

Methoden

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich**

Band (Jahr): **63 (1977)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

C. METHODEN

1. Versuchsanordnung im Felde

An den vorstehend beschriebenen Orten wurde senkrecht zur Grenze zwischen Fettwiese bzw. Acker und Ried eine Transsekte gelegt. Sie wurde so ausgewählt, dass die Vegetation in Streifen parallel zur Bewirtschaftungsgrenze über mindestens 5 m links und rechts der Transsekte homogen war.

In manchen Fällen liessen sich unterschiedliche Vegetationstypen in solchen Streifen deutlich gegeneinander abgrenzen. Dort wurde jeweils das Zentrum jedes Streifens als Fixpunkt auf der Transsekte markiert.

An den Stellen, wo sich die Vegetation mehr oder weniger kontinuierlich änderte, wurden auf der Transsekte willkürlich Fixpunkte in Abständen von 2 - 5 m festgelegt.

Der erste Fixpunkt wurde jeweils in der Fettwiese in 2 m Distanz von der Bewirtschaftungsgrenze gewählt. Die Fixpunkte wurden dann gegen das Riedinnere fortlaufend nummeriert.

Bodenproben wurden bei jedem Fixpunkt an 3 bzw. 5 Stellen auf einer Senkrechten zur Transsekte (d. h. auf einer Parallelen zur Bewirtschaftungsgrenze) entnommen. Dabei wurde darauf geachtet, dass bei jedem Fixpunkt ein zuvor ausgestecktes Quadrat von 2 x 2 m von Probenahmen frei blieb. Dieses sogenannte Dauerquadrat, das auch nicht betreten wurde, diente zur Vegetationsaufnahme.

2. Bodenphysikalische Untersuchungen

PROBENAHMEN

Die Proben für die Bestimmung von Dichte und Porenvolumen wurden im

Frühjahr 1975 gesammelt. Mittels Stechzylindern von genau 1 Liter Inhalt (freundlicherweise von der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, zur Verfügung gestellt) wurden bei jedem Fixpunkt drei Bodenproben aus dem Hauptwurzelhorizont entnommen.

Bei aller Sorgfalt war es nicht zu vermeiden, dass bei den Riedböden mit lockerer Schichtung und/oder grossem Wassergehalt die natürliche Lagerung des Bodens bei der Probenahme gestört wurde. Erwartungsgemäss streuten daher die Messwerte für die drei Parallel-Proben von Fixpunkten aus dem Riedinnern mehr als für diejenigen aus Fettwiese und Uebergangszone. Besonders unbefriedigend war die Probenahme im *Caricetum elatae* wegen dem hier vorherrschenden dichten, zähen Wurzelgeflecht.

SCHEINBARE DICHTEN (ρ_a)

Die scheinbare oder apparente Dichte ρ_a (Nomenklatur gemäss RICHARD, 1974) ist das Trockengewicht (in kg) von 1 Liter natürlich gelagertem Boden: Die Bodenproben in den Stechzylindern wurden bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und ihr Nettogewicht bestimmt. In Fig. 5 - 19 (Diagramme e) wurde der Mittelwert der 3 Bestimmungen eingetragen.

REELLE DICHTEN (ρ_r)

Bei der Bestimmung der reellen Dichte ρ_r (Nomenklatur gemäss RICHARD, 1974) wird das Gewicht des bei 105°C getrockneten Bodens auf das Volumen der festen Bodenteilchen bezogen. Zu dessen Bestimmung wurden die getrockneten Bodenproben zerkleinert und in einen Messzylinder gegeben. Dieser wurde mit Wasser auf knapp 1 Liter aufgefüllt und solange leicht geschüttelt, bis aus den Bodenkrumen keine Luftblasen mehr entwichen. Dann wurde Wasser zugegeben, bis der Wasserspiegel die 1-Liter-Marke erreichte. Das Nettogewicht von Boden + Wasser minus das Gewicht des getrockneten Bodens ergibt das Gewicht des zugegebenen Wassers und damit (spezif. Dichte von Wasser = 1.0 kg/l) das Volumen der Bodenporen, das sogenannte Porenvolumen. Das ursprüngliche Volumen des natürlich gelagerten Bodens (1 Liter) minus das Porenvolumen stellt das Volumen der festen Bodenteilchen dar.

Steine und Kiesel ($\phi > 4$ mm) wurden aus den Bodenproben entfernt und deren Volumen (das nach der gleichen Methode bestimmt worden war) vom Volu-

men des natürlich gelagerten Bodens abgezählt.

Der Mittelwert von 3 Bestimmungen der reellen Dichte wurde in Fig. 5 - 19 (Diagramme e) eingetragen.

POROSITAET (E)

Die Porosität E (Nomenklatur gemäss RICHARD, 1974) ist der Quotient aus dem im vorangehenden Abschnitt beschriebenen Porenvolumen und dem Volumen des natürlich gelagerten Bodens. Sie ist also ein Mass für den Anteil von flüssiger und gasförmiger Substanz am Gesamtvolumen und bewegt sich zwischen 0 und 1. Die Porosität wurde nach der folgenden Formel berechnet (RICHARD, 1974):

$$E = 1 - \frac{S_a}{S_r}, \quad 0 < E < 1 \quad (\text{Fig. 5-19, Diagramme d}).$$

MITTLERER WASSERSÄTTIGUNGSGRAD ($\overline{s_w}$)

Mit Wassersättigungsgrad s_w (Nomenklatur gemäss RICHARD, 1974) wird der prozentuale Anteil der mit Wasser gefüllten Poren am gesamten Porenvolumen bezeichnet. Der Wassergehalt des Bodens wurde nicht für die mittels Stechzylindern entnommenen Bodenproben, sondern für die während der Vegetationsperiode in Abständen von sechs Wochen gesammelten Mischproben (s. unten) bestimmt; aus dem Mittel der Werte für die fünf Zeiten konnte so der durchschnittliche Wassergehalt errechnet werden.

Eine abgewogene Menge der naturfeuchten Mischproben wurde bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und aus der Gewichts Differenz und dem Restgewicht der Wassergehalt (W_{TG}) pro Trockengewicht bestimmt. Mit den oben genannten Grössen konnte daraus der Wassersättigungsgrad wie folgt bestimmt werden:

$$s_w = W_{TG} \cdot S_a \cdot \frac{100}{E}$$

Der Mittelwert $\overline{s_w}$ findet sich in Fig. 5 - 19 (Diagramme d).

3. Chemische Untersuchungen des Bodens

HERSTELLUNG VON MISCHPROBEN

Die Bodenproben wurden im Herbst 1974 (23./24. Sept.) und in 6-Wochen-Abständen während der Vegetationsperiode 1975 (28./29. April; 9./10. Juni; 21./22. Juli; 2./3. Sept.) entnommen. Bei jedem Fixpunkt entlang den Transsekten wurde jeweils auf einer Parallelen zur Bewirtschaftungsgrenze in Abständen von 1 - 3 m an 5 verschiedenen Stellen mit einem Offenkammerbohrer je eine Bodenprobe aus dem Hauptwurzelhorizont entnommen. Diese fünf dem selben Fixpunkt entsprechenden Bodenproben wurden im Feld zu einer Mischprobe vereinigt und zur Entfernung von Pflanzenwurzeln und grösseren Steinchen, aber auch zur besseren Durchmischung durch ein 4-mm-Sieb gesiebt, wie dies ZÖTTL (1958), EHRHARDT (1961), ELLENBERG (1964) und LOSSAINT und ROUBERT (1964) empfehlen.

Dadurch wird die Bodenstruktur zerstört (Mischeffekt). Insbesondere in den biologisch wenig aktiven Böden kann dadurch eine zu hohe Stickstoff-Nettomineralisation vorgetäuscht werden (GERLACH, 1973).

BODENREAKTION (pH)

Ein Aliquot der naturfeuchten Mischprobe wurde mit soviel destilliertem Wasser versetzt, dass ein gut rührbarer Bodenbrei entstand, und mindestens fünf Stunden stehen gelassen. Dann wurde der Bodenbrei kräftig aufgerührt und der pH-Wert mit einer Glaselektrode am Batterie-pH-Meter (Metrohm, Typ E 280) gemessen (STEUBING, 1965).

KALKGEHALT

Einen guten Näherungswert für den Kalkgehalt gibt die Karbonatbestimmung mit der Apparatur nach Passon (STEUBING, 1965). 20 g des bei 105°C getrockneten Bodens wurden mit 10 % Salzsäure versetzt und die Menge des entwickelten CO₂ bestimmt.

PFLANZENVERFUEGBARER STICKSTOFF

In den Mischproben wurde der "Momentangehalt" an pflanzenverfügbarem

Nitrat (NO_3^{mom}) und Ammonium (NH_4^{mom}) bestimmt (s. unten). Die Summe von NO_3^{mom} und NH_4^{mom} entspricht dem Momentangehalt an mineralischem, pflanzenverfügbarem Stickstoff (N^{mom}). Die Messung erfolgte ein bis drei Tage nach der Probeentnahme; bis zu diesem Zeitpunkt wurden die in Plastiksäcken verpackten Proben kühl gelagert. Nach GERLACH (1973), der den "Momentanwert" ebenfalls erst nach einem Tag bestimmte, ist mit etwas überhöhten Werten zu rechnen, weil die Mikroorganismen bei der Bodenprobenentnahme durch den "Mischeffekt" aktiviert werden; da keine Pflanzen mehr den frisch mineralisierten Stickstoff aufnehmen, setzt die Akkumulation schon beim Transport der Bodenproben ins Labor ein. Bei den Riedproben dürfte dieser Fehler, wie die geringe Nettomineralisation während den folgenden 6 Wochen zeigt, am kleinsten sein.

Neben dem "Momentangehalt" wurde das "potentielle Stickstoffangebot" (ELLENBERG, 1964), der N^{akk} -Wert, unter konstanten Laborbedingungen bestimmt. Die Bestimmung des N^{akk} wurde nach der von ZÖTTL (1958, 1960 a-c) ausgearbeiteten Methode nach HESSELMANN (1917), der Feuchtkammer-Inkubation, vorgenommen. Im Gegensatz zu ZÖTTL, der auf die Bestimmung des N^{mom} verzichtete, da es in seinen Waldböden vernachlässigbar klein sei, wurde hier aber der Momentan-Wert stets bestimmt und vom 6-Wochen-Wert abgezählt, wie dies z. B. GERLACH (1973) und RUNGE (1974) empfehlen. Ferner wurden die gesiebten Proben bei natürlicher Feuchtigkeit inkubiert, während ZÖTTL eine für die Mineralisation optimale Feuchtigkeit einstellte. Dies ist ein Kompromiss zwischen der von ZÖTTL vorgeschlagenen Methode, die die potentielle Mineralisation (unter optimalen Bedingungen) ergibt, und der von ELLENBERG (1964) und von GERLACH (1973) ausgearbeiteten Methode der Bebrütung am natürlichen Standort. Die von LEÓN (1968), YERLY (1970) und nun auch in der vorliegenden Arbeit verwendete Methode ergibt die potentielle Mineralisation unter natürlichen Feuchtigkeitsbedingungen. Ich verzichtete auf die von LEÓN (1968) und YERLY (1970) zusätzlich durchgeführte Inkubation am natürlichen Standort nach ELLENBERG (1964): Meine Vorversuche hatten ergeben, dass die Inkubation im Freiland im Durchschnitt 2 - 3 x tiefere Werte lieferte als die in der Feuchtkammer.

Ein Teil jeder Mischprobe wurde bei natürlicher Bodenfeuchtigkeit und in lockerer Schichtung 4 - 5 cm hoch in ein Becherglas gefüllt, mit einem

Wattebausch zugedeckt und dann während 6 Wochen in der "Feuchtkammer" bei 95 % relativer Luftfeuchtigkeit und 25°C inkubiert (ZÖTTL, 1958). Die Summe von NO_3 und NH_4 in den inkubierten Proben ergab den "6 Wochen-Gehalt" an mineralischem Stickstoff (N 6W).

Der in 6 Wochen akkumulierte Mineralstickstoff (N akk) errechnet sich dann als Differenz von 6 Wochen- und Momentan-Wert (STEUBING, 1965; ELLENBERG, 1968; GERLACH, 1973; RUNGE, 1974):

$$N \text{ akk} = N \text{ 6W} - N \text{ mom.}$$

EXTRAKTION DES PFLANZENVERFUEGBAREN STICKSTOFFS

Von jeder frischen oder inkubierten Bodenprobe wurde eine Menge, die ungefähr 5 g trockenem Boden entsprach, in einen Erlenmeyerkolben eingewogen. Die naturfeuchte Probe wurde mit 50 ml 1 % $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ -Lösung versetzt und während 30 min über Kopf geschüttelt. Dadurch wurden Bodenwasser und $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ -Lösung vollständig durchmischt und die im Bodenwasser gelösten oder schwach an Bodenteilchen adsorbierten (d. h. gegen $\text{K}^+/\text{Al}^{3+}$ bzw. SO_4^{2-} -austauschbaren) NH_4^+ - und NO_3^- -Ionen in der wässrigen Phase gleichmässig verteilt. Anschliessend wurde die Suspension 2 - 3 mal unter Vakuum durch ein Papierfilter filtriert, bis das Filtrat ganz klar war. Dieser Bodenextrakt, der den Mineralstickstoff des eingewogenen Bodens in einem Volumen von 50 ml + Volumen des Bodenwassers enthielt, diente zur Bestimmung von Nitrat- und Ammonium-Gehalt nach den im folgenden beschriebenen Methoden.

Zur exakten Bestimmung von Trockengewicht und Wassergehalt der eingewogenen Probe wurde parallel zur Herstellung des Extrakts ein weiteres Aliquot des untersuchten Bodens in einen Tiegel eingewogen und bei 105°C zur Gewichtskonstanz getrocknet. Es wurde der Wassergehalt pro Frischgewicht (W) (= Quotient aus Gewichts-differenz nach Trocknen und Nettoeinwaage) ermittelt. Das Trockengewicht pro Frischgewicht beträgt dann $1 - W$.

NITRATBESTIMMUNG

2 ml des Bodenextraktes wurden unter Zusatz von 1 ml 0.5 % Natriumsalicylat-Lösung (in dest. Wasser) in einem Becherglas bei 90 - 95°C im Trockenschrank eingedampft. Der Rückstand wurde in 1 ml konz. Schwefelsäure auf-

genommen und unter gelegentlichem Umschwenken 10 min stehen gelassen. Dann wurden nacheinander ca. 50 ml. dest. Wasser und 7 ml Natronlauge-Seignettesalz-Lösung (400 g Natriumhydroxid und 50 g Kalium-Natrium-Tartrat pro Liter Lösung, in dest. Wasser) zugegeben und das Becherglas mit dest. Wasser auf exakt 100 ml aufgefüllt. Frühestens nach 10 min wurde die Extinktion bei 420 nm gemessen; sie blieb während des ganzen Tages konstant.

Als Nullprobe wurden 2ml 1 % $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ eingedampft. Die Extinktion der Nullprobe gegenüber dest. Wasser betrug 0.000 - 0.002, d.h. das Extraktionsmittel enthielt vernachlässigbare Mengen an Nitrat. Die Nullprobe diente zur Nullpunkts-Eichung der Extinktionsskala des Photometers.

Als Standard wurde üblicherweise eine Lösung von 30.34 mg NaNO_3 (= 5 mg $\text{NO}_3\text{-N}$) in 1 Liter dest. Wasser verwendet. (Korrekterweise hätte der Standard mit 1 % $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ zubereitet werden müssen; Kontrollversuche ergaben aber, dass die Extinktion einer Standardprobe mit und ohne $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ gleich war.) 2 ml davon wurden eingedampft, d. h. 0.01 mg $\text{NO}_3\text{-N}$. Diese NO_3 -Menge entspricht einem Gehalt von 5.0 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ pro 100 g trockenem Boden in den Bodenextrakten, falls deren Volumen genau 50 ml und das Trockengewicht des extrahierten Bodens genau 5 g beträgt. Mit dem Standard (Extinktion in der 1-cm-Cuvette = 0.080) wurde die Skala des Photometers (in der Stellung für direkte Konzentrationsmessung) auf 5.0 geeicht, so dass die Ablesung direkt in mg $\text{NO}_3\text{-N}$ pro 100 g trockenem Boden erfolgen konnte.

Der abgelesene Wert musste anschliessend für die Einwaage und für die Verdünnung des Extraktionsmittels durch das Bodenwasser korrigiert werden:
 Korrigierter NO_3 -Gehalt (in mg $\text{NO}_3\text{-N}$ pro 100 mg trockenem Boden) =

$$\text{Ablesung} \cdot \frac{5 \text{ g}}{\text{Trockengewicht}^*} \cdot \frac{50 \text{ ml} + \text{Wassergehalt}^*}{50 \text{ ml}}$$

* = des zur Extraktion verwendeten Bodens.

Wie oben beschrieben, wurde in einem Parallelversuch der Wassergehalt W (in ml Wasser pro g Frischgewicht) bestimmt. Die Formel für den korrigierten NO_3 -Gehalt (NO_3 korr.) lautet dann:

$\text{NO}_3 \text{ korr.} = \text{Ablesung} \cdot \frac{5}{\text{Einwaage} \cdot (1 - W)} \cdot \frac{50 + (\text{Einwaage} \cdot W)}{50}$

W = g Wassergehalt pro g Frischgewicht; Einwaage in g Frischgewicht.

AMMONIUMBESTIMMUNG

2 ml jedes Bodenextrakts wurden in verschliessbare Plastik-Flaschen einpipettiert und 48 ml dest. Wasser zugegeben. Zu einer so vorbereiteten Flasche wurde unter ständigem Schwenken nacheinander 2.5 ml 0.1 M Komplexon-III (Merck Titrisol), 2.5 ml frisch zubereitete (weniger als 4 Std. alte) Salicylat-Nitroprussid-Lösung (17 g Natrium-Salicylat und 0.12 g Natrium-Nitroprussid in 200 ml dest. Wasser), 2.5 ml 1.2 % Natronlauge und 2.5 ml frisch zubereitete (weniger als 4 Std. alte) 0.1 % Dichlorcyanursäure (Natriumsalz) pipettiert, sofort der Stopfen aufgesetzt (damit kein Ammoniak entweichen konnte), nochmals gut geschüttelt und die Mischung stehen gelassen. Genau nach einer Stunde erfolgte die Messung der Extinktion bei 690 nm.

Für die Nullpunktabgleichung der Photometerskala wurde eine Nullprobe verwendet, die statt des Bodenextrakts 2ml dest. Wasser enthielt, und als Standard 1 ml einer 100 x verdünnten NH_4 -Stammlösung (Stammlösung: 3.819 g getrocknetes NH_4Cl [= 1 g NH_4 -N] + 2 ml konz. Schwefelsäure auf 1 Liter dest. Wasser). Dieser Standard entspricht einem Gehalt von 5 mg NH_4 -N pro 100 g trockenem Boden in den Bodenextrakten, falls deren Volumen genau 50 ml und das Trockengewicht des extrahierten Bodens genau 5 g beträgt; er wurde auf 5.0 Skaleneinheiten eingestellt (Einstellung des Photometers auf Konzentrationsmessung), so dass die Ablesung direkt in mg NH_4 -N pro 100 g trockenem Boden erfolgen konnte.

Die Korrektur der abgelesenen Werte wurde dadurch kompliziert, dass die zur Extraktion benützte 1 % $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ -Lösung eine beträchtliche, von Experiment zu Experiment wechselnde Blaufärbung ergab. Höchstwahrscheinlich enthielt die Lösung NH_4^+ ; Merck garantiert für das Salz einen Gehalt von < 0.005 % N oder, in den Einheiten der N-Bestimmung ausgedrückt, < 0.5 mg N pro 100 g extrahiertem Boden; das Salz und die Lösung davon nehmen aber leicht zusätzlich NH_3 aus der Luft auf. Wenn eine Probe von 2ml 1 % $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ anstelle des Bodenextrakts gemessen wurde, so wurde ein Betrag von 0.8 bis 2.2 (mg NH_4 -N/100 g trockenem Boden) abgelesen; pro Experiment war dieser Wert (im folgenden mit "k" bezeichnet) auf \pm 0.2 reproduzierbar.

Die abgelesenen Werte mussten also nicht nur, wie die Nitrat-Messwerte, für die von 5 g abweichende Bodeneinwaage und für die Verdünnung der Extrakte durch das Bodenwasser korrigiert, sondern zusätzlich um den Beitrag

von $\text{NH}_4\text{-N}$ aus der $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ -Lösung vermindert werden.

In reiner 1 % $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ -Lösung ist dieser Beitrag = k; in den durch Bodenwasser verdünnten Bodenextrakten beträgt er

$$k^* = k \cdot \frac{50 \text{ ml}}{50 \text{ ml} + (\text{Einwaage} \cdot W)}$$

W = g Wassergehalt pro g Frischgewicht.

Der aus dem Boden stammende Anteil an $\text{NH}_4\text{-N}$ ist demnach:

$$\text{Ablesung} - k \cdot \frac{50}{50 + (\text{Einwaage} \cdot W)} = \text{Ablesung} - k^*$$

Die Korrektur für die Bodeneinwaage und Verdünnung der Extrakte erfolgte auf die gleiche Art wie bei der Nitratbestimmung (s. oben). Die Formel für den korrigierten $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt lautet dann:

$\text{NH}_4 \text{ korr.} = (\text{Ablesung} - k^*) \cdot \frac{5}{\text{Einwaage} \cdot (1 - W)} \cdot \frac{50 + (\text{Einwaage} \cdot W)}{50}$

Einwaage in g Frischgewicht

W = g Wassergehalt pro g Frischgewicht

$$k^* = k \cdot \frac{50}{50 + (\text{Einwaage} \cdot W)}$$

k = $\text{NH}_4\text{-N}$ Ablesung für 2 ml 1% $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$

QUALITÄT VON NITRAT- UND AMMONIUMBESTIMMUNG

KLEIN (1974) prüfte die beiden Bestimmungsmethoden mit Konzentrationsreihen von Ammonium und Nitrat und stellte Linearität und gute Reproduzierbarkeit im Bereich von Konzentrationen fest, die 0 - 12 mg N pro 100 g trockenem Boden entsprechen. In den hier beschriebenen Versuchen ging es darum festzustellen, in welchen Grenzen die Resultate für Bodenextrakte verlässlich sind.

a) *Parallele Ansätze*: Einen Anhaltspunkt für die Reproduzierbarkeit von Extraktion und Korrekturen ergibt die Messung von unabhängig aufbereiteten Parallel-Ansätzen. Von einer Serie von Böden, die während 6 Wochen in der Feuchtkammer inkubiert worden waren, wurde an zwei aufeinanderfolgenden Tagen je eine Probe extrahiert und ihr Nitrat- und Ammonium-Gehalt bestimmt. Der Durchschnittsfehler dieser unabhängigen Parallelen ist in Tab. 2 dargestellt. Er ist für NH_4^+ besonders bei kleinen Messwerten

relativ gross; dies mag mit dem grossen Gehalt des $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ an NH_4^+ in diesen Experimenten zusammenhängen (2.1 bzw. 2.2 mg $\text{NH}_4\text{-N}$ pro 100 g trockenem Boden). Für das $\text{NO}_3\text{-N}$ ist der Durchschnittsfehler stets gering.

Tab. 2. Qualität von Ammonium- und Nitratbestimmung in Bodenproben
Alle Angaben in mg N/100 g Boden

Gehalt der Probe (Mittelwert)	Anzahl Proben	Durchschnittl. Differenz von 2 Parallelen	Zusätzlich gemessener Betrag für Probe mit internem Standard*
<i>Nitrat-Bestimmung</i>			
0.0 - 0.9	16	0.30	5.07 \pm 0.42
1.0 - 2.9	16	0.66	4.96 \pm 0.71
3.0 - 4.9	12	0.61	4.98 \pm 0.81
5.0 - 8.9	13	0.55	5.10 \pm 1.45
> 9.0	10	1.30	5.18 \pm 1.09
<i>Ammonium-Bestimmung</i>			
0.0 - 0.9	45	0.74	4.12 \pm 0.94
1.0 - 2.9	22	0.90	4.55 \pm 0.99

* Differenz zwischen dem Messwert der Probe mit 5 mg internem Standard (unmittelbar vor Beginn der Bodenextraktion zugegeben) und dem Mittelwert ohne internen Standard; angegeben sind Mittelwert und Standardabweichung für die angegebene Anzahl Proben.

b) *Interner Standard*: Ein zweites Experiment sollte darüber Auskunft geben, ob zum Boden zugegebenes Nitrat und Ammonium wieder vollständig extrahiert und nachgewiesen werden kann. Von den gleichen für 6 Wochen inkubierten Böden wurde je eine dritte Probe, die jeweils exakt 5 g trockenem Boden entsprach, in Erlenmeyerkolben eingewogen. Zu jeder Probe wurden 2 ml einer Lösung von je 125 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ zugegeben, das entspricht 5 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ pro 100 g trockenem Boden. Die so behandelten Bodenproben wurden 1 - 2 Stunden stehengelassen und anschliessend wie üblich mit 1 % $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ extrahiert und die $\text{NO}_3\text{-}$ und $\text{NH}_4\text{-}$ Konzentration bestimmt. Falls das zugegebene NO_3 und NH_4 wieder vollständig im Extrakt nachzuweisen wären, so würde ein Wert erwartet, der 5.0 mg über dem Mittelwert der Parallelen ohne N-Zugabe liegt. Tab. 2 zeigt, dass dies sowohl für NO_3 wie NH_4 im allgemeinen zutrifft.

GESAMTSTICKSTOFF-BESTIMMUNG

Die Gesamtstickstoffbestimmung wurde nach der Methode von Kjeldahl-Foerster (STEUBING, 1965) ausgeführt. Die herkömmliche Kjeldahl-Analyse wird dabei wie folgt ergänzt, damit auch der Nitrat-Stickstoff erfasst wird: Das Nitrat wird in einer dem Aufschluss vorangehenden Reaktion an Salicylsäure gebunden. Dies verhindert, dass beim Erhitzen mit konz. Schwefelsäure aus Nitrat Salpetersäure freigesetzt wird, die schliesslich in Form von Stickoxiden entweichen würde.

Genau 0.5 g mit dem Mörser fein zerriebene, luftgetrocknete Bodenprobe (oder ebenso viel gemahlene Pflanzenmaterial, s. unten) wurde in einen Rundkolben eingewogen, mit 2 ml Salicylschwefelsäure (5 g Salicylsäure in 100 ml konz. H_2SO_4) vermischt, 15 - 20 min stehen gelassen und schliesslich mit 0.5 g $Na_2S_2O_3$ -Kristallen versetzt. Nach weiteren 15 - 20 min wurden 10 ml konz. H_2SO_4 und ca. 0.5 g Selen-Reaktionsgemisch (Merck) dazugegeben. Anschliessend wurde der Kolben über kleiner Bunsenflamme erwärmt, bis das Schäumen aufhörte und die Lösung sich heller färbte. Dann wurde die Flamme grösser gestellt, bis der Kolbeninhalt, immer heller werdend, schliesslich noch schwach grün gefärbt war. Dies dauerte mindestens 15 min; nachher wurde das Gemisch 30 min bei kleiner Flamme weiter gekocht.

Nach beendigtem Aufschluss und Erkalten des Kolbens wurde dessen Inhalt unter zweimaligem Spülen mit total 40 ml dest. Wasser in den Destillationskolben der Kjeldahl-Apparatur überführt. Die mit 20 ml 0.05 n HCl und 10 Tropfen Mischindikator (0.1 g Bromkresolgrün mit 10 ml 0.01 n NaOH in 100 ml. dest. Wasser und 0.15 g Methylrot in 300 ml Aethanol) beschickte Vorlage wurde so aufgestellt, dass das untere Ende des Kühlrohres in die Flüssigkeit eintauchte. Der Destillationskolben wurde an die Apparatur angeschlossen und sofort vorsichtig 100 ml 30 % NaOH durch den Trichter eingelassen. Es wurde jeweils solange destilliert, bis sich in der Vorlage 100 ml Flüssigkeit gesammelt hatte, d.h. 20 - 30 min. Dann wurde zuerst die Vorlage, dann der Destillationskolben entfernt. Der Inhalt der Vorlage wurde mit 0.05 n NaOH bis zum Umschlagpunkt von rosa nach grün titriert. Aus dem Verbrauch von NaOH ergab sich die Gesamtstickstoffkonzentration (N total) in Gewichtsprozent wie folgt:

$$N \text{ total (Gewichts-\%)} = (20 \text{ (ml)} - \text{verbrauchte } 0.05 \text{ n NaOH (ml)}) \cdot 0.14$$

4. Vegetationsaufnahmen und deren Auswertung

VEGETATIONSAUFNAHMEN

Die Vegetation wurde auf Flächen der Grösse 2 x 2 m (Dauerquadrate) aufgenommen. Innerhalb jedes Streifens durch die Fixpunkte einer Transsekte wurde je ein Dauerquadrat an einer Stelle ausgewählt, wo die Vegetation homogen und für den Streifen typisch war. Diese zur Beobachtung vorgesehenen Flächen wurden nicht für die Entnahme der Bodenproben verwendet und auch nicht betreten.

Die Vegetationsaufnahmen wurden Ende Mai 1975 nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (1964) gemacht und im Herbst 1975 überprüft und die fehlenden Arten ergänzt. Die Blütenpflanzen wurden nach HESS, LANDOLT und HIRZEL (1967, 1970, 1972), die Moose nach BERTSCH (1959) bestimmt. Gräser im sterilen Zustand wurden nach KLAPP (1965) identifiziert.

VEGETATIONSTABELLE

Die tabellarische Auswertung der Vegetationsaufnahmen erfolgte nach der Anleitung von ELLENBERG (1956).

ZEIGERWERTE

Für die Gefässpflanzen der Vegetationsaufnahmen wurde, soweit möglich, die Feuchte-, Reaktions- und Stickstoffzahl nach ELLENBERG (1974) notiert. Aufgrund dieser Zeigerwerte wurde für jede Vegetationsaufnahme der mittlere Feuchtwert (mF), Reaktionswert (mR) und Stickstoffwert (mN) berechnet. Dabei wurde der Deckungsgrad der Arten ("Artmächtigkeit" nach BRAUN-BLANQUET, 1964) so mitberücksichtigt, dass die Zeigerwerte mit der jeweiligen Artmächtigkeit (n) multipliziert wurden, wobei + und l gleich 1 gesetzt und r vernachlässigt wurde (ELLENBERG, 1974). Die Skala der Artmächtigkeit steht nicht in linearem Zusammenhang mit dem Deckungsgrad, sondern gibt Arten mit geringem Vorkommen ein hohes Gewicht. Dies scheint gerechtfertigt, weil vermutlich der Zusammenhang zwischen dem Deckungsgrad einer Art und den Standortsfaktoren nicht linear ist (WILDI, 1977).

Die Formel für den mittleren Feuchtwert einer Vegetationsaufnahme lautet dann zum Beispiel:

$$mF = \frac{\sum_i^n F_i}{\sum_i^n 1}$$

i = Arten der Vegetationsaufnahme, für die ELLENBERG (1974) eine F-Zahl von 1 - 9 notierte.

5. Analyse des Pflanzenmaterials

BESTIMMUNG DER JAEHRLICHEN PRODUKTION VON UEBERGANGSZONEN UND RIEDERN

Ueberall, wo bis Mitte August 1975 die Vegetation noch nicht geschnitten worden war (d. h. im extensiv bewirtschafteten Grünland), wurde pro Transsekten-Fixpunkt 1 m² ausgesteckt und auf dieser Fläche alle oberirdischen Pflanzenteile 1 - 2 cm über dem Boden abgeschnitten und geerntet. Grundständige Blattrosetten und Moose wurden so nicht erfasst; damit entsprach die Ernte ungefähr der Menge, die bei der üblichen Bewirtschaftung mit der Streue weggeführt würde. (Die Uebergangszonen und Rieder werden normalerweise einmal jährlich zwischen Ende August und Ende Oktober gemäht.) Im folgenden wird das Trockengewicht der geernteten Pflanzenmasse als "Produktion" (= standing crop) bezeichnet; Produktion ist also im wirtschaftlich-praktischen, nicht im streng naturwissenschaftlichen Sinn zu verstehen.

Im Bereich der Fixpunkte A VII 2 und A VII 3 war die Uebergangszone im Sommer 1975 ausnahmsweise mit der Fettwiese zusammen gemäht worden, so dass keine Produktionsmessung durchgeführt werden konnte.

Zusätzlich zu den Riedproben wurde das Pflanzenmaterial auch bei O IX 2, einer von *Filipendula ulmaria* durchsetzten, vernachlässigten Fettwiese auf 1 m² geerntet, obwohl hier anfangs Juli bereits einmal geschnitten worden war und die Ernte daher nur einem geringen Teil der jährlichen Produktion entsprach. Da die *Filipendula*-Pflanzen hier bereits wieder aufkamen, ergab sich die Möglichkeit, den Stickstoffgehalt dieser Pflanze auf einer gedüngten Fläche zu bestimmen.

Im Labor wurden aus dem geernteten Material für jeden Fixpunkt einige besonders interessant erscheinende Pflanzenarten oder Pflanzengruppen (z. B. *Filipendula ulmaria*; *Carex acutiformis*; Leguminosen) aussortiert und jede dieser Fraktionen für sich sowie das restliche Pflanzenmaterial pro Fixpunkt im Trockenschrank zuerst für eine Stunde bei 105°C, dann für 48 Stunden bei 70°C getrocknet und das Trockengewicht bestimmt.

GESAMTSTICKSTOFFGEHALT DES PFLANZENMATERIALS

Das gesamte Pflanzenmaterial der für die Bestimmung der Produktion verwendeten, getrockneten Proben wurde fraktionenweise in etwa 1 - 2 cm lange Stücke geschnitten und gut durchmischt. 1 Liter des zerkleinerten Materials (bzw. die ganze Probe, falls sie weniger als 1 Liter umfasste) wurde mit einer Kaffeemühle zu Pulver gemahlen (Korngröße von max. 1 mm). Genau 0.5g der gemahlten Probe wurden zur Bestimmung des Stickstoffgehalts nach der Methode von Kjeldahl-Foerster (s. oben) verwendet.

Aus den Resultaten aller separat bestimmten Arten oder Artengruppen, sowie der Restfraktion, jedes Quadratmeters konnte pro Fixpunkt der mittlere Stickstoffgehalt der Vegetation (pro Trockengewicht), d.h. der durchschnittliche N_{tot} -Gehalt des gesamten geernteten Pflanzenmaterials im jeweiligen Quadratmeter berechnet werden. (Dazu wurde der N_{tot} -Gehalt jeder Einzelprobe mit ihrem Trockengewicht multipliziert, die Werte summiert und durch das Trockengewicht der gesamten Ernte dividiert.)