

Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich
Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)
Band: 48 (1971)

Artikel: Vergleich alpiner Rasen auf Silikat- und auf Karbonatboden : Konkurrenz- und Stickstoffformenversuche sowie standortskundliche Untersuchungen im Nardetum und im Seslerietum bei Davos

Autor: Gigon, Andreas

Kapitel: C: Methoden und Material

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308376>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.12.2025

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

C. Methoden und Material

I. Vegetationskundliche Methoden

1. Bezeichnung der Probeflächen und Aufnahmeflächen sowie Aufnahme der Pflanzenbestände

Wie in der Einleitung dargelegt, stützt sich der in dieser Arbeit angestrebte genaue Vergleich von Silikat- mit Karbonatstandorten in der alpinen Stufe vor allem auf die Aufnahme und die ökologische Untersuchung einander möglichst genau entsprechender Probeflächen auf diesen beiden Substraten. Nach welchen Kriterien diese Probeflächen vergleichbar sein mußten, wird in E. I. beschrieben. Um einen besseren Einblick in die Artenzusammensetzung zu erhalten, wurden noch weitere Flächen aufgenommen (= Aufnahmeflächen), aber nicht weiter ökologisch untersucht.

Die Probeflächen und Aufnahmeflächen wurden wie folgt bezeichnet:

Str. = Strela = im Gebiet des Strelaberges

Got. = Gotschna = im Gebiet des Gotschnagrates

S = auf Silikatboden

K = auf Karbonatboden

Ziffer = die verschiedenen Flächen wurden durch Ziffern unterschieden, wobei die einander entsprechenden Flächen dieselbe Ziffer erhielten

Die Größe der Flächen betrug 25–100 m². Es wurden möglichst homogene Stellen in großen Beständen für die Untersuchungen ausgewählt. Kleine Terrassen mit entkarbonatetem Boden in Flächen auf Karbonat wurden von den Untersuchungen ausgeschlossen oder gesondert untersucht (siehe unten).

Die Pflanzenbestände wurden nach der Methode der Schule Zürich-Montpellier (BRAUN-BLANQUET 1964), wie sie in ELLENBERG (1956) beschrieben ist, aufgenommen. Das Symbol () bedeutet, daß die betreffende Art in der Fläche selbst fehlt, im gleichen Bestand im Umkreis von 2 m um die Fläche aber vorkommt und somit in der Vegetationsaufnahme mit berücksichtigt werden muß. Der Exponent f (z. B. bei $+^f$) bedeutet, daß die betreffende Art in der Fläche edaphisch gesehen gesellschaftsfremd ist. Als solche sind nach BRAUN-BLANQUET (1964) Arten zu betrachten, die nur mit der Artmächtigkeit + bis 1 vorkommen, deren Vitalität herabgesetzt ist und die «nur an abweichenden oder gestörten und daher untypischen Stellen oder nur in der Randzone spärlich und selten auftreten». In unserem Falle handelt es sich einerseits um sogenannte Silikatpflanzen, die in einer Karbonatfläche an einer entkarbonateten Stelle vorkommen (z. B. *Vaccinium myrtillus* auf kleinen, rings von Karbonatboden umgebenen Humuspolstern mit pH 5,5–6), anderseits um sogenannte Karbonatpflanzen, die an der Silikat-Karbonat-Grenze in der Silikatvegetation vorkommen, weil sie im Untergrund oder jenseits der Grenze mit Karbonat in Kontakt sind (z. B. *Dryas octopetala*, die über ihre langen Stengel noch mit mehreren Meter entferntem Karbonat Kontakt haben kann). Ob eine Art in einer Fläche als edaphisch gesehen gesellschaftsfremd zu betrachten ist, wurde jedesmal durch Bodenuntersuchungen abgeklärt.

Es war nicht möglich, jede Fläche mehr als 1–2 mal floristisch-soziologisch aufzunehmen. Bei einer erneuten Aufnahme gewisser Flächen dürften sich daher noch einige geringfügige Ergänzungen besonders bei den Moosen und Flechten ergeben, die nicht vollständig aufgenommen werden konnten.

Die Namen der Blütenpflanzen und Gefäßkryptogamen sind größtenteils nach HESS, LANDOLT und HIRZEL (1967 und im Druck), zum Teil auch nach BINZ und BECHERER (1961) angegeben.

2. Tabellarischer Vergleich und Bestimmung der Pflanzengesellschaften

Beim tabellarischen Vergleich der Vegetationsaufnahmen wurde nach der von ELLENBERG (1956) beschriebenen Methode vorgegangen. Die Pflanzengesellschaften wurden nach BRAUN-BLANQUET (1969) bestimmt.

II. Methoden der Mikroklimamessung

Die Temperaturen im Boden und in der Luft wurden mit Thermistoren (Typ 401 A) der Firma Yellow Springs Instrument Co., USA, gemessen. Thermistoren (= NTC-Widerstände) sind Halbleiter, deren Widerstand mit steigender Temperatur gesetzmäßig abnimmt. Zur Ablesung des Widerstandes der in weißen Plastikköpfchen (\varnothing 4 mm) eingebetteten Meßfühler wurden zwei identische, feldtückige Meßinstrumente konstruiert. Das Prinzip der Messung ist, den in einer WHEATSTONESchen Brücke vom festen zum variablen Ast fließenden Strom mit einem Mikroamperemeter zu messen. Dieser Strom ist zum Widerstand umgekehrt und somit zur Temperatur direkt proportional. Durch parallel und in Serie zum Thermistor geschaltete Widerstände wurde die exponentielle Widerstandscharakteristik des Thermistors linearisiert. Um in einem so inhomogenen Medium wie dem Boden möglichst viele Parallelmessungen durchführen zu können, wurden die Meßinstrumente so gebaut, daß an jedes Instrument 18 Thermistoren angeschlossen und mit einem Meßstelenumschalter einzeln abgetastet werden konnten. Die Messung einer vollen 18er-Serie dauerte jeweils 1½ Minuten. Als Stromquelle diente eine gewöhnliche 4,5-V-Trockenbatterie. Die Speisspannung wurde jeweils vor Beginn der Messungen auf einen bestimmten Eichwert eingestimmt. Als Meßbereich wurde —5 bis +75 °C gewählt; die Genauigkeit beträgt im ganzen Bereich $\pm 0,5$ °C, die Zeitspanne bis zur Anzeige der Temperatur bzw. der Stromstärke maximal 90 Sekunden. Die Messungen an der Luft oder an der Bodenoberfläche geschahen ohne Strahlungsschutz, da angenommen wurde, daß so die natürlichen Bedingungen am besten erfaßt werden.

Die Messung der exponentiellen Temperaturmittel (*eT*-Werte) geschah nach der Zuckerinversionsmethode von PALLMANN et al. (1940) (ausführliche Beschreibung bei STEUBING 1965). Die Drehwinkel wurden nach der verbesserten Formel von SCHMITZ (1964) in °C umgerechnet. Die Methode beruht darauf, daß in einer Saccharoselösung bei tiefem pH-Wert die Saccharose in Glukose und Fruktose gespalten wird, was eine Veränderung des optischen Drehwinkels der Lösung bewirkt. Diese Reaktion ist gemäß einer Exponentialfunktion von der Temperatur abhängig, was bedeutet, daß für das exponentielle Temperaturmittel hohe Temperaturen stärker ins Gewicht fallen als tiefe. Dasselbe ist auch bei den physiologischen Prozessen in der Pflanze der Fall, weswegen die Methode ein sehr gutes Bild von den physiologisch wirksamen Mitteltemperaturen gibt. Die Glasampullen wurden ohne Hülle im Boden vergraben. Die Ampullen an der Bodenoberfläche wurden nur halb eingegraben und zum Teil mit Drähtchen verankert; sie hatten keinen Strahlungsschutz. Alle Temperaturmessungen wurden in jeder Probefläche gleichzeitig in drei verschiedenen Profilen in je 1 oder 2 Wiederholungen durchgeführt.

Die Strahlung wurde mit Sternpyranometern nach DIRMHIRN, die Differenz zwischen Einstrahlung und Rückstrahlung mit Strahlungsbilanzmessern der Firma SCHENK, Wien, gemessen. Die Sternpyranometer wandeln die Strahlung ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) des kurzweligen Bereiches, vor allem 0,3–3 μ , in mV um; der Bereich der Stahlungsbilanzmesser liegt zwischen 0,3 und 60 μ .

Zur Messung der Evaporation wurden Piche-Evaporimeter von 25 ml mit grünen Filterpapierchen (\varnothing 3 cm, Firma SCHLEICHER und SCHÜLL, Nr. 2652) benutzt.

Die Windmessung geschah mit Schalenkreuz-Handanemometern der Firma FUESS, Berlin.

III. Bodenphysikalische Methoden

1. Bestimmung der scheinbaren und der reellen Dichte

Zur Bestimmung der scheinbaren Dichte ϱ_a wurden mit kleinen Stechzylindern (\varnothing 5,6 cm), mit Aushauern (\varnothing 5,4 cm) oder mit 1-l-Burgerzylinern Proben entnommen, und zwar an nicht allzu skelettreichen Stellen, da diese sowieso nicht von großer Bedeutung für die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen sind.

Die reelle Dichte ϱ_r der Böden, d.h. die Dichte der festen Bodenteilchen, wurde durch Pyknometrieren bestimmt.

2. Messung der Saugspannung (Wasserbindung): Desorptionskurven und pflanzenverwertbares Wasser

Die Saugspannung ist die Kraft, mit der Wasser im ungesättigten Boden an der Matrix festgehalten wird. Sie wird in Atmosphären (at), in Zentimeter Wassersäule (WS_{cm}), in Millibar (mb) oder in sogenannten pF-Werten (Logarithmus der in WS_{cm} ausgedrückten Saugspannung) angegeben. Experimentell wird sie dadurch bestimmt, daß man in Druckapparaturen einen bestimmten Druck auf wassergesättigte Bodenproben einwirken läßt. Dadurch werden die Proben teilweise entwässert. Das Wasser, das beim betreffenden Extraktionsdruck in den Proben zurückbleibt, wird mit einer Saugspannung festgehalten, die (absolut) gleich oder größer als der angewandte Entwässerungsdruck ist. Die Proben für diese Messungen wurden mit Aushauern (\varnothing 5,4 cm) entnommen. Der weitere Arbeitsgang für die Bestimmung der Saugspannung ist in RICHARD und BEDA (1953) eingehend beschrieben. Die Wassergehalte bei den Saugspannungswerten 0,010 bis 0,690 at wurden mit der «Porösen-Platte-Apparatur» nach L. A. RICHARDS bestimmt, diejenigen bei Saugspannungswerten von 2 und 15 at mit der «Druckmembran-Apparatur» ebenfalls nach L. A. RICHARDS (vgl. auch GIGON 1968).

Die Desorptionskurve ist die graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Saugspannung und Wassergehalt im Boden, wenn der Boden experimentell einem Austrocknungsprozeß unterworfen wird.

Aus den Werten der Desorptionskurve läßt sich die Menge pflanzenverwertbaren Wassers errechnen; dies ist der Anteil des Bodenwassers, der mit weniger als 15 at und mit mehr als $\sim \frac{1}{3}$ at gebunden ist. Wasser, das mit mehr als 15 at (permanenter Welkepunkt, *PWP*) gebunden ist, kann von der Pflanze nicht aus dem Boden aufgesogen werden. Wasser, das mit weniger als großenordnungsmäßig $\frac{1}{3}$ at (Feldkapazität, *FK*) gebunden ist, fließt unter dem Einfluß der Schwerkraft rasch in tiefer gelegene Horizonte ab. Wegen seiner nur kurzfristigen Anwesenheit im Oberboden kommt dieses sogenannte Gravitationswasser für die Versorgung der Pflanzen kaum in Betracht (vgl. RICHARD und BEDA 1953).

IV. Bodenchemische Methoden

Die chemischen Bodenanalysen wurden an 4- oder 2-mm-gesiebten, frischen oder luftgetrockneten Proben in 2-4 Wiederholungen durchgeführt. Um die Ergebnisse auf den Wurzelraum bzw. die Fläche beziehen zu können, wurde der Gewichtsanteil 4- bzw. 2-mm-Feinerde pro Liter gewachsenen Boden bestimmt und die Ergebnisse der Feinerdeanalysen damit auf das Bodenvolumen bzw. auf die Fläche umgerechnet.

Für einige wichtige chemische Bodenfaktoren wurden die Streuung s und die Standardabweichung $s_{\bar{x}}$ des Mittelwertes (\bar{x}) der Gehalte innerhalb einer Pflanzengesellschaft berechnet.

Außerdem wurde der WILCOXON-Test angewandt (VAN DER WAERDEN 1957), der bei zwei Gruppen von Meßwerten darüber Aufschluß gibt, mit welcher Irrtumswahrscheinlichkeit die beiden Gruppen aus derselben Grundgesamtheit stammen. Ist die Irrtumswahrscheinlichkeit $\leq 5\%$, so wird die Nullhypothese verworfen, d.h. es wird angenommen, daß die beiden Gruppen aus verschiedenen Grundgesamtheiten stammen. Der Vorteil des WILCOXON-Tests besteht darin, daß er auch angewandt werden darf, wenn die Meßwerte innerhalb der Gruppen nicht normal verteilt sind oder nur wenige Meßwerte vorliegen.

1. Bodenreaktion, pH

Die Bodenreaktion wurde meist an frischen, 4-mm-gesiebten Mischproben aus 8–12 Einstichen pro Probefläche bestimmt. Diese Feinerde wurde mit ionengetauschtem Wasser zu einem dickflüssigen Brei (vgl. ELLENBERG 1958) angerührt, der 5 Stunden stehengelassen wurde, worauf, nach kräftigem Aufrühren, der pH-Wert mit einer Glaselektrode gemessen wurde (Transistor-pH-Meter, Polymetron). Zur Bestimmung des pH (KCl) wurden 20 g lufttrockene 2-mm-Feinerde mit 50 ml 0,1 *n* Kaliumchloridlösung aufgeschlämmt. Messung nach einigen Stunden mit Glaselektrode.

Die Durchschnitte wurden direkt aus den pH-Werten berechnet, da diese sich nicht stark voneinander unterschieden, also keine Delogarithmierung nötig war.

2. Karbonatgehalt

Der Karbonatgehalt wird je nach dem zu erwartenden Gehalt im «großen» (Gehalte $\geq 1\%$) oder im «kleinen» (Gehalte $\leq 1\%$) Passon-Gerät bestimmt. In diesem Gerät wird das Karbonat mit etwa 20%iger Salzsäure zersetzt und das entstehende Kohlendioxid volumetrisch gemessen. Die Geräte sind so geeicht, daß der Karbonatgehalt als Kalziumkarbonatgehalt abgelesen wird.

3. Pflanzenverfügbarer Stickstoff, Stickstoffmineralisation und -akkumulation

In STEUBING (1965) und GIGON (1968) sind die Methoden für diese Stickstoffanalysen ausführlich beschrieben, weswegen hier nur auf das Prinzip eingegangen wird.

Pflanzenverfügbarer Stickstoff:

Mischproben von standortsfeuchtem Boden (4-mm-gesiebt) werden so rasch wie möglich mit 1% Kalium-Aluminiumsulfat extrahiert. Im Extrakt wird das Ammonium nach der Mikrodiffusionsmethode von CONVAY (1962) vom Rest getrennt, worauf mit Neßlers Reagens der bekannte gelbe Komplex erzeugt wird, der kolorimetrisch gemessen wird. Das Nitrat im Extrakt wird mit 2,4-Xylenol zur Reaktion gebracht, das nitrierte Produkt in einer Wasserdampfdestillation vom Rest abgetrennt und kolorimetrisch gemessen. Nach ANTONIETTI (1968) sind bei diesen Analysenmethoden nur die Werte von $\geq 0,4$ mg/100 g trockener Boden zuverlässig.

Stickstoffmineralisation und -akkumulation:

Der momentane Ammonium- und Nitratgehalt des Bodens stellt kein Maß für die den Pflanzen zur Verfügung stehende Menge dieser Ionen dar; denn die bei der Mineralisation anfallenden Ammonium- bzw. Nitrationen «werden von den Wurzeln großenteils bereits im Augenblick absorbiert, in dem sie von den Bakterien produziert werden» (ELLENBERG 1964). Die Menge des bei der Mineralisation anfallenden, von den Pflanzen aufnehmbaren Stickstoffs kann nur experimentell, im sogenannten Brutversuch (HESSELMANN 1917, ZÖTTL 1958), bestimmt werden. Dazu werden Mischproben aus 12 Einstichen in der betreffenden Probe-

fläche durch Sieben von allen lebenden Wurzeln befreit und eine gewisse Zeit lang (meist 6 Wochen) bei Bedingungen, die für die Bodenbakterien günstig sind (20°C , 95% r.F.), in einer Feuchtkammer inkubiert. In dieser Zeit mineralisieren die Bakterien die im toten pflanzlichen und tierischen Material enthaltenen organischen Stickstoffverbindungen; Ammonium und Nitrat akkumulieren sich dabei in der Bodenprobe, weil sie nicht von Wurzeln absorbiert werden. Die Differenz zwischen dem Gehalt an Ammonium und Nitrat am Anfang der 6 Wochen und dem Gehalt am Ende wird Stickstoffakkumulation in der Feuchtkammer genannt.

Um den Verhältnissen am Standort näherzukommen, können die gesiebten Bodenproben statt den künstlichen Bedingungen in der Feuchtkammer den natürlichen Bedingungen am Standort ausgesetzt werden (ELLENBERG 1964). Dies geschieht durch Eingraben, meist für 6 Wochen, von Plastikbechern (mit Deckel), die eine 4-mm-gesiebte Mischprobe des in der Probefläche gestochenen Bodens enthalten, in den Entnahmehorizont. Stickstoffgehalt am Ende der 6 Wochen minus Stickstoffgehalt am Anfang ergibt Stickstoffakkumulation. Die Summe der im Verlauf des Jahres gemessenen Akkumulationswerte stellt ein ungefähres Maß für die Stickstoffmenge dar, die den Pflanzen im betreffenden Boden zur Verfügung gestanden wäre. Die Summe wird Jahresangebot an mineralischem Stickstoff genannt.

Die folgenden Bodenanalysen wurden nach von Herrn Dr. E. FREI und Mitarbeitern an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau in Zürich-Reckenholz entwickelten oder verbesserten Methoden durchgeführt. Im folgenden soll nur kurz auf das Prinzip eingegangen werden (vgl. auch KLÖTZLI 1969). Alle Bestimmungen wurden 2–4mal durchgeführt. Die Abweichungen der einzelnen Meßwerte vom Durchschnitt betragen je nach der Analyse 2–5(–10)% des Mittelwertes: bei sehr geringen Gehalten sind diese relativen Abweichungen u. U. noch größer. Die Analysen wurden an 2-mm-gesiebtem, lufttrockenem Boden ausgeführt.

4. Kationenumtauschkapazität, *KUK*

Die lufttrockene Feinerde wird mit Bariumchlorid-Triäthanolamin-Lösung (pH 8,1) perkoliert (Perkolat I). Dann wird der bariumgesättigte Boden mit Kalziumchloridlösung perkoliert (Perkolat II). Das dabei abgetauschte Barium wird durch eine Redoxtitration gemessen und dieser Gehalt (in mval) als Kationenumtauschkapazität bezeichnet.

5. Austauschbare Wasserstoffionen, H_a

Im Perkolat I der *KUK*-Bestimmung wird das Triäthanolamin, das nicht durch die austauschbaren Wasserstoffionen des Bodens verbraucht worden ist, mit Salzsäure titriert. Der Vergleich mit dem Salzsäureverbrauch bei der Titration von nicht perkolierter Bariumchlorid-Triäthanolamin-Lösung ergibt die Menge austauschbarer Wasserstoffionen. Bei den sauren Böden werden mit dieser Methode auch die Wasserstoffionen erfaßt, die entstehen, wenn bei der Neutralisation des Bodens mit Bariumchlorid-Triäthanolamin das hydratisierte Aluminiumion (eine Kationsäure) in Aluminiumhydroxid übergeht (vgl. SCHEFFER und SCHACHT-SCHABEL 1962). Um den Wert für die austauschbaren Wasserstoffionen zu erhalten, muß also vom Titrationsergebnis noch der Gehalt an austauschbaren Aluminiumionen subtrahiert werden, was bei den Werten der Tabellen 12a und 12b geschehen ist.

6. Austauschbares Kalium, Natrium, Kalzium und Magnesium K_a , Na_a , Ca_a und Mg_a

Im durch Fällung mit Schwefelsäure vom Barium befreiten Perkolat I der *KUK*-Bestimmung wird der Gehalt an diesen Ionen durch Atomabsorption gemessen.

7. Austauschbares Aluminium, Al_a

Die lufttrockene Feinerde wird mit Kaliumchloridlösung (pH 5,7) extrahiert und perkoliert. Das Perkolat wird mit Natronlauge versetzt, bis alles ausgetauschte Aluminium in Aluminiumhydroxid übergegangen ist und alle ausgetauschten Wasserstoffionen neutralisiert sind (Umschlag von Phenolphthalein). Dann wird Natriumfluorid zugegeben, wobei für jedes mval Aluminium ein mval Natriumhexafluoroaluminat und ein mval Natronlauge entstehen. Letztere wird mit Salzsäure titriert (Phenolphthalein).

8. Laktatlösliches Phosphat und Kalium, PO_4-P_L und K_L

Die lufttrockene Feinerde wird mit Kalziumlaktatlösung im Verhältnis 1:50 extrahiert. Nach Entfernung des Nitrits mit Sulfaminsäure wird das Phosphat als Ammoniummolybdatkomplex (Zusatz von Askorbinsäure) kolorimetrisch, das Kalium flammenphotometrisch bestimmt.

9. Kohlensäureextrahierbares Phosphat und Kalium

Die lufttrockene Feinerde wird mit an Kohlendioxid gesättigtem Wasser extrahiert. Im Extrakt werden Phosphat und Kalium ähnlich wie im Laktatextrakt bestimmt.

10. Austauschazidität

Die lufttrockene Feinerde wird mit einer 1n Kaliumchloridlösung von pH 8 extrahiert. Der Extrakt wird mit Natronlauge bis zu schwacher Rottönung von Phenolphthalein titriert; dabei werden sowohl die Wasserstoffionen als auch die Kationsäure «Aluminiumion» erfaßt. Angegeben wird die Austauschazidität in mval H^+ /100 g Boden.

11. Basensättigungsgrad, $S\%$

Dies ist der prozentuale Anteil des S -Wertes (= Summe der austauschbaren Ca-, Mg-, K- und Na-Ionen) an der Kationenumtauschkapazität.

12. Humusgehalt

Zur Bestimmung des Humusgehaltes wird der organisch gebundene Kohlenstoff in den Proben durch eine Lösung von Kaliumbichromat in konzentrierter Schwefelsäure in der Hitze völlig abgebaut (sogenannte nasse Verbrennung). Das dabei entstehende Kohlendioxid wird in Kalilauge absorbiert und gewogen. % Humusgehalt = %C · 1,725.

V. Konkurrenz- und Stickstoffformenversuche mit adulten Pflanzen

1. Praktische Durchführung von Konkurrenzversuchen

Grundlagen zum Problem der Konkurrenz sind schon in B.III. dargelegt worden. Eine der Möglichkeiten, Einblicke in das Konkurrenzgeschehen zu erhalten, ist die folgende.

In einer Mischkultur werden die beiden Arten, zwischen denen die gesellschaftlichen Beziehungen untersucht werden sollen, in bestimmter Dichte⁶ (= Anzahl Individuen pro Flächeneinheit) und meist im Verhältnis 1:1 wachsen gelassen. Beide Arten werden außerdem in Reinkulturen wachsen gelassen, in denen die Dichte gleich groß ist wie die Gesamtdichte in der Mischkultur. Die Dichte der einzelnen Art in Reinkultur ist also doppelt so gross wie ihre Dichte in Mischkultur.

⁶ Auf einige Gesichtspunkte bei der Wahl der Dichte und auf die sogenannten Dichte-Effekte wurde in Kapitel B.III.5. eingegangen.

Das «Besser-», «Gleichgut-» bzw. «Schlechterwachsen» wird nun dadurch ermittelt, daß an den Pflanzen lebenswichtige Wachstumsgrößen gemessen werden, bezüglich derer dann die Mischkultur mit den Reinkulturen verglichen wird. Solche Wachstumsgrößen sind z.B. Trockensubstanzproduktion, Samenproduktion, Anzahl Sprosse, Rosettendurchmesser, Höhe und Durchmesser der Stengel, Blattstellung. Ist die betreffende Wachstumsgröße in der Mischkultur kleiner bzw. weniger günstig ausgebildet als in der Reinkultur, so ist der Fall eindeutig: die betreffende Art wird durch die andere beeinträchtigt: es liegt in jedem Fall eine Konkurrenzbeziehung i. w. S. vor (evtl. auch Parasitismus, was aber nur durch spezielle morphologische Untersuchungen abgeklärt werden kann).

Ist die betreffende Wachstumsgröße in der Mischkultur größer bzw. günstiger ausgebildet als in der Reinkultur, so ist der Fall nicht eindeutig; es kann tatsächlich eine Förderung durch die andere Art vorliegen; es kann aber auch nur durch die geringere Intensität der intraspezifischen Konkurrenz in der Mischkultur ein besseres Wachstum als in der Reinkultur bewirkt werden. Eine direkte Beeinflussung durch die andere Art ist dies natürlich nicht. Um abzuklären, welcher Fall nun vorliegt, muß das Verhalten (Wachstumsgrößen) der betreffenden Art in Mischkultur mit dem Verhalten in einer Reinkultur verglichen werden, in der die betreffende Art dieselbe Dichte wie in der Mischkultur hat. Je nachdem, ob die Wachstumsgrößen nun kleiner, gleich groß oder größer sind, kann entschieden werden, ob Konkurrenzbeziehung i. e. S., Amensalismus, Antagonismus (siehe S. 18) oder eine andere Beziehung vorliegt.

Die Versuchsanordnung zur eindeutigen Bestimmung der Natur der gesellschaftlichen Beziehung zwischen den beiden Arten *A* und *B* besteht also aus den folgenden Kulturen:

$$a + b, \quad a + a \quad (= 2a), \quad b + b \quad (= 2b), \quad a, \quad b$$

wobei *a* bzw. *b* Kulturen mit einer bestimmten, mit Vorteil derselben Anzahl Individuen von *A* bzw. *B* pro Flächeneinheit bedeuten.

Übrigens sind nach den Untersuchungen von VAN DEN BERGH (1968) bei mehrjährigen Gräsern die Konkurrenzeffekte innerhalb gewisser Grenzen unabhängig vom Mischungsverhältnis.

In der vorliegenden Arbeit wurden keine Reinkulturen bei halb so großer Dichte wie die Gesamtdichte in Mischkultur angesetzt. Somit kann die Natur der gesellschaftlichen Beziehung nicht auf Grund experimenteller Ergebnisse ermittelt werden. Die Wirkungen des Konkurrenzfaktors können aber eindeutig erfaßt werden; Dichteefekt verfälschen sie nicht, da so eng gepflanzt wurde, daß jedes Besserwachsen einer Art nur bei einem Schlechterwachsen der anderen möglich ist (vgl. S. 23).

2. Erfassung von für das Fehlen bestimmter Arten an bestimmten Standorten verantwortlichen Faktoren durch Konkurrenzversuche

Der Grundgedanke der folgenden Versuchsanordnung beruht auf den Arbeiten von ELLENBERG (z.B. 1953).

Konkurrenzversuche erlauben es, festzustellen, ob ein an einem bestimmten Standort herrschender Faktor, von dem es nicht schon aus (physiologischen) Reinkulturversuchen oder anderen Beobachtungen mit Sicherheit hervorgeht, für das Fehlen einer Art an einem bestimmten Standort verantwortlich oder mitverantwortlich ist; denn ein physiologisches Schlechter- bzw. Besserwachsen bei Veränderung des betreffenden Standortsfaktors gibt hierüber, nach dem auf S. 20 Gesagten, noch keine sichere Auskunft.

Oft werden für das Fehlen verantwortliche Faktoren «für das Fehlen entscheidende Faktoren» genannt. Der Begriff «entscheidend» ist angesichts der weiteren Bedeutung, die ihm BACH (1950) und andere gegeben haben (vgl. auch B.III.2.), für den hier besprochenen Sachverhalt weniger geeignet als der Begriff «verantwortlich».

Anhand der in dieser Arbeit durchgeführten Versuche soll gezeigt werden, wie z.B. abgeklärt wird, ob die Form der Stickstoffernährung ein für das Fehlen von *Sesleria coerulea* auf Silikatboden verantwortlicher Faktor ist. Auf Silikatboden kommt *Sesleria* nicht vor; dieser Boden unterscheidet sich vom Karbonatboden, dem natürlichen Standort von *Sesleria*, unter anderem dadurch, daß in ihm der Stickstoff nicht als Nitrat, sondern als Ammonium vorliegt. Ist diese Tatsache nun für das Fehlen von *Sesleria* verantwortlich? In Sandkulturversuchen haben BOGNER und DIETERICH (1968) gezeigt, daß *Sesleria* in sieben Monaten bei pH 3 mit Ammonium als einziger Stickstoffquelle ein 24mal geringeres Sproßgewicht erreicht als mit Nitrat, bei pH 6 ein etwa 6mal geringeres. Dieses physiologische Ergebnis stellt trotz seiner Eindeutigkeit aber keinen Beweis dafür dar, daß die Stickstoffform verantwortlich für das Vorkommen oder Fehlen von *Sesleria* ist. Denn dieses Ergebnis wurde ohne Berücksichtigung des Konkurrenzfaktors und unter recht unnatürlichen Bedingungen erhalten. Um nun abzuklären, ob Ammoniumernährung im Zusammenwirken mit der Konkurrenz tatsächlich für das Fehlen von *Sesleria* auf Silikatboden verantwortlich ist, muß diese Art in Mischkultur mit derjenigen Art (oder Arten), von der angenommen wird, daß sie *Sesleria* in der Natur durch den Konkurrenzfaktor vom Silikatboden eliminiert, bei Ammonium- und bei Nitraternährung auf Silikatboden kultiviert werden. *Nardus stricta* ist die Art, von der dies angenommen werden kann, denn sie ist dominant auf dem Silikatboden und hat dieselbe Lebensform und ähnliche Lebensansprüche wie *Sesleria*. Verdrängt nun *Sesleria* in der Mischkultur auf Silikatboden mit Nitraternährung ihren Konkurrenten *Nardus*, bei Ammoniumernährung jedoch nicht, so kann gesagt werden, daß die Form der Stickstoffernährung ein für das Fehlen von *Sesleria* auf Silikatboden verantwortlicher Faktor ist.

Das Prinzip der Versuchsanordnung zur Erfassung der «verantwortlichen» Standortsfaktoren ist einfach; die praktische Durchführung ist vor allem bei Standorten, die sich in mehrerer Hinsicht unterscheiden, äußerst schwierig, ja zum Teil unmöglich.

3. Versuchsplan

Es wurden die folgenden Pflanzenarten für die Versuche ausgewählt:

Abkürzung	Art	TrG. der gepflanzten Individuen	Bestimmter Meßwert an den gepflanzten Individuen
-----------	-----	---------------------------------	--

Nardetum-Arten:

<i>Na</i>	<i>Nardus stricta</i>	1,5 g	2,4 cm ² Horstfläche/Pflanze
<i>CaS</i>	<i>Carex sempervirens</i>	1,1 g	1,15 cm ² Horstfläche/Pflanze
<i>Si</i>	<i>Sieversia montana</i>	0,7 g	3,3 Blätter \geq 3 cm/Pflanze
<i>Gk</i>	<i>Gentiana kochiana</i>	0,2 g	3,0 cm mittl. max. Blatlänge

Seslerietum-Arten:

<i>Se</i>	<i>Sesleria coerulea</i>	1,3 g	1,0 cm ² Horstfläche/Pflanze 6 Triebe/Pflanze
<i>CaK</i>	<i>Carex sempervirens</i>	2,0 g	1,44 cm ² Horstfläche/Pflanze
<i>Sc</i>	<i>Scabiosa lucida</i>	0,3 g	3,3 Blätter \geq 3 cm/Pflanze
<i>Gc</i>	<i>Gentiana clusii</i>	0,3 g	2,8 cm mittl. max. Blatlänge
<i>Er</i>	<i>Erica carnea</i>	3,0 g	7 cm mittl. max. Höhe

Die Begründung für die Wahl dieser Arten wird in Kapitel F gegeben.

Die Problemstellungen der Versuche waren:

1. Können die oben erwähnten Arten auf dem Substrat, auf dem sie in der Natur nicht vorkommen, überhaupt gedeihen?

2. Spielt die Form der Stickstoffernährung (Ammonium bzw. Nitrat) eine wesentliche Rolle für das Vorkommen der betreffenden Art auf nur einem der Substrate?

Gemäß diesen Problemstellungen wurden alle Arten auf ungedüngten, mit Ammonium gedüngten und mit Nitrat gedüngten Boden gepflanzt. In Birmensdorf wurden zudem Versuche auf einem ungedüngten Boden mittleren pH-Wertes, einem Braunerde-A₁-Boden, durchgeführt.

Eine weitere Problemstellung der Versuche war:

3. Einblicke in das Konkurrenzgeschehen zwischen *Nardus* und *Sesleria* bzw. zwischen *Sieversia* und *Scabiosa* auf den beiden Substraten zu erhalten.

Deshalb wurden auch Mischkulturen mit diesen Arten gepflanzt.

Insgesamt wurden in Birmensdorf 182 Blumentöpfe bepflanzt, auf dem Strelaberg 156. Die Anzahl Wiederholungen, (1)–2–4 an jedem Versuchsort, war relativ gering, da angenommen wurde, daß die Ergebnisse auf dem Strelaberg in dieselbe Richtung weisen würden wie die des Hauptversuches in Birmensdorf, sie sich also gegenseitig sichern würden.

Die Anordnung der Pflanzen in den Blumentöpfen ist auf den Abbildungen 13 und 14 ersichtlich. *Carex sempervirens*, *Gentiana kochiana* und *Gentiana clusii* wurden nur in Reinkulturen von 8 Pflanzen pro Blumentopf gepflanzt. Der Abstand vom Pflanzenmittelpunkt zum Mittelpunkt der nächsten Nachbarpflanze betrug dabei 7,6 cm, zum Rand 3,8 cm. Bei *Erica* kamen 4 Pflanzen pro Blumentopf (Abstände 12,2 cm bzw. 6,1 cm). Bei den Reinkulturen von *Nardus* und *Sesleria* sowie von *Sieversia* und *Scabiosa* wurden 12 Pflanzen pro Blumentopf gepflanzt; bei den Konkurrenzkombinationen (immer nur zwischen zwei Arten) kamen 6 Individuen jeder Art pro Blumentopf. Das ergab Abstände von Pflanzenmittelpunkt zu Pflanzenmittelpunkt von 7,0 cm, zum Rand des Blumentopfes 3,5 cm. Die Blumentöpfe waren übrigens nur bis ungefähr 5 cm unterhalb des hellgrünen, durchscheinenden Randes gefüllt; dieser wirkte somit als beschattendes und oberirdisch einengendes Hindernis. Dies sollte verhindern, daß die randständigen Pflanzen der oberirdischen Konkurrenz einfach dadurch ausweichen konnten, daß sie über den Rand des Blumentopfes hingen. Auch wurden die einzelnen (vier-eckigen) Blumentöpfe so angeordnet, daß die Töpfe mit derselben Art immer in dichten Blöcken nebeneinander standen. Dies bewirkte, daß die randständigen Pflanzen, wenn sie nach einiger Zeit doch über den Rand hinaus gewachsen waren, mit den Randpflanzen des Nachbar-topfes in Konkurrenz traten. Von ihnen waren sie übrigens gleich weit entfernt wie von den Nachbarn im eigenen Blumentopf.

4. Versuchsorte

Die Versuche wurden an zwei Orten durchgeführt: in Birmensdorf bei Zürich (Koordinaten 676,900/246,100; 555 m ü. M.) und auf dem Strelaberg oberhalb Davos (Koordinaten 779,940/187,060; 2355 m ü. M.).

In Birmensdorf wurden die Versuche in einem früher als Naßbeet verwendeten, 25 cm tiefen Zementbecken im Areal der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen angelegt. Dieses Zementbecken befindet sich an einem schwach geneigten, windexponierten, weiten Westhang, der ursprünglich wohl einen Buchenmischwald trug. In das Zementbecken wurde ein 14 cm hoher Holzrost eingepaßt, auf den die Blumentöpfe zu stehen kamen. Der Holzrost sollte verhindern, daß von unten, durch Aufstau, Nährösungen von einem Blumentopf in den anderen gelangen konnten; denn bei Platzregen war der Abfluß aus dem Becken nicht rasch genug.

Auf dem Strelaberg wurden die Versuche auf einer kleinen, sehr windexponierten ebenen Terrasse in einem steilen Südosthang angelegt. Nachdem die Vegetationsdecke, ein *Caricetum firmae*, entfernt worden war, wurde eine 30–70 cm tiefe Grube von 4,1 · 3,1 m mit drei Abflüssen ausgehoben. Auf den ausgeebneten felsigen Dolomitboden dieser Grube wurde ein 4,8 cm hoher Holzrost gelegt, auf den die Blumentöpfe zu stehen kamen. Der so entstandene kleine Versuchsgarten wurde eingezäunt. Auf der Nordseite sowie auf dem nördlichen Teil der West- und Ostseite wurde außen am Zaun eine 1,10 m hohe Schilfmatte als Windschutz befestigt. Rings um die Blöcke dicht aneinander gestellter Blumentöpfe wurden im Frühling

1969 dicke Platten (5 cm) des Isoliermaterials «Sagex» befestigt, die verhindern sollten, daß bei Wind und in der Nacht die Töpfe zu stark abkühlten.

Das Lokalklima (Mesoklima) ist am Versuchsort Strelaberg weniger günstig als an den meist nach SE bis SW exponierten Probeflächen.

Das Allgemeinklima des Versuchsortes Birmensdorf ist ähnlich wie das in Zürich (vgl. Klimadiagramm in Abb. 2), außer daß alle Temperaturen 0,5–1 °C tiefer liegen. Lokalklimatisch ist auch dieser Versuchsort durch häufige Winde charakterisiert.

Im Vergleich zum Strelaberg ist das Klima in Birmensdorf durch die durchschnittlich etwa 5 °C höheren Temperaturen, die viel geringere Schneedeckung und Frosthäufigkeit und die daraus resultierende 2- bis 3mal längere Vegetationsperiode gekennzeichnet (vgl. D.I.2).

5. Böden, Blumentöpfe und deren Füllung

Der sogenannte Silikatboden (S) wurde ungefähr 600 m südwestlich des Versuchsortes Strelaberg im Steintälli im August 1968 unter einem *Nardetum* (Aufnahme 4 in Tab. 6) entnommen. Es war nicht möglich, den Boden des A₁- und des A/C-Horizontes so weit zu zerkleinern, daß er durch das Sieb geworfen werden konnte, denn er wurde durch die Pflanzenwurzeln viel zu stark zusammengehalten und war auch viel zu feucht. Daher wurden ganze Erdschollen mit den anhaftenden Pflanzen gelöst und von Hand durch ein Sieb von 1,5 cm Maschenweite gepreßt, ohne daß dabei aber die Pflanzen mit hindurchgepreßt wurden. Einige physikalische und chemische Eigenschaften des so erhaltenen humusreichen, sandigen Lehmbodens sind in Tabellen 1 und 2 zusammengestellt. Das Muttergestein ist Moränenmaterial, das größtenteils aus verschiedenen stark verwitterten Paraschiefern aus dem Altkristallin der Silvretta-Decke besteht.

Tabelle 1 Scheinbare und reelle Dichte, Porenvolumen und Feinerdeanteil der Versuchsböden. Probenentnahme in 0–10 cm mit Burgerzylinern am 15.6.1970 im Versuch Birmensdorf

Boden (auf 1,5 cm gesiebt)	Scheinbare Dichte [△] ϱ_a g/cm ³	Reelle Dichte [▲] ϱ_r g/cm ³	Poren- volumen [□] V_p cm ³ /dm ³	TrG. (lufttrocken) des Anteils < 4 mm g/dm ³	TrG. (lufttrocken) des Anteils < 2 mm g/dm ³
Silikat vom Strelaberg	0,82	2,29	632	615	543
Karbonat vom Strelaberg	1,06	2,32	543	525	460
Braunerde-A ₁ von Marthalen	1,08	2,60	585	1086	1038

[△] Mittel aus 3 Bestimmungen

[▲] Mittel aus 2–3 Bestimmungen

[□] Porenvolumen: $V_p = \left(1 - \frac{\varrho_a}{\varrho_r}\right) \cdot 1000 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ Boden

Ungefähr 150 m östlich des Versuchsortes Strelaberg wurde im Juli und August 1968 unter einem *Seslerio-Semperviretum* (Aufnahme 23 in Tab. 6) der sogenannte Karbonatboden (K) entnommen. Der Boden des A₁- und des A/C-Horizontes wurde gelockert, zerkleinert und dann durch ein Wurfsieb geworfen. Einige physikalische und chemische Eigenschaften des so erhaltenen humusreichen, sandigen Lehmbodens sind in Tabellen 1 und 2 zusammengestellt. Das Muttergestein ist triadischer Dolomit der Aroser Dolomitendecke.

Braunerde-A₁-Boden (bA₁). Dieser Boden besitzt bezüglich des pH-Wertes eine mittlere Stellung zwischen dem Silikatboden und dem Karbonatboden (pH 5,5–5,7). Er wurde im Juni 1968 auf dem Buchberg bei Marthalen ZH (Koordinaten 689,850/272,920) im A₁-, zum Teil auch A₂-Horizont einer sauren und staubreichen Braunerde unter einem *Carici pilosae-Fagetum* entnommen und nur für die Versuche in Birmensdorf verwendet. Einige physikalische und chemische Eigenschaften dieses humusarmen, schwach sandigen Lehmbodens sind in Tabellen 1 und 2 zusammengestellt. Um die physikalischen Eigenschaften dieses, in gestörter Lagerung sehr dichten, also schlecht wasser- und luftdurchlässigen Bodens zu verbessern, wurden die obersten 20 cm der gefüllten Blumentöpfe mit 1 Liter Wannerit-Brocken (Ø 0,5 bis 2 cm) durchmengt.

Insgesamt wurden etwa 8 Tonnen Boden gesiebt.

Tabelle 2 Chemische Eigenschaften der Versuchsböden. Probeentnahme im Versuch Birmensdorf im Herbst 1969

Analyse in Mischproben von lufttrockener 2-mm-Feinerde	Silikatboden vom Strelaberg		Braunerde-A ₁ von Marthalen		Karbonatboden vom Strelaberg	
pH (H ₂ O-Brei, frisch, 4 mm)	4,7–4,9		5,5–5,7		7,2–7,4	
pH (0,1n KCl; 1 : 2,5)	3,8		4,25		7,25	
CO ₃ als CaCO ₃ %g	0,0		0,0		70,0	
	mg/100g	mg/1Bo.	mg/100g	mg/1Bo.	mg/100g	mg/1Bo.
NH ₄ —N-Akkumulation [△]	0,24	1,5	1,42	15,3	0	0
NO ₃ —N-Akkumulation [△]	4,00	20,5	1,41	15,4	4,49	23,6
PO ₄ —P (CO ₂ -Extrakt)	0,09	0,5	0,11	1,1	0,12	0,6
K (CO ₂ -Extrakt)	2,20	12,0	0,83	8,6	0,85	3,9
PO ₄ —P _L (Laktatextrakt) [△]	1,00	6,2	1,5	1,6	0,74	3,9
K _L (Laktatextrakt) [△]	11,7	72,0	6,5	70,6	7,1	37,2
	<i>mval</i> 100 g	<i>mval</i> 1 Bo.	<i>mval</i> 100 g	<i>mval</i> 1 Bo.	<i>mval</i> 100 g	<i>mval</i> 1 Bo.
Al _a (KCl-Austausch)	7,2	39,1	1,6	16,6	0	0
H _a (BaCl ₂ -Austausch)	29,0	157,3	12,3	127,8	2,5	11,5
Ca _a (BaCl ₂ -Austausch)	0,4	2,2	0,9	9,3	20,0	92,0
Mg _a (BaCl ₂ -Austausch)	1,1	6,0	0,6	6,2	9,0	41,4
K _a (BaCl ₂ -Austausch)	0,11	0,6	0,10	1,0	0,08	0,4
Na _a (BaCl ₂ -Austausch)	0,11	0,6	0,10	1,0	0,08	0,4
KUK (BaCl ₂ -Austausch)	26,3	142,8	10,5	109,0	41,5	190,9
Basensättigungsgrad S %	7%		16%		71%	
Austauschazidität (KCl-Extrakt) [△]	2,6	16,0	0,3	32,6	—	—
Humus/organische Substanz %g	11,4		3,2		10,2	

[△] lufttrockene 4-mm-Feinerde

[▲] 4-mm-Feinerde

Die «Blumentöpfe» waren als Papierkörbe gedachte, 29 cm hohe quadratische Behälter (Öffnung 25 · 25 cm) aus Hostalen, in deren Böden (20,3 · 20,3 cm) drei 5 mm große Löcher gebohrt wurden. Nachdem auf diese Löcher 4 · 8 cm große Glaswattestückchen gelegt wor-

den waren, wurde, um guten Wasserabfluß zu gewährleisten, 3 cm hoch grober Quarzsand eingefüllt. Dann wurde bis oben mit Boden locker aufgefüllt. Nachdem sich der Boden gesetzt hatte, war die Bodenoberfläche ungefähr 5 cm unter dem Rand der Blumentöpfe. Das Volumen des Bodens betrug dann etwa 11 Liter, die bepflanzbare Oberfläche 580 cm².

6. Pflanzung

Alle Pflanzen wurden mit einem großen Erdballen ausgegraben, die «Karbonatpflanzen» in einem Mosaik von *Seslerio-Semperviretum* und *Caricetum firmae* am Berghang oberhalb des Versuchsortes Strelaberg, die «Silikatpflanzen» in einem *Nardetum* im Steintälli. Da der Raum, auf dem ausgegraben wurde, jeweils nur 200–300 m² umfaßte, können die einzelnen Individuen jeder Art als Glieder einer und derselben Population betrachtet werden.

Möglichst gleich große Pflanzen einer Art wurden zur gleichen Zeit ausgegraben, gewaschen, abgeschnitten und dann gepflanzt, so daß alle Individuen einer Art dieselben Anfangsbedingungen hatten. Beim Waschen wurden aller Boden und die abgestorbenen Pflanzenteile sorgfältig entfernt. Bei den Rosettenpflanzen wurden anschließend alle Rosetten außer einer entfernt, bei *Sieversia* außerdem das Rhizom auf etwa 5 cm gekürzt. Bei *Sesleria*, *Nardus* und *Carex* wurden die Blätter auf eine bestimmte Länge zurückgeschnitten, bei *Erica* (Herkunft: Gärtnerei EAFV, Birmensdorf) das Sträuchlein gestutzt, damit die Pflanzen beim Anwachsen nicht wegen zu starker Transpiration vertrockneten. Schließlich wurden möglichst gleich große Individuen jeder Art in vorbereitete Löcher gepflanzt. Während des Pflanzens oder kurz nachher regnete es auf dem Strelaberg fast dauernd, so daß ein Angießen überflüssig war. In Birmensdorf wurde mit Regenwasser angegossen. Die Pflanzung auf dem Strelaberg dauerte vom 2.–9.8., in Birmensdorf vom 13.–27.8.1968. Insgesamt wurden etwa 3000 Pflanzen gepflanzt. Da auf dem Strelaberg im Winter 1968/69 alle *Nardus* und ein Großteil der *Scabiosa* und der *Sieversia* starben, wurden diese drei Arten Ende April/Anfang Mai 1969 neu gepflanzt. Auch die abgestorbenen und einige besonders schwache Individuen der anderen Arten wurden dann ersetzt.

7. Nährlösungen

Entsprechend dem Versuchsziel, auf Silikatboden und auf Karbonatboden die Wirkung von Ammonium und von Nitrat zu vergleichen, wurden für beide Versuchsorte Düngerlösungen mit genau demselben Stickstoffgehalt hergestellt. Ihre Zusammensetzung ist in Tabelle 3 ersichtlich. Den Ammoniumdüngerlösungen wurde Natriumsulfat zugegeben, damit sie sich nicht durch das Fehlen des Natriums von den Nitratdüngern unterschieden. Außer in der Stickstoffform unterscheiden sich die Lösungen somit nur im Sulfatgehalt. Das Sulfat beeinflußt das Wachstum aber nur sehr wenig, sofern es, wie in unseren Versuchen, weder im Minimum noch in toxischer Konzentration vorliegt (HEWITT 1966, S. 198). Durch Natriumhydroxid wurden die Lösungen für den alkalischen Boden auf pH 7,0–7,2, durch Schwefelsäure die für den sauren Boden auf pH 4,2–4,6 eingestellt.

In Birmensdorf wurde gedüngt:

1968 dreimal, und zwar am 27.8.*, 4.10.* und 12.11.*

1969 siebenmal, und zwar am 12.5.*., 27.5., 28.6. (14.7.* nur N-Serve), 13.8., 29.9.* und 25.11.*

1970 fünfmal, und zwar am 26.3.*., 29.5., 12.6.*., 23.7., 1.9.*

Auf dem Strelaberg wurde gedüngt:

1968 zweimal, und zwar am 22.8. und 1.10.*

1969 fünfmal, und zwar am 16.5.*., 13.6., 15.7.*., 22.8.* und 26.9.*

1970 dreimal, und zwar am 26.6.*., 28.7., 4.9.*

* = Daten, an denen mit der Düngung eine zusätzliche N-Serve-Gabe von 70 mg/Blumentopf gegeben wurde (siehe unten)

Bei Düngung während Trockenzeiten wurde den ungedüngten Blumentöpfchen 0,5 Liter entionisiertes Wasser gegeben, damit sie sich in der Wasserversorgung nicht von den gedüngten unterschieden.

Tabelle 3 Chemische Zusammensetzungen der Düngerlösungen, berechnet für die Stickstoffdüngung eines Blumentopfes

Ammoniumdüngung in Birmensdorf:

0,5 l entionisiertes H ₂ O (\triangle 8,6 mm Niederschlag)	
0,567 g (NH ₄) ₂ SO ₄ enthält 0,12 g N	240 ppm N
0,609 g Na ₂ SO ₄ * enthält 0,197 g Na	394 ppm Na
0,01 ml N-Serve-Emulsion enthält 2,4 mg 2-Chlor-6(trichlormethyl)-pyridin	4,8 ppm Aktivsubstanz

Ammoniumdüngung auf dem Strelaberg:

0,5 l entionisiertes H ₂ O	
0,850 g (NH ₄) ₂ SO ₄ enthält 0,18 g N	360 ppm N
0,912 Na ₂ SO ₄ * enthält 0,296 g Na	592 ppm Na
0,015 ml N-Serve-Emulsion enthält 3,6 mg 2-Chlor-6(trichlormethyl)-pyridin	7,2 ppm Aktivsubstanz

Nitratdüngung in Birmensdorf:

0,5 l entionisiertes H ₂ O	
0,730 g NaNO ₃ * enthält 0,12 g N enthält 0,197 g Na	240 ppm N 394 ppm Na

Nitratdüngung auf dem Strelaberg:

0,5 l entionisiertes H ₂ O	
1,09 g NaNO ₃ * enthält 0,18 g N enthält 0,294 g Na	360 ppm N 598 ppm Na

* In den Jahren 1968/69 wurde statt NaNO₃ Ca(NO₃)₂ gegeben, weswegen dann auch CaSO₄ · 2 H₂O und nicht NaSO₄ gegeben wurde, um mit allen Lösungen dieselben Kationen zu verabreichen.

Die Summe all dieser Düngergaben beträgt für eine volle Vegetationsperiode in Birmensdorf 0,84 g N/Blumentopf, auf dem Strelaberg 0,90 g. Auf dem Strelaberg wurde mehr gegeben, da hier, infolge der höheren Niederschläge, der Verlust durch Auswaschung größer ist. Rechnet man die angegebenen Mengen auf die Fläche um, so erhält man für eine volle Vegetationsperiode 15 g N/m² \triangle 150 kg N/ha. Diese Menge ist 7-15mal so groß wie die natürliche Versorgung durch die Stickstoffmineralisation im Boden unter den beiden Rasentypen, aus denen die Pflanzen der Versuche stammen. Diese beträgt, wie auf Seite 78 dargelegt wird, beim *Nardetum* größtenteils 10 kg N/ha, beim *Seslerietum* 20 kg. Die gedüngten Stickstoffmengen wurden so groß bemessen, da im Freiland aus Blumentöpfen der Verlust durch Auswaschung bis über 30% der gedüngten Menge betragen kann. Außerdem sollte erreicht werden, daß immer genug oder sogar ein physiologisch tragbarer Überschuß an Stickstoff im Boden vorhanden ist, was ein rasches Wachstum und somit rasch Ergebnisse herbeiführen sollte.

8. Verhinderung der Nitrifikation bei Ammoniumdüngung

Ammonium wird vor allem in gut durchlüfteten alkalischen Böden, zum Teil aber auch in sauren, sehr rasch von den Bodenbakterien zu Nitrat oxidiert: Nitrifikation (siehe z. B. GIGON 1968, KLÖTZLI 1969). Dies ist entgegen der Zielsetzung des Versuches, weshalb den Ammoniumreihen das Nitrifikationsgift 2-Chlor-6(trichlormethyl)-pyridin zugegeben wurde (= N-

Serve der Dow CHEMICAL, USA). Dieses Pyridinderivat tötet die Bodenbakterien *Nitrosomas*, weniger auch *Nitrobacter* selektiv ab, wodurch die biologische Oxydation von Ammonium zu Nitrat unterbunden wird, schädigt aber die restliche Bodenmikroflora nicht oder nur sehr geringfügig (GORING 1962). Die höheren Pflanzen werden höchstens im Keimlingsstadium und nur durch relativ große Konzentrationen geschädigt (GORING 1962).

Nachdem sich in Vorversuchen gezeigt hatte, daß unsere Pflanzen durch N-Serve nicht geschädigt werden, wurden die *Nitrosomonas*-Populationen in den Blumentöpfen 1968 alle 6 Wochen, 1969 und 1970 etwa alle 10 Wochen (so lange dauert die Wirkung von N-Serve) vergiftet. Gemäß den Versuchen von GORING (1962) wurde dafür eine Konzentration von 10 ppm (bezogen auf lufttrockene 4-mm-Feinerde) angewandt. Für einen Blumentopf ergab dies 70 mg. Außerdem wurde den Ammoniumlösungen immer auch N-Serve in der Konzentration von 2% (bezogen auf den Stickstoffgehalt) beigegeben, um die Giftwirkung auch dann aufrechtzuerhalten, wenn nur gedüngt wird.

Nun noch einige Bemerkungen zur Anwendung von N-Serve. N-Serve ist in einer emulgierbaren Lösung mit einem Gehalt von 2 lb/US Gallon \triangleq 239,4 mg/ml erhältlich (N-Serve 24 E). Die nötigen Mengen dieser Lösung werden durch kräftiges Schütteln in die wässrigen Düngerlösungen einemulgiert. Dies darf aber nur unmittelbar (\leq 30 min) vor der Düngung geschehen, da N-Serve zum Teil in die wässrige Phase übertritt, dort aber sehr rasch zerfällt und die Konzentration somit rasch abnimmt. Selbstverständlich muß während des Düngens immer wieder geschüttelt werden.

Im Frühling 1970 zeigte sich, daß vor allem bei *Nardus stricta*, *Carex sempervirens* und *Scabiosa lucida* in vielen Blumentöpfen, die Ammonium und N-Serve erhielten, starke Schädigungen eintraten, einige Pflanzen starben sogar. Ein Vergleich mit Kontrollversuchen, bei denen nur Ammonium aber kein N-Serve gegeben wurde, ließ leider keine sicheren Rückschlüsse darauf zu, ob die Ursache der Schädigungen im N-Serve lagen. Jedoch ist anzunehmen, daß das N-Serve wegen der hohen Konzentration, in der es auf den Boden gelangt, vor allem in niederschlagsarmen Perioden schädlich wirkt, denn dann wird es nicht in den Boden eingeschwemmt: die für die ganze Bodenmenge berechnete N-Serve-Menge bleibt in der obersten Bodenschicht und vergiftet die Pflanzen.

9. Kontrolle der Stickstoffversorgung

Die in den Tabellen 4 und 5 zusammengestellten Ergebnisse von Stickstoffanalysen in ungedüngten und gedüngten Böden in Blumentöpfen können nur Anhaltspunkte für die in einem so inhomogenen Medium wie dem Boden tatsächlich herrschenden Verhältnisse geben; dies obwohl alle untersuchten Proben Mischproben von 12–30 Einstichen sind und alle Analysen doppelt ausgeführt wurden. Die Proben wurden übrigens neben den Pflanzen im nicht stark durchwurzelten Boden gestochen.

Diskussion von Tabelle 4

Ungedüngter Boden – Im Silikatboden ist eine beachtliche Menge Ammonium und sogar ein wenig Nitrat vorhanden; der Karbonatboden enthält kein Ammonium und nur wenig Nitrat; im bA₁-Boden schließlich sind nur Spuren von anorganischen Stickstoffverbindungen vorhanden. In den Proben der ersten beiden Böden konnte relativ viel Stickstoff nachgewiesen werden, weil beide Böden viel organisches Material enthalten (vgl. S. 36), das, besonders zum Zeitpunkt der Analyse, der in eine für die Bakterientätigkeit günstige Jahreszeit fiel, mineralisiert wird. Im Silikatboden akkumuliert sich vor allem Ammonium, da in Mineralböden bei tiefem pH-Wert und nicht ausgesprochen guter Sauerstoffversorgung keine starke Nitrifikation stattfindet. Auch wird Ammonium nicht leicht ausgewaschen. Im Karbonatboden ist das Endprodukt der Stickstoffmineralisation das Nitrat, das sehr leicht ausgewaschen wird. Deshalb enthält er kein Ammonium und Nitrat nur in geringer Konzentration. Der bA₁-Boden ist arm an organischem Material, weshalb in ihm nur Spuren von anorganischen Stickstoffverbindungen vorhanden sind. Sogar die Stickstoffakkumulation in gesiebten, also keine Wur-

Tabelle 4 Stickstoffgehalte in den obersten 10 cm der Blumentöpfe in Birmensdorf 1 bzw. 27 Tage (d) nach der Düngung und N-Serve-Gabe vom 13.5.1969 sowie N-Gehalte und Nettoakkumulation in 42 Tage lang in den Blumentöpfen inkubierten Bodenproben

Boden	Gehalte* 1 d nach der Düngung			Gehalte* in Frischproben 27 d nach der Düngung			Gehalte* in den 42 d in Plastikbechern (mit Deckel) in den Blumentöpfen vergrabenen Bodenproben		
	S = Silikat K = Karbonat bA ₁ = Braunerde-A ₁		Effekt der Düngung NH ₄ -N bzw. NO ₃ -N mg/100 g	C		D		E	
	A	B		NO ₃ -N mg/100 g	NH ₄ -N mg/100 g	NO ₃ -N mg/100 g	NH ₄ -N mg/100 g	NO ₃ -N mg/100 g	NH ₄ -N mg/100 g
S ungedüngt	1,72	0,46	—				1,96	4,46	0,24
K ungedüngt	0	0,21	—				0	4,70	0
bA ₁ ungedüngt	0,08	0,04	—				1,50	1,45	1,42
S _{NH₄} mit N-Serve	4,09	0,38	2,37	5,76	0,16	9,72	0,66	5,63	4,00
K _{NH₄} mit N-Serve	4,36	0,13	4,36	5,46	0,08	8,63	0,68	4,27	4,49
S _{NH₄} ohne N-Serve	4,71	0,63	2,99			4,88	5,90	0,17	0,28
K _{NH₄} ohne N-Serve	3,02	0,17	3,02			0	6,55	-3,02	0,55
S _{NO₃}	1,95	2,48	2,02	2,66	0,87	4,08	6,48	2,13	5,27
K _{NO₃}	0	2,65	2,44	0	1,38	0	6,33	0	6,38

* Alle N-Gehalte in mg N/100 g 4-mm-gesiebte und bei 105 °C getrocknete Feinerde. Durch Multiplikation mit den Werten der Tabelle 1 können sie auf mg/dm³ Boden umgerechnet werden.

zeln enthaltenden Bodenproben, die 6 Wochen in Plastikbechern in den Blumentöpfen vergraben waren, ist sehr gering. Hohe Akkumulationswerte werden aber in den beiden anderen Böden, gleichgültig ob ungedüngt oder gedüngt, erreicht. Nitrat sammelt sich an, da es aus den Plastikbechern nicht ausgewaschen werden kann. Der saure Boden enthält viel Nitrat, da durch das Sieben die Sauerstoffversorgung verbessert wurde, was Nitrifikation ermöglichte.

Düngungseffekte – Die in den verschiedenen Böden durch Düngung mit immer derselben Stickstoffmenge erzielten Erhöhungen der Stickstoffgehalte entsprechen einander recht gut. Die Erhöhungen von Nitrat sind geringer als die von Ammonium. Dies röhrt daher, daß dieses Ion nicht so stark vom Humus adsorbiert wird wie das Ammonium, so daß es sofort auch in Bodenschichten unterhalb der Tiefe der Probeentnahme eingeschwemmt wird. Dies ergibt einen geringeren Gehalt in den Proben. Nach 4 Wochen war in den Blumentöpfen der Nitratgehalt in den obersten 10 cm infolge der Auswaschung auf durchschnittlich die Hälfte abgesunken. Diese Auswaschungsverluste sind in der Natur und unter unseren Pflanzen jedoch weniger bedeutsam als soeben angedeutet, denn das gedüngte oder durch Mineralisation entstandene Nitrat wird von den Pflanzen absorbiert noch bevor es ausgewaschen wird.

Nitrifikationshemmende Wirkung von N-Serve – Der Vergleich der ammoniumgedüngten und mit N-Serve behandelten Böden mit den unbehandelten zeigt nach 4 Wochen und auch nach 6 Wochen sehr deutlich die nitrifikationshemmende Wirkung von N-Serve.

Tatsächliche Stickstoffversorgung – Die Stickstoffgehalte der Bodenproben, die 6 Wochen in Plastikbechern in den Blumentöpfen vergraben waren, geben das beste Bild der tatsächlichen Stickstoffversorgung unserer Pflanzen. Die gewünschten Bedingungen wurden gut erfüllt. Nur eine konnte nicht einwandfrei erreicht werden, nämlich reine Nitraternährung auf saurem Boden. In ihm ist es wegen des Stickstoffkreislaufs unmöglich, Ammonium als Stickstoffquelle ganz auszuschalten.

Weitere Serien von Bodenanalysen des Versuches in Birmensdorf zeigten mit den erwähnten völlig übereinstimmende Ergebnisse.

Tabelle 5 zeigt Ergebnisse von Stickstoffanalysen der Böden des Versuches und von Probeflächen auf dem Strelaberg. Auch diese Ergebnisse stimmen mit dem oben Gesagten überein. Bemerkenswert ist, daß die Stickstoffgehalte in den ungedüngten Versuchsböden im allgemeinen größer sind als die im Freiland. Dies ist vor allem auf die Pflanzendecke auf den Probeflächen zurückzuführen, aber auch auf den sogenannten Mischungseffekt (ZÖTTL 1965). Dieser Effekt bewirkt, daß in gesiebten Böden wegen der beim Sieben stattfindenden Durchmischung die Bodenmikroflora homogen im Boden verteilt wird, woraus eine Verstärkung der biologischen Aktivität, also auch der Stickstoffmineralisation resultiert.

Tabelle 5 Stickstoffgehalte in den obersten 10 cm der Blumentöpfe auf dem Strelaberg, 28 Tage nach der Düngung und N-Serve-Gabe vom 15.7.69; sowie zum Vergleich Stickstoffgehalte in Frischproben (—1 bis —6 cm) der Flächen Strela S1 und K1 am 8.8.69

Boden S = Silikat K = Karbonat	Gehalt* 28 d nach der Düngung der Versuchsböden		Gehalt* in den Böden der Probeflächen		Probe- fläche
	NH ₄ —N mg/100 g	NO ₃ —N mg/100 g	NH ₄ —N mg/100 g	NO ₃ —N mg/100 g	
	1,70 0,37	1,16 2,22	0,13 0,50	0,16 2,00	Strela S1 Strela K1
S _{NH₄} mit N-Serve K _{NH₄} mit N-Serve	11,29 6,48	0,52 0,32	* Alle Stickstoffgehalte in mg N/100 g 4-mm-gesiebte und bei 105 °C getrocknete Feinerde		
S _{NO₃} K _{NO₃}	3,68 0,87	2,55 2,95	* Alle Stickstoffgehalte in mg N/100 g 4-mm-gesiebte und bei 105 °C getrocknete Feinerde		

Die auf dem Strelaberg 28 Tage nach der Düngung gemessenen Stickstoffgehalte (Tab. 5) sind so viel größer als die 27 Tage nach der Düngung in Birmensdorf gemessenen (Tab. 4), weil es in der betreffenden Zeitspanne in Birmensdorf mehr regnete, die Auswaschung also größer war als auf dem Strelaberg.

10. Pflege der Pflanzen

Jäten und Häckeln: Die in allen drei Böden enthaltenen Samen keimten vor allem im Sommer 1969 in recht großer Zahl. Die Böden in Birmensdorf wurden zum Teil von *Marchantia polymorpha* überwachsen. Alle diese Pflanzen wurden alle 1–2 Monate ausgerissen, wobei der Boden auch gehäckelt wurde.

Drehen um 180°: Zweimal im Jahr wurden alle Blumentöpfe um 180° gedreht, damit nicht nur ein Teil der Pflanzen vom Rand des Topfes beschattet würde und der andere nicht.

Schädlingsbekämpfung: Im September 1969 wurde *Scabiosa lucida* von Erdeulenraupen zum Teil sehr stark geschädigt. Einige Pflanzen mußten (durch gleich große) ersetzt werden. Die Raupen wurden mit Deril ausgerottet. Ende Oktober war *Scabiosa lucida* vom echten Mehltau befallen, der mit Pirox P bekämpft wurde.

Decken im Winter: Die Blumentöpfe auf dem Strelaberg wurden im Winter 1968/69 mit einer Schilfmatte, im Winter 1969/70 mit einer dünnen Strohschicht und einer Schilfmatte zudeckt. In Birmensdorf wurden die Pflanzen bei Frostgefahr durch Auflegen von Schattenrollen vor dem Erfrieren und dem Ausfrieren einigermaßen geschützt. Trotz dieser Maßnahmen wurden vor allem im ersten Winter *Gentiana kochiana* und *G. clusii*, weniger auch *Scabiosa* und *Sieversia* an beiden Versuchsorten durch die Frosteinwirkung aus dem Boden gehoben und mußten dann wieder besser eingepflanzt werden.

11. Messungen an den Pflanzen

Nur die Messungen und Meßgrößen, die nicht selbstverständlich sind, werden besprochen.

Bei *Nardus*, *Sesleria* und *Carex* wurde 0,5 cm über dem Boden eine dünne Plastikschnur rings um den Horst herumgezogen. Der gemessene Umfang wurde, unter der Annahme, daß der Horst kreisförmig ist (was außer bei *Nardus* fast immer der Fall war), in die «Horstfläche» umgerechnet.

Bei *Scabiosa* wurde der Radius des Kreises auf dem Boden gemessen, der von den Blättern der Rosette vollständig bedeckt wurde; er entspricht ungefähr der halben Länge des längsten Blattes. Die aus diesem Radius berechnete Kreisfläche wurde «bedeckte Fläche» genannt.