzymaktivität des Bodens zu beeinflussen vermag. Die Abbauvorgänge im Boden hängen weniger von den vorhandenen Organismen, als von deren Enzymen ab. Der größte Teil der Bodenenzyme befindet sich nicht in den Organismen, sondern im Boden selbst. Viele Enzyme werden durch Autolyse frei oder von ihren Bildnern abgeschieden und wirken außerhalb der Mikroorganismen weiter (RIPPEL-BALDES 1955, HOFMANN 1963). Mit dieser kleinen Untersuchung sollte auch ein Beitrag zur Enzymologie natürlicher Böden geleistet werden (siehe auch MOSER & GÖBL 1961, BERGER-LANDEFELDT 1965), da in dieser Hinsicht bisher meist nur Kulturböden berücksichtigt wurden. Einige Versuche mit Zellulose und Eiweißstchnüren in subalpinen Böden werden in BRAUN-BLANQUET, PALLMANN & BACH 1954 beschrieben, lassen aber noch keine Aussagen zu.

2. Der Untersuchungsplatz

Auf der Görlitzen (Nockgebiet, Kärnten) befindet sich ober den Bergerhütten in rund 1800 m Seehöhe ein Rücken aus Gurktaler Phylliten. Er zeigt am NO-exponierten Hang eine sehr gut ausgeprägte wind- und frostbedingte Vegetationszonierung, die in AICHINGER 1951 beschrieben wird. Es lassen sich sieben aufeinanderfolgende Gesellschaften unterscheiden, ein *Juncetum trifidi*, ein *Loiseleurietum*

procumbentis, ein *Vaccinietum uliginosi*, ein *Callunetum vulgaris*, ein *Vaccinietum Myrtilli*, ein *Rhodoreto-Vaccinietum* und ein *Alnetum viridis*. Die einzelnen Gürtel sind nur 2–5 m breit. Die Zahl der vorhandenen Pflanzenarten nimmt vom windgescherten und frostausgesetzten *Juncetum trifidi* zum geschützten *Alnetum viridis* ständig zu. Dasselbe stellt KÜHNELT in AICHINGER 1951 auch für die in den Gesellschaften vorkommenden Tierarten fest.

Als Klimax dieser Höhenstufe bezeichnet AICHINGER 1951 den Fichtenwald; die vorhandenen Gesellschaften sind als Verwüstungsstadien zu betrachten.

Den Boden kann man nach KUBIËNA 1953 als eupodsolige Braunerde bezeichnen, wie sie unter Nadelwäldern weit verbreitet ist.

3. Methodik

Zur allgemeinen Charakteristik der Böden wurden ihr pH, ihr Gehalt an organischer Substanz und die Summe ihrer austauschbaren Metallkationen (= S-Wert) bestimmt. Die pH-Werte wurden an vorschriftsmäßig aufbereiteten Bodenaufschwemmungen mit einem Beckman-pH-Meter Mod. H-2 mit Glaselektrode gemessen. Da der Boden kalkfrei war, konnte die organische Substanz durch Glühen ermittelt werden. Der S-Wert wurde durch Austausch der Basen durch die Wasserstoffionen von Salzsäure nach der Vorschrift in STEUBING 1965 festgestellt.

Von den Bodenfermenten wurden solche gewählt, die möglichst verschiedenen Funktionsgruppen zugehören. Die Proteinase spaltet Eiweiß, die Urease Harnstoff und die Amylase Stärke. Die Dehydrogenase befindet sich nicht wie die vorgenannten Enzyme größtenteils im Boden, sondern in den Organismen. Sie ist als Wasserstoffüberträger an der Atmung beteiligt.

Die Proteinaseaktivität wird durch die Zeitdifferenz (in Minuten) festgelegt, um die natürlichen Böden Gelatine rascher verflüssigen als sterilisierte (HOFMANN & NIGGEMANN 1953).

Die Urease spaltet Harnstoff in Kohlendioxyd und Ammoniak. Dieser bildet in alkalischer Lösung mit Phenol und Hypochlorit einen blauen Indophenolfarbstoff, dessen Extinktion gemessen wird. Mittels einer Eichkurve wird der Stickstoffgehalt der Bodensätze festgestellt. Die Ureasezahl ist die Stickstoffmenge in mg, die 100 g Boden während der Inkubationszeit aus Harnstofflösung freisetzen (HOFMANN & TEICHER 1961).

Zur Bestimmung der Amylaseaktivität wird nach HOFMANN & HOFMANN 1955 und HOFMANN 1963 der Boden mit Stärkelösung inkubiert und die entstehende Glukose mit Fehlingschem Gemisch zur Reaktion gebracht; nach Versetzen mit Kaliumjodid und Schwefelsäure wird mit Thiosulfat titriert. Die Amylase wird als die Differenz

zwischen dem Thiosulfatverbrauch von Ansatz und Blindwert angegeben.

Die Dehydrogenase wird kolorimetrisch durch die Formazanbildung aus Triphenyltetrazoliumchlorid bestimmt (LENHARD 1956, STEUBING 1965). Das rote Triphenylformazan wird mit Methanol extrahiert. Als Einheit der Aktivität dient der Extinktionswert des mit Methanol aus 10 g trockenem Boden hergestellten Auszuges. Die Extinktion wurde mit einem Beckman Spektralphotometer Mod. B gemessen.

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tab. 1 zusammengestellt. Alle Werte beziehen sich auf den Boden der Rhizosphäre in rund 3–15 cm Tiefe.

Tab. 1: Bodeneigenschaften und Enzymaktivitäten

	pH	organ. Subst %	S-Wert	Dehydro- genase	Proteinase	Amylase	Urease
<i>Juncetum trifidi</i>	5,8	47,4	10,56	<u>0,034</u>	15	<u>4,7</u>	<u>74</u>
<i>Loiseleurietum procumbentis</i>	<u>5,65</u>	<u>54,8</u>	<u>4,48</u>	0,021	16,5	<u>10,7</u>	92
<i>Vaccinietum uliginosi</i>	5,9	48,4	9,28	0,013	14,25	10,3	98
<i>Callunetum vulgare</i>	6,0	54,5	8,96	0,022	16,25	10,5	111
<i>Vaccinietum Myrtilli</i>	5,8	54,4	10,24	0,011	<u>14</u>	4,9	106
<i>Rhodoreto-Vaccinietum Alnetum viridis</i>	<u>6,0</u>	<u>41,0</u>	<u>14,08</u>	0,020	14,75	10,2	109
	5,9	44,0	8,32	<u>0,008</u>	<u>17</u>	9,2	<u>116</u>
—— = Maximum	 = Minimum					

Der pH-Wert zeigt entgegen den Befunden von BRAUN-BLANQUET & JENNY 1926 an ähnlichen Standorten keine gerichtete Änderung. Er bewegt sich in engen Grenzen zwischen 5,65 und 6,0. Der Boden ist demgemäß nach FRANZ 1960 als mäßig sauer zu bezeichnen.

Auch der Gehalt der Feinerde an organischer Substanz (41,0–54,8%) schwankt zwischen den Gesellschaften wenig. Die Böden sind sehr humusreich (Humusböden), wie das in Gebirgslagen und in der Arktis allgemein der Fall ist (JENNY 1930).

Am Boden des *Juncetum trifidi* wurde der Anteil der Tonfraktion am anorganischen Bodenteil festgestellt (nach STEUBING 1965, nach

Aufbereitung mit Wasserstoffsperoxyd und Dispersion mit Natrium-pyrophosphat mit einem Schlämmszylinder nach Atterberg). Er beträgt 23,8 Gew. %, ist also sehr groß.

Der S-Wert der einzelnen Proben zeigt größere Unterschiede, die aber nicht gerichtet sind.

Die Dehydrogenaseaktivität der untersuchten Proben ist mit 0,008–0,034 wesentlich geringer als die fast aller Böden, die von LENHARD 1957 angeführt werden. Da es sich bei der Dehydrogenase um ein Endoenzym handelt, kann man auf eine verhältnismäßig geringe Keimzahl der Böden auf der Görkitzen schließen. Wenn die Werte auch vom *Alnetum* zum *Juncetum* ansteigen, so sind sie doch zu wenig unterschieden, um eine wesentliche Änderung der Mikroorganismenzahl in diesem Bereich anzuzeigen.

Die Proteinaseaktivität verschiedener Böden beträgt nach HOFMANN & NIGGEMANN 1953 0–40. Die bei den Görkitzen-Böden erzielten Werte schwanken zwischen 14 und 17, sind also unter den einzelnen Gesellschaften fast gleich.

Die Aktivität der Amylase ist ziemlich groß. Aber wenn sich zwischen den Böden auch Unterschiede zeigen, so ist doch keine gerichtete Zu- oder Abnahme oder ein Zusammenhang mit einem der untersuchten Bodenfaktoren zu bemerken.

Die Urease zeigt im *Juncetum* die geringste, in den Zwergstrauchgesellschaften eine mittlere und im *Alnetum* ihre höchste Aktivität. Da die anderen Enzyme nicht so gerichtet sind, lassen sich diese Ureasezahlen vielleicht auf ein verschiedenes Harnstoffangebot in den Gesellschaftsgruppen zurückführen. Die Enzymaktivität ist, wie u. a. SCHEFFER & TWACHTMANN 1953 betonen, auch substratabhängig. Harnstoff wird nach RIPPEL-BALDES 1955 von Pilzen, Actinomyceten und einigen Bakterien gebildet.

Möglicherweise geht die erhöhte Ureaseaktivität auf eine stärkere Harnstoffproduktion durch die Mycorrhizapilze des *Alnetums* bzw. der Zwergstrauchgesellschaften zurück.

Eine Abhängigkeit eines Ferments von pH oder Humusgehalt des Bodens, wie sie in HOFMANN & KESSEBA 1962 ermittelt wird, ist nicht feststellbar. Die untersuchten Böden sind untereinander zu ähnlich.

Tab. 1 zeigt auch, daß die untersuchten Faktoren (unter eventueller Ausnahme der Urease) nicht von der Windexposition beeinflusst werden. Die in Tab. 1 unterstrichenen Maxima und Minima sind regellos verstreut. Man kann schließen, daß die potentielle Bodenaktivität, zumindest am Untersuchungsplatz, nicht primär von Wind und Frost bedingt wird. Der Grund dieser Erscheinung liegt sicher darin, daß die Ektoenzyme im Boden gespeichert werden, während die Mikroorganismenzahl mit dem Produkt aus Temperatur und Feuchtigkeit

schwankt (RIPPEL-BALDES 1955). Die Ektoenzyme werden dabei vor allem an die Tonfraktion angelagert. Deren Anteil ist im Boden Nr. 1, aber sicher auch in den anderen, sehr ähnlichen Böden, groß.

Die Verschiedenheit der Pflanzengesellschaften spielt, solange der Boden unter ihnen gleich ist, keine Rolle (JAGNOW 1958). Erst wenn das Degradationsstadium lange aufrecht erhalten bleibt wird sie, infolge der verschiedenen Produktion an organischer Substanz, wirksam werden.

Die an Ort und Stelle tatsächlich vorhandene Enzymtätigkeit ist in allen Fällen sicher viel geringer als die hier ermittelte potentielle Aktivität. Sie wird von der Temperatur stark beeinflußt, wie es z. B. HOFMANN & HOFFMANN 1955 für die Amylase und HOFFMANN & TEICHER 1957 für die Proteinase feststellen. Die unterschiedlichen Bodentemperaturen auf dem untersuchten Rücken rufen wahrscheinlich eine zum *Alnetum* hinggerichtete Zunahme der tatsächlichen Bodenaktivität hervor.

Die Enzyme wirken im Boden selten in ihrem optimalen pH-Bereich; bei ihrer Bestimmung dagegen wird der Boden meist auf diesen eingestellt. Auch hieraus und aus der Tatsache, daß der Kontakt zwischen Enzym und Substrat im Boden nicht gesichert ist, ergibt sich, daß die Tätigkeit der Enzyme unter natürlichen Verhältnissen nicht so groß ist wie im Versuch.

5. Zusammenfassung

Aus der Rhizosphäre einer wind- und frostbedingten Assoziationsfolge (*Juncetum trifidi* bis *Alnetum viridis*; 1800 m Seehöhe) wurden Bodenproben auf ihre enzymatische Aktivität geprüft. Es wird festgestellt, daß Wind und Frost am Untersuchungsplatz keinen unmittelbaren Einfluß auf die potentielle Aktivität von Proteinase, Amylase und Dehydrogenase ausüben. Die Urease zeigt eine zum *Alnetum* gerichtete Zunahme, die möglicherweise auf eine Harnstoffanreicherung durch die Mycorrhizapilze zurückgeführt werden kann.

6. Literatur

- AICHINGER, E.: 1951. Vegetationskundliche Vorarbeiten zur Ordnung von Wald und Weide. Angew. Pflanzensoziologie 2:53-127.
- BERGER-LANDEFELDT, U.: 1965. Über die Aktivität einiger Bodenfermente unter verschiedenen Pflanzengesellschaften. Flora 155:452-473.
- BRAUN-BLANQUET, J.: 1964. Pflanzensoziologie. 3. Aufl. Wien & New York.
- & JENNY, H.: 1926. Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. Denkschr. Schweiz. Naturforsch. Ges. 63:181-349.
- , PALLMANN, H. & BACH, R.: 1954. Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im schweizerischen Nationalpark und seinen Nachbargebieten. 2. Ergebnisse wiss. Untersuchungen des schweiz. Nationalparks 4. N. F.

- BROCKMANN-JEROSCH, H.: 1925—1929. Die Vegetation der Schweiz. Bern.
- FRANZ, H.: 1960. Feldbodenkunde. Wien & München.
- HOFFMANN, G. & TEICHER, K.: 1957. Das Enzymsystem unserer Kulturböden 7. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 77:243-251.
- 1961. Ein kolorimetrisches Verfahren zur Bestimmung der Ureaseaktivität in Böden. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 95:55-63.
- HOFMANN, E.: 1963. Die Analyse von Enzymen im Boden. In: LINSKENS, H. F. & TRACEY, M. V., Moderne Methoden der Pflanzenanalyse 6. Berlin & Göttingen & Heidelberg.
- & HOFFMANN, G.: 1955. Über das Enzymsystem unserer Kulturböden 4. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 70:97-104.
- & KESSEBA, A.: 1962. Untersuchungen über Enzyme in Ägyptischen Böden. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 99:9-20.
- & NIGGEMANN, J.: 1953. Über das Enzymsystem unserer Kulturböden. 3. Biochem. Z. 324:308-310.
- JAGNOW, G.: 1953. Untersuchungen über Keimzahl und biologische Aktivität von Wiesenböden. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 82:50-67.
- JENNY, H.: 1930. Gesetzmäßige Beziehungen zwischen Bodenhumus und Klima. Naturwiss. 18:859-866.
- KUBIENA, W. L.: 1953. Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Stuttgart.
- LENHARD, G.: 1956. Die Dehydrogenaseaktivität des Bodens als Maß für die Mikroorganismenätätigkeit im Boden. Z. Pflanzennähr. Düng. Bodenkd. 73:1-11.
- 1957. Die Dehydrogenaseaktivität des Bodens als Maß für die Menge an mikrobiell abbaubaren Humusstoffen. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 77:193-198.
- MOSER, M. & GÖBL, F.: 1961. Die Fermentwirkungen von Wald- und Aufforstungsböden und ihre Bedeutung für die forstliche Praxis. Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn 59:411-423.
- NEUWINGER-RASCHENDORFER, I. & CZELL, A.: 1961. Böden in den Tiroler Zentralalpen. Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn 59:371-410.
- PISEK, A.: 1952. Zur Kenntnis der Frosthärte alpiner Pflanzen. Naturwiss. 39:73-78.
- RIPPEL-BALDES, A.: 1955. Grundriß der Mikrobiologie. 3. Aufl. Berlin & Göttingen & Heidelberg.
- SCHEFFER, F. & TWACHTMANN, R.: 1953. Erfahrungen mit der Enzymmethode nach Hofmann. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 62:158-171.
- STEUBING, L.: 1965. Pflanzenökologisches Praktikum. Berlin & Hamburg.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Gudrun Malicky-Schlatte, Schubertstraße 51, 8010 Graz.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carinthia II](#)

Jahr/Year: 1966

Band/Volume: [156_76](#)

Autor(en)/Author(s): Malicky-Schlatte Gudrun

Artikel/Article: [Zur Enzymaktivität in einer subalpinen Bodenserie mit abnehmender Windexposition 45-50](#)