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

Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)

Band: 63 (1977)

Artikel: Stickstoff-Düngungseinflüsse von Intensiv-Grünland auf Streu- und Moorwiesen

Autor: Boller-Elmer, Karin Christine

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308522

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: 21.11.2025

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

Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel, Zürich, 63. Heft

Stickstoff-Düngungseinflüsse von Intensiv-Grünland auf Streu- und Moorwiesen

von Karin Christine Boller-Elmer

1977

Meinen lieben Eltern dafür, dass sie unseren kleinen Christian betreuten, wenn mich diese Arbeit zu sehr in Anspruch nahm.

INHALT

Vorwort 5

A. EINLEITUNG 7

B. UNTERSUCHUNGSGEBIETE 10

C. METHODEN 17
1. Versuchsanordnung im Feld 17
2. Bodenphysikalische Untersuchungen 17
3. Chemische Untersuchungen des Bodens 20
4. Vegetationsaufnahmen und deren Auswertung 28
5. Analyse des Pflanzenmaterials 29

D. VEGETATION 31
1. Intensiv-Grünland 31
2. Pufferzonen und Rieder 32
- *Valeriano-Filipenduletum* mit *Carex acutiformis* 32
- *Valeriano-Filipenduletum* mit *Iris sibirica* 32
- Uebergänge zum *Caricetum elatae* 33
- Uebergänge zum *Caricetum canescenti-fuscae* 33
- *Molinietum*-ähnliche Uebergänge 33
- Uebergänge zum *Primulo-Schoenetum* 34
- Uebergänge zum *Caricetum davallianae* 34

E. STANDORTFAKTOREN 35
1. Charakterisierung der Transsekten (unter Ausschluss des Stickstoff-Faktors) 35
- Uebersicht über Vegetation, Bodentyp und Bewirtschaftung 35
- Bodenreaktion und Kalkgehalt 42
- Mittlerer Reaktions- und Feuchtewert 43
- Porosität und mittlerer Wassersättigungsgrad 44
- Reelle und apparente Dichte 45
2. Der Stickstoff im Boden 46
- Gesamtstickstoffgehalt der Böden entlang den Transsekten 46
- Momentangehalt des Bodens an pflanzenverfügbarem Nitrat und Ammonium 48
- Mineralstickstoffgehalt im Boden: Vergleich von Momentan- und Akkumulationswert 50
- Der Verlauf von Nmom und Nakk entlang den Transsekten zu verschiedenen Zeiten während der Vegetationsperiode 51
3. Der Stickstoff in den Pflanzen 53
- Verlauf des mittleren Stickstoffgehalts der Vegetation entlang den Transsekten 53
- Stickstoffgehalt von einzelnen Arten und Artengruppen 62
- Verlauf des Stickstoffgehalts einzelner Arten entlang den Transsekten 63
- Der mittlere Stickstoffzeigerwert der Vegetation 63
4. Die jährliche Produktion der Rieder 66

F. DISKUSSION 69
1. Standortfaktoren unter Ausschluss des Stickstoffs 69
- Einfluss von Bodenreaktion und Kalkgehalt des Bodens auf die Vegetation 69

- Einfluss des Faktors Wasser auf die Vegetation 69
- Einfluss des Bodentyps auf die Vegetation 71
2. Der Stickstoff-Faktor 72
- Der Stickstoff-Kreislauf und die Stickstoffmessgrössen 72
- Der Verlauf der Stickstoffmessgrössen entlang den Transsekten und ihr Zusammenhang mit der Vegetation 75
- Die mittlere Stickstoffzahl der Vegetation 79
3. Der Düngungseinfluss entlang den Transsekten und die Bedeutung der Pufferzone 80

G. DIE UNTERSUCHTEN TRANSSEKTEN ALS BEISPIELE VON DUENGUNGSEINFLUSS 86

H. SCHLUSSFOLGERUNGEN: DIE BEDEUTUNG DER PUFFERZONE FUER DIE ERHALTUNG VON STREU- UND MOORWIESEN 96

Zusammenfassung 98

Summary 99

Literatur 100

VORWORT

Die vorliegende Dissertation entstand in den Jahren 1973 - 1977 am Geobotanischen Institut der ETH in Zürich. Ihr Thema faszinierte mich, weil es sich auf etwas Praktisches bezog. Ich danke daher Prof. Dr. E. LANDOLT, unter dessen Leitung die Arbeit stand, dass er mir die Wahl dieses Themas ermöglichte und dass er sie mit stetigem Wohlwollen unterstützte.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. F. KLöTZLI, dem ich nicht zuletzt meine Begeisterung für die wissenschaftliche Bearbeitung eines praktischen Naturschutzproblems verdanke, und der mir mit Rat und Tat weiterhalf, wenn ich auf Schwierigkeiten stiess.

Weiter danke ich Frau M. SIEGL, Frau A. HEGI und Herrn E. SCHäFFER für ihre Hilfe bei den umfangreichen chemischen Analysen. Ebenso bin ich den andern Mitarbeitern des Institutes zu Dank verpflichtet - für manche Anregung in Diskussionen und für das Verständnis, das sie meiner Neigung entgegenbrachten, oft für mich zu sein.

Bei der Niederschrift der Dissertation bereitete es mir Schwierigkeiten, die Resultate klar und lesbar zu formulieren. Wenn es mir schlussendlich doch gelang, so habe ich dies meinem lieben Mann zu verdanken, der mir immer wieder half, zuerst zürichdeutsch zu sagen, was ich beschreiben wollte. Ihm danke ich auch für die Mithilfe bei Feldarbeiten.

Das Oberforstinspektorat, Bern, ermöglichte durch seine finanziellen Beiträge die Durchführung und den Druck der vorliegenden Arbeit; dafür danke ich herzlich.

A. EINLEITUNG

Streu- und Moorwiesen - vor allem deren nährstoffärmste Ausbildungen - sind immer seltener geworden, und in gleichem Masse ist das Interesse an ihrer Erhaltung gewachsen. In vielen Fällen gelang es, solche Feuchtbiotope unter Naturschutz zu stellen. Nun genügt aber eine einmalige Schutzverordnung nicht: Die geschützten Flächen brauchen eine angemessene Pflege. Werden sie nicht alljährlich geschnitten, so verbuschen sie. Eine grosse Gefahr besteht ferner darin, dass Streu- und Moorwiesen empfindlich auf Düngungseinflüsse reagieren und sich in nährstoffreichere Gesellschaften umwandeln.

Durch direkte Düngung und Mahd lassen sich zum Beispiel Pfeifengraswiesen schon innerhalb von wenigen Monaten stark verändern und in zwei bis drei Jahren vollständig in Fettwiesen überführen (KLöTZLI, 1969).

Düngungseinflüsse können aber auch auf indirektem Wege zustande kommen: So wandelten sich im Neeracher Ried verschiedene Moor- und Sumpfgesellschaften im Bereich von nährstoffreichen Abwässern um (KLöTZLI, 1967). Auf ähnliche Weise verändert sich bei vielen Streu- und Moorwiesen die Kontaktzone zum Intensiv-Grünland; offenbar bewirkt der auf den angrenzenden Fettwiesen oder Aeckern ausgebrachte Dünger auf indirektem Weg eine Eutrophierung der Randzone des Rieds und führt zur Bildung eines Hochstaudensaumes, einer von *Filipendula ulmaria* dominierten Pflanzengesellschaft, die ins Riedinnere vordringen und seltene Arten der oligotrophen Riedgesellschaften verdrängen kann.

Die direkte Düngung von Streu- und Moorwiesen zu vermeiden, das ist eine klar fassbare Aufgabe des Naturschutzes. Wie aber soll der indirekte Düngungseinfluss vom Intensiv-Grünland her überhaupt erfasst werden, und wie kann das Vorrücken der Nährstoffe gegen das Riedinnere vermieden werden? Ist etwa der Hochstaudensaum fähig, Nährstoffe abzufangen und zu verwerten und so als "Pufferzone" gegen das Intensiv-Grünland zu wirken? Diesem

Problem widmet sich die vorliegende Arbeit.

Es ging in erster Linie darum, die Wechselbeziehungen zwischen Vegetation und Nährstoffangebot in dieser Pufferzone genauer zu charakterisieren.

Vom vegetationskundlichen Blickwinkel aus schrieb schon MAYER (1939) in ihrer Untersuchung über die *Filipendula ulmaria -Geranium palustre*-Assoziation, dass sich *Filipendula* und andere Hochstauden oft an Uebergängen von Molinieten zu Fettwiesen sehr üppig entwickelten. Solche Hochstaudenfluren bilden sich auch in Molinieten, weit ab von Fettwiesen (KNAPP und STOFFERS, 1962; ELLENBERG, 1963; LEÓN, 1968; KLÖTZLI, 1969; MEISEL, 1969; BALÁTOVÁ-TULÁČKOVÁ, 1972). Die genannten Autoren vermuten, dass an diesen Standorten das Ried nicht regelmässig geschnitten oder die Streue nicht weggeführt worden sei; durch den Abbau von vorjährigem Pflanzenmaterial sei das Ried mit Nährstoffen angereichert worden und habe sich so gewissermassen selbst gedüngt.

Hochstaudenfluren, die sich durch mangelhaften Unterhalt im Riedinnern entwickeln, wurden nicht in die vorliegende Arbeit einbezogen. Es wurden ausschliesslich Hochstaudensäume untersucht, die zwischen Intensiv-Grünland und nährstoffarmem Ried liegen, um so die indirekte Düngewirkung von benachbarten Fettwiesen oder Aeckern beurteilen zu können. An den ausgewählten Standorten wurden Vegetation und Boden entlang einer Linie ("Transsekte") senkrecht zur Bewirtschaftungsgrenze vom gedüngten Bereich bis ins hochstaudenfreie Ried hinein analysiert.

Zunächst wurde in einer Art Bestandesaufnahme die Veränderung der Vegetation entlang dieser Transsekten vom pflanzensoziologischen Gesichtspunkt aus charakterisiert und der Hochstaudensaum gegen die Pflanzengesellschaften von Fettwiesen und nährstoffarmen Riedern abgegrenzt. Anschliessend wurde der Versuch unternommen, die Reichweite des Düngungseinflusses durch eine Untersuchung des Nährstoffangebots in Bodenproben zu erfassen und seine Auswirkung auf die Vegetation und deren Nährstoffgehalt zu prüfen.

Wie auch meine früheren Untersuchungen von Uebergangszonen ([BOLLER-] ELMER 1973) konzentriert sich die Arbeit auf einen einzigen Nährstoff, nämlich Stickstoff, und zwar aus zwei Gründen. Erstens ist Stickstoff einer der wichtigsten Faktoren, welche Vorkommen und Wachstum der Arten sowie die Produktion der Vegetationseinheit kontrollieren (ELLENBERG, 1964;

WILLIAMS, 1968). Zweitens wird Stickstoff in der Form von Nitrat von allen Nährstoffen am leichtesten ausgewaschen, viel leichter zum Beispiel als Phosphat (VIETS, 1975), und kann daher am ehesten von der Fettwiese ins Ried eingeschwemmt werden.

Meine Untersuchungen über den Stickstoff-Faktor entlang den Transsekten, die einerseits das Stickstoffangebot im Boden und anderseits die Stickstoffaufnahme durch die Vegetation umfassten, können daher trotz der Beschränkung auf nur einen Nährstoff Auskunft darüber geben, wie weit der indirekte Düngungseinfluss reicht. Aufgrund dieser Resultate soll versucht werden, für die Naturschutzpraxis Hinweise dafür zu geben, wie Feuchtbiotope vor Umwandlung durch indirekte Düngung geschützt werden können.

B. UNTERSUCHUNGSGEBIETE

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Zürcher Oberland und im Aargauischen Reusstal durchgeführt (Abb. 1). In beiden Regionen finden sich grossflächige, verschiedengestaltige Rieder, die eng mit Fettwiesen und Aeckern verzahnt sind. Es war daher leicht, geeignete Transsekten von intensiv bewirtschaftetem Grünland zu Riedern zu finden. Die genauen Koordinaten und die verwendeten Abkürzungen der 19 Transsekten finden sich in Tab. 1.

Drei der Untersuchungsflächen im Zürcher Oberland liegen bei Riedikon am Südende des Greifensees (Transsekten G I - G III, s. Abb. 2). Die untersuchten Rieder im "Hostig" stocken auf vorwiegend organischem Boden und sind als weit fortgeschrittene Stadien der Verlandung zu betrachten. Die Fettwiesen befinden sich auf aufgeschüttetem, kalkhaltigem Material.

Zehn Transsekten liegen im Dreieck zwischen Wetzikon, Hinwil und Bubikon (Abb. 3).Die Landschaft ist geprägt durch Drumlins, die durch Akkumulation von Gletscherschutt während der Würmeiszeit entstanden sind (HELLMUND, 1909). Zwischen den Drumlins bildete sich über dem undurchlässigen, mit Lehm bestrichenen Grundmoränenkies ein Gletscherrandsee, der um 8500 v. Chr. zu verlanden begann; es entstand zunächst ein Flachmoor, später, darauf aufgestockt, ein Hochmoor, das sich zu einem Hochmoorwald weiterentwickelte (KELLER, 1928). Der Wald wurde gerodet und die Torfschichten während des letzten und anfangs dieses Jahrhunderts abgetragen (FRüH und SCHRöTER, 1904). Alle Rieder und manchenorts auch die Fettwiesen stocken auf immer noch mächtigen Lagen von organischem Material; der grössere Teil der untersuchten Fettwiesen befindet sich aber bereits auf dem Mineralboden am Hang der Drumlins. Vier Transsekten (A IV - A VII) liegen im nordwestlichen Teil der Riedflächen mit dem Flurnamen Ambitzgi und je drei im Zentrum, dem Oberhöfler Riet (O VIII - O X) und im östlichen Teil, Frecht genannt (F XI - F XIII),

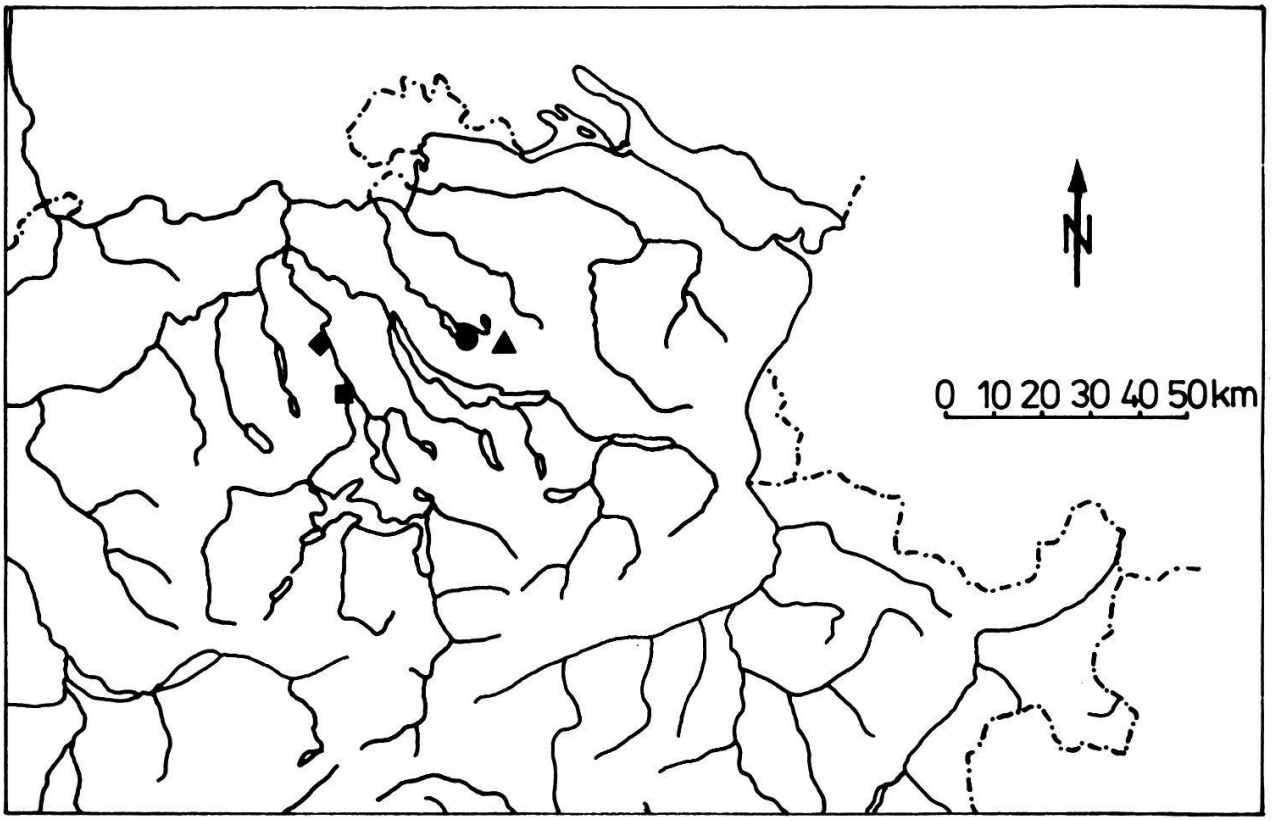


Fig. 1. Geographische Lage der Untersuchungsgebiete

Zürcher Oberland

● Riedikon am Südende des Greifensees (Detailplan: Fig. 2)
▲ Dreieck Wetzikon-Hinwil-Bubikon (Detailplan: Fig. 3)

Aargauisches Reusstal

◆ Rottenschwil (Detailplan: Fig. 4a)
■ Schoren bei Mühlau (Detailplan: Fig. 4b)

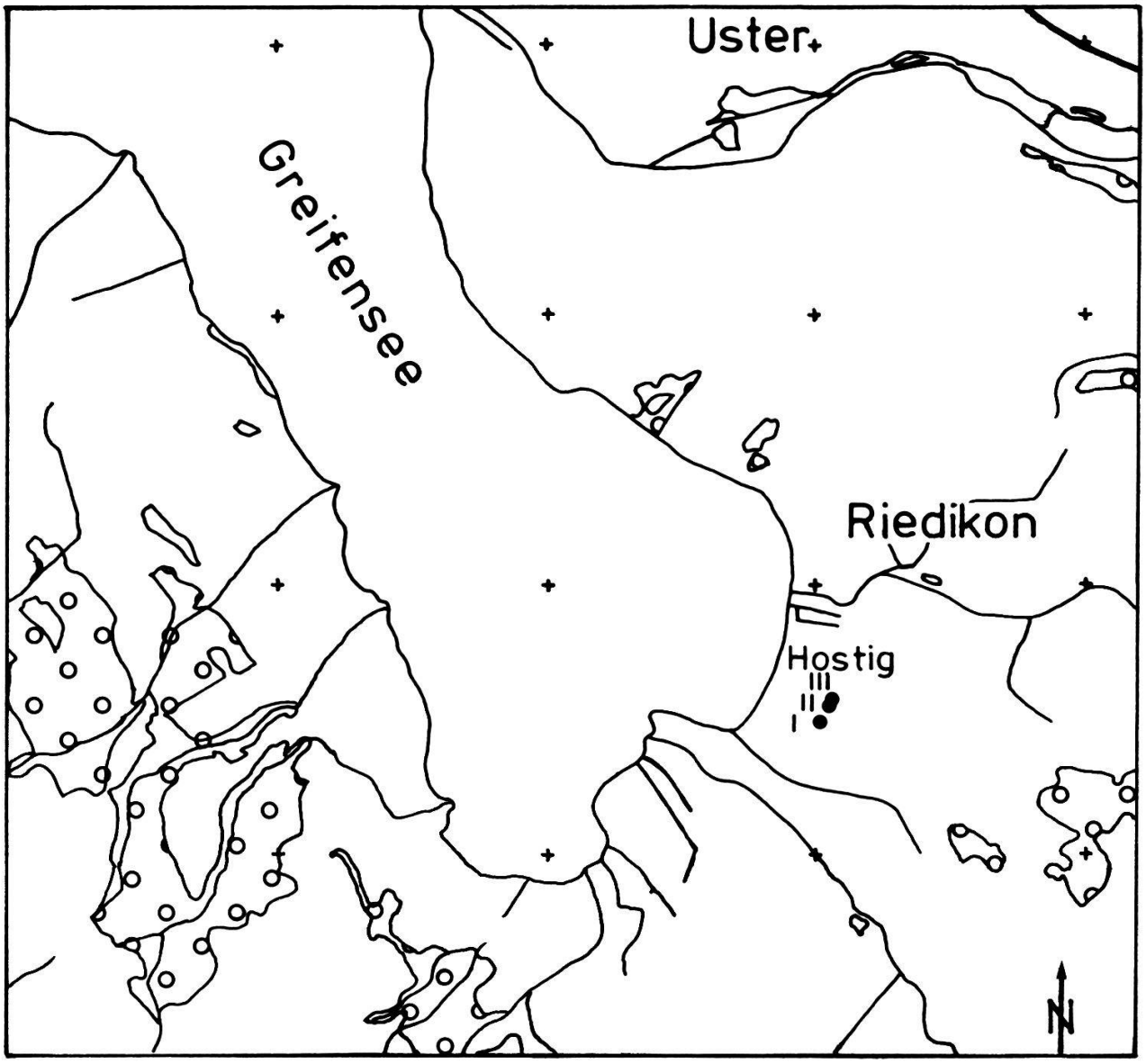


Fig. 2. Transsekten am Greifensee

● I - III: G I - G III, im Hostig bei Riedikon

Massstab 1:33'000, gezeichnet nach den Kartenblättern 1092 (Uster) und 1112 (Stäfa) der Eidgenössischen Landestopographie (Wabern-Bern).

Koordinaten der Transsekten in Tab. 1.

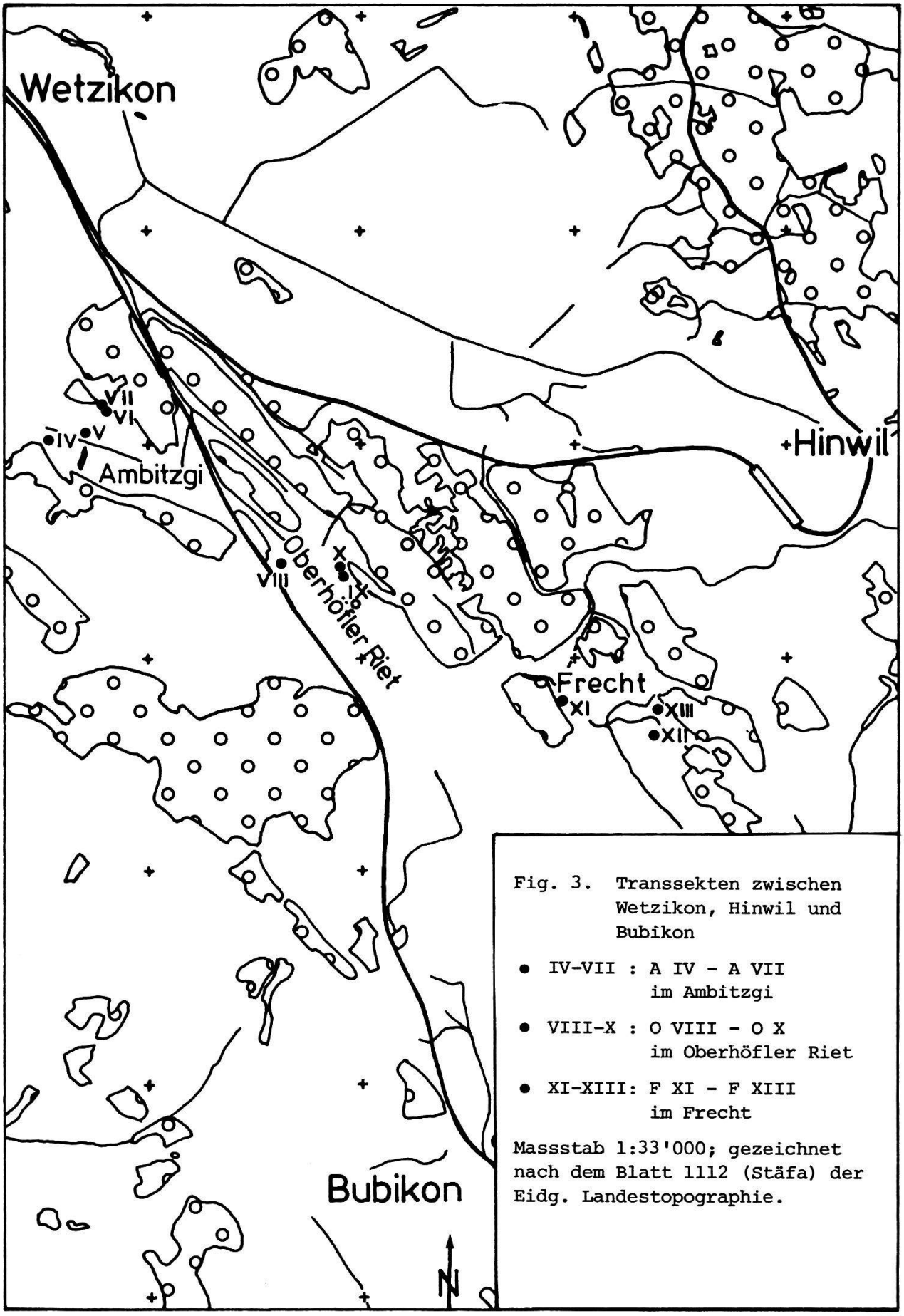


Fig. 3. Transsekten zwischen Wetzikon, Hinwil und Bubikon

- IV-VII : A IV - A VII im Ambitzgi
- VIII-X : O VIII - O X im Oberhöfler Riet
- XI-XIII: F XI - F XIII im Frecht

Massstab 1:33'000; gezeichnet nach dem Blatt 1112 (Stäfa) der Eidg. Landestopographie.

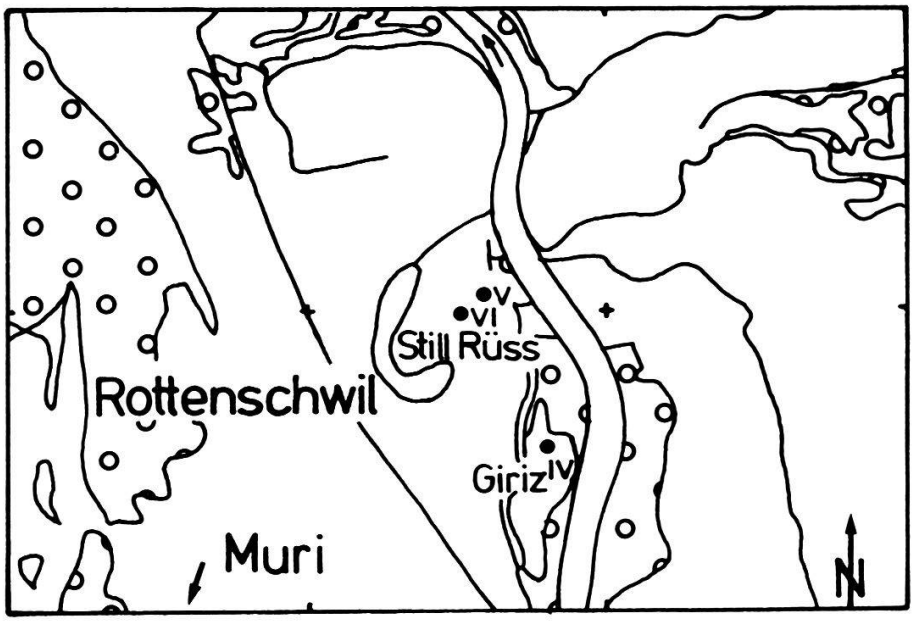


Fig. 4a. Transsekten bei Rottenschwil

● IV: R IV im Giriz
● V, VI: R V, R VI bei Still Rüss

Massstab 1:33'000, gezeichnet nach Blatt 1110 (Hitzkirch) der Eidgenössischen Landestopographie.

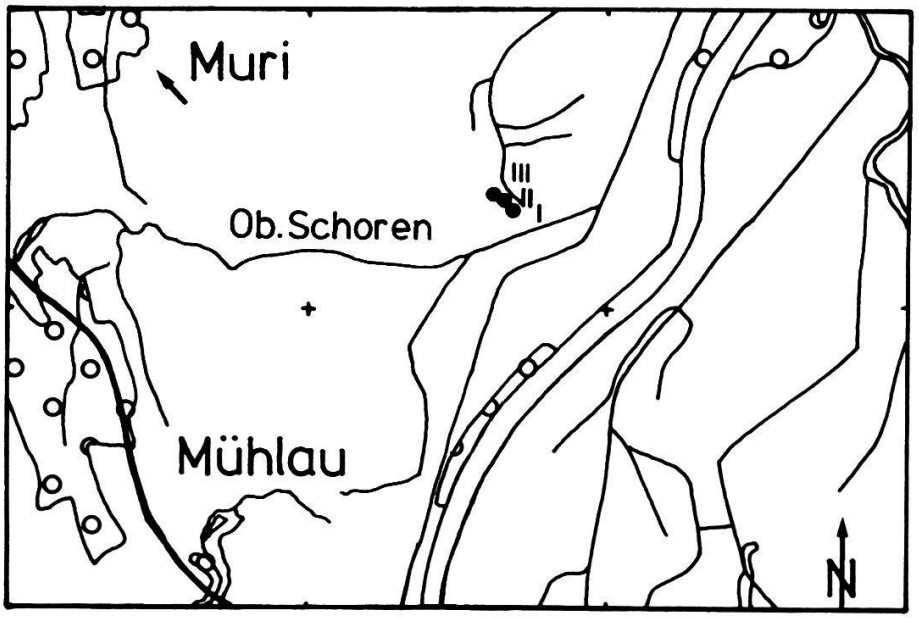


Fig. 4b. Transsekten bei Mühlau

● I - III: R I - R III im verlandeten Altlauf bei Ober Schoren.

Massstab 1:33'000, gezeichnet nach den Blättern 1110 (Hitzkirch) und 1111 (Albis) der Eidgenössischen Landestopographie (Wabern-Bern).

Tab. 1. Bezeichnungen und Koordinaten der untersuchten Transsekten

Nr.[a]	Flurname[b]	Koordinaten[c]	Richtung[d]
G I		696'005/242'505	300
G II	Hostig	696'030/242'560	290
G III		696'045/242'580	290
A IV		702'510/240'015	40
A V	Ambitzgi	702'700/240'050	110
A VI		702'800/240'175	200
A VII		702'765/240'200	120
O VIII		703'625/239'440	70
O IX	Oberhöfler Riet	703'925/239'380	240
O X		703'895/239'415	240
F XI		704'935/238'780	50
F XII	Frecht	705'360/238'625	40
F XIII		705'405/238'760	230
R I		672'680/232'380	230
R II	Schoren	672'630/232'340	-
R III		672'610/232'305	200
R IV	Giriz	670'805/240'540	170
R V	Still Rüss	670'595/241'090	210
R VI		670'555/241'055	210

a Der Buchstabe steht für das Gebiet (G = Greifensee, A = Ambitzgi, O = Oberhöfler Riet, F = Frecht, R = Reusstal; die Transsekten des Zürcher Oberlandes und des Reusstals sind je fortlaufend mit römischen Zahlen numeriert).

b Nach der Landeskarte der Eidgenössischen Landestopographie (Wabern/Bern), 1:25'000, Blätter Nr. 1092, 1110, 1112.

c Angabe für den ersten Punkt der Transsekte.

d Richtung vom ersten Punkt aus, in Grad (Norden = 360).

Die Drumlin-Landschaft bei Wetzikon wurde in das "Inventar der zu erhaltenden schweizerischen Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung" aufgenommen (KLN-Objekt Nr. 2.28); Ambitzgi und Oberhöfler Riet stehen durch Beschluss des Gemeinderates von Hinwil vom 7.11.1955 unter Schutz.

Im Aargauischen Reusstal bot sich die Gelegenheit, Uebergänge zu Ried-

flächen mit ganz unterschiedlichen Bodeneigenschaften zu untersuchen. Beim Ried von Mühlau (Schoren Nordwest) handelt es sich um einen erst in diesem Jahrhundert verlandeten Altlauf der Reuss. Dort wurden 3 Transsekten gelegt (R I - R III, s. Fig. 4a). Die Fettwiesen und Aecker liegen auf lehmigen Mineralböden, die von subrezenten Flussablagerungen stammen (HANTKE, 1967).

Die bei Rottenschwil gelegenen Rieder der Transsekten R IV bis R VI stocken auf den gleichen lehmigen Mineralböden wie die angrenzenden Fettwiesen; geologisch handelt es sich ebenfalls um subrezente Flussablagerungen (HANTKE, 1967). R IV liegt zwischen dem Altlauf und dem heutigen Flussbett der Reuss im "Giriz", R V und R VI sind zwei unmittelbar benachbarte Transsekten nahe der "Still Rüss" (Fig. 4 b).

Die Reusslandschaft von der Zuger Grenze bis zur Mündung in die Aare ist ebenfalls ins Inventar der zu erhaltenden Landschaften von nationaler Bedeutung aufgenommen worden (KLN-Objekt Nr. 2.35).

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 numeriert.

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 DICHTE (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 DICHTE (ϱ_a)

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 ($\emptyset > 4$ 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):

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

MITTLERER WASSERSAETTIGUNGSGRAD ($\overline{s_w}$)

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 Gewichtsdifferenz und dem Restgewicht der Wassergehalt (W_{TG}) pro Trockengewicht bestimmt. Mit den oben genannten Grössen konnte daraus der Wassersättigungsgrad wie folgt bestimmt werden:

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

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 CO_2 bestimmt.

PFLANZENVERFUEGBARER STICKSTOFF

In den Mischproben wurde der "Momentangehalt" an pflanzenverfügbarem

Nitrat (NO_3mom) und Ammonium (NH_4mom) bestimmt (s. unten). Die Summe von NO_3mom und NH_4mom 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):

$$N\ akk = N\ 6W - N\ mom.$$

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 % $KAl(SO_4)_2$-Lösung versetzt und während 30 min über Kopf geschüttelt. Dadurch wurden Bodenwasser und $KAl(SO_4)_2$-Lösung vollständig durchmischt und die im Bodenwasser gelösten oder schwach an Bodenteilchen adsorbierten (d. h. gegen K^+/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 Gewichtsdifferenz 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 % $KAl(SO_4)_2$ 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 NO_3-N) in 1 Liter dest. Wasser verwendet. (Korrekterweise hätte der Standard mit 1 % $KAl(SO_4)_2$ zubereitet werden müssen; Kontrollversuche ergaben aber, dass die Extinktion einer Standardprobe mit und ohne $KAl(SO_4)_2$ gleich war.) 2 ml davon wurden eingedampft, d. h. 0.01 mg NO_3-N. Diese NO_3-Menge entspricht einem Gehalt von 5.0 mg NO_3-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 NO_3-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 NO_3-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:

$$\boxed{NO_3\ \text{korr.} = \text{Ablesung} \cdot \frac{5}{\text{Einwaage} \cdot (1 - W)} \cdot \frac{50 + (\text{Einwaage} \cdot W)}{50}}$$

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 % $KAl(SO_4)_2$-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 % $KAl(SO_4)_2$ 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 NH_4-N aus der $KAl(SO_4)_2$-Lösung vermindert werden.

In reiner 1 % $KAl(SO_4)_2$-Lösung ist dieser Beitrag = k; in den durch Bodenwasser verdünnten Bodenextrakten beträgt er

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

W = g Wassergehalt pro g Frischgewicht.

Der aus dem Boden stammende Anteil an NH_4-N ist demnach:

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

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 NH_4-N-Gehalt lautet dann:

$$\boxed{NH_4\ korr. = (Ablesung - k^*) \cdot \frac{5}{Einwaage \cdot (1 - W)} \cdot \frac{50 + (Einwaage \cdot W)}{50}}$$

Einwaage in g Frischgewicht
W = g Wassergehalt pro g Frischgewicht

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

k = NH_4-N Ablesung für 2 ml 1% $KAl(SO_4)_2$

QUALITAET 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 $KAl(SO_4)_2$ an NH_4^+ in diesen Experimenten zusammenhängen (2.1 bzw. 2.2 mg NH_4-N pro 100 g trockenem Boden). Für das NO_3-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*
Nitrat-Bestimmung			
0.0 - 0.9	16	0.30	5.07 ± 0.42
1.0 - 2.9	16	0.66	4.96 ± 0.71
3.0 - 4.9	12	0.61	4.98 ± 0.81
5.0 - 8.9	13	0.55	5.10 ± 1.45
>9.0	10	1.30	5.18 ± 1.09
Ammonium-Bestimmung			
0.0 - 0.9	45	0.74	4.12 ± 0.94
1.0 - 2.9	22	0.90	4.55 ± 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 NO_3-N und NH_4-N zugegeben, das entspricht 5 mg NO_3-N und NH_4-N pro 100 g trockenem Boden. Die so behandelten Bodenproben wurden 1 - 2 Stunden stehengelassen und anschliessend wie üblich mit 1 % $KAl(SO_4)_2$ extrahiert und die NO_3^- und NH_4-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 Paralellen 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 gemahlenes 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 Destillations-Kolben 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:

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

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 Feuchtewert (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 1 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 Feuchtewert einer Vegetationsaufnahme lautet dann zum Beispiel:

$$mF = \frac{\Sigma n_i F_i}{\Sigma n_i}$$

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 m^2 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* durchsetzen, vernachlässigten Fettwiese auf 1 m^2 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 gemahlenen 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.)

D. VEGETATION

Einen Ueberblick über die Vegetationsaufnahmen der untersuchten Standorte gibt die Vegetationstabelle (s. Beilage). Die vorliegende Arbeit stellt zwar keine systematische pflanzensoziologische Untersuchung dar; dennoch wurde der Versuch unternommen, insbesondere die untersuchten Pufferzonen vom pflanzensoziologischen Gesichtspunkt aus zu ordnen. Die Vegetationstabelle soll deutlich machen, dass der Hochstaudensaum (*Valeriano-Filipenduletum*) eine Uebergangsgesellschaft ist, deren Artzusammensetzung bald mehr von der Fettwiese, bald mehr von den Riedwiesen her bestimmt sein kann. Die Aufnahmen wurden daher zunächst einer Vegetationseinheit zugeordnet und dann innerhalb der Einheit so aneinandergereiht, dass links die den Düngewiesen und rechts die den Riedwiesen näherstehenden Ausprägungen stehen. Um den Charakter der Uebergänge hervorzuheben, wurden viele Aufnahmen als Mischung von zwei Vegetationseinheiten dargestellt, wobei jeweils die dominierende Gesellschaft zuerst genannt wurde. Die Abfolge der Vegetationseinheiten entlang jeder Transsekte kann aus Fig. 5 - 19 (folgendes Kapitel) ersehen werden.

1. Intensiv-Grünland

Ausser den zwei *Triticum*-Aeckern (R III 1, R IV 1; abgekürzt mit K) gehörten alle untersuchten Aufnahmen im intensiv bewirtschafteten Grünland zu Fettwiesen, die während der Untersuchungsperiode durch dreimaligen Schnitt genutzt wurden. Sie können daher dem *Arrhenatheretum* (im Sinne von OBERDORFER, 1957; abgekürzt mit A) zugeordnet werden. Einige der Aufnahmen (links in der Tabelle) stehen allerdings dem *Lolio-Cynosuretum* (L) nahe (typische Arten: *Lolium perenne, Trifolium repens*), was darauf schliessen lässt, dass diese Flächen zeitweise beweidet worden sind.

2. Pufferzonen und Rieder

VALERIANO-FILIPENDULETUM MIT *CAREX ACUTIFORMIS* (Fac)

Der Aspekt der meisten hier untersuchten Pufferzonen wurde durch das Vorkommen von *Filipendula ulmaria* und *Lysimachia vulgaris* bestimmt. In einer ersten Gruppe davon war *Carex acutiformis* häufig (*Carex acutiformis*-Ausbildung des *Valeriano-Filipenduletum*, KLöTZLI 1969, dort weitere Literatur; hier abgekürzt mit Fac). Ein Blick auf die Vegetationstabelle zeigt, dass in den links aufgereihten Aufnahmen dieser Gruppe Fettwiesenarten (z. B. *Arrhenatherum elatius*, *Phleum pratense*, *Dactylis glomerata*) häufig sind und bei den weiter rechts stehenden kontinuierlich abnehmen, während gleichzeitig Arten häufiger werden, welche die Fettwiese meiden (*Potentilla erecta*, *Molinia coerulea*, *Betonica officinalis*, *Galium uliginosum*, *Angelica silvestris*). Nach der Häufigkeit des Vorkommens von *Arrhenatheretum*-Arten wurde die Gruppe Fac unterteilt in Einheiten A/Fac mit viel, Fac/A mit wenig und Fac mit keinen Fettwiesenarten.

Eine Besonderheit weist die Aufnahme 0 X 2 auf: Sie wird durch *Urtica dioeca* dominiert.

VALERIANO-FILIPENDULETUM MIT *IRIS SIBIRICA* (Fac*, Fa*)

Alle Aufnahmen mit *Iris sibirica* (gekennzeichnet durch *) stammen von ein und demselben Ort ("Still Rüss"bei Rottenschwil: Transsekten R V und R VI). Sie könnten nach PASSARGE (1964, zitiert in KLöTZLI, 1969) dem "*Irido-Filipenduletum*" zugeordnet werden, da der Aspekt der Vegetation, zumindest im Sommer, von den Schwertlilien bestimmt wurde. (Zusammen mit *Iris sibirica* kamen *Valeriana officinalis*, *Melilotus altissimus*, *Agrostis stolonifera*, *Rhinanthus minor* vor.) Hier soll aber ein anderer Gesichtspunkt betont werden: Die Aufnahmen R V 2 - R V 9 zeigen besonders deutlich die Umwandlung von einer Ausprägung des *Filipenduletum* in eine andere. Die Aufnahmen R V 2 - R V 6 können zur *Carex acutiformis*-Ausbildung (Fac*) gestellt werden; R V 2 enthält zudem eine Fettwiesenart (*Poa trivialis* und wurde daher zu Fac/A* gestellt. Bereits von R V 4 an kommt aber auch *Carex elata* vor und ersetzt in R V 8 und R V 9 *Carex acutiformis*. Diese Fixpunkte

wurden deshalb zur *Carex elata*-Ausbildung des *Valeriano-Filipenduletum* (KLöTZLI, 1969; hier abgekürzt mit Fe*) gestellt.

UEBERGAENGE ZUM *CARICETUM ELATAE* (Ce)

Die nächste Gruppe von Aufnahmen zeigt deutlicher, wie das *Valeriano-Filipenduletum* in ein *Caricetum elatae* (Ce) übergeht. In diesen Aufnahmen dominieren *Carex elata* und *Carex paradoxa*. Die ersten beiden Aufnahmen haben aber mit dem Vorkommen von *Filipendula ulmaria* noch Pufferzonen-Charakter (Fe/Ce). Bei der Aufnahme R II 1 (verlandeter Altlauf der Reuss bei Mühlau) überlagert das *Caricetum elatae* einen *Caricetum lasiocarpae*-Schwingrasen (Cl).

UEBERGAENGE ZUM *CARICETUM CANESCENTI-FUSCAE* (Cf)

Im Ambitzgi waren zwei Pufferzonen durch die Anwesenheit von *Carex fusca* (bei Abwesenheit von *Carex acutiformis* und *Carex Davalliana*) gekennzeichnet (A IV und A V). Die entsprechenden Aufnahmen lassen sich ebenfalls nach der Häufigkeit von Fettwiesenarten ordnen; allerdings sind hier Fettwiesenarten überall selten und *Molinion*-Arten häufig. Die Aufnahmen,mit F/Cf abgekürzt, leiten über zum *Caricetum canescenti-fuscae (Carici-Agrostietum* nach KLöTZLI, 1969), das bei A IV 6 noch schwach Pufferzonen-Charakter hat (Cf/F),bei O IX 6 eine typische Ausbildung annimmt (Cf) und bei O IX 7 ein *Rhynchosporetum albae* (Cf/R) überlagert.

MOLINIETUM-AEHNLICHE UEBERGAENGE (M)

In einigen Aufnahmen aus dem Pufferzonenbereich fehlt *Filipendula ulmaria* oder kommt nur spärlich vor. Diese Aufnahmen stehen pflanzensoziologisch in der Nähe des *Stachyo-Molinietum* (KLöTZLI, 1969; hier abgekürzt mit M). Fixpunkt R I 1 zeigt den Bestand eines *Molinietum*, das zeitweilig direkt gedüngt wurde und deshalb eine Reihe von Fettwiesenarten aufweist (A/M). Es fällt auf, dass die in der Tabelle daran anschliessenden Uebergangszonen, bei denen indirekte Düngewirkung anzunehmen ist, z. T. ganz ähnlich aussehen (A/M oder M/A). In den letzten zwei Aufnahmen (O VIII 3 und A VI 4) kommt *Carex acutiformis* vor, die in den Uebergangszonen häufig ist. Die Aufnahme A VI 4 enthält ausserdem *Sphagnen* und *Calluna vulgaris;*

sie wird nach KLöTZLI (1969) zum *Junco-Molinietum* (JM) gestellt.

UEBERGAENGE ZUM *PRIMULO-SCHOENETUM* (S)

Am Greifensee wurden Uebergänge zum *Primulo-Schoenetum* (S) untersucht. Es zeigte sich, dass Pufferzone und Ried in diesem Fall recht scharf getrennt sind. So wies der Fixpunkt G III 4 neben *Filipendula ulmaria* erst einzelne Individuen von *Schoenus ferrugineus* auf (F/S). Im 5 m weiter riedeinwärts liegenden Fixpunkt G III 5 dominierte bereits *Schoenus*, und als einzige Pufferzonen-Art kam hier noch *Lysimachia vulgaris* in geringer Anzahl vor.

UEBERGAENGE ZUM *CARICETUM DAVALLIANAE* (Cd)

Eine letzte Gruppe von Hochstaudensäumen zeigte Beziehungen zum *Caricetum davallianae* (Cd). Neben *Filipendula ulmaria* und *Lysimachia vulgaris* enthielten sie *Carex Davalliana*. Hier ergab sich ein fliessender Uebergang von Hochstaudensäumen, die zum Teil noch einige Fettwiesenarten enthielten (F/A) zu Mischformen mit *Caricetum davallianae* (F/Cd bzw. Cd/F) und schliesslich zu reinen Davallseggenriedern ohne *Filipendula ulmaria* oder *Lysimachia vulgaris* (Cd). Arten wie *Ranunculus flammula* oder *Trichophorum alpinum*, aber auch *Carex fusca*, kamen hier erst in den Fixpunkten mit wenig Pufferzonen-Arten vor.

E. STANDORTSFAKTOREN

1. Charakterisierung der Transsekten (unter Ausschluss des Stickstoff-Faktors)

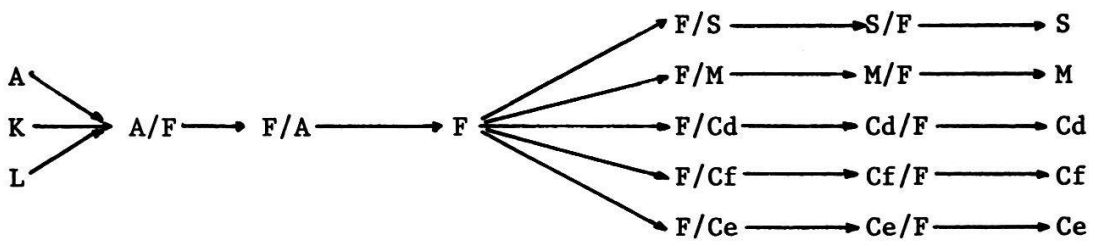
Bevor die Stickstoffverhältnisse in Boden und Pflanzen entlang der einzelnen Transsekten dargestellt werden, soll ein Ueberblick über Vegetation, Bewirtschaftung und Bodeneigenschaften gegeben werden (Fig. 5 - 19). Jede Figur enthält auf 5 Diagrammen die Charakteristika einer Transsekte oder von zwei (G II & G III; R V & R VI) bzw. drei (R I - R III) direkt zu vergleichenden Transsekten.

Im folgenden wird für jeden dargestellten Faktor besprochen, welche Tendenzen sich im allgemeinen entlang den Transsekten zeigen, und welche Besonderheiten bei einzelnen Punkten beachtenswert sind.

UEBERSICHT UEBER VEGETATION, BODENTYP UND BEWIRTSCHAFTUNG (DIAGRAMME A)

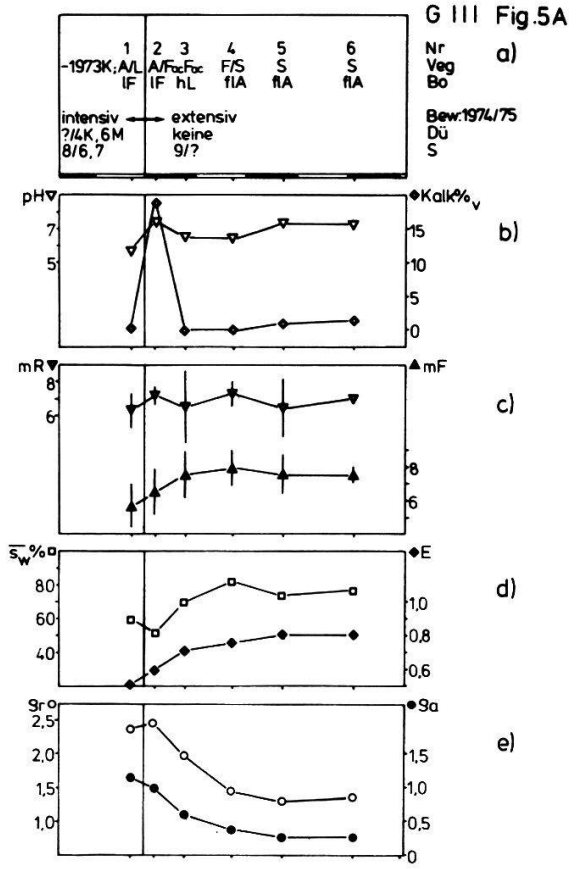
Vegetationseinheiten: Die Vegetation wurde im vorangegangenen Kapitel im Detail besprochen; um einen Ueberblick über den pflanzensoziologischen Aspekt der Transsekten zu geben, werden hier die den einzelnen Fixpunkten aufgrund der Vegetationsaufnahmen zugeteilten Vegetationseinheiten nochmals dargestellt.

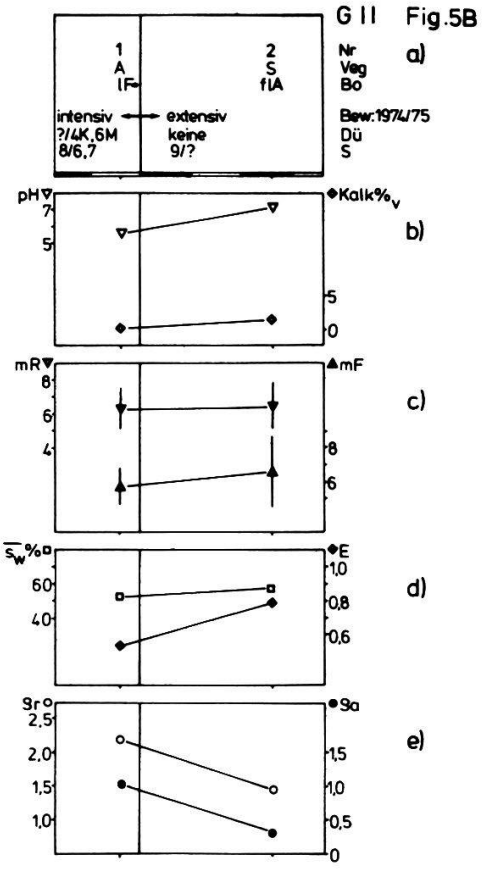
Die typische Abfolge der Assoziationen vom nährstoffreichen, gedüngten Anfang zum nährstoffarmen Ende der Transsekte sieht wie folgt aus:



(Abkürzungen: s. Fig. 5 - 19.)

Die untersuchten Fixpunkte entlang einer Transsekte enthalten meistens nur einen Ausschnitt der Sequenz.





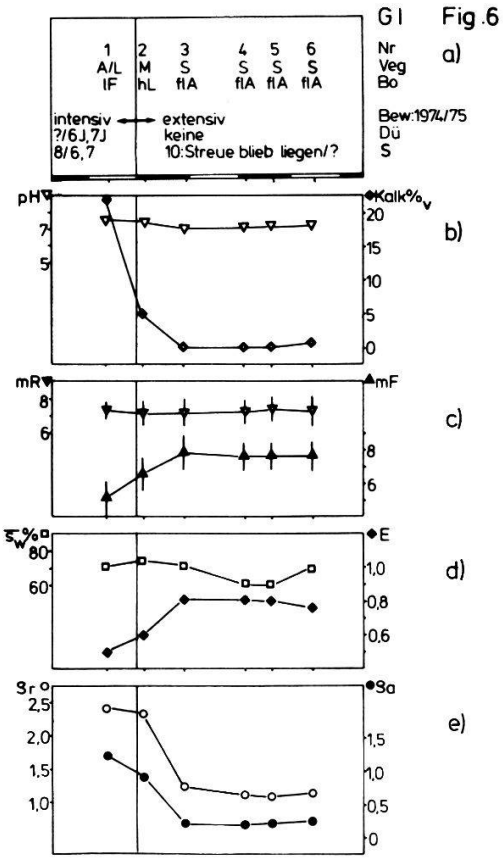


Fig.5-19: Charakteristika der Transsekten (ohne Stickstoff)

G I, G II, ... etc = Bezeichnung der Transsekten

a) Nr: Numerierung der Fixpunkte

Veg: Vegetationseinheit

- A Arrhenatheretum (s.l.)
- Cd Caricetum davallianae (s.l.)
- Ce Caricetum elatae
- Cf Caricetum canescenti-fuscae (s.l.)
- Cl Caricetum lasiocarpae (s.l.)
- F Valeriano-Filipenduletum
- Fac " " -Carex acutiformis-Ausbildung
- Fe " " -Carex elata-Ausbildung
- F* " " -Iris sibirica-reiche Ausbildung
- JMac Junco-Molinietum, Carex acutiformis-reich
- K Äcker
- L Lolio-Cynosuretum
- M Stachyo-Molinietum
- R Rhynchosporetum albae
- S Primulo-Schoenetum

Bo: Bodentyp im Hauptwurzelhorizont

- L = Lehm, l = lehmig
- M = Mull, m = mullig
- H = Humus, h = humos
- F = Feinsand, f = feinsandig
- A = Anmoor, a = anmoorig
- T = Torf, t = torfig

Bew: Bewirtschaftung

- 1-12 = Januar-Dezember
- vor Schrägstrich = 1974/nach Schrägstrich = 1975
- Dü = Düngung (J = Jauche, M = Mist, K = Kunstdünger, KS = Klärschlamm)
- S = Schnitt

Massstab: 0 5 10 m

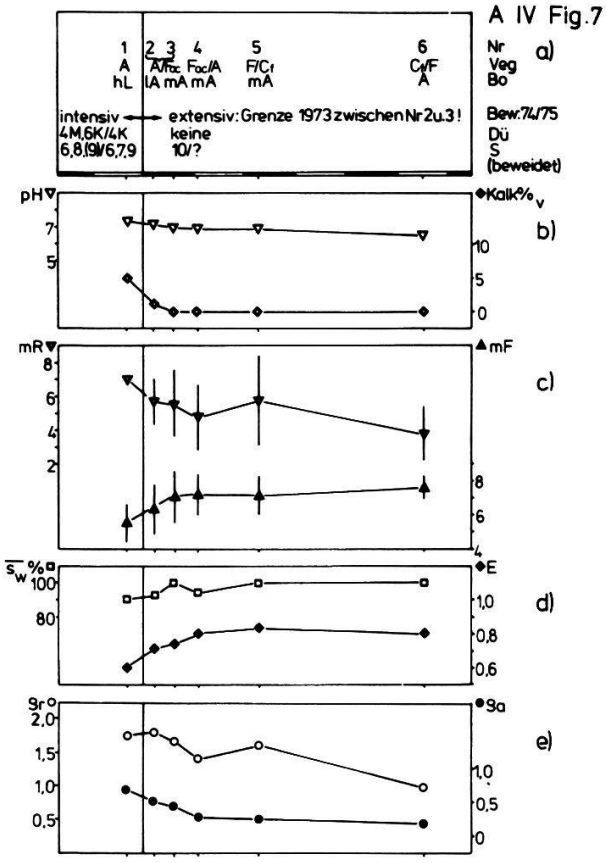
b) ▽ Bodenreaktion (pH, in wässriger Suspension)
◆ Kalkgehalt (in Volumenprozent)

c) ▼ mR = mittlerer Reaktionswert
▲ mF = mittlerer Feuchtewert

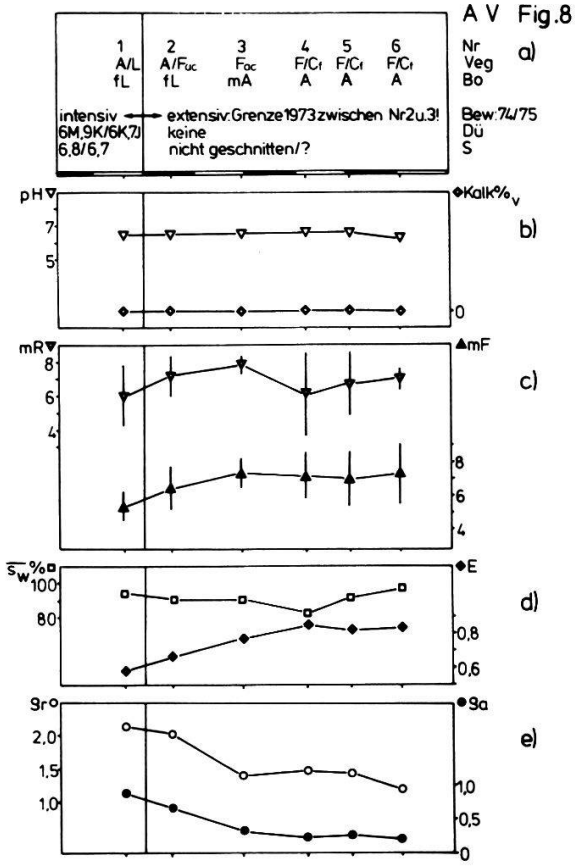
d) □ $\bar{s}_w$% = mittlerer Wassersättigungsgrad (in % des Porenvolumens)
◆ E = Porosität (Porenvolumen pro Bodenvolumen, $0 < E < 1$)

e) ○ ϱ_r = reelle Dichte in g/ml
● ϱ_a = apparente Dichte in g/ml

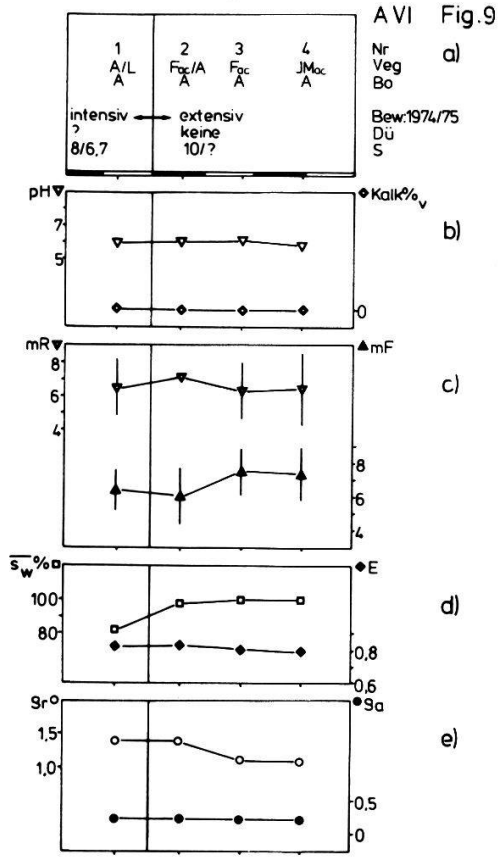
A IV Fig.7



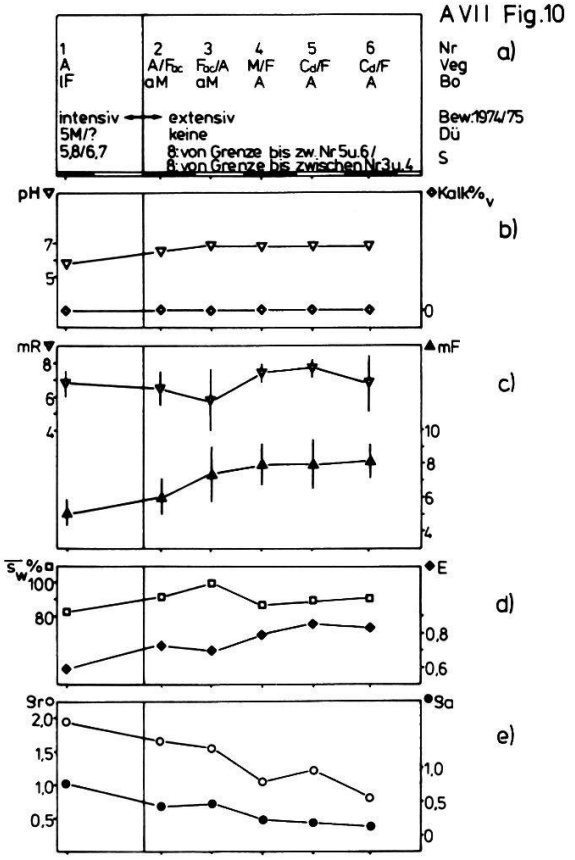
A V Fig.8

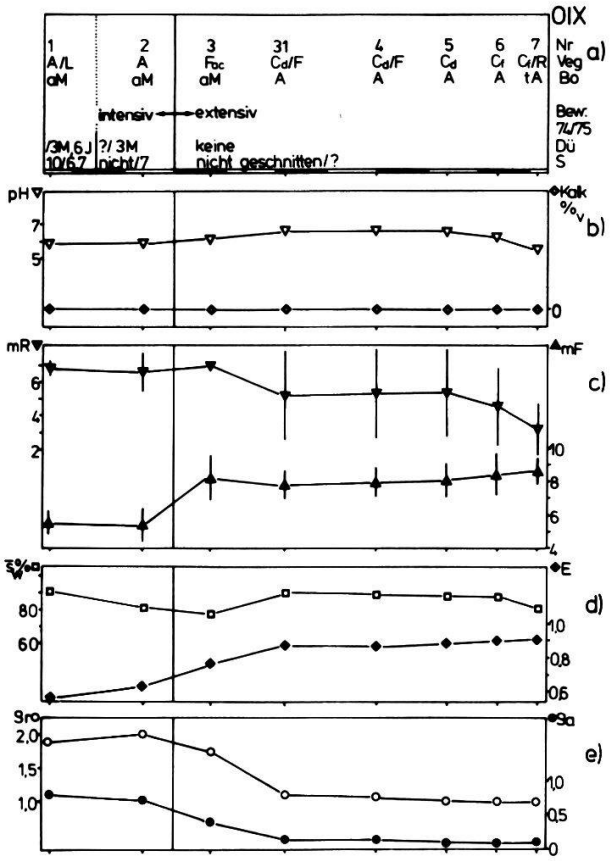


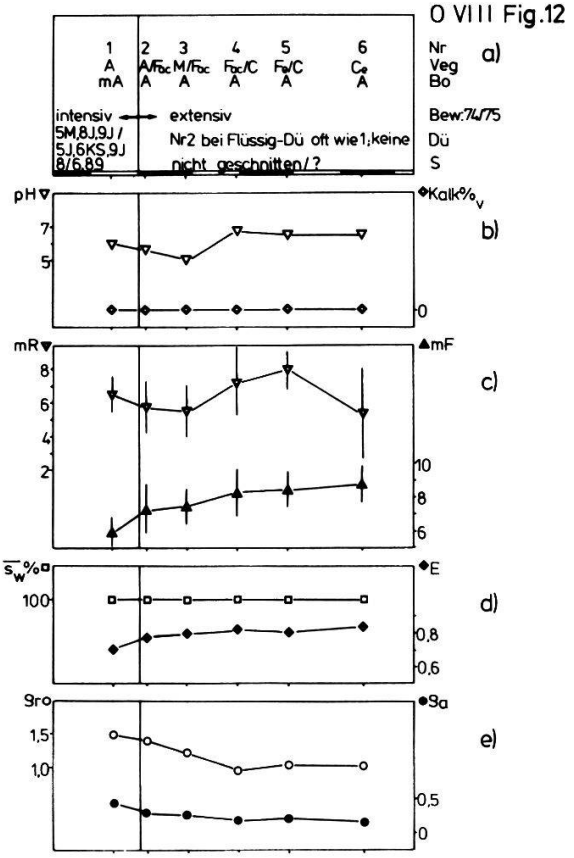
A VI Fig.9

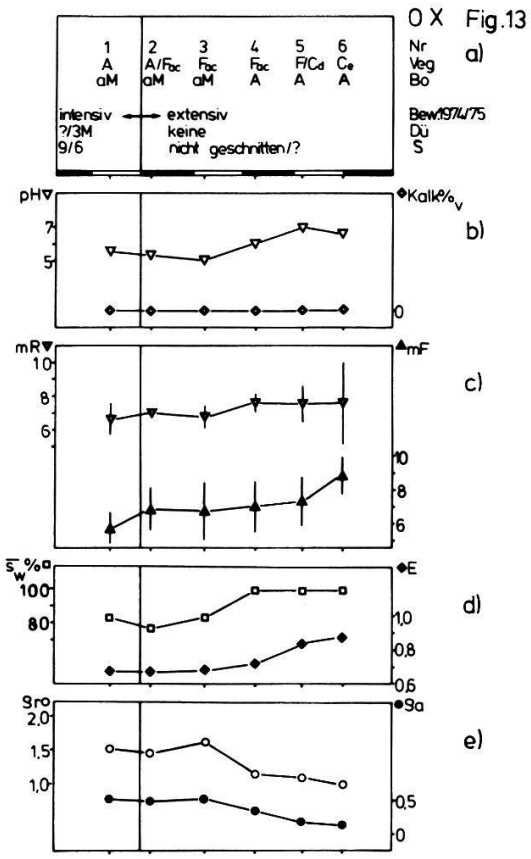


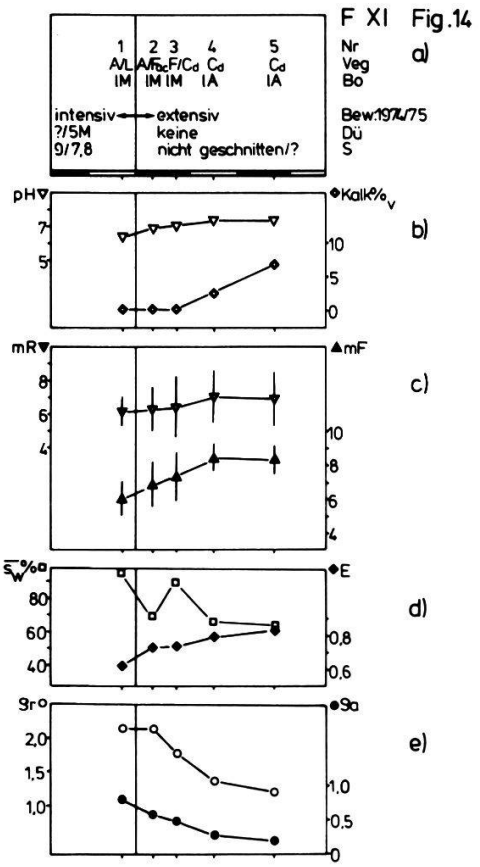
A VII Fig.10




OIX
Fig.11
1 A/L aM
2 A aM
3 Fac aM
31 Cd/F A
4 Cd/F A
5 Cd A
6 Cr A
7 Cr/R tA
Nr Veg Bo
a)
intensiv ← → extensiv
Bew. 74/75
Dü
S
/3M,6J 10/6,7
?/3M nicht/7
keine nicht geschnitten/?
pH
Kalk %v
b)
mR
mF
c)
s̄w%
E
d)
Sro
Sa
e)


O VIII
Fig.12
1 A mA
2 A/Fac A
3 M/Fac A
4 Fac/C A
5 Fe/C A
6 Ce A
Nr Veg Bo
a)
intensiv ← → extensiv
Bew.74/75
Dü
S
5M,8J,9J / 5J,6KS,9J 8/6,8,9
Nr2 bei Flüssig-Dü oft wie1;keine nicht geschnitten/?
pH
Kalk%v
b)
mR
mF
c)
s̄w%
E
d)
Sro
Sa
e)


O X
Fig.13
1 A aM
2 A/Fac aM
3 Fac aM
4 Fac A
5 F/Cd A
6 Ce A
Nr Veg Bo
a)
intensiv ← → extensiv
Bew.19/74/75
Dü
S
?/3M 9/6
keine nicht geschnitten/?
pH
Kalk%v
b)
mR
mF
c)
s̄w%
E
d)
Sro
Sa
e)



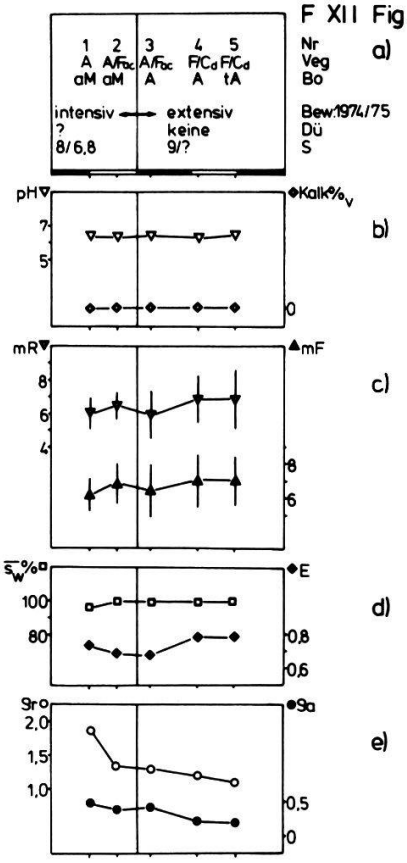


Fig.5-19: Charakteristika der Transsekten (ohne Stickstoff)

G I, G II, ... etc = Bezeichnung der Transsekten

a) Nr: Numerierung der Fixpunkte

Veg: Vegetationseinheit

A	Arrhenatheretum (s.l.)	
Cd	Caricetum davallianae (s.l.)	
Ce	Caricetum elatae	
Cf	Caricetum canescenti-fuscae (s.l.)	
Ci	Caricetum lasiocarpae (s.l.)	
F	Valeriano-Filipenduletum	
Foc	" "	-Carex acutiformis-Ausbildung
Fe	" "	-Carex elata-Ausbildung
F*	" "	-Iris sibirica-reiche Ausbildung
JMac	Junco-Molinietum, Carex acutiformis-reich	
K	Äcker	
L	Lolio-Cynosuretum	
M	Stachyo-Molinietum	
R	Rhynchosporetum albae	
S	Primulo-Schoenetum	

Bo: Bodentyp im Hauptwurzelhorizont

L = Lehm, l = lehmig
M = Mull, m = mullig
H = Humus, h = humos
F = Feinsand, f = feinsandig
A = Anmoor, a = anmoorig
T = Torf, t = torfig

Bew: Bewirtschaftung

1-12 = Januar-Dezember
vor Schrägstrich = 1974/nach Schrägstrich = 1975
Dü = Düngung (J = Jauche, M = Mist, K = Kunstdünger, KS = Klärschlamm)
S = Schnitt

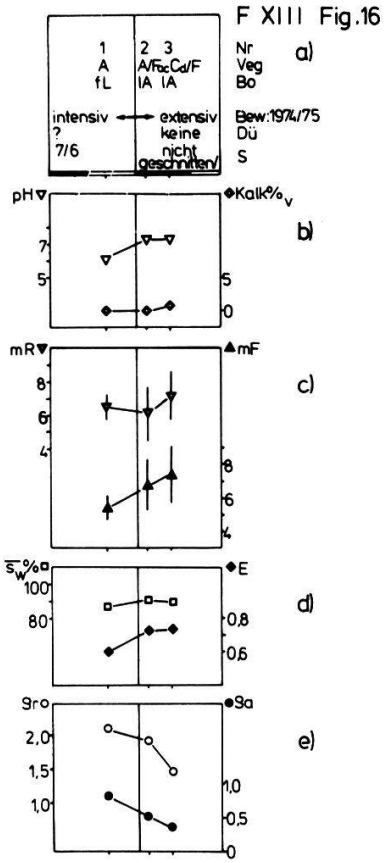
Massstab: 0 5 10 m

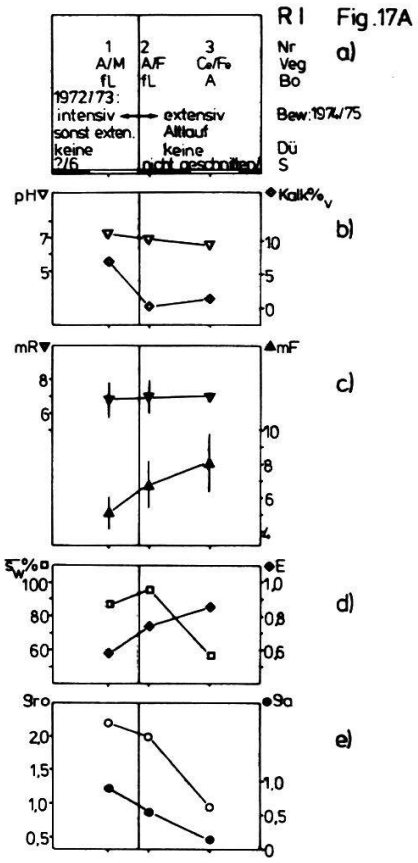
b) ▽ Bodenreaktion (pH, in wässriger Suspension)
◆ Kalkgehalt (in Volumenprozent)

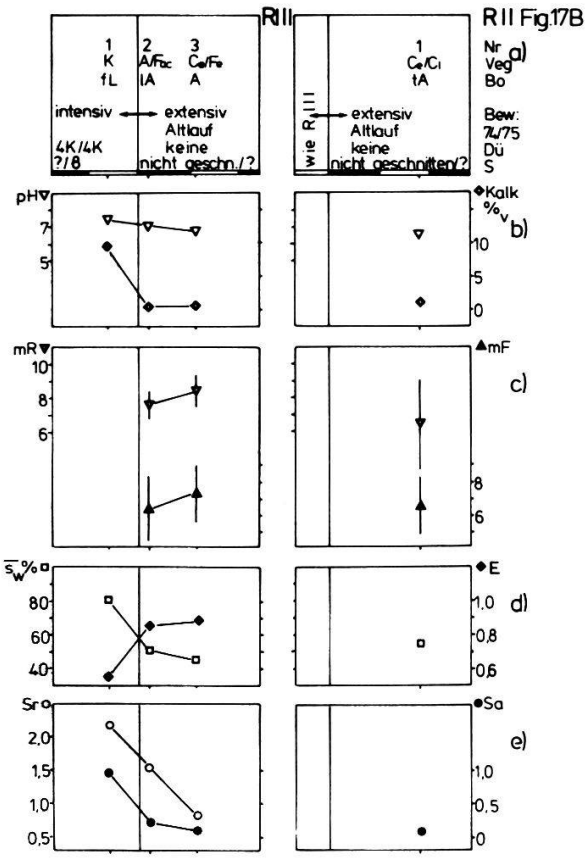
c) ▼ mR = mittlerer Reaktionswert
▲ mF = mittlerer Feuchtewert

d) ▫ $\overline{S_w}$% = mittlerer Wassersättigungsgrad (in % des Porenvolumens)
◆ E = Porosität (Porenvolumen pro Bodenvolumen, 0<E<1)

e) ○ γ_r = reelle Dichte in g/ml
● γ_a = apparente Dichte in g/ml







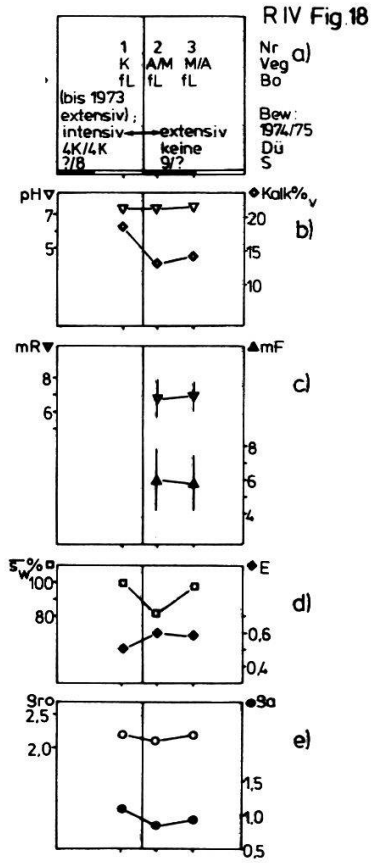


Fig.5-19: Charakteristika der Transsekten (ohne Stickstoff)

G I, G II, ... etc = Bezeichnung der Transsekten

a) Nr: Numerierung der Fixpunkte

Veg: Vegetationseinheit

- A Arrhenatheretum (s.l.)
- Cd Caricetum davallianae (s.l.)
- Ce Caricetum elatae
- Cf Caricetum canescenti-fuscae (s.l.)
- Ci Caricetum lasiocarpae (s.l.)
- F Valeriano-Filipenduletum
- Fac " " -Carex acutiformis-Ausbildung
- Fe " " -Carex elata-Ausbildung
- F* " " -Iris sibirica-reiche Ausbildung
- JMac Junco-Molinietum, Carex acutiformis-reich
- K Äcker
- L Lolio-Cynosuretum
- M Stachyo-Molinietum
- R Rhynchosporetum albae
- S Primulo-Schoenetum

Bo: Bodentyp im Hauptwurzelhorizont

- L = Lehm, l = lehmig
- M = Mull, m = mullig
- H = Humus, h = humos
- F = Feinsand, f = feinsandig
- A = Anmoor, a = anmoorig
- T = Torf, t = torfig

Bew: Bewirtschaftung

- 1-12 = Januar-Dezember
- vor Schrägstrich = 1974/nach Schrägstrich = 1975
- Dü = Düngung (J = Jauche, M = Mist, K = Kunstdünger, KS = Klärschlamm)
- S = Schnitt

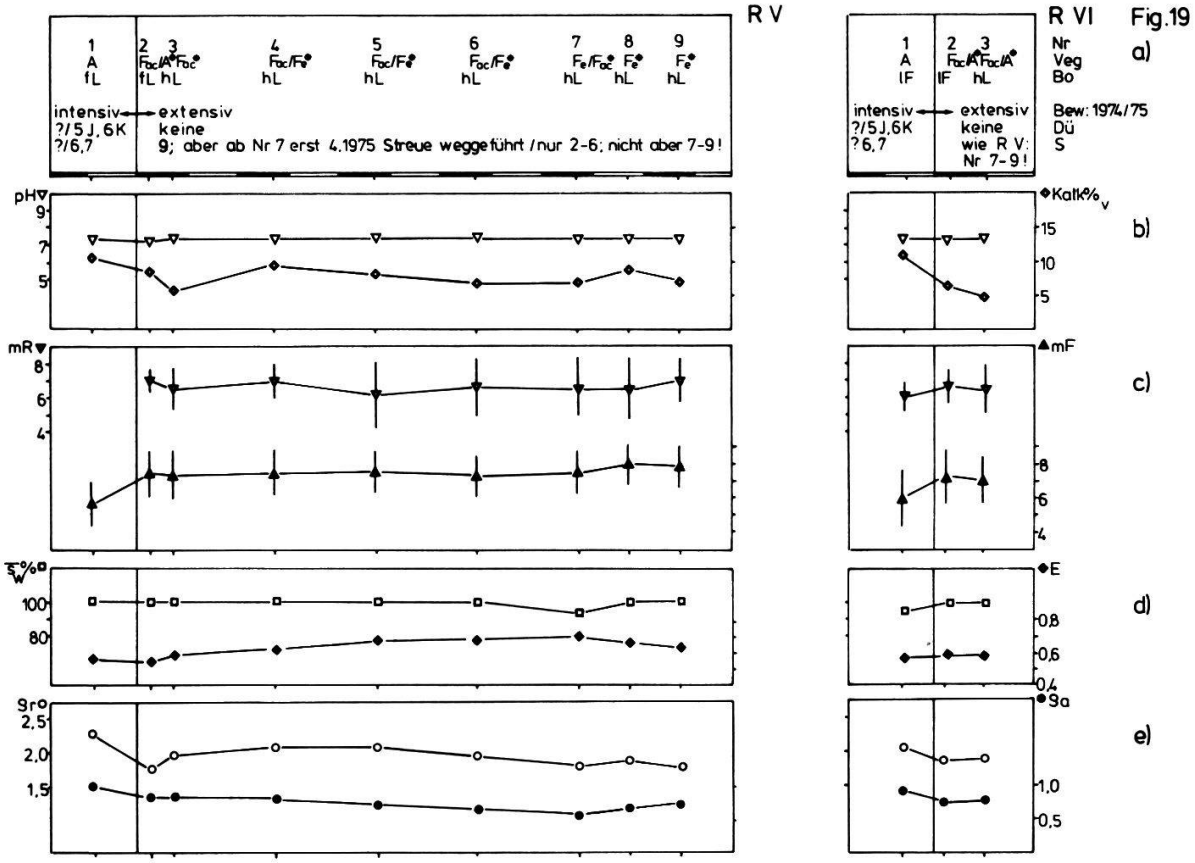
Massstab: 0 5 10 m

b) ▽ Bodenreaktion (pH, in wässriger Suspension)
◆ Kalkgehalt (in Volumenprozent)

c) ▼ mR = mittlerer Reaktionswert
▲ mF = mittlerer Feuchtewert

d) ▫ $\bar{S}_w$% = mittlerer Wassersättigungsgrad (in % des Porenvolumens)
◆ E = Porosität (Porenvolumen pro Bodenvolumen, $0<E<1$)

e) ○ g_r = reelle Dichte in g/ml
● g_a = apparente Dichte in g/ml



Bodentyp: Das intensiv bewirtschaftete Grünland stockt meist auf mineralischen, vorwiegend lehmigen Böden, ebenso die ersten paar Meter der Uebergangszone; zwei Fettwiesen, nämlich A VI 1 und O VIII 1,befinden sich auf organischen Böden. Im Zürcher Oberland folgen organische, typische Riedböden; es handelt sich durchwegs um Anmoor über Niedermoortorf. Im Bereich der Fettwiesen bei G I - G III und A IV liegen, wie bereits erwähnt, kies- und schotterreiche Aufschüttungen vor.

Im Reusstal liegen die Rieder von R I - R III auf anmoorigen Böden, während sie bei R IV - R VI auf lehmigen Alluvialböden stocken, die sich nicht wesentlich von den Böden der angrenzenden Fettwiesen unterscheiden.

Bewirtschaftung: Während der Dauer der regelmässigen Bodenprobenentnahme (Herbst 1974 - Herbst 1975) wurden Notizen zur Bewirtschaftung (Düngung, Schnitt) gemacht. Die Angaben beruhen zum grössten Teil auf eigenen Beobachtungen, da die meisten der befragten Bauern keine genaue Auskunft über die Bewirtschaftung ihrer Flächen geben konnten oder wollten. Auch dort, wo Düngung nicht beobachtet wurde und deshalb Angaben darüber fehlen, dürfte die Fettwiese mindestens zweimal gedüngt worden sein. Wahrscheinlich

wurde dort Kunstdünger oder Jauche ausgebracht. Spuren dieser Dünger sind nach Niederschlägen bald nicht mehr sichtbar.

Wo mir bekannt wurde, dass Schnitt oder Wegfuhr der Streue im Jahr 1973 ausblieben, ist dies ebenfalls angegeben.

BODENREAKTION (pH) UND KALKGEHALT (DIAGRAMME b): Die Bodenreaktion wurde nach jeder Bodenprobenentnahme, d.h. zu fünf verschiedenen, gleichmässig über die Vegetationsperiode verteilten Zeiten, bestimmt. In den Diagrammen 5 b - 19 b wurde der Mittelwert aus den 5 Messungen aufgezeichnet; dessen Streuung betrug pro Fixpunkt maximal $\pm$ 0.4.

Die Bodenreaktion war meist annähernd neutral (Mittelwert aller Fixpunkte 6.7, Standardabweichung davon 0.6). Wie aus der kleinen Standardabweichung hervorgeht, veränderte sich der pH-Wert entlang den Transsekten im allgemeinen nur wenig; grössere Unterschiede zeigten sich nur zwischen verschiedenen Transsekten.

Als Mass für den Kalkgehalt wurde der Karbonat-Gehalt angegeben. Auch er wurde periodisch (insgesamt fünfmal) gemessen, jedoch nur der Mittelwert aufgezeichnet.

Die Böden aus dem Reusstal (ausser den organischen im Altlauf bei Schoren) wiesen durchwegs hohe Kalkgehalte auf. Im Zürcher Oberland war natürlicher Kalkgehalt nur bei F XI 4 und F XI 5 messbar, doch dürfte überall gerade genügend Karbonat aus dem Muttergestein im Grundwasser vorhanden sein, um die Böden zu puffern. Die hohen Kalkgehalte der Böden von G I - G III und von A IV sind den kalkhaltigen Aufschüttungen zuzuschreiben.

Betrachten wir nun die Pufferzonen bei den hier untersuchten Transsekten: Im Reusstal wiesen R V und R VI über den Verlauf der ganzen Transsekte die höchsten beobachteten pH-Werte (7.3 - 7.4) und Kalkgehalte von über 5 Vol. % auf. *Iris sibirica*, eine kalkliebende Pflanze (KLÖTZLI, 1969; ELLENBERG,1974) kam hier vor und hätte zur assoziationsprägenden Art gewählt werden können (*Irido-Filipenduletum* im Sinne von PASSARGE, 1964). Hier wurde aber der Pufferzonen-Charakter hervorgehoben und die Gesellschaft der *Carex acutiformis*-Ausbildung des *Valeriano-Filipenduletum* zugeordnet. Die tiefsten pH-Werte dieser Untersuchung wurden in den Uebergangszonen von O VIII und O X gemessen: Die Bodenreaktion lag in der entsprechenden

Fettwiese bei 5.5 - 6.0, sank bei den Fixpunkten O VIII 3 und O X 3 auf 5.0 bzw. 5.1 und stieg an den beiden Orten gegen das Riedinnere, wo sich ein *Caricetum elatae* mit starkem Grundwasser-Einfluss befindet, wieder auf 6.5 an. Fixpunkt O X 3 trägt eine typische *Carex acutiformis*-Ausbildung des *Valeriano-Filipenduletum*, O VIII 3 weist ebenfalls *Filipendula ulmaria* und *Carex acutiformis* auf, doch dominiert hier *Molinia coerulea* (Deckungsgrad 4).

MITTLERER REAKTIONS- UND FEUCHTEWERT (DIAGRAMME c): Diese gemäss den Angaben von ELLENBERG (1974) anhand der Vegetationsaufnahmen ausgerechneten Mittelwerte wurden hier zum direkten Vergleich mit Bodenreaktion/Kalkgehalt (Diagramme b) bzw. mit Porosität/Wassersättigung (Diagramme d) angeführt. Die aufgezeichnete Streuung zeigt den Schwankungsbereich der Zeigerwerte der einzelnen Arten eines Fixpunktes.

Mittlerer Reaktionswert (mR): Die mittleren Reaktionswerte liegen grösstenteils zwischen 6 und 7 (Mittelwert aus allen Fixpunkten 6.5, Standardabweichung 0.8), d. h. sie zeigen nach der 10-teiligen Skala von ELLENBERG (1974) "schwach saure bis schwach basische Böden" an, was gut mit der durchschnittlichen Bodenreaktion (Mittelwert 6.7, s. oben) übereinstimmt; auch entlang den einzelnen Transsekten zeigen mR- und pH-Werte übereinstimmende Tendenzen. Zu beachten ist allerdings die häufig sehr grosse Streuung der mR-Werte, d. h. die stark unterschiedlichen Zeigerwerte der einzelnen Arten einer Vegetationsaufnahme.

Mehr als der Hälfte der untersuchten Gefässpflanzen schreibt ELLENBERG (1974) eine Reaktionszahl "x" zu, d. h. "indifferentes Verhalten oder ungleiches Verhalten in verschiedenen Gebieten". Diese Pflanzen wurden bei der Berechnung von mR nicht berücksichtigt; der mR-Wert basiert also nur auf einem Teil der vorkommenden Arten.

Mittlerer Feuchtewert (mF): Der mF-Wert lag bei den untersuchten Fettwiesen zwischen 5 und 6. Schon beim ersten oder doch beim zweiten Fixpunkt nach der Bewirtschaftungsgrenze lag der mF-Wert 1 - 3 Einheiten höher (mF = 7 - 9) und stieg dann gegen das Riedinnere nur noch wenig (ausser beim Uebergang von einem *Caricetum davallianae* in ein *Caricetum elatae* von

Fixpunkt O X 5 zu O X 6). Nach der für Landpflanzen 9-teiligen Skala von ELLENBERG (1974) bedeuten dabei 5 = Frischezeiger (mittelfeuchte Böden, auf nassen und öfter austrocknenden Böden fehlend); 7 = Feuchtezeiger (gutdurchfeuchtete, nicht nasse Böden); 9 = Nässezeiger (oft durchnässte, luftarme Böden). Bei der Transsekte A VI sind ausnahmsweise der mF-Wert der Fettwiese (*Arrhenatheretum* auf Anmoor) und des ersten Fixpunktes in der Pufferzone (*Valeriano-Filipenduletum* mit *Carex acutiformis* und Fettwiesenarten) praktisch gleich; hier erfolgt der Anstieg erst beim zweiten Fixpunkt in der Pufferzone.

Ein Vergleich mit den Diagrammen d zeigt, dass mF parallel zur Porosität E verläuft. Da der Wassersättigungsgrad $\overline{s_w}$ entlang den Transsekten im allgemeinen konstant bleibt oder leicht ansteigt (s. unten), ist der mF-Wert auch mit $E \cdot \overline{s_w}$, dem Wassergehalt in Volumenprozent korreliert.

POROSITAET UND MITTLERER WASSERSAETTIGUNGSGRAD (DIAGRAMME d):

Porosität (E): Wie schon im vorigen Abschnitt kurz erwähnt, nimmt die Porosität E unmittelbar nach der Bewirtschaftungsgrenze im allgemeinen stark zu (1. u.evtl. 2. Fixpunkt der Pufferzone) und bleibt dann etwa konstant. In den Mineralböden der Fettwiesen und auch in den mineralisch-lehmigen Riedböden im Reusstal (R IV - R VI) beträgt E 0.50 - 0.60. In den organischen Riedböden dagegen hat E einen Wert von 0.75 - 0.90; dies trifft auch dort zu, wo auf den organischen Böden eine Fettwiese liegt (A VI 1, O VIII 1).

Mittlerer Wassersättigungsgrad ($\overline{s_w}$): Der Wassersättigungsgrad ist ein Mass dafür, wieviel % des Porenvolumens mit Wasser gefüllt sind. $\overline{s_w}$ (Durchschnitt aus 5 Bestimmungen) betrug an allen Fixpunkten 50 - 110 % (mit Streuungen pro Fixpunkt von 5 - 20 %); die Böden waren also während der Vegetationsperiode frisch bis nass.

Leider erwies sich die Berechnung des mittleren Wassersättigungsgrades als wenig geeignet zur Bestimmung des Wasserangebots in den Böden. Zwar blieb der berechnete $\overline{s_w}$-Wert entlang den meisten Transsekten etwa konstant oder nahm zu, wie es zu erwarten war. Aber es zeigte sich, dass die Art der Bestimmung des Wassergehaltes in gesiebten Mischproben und Umrechnung auf das Porenvolumen mittels Multiplikation mit der apparenten Dichte S_a

von Stechzylinderproben (s. Methoden) bei den typischen Riedböden manchmal unzuverlässig war: Ueberall dort, wo beim Sieben ein beträchtlicher Teil des natürlichen Bodenvolumens als Wurzelmaterial ausgeschieden wurde - wie dies bei den extrem nassen Riedböden der Fall war - waren Misch- und Stechzylinderproben nicht direkt vergleichbar, und die Berechnung ergab daher zu tiefe Werte für $\overline{s_w}$. So sind in den Böden der nässesten Rieder (R I 3, R II 1 und R III 3) $\overline{s_w}$-Werte von nahezu 100 % zu erwarten; die errechneten Werte betrugen aber nur 50 - 60 % ! Auch die Abnahme der $\overline{s_w}$-Werte gegen das Riedinnere bei F XI entspricht nicht der Wirklichkeit; das dortige Davallseggenried liegt auf einem meist durchnässten Boden. Für die übrigen Fixpunkte in Pufferzone und Ried lieferte die Berechnung von $\overline{s_w}$ Werte von 70 - 100 %. Dies kann zwar nicht als eine exakte Bestimmung des Wassersättigungsgrades, aber doch als ein Hinweis dafür gewertet werden, dass die Multiplikation von Messwerten aus Mischproben mit dem γ_a von Stechzylinderproben sinnvolle Werte ergibt.

REELLE UND APPARENTE DICHTE (DIAGRAMME e)

Reelle Dichte (γ_r): Die reelle Dichte ist die mittlere spezifische Dichte der Bodenteilchen (ohne Poren). Sie läuft, wie es zu erwarten ist, ungefähr spiegelverkehrt zur Porosität. Sie ist in den Böden des intensiv genutzten Grünlands hoch, nimmt von der Bewirtschaftungsgrenze über die Pufferzone gegen das Ried stark ab und bleibt im Riedinnern etwa konstant. In den mineralischen Böden (die meisten Fettwiesen und alle Böden der Transsekten R IV - R VI) beträgt γ_r = 2.5 - 1.8; in den organischen Böden (meiste Riedflächen, dazu auch die Fettwiesen A VI 1 und O VIII 1) ist γ_r = 1.4 - 0.8.

Apparente Dichte (γ_a): Wie γ_r zeigt auch die apparente Dichte hauptsächlich den Unterschied von mineralischen und organischen Böden: Die γ_a-Werte betragen in mineralischen Böden 1.2 - 0.8 und in organischen Böden 0.4 - 0.1. Innerhalb der Transsekten nimmt γ_a ungefähr parallel zu γ_r ab.

Besonders wichtig ist die apparente Dichte (γ_a) für die Umrechnung der Stickstoffmessgrössen (s. folgende Kapitel), die zunächst pro Trockengewicht bestimmt wurden. Da das γ_a organischer Böden zwischen 0.1 und 0.5g/ml,

dasjenige von mineralischen Böden dagegen zwischen 0.5 und 1.5 g/ml liegt, ergibt sich bei Bezug auf das Trockengewicht ein falsches Bild, d. h. die Stickstoff-Werte der leichten organischen Böden liegen im Vergleich zu den schweren mineralischen zu hoch. Zum besseren Vergleich des Stickstoffangebots mussten die Ergebnisse daher durch Multiplikation mit γ_a von Gewichts- auf Volumeneinheiten umgerechnet werden. Wie bei der Diskussion von $\overline{s_w}$ weiter oben beschrieben, liefert diese Berechnung mit wenigen Ausnahmen sinnvolle Werte.

Es ist zu beachten, dass die Messgrössen γ_r und γ_a (und ebenso die Porosität E) nicht nur durch den Bodentyp (organisch resp. mineralisch), sondern auch durch die Vegetation bestimmt werden, da das Wurzelmaterial in die Bestimmungen mit eingeschlossen wird. Dass γ_r und γ_a parallel zum allmählichen Uebergang von Pufferzonen- zu Riedvegetation abnehmen, bedeutet, dass die nicht mineralisierten, locker gelagerten organischen Bestandteile (inklusive lebende Wurzeln) zunehmen. Dies kann als Indiz dafür gewertet werden, dass das Nährstoffangebot für Pflanzen und Mikroorganismen entlang den Transsekten abnimmt.

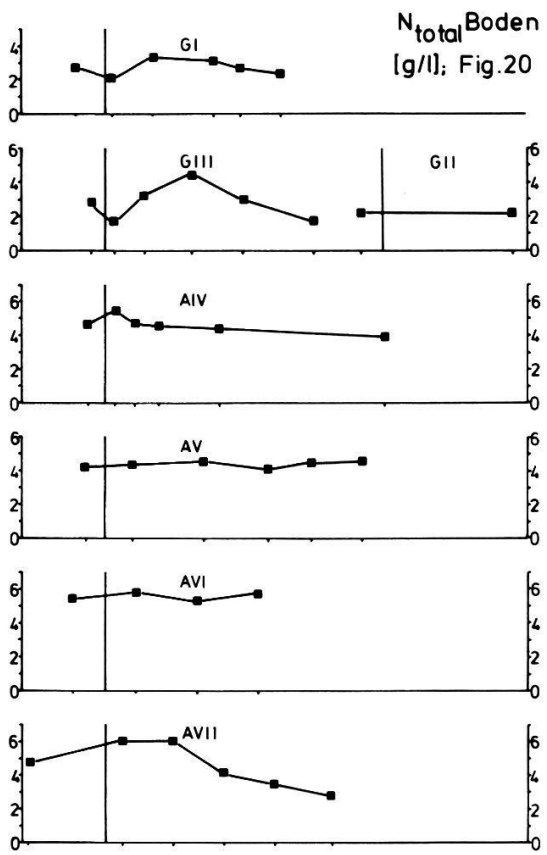
2. Der Stickstoff im Boden

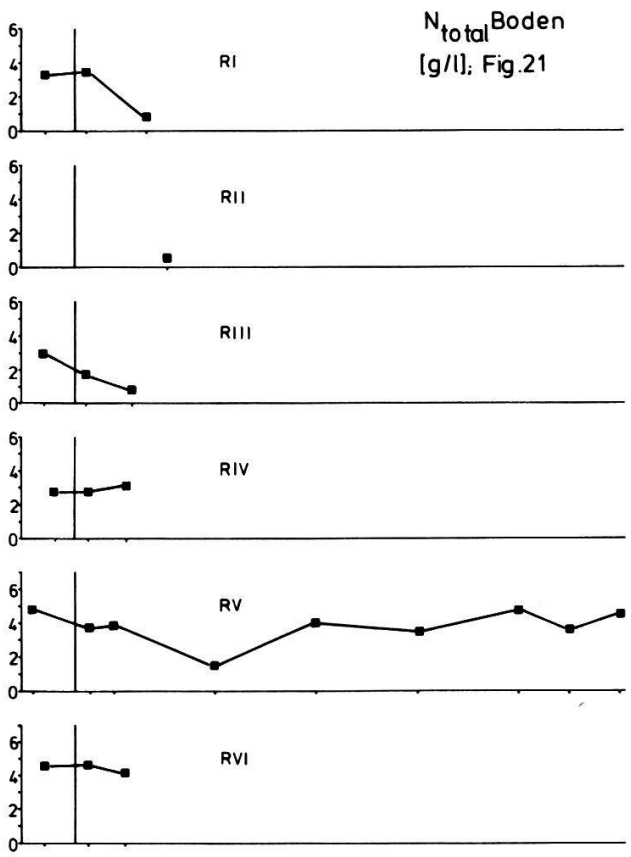
GESAMTSTICKSTOFFGEHALT DER BOEDEN (N total) ENTLANG DEN TRANSSEKTEN

Die Messung des Gesamtstickstoffs wurde an den gesiebten Mischproben vom 28.4.1975 durchgeführt. Die Werte wurden zunächst pro Trockengewicht berechnet und dann durch Multiplikation mit γ_a (aus Stechzylinderproben) auf das Bodenvolumen bezogen. Die N total-Gehalte sind in Fig. 20 - 22 transsektenweise dargestellt.

Der N total-Gehalt schwankt zwischen 3 und 7 g/l in den Fettwiesenböden und zwischen 2 und 5 im Ried. Die Werte von 1 g/l bei R I 3, R II 1 und R III 3 dürften, wie der $\overline{s_w}$-Gehalt (s. oben), um die Hälfte unterschätzt worden sein.

Bei einer ersten Gruppe von Transsekten blieb der Gesamtstickstoffgehalt über ihren ganzen Verlauf ungefähr konstant. Besonders typische Beispiele





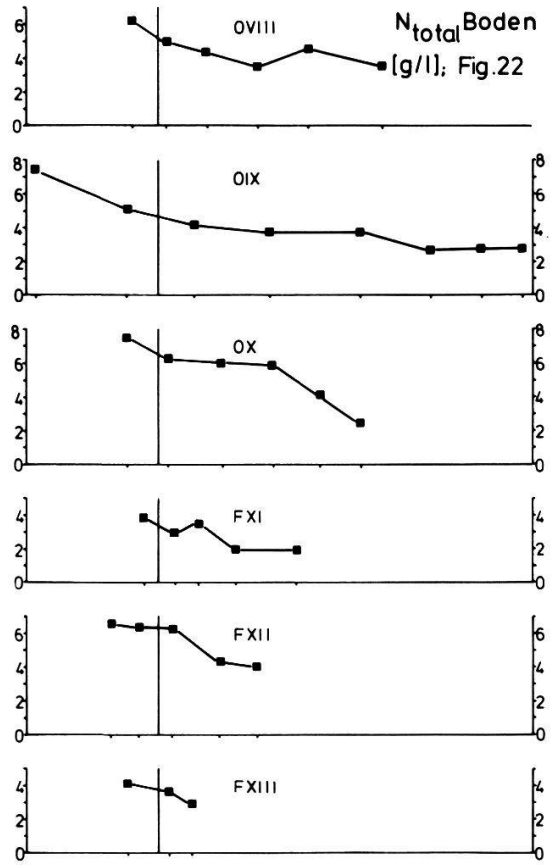


Fig.20-22: Gesamtstickstoffgehalt des Bodens (N_{total})

Darstellung nach einzelnen Transsekten; Fixpunkte von links nach rechts massstäblich eingezeichnet (1:333, vergl. Fig. 5-19). Senkrechte Linie = Bewirtschaftungsgrenze

dafür sind A V und A VI; ferner gehören A IV, R IV - R VI und G I - G III dazu. Bei der zweiten Gruppe, den Transsekten im Oberhöfler Riet (O VIII - O X) und im Frecht (F XI - F XIII) nahm der N total-Gehalt gegen das Riedinnere ab.

MOMENTANGEHALT DES BODENS AN PFLANZENVERFUEGBAREM NITRAT (NO_3mom) UND AMMONIUM (NH_4mom)

Fig. 23 - 25 zeigen transsektenweise den durchschnittlichen Momentangehalt an pflanzenverfügbarem Nitrat und Ammonium während der Vegetationsperiode. Es wurde der Mittelwert und die Standardabweichung aus den 5 (bzw. 4) Einzelmessungen dargestellt (Einzelwerte s. Fig. 31 - 45).

Es sollte erwähnt werden, dass die "Momentan"-Werte erst 1 - 3 Tage nach der Probeentnahme bestimmt wurden.

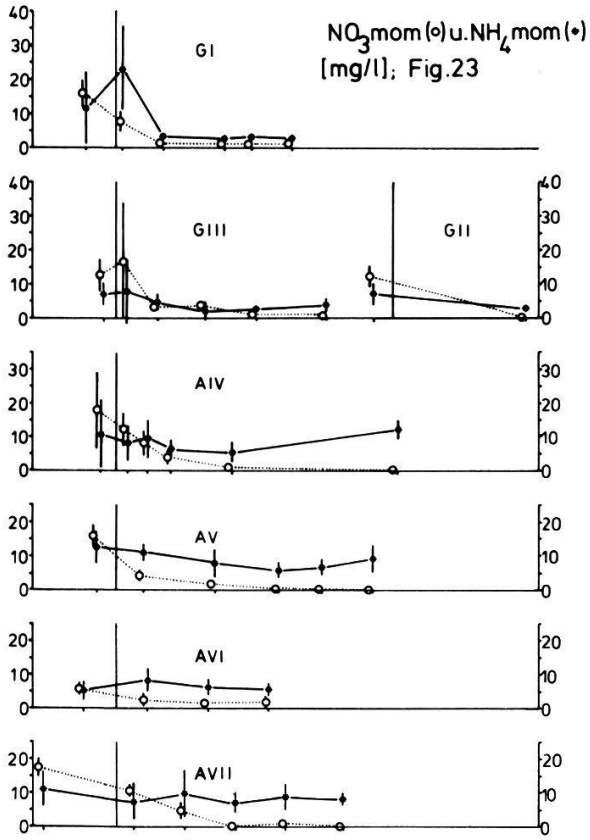
Wie die N total-Gehalte wurden auch diese Werte zuerst pro Trockengewicht berechnet und dann durch Multiplikation mit S_a auf das Bodenvolumen bezogen.

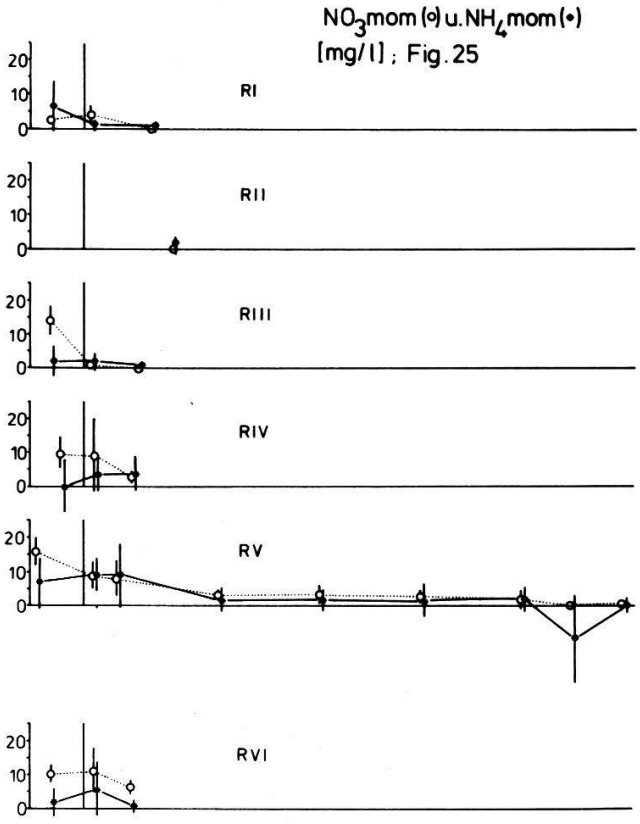
Der momentane Nitratgehalt (NO_3mom) zeigte in allen Transsekten den gleichen Verlauf. Er lag in den Fettwiesen hoch (ca. 10 - 20 mg/l), nahm im Bereich der Pufferzone stetig ab und erreichte im Riedinnern einen Wert von 0 - 2 mg/l. Die Streuung war im allgemeinen relativ klein (0 - 5 mg/l). Ausnahmen bildeten G III 2 und A IV 1, wo die Streuung über 10 mg/l betrug. Hier wurden am 28.4.1975 extreme NO_3-Gehalte gemessen, nachdem die Flächen kurz zuvor gedüngt worden waren (Details in Fig. 32 und 33).

Der momentane Ammoniumgehalt (NH_4mom) war in der Fettwiese oft annähernd so hoch wie der Nitratgehalt, nämlich 5 - 15 mg/l. Im Gegensatz zum NO_3mom war er aber oft auch im Ried relativ hoch, besonders bei den Transsekten im Ambitzgi (A IV - A VII), Oberhöfler Riet (O VIII - O X) und Frecht (F XI - F XIII), wo er ebenfalls 5 - 15 mg/l betrug.

Besonders auffällig war der Verlauf des NH_4-mom-Gehalts entlang den Transsekten G III, A IV, O VIII und O IX. Dort nahm er nämlich im Bereich der Uebergangszonen ab und gegen das Riedinnere wieder zu.

Die Streuung betrug im allgemeinen 2 - 7 mg/l und war bei einzelnen Fettwiesen-Fixpunkten (G I 1, A IV 1 und O VIII 1) sowie bei den Pufferzo-





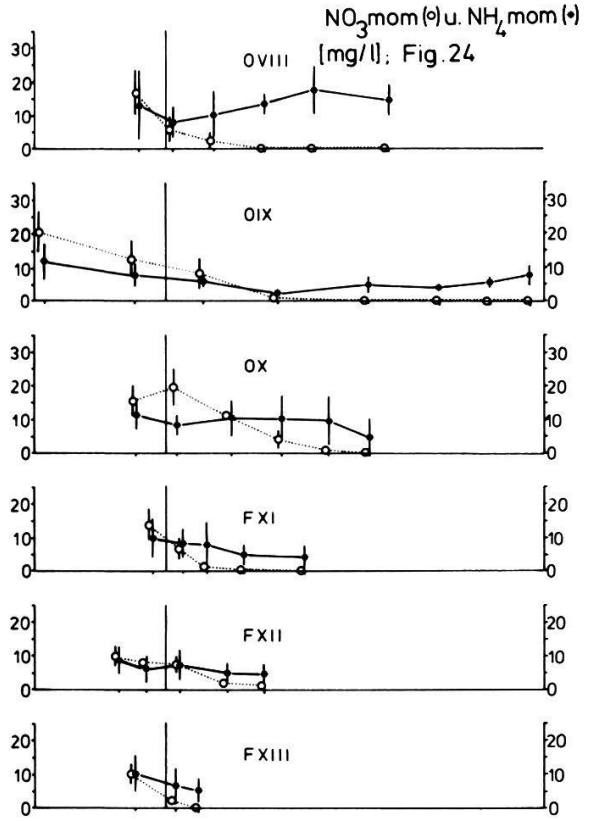


Fig.23-25: Durchschnittlicher Momentangehalt des Bodens an pflanzenverfügbarem Nitrat (NO_3mom) und Ammonium (NH_4mom)

o NO_3mom
• NH_4mom
} Mittelwerte; senkrechte Striche = Standardabweichung

Darstellung nach einzelnen Transsekten; Fixpunkte von links nach rechts massstäblich eingezeichnet (1:333, vergl. Fig.5-19). Senkrechte Linie = Bewirtschaftungsgrenze

nen-Punkten von G I 2 und G III 2 auf 10 - 12 mg/l erhöht.

MINERALSTICKSTOFFGEHALT IM BODEN: VERGLEICH VON MOMENTANWERT (N mom) UND AKKUMULATIONSWERT (N akk)

Die Summe von NO_3- und NH_4-Wert ergibt den Gehalt an pflanzenverfügbarem Mineralstickstoff (N min). In Fig. 26 - 30 wird der momentane N min-Gehalt (N mom, d.h. die Summe der beiden in Fig. 23 - 25 dargestellten Werte) mit dem nach sechswöchiger Feuchtkammerinkubation zusätzlich akkumulierten N min-Gehalt (N akk) verglichen.

Der Akkumulationswert, auch potentielle Nettomineralisation genannt, entspricht der Differenz von Bruttomineralisation aus organischen Stickstoffverbindungen und Immobilisation (und evtl. Denitrifikation bzw. Verlust von gasförmigem Ammoniak) von NO_3 und NH_4 durch Mikroorganismen unter optimalen Bedingungen.

Ein N akk-Wert von Null zeigt dass sich Produktion und Verbrauch von Mineralstickstoff durch die Mikroorganismen in den bebrüteten Böden die Waage hielten, sagt aber nichts über die Geschwindigkeit des Stickstoffumsatzes aus.

Fig. 26 - 28 zeigen wiederum transsektenweise die Mittelwerte von N mom und N akk mit Standardabweichung; zum Studium der einzelnen Werte sei auf Fig. 31 - 45 verwiesen.

Der durchschnittliche Momentangehalt an mineralischem Stickstoff(N mom) ergibt sich wie erwähnt, durch Summierung der in Fig. 23 - 25 dargestellten NO_3mom und NH_4mom-Gehalte. Der Verlauf von N mom entlang den Transsekten ist daher mit demjenigen von NH_4mom vergleichbar, aber im Bereich der Fettwiese wegen den dort bedeutenden NO_3mom-Gehalten erhöht.

Der durchschnittliche Akkumulationswert (N akk) war im Normalfall in Fettwiese und Acker ca. so gross wie der N mom-Wert (20 - 40 mg/l) und nahm ungefähr parallel zum N mom im Bereich der Pufferzone bis auf Null ab. Im Riedinnern waren die Werte manchmal sogar negativ, z.B. A IV 6, A VII 5 und 6, O VIII 4 - 6, O IX 7 (Werte zwischen - 5 und - 10 mg/l).

Bemerkenswert sind folgende Resultate:

1. Beim ersten Punkt der Transsekte R I betrug der mittlere N akk-Wert

Null. Es handelt sich hier nicht um eine eigentliche Fettwiese, sondern um ein *Molinietum*, das vorübergehend intensiv bewirtschaftet wurde.

2. Bei den Transsekten G I und G III fielen die mittleren N akk-Werte unmittelbar nach der Bewirtschaftungsgrenze auf Null. Dies scheint mit überdurchschnittlich hohen und stark streuenden N mom-Werten in Zusammenhang zu stehen (Düngungseinfluss: siehe Diskussion).

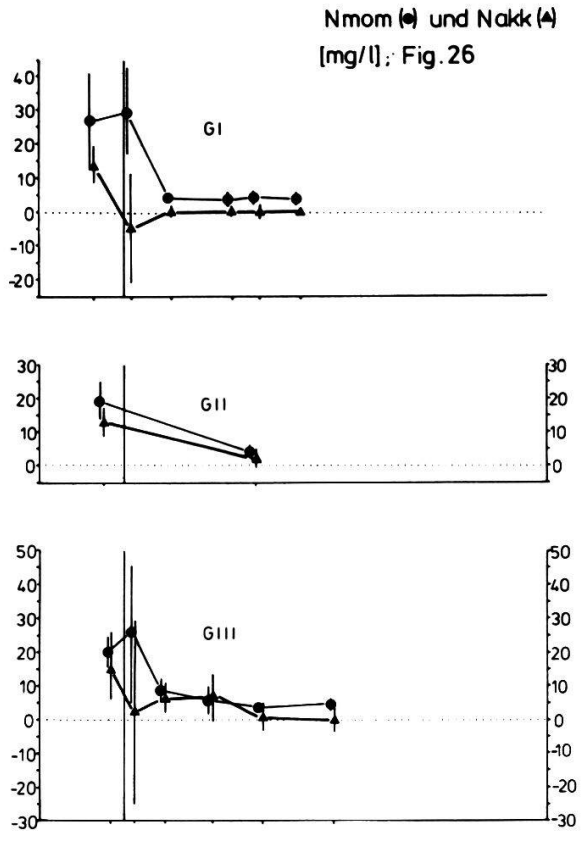
3. Bei der Transsekte A VI fällt auf, dass die potentielle Akkumulation bis ins Riedinnere bei Werten von mehr als 10 mg/l blieb; auch der N mom-Wert blieb entlang der ganzen Transsekte gross.

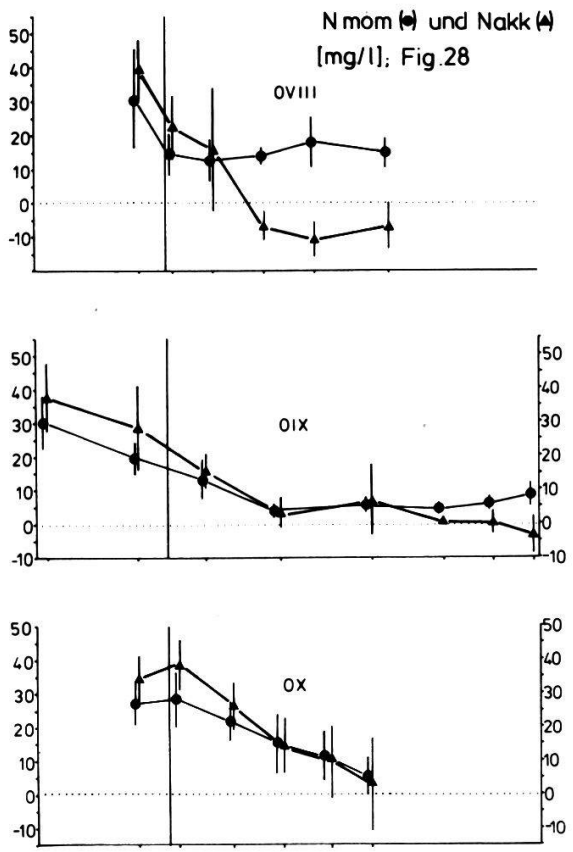
VERLAUF VON N mom UND N akk ENTLANG DEN TRANSSEKTEN ZU VERSCHIEDENEN ZEITEN WAEHREND DER VEGETATIONSPERIODE

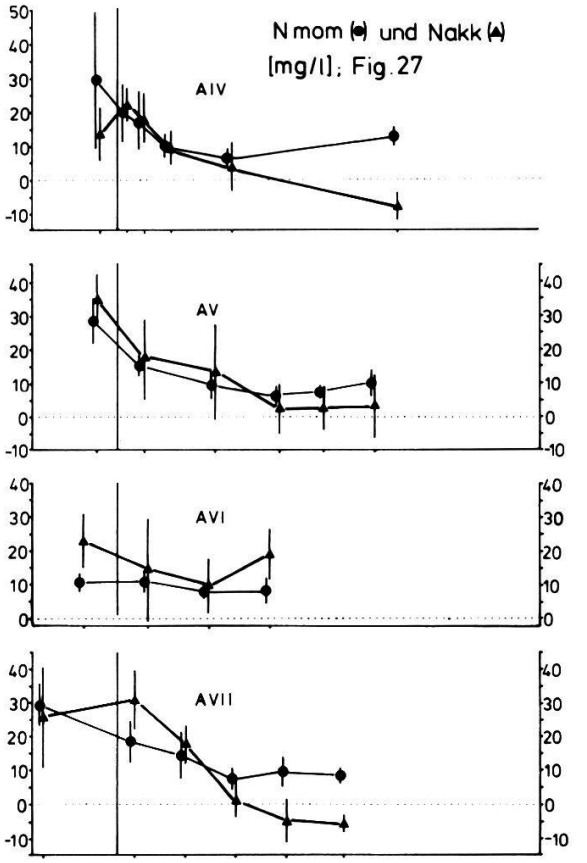
In den Fig. 26 - 30 ist der durchschnittliche Verlauf von N mom und N akk dargestellt worden. Die folgenden Figuren 31 - 45 zeigen,wiederum transsektenweise, die zugehörigen Einzelwerte, wobei die Darstellungen für die 5 (bzw. 4) Daten der Probe-Entnahme versetzt hintereinander gestellt wurden. Dabei wurde der Momentangehalt (wie in Fig. 23 - 26) in NH_4mom (schraffiert) und NO_3mom (weiss) aufgegliedert. Der N akk-Wert (positiv = dunkler Raster, negativ = heller Raster) wurde zum N mom-Gehalt addiert. Der Mineralstickstoff der während 6 Wochen in der Feuchtekammer inkubierten Proben (N 6W) kann somit als obere Grenze der dunkel bzw. untere Grenze der hell gerasterten Flächen abgelesen werden.

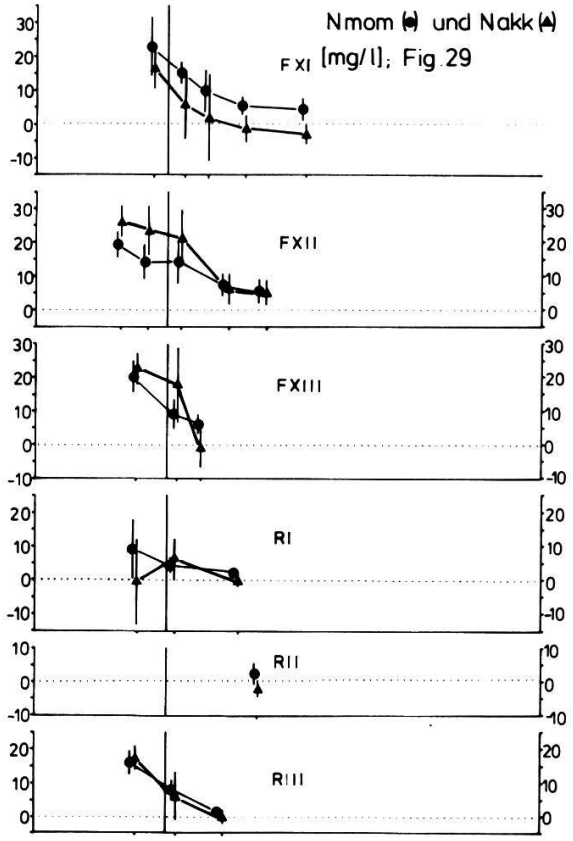
Ein Vergleich der Momentanstickstoffgehalte pro Transsektenpunkt zu den verschiedenen Terminen zeigt, dass die N mom-Werte meist im Sommer (Juni) am niedrigsten und häufig im Frühling und Herbst am höchsten lagen. Gerade umgekehrt verhielten sich im allgemeinen die N akk-Werte: Sie waren meist im Sommer höher als im Herbst.

Daher variierte die Summe von Momentan- und Akkumulationswert, also der Gehalt an Mineralstickstoff nach der Bebrütung (N 6 W), über die Vegetationsperiode meist weniger als N mom bzw. N akk; N 6 W kann als eine vom Datum der Probenahme relativ unabhängige Bodeneigenschaft bezeichnet werden.


Nmom (●) und Nakk (▲)
[mg/l]; Fig.26
GI
GII
GIII


Nmom (●) und Nakk (▲)
[mg/l]; Fig.28
OVIII
OIX
OX


Nmom (●) und Nakk (▲)
[mg/l]; Fig.27
AIV
AV
AVI
AVII


Nmom (●) und Nakk (▲)
[mg/l]; Fig.29
FXI
FXII
FXIII
RI
RII
RIII

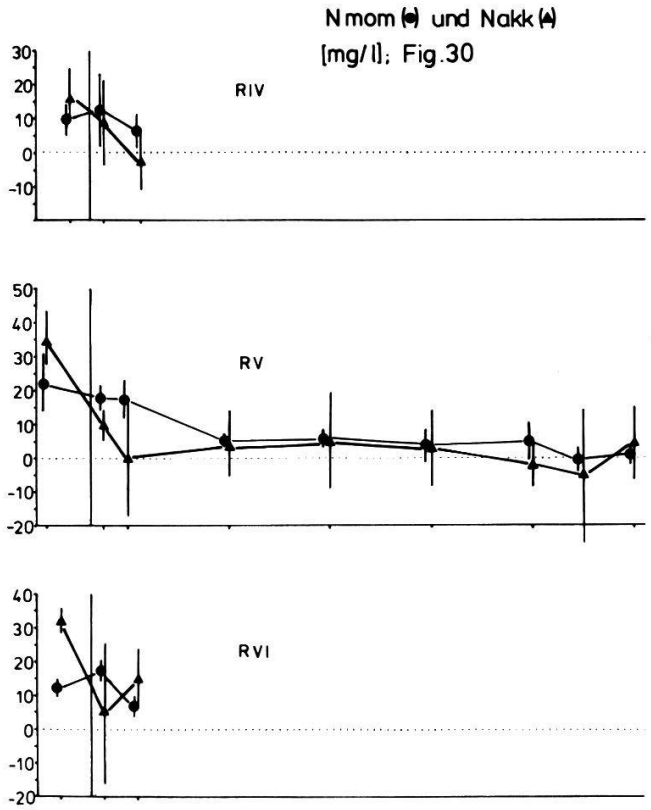


Fig.26-30: Mittlerer Momentangehalt (N mom) und in 6 Wochen zusätzlich akkumulierte Menge (N akk) an Mineralstickstoff (NO_3+NH_4) im Boden

● N mom (=NO_3mom+NH_4mom) } Mittelwerte;[a]
▲ N akk (=N 6W-N mom)

[a] senkrechte Striche=Standardabweichung

Darstellung nach einzelnen Transsekten; Fixpunkte von links nach rechts massstäblich eingezeichnet (1:333, vergl. Fig. 5-19). Senkrechte Linie= Bewirtschaftungsgrenze

3. Der Stickstoff in den Pflanzen

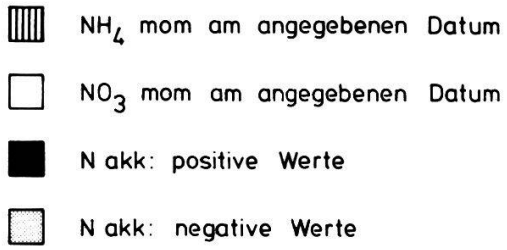
VERLAUF DES MITTLEREN STICKSTOFFGEHALTS DER VEGETATION ENTLANG DEN TRANSSEKTEN

Der mittlere Stickstoffgehalt (N total, in mg N pro g TG) der Vegetation ist in den Fig. 46 - 48 transsektenweise mit dunklen Punkten und ausgezogenen Linien dargestellt. Er betrug beim ersten Fixpunkt nach der Bewirtschaftungsgrenze (d. h. dem ersten Messpunkt) 18 - 13 mg/g und nahm gegen das Riedinnere meist um 2 - 5 mg/g ab; die niedrigsten beobachteten Werte lagen bei 10 mg/g.

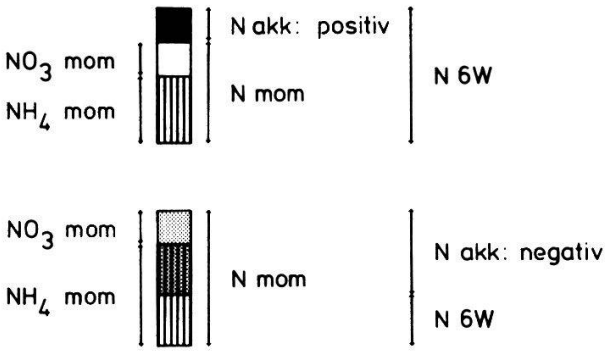
Auffälligerweise nahm der N total-Gehalt der Vegetation im Riedinnern manchmal wieder zu, nämlich bei den Transsekten A IV, O VIII, O IX, F XI und R V.

Der mittlere Stickstoffgehalt der Vegetation schwankte insgesamt nur wenig: Der Mittelwert aus allen Bestimmungen (68 Fixpunkte) beträgt 12.7 mg/g (in Fig.46 - 48 auf der Ordinate markiert), die Standardabweichung 2.1 mg/g. Verhältnismässig hohe Werte wiesen die Proben des Oberhöfler Riets auf (14.6 ± 2.3, n = 16; O IX 2 nicht berücksichtigt), verhältnismässig tiefe dagegen diejenigen vom Greifensee (10.8 ± 0.9; n = 11).

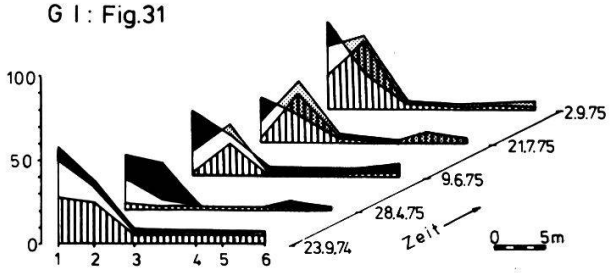
Fig.31-45: Momentangehalt (N mom) und Akkumulationswert (N akk) des pflanzenverfügbaren Mineralstickstoffs im Boden zu verschiedenen Zeitpunkten



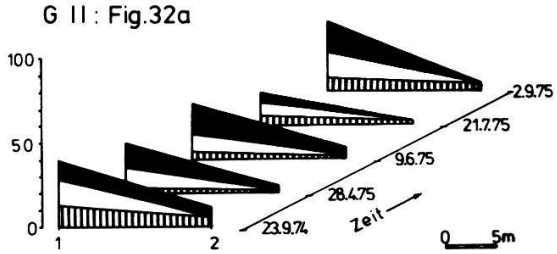
Beispiele:



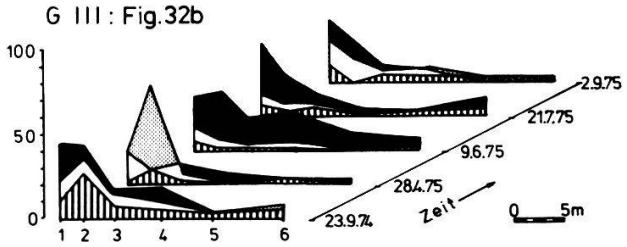
G I : Fig.31

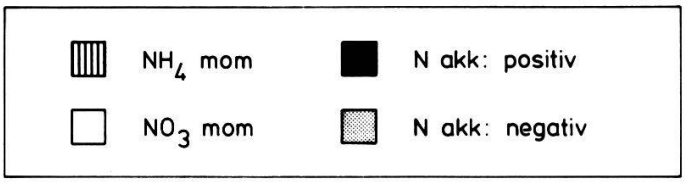


G II : Fig.32a

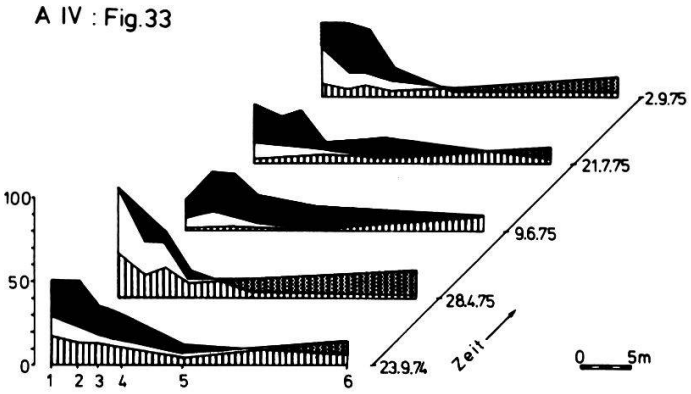


G III : Fig.32b

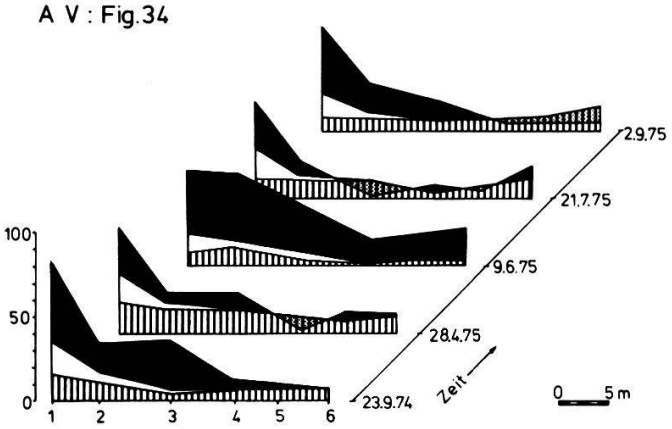




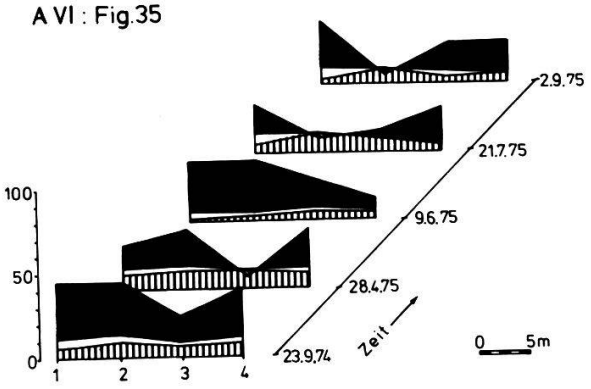
A IV : Fig.33



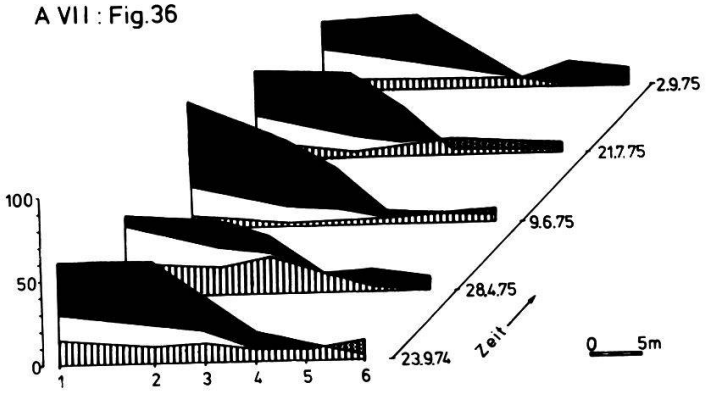
A V : Fig.34

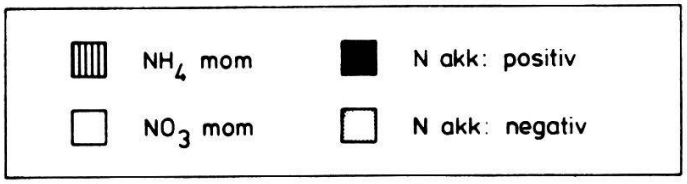


A VI : Fig.35

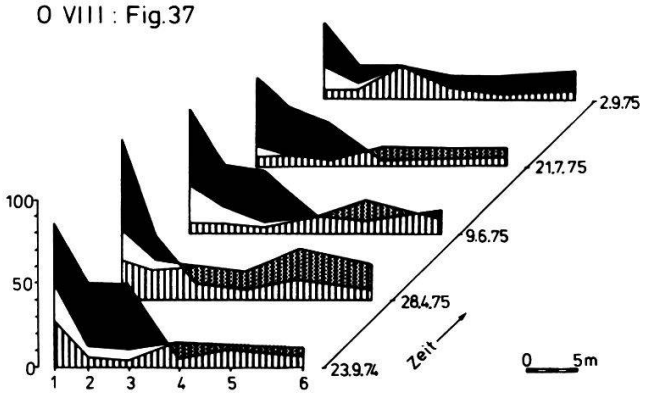


A VII : Fig.36

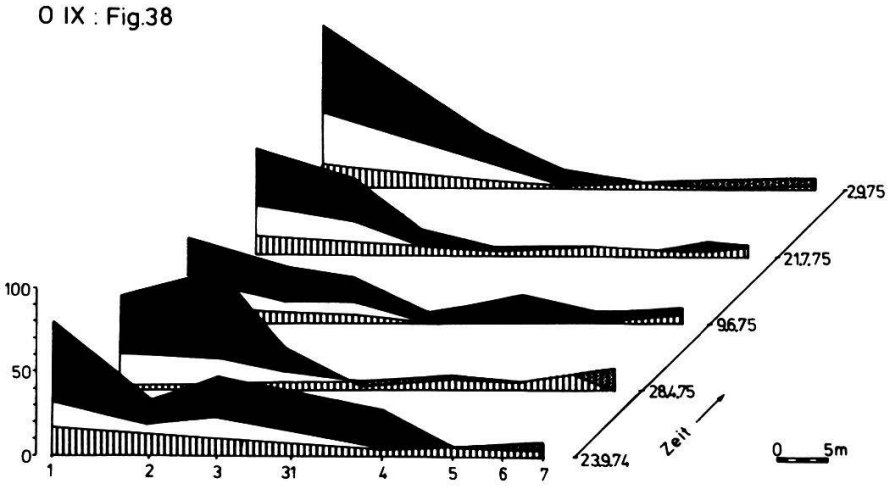




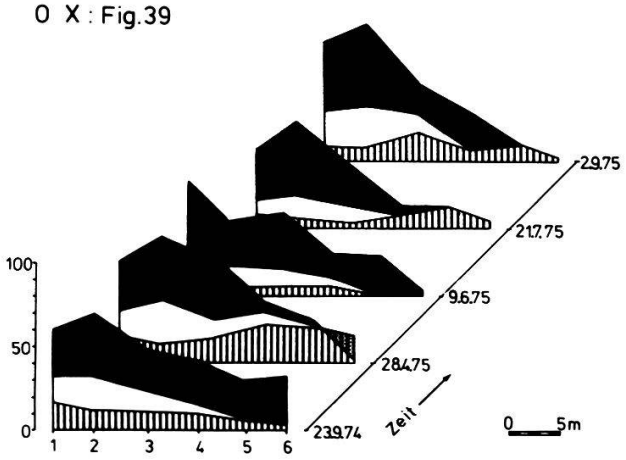
O VIII : Fig.37



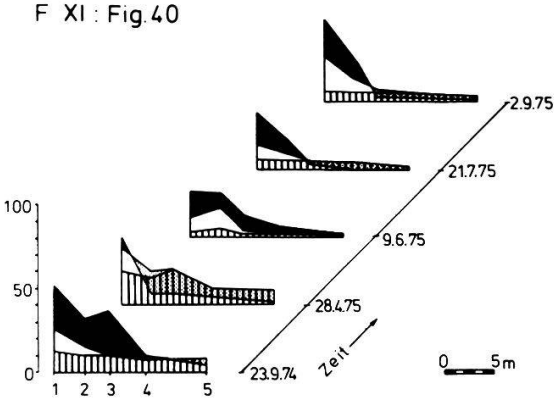
O IX : Fig.38

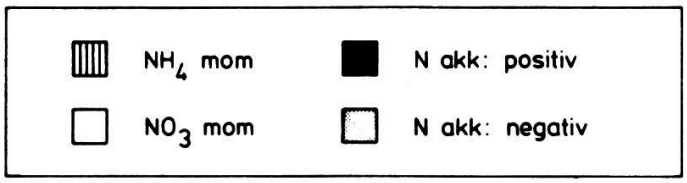


O X : Fig.39

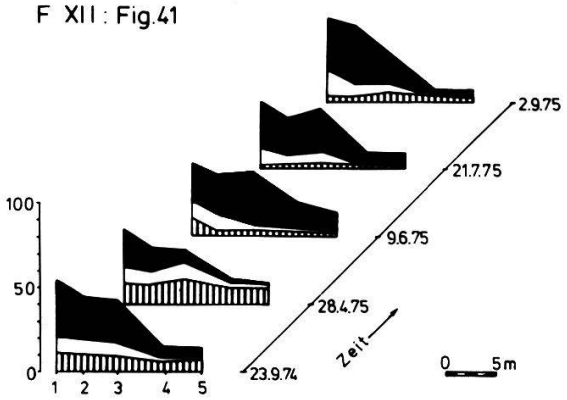


F XI : Fig.40

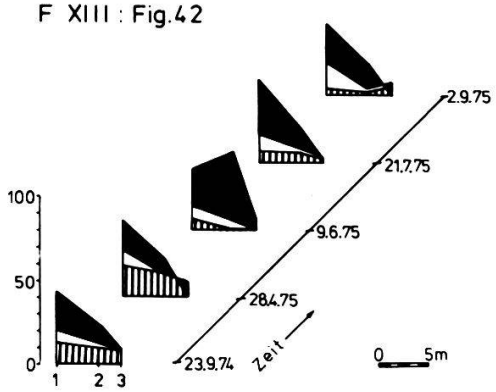




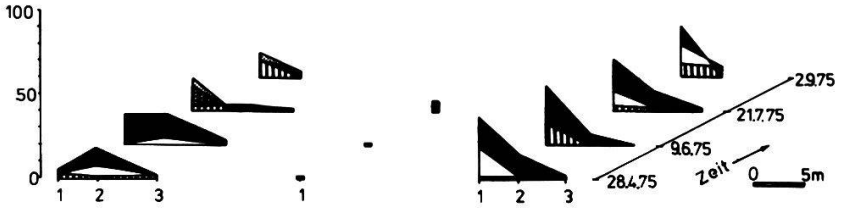
F XII : Fig.41



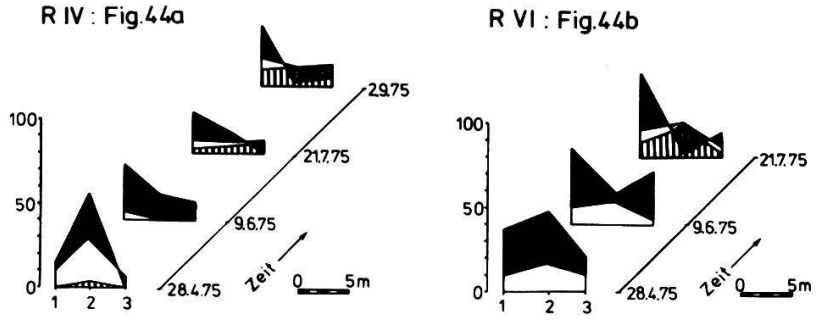
F XIII : Fig.42



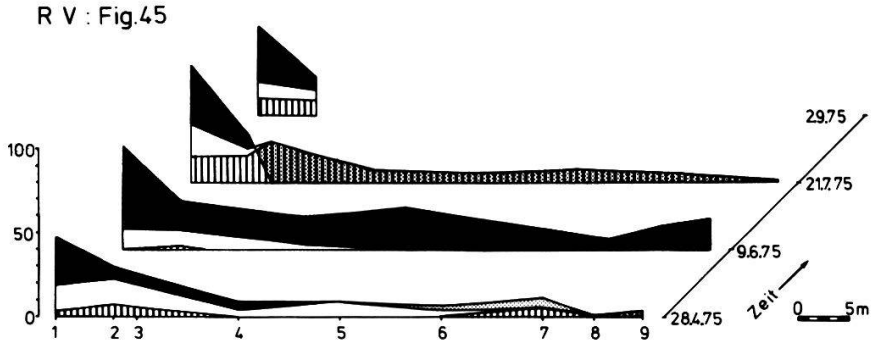
R I : Fig.43a R II : Fig.43b R III : Fig.43c



R IV : Fig.44a R VI : Fig.44b



R V : Fig.45



STICKSTOFFGEHALT VON EINZELNEN ARTEN ODER ARTENGRUPPEN

Die Pflanzenarten und -gruppen, die jeweils aus dem geernteten Material eines Fixpunktes aussortiert und getrennt analysiert wurden, sind in Tab. 3 zusammengestellt. Für jede ist der Mittelwert des N total-Gehalts und dessen Standardabweichungen angegeben.

Besonders hohe N total-Werte weist erwartungsgemäss die Gruppe der Leguminosen auf. Aehnlich hoch liegen die Werte für *Urtica dioeca* (nur eine Messung), aber auch für *Cirsium oleraceum* und für die Gruppe der Orchideen. Dabei muss allerdings in Betracht gezogen werden, dass bei den Orchideen und dem überall nur kümmerlich gedeihenden *Cirsium oleraceum* das geerntete Material nur aus Blättern bestand; Blätter haben gegenüber andern Pflanzenteilen oft einen erhöhten N total-Gehalt.

Der N total-Gehalt von *Filipendula ulmaria* und *Carex acutiformis*, zwei der produktivsten Arten der Pufferzone, liegt in der Nähe des Gesamtdurchschnitts der Vegetation. Aus der grossen Standardabweichung lässt sich ablesen, dass die Einzelwerte von *Filipendula ulmaria* in einem relativ weiten Bereich streuten. *Lysimachia vulgaris*, die dritte wichtige Art der Pufferzone, weist demgegenüber einen niedrigeren N total-Gehalt auf, ebenso die

Tab. 3. Durchschnittlicher Stickstoffgehalt (N total) von ausgewählten Pflanzenarten oder -gruppen

Pflanzenart oder -gruppe	Anzahl von Einzelproben	N total in mg/g TG Mittelwert	Standardabweichung
Cirsium oleraceum	3	21.6	1.7
Leguminosae	23	20.9	3.2
Urtica dioeca	1	20.6	-
Orchideen	3	18.7	2.6
Cirsium palustre	5	15.3	0.9
Carex acutiformis	23	13.6	1.9
Filipendula ulmaria	34	13.1	3.4
Phragmites communis	29	11.5	2.8
Lysimachia vulgaris	32	10.8	2.2
Lythrum salicaria	19	10.8	2.1
Iris sibirica	9	10.3	1.6
Juncus subnodulosus	9	9.0	0.7
Juncus inflexus	1	9.3	-
Gesamtdurchschnitt aller Proben	260	12.7	2.1

häufigen Begleitarten *Phragmites communis*, *Lythrum salicaria* und *Iris sibirica*.

Besonders tief liegt der N total-Gehalt der *Juncus*-Gruppe. Dies stellten auch HOEHNE (1962) und YERLY (1970) fest. *Juncus subnodulosus* ist in den Riedflächen am Greifensee (*Primulo-Schoenetum*) häufig und sein tiefer N total-Gehalt mitbestimmend für den tiefen Durchschnittswert der Gesamtvegetation.

VERLAUF DES STICKSTOFFGEHALTS EINZELNER ARTEN ENTLANG DEN TRANSSEKTEN

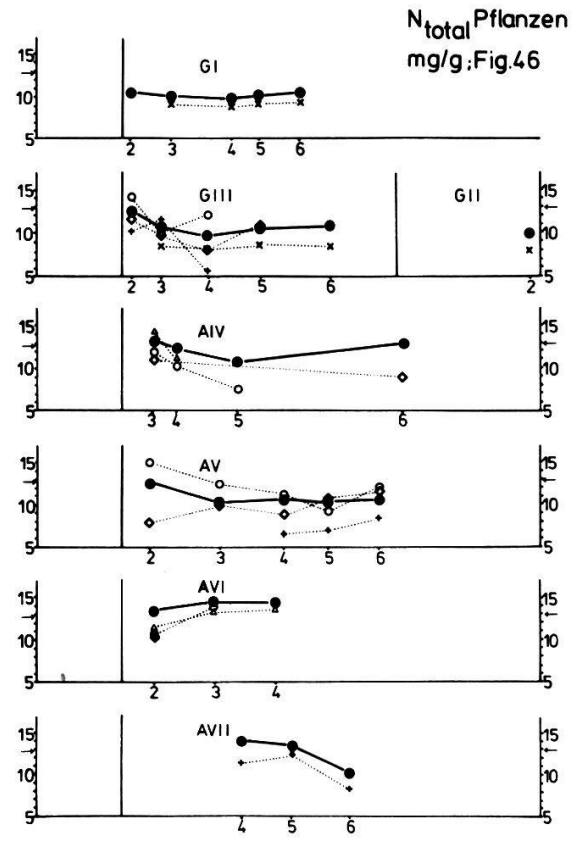
Die Gesamtstickstoffkonzentration der einzelnen Arten (mit kleinen Symbolen und punktierten Linien in Fig. 46 - 48 dargestellt) schwankten entlang den Transsekten von Fixpunkt zu Fixpunkt oft erheblich mehr als die mittleren N total-Werte der Vegetation. Auch sie nahmen meistens von der Bewirtschaftungsgrenze her zunächst ab, besonders deutlich z. B. der N total-Gehalt von *Carex acutiformis* bei den Transsekten A IV, O VIII und R V. Mancherorts stiegen sie weiter gegen das Riedinnere wieder an, besonders ausgeprägt für *Filipendula ulmaria* bei G III, A VI, O X; für *Lysimachia vulgaris* bei G III, A V, F XII; für *Carex acutiformis* bei A VI; für *Phragmites communis* bei A V, R V; für *Iris sibirica* bei R V.

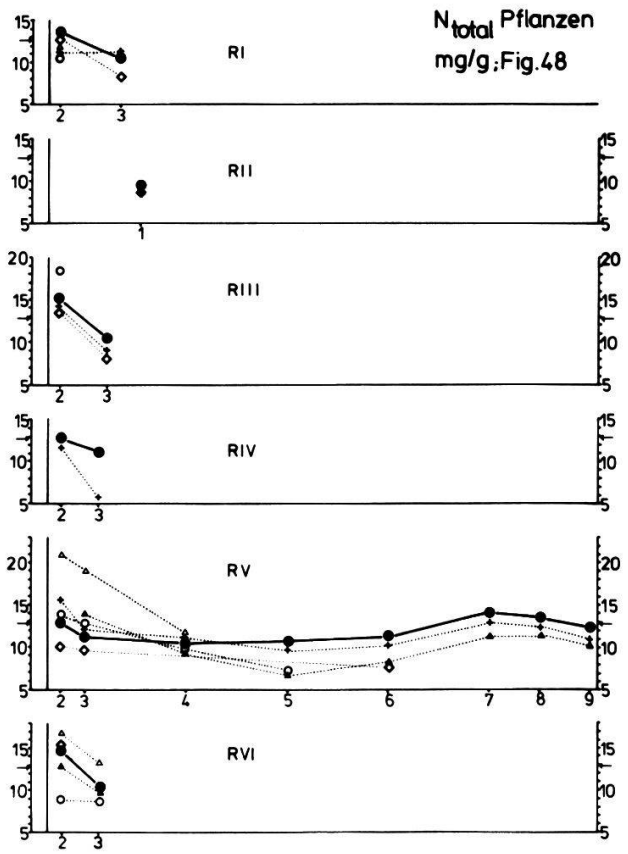
Beim Fixpunkt O IX 2 konnte der N total-Gehalt von *Filipendula ulmaria* im intensiv bewirtschafteten Grünland bestimmt werden. Erwartungsgemäss war ihr N total-Gehalt ungewöhnlich hoch, nämlich 23,7 mg/g, ähnlich hoch wie der Gehalt der gesamten Vegetation an diesem Punkt.

DER MITTLERE STICKSTOFF-ZEIGERWERT (mN) DER VEGETATION

Mit Hilfe der"Stickstoffzahl" der einzelnen Pflanzenarten nach ELLENBERG (1974) wurde für alle Vegetationsaufnahmen der mittlere Stickstoffzeigerwert (mN) berechnet und in Fig. 49 - 51 samt Streuung transsektenweise dargestellt. Der mN-Wert nimmt durchwegs von der Fettwiese ins Ried deutlich ab, und zwar von einem mN-Wert von 5 - 7 (mässig N-reich) auf 2 - 3 (N-arm).

Eine Ausnahme bildet die Transsekte R I, wo alle drei Fixpunkte mN-Werte um 4 aufweisen; Fixpunkt R I 1 befindet sich nicht in einer Düngewiese,





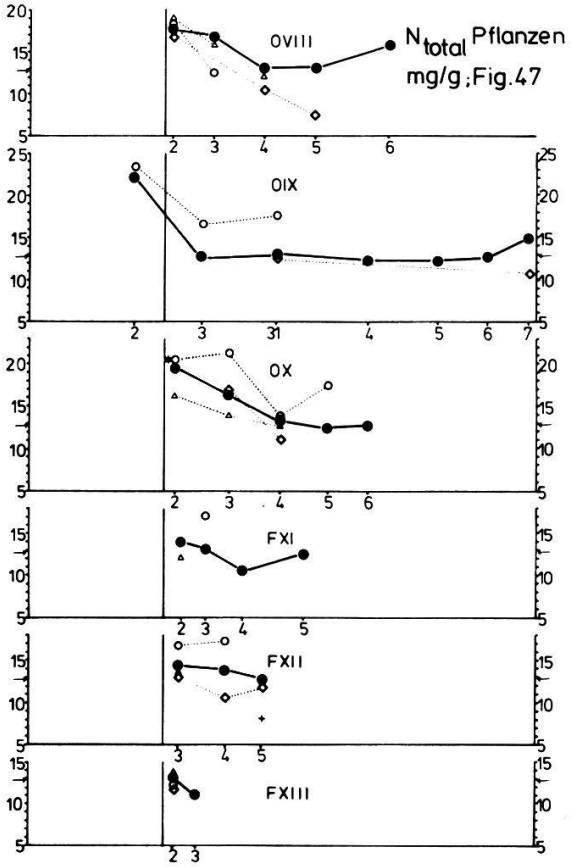


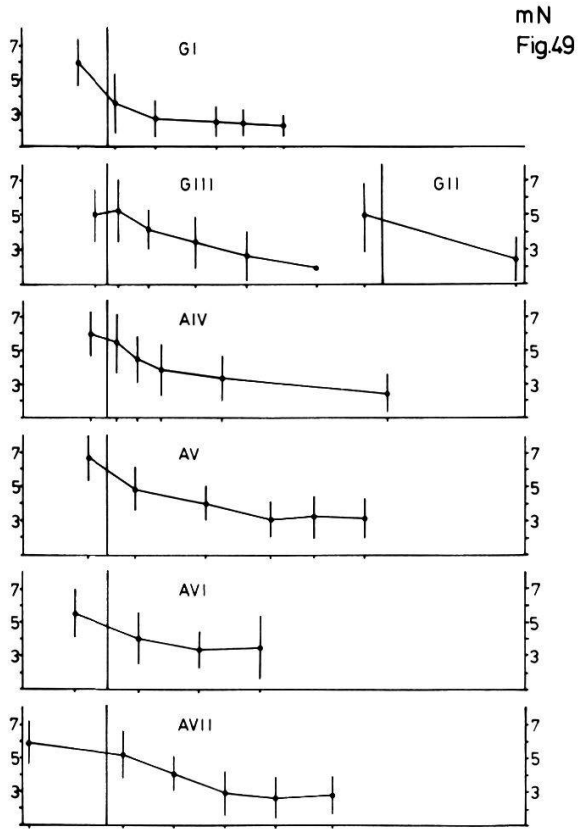
Fig.46-48: Gesamtstickstoffgehalt (N total) der Vegetation und von ausgewählten Pflanzen in Pufferzone und Ried

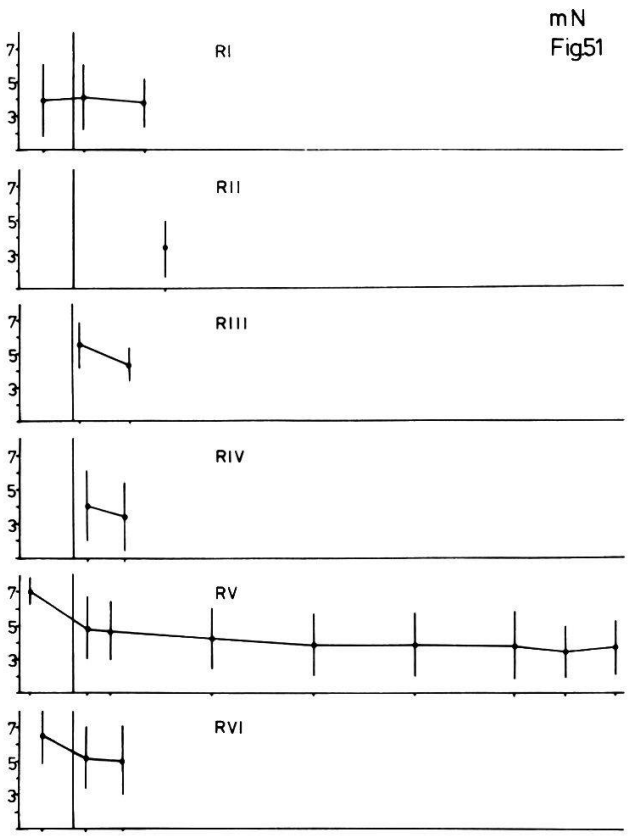
- Mittlerer Stickstoffgehalt der Vegetation pro Trockengewicht (Mischprobe des gesamten geernteten Pflanzenmaterials von 1 m^2)

Stickstoffgehalt von einzelnen Pflanzenarten:

- ○ Filipendula ulmaria
- △ Carex acutiformis
- ◇ Lysimachia vulgaris
- ▲ Iris sibirica
- × Juncus subnodulosus
- + Phragmites communis
- • Urtica dioeca

Darstellung nach einzelnen Transsekten; Fixpunkte von links nach rechts massstäblich eingezeichnet (1:333, vergl. Fig. 5-19). Senkrechte Linie = Bewirtschaftungsgrenze





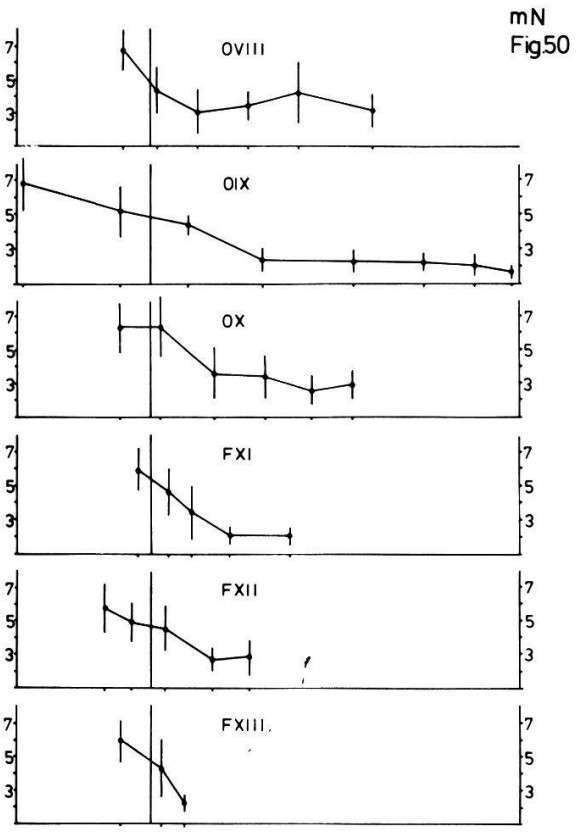


Fig.49-51: Mittlerer Stickstoff-Zeigerwert der Vegetation (mN) nach ELLENBERG (1974)

Darstellung nach einzelnen Transsekten; Fixpunkte von links nach rechts massstäblich eingezeichnet (1:333, vergl. Fig. 5-19).
Senkrechte Linie = Bewirtschaftungsgrenze
Senkrechter Strich = Standardabweichung

sondern in einem *Molinietum*, das vorübergehend gedüngt wurde, aber immer noch viele *Molinion*-Arten aufweist.

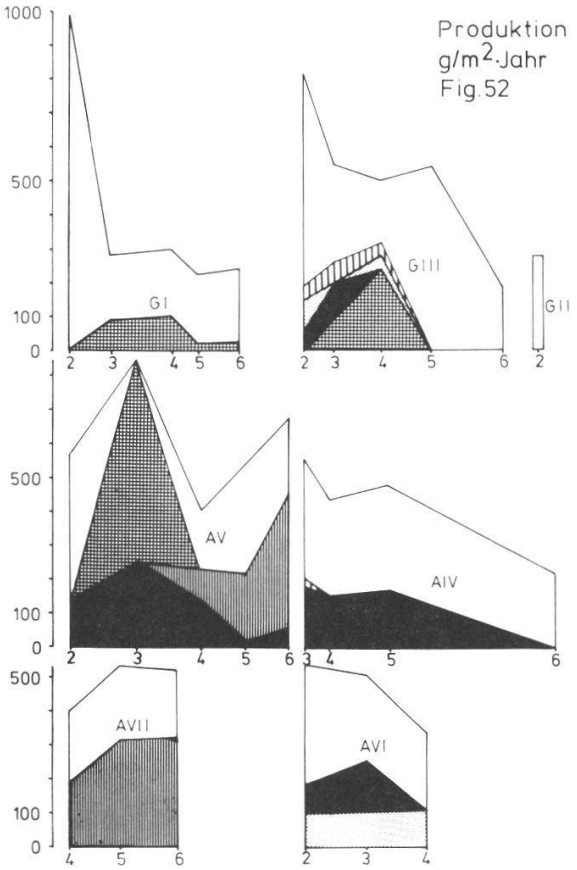
4. Die jährliche Produktion der Rieder

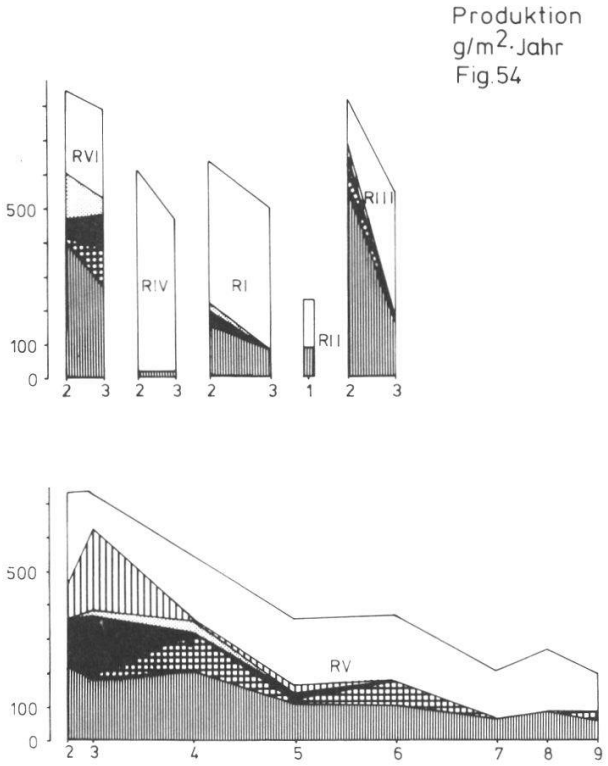
Zusammen mit dem mittleren N total-Gehalt der Vegetation wurde auch die Produktion an oberirdischer Pflanzenmasse (standing crop) Mitte August 1975 gemessen; sie ist in Fig. 52 - 54 transsektenweise dargestellt, wobei das Trockengewicht der aussortierten Pflanzenarten mit verschiedenen Schraffuren eingetragen ist. Die weisse Fläche stellt die nicht weiter aufgegliederte Rest-Fraktion, die ganze Fläche die Gesamtproduktion pro m^2 dar.

Die jährliche Gesamtproduktion an oberirdischer Pflanzenmasse schwankte in den untersuchten Pufferzonen, Riedwiesen und Mooren zwischen 990 g/m^2 und 150 g/m^2 (das entspricht 99 - 15 Doppelzentner pro ha); der Mittelwert aller untersuchten Fixpunkte (n = 66) beträgt 460 g/m^2, die Streuung 200 g/m^2.

Es sind drei Typen von Transsekten zu unterscheiden. Bei einer ersten Gruppe nahm die Gesamtproduktion innerhalb der ersten 5 - 10 m nach der Bewirtschaftungsgrenze sehr stark ab (um 400 - 700 g/m^2) und änderte sich dann gegen das Riedinnere kaum mehr. Typisch dafür sind G I und O IX. Bei einer zweiten Gruppe (G III, A IV, O VIII, R V) nahm die Produktion über eine längere Distanz mehr oder weniger gleichmässig ab. Bei A V, A VII und O X schliesslich nahm die Produktion nach der Bewirtschaftungsgrenze zunächst zu und fiel erst nach 5 - 10 m ab. (Der Wiederanstieg bei A V 5 und 6, vor allem durch eine massive Zunahme von *Phragmites communis* verursacht, könnte auf die Düngewirkung eines wenige Meter von A V 6 entfernten Entwässerungsgrabens zurückzuführen sein.)

Ein Ueberblick über die Produktion von einzelnen Arten zeigt, dass nur wenige Arten an einzelnen Fixpunkten mehr als die Hälfte der Jahresproduktion ausmachten,nämlich *Phragmites communis* bei A V 6, A VII 4 - 6 und R III 2 (Deckungsgrad im Mai jeweils 3), *Carex acutiformis* bei O IX 3 (praktisch Reinbestand!) und F XI 2 (Deckungsgrad 5 bzw. 4) und *Juncus inflexus* bei A V 3 (Deckungsgrad 4). *Filipendula ulmaria* dagegen, die vielen-





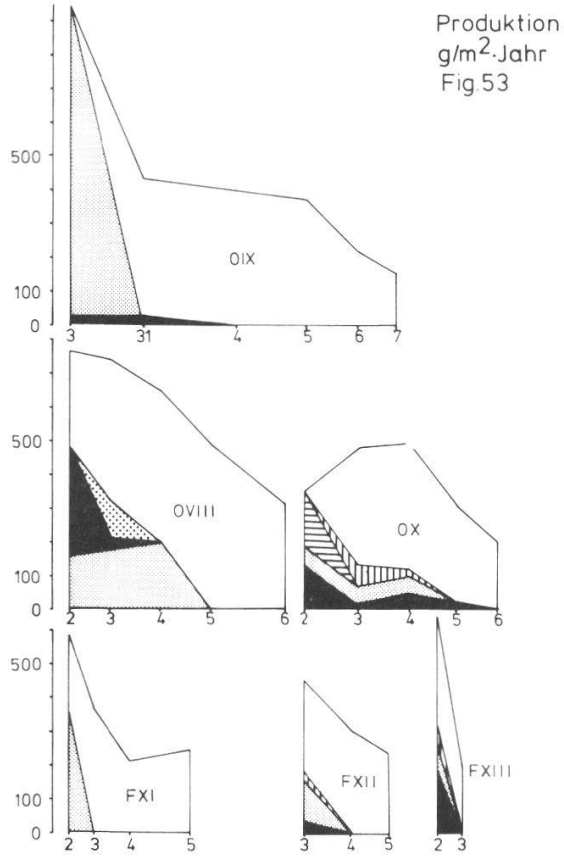


Fig.52-54: Jährliche Produktion der Rieder an oberirdischer Pflanzenmasse

Ganze Fläche: Produktion der gesamten Vegetation

- nicht weiter aufgegliederte Rest-Fraktion
- Filipendula ulmaria
- Carex acutiformis
- Cirsium palustre
- Lysimachia vulgaris
- Phragmites communis
- Urtica dioeca
- Iris sibirica
- Iris pseudacorus (R III 2)
- Juncus subnodulosus (GI-GIII) bzw. Juncus inflexus (A V3)

Darstellung nach einzelnen Transsekten, Fixpunkte von links nach rechts massstäblich eingezeichnet (1:333, vergl. Fig. 5-19)

orts den Aspekt der Pufferzone dominierte, hatte selbst an Orten, wo ein Deckungsgrad von 4 oder 5 beobachtet wurde, nur einen Anteil von 30 - 40 % an der Jahresproduktion. Auch *Urtica dioeca*, für die bei O X 2 ein Deckungsgrad von 5 festgestellt wurde, zeigte einen Produktionsanteil von nur 45 % an diesem Fixpunkt.

In den meisten Pufferzonen-Fixpunkten machten die aussortierten Arten gut die Hälfte der Produktion aus. Ausnahmen sind die Fixpunkte G I 2 und R IV 2, wo *Molinia coerulea* dominierte, und G III 2, A V 2 und R I 2, wo viele *Arrhenatheretum*-Arten im geernteten Material vorhanden waren.

F. Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, den Düngungseinfluss im Grenzbereich zwischen intensiv bewirtschaftetem Grünland und Riedern am Beispiel des Stickstoffs zu untersuchen und herauszufinden, welche Beziehungen zwischen Stickstoffangebot und Vegetation in dieser Uebergangszone bestehen. Deshalb befasste ich mich zur Hauptsache mit Messungen von Stickstoff in Boden und Pflanzen.

Nun ist es aber ein grosses Problem von feldökologischen Untersuchungen, dass an jedem Standort eine Vielzahl von Faktoren auf die Lebensgemeinschaft einwirken. Wie soll die Bedeutung eines einzelnen Faktors, in unserm Fall des Stickstoffs, herausgeschält werden? Hier wird versucht, die einzelnen untersuchten Standortsfaktoren wie bei den Resultaten nacheinander darzustellen und ihren möglichen Einfluss auf die Vegetation entlang den Transsekten zu diskutieren.

1. Standortsfaktoren unter Ausschluss des Stickstoffs

EINFLUSS VON BODENREAKTION UND KALKGEHALT DES BODENS AUF DIE VEGETATION

Bodenreaktion und Kalkgehalt sind für den Aspekt der Rieder wichtig, etwa für das Vorkommen des *Primulo-Schoenetum* am Südende des Greifensees (G I - G III)oder des *Caricetum Davallianae* im Frecht (F XI 4 und 5, F XIII 3), wo der Boden kalkhaltig ist (KLöTZLI, 1969). Dagegen wurde das *Valeriano-Filipenduletum* und insbesondere die *Carex acutiformis*-Ausbildung davon auf Böden mit sehr verschiedenen pH-Werten (zwischen 5.0 und 7.4) angetroffen; die typische Pufferzonengesellschaft ist also in weiten Grenzen von pH (und Kalkgehalt) unabhängig.

EINFLUSS DES FAKTORS WASSER AUF DIE VEGETATION

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, den Wasserfaktor

durch den mittleren Wassersättigungsgrad ($\overline{s_w}$) der während der Vegetationsperiode gesammelten Bodenproben und den mittleren Feuchtezeigerwert (mF-Wert) der Vegetation zu erfassen. Beide Grössen steigen meist unmittelbar nach der Bewirtschaftungsgrenze an, verändern sich aber danach kaum mehr. Aufgrund dieser Werte kann also zwar die Fettwiese von Pufferzone und Riedwiese, nicht aber die Pufferzone von der Riedwiese abgegrenzt werden.

Wie KLÖTZLI (1969) ausführlich darlegte, ist ein entscheidender ökologischer Faktor für die Ausprägung der Vegetation von Riedern das Grundwasser. Er unterschied aufgrund der Grundwasserdauerlinie 8 Standorttypen und beschrieb die dafür charakteristischen Vegetationseinheiten. Während viele Vegetationseinheiten nur an Standorten mit ganz bestimmten Grundwasserverhältnissen vorkommen, besiedelt das *Valeriano-Filipenduletum* in verschiedenen Ausbildungen relativ trockene Böden ebenso wie die Randzonen von Grosseggensümpfen.

Der Gang des Grundwasserstandes wurde für die vorliegende Arbeit nicht untersucht, aber während der Diplomarbeit ([BOLLER-]ELMER, 1973, in einigen Uebergangszonen gemessen, die auch hier bearbeitet wurden (Tab. 4).

Tab. 4. Mittlerer Grundwasserstand in verschiedenen Pufferzonen-Fixpunkten während der Vegetationsperiode von 1973

Die Messdaten von [BOLLER]-ELMER (1973), die in Form von Grundwasserganglinien dargestellt waren, wurden nach der Dauerlinien-Analyse ausgewertet (KLÖTZLI, 1969). An allen Messstellen ergab sich ein konvexes Dauerlinienbild.

Messstelle	Mittlerer Grundwasserstand (cm unter Flur)	Pflanzengesellschaft nach der Vegetationsaufnahme von 1975	von 1973
F XII 2	42	A/Fac	Fac
O VIII 2	30	A/Fac	Fac
A VI 2	28	Fac/A	Fac
A V 3	20	F	F
A IV 2	20	A/Fac	Fac
F XI 2	11	A/Fac	Fac
A IV 5	3	F/Cf	F

Der mittlere Grundwasserstand (der in diesen durch *Valeriano-Filipenduletum* bewachsenen Pufferzonen unter den gleichen Niederschlagsbedingun-

gen bestimmt wurde), schwankte innerhalb von weiten Grenzen. Ebenfalls in Uebereinstimmung mit den Befunden von KLöTZLI (1969) hatte die Dauerlinie konvexe Form. Für das Vorkommen des *Valeriano-Filipenduletum* in der Uebergangszone ist demnach der Grundwasserstand nicht entscheidend. An den in Tab. 4 zusammengestellten Standorten könnte zum Teil auch ein *Caricetum elatae*, *Caricetum canescenti-fuscae* oder *Caricetum davallianae* (mittlerer Grundwasserstand während der Vegetationsperiode: 7 - 25 cm unter Flur), zum Teil auch ein *Primulo-Schoenetum* oder *Stachyo-Molinietum* (mittlerer Grundwasserstand: 30 - 40 cm unter Flur) erwartet werden, alles Gesellschaften, deren Standort konvexe Grundwasserdauerlinien aufweist.

Uebergänge zu all diesen Gesellschaften wurden in der vorliegenden Arbeit untersucht und festgestellt, dass fliessende Uebergänge zwischen ihnen und dem *Valeriano-Filipenduletum* bestehen.

Daraus folgt, dass der Wasserfaktor zwar für die Ausbildung des *Valeriano-Filipenduletum* am Standort mitverantwortlich ist, aber nicht darüber entscheidet, wo auf der Transsekte das *Valeriano-Filipenduletum* und wo die Ried-Assoziation auftritt.

EINFLUSS DES BODENTYPS AUF DIE VEGETATION

Pufferzone und Ried stockten meist auf gleichartigen Böden, nämlich im Zürcher Oberland auf Anmoor über Niedermoor, im Reusstal auf mullreichen, lehmig-feinsandigen Mineralböden (Gley, Fluvisol, Pseudogley). Das *Valeriano-Filipenduletum*, die typische Pufferzonenvegetation, ist also weder an organische noch an mineralische Böden gebunden.

Zusammenfassend sei nochmals hervorgehoben, dass weder pH oder Kalkgehalt noch das Wasser-Regime noch der Bodentyp für die Abfolge der Vegetationseinheiten von der Bewirtschaftungsgrenze gegen das Ried und für die Herausbildung der typischen Pufferzone mit dem *Valeriano-Filipenduletum* von ausschlaggebender Bedeutung sind.

Wie in der Einleitung dargestellt, wird das Aufkommen des *Valeriano-Filipenduletum* von vielen Autoren mit einem erhöhten Nährstoffangebot in Zusammenhang gebracht. Lässt sich dies aufgrund der Untersuchungen des

Stickstoff-Faktors bestätigen?

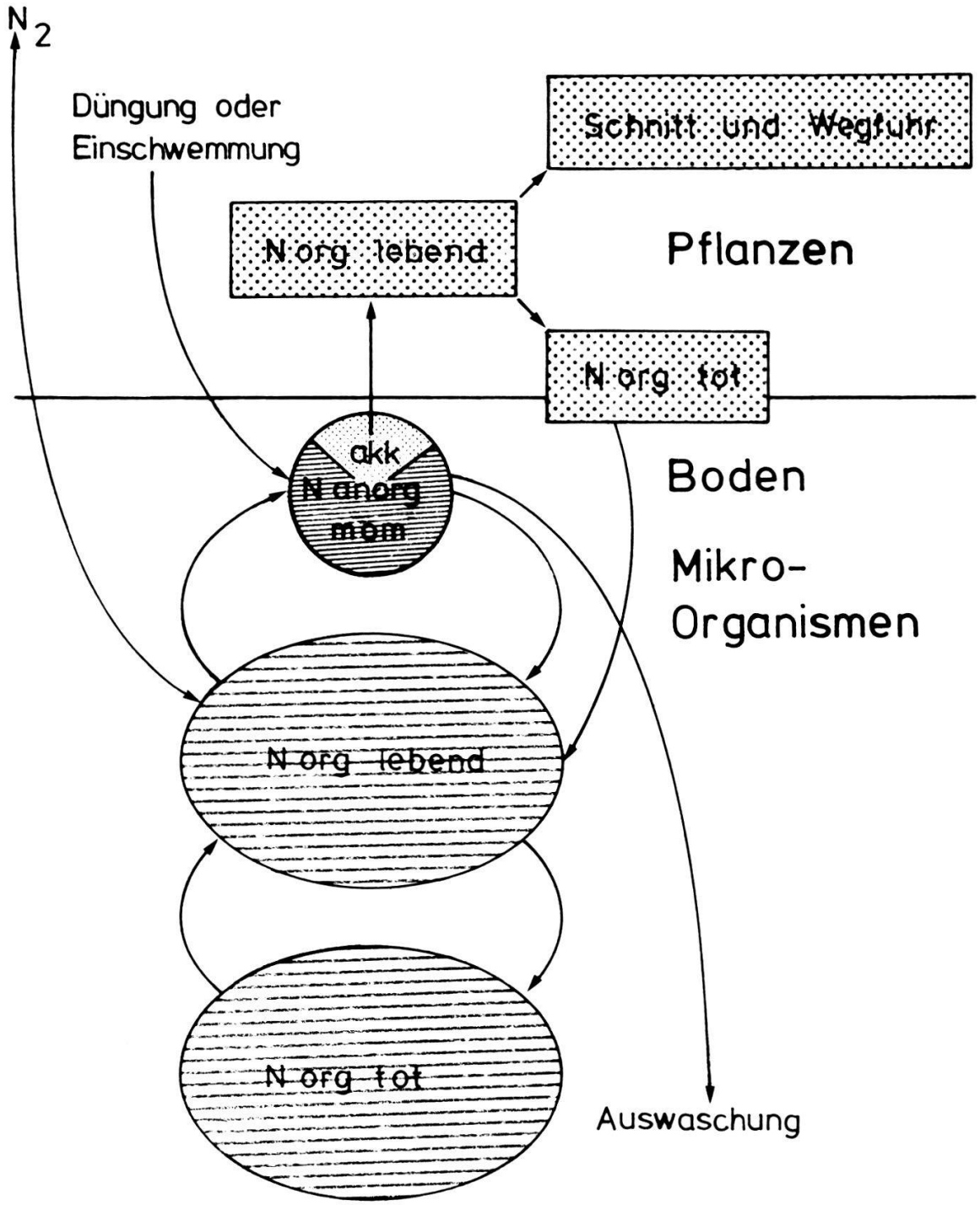
2. Der Stickstoff-Faktor

DER STICKSTOFF-KREISLAUF UND DIE STICKSTOFF-MESSGROESSEN

Anhand von Schema 1 soll versucht werden, die Beziehung der Messgrössen zum Stickstoff-Kreislauf darzustellen. ("Kreislauf" mag dabei ein etwas irreführender Ausdruck sein (CAMPBELL und LEES, 1967): Schema 1 zeigt die möglichen Umformungen von Stickstoff im Boden; diese sind aber nicht direkt voneinander abhängig, wie der Begriff "Kreislauf" suggerieren kann.)

Der grösste Teil des Stickstoffs im Boden ist in organischer Form vorhanden (symbolisiert durch die beiden Ovale im Schema 1) und steht den Pflanzen nicht unmittelbar zur Verfügung. Wiederum der grösste Teil davon stammt aus mehr oder weniger abgebauten Ueberresten von Organismen (N org tot); nur etwa 1 - 3 % davon sind in die lebende Substanz von Boden-Mikroorganismen (N org lebend) eingebaut (CLARK und PAUL, 1970). Beides zusammen stellt das "Reservoir" des Bodens an Stickstoff dar. Es wurde als Gesamtstickstoffgehalt des Bodens (N total) erfasst.

Nur ein äusserst geringer Teil des Stickstoffs liegt in anorganischer Form vor, d. h. als Nitrat oder Ammonium (N anorg im Schema 1). Anorganischer Stickstoff entsteht im Boden durch die Tätigkeit der Mikroorganismen: Sie zehren vom Reservoir des Bodens an organischer Substanz, verbrauchen dabei dessen C-Gerüst als Energiequelle und mineralisieren gleichzeitig den darin enthaltenen Stickstoff. Diese Bruttomineralisation kann nur mit Markierungsexperimenten (Isotopen-Experimente mit N^{15}) erfasst werden (JANSSON, 1955, 1958), da die Mikroorganismen stets einen Teil des mineralisierten N wieder zum Aufbau ihrer eigenen Körpersubstanz verbrauchen und damit immobilisieren. Der übrigbleibende Teil, dessen Bildung Nettomineralisation genannt wird (ZöTTL, 1960a), dient den Pflanzen als Stickstoffquelle: Die meisten Pflanzen können Stickstoff nur in anorganischer Form aufnehmen, und zwar ebenso in Form von Nitrat wie in Form von Ammonium (PATE, 1973). Zur Charakterisierung des für die Pflanzen verfügbaren Stickstoffangebots im Boden sind deshalb Bestimmungen der



Schema 1: Stickstoff-Kreislauf und Stickstoff-Messgrössen

Erklärung im Text

anorganischen Stickstoff-Formen Nitrat und Ammonium wichtig.

Der Momentangehalt an anorganischem Stickstoff (N mom, s. Schema 1) gibt an, wieviel anorganischer Stickstoff den Pflanzen und Mikroorganismen zum Zeitpunkt der Probenahme zur Verfügung steht. Wichtig ist vor allem auch die Bestimmung des Nettomineralisations-Vermögens des Bodens. Es wird durch 6-wöchige Inkubation von Böden untersucht, aus denen die Pflanzen entfernt wurden. Die nach 6 Wochen vorhandene Menge an anorganischem Stickstoff entspricht dem ganzen Kreis "N anorg" in Schema 1. Die Differenz zwischen 6 Wochen- und Momentan-Wert ergibt das während dieser Zeit akkumulierte N anorg (N akk). N akk entspricht der Nettomineralisation während 6 Wochen,und es kann als Mass für die Stickstoffmenge gelten, die den Pflanzen während diesem Zeitraum zur Verfügung stehen würde.

Wieviel Stickstoff die Pflanzen dem Boden während der Vegetationsperiode wirklich entziehen, kann durch eine Analyse des Pflanzenmaterials (N org lebend: Pflanzen, Schema 1) ermittelt werden. Es wurden hier nur die oberirdischen Pflanzenteile untersucht, da nur sie entweder durch Schnitt und Wegfuhr aus dem "Kreislauf" des Standorts entfernt werden oder bei fehlender Wegfuhr wieder in den Kreislauf eintreten können (über das tote Pflanzenmaterial, N org tot in Schema 1).

Für die Stickstoffmenge in den oberirdischen Pflanzenteilen sind sowohl der Stickstoffgehalt pro Trockengewicht wie die Produktion wichtig. Je höher der Stickstoffgehalt pro Trockengewicht ist, desto weniger ist der Stickstoff und desto mehr sind also andere Faktoren für das Pflanzenwachstum am Standort limitierend. Die Produktion zeigt an, wieviel Wachstum der oder die limitierenden Faktoren am Standort zulassen. Das Produkt von Stickstoffgehalt und Produktion entspricht der Menge an Stickstoff, die pro Flächeneinheit im Jahr durch Schnitt und Wegfuhr entzogen werden kann.

Im Schema 1 sind noch weitere Wege des Stickstoffs dargestellt, für die in der vorliegenden Arbeit keine direkten Messungen durchgeführt wurden:

Verluste vom Stickstoff-Kapital des Bodens entstehen insbesondere durch Auswaschung von anorganischem Stickstoff mit dem Bodenwasser; Nitrat wird dabei leichter ausgewaschen als Ammonium, weil es nicht an Bodenteilchen adsorbiert wird (VIETS, 1975). Eine zweite

Verlust-Möglichkeit ist die Denitrifikation. Unter anaeroben Bedingungen kann Nitrat von einer Reihe von Mikroorganismen als Elektronen-Akzeptor benützt und zum Teil in Ammonium, zum Teil aber auch in elementaren Stickstoff überführt werden (CAMPBELL und LEES,1967). Früher wurde meist angenommen, dass alles Nitrat unter anaeroben Bedingungen in N_2 verwandelt werde und damit verloren gehe (BREMNER und SHAW, 1958); dass Nitrat unter Denitrifikationsbedingungen auch in Ammonium überführt werden kann und damit dem Boden erhalten bleibt, wurde erst neuerdings (STANFORD et al., 1975) nachgewiesen.

Ein Zuwachs des Stickstoff-Kapitals andererseits ergibt sich durch direkte Düngung oder Einschwemmung (indirekte Düngung) von stickstoffhaltiger Substanz. Neben der landwirtschaftlichen Düngung können zur direkten Düngung auch die Stickstoffzufuhr durch Pollen, elektrische Entladungen bei Gewitter und Luftverschmutzung (Zufuhr mit Niederschlägen) gerechnet werden. Eine zweite Möglichkeit für den Zuwachs ist die biologische Fixation von Luftstickstoff. Bedeutungsvoll für landwirtschaftlich genutzte Böden ist vor allem die symbiotische Stickstoff-Fixation in den Wurzelknöllchen von Leguminosen durch Rhizobien (Uebersicht bei NUTMAN, Herausgeber, 1975). Von den freilebenden Mikroorganismen sind eine Anzahl von Bakterien und Blaualgen zur Stickstoff-Fixation befähigt; sie sind vor allem an feuchten, nicht gedüngten Standorten für den Stickstoffhaushalt wichtig (Uebersicht bei STEWART, Herausgeber, 1975). Besonders hervorzuheben ist die hohe Stickstoff-Fixationsrate, die von ALEXANDER (1975) und von GRANHALL und SELANDER (1973) in subarktischen Feuchtwiesen und Sümpfen gemessen wurde; die Blaualge *Nostoc commune* ist dabei besonders stark beteiligt. Kürzlich wurde von einer Symbiose von Sphagnen und zur Stickstoff-Fixation fähigen Blaualgen berichtet(GRANHALL und v. HOFSTEN, 1976).

DER VERLAUF DER STICKSTOFFMESSGROESSEN ENTLANG DEN TRANSSEKTEN UND IHR ZUSAMMENHANG MIT DER VEGETATION

Gesamtstickstoff im Boden: Unabhängig davon,ob es sich um organische oder mineralische Böden handelte, blieb der N_{total}-Gehalt bei den einen Transsekten über ihren ganzen Verlauf praktisch konstant oder nahm bei den andern gegen das Riedinnere ab. Es konnte kein Zusammenhang mit der Veränderung der Vegetation entlang der Transsekte gesehen werden. Das Stickstoff-"Kapital"

lag bei allen Böden zwischen 1 und 7 g/Liter.

Momentangehalt des Bodens an anorganischem Stickstoff: Der Wert N mom gibt an, wieviel anorganischer Stickstoff den Pflanzen und Mikroorganismen zum Zeitpunkt der Probenahme zur Verfügung steht. Ein niedriger N mom-Wert bedeutet, dass der mineralisierte Stickstoff im Boden sogleich von Pflanzenwurzeln und Mikroorganismen wieder verbraucht wird, wie dies in vielen Böden normalerweise der Fall ist (ZöTTL, 1958; ELLENBERG, 1964; RUNGE, 1965). Ist der N mom-Wert erhöht, so zeigt dies, dass Pflanzenwurzeln und Mikroorganismen nicht allen angefallenen anorganischen Stickstoff aufnehmen konnten. Das ist z. B. dann zu erwarten, wenn Dünger ausgebracht wurde oder Mikroorganismen zeitweise einen Ueberschuss an anorganischem Stickstoff liefern; die Erhöhung des N mom-Gehalts ist dann nur vorübergehend zu beobachten. Beispiele dafür sind der starke Anstieg des N mom-Gehalts in der Humusschicht von Laubwäldern im Herbst (RUNGE, 1974) oder in den Böden von Schilfröhricht zur gleichen Jahreszeit (KLöTZLI und ZüST, 1973). Eine andere Möglichkeit ist die, dass der anorganische Stickstoff am Standort dauernd erhöht ist, also dauernd im Ueberschuss vorliegt;dies bedeutet, dass für Mikroorganismen und Pflanzen ein anderer Standortsfaktor begrenzend ist, so dass sie den überschüssigen anorganischen Stickstoff nicht nützen können. In solchen Fällen ist zu erwarten, dass die Pflanzen einen relativ hohen Stickstoffgehalt pro Trockengewicht aufweisen. Beispiele dafür sind das von YERLY (1970) beschriebene *Epilobio-Caricetum rostratae*, wo sowohl N mom des Bodens wie N total der Pflanzen ungewöhnlich hoch lagen, und möglicherweise auch die von YERLY (1970) untersuchten Hochmoore, deren Böden zum Teil einen unerwartet hohen N mom-Gehalt zeigten.

Wie verläuft nun der N mom-Gehalt entlang den hier untersuchten Transsekten? Betrachten wir zunächst den mittleren N mom-Wert! Er liegt sowohl in der Fettwiese wie im ersten Punkt der Uebergangszone relativ hoch und nimmt dann gegen das Riedinnere im Bereich des Pufferzonen-Einflusses ab. Weiter im Riedinnern bleibt er konstant oder nimmt bei manchen Transsekten sogar wieder zu (A IV, A V, O VIII, O IX). Die Beobachtungen können so interpretiert werden, dass das Mineralstickstoff-Angebot entlang der Pufferzone immer besser ausgenützt wird. parallel dazu nehmen die Arten des *Valeriano-Filipenduletum* ab. Weiter im Riedinnern scheint der anorganische

Stickstoff wieder weniger gut ausgenützt zu werden, was darauf hindeutet, dass andere Faktoren stärker limitieren. In Uebereinstimmung mit dieser Interpretation steht der Verlauf des mittleren N total-Gehalts der Vegetation entlang den Transsekten. Auch diese Messgrösse nimmt im Pufferzonen-Bereich ab und bei den genannten Transsekten im Riedinnern wieder zu.

Beachtenswert ist ferner die Form des N mom im Boden. In der Fettwiese dominiert Nitrat; auch in den ersten Fixpunkten der Pufferzone ist meist noch Nitrat vorhanden, aber oft in viel geringeren Mengen als Ammonium. Weiter im Riedinnern liegt meist alles N mom als Ammonium vor. Der Wechsel von Nitrat zu Ammonium hängt vermutlich mit der Zunahme der Bodenfeuchtigkeit entlang den Transsekten zusammen: WILLIAMS (1968) zeigte experimentell, dass die Durchfeuchtung des Bodens und der dadurch bewirkte Sauerstoffmangel zur Umwandlung von Nitrat in Ammonium führt. Auch LEÓN (1968) und YERLY (1970) stellten fest, dass nasse Riedböden(z.B.des *Caricetum fuscae* oder des *Caricetum elatae*: LEÓN, 1968) manchmal relativ grosse Mengen Ammonium, aber kein Nitrat aufweisen. Wird die Verbreitung der Pufferzonen-Vegetation mit dem Vorkommen von NO_3mom im Boden verglichen, so kann man feststellen, dass die *Carex acutiformis*-Ausbildung des *Valeriano-Filipenduletum* meist auf Böden stockte, die noch NO_3 mom enthielten. Die Ausbildungen mit *Carex elata*, *Carex fusca* oder *Carex Davalliana* dagegen kamen auf Böden ohne Nitrat vor.

Einmalige oder kurzfristige Erhöhungen im Mineralstickstoff-Angebot deuten auf eine vorübergehende Düngewirkung: Besonders markant ist das einmalige Auftreten von NO_3mom in grossen Mengen bei Fixpunkt G III 2. Hier handelte es sich offenbar um Nitrat-Düngungseinfluss. Der Fixpunkt liegt unmittelbar an der Bewirtschaftungsgrenze; die Fettwiese war kurze Zeit zuvor mit Kunstdünger gedüngt worden. Es mag erstaunen, dass bei Fettwiesen-Fixpunkt G III 1 keine entsprechende Erhöhung beobachtet wurde.Dies hängt damit zusammen, dass die Vegetation hier Ende April schon viel stärker entwickelt war als in der Pufferzone und deshalb das Nitrat zum grossen Teil aufnehmen konnte. Der nächste Fixpunkt der Pufferzone, G III 3, andererseits, der von der Bewirtschaftungsgrenze 4 m entfernt war, zeigte bereits keinen Düngungseinfluss mehr. Auch bei Transsekte A IV wurde bei der Messung Ende April ein ungewöhnlich erhöhter NO_3- und NH_4-mom-Wert beobachtet; auch hier war kurz zuvor Kunstdünger ausgebracht worden. Hier reichte der Düngungseinfluss - vermutlich durch Einschwemmung - bis zum 3 m entfernten Fixpunkt A IV 3,

aber nicht bis zum 5 m entfernten Fixpunkt A IV 4. Ebenfalls auf der Wirkung von Kunstdünger beruhen die erhöhten NO_3mom-Gehalte in den Aeckern von R III 1 und R IV 1; hier war keine Auswirkung auf die nur 1 m entfernte Pufferzone zu beobachten.

Generell fällt auf, dass das NH_4mom-Angebot Ende April an der Mehrzahl der Standorte gegenüber den Werten im Sommer erhöht ist.Die gleiche Feststellung machte LEÓN (1968). Dieses Frühjahrs-Maximum ist vermutlich auf "Vernalisation" zurückzuführen: Aus dem über Winter abgestorbenen Material werden durch Autolyse der toten Zellen leicht mineralisierbare Stickstoff-Verbindungen freigesetzt (EHRHARDT, 1961; YERLY, 1970).

Die Nettomineralisation (N akk): Betrachtet man den Verlauf der durchschnittlichen Nettomineralisation entlang den Transsekten, so stellt man hohe Werte in der Fettwiese und zunächst eine zu den N - mom - Werten ungefähr parallele Abnahme fest. Im Riedinnern erreicht das N akk häufig stark negative Werte. Sie entstanden bei Riedböden häufig dann, wenn ein hoher N mom-Wert gemessen worden war. Wahrscheinlich brachte hier die Feuchtkammerinkubation des Bodens bessere Bedingungen für die Immobilisation des anorganischen Stickstoffs,so dass das anfänglich vorhandene N mom von Mikroorganismen verbraucht wurde. An diesen Standorten ergibt N akk ein falsches Bild für die Stickstoff-Wertigkeit des Bodens. Hier ist Mineralstickstoff, wie der hohe N mom-Wert zeigt, unter natürlichen Bedingungen im Ueberfluss vorhanden, da ein anderer Faktor limitiert.

Ein Vergleich mit der Vegetation der Standorte zeigt, dass das *Valeriano-Filipenduletum* in seiner *Carex acutiformis*-Ausbildung mit einer Ausnahme nur dort vorkommt, wo der mittlere N akk-Wert über 5 mg/l liegt, wo also der Boden noch über eine gute Mineralisations-Fähigkeit verfügt. Die Ausbildungen mit *Carex Davalliana, Carex fusca* oder *Carex elata* dagegen finden sich im Bereich von Böden mit N akk-Werten um oder unter 0.

Ein Ueberblick über den Jahreslauf der Akkumulationswerte weist nochmals darauf hin, dass der N akk-Wert nicht unabhängig vom N mom-Wert betrachtet werden darf: Die N akk-Werte sind oft im Frühjahr am kleinsten, d. h. dann, wenn infolge des "Vernalisationseffekts" oder wegen Düngungseinfluss die höchsten N mom-Werte vorliegen.

Der Stickstoffgehalt der Pflanzen und die Produktion:
Die gemessenen Werte für den mittleren Stickstoffgehalt der Vegetation liegen im gleichen Bereich(10 - 20 mg/g) wie entsprechende Werte für Riedvegetation von YERLY (1968) und BALÁTOVÁ-TULÁČKOVÁ (1972). Wie weiter oben erwähnt wurde, verläuft der mittlere N total-Gehalt der Pflanzen entlang den Transsekten ungefähr parallel zum N mom-Gehalt der Böden. Beide fallen im Bereich der Pufferzonen-Vegetation ab und bleiben weiter im Riedinnern konstant oder steigen wieder an. Dies weist darauf hin, dass Stickstoff vor allem am Uebergang von Pufferzone zu Ried limitierend wird.

Die Produktion andererseits nimmt meist über den ganzen Verlauf der Transsekte ab, d.h. die limitierende Faktoren-Kombination beschränkt das Wachstum immer stärker. Die Produktion liegt zwischen 1000 und 400 g/m^2 in Pufferzonen mit *Valeriano-Filipenduletum*-Charakter und zwischen 300 - 150 g/m^2 im Riedinnern. Daher nimmt auch die Menge an Stickstoff, die durch Ernte und Wegfuhr dem Standort entzogen werden kann, von der Fettwiese zum Ried kontinuierlich ab.

Es sollte berücksichtigt werden, dass in der vorliegenden Arbeit die Stickstoff-Bestimmung in den Pflanzen nur zu einem Zeitpunkt (Mitte August) erfolgte. Die meisten mehrjährigen Pflanzen ziehen aber gegen Ende der Vegetationsperiode einen Teil der Nährstoffe aus den oberirdischen Organen in die Wurzeln zurück. Beispiele dafür geben die Messungen von CHWASTEK (1963), zitiert in LEÓN (1968), für *Molinia coerulea*, von MASON und BRYANT (1975) für *Phragmites communis* und *Typha angustifolia* und von BERNARD und SOLSKY (1977) für *Carex lacustris*. Es ist daher wahrscheinlich, dass im Herbst weniger Stickstoff im Pflanzenmaterial geerntet werden könnte.

DIE MITTLERE STICKSTOFFZAHL DER VEGETATION (mN)

Die aus den Vegetationsaufnahmen nach ELLENBERG (1974) bestimmte mN-Zahl nimmt meist über den ganzen Verlauf der Transsekten ab. Damit ist sie eher mit der Produktion von Pflanzenmaterial am Standort als mit dem Stickstoff-Faktor korreliert. Ein Beispiel dafür ist Transsekte O IX: Der mN-Wert nimmt über den ganzen Verlauf der Transsekte mehr oder weniger stetig ab, wie die Produktion. Aber N mom im Boden und der N total-Gehalt des Pflanzenmaterials nehmen im Riedinnern wieder zu. Da hier offenbar andere

Nährstoff-Faktoren als Stickstoff das Wachstum limitieren, würde die "N-Zahl" von ELLENBERG (1974) wohl besser " Nährstoff-Zahl" als "Stickstoff-Zahl" genannt.

Aus den Zusammenhängen zwischen den Stickstoff-Messgrössen, insbesondere N mom, und der Vegetation folgt, dass der Stickstoff-Faktor vor allem in der Pufferzone zu den das Wachstum limitierenden und die Artenzusammensetzung bestimmenden Faktoren gehört. Der Stickstoff-Düngungseinfluss von der Fettwiese her ist manchmal in unmittelbarer Nähe der Bewirtschaftungsgrenze direkt messbar. Innerhalb der Pufferzone nimmt das Stickstoffangebot stetig ab, und gleichzeitig gehen die Arten des *Valeriano-Filipenduletum* zurück. Im Riedinnern scheint dagegen die schlechte Verfügbarkeit von anderen Nährstoff-Faktoren wichtiger zu sein.

3. Der Düngungseinfluss entlang den Transsekten und die Bedeutung der Pufferzone

Die Stickstoff-Messungen im Boden und in den Pflanzen haben gezeigt, dass das Stickstoff-Angebot in der Fettwiese hoch ist und zum Ried hin im Bereich der Pufferzone abfällt. In diesem beobachteten Stickstoff-Gradienten zeigt sich die indirekte Düngewirkung von der Fettwiese her: Das Vorkommen der Hochstaudenflur des *Valeriano-Filipenduletum* zeigt den Bereich zwischen intensiv genutztem Grünland und Ried an, in dem ein erhöhtes Stickstoff-Angebot messbar ist.

Wie kommt diese indirekte Düngewirkung zustande und wieso nimmt sie im Bereich der Pufferzone schnell ab? In Schema 2 sind die drei Wege zusammengestellt, auf denen Stickstoff und andere Nährstoffe von der Fettwiese her gegen das Ried einfliessen können. (Direkte Düngung findet nur im intensiv bewirtschafteten Grünland statt; während den Felduntersuchungen von 1973 - 1975 beobachtete ich nie direkte Düngung im Pufferzonen-Bereich.)

OBERFLAECHLICHE EINSCHWEMMUNG

Bei starken Regenfällen können Düngestoffe auf der Bodenoberfläche verschoben werden, wenn die Wasseraufnahme-Kapazität des Bodens überschritten wird;

Durch das Abfluss-Wasser können Bodenkrümel oder auf dem Boden aufliegende Düngestoffe weg- und,der Hangneigung folgend,eingeschwemmt werden. Die Gefahr der oberflächlichen Ausschwemmung der Bodenkrume ist bei nackten und gepflügten Böden grösser als bei Fettwiesen; Düngestoffe können dagegen auch bei Fettwiesen von der Oberfläche leicht weggeschwemmt werden.

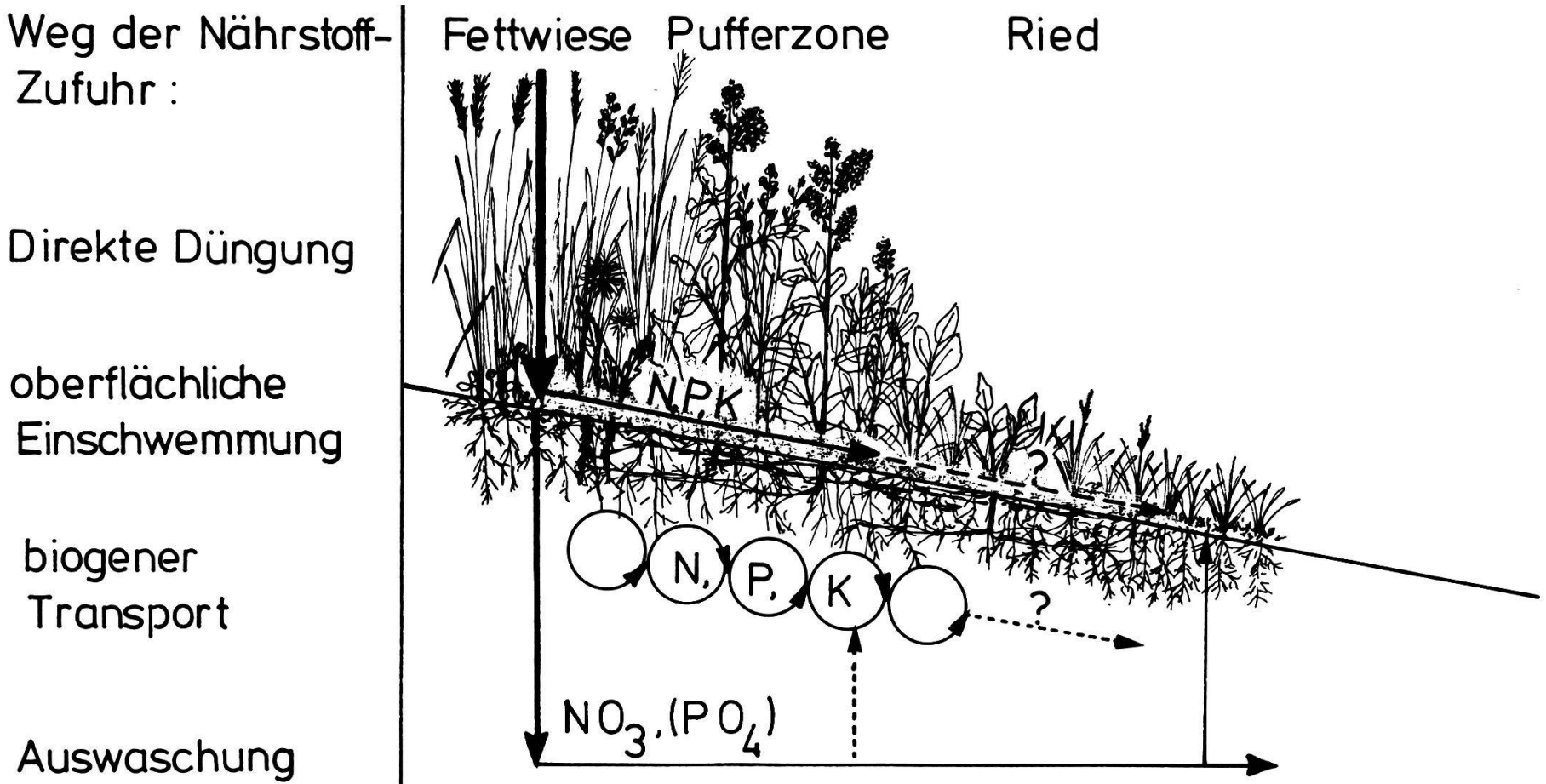
Durch den oberflächlichen Transport im Wasser werden alle aufliegenden oder in der Bodenkrume vorhandenen Nährstoffe in gleicher Weise transportiert (symbolisiert durch "N, P, K" in Schema 2).

Vermutlich ist der bei den Transsekten G I,GIII und A IV im Frühjahr beobachtete indirekte Düngungseinfluss auf oberflächliche Einschwemmung zurückzuführen. Die Tatsache, dass die Düngewirkung entlang den Transsekten nur wenige Meter weit sichtbar war, deutet darauf hin, dass die einfliessenden Nährstoffe schon wenige Meter nach der Bewirtschaftungsgrenze vollständig abgefangen sind. Zwei Gründe können dafür angeführt werden: Einerseits nimmt die Porosität entlang den Transsekten stets zu, so dass die Böden der Pufferzone das Wasser effektiver aufsaugen können als diejenigen unter Fettwiesen. Andererseits ist mit einer mechanischen Schutzwirkung durch die Vegetation zu rechnen, indem der Pflanzenbewuchs gewissermassen als Sieb für das einfliessende Wasser wirkt; Moose dürften dabei wichtig sein. In beiden Fällen werden die Nährstoffe in der Pufferzone festgehalten und verbraucht.

Aus diesen Ueberlegungen geht hervor, dass die Pufferzone die indirekte Düngung durch Einschwemmung abfängt und damit eine natürliche Schutzfunktion gegen die Düngung des Rieds übernimmt. Es sollte aber beachtet werden, dass die Schutzwirkung in ungünstigen Fällen überspielt werden kann, so z. B., wenn bei gefrorenem oder schneebedecktem Boden gedüngt wird. Auch wenn der ganze Bereich von Fettwiese bis Ried überschwemmt wird, wie dies bei der Transsekte R V während mehreren Wochen der Fall war, fehlt die Schutzwirkung. Das mag ein Grund dafür sein, dass die Uebergangszone bei R V mit *Valeriano-Filipenduletum* ungewöhnlich lang war.

AUSWASCHUNG UND EINSCHWEMMUNG MIT GRUNDWASSER

Düngestoffe können auch im Boden mit dem Wasser verschoben werden. Die seitliche Diffusion ist dabei vernachlässigbar, so dass die Düngestoffe



Schema 2: Möglichkeiten für indirekte Düngung von Pufferzone und Ried

Erklärung im Text

senkrecht nach unten fliessen, bis sie ins Grundwasser gelangen. In den meisten landwirtschaftlich genutzten Böden wird einzig Nitrat auf diese Weise ausgewaschen (VIETS, 1975),während Ammonium, Phosphat und Kalium von den Böden zurückgehalten werden können. In organischen Böden kann aber neben Nitrat auch Phosphat ausgewaschen werden (VIETS, 1975). Die gebräuchlichen landwirtschaftlichen Düngemittel führen in unterschiedlichem Mass zu Nitrat-Auswaschung: Kunstdünger erhöht direkt den Gehalt an anorganischem Stickstoff; die Gefahr der Auswaschung ist relativ gross, selbst wenn Ammonium- oder Harnstoffdünger gegeben werden, da diese Substanzen in den landwirtschaftlich genutzten Böden meist schnell in Nitrat umgewandelt werden (Nitrifikation). Auch Jauche enthält hauptsächlich anorganischen, aber zusätzlich noch organischen Stickstoff. Stallmist enthält hauptsächlich organischen Stickstoff, der nur langsam freigesetzt wird; hier ist die Gefahr der Auswaschung am geringsten. Mit dem Grundwasserstrom können die Düngestoffe dann auch seitlich wandern. Wie in Schema 2 dargestellt wird, kann die Pufferzone in vielen Fällen die Einschwemmung von Nährstoffen mit dem Grundwasser nur wenig beeinflussen, weil der Hauptwurzelhorizont, wo sowohl Pflanzen wie Mikroorganismen die Nährstoffe aufnehmen könnten, oft über dem mittleren Grundwasserstand liegt (Tab. 3, S. 62). Die Einschwemmung wird erst weiter im Riedinnern, wo der Grundwasserstand höher ansteht, für die Vegetation bedeutungsvoll.Möglicherweise ist dies ein Grund dafür, dass in manchen Fällen im Riedinnern der Stickstoffgehalt von Boden und Pflanzen wieder ansteigt.

BIOGENER TRANSPORT VON DUENGESTOFFEN

Von der Düngung der Fettwiese profitieren nicht nur die Pflanzen, sondern auch die Bodenfauna und -mikroflora; die hohe Aktivität der Mikroflora zeigt sich in den hohen Stickstoff-Akkumulationswerten. Diese Bodenorganismen könnten gegen das Ried vordringen und dort einerseits die Menge an "lebendem" organischem Stickstoff, andererseits die Mineralisationsrate erhöhen. Auf diese Weise könnten nicht nur Stickstoff, sondern auch die andern Nährstoffe aus der Fettwiese gegen das Ried getragen werden.

Obwohl die Möglichkeit von biogenem Transport vorläufig nur eine Spekulation darstellt, sei sie im folgenden näher erläutert. Leicht vorstellbar ist die Einwanderung von Bodentieren (z. B. Regenwürmer, Insekten). Ihre

Biomasse in landwirtschaftlich genutzten Böden wird auf 230 g/m^2 geschätzt (GRAY und WILLIAMS, 1971). Sie mögen mit ihren Exkrementen Düngestoffe ins Ried tragen. Darüber hinaus steigern sie die Mineralisation von organischer Substanz im Boden (EDWARDS und HEATH, 1963). Ueber die Beweglichkeit von Mikroorganismen, deren Biomasse in genutzten Böden von CLARK und PAUL (1970) auf 1000 g/m^2 geschätzt wird, gibt es nur wenig Untersuchungen (STOTZKY, 1974). GRAY und WILLIAMS (1971) diskutieren eine Anzahl von Ausbreitungsmöglichkeiten von Bakterien und Pilzen im Boden. Experimentell fand STOTZKY (1974) Wanderungsgeschwindigkeiten von 1 mm/Tag für Bakterien und von maximal 6 mm/Tag für Pilze in Tonböden. HAMDI (1973) gibt für begeisselte Bakterien Werte von ca. 1 cm/Tag an. Jedenfalls können sich Mikroorganismen nur sehr langsam bewegen. Es ist daher kaum anzunehmen, dass einzelne Individuen über längere Strecken vordringen; es ist eher zu vermuten, dass sie nach höchstens geringer Ortsverschiebung absterben, dass ihre Körpersubstanz andern Mikroorganismen als leicht mineralisierbares Substrat dient und dass diese die darin enthaltenen Nährstoffe weitertragen. Wenn Düngestoffe auf diese Weise von der Fettwiese her einwandern können, so sicher nur über eine Reihe von Umformungen in verschiedenen Mikroorganismen und nur langsam.

Zu beachten ist schliesslich, dass auch die Vegetation zum biogenen Transport beitragen kann; Düngestoffe, die von den Wurzeln an einem Ort aufgenommen werden, können in unterirdischen Organen (Wurzeln oder Rhizomen) an einer andern Stelle gelagert und beim Tod des Organs wieder freigesetzt werden.

Es ist schwierig, die Bedeutung des biogenen Düngestofftransports entlang der Transsekte abzuschätzen. Im Unterschied zum schnellen, momentanen Prozess der oberflächlichen Einschwemmung ist das Einfliessen in lebendem Material ein langsamer, dafür stetiger Vorgang. Er führt nicht zu einem kurzfristigen Ueberangebot an Nährstoffen, sondern zu einer bleibenden Erhöhung der Bodenaktivität; möglicherweise äussert er sich in den erhöhten Nettomineralisationswerten von Stickstoff, die in der Pufferzone beobachtet wurden.

Die auf diese Weise herangeführten Nährstoffe werden ebenfalls durch die Vegetation der Pufferzone aufgenommen. Sie wirkt also auch dem biogenen Transport gegenüber als eine Art Barriere. Wird die Pufferzone allerdings im Herbst nicht geschnitten, so gelangen die Nährstoffe in den Boden zurück

und können weiter einwandern.

Zusammenfassend kann aufgrund von Schema 2 gesagt werden, dass die indirekte Düngewirkung im Bereich der Pufferzone vor allem durch oberflächliche Einschwemmung und möglicherweise auch durch biogenen Transport entsteht. Für beide Düngewirkungen kann das in der vorliegenden Arbeit untersuchte Stickstoff-Angebot in den Böden als Indikator dienen; es werden aber auf beiden Wegen auch andere Nährstoffe (P, K) eingebracht.

Indem die Vegetation der Pufferzone die oberflächlich eingeschwemmten und auch die biogen transportierten Nährstoffe auffängt und zu üppigem Wachstum benützt, verhindert sie deren weiteres Vordringen gegen das Ried und übt damit eine natürliche Schutzfunktion aus. Damit die Schutzwirkung zum Tragen kommt, muss die Pufferzone jedes Jahr geschnitten und die aufgenommenen Nährstoffe mit dem Pflanzenmaterial abtransportiert werden; denn wenn das Pflanzenmaterial über Winter liegen bleibt, so wird es abgebaut und erlaubt es den freigesetzten Nährstoffen, weiter gegen das Ried vorzudringen.

Einzig auf die Einschwemmung mit Grundwasser hat die Pufferzone nur geringen Einfluss: Das Grundwasser kann Nährstoffe unter der Pufferzone hindurch ins Riedinnere tragen. Im Normalfall wird auf diesem Weg nur Nitrat transportiert; es ist möglich, dass das manchmal erhöhte Stickstoff-Angebot im Riedinnern darauf zurückzuführen ist. Stickstoff ist aber im Riedinnern vermutlich ohnehin im Vergleich zu andern Nährstoffen oft weniger limitierend: Als einziger Mineral-Nährstoff kann er im Prinzip aus der Luft gewonnen werden, und im Riedinnern herrschen ideale Verhältnisse für die Stickstoff-Fixation durch freilebende Mikroorganismen, insbesondere durch Blaualgen (viel Licht in Bodennähe, grosse Feuchtigkeit). Es ist also zu vermuten, dass die Einschwemmung mit dem Grundwasser wenig Einfluss auf die Riedvegetation hat, solange nur Nitrat mitgeführt wird. Anders liegt der Fall dort, wo die Fettwiese auf organischen Böden stockt: Dort besteht die Gefahr, dass auch Phosphate ausgewaschen und mit dem Grundwasser eingeschwemmt werden. Weil anzunehmen ist, dass Phosphat oft ein stark limitierender Nährstoff ist, kann die indirekte Düngewirkung über das Grundwasser in solchen Fällen bedeutungsvoll sein und unter Umgehung der Pufferzone zur Eutrophierung von Riedern führen.

G. Die untersuchten Transsekten als Beispiele von Düngungseinfluss

Nachdem im voranstehenden Kapitel in allgemeiner Art beschrieben wurde, wie Nährstoffe von der Fettwiese gegen das Ried einfliessen können und wie sie zur Ausbildung einer schützenden Pufferzone führen, soll hier jede der untersuchten Transsekten als ein spezielles Beispiel für diesen Düngereinfluss dargestellt werden. Ein wichtiges Element muss dabei gezwungenermassen meistens fehlen, nämlich die Entwicklung der Vegetation entlang der Transsekte: Ist die Pufferzone stabil oder dringt sie weiter ins Ried vor? Eine solche Betrachtung müsste sich auf die Vegetationsaufnahmen von mehreren Jahren stützen können. Hier konnten einzig bei einigen Transsekten im Zürcher Oberland, die ich bereits im Rahmen meiner Diplomarbeit bearbeitete ([BOLLER-]ELMER,1973) Vergleiche von Vegetationsaufnahmen aus den Jahren 197 und 1975 angestellt werden. Wo sich in dieser kurzen Zeitspanne Hinweise auf Veränderungen ergaben, wird dies in der folgenden Diskussion erwähnt.

G I: Die Transsekte G I wurde untersucht, weil hier einer der wenigen Uebergänge ohne typische Pufferzonen-Vegetation gefunden wurde: Die Fettwiese geht fast unvermittelt ins Ried über, getrennt nur durch eine schmale Uebergangszone mit *Molinietum*-Charakter (ohne *Filipendula ulmaria*). Wahrscheinlich wurde hier das Land erst seit kurzem bis zum Fixpunkt G I 1 inten bewirtschaftet; es scheint sich hier um eine junge, in Entwicklung begriffen Uebergangszone zu handeln. Dafür sprechen auch die Ergebnisse der Stickstoff analysen der Böden. Die Messergebnisse für G I 2, den Fixpunkt in dieser Uebergangszone, sind insofern ungewöhnlich, als die Momentangehalte an Mineralstickstoff von Sommer bis Herbst höher sind als unter der Fettwiese; dagegen sind die Akkumulationswerte negativ, d. h. die Mikroorganismen hatten eher die Tendenz, Stickstoff zu immobilisieren als zu mineralisieren. Das lässt darauf schliessen, dass während der ganzen Zeitspanne Dünger einfloss, der von Pflanzen und Mikroorganismen nicht genügend verbraucht wurde. Diese überschüssigen Düngestoffe könnten weiter gegen das Ried einfliessen; aber

während der Untersuchungsperiode konnte beim 4 m entfernten Fixpunkt G I 3 (noch) kein erhöhtes Stickstoff-Angebot festgestellt werden.

Es ist zu erwarten, dass sich hier im Laufe der Jahre eine breitere Uebergangszone einstellen wird, vermutlich werden sich auch die typischen Pufferzonen-Pflanzen ansiedeln und die Molinieten-Arten verdrängen. Eine solche typische Pufferzone zwischen Fettwiese und *Schoenetum* zeigt sich bei den Transsekten G II und G III.

G II und G III: Die Transsekte G II ist G III benachbart und verläuft parallel zu ihr; G II 1 liegt in der gleichen Fettwiese wie G III 1, und G II 2 stellt einen Vergleichspunkt zu G III 5 und 6 dar. Die Messwerte der Vergleichspunkte sind sehr ähnlich, so dass auf G II nicht näher eingegangen werden muss.

Bei G III drang die typische Pufferzonen-Vegetation bis zum Fixpunkt G III 4 vor; auch die Produktion war bis weit ins Ried hinein (bis G III 5) hoch. Der Momentanstickstoff-Gehalt nahm entlang der Transsekte von der Fettwiese gegen das Ried kontinuierlich ab, ebenso die Akkumulationswerte. Eine Ausnahme bildete der auf Fixpunkt G III 2 beschränkte, stark erhöhte N mom-Wert im Frühjahr 1975,welcher auf einfliessenden Dünger zurückzuführen ist, wie bereits ausführlich dargelegt wurde. Die Pufferzone scheint hier also das Ried sehr wirksam gegen einfliessende Nährstoffe zu schützen.

A IV: Auch hier nahm der Pufferzonen-Charakter von Punkt 2 - 6 stetig ab, ebenso die Produktion. A IV ist eine der Transsekten, bei denen der N mom-Gehalt des Bodens und der N total-Gehalt in den Pflanzen beim am weitesten im Ried liegenden Fixpunkt (A IV 6) wieder zunimmt: Hier ist also Stickstoff nicht mehr limitierend. Bis zum zweitletzten Fixpunkt (A IV 5, 12 m von der Bewirtschaftungsgrenze entfernt) können aber offenbar durch biogenen Transport oder Einschwemmung auch noch andere Nährstoffe vordringen, so dass hier der anorganische Stickstoff besser ausgenützt werden kann. Als Einschwemmung von Nitrat aus Kunstdünger konnten die erhöhten N mom-Gehalte der Böden von Fettwiese und den ersten Pufferzonenpunkten im Frühjahr 1975 gewertet werden; auch hier war die Düngewirkung nur über wenige Meter sichtbar, so dass man den Eindruck erhält, die Pufferzone sei wirkungsvoll. Dies zeigt auch ein Vergleich der Vegetationsaufnahmen von 1973 und 1975: In den

zwei Jahren veränderten sich weder die Pufferzonen- noch die Riedvegetation.

A V: Bei dieser Transsekte ist Düngungseinfluss von beiden Seiten her zu erwarten: Der Fixpunkt A V 6 liegt nur 4 m von einem Entwässerungsgraben entfernt, dessen Einzugsgebiet unter anderem die in der Nähe liegenden Fettwiesen sind. Dies mag erklären, dass die Produktion und der Stickstoff-Gehalt in den Pflanzen entlang der Transsekte zunächst ab-,aber vom Fixpunkt A V 4 an wieder zunahm. Die Vegetation aller Fixpunkte hat Pufferzonencharakter. Die Gehalte der Böden an mineralischem Stickstoff lassen Düngungseinfluss nicht direkt erkennen; es handelt sich hier also um ein stabiles System, in dem von beiden Enden der Transsekte her Nährstoffe einfliessen, aber nur soviel, dass sie von Pflanzen und Mikroorganismen verwertet werden können. Ein Vergleich mit der Vegetationsaufnahme von 1973 zeigt keine wesentlichen Unterschiede ausser der Tatsache, dass Fixpunkt A V 2 im Jahre 1973 noch zur Fettwiese gehörte und erst seit 1974 extensiv bewirtschaftet wurde. In den zwei Jahren, in denen hier kein Schnitt und keine Düngung erfolgte, vermehrte sich *Filipendula ulmaria* von einer Artmächtigkeit von 2 auf eine von 5, die Moosschicht wuchs von 5 auf 45 % Deckung,und die Fettwiesen-Arten wurden weniger häufig. Dies zeigt, dass die Hochstaudenflur nicht nur ins Ried, sondern auch in die Fettwiese vordringen kann, sobald sie nicht mehr häufig geschnitten wird.

A VI: Obwohl ich nie Düngung beobachten konnte, veränderte sich die Vegetation von Pufferzone und Ried hier zwischen 1973 und 1975 deutlicher als anderswo (Tab. 4). Besonders auffällig ist es, dass bei A VI 4 innerhalb zweier Jahre folgende Arten verschwanden oder stark dezimiert wurden: *Trichophorum alpinum, Carex Davalliana, Carex flava.* Schon 1973 trat hier *Carex acutiformis* mit einer Artmächtigkeit von 3 auf; das deutet darauf hin, dass ein Düngungseinfluss schon damals bestand.

Der Gehalt der Böden an N mom war nie auffällig gross, dagegen wiesen alle Fixpunkte sehr hohe Akkumulationswerte auf. Dies lässt vermuten, dass die Nährstoffzufuhr hier nicht mit oberflächlicher Einschwemmung, sondern eher mit stetigem Düngungseinfluss durch das Grundwasser oder mit biogenem Transport und dadurch erhöhter Bodenaktivität zusammenhängt. Aber auch das Absinken des mittleren Grundwasserstandes und die anschliessende Mineralisie-

Tab. 4. Vergleich der Vegetationsaufnahmen von Transsekte A VI aus den Jahren 1973 und 1975. Pflanzenarten geordnet nach verschwundenen, zurückgegangenen, gleichgebliebenen, geförderten und neu auftretenden Arten.

Fixpunkt	A VI 2		A VI 4	
Jahr der Aufnahme	1973	1975	1973	1975
Centaurea angustifolia	1		r	
Festuca rubra	+		+	
Betonica officinalis	1			
Anthoxanthum odoratum	1			
Holcus lanatus	1			
Hypericum perforatum	+			
Trichophorum alpinum			+	
Linum catharticum			+	
Carex flava	2		2	+
Equisetum palustre	2	+	+	r
Galium uliginosum	1	+	+	
Angelica silvestris	3	+		
Carex Davalliana			2	+
Eriophorum latifolium			1	r
Calluna vulgaris			3	1
Climacium dendroides	2	1	+	+
Molinia coerulea	3	+	3	2
Potentilla erecta	1		+	+
Filipendula ulmaria	3	3	+	+
Acrocladium cuspidatum	3	3		
Vicia cracca	1	1		
Cirsium oleraceum	+	+		
Sphagnum spec.			3	3
Pleurozium Schreberi			+	+
Mentha aquatica	1		+	1
Succisa pratensis	r		+	2
Thuidium Philibertii	+		+	1
Lythrum salicaria	1	+	+	2
Carex acutiformis	3	4	3	3
Galium album	+	2	+	+
Mnium Seligeri	+	1		
Lathyrus pratensis	1	2		
Lysimachia vulgaris	+	1		
Rhamnus cathartica			1	2
Dicranum scoparium			+	1
Cirsium palustre			+	2
Lotus corniculatus		3		
Cardamine pratensis		r		
Carex panicea				+
Ajuga reptans				+

rung könnten hier mitspielen.

A VII: Leider fehlen hier die Produktionsmessungen für die eigentliche Pufferzone (Fixpunkte 2 und 3). Bemerkenswert sind die hohen, bis zum Fixpunkt 4 aber stark abfallenden N mom und N akk-Werte: Die typische Pufferzone, etwa 10 m breit, scheint das Ried gegen die aus der Fettwiese einfliessenden Nährstoffe genügend zu schützen. Dennoch scheint ein gewisser Düngunseinfluss auch im Riedinnern (*Caricetum Davallianae*) zu bestehen; die Produktion ist vor allem bei A VII 5 und 6 relativ hoch, und *Filipendula ulmaria* ist bis zu diesen Punkten vorgestossen. Möglicherweise hängt dies damit zusammen, dass der innere Teil des Rieds im Herbst oft nicht geschnitten wurde; trotz der schützenden Pufferzone kann hier das Ried allmählich umgewandelt werden, wenn es durch die liegengebliebene Streu gedüngt wird.

O VIII: Bei der Transsekte O VIII ist die Produktion der extensiv bewirtschafteten Flächen relativ hoch, nimmt aber gegen das Riedinnere stetig ab. Sehr auffällig ist die Zunahme des Stickstoffgehaltes der Pflanzen im Riedinnern. Obwohl hier häufig Düngung(in Form von Jauche oder Klärschlamm) beobachtet wurde, wurden nie überdurchschnittlich hohe N mom-Werte gemessen; sie lagen entlang der ganzen Transsekte dauernd relativ hoch. Hier dürfte es sich also um eine längerfristige, stetige Nährstoffzufuhr handeln, möglicherweise zum Teil auch mit dem Grundwasser (hier stockt die Fettwiese auf organischem Boden!). Auch hier wurde ferner die gesamte extensiv bewirtschaftete Fläche im Herbst 1974 nicht geschnitten, so dass über die liegengebliebenen Pflanzenteile eine Nährstoffanreicherung zustande kommen konnte.

Bei dem am weitesten im Riedinnern liegenden Fixpunkt, in einem *Caricetum elatae*, kommen trotz dem vermuteten Düngungseinfluss keine Arten der Pufferzone vor. Möglicherweise wird hier die Pufferzonen-Vegetation durch dauernd hohen Grundwasserstand limitiert.

O IX: Diese Transsekte brachte mich auf die Idee, wie die Schutzwirkung einer Pufferzone erhöht werden könnte. Hier folgt nämlich auf die intensiv bewirtschaftete Fettwiese ein ca. 10 m breiter Wiesenstreifen, der nicht mehr regelmässig gedüngt, aber etwa zweimal jährlich geschnitten wird

(O IX 2). Dahinter schliesst ein schmaler (5 m breiter), produktiver Streifen eines *Valeriano-Filipenduletum* mit viel *Carex acutiformis* an (O IX 3). Weiter ins Ried (O IX 31 und folgende) dringen nur wenige Pufferzonen-Arten ein. Die Kombination von wenig gedüngter, aber noch mehrmals jährlich geschnittener Fettwiese (in die *Filipendula* von der Uebergangszone her vorgestossen ist), mit der *Valeriano-Filipenduletum*-Pufferzone scheint das Ried sehr wirksam vor Nährstoffzufuhr zu schützen. So finden sich denn auch hier im Riedinnern gut erhaltene oligotrophe Pflanzengesellschaften. Auf ein *Caricetum davallianae* (O IX 31 - O IX 5) folgt ein *Caricetum fuscae* (O IX 6) und ein von dieser Gesellschaft überlagertes *Rhynchosporetum albae* (O IX 7). Gerade dort war im übrigen - bei sehr geringer Produktion - der Stickstoffgehalt in der Vegetation wieder erhöht, also der Stickstoff weniger limitierend als andere Nährstoffe.

O X: Der erste Punkt der Pufferzone dieser Transsekte (O X 2) wird von *Urtica dioeca* beherrscht. Ich vermute, dass dies dadurch zustande kam, dass an dieser Stelle vor einigen Jahren über den Winter Mist gelagert wurde. Es steht möglicherweise im Zusammenhang damit, dass das typische *Valeriano-Filipenduletum* (in der *Carex acutiformis*-Ausbildung) bis etwa 15 m von der Bewirtschaftungsgrenze ins Ried vorstösst (über O X 4 hinaus); bis zu O X 4 waren auch die Momentan- und Akkumulationswerte des Mineralstickstoffs stets sehr hoch. Die Produktion war auffälligerweise bei Punkt O X 3 und O X 4 höher als bei dem von *Urtica* dominierten Punkt O X 2. Die massive Düngewirkung, die hier einst zur Bildung des *Urtica*-Bestandes führte, hat also auch jetzt noch eine ungünstige Wirkung, indem die geschädigte Vegetation wenig produziert und daher bei Schnitt nur relativ wenig Nährstoffe weggeführt werden können.

F XI: Hier folgt auf eine nicht mehr sehr intensiv bewirtschaftete Fettwiese eine zwar schmale (2 - 3 m), aber das Ried wirksam schützende Pufferzone: Die Vegetation blieb hier von 1973 bis 1975 praktisch unverändert. Der gute Schutz scheint damit zusammenzuhängen, dass die Fettwiese nach meiner Beobachtung nur mässig und nach Auskunft des Besitzers meist nur mit Stallmist gedüngt wurde, der, wie erwähnt, nur zu geringen indirekten Düngewirkungen führt.

Bemerkenswert ist auch hier, dass der Stickstoffgehalt der Vegetation im Riedinnern wieder ansteigt; Fixpunkt F XI 5 war, im Gegensatz zu F XI 4, häufig überschwemmt, und es ist hier denkbar, dass das Ueberschwemmungswasser Nährstoffe enthielt und möglicherweise auch Stickstoff-Fixation (durch Blaualgen) ermöglichte.

F XII: Wie F XI führt auch diese Transsekte in ein *Caricetum davallianae*, und auch hier ist die eigentliche Pufferzone (F XII 3) relativ schmal (5 m). Allerdings deutet die Vegetation von F XII 2 (viel *Filipendula ulmaria* und *Carex acutiformis*) darauf hin, dass dieser Fixpunkt, der jetzt mit der Fettwiese bewirtschaftet wird, früher ebenfalls zur Pufferzone gehörte. Beim Vergleich der Vegetationsaufnahmen von 1973 und 1975 wird hier deutlich, dass sich das Ried allmählich umwandelt, indem die Pufferzonen-Vegetation weiter vorstösst (Tab. 5): *Molinia coerulea, Centaurea angustifolia* gingen zurück, während *Filipendula ulmaria, Lysimachia vulgaris* und *Cirsium oleraceum* zunahmen und *Plantago lanceolata* und *Ranunculus Friesianus* neu auftauchten. Hier genügt also der Schutz der Pufferzone in ihrer momentanen Ausdehnung nicht. Der Nährstoffeinfluss äussert sich bei den Mineralstickstoff-Messresultaten in auffällig hohen N akk-Werten; im Frühling waren auch die N mom-Werte sehr hoch. Neben der oberflächlichen und der Grundwasser-Einschwemmung spielt vermutlich biogener Transport eine Rolle (Erhöhung der Bodenaktivität!).

F XIII: Typisch für diese Transsekte ist die schmale, nur 1 - 2 m breite, sehr produktive Pufferzone, die abrupt ins Ried (*Caricetum davallianae*) übergeht. Wie bei F XI handelt es sich auch hier um eine magere "Fett"-Wiese, so dass der Düngungseinfluss vermutlich gering ist und offenbar von der Pufferzone aufgefangen werden kann. Allerdings wurden Pufferzone und Ried im Herbst 1974 nicht geschnitten. Unregelmässiger Schnitt mag ein Grund dafür sein, dass im Ried, das im ganzen noch gut ausgebildet war, einzelne *Filipendula*-Pflanzen aufkamen.

R I: Hier interessierte vor allem der Fixpunkt R I 1; er liegt in einem *Molinietum*, das während den Jahren 1972/1973 intensiv bewirtschaftet wurde und sich so zu einer Uebergangsgesellschaft zwischen *Molinietum* und

Tab. 5. Vergleich der Vegetationsaufnahmen von Fixpunkt F XII 5 aus den Jahren 1973 und 1975. Pflanzenarten geordnet nach verschwundenen, zurückgegangenen, gleichgebliebenen, geförderten und neu auftretenden Arten.

Jahr der Aufnahme	1973	1975
Festuca rubra	+	
Luzula campestris	+	
Pimpinella saxifraga	+	
Gentiana asclepiadea	+	
Prunella vulgaris	+	
Centaurea angustifolia	2	+
Molinia coerulea	4	2
Potentilla erecta	2	1
Carex flava	2	1
Rhinanthus minor	+	r
Equisetum palustre	2	2
Carex Davalliana	2	2
Lotus uliginosus	2	2
Anemone nemorosa	2	2
Betonica officinalis	2	2
Succisa pratensis	2	2
Climacium dendroides	2	2
Rhytidiadelphus squarrosus	3	3
Orchis maculata	1	1
Linum catharticum	+	+
Colchicum autumnale	+	+
Carex panicea	2	3
Lysimachia vulgaris	1	2
Filipendula ulmaria	+	1
Briza media	+	2
Cirsium oleraceum	+	2
Plantago lanceolata		+

Arrhenatheretum entwickelte.KLöTZLI (1969) beschrieb, wie leicht ein *Molinietum* durch direkte Düngung und mehrmalige Mahd zerstört werden kann; bei Punkt R I 1 zeigt es sich, dass die Umwandlung nicht so leicht rückgängig gemacht wie erzeugt werden kann. 1975 war die inzwischen nicht mehr gedüngte, extensiv bewirtschaftete Fläche in ihrer Vegetation immer noch recht fettwiesen-ähnlich. Auch die Uebergangszone zum *Caricetum elatae* wies noch Fettwiesen-Arten auf und war sehr produktiv. Aus diesen Resultaten kann geschlossen werden, dass der direkte, aber auch der indirekte Düngungseinfluss wenigstens über 2 Jahre hinweg nachwirkt, auch wenn die Düngung aufgegeben wird.

R II und R III: R II 1, R I 3 und R III 3 liegen alle im gleichen Altlauf der Reuss; es handelt sich um verschiedene Ausbildungen des *Caricetum elatae*, wobei der Nährstoffzeigewert der Vegetation in der aufgeführten Reihenfolge abnimmt. R II 1 stellt einen isolierten Vergleichpunkt dar und soll hier nicht weiter besprochen werden. Der bei R III 3 aus der Vegetation abzulesende Düngungseinfluss war grösser als bei R I 3; nur bei R III 3 drang *Filipendula ulmaria* bis ins *Caricetum elatae* vor, und entsprechend war die Produktion von Pufferzone und Ried bei R III grösser als bei R I.

Wir müssen daraus schliessen, dass die relativ schmale Pufferzone bei R III, die an einen Acker grenzt, das Ried nicht genügend schützen kann.

R IV: Wie bei G I weist auch diese Uebergangszone keine typische Pufferzonen-Vegetation auf. Hier handelt es sich nun mit Gewissheit um eine Uebergangszone, die erst in Entwicklung begriffen ist: Gemäss Auskünften des Besitzers befand sich an Stelle des Ackers 1973 noch ein Ried. Die Vegetation von R IV 2 hatte hier also noch nicht genügend Zeit, sich zu einer typischen Pufferzone zu entwickeln. Indirekter Düngungseinfluss vom Acker her liess sich aber im Frühling 1974 direkt beobachten: Der erhöhte Nitrat-Gehalt bei R IV 2 zu diesem Zeitpunkt steht in Zusammenhang mit der kurz zuvor erfolgten Düngung des Ackers.

Wie bei G I 2 kam auch bei R IV 2 (noch) keine *Filipendula ulmaria* und keine *Carex acutiformis* vor. Die Düngewirkung äusserte sich erst im vermehrten Auftreten von *Arrhenatheretum*-Arten im Vergleich zu R IV 3. Es ist aber zu erwarten, dass sich im Bereich von R IV 2 allmählich ein *Valeriano-Filipenduletum* entwickelt.

R V und R VI: Hier handelt es sich um 2 nahe beieinander gelegene, parallel verlaufende Transsekten, die direkt miteinander verglichen werden sollten. R V wird ab Fixpunkt R V 2 extensiv bewirtschaftet. Bei der parallelen Transsekte R VI dringt aber die Fettwiese weiter gegen das Ried vor, so dass die Bewirtschaftungsgrenze auf der Höhe von Fixpunkt R V 7 liegt. Somit können bei topographisch gleichen Verhältnissen, aber anderem Abstand von der Bewirtschaftungsgrenze R V 7 - 9 mit R VI 2 - 3 verglichen werden. Hier befindet sich bei R V die *Carex elata*-Ausbildung des *Valeriano-Filipenduletum* (F e), bei R VI aber die *Carex acutiformis*-Ausbildung (F ac),

welche für ein grösseres Nährstoff-Angebot und ein etwas trockneres Wasser-Regime charakteristisch ist als F e. Dass die Bedingungen bei R VI etwas trockener sind,ist wahrscheinlich so zu erklären, dass dank besserer Nährstoffversorgung mehr Pflanzenmaterial produziert und daher auch mehr Wasser transpiriert wurde: Die produktivere Vegetation entzieht damit dem Boden mehr Wasser. Tatsächlich lag die Produktion bei R VI 2 und 3 viel höher als bei den geographisch benachbarten Punkten R V 7 - 9 und war sehr ähnlich wie die von R V 2 und 3 (weit entfernt, aber ähnlicher Abstand zur Bewirtschaftungsgrenze).

Die grosse Breite der Pufferzone von R V (bei R VI wäre sie wohl ähnlich breit, wurde aber nicht soweit untersucht) ist wahrscheinlich durch den relativ wasserundurchlässigen Lehmboden bedingt. Dies behindert den Wasserabfluss in den Boden und fördert somit bei stärkeren Regenfällen die oberflächliche Einschwemmung von Nährstoffen. Im übrigen waren R V und R VI im Jahr 1975 mehrere Wochen überschwemmt, so dass im September keine Bodenproben entnommen werden konnten. Ueberschwemmungen würden, wie erwähnt, den oberflächlichen Transport von Nährstoffen ebenfalls fördern.

Noch einmal soll hier festgehalten werden, dass auch bei R V trotz sinkender Produktion der Stickstoffgehalt der Pflanzen im zweiten Teil der Transsekte wieder zunahm.

H. Schlussfolgerungen: Die Bedeutung der Pufferzone für die Erhaltung von Streu- und Moorwiesen

Der Hochstaudensaum (*Valeriano-Filipenduletum*), der sich beim Uebergang von Intensiv-Grünland zu Streu- und Moorwiesen bildet, übernimmt eine natürliche Schutzfunktion gegen die indirekte Düngung des Rieds, indem seine Vegetation einfliessende Nährstoffe abfängt und zu üppigem Wachstum benützt. Wir nennen den Hochstaudensaum daher "Pufferzone".

Damit dieser Schutz wirkungsvoll ist, muss die Pufferzone im Herbst geschnitten und die Streue unmittelbar danach weggeführt werden. So können die im Pflanzenmaterial angesammelten Nährstoffe dem System entzogen werden. Andernfalls werden die oberirdischen Pflanzenteile am Standort abgebaut, und die wieder frei gewordenen Nährstoffe können weiter ins Ried eingeschwemmt werden. Es ist deshalb auch ungünstig, wenn die Vegetation zwar im Herbst geschnitten, die Streue aber erst im folgenden Frühling weggeführt wird, wie ich dies mehrmals beobachtete.

Alljährlich geschnittene Pufferzonen erfüllen ihre Schutzfunktion befriedigend. Allerdings sind sie je nach der Stärke des Düngungseinflusses unterschiedlich breit (2 - 15 m).

Eine allzu breite Pufferzone ist dort unerwünscht, wo sie seltene Pflanzengesellschaften nährstoffarmer Standorte verdrängt, vor allem an Orten, wo nur noch kleine Flächen von Streuland inmitten von Intensiv-Grünland übriggeblieben sind. Welche flankierenden Massnahmen können in solchen Fällen ergriffen werden, damit ein schmaler Pufferzonenstreifen an der Grenze des Rieds genügend wirksam ist?

Die erste, naheliegende Massnahme besteht darin, den Düngungseinfluss auf ein Mindestmass zu reduzieren. Die an Rieder grenzenden Fettwiesen sollten möglichst massvoll gedüngt werden. Auch die Form der Dün-

gung ist wichtig: Die Gefahr der Einschwemmung von Nährstoffen ist bei Stallmistgaben geringer als bei Flüssig- oder Kunstdüngung. Vor allem von August bis April, solange die Pufferzonenvegetation sich nicht mehr oder noch nicht entwickelt, sollte darauf Rücksicht genommen und Stallmist als Dünger eingesetzt werden.

Eine zweite, zusätzliche Möglichkeit, die Verbreiterung einer Pufferzone gegen das Ried hin zu verhindern, ist ihre Ausdehnung gegen die Fettwiese hin: Dies kann so erreicht werden, dass das an den Hochstaudensaum grenzende Intensiv-Grünland über eine Distanz von 10 m nicht mehr gedüngt, aber zusammen mit der Fettwiese 2 - 3 x jährlich geschnitten wird. In diesem Wiesenstreifen werden aus dem gedüngten Bereich einfliessende Nährstoffe ähnlich wie im Hochstaudensaum abgefangen und mit dem geschnittenen Pflanzenmaterial entfernt, so dass die Pufferzone dann eigentlich den Fettwiesenstreifen und den Hochstaudensaum umfasst.

Die Wirksamkeit der 2. Möglichkeit wird aus der Untersuchung der Transsekte O IX ersichtlich. Sie scheint eine sehr geeignete Massnahme dafür zu sein, gefährdete Rieder ohne grossen Mehraufwand zu schützen. Allerdings sollte in einer weiterführenden Untersuchung experimentell genauer abgeklärt werden, wie gross die zusätzliche Schutzwirkung eines derartigen Wiesenstreifens ist, um wieviel schmäler dadurch der Hochstaudensaum bleibt und mit einer wie grossen Ertragseinbusse bei einer nur indirekt gedüngten Fettwiese zu rechnen ist.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Schweizer Mittelland (Zürcher Oberland und aargauisches Reusstal) wurde die Kontaktzone zwischen dem Intensiv-Grünland und extensiv bewirtschafteten Streu- und Moorwiesen untersucht. An 17 Standorten wurde eine zur Bewirtschaftungsgrenze senkrechte Linie (Transsekte) von Intensiv- zu Extensiv-Grünland gezogen; auf jeder dieser Transsekten wurden mehrere Fixpunkte zur pflanzensoziologischen Analyse und zu Bodenuntersuchungen gewählt.

Unmittelbar jenseits der Bewirtschaftungsgrenze schloss ans Intensiv-Grünland (Fettwiese oder Acker) eine Uebergangszone mit einem üppig gedeihenden Hochstaudensaum an, in dem *Filipendula ulmaria* und *Carex acutiformis* zusammen mit *Lysimachia vulgaris* die Vegetation dominierten. Er kann pflanzensoziologisch der Gesellschaft des *Valeriano-Filipenduletum* (SISSINGH, 1945) zugerechnet werden. Es stellte sich heraus, dass die typische Ausbildung (mit *Carex acutiformis*) entlang den Transsekten fliessende Uebergänge zur Fettwiese (*Arrhenatheretum*) auf der einen und zu Streu- und Moorwiesen-Gesellschaften (*Primulo-Schoenetum; Caricetum davallianae; Caricetum canescenti-fuscae; Caricetum elatae*) auf der andern Seite zeigte.

Die Messungen des Stickstoff-Angebots im Boden (momentan pflanzenverfügbarer und mineralisierbarer Stickstoff) zeigten, dass es in der Uebergangszone nahe der Bewirtschaftungsgrenze hoch ist und zum Ried hin stetig abfällt, in gleichem Masse, wie die Arten des Hochstaudensaumes und die Produktivität der Vegetation abnehmen. Mehrmals wurde beobachtet, dass das Stickstoff-Angebot im Riedinnern wieder anstieg - trotz weiter abnehmender Produktivität.

Das gleiche Bild - eine stetige Abnahme im Bereich der Uebergangszone und manchmal ein Wiederanstieg im Riedinnern - ergab sich für den Stickstoffgehalt der Pflanzen.

Beide Resultate deuten darauf hin, dass sich der Hochstaudensaum dort bildet, wo das Stickstoff-Angebot in der Nähe des gedüngten Intensiv-Grünlandes erhöht ist, und dass die Abnahme des Angebots seine Ausdehnung gegen das Ried hin begrenzt.Im Riedinnern ist dagegen der Stickstoff manchmal weniger limitierend als andere Faktoren.

Es wird vermutet, dass das erhöhte Stickstoffangebot durch indirekte Düngung von der Fettwiese her zustande kommt, nämlich durch oberflächliche Einschwemmung, biogenen Transport im Boden oder durch Grundwasser-Einfluss. Der Hochstaudensaum kann die einfliessenden Nährstoffe abfangen und zu üppigem Wachstum benutzen. Er wirkt damit als Pufferzone gegen den indirekten Düngungseinfluss und schützt das Ried davor. Damit diese Schutzwirkung eintritt, muss die Pufferzone regelmässig geschnitten und das Pflanzenmaterial mit den eingebauten Nährstoffen weggeführt werden.

Je nach Stärke des Düngungseinflusses dringt die Pufferzone mehr oder weniger weit (2 - 15 m) ins Ried vor. Soll die Pufferzone möglichst schmal gehalten werden, so muss ihre Schutzwirkung durch zusätzliche Massnahmen unterstützt werden: Das Intensiv-Grünland soll möglichst massvoll gedüngt

werden; von August bis April sollte die Düngung, zumindest mit Kunstdünger oder Jauche, ganz unterbleiben. An der Grenze zum Extensiv-Grünland sollte ein etwa 10 m breiter Wiesenstreifen überhaupt nicht gedüngt, aber mit der Fettwiese zusammen geschnitten werden; dieser Wiesenstreifen ergibt eine zusätzliche Pufferzone.

SUMMARY

In the northern Swiss Midlands, the contact zone between fertilized land and straw meadows was investigated. At 17 stations, transects were drawn from fertilized meadows or wheat fields to straw or fen meadows. On each transect, several fixed points were chosen for an analysis of the plant community and of the soil.

At the borders of the fertilized land, a transition zone was developed with a luxuriant vegetation, dominated by *Filipendula ulmaria, Carex acutiformis* and *Lysimachia vulgaris*. In its typical form, it can be apportioned to the *Valeriano-Filipenduletum* (SISS., 1945). Along the transect, there are transitions of this community to the *Arrhenatheretum* on the one side and to the fen communities (*Primulo-Schoenetum; Caricetum davallianae; Caricetum canescenti-fuscae; Caricetum elatae*) on the other.

The nitrogen supply of the soil was determined by measurements of the content of mineral nitrogen and the potential of nitrogen mineralization. Both quantities were high near the border of the fertilized land and both dropped steadily towards the fen meadow, in parallel with a decrease of the species of the *Valeriano-Filipenduletum* and a diminution of the productivity of the vegetation. Several times the nitrogen supply seemed to increase in the more central parts of the fen, in spite of a further decrease in productivity.

The nitrogen content of the plants also decreased along the transect and increased sometimes again in the inner regions of the fen.

Both results indicate that the *Valeriano-Filipenduletum*-zone is formed where the nitrogen supply is high and that the decrease of the latter limits the extension of the community.

In the discussion, the increased nitrogen supply is interpreted as a probe for an indirect fertilization, due to surface runoff, biogenous transport in the soil or leaching and groundwater flow. The transition zone can use the entering nutrients for luxurious growth. Therefore, it has the effect of a buffer zone against indirect fertilization and protects the fen against it. The protection is effective only when the vegetation of the buffer zone is cut regularly and the plant material with the incorporated nutrients removed. The buffer zone extends 2 - 15 m towards the fen, depending on the strength of the indirect fertilization effect.

LITERATUR

ALEXANDER, V., 1975: Nitrogen fixation by blue-green algae in polar and subpolar regions. In: STEWART, W.D.P. (Herausg.): Nitrogen fixation by free-living micro-organisms. Cambridge University Press, Cambridge, 175 - 188.

BALATOVÁ-TULÁČKOVÁ, E., 1972: Flachmoorwiesen im mittleren und unteren Opava-Tal (Schlesien). Vegetace CSSR A4. Academia, Prag. 200 S.

BERNARD, J. M. und SOLSKY, B.A., 1977: Nutrient cycling in a *Carex lacustris* wetland. Can. J. Bot. *55*, 630 - 638.

BERTSCH, K., 1959: Moosflora von Südwestdeutschland. Ulmer, Stuttgart (2. Aufl.), 234 S.

BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer, Wien/New York (3. Aufl.), 865 S.

BREMNER, J. M. und SHAW, K., 1958:Denitrification in soil I. Methods of investigation. J. Agric. Sci. *51*, 22 - 39.

CAMPBELL, N. E. R. und LEES, H., 1967: The nitrogen cycle. In: Mc LAREN, A. D. und PETERSON, G. H. (Herausg.): Soil Biochemistry, Dekker, New York, 194 - 215.

CHWASTEK, M., 1963: The influence of nutritional soil resources, especially phosphorous content, on the dominance of *Molinia coerulea* (L.) Moench in the meadow sward. The Poznan Soc. of Friends of Sci. Dept. Agric. Sylvic. Sci. *14*, 277 - 356.

CLARK, F. E. und PAUL, E. A., 1970: The microflora of grassland. Adv. Agron. *22*, 375 - 435.

EDWARDS, C. A. und HEATH, G. W., 1963: The role of soil animals in breakdown of leaf litter. In: DOEKSEN, J. und VAN DER DRIFT (Herausg.): Soil organisms. North Holland Publishing, Amsterdam, 76 - 84.

EHRHARDT, F., 1961: Untersuchungen über den Einfluss des Klimas auf die Stickstoffnachlieferung von Waldhumus in verschiedenen Höhenlagen der Tiroler Alpen.Forstw. Cbl. *80*, 193 - 215.

ELLENBERG, H., 1956: Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. Ulmer, Stuttgart, 136 S.

--- , 1963: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Ulmer, Stuttgart, 943 S.

--- , 1964: Stickstoff als Standortsfaktor. Ber. Deutsche Bot. Ges. *77*, 82 - 92.

--- , 1968: Zur Stickstoff- und Wasserversorgung ungedüngter und gedüngter Feuchtwiesen - ein Nachwort. Veröff. Geobot. Inst.ETH, Stiftung Rübel, *41*, 194 - 200.

--- , 1974: Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica *9*, 5 - 97.

ELMER, K., 1973: Ueber den Einfluss von Düngung auf Streuwiesen und Moore. Diplomarbeit, Abt. Naturwissenschaften der ETH, deponiert am Geobotanischen Institut der ETH Zürich, 165 S.

FRÜH, J. und SCHRÖTER, C., 1904: Die Moore der Schweiz mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage. Beitr. Geol. Schweiz., Geotechn. Ser., *3*, 751 S.

GERLACH, A., 1973: Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Stickstoffnettomineralisation. Scripta Geobotanica *5*, 116 S.

GRANHALL, U. und SELANDER, H., 1973: Nitrogen fixation in a subarctic mire. Oikos *24*, 8 - 15.

--- und v. HOFSTEN, A., 1976: Nitrogenase activity in relation to intracellular organisms in *Sphagnum mosses*. Physiol. Plantarum *36*, 88 - 92.

GRAY, T. R. G. und WILLIAMS, S. T., 1971: Soil micro-organisms. Hafner, New York, 240 S.

HAMDI, Y. A., 1973: Soil-water tension and the movement of *Rhizobia*. Soil Biol. Biochem. *3*, 121 - 126.

HANTKE, R., 1967: Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete. Vierteljahresschr. Naturforsch. Ges. Zürich *112*, 91 - 122.

HELLMUND, H. W., 1909: Die Drumlin-Landschaft zwischen Pfäffiker- und Greifensee. Vierteljahresschr. Naturforsch. Ges. Zürich *54*, 3 - 68.

HESS, H. E., LANDOLT, E. und HIRZEL, R., 1967: Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. Bd. I. Birkhäuser, Basel, 858 S.

--- , 1970: Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. Bd. II. Birkhäuser, Basel, 956 S.

--- , 1972: Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. Bd. III, Birkhäuser, Basel, 876 S.

HESSELMANN, H., 1917: Studien über die Nitratbildung in natürlichen Böden und ihre Bedeutung in pflanzenökologischer Hinsicht. Medd. Stat. Skogförs. Anst. *13/14*, 297 S.

JANSSON, S. L., 1955: Orientierende Studien über den Stickstoffkreislauf im Boden mit Hilfe von 15N als Leitisotop. Z. Pflanzenern., Düngung, Bodenk. *69*, 190 - 198.

--- , 1958: Tracer studies on nitrogen transformations in soil with special attention to mineralisation/immobilization relationships. Kungl Lantbr. Ann. *24*, 101 S.

KELLER, P., 1928: Pollenanalytische Untersuchungen an Schweizer Mooren und ihre florengeschichtliche Bedeutung. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *5*, 163 S.

KLAPP, E., 1965: Taschenbuch der Gräser. Parey, Berlin/Hamburg (9. Aufl.), 260 S.

KLEIN, A., 1974: Artenreiche Rasen an Autobahnböschungen. Diplomarbeit, Abt. Naturwissenschaften der ETH, deponiert am Geobotanischen Institut der ETH Zürich.

K. L. N., 1967: Inventar der zu erhaltenden Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung. Walter, Olten, 242 S.

KLÖTZLI, F., 1967: Umwandlung von Moor- und Sumpfgesellschaften durch Abwässer im Gebiet des Neeracher Riets. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *37*, 104 - 112.

--- , 1969: Die Grundwasserbeziehungen der Streu- und Moorwiesen im nördlichen Schweizer Mittelland. Beitr. Geobot. Landesaufn. Schweiz *52*, 296 S.

--- und ZÜST, S., 1973: Nitrogen regime in reed-beds.Pol. Arch. Hydrobiol. *20*, 131 - 136.

KNAPP, R. und STOFFERS, A. L., 1962: Ueber die Vegetation von Gewässern und Ufern im mittleren Hessen und die Untersuchungen über den Einfluss von Pflanzen auf Sauerstoffgehalt, pH-Konzentration und die Lebensmöglichkeiten anderer Gewächse. Ber. Oberhess. Ges. Natur- und Heilkde Giessen, Naturwiss. Abt. *32*, 90 - 141.

LEÓN, R., 1968: Balance d'eau et d'azote dans les prairies à litière des alentours de Zurich. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *41*, 2 - 67.

LOSSAINT, P. und ROUBERT, R. M., 1964: La minéralisation de l'azote organique dans quelques humus forestiers acides. Ann. Inst. Pasteur *107*, 178 - 187.

MASON, C. F. und BRYANT, R. J., 1975: Production, nutrient content and decomposition of *Phragmites communis* Trin. and *Typha angustifolia* L. J. Ecol. *63*, 71 - 95.

MAYER, M., 1939: Oekologisch-pflanzensoziologische Studien über die *Filipendula ulmaria-Geranium palustre*-Assoziation. Beitr. Geobot. Landesaufn. Schweiz *23*, 64 S.

MEISEL, K., 1969: Zur Gliederung und Oekologie der Wiesen im norddeutschen Flachland. Schr. R. Veg.kde *4*, 23 - 48.

NEUMANN, A., 1952: Vorläufiger Bestimmungsschlüssel für *Carex*-Arten Nordwestdeutschlands im blütenlosen Zustand. Mitt. florist. soziol. Arb. gem. *NF 3*, 44 - 77.

NUTMAN, P. S. (Herausg.), 1976: Symbiotic nitrogen fixation in plants. International Biological Programme, Vol. *7*, Cambridge University Press, Cambridge, 584 S.

PATE, J. S., 1973: Uptake, assimilation and transport of nitrogen compounds by plants. Soil Biol. Biochem. *5*, 109 - 119.

RICHARD, F., 1974: Bodenphysik. Vorlesung für Studierende. Skript ETH Zürich.

RUNGE, M., 1965: Untersuchungen über die Mineralstickstoff-Nachlieferung an nordwestdeutschen Waldstandorten. Flora *155*, 353 - 386.

--- , 1974: Die Stickstoffmineralisation im Boden eines Sauerhumus-Buchenwaldes. I. Mineralstickstoffgehalt und Nettomineralisation. Oecol. Plant. *9*, 201 - 218.

STANFORD, G., LEGG, J. O., DZIENIA, S. und SIMPSON, E. C., 1975: Denitrification and associated nitrogen transformations in soils. Soil. Sci. *120*, 147 - 152.

STEUBING, L., 1965: Pflanzenökologisches Praktikum. Parey, Berlin/Hamburg, 262 S.

STEWART, W. D. P. (Herausg.), 1975: Nitrogen fixation by free-living microorganisms. International Biological Programme, Vol. *6*, Cambridge University Press, Cambridge, 471 S.

STOTZKY, G., 1974: Activity, ecology, and population dynamics of microorganisms in soil. In: LASKIN, A. J. und LECHEVALIER, H. (Herausg.): Microbial ecology. CRC-Press, Cleveland (Ohio), 57 - 135.

VIETS, F. G., 1975: The environmental impact of fertilizers. Critical Reviews in Environmental Control, Vol. *5*, CRC Press, Cleveland (Ohio), 423 - 453.

WILDI, O., 1977: Beschreibung exzentrischer Hochmoore mit Hilfe quantitativer Methoden. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *60*, 128 S.

WILLIAMS, J. T., 1968: The nitrogen relations and other ecological investigations on wet fertilized meadows. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *41*, 69 - 193.

YERLY, M., 1970: Ecologie comparée des prairies marécageuses dans les préalpes de la Suisse occidentale. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich *44*, 119 S.

ZÖTTL, H., 1958: Die Bestimmung der Stickstoffmineralisation im Waldhumus durch den Brutversuch. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk. *81*, 35 - 50.

--- , 1960a: Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldbodenmaterial. I. Beziehungen zwischen Bruttomineralisation und Nettomineralisation. Plant and Soil *13*, 166 - 182.

--- , 1960b: Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldboden-

material. II. Einfluss des Stickstoffgehaltes auf die Mineralstickstoff-Nachlieferung. Plant and Soil *13*, 183 - 206.

--- , 1960c: Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldbodenmaterial. III. pH-Wert und Mineralstickstoff-Nachlieferung. Plant and Soil *13*, 207 - 223.

Zu: Boller-Elmer, K., 1977: Stickstoff-Düngungseinflüsse von Intensiv-Grünland auf Streu- und Moorwiesen. Veröff. Geobot. Inst.ETH, Stiftung Rübel, 63.

VEGETATIONSTABELLE

Abkürzung für den Vegetationstyp	K	A/L	A	A/Fac, A/F	Fac/A	Fac	Fac/A*, Fac*, Fac/Fe*, Fe/Fac*, Fe*	Fac/Ce, Fe/Ce, Ce/Fe, Ce/Cl, Ce	F/Cf, Cf/F, Cf, Cf/R	A/M, M/A, M, M/Fac, JMac	F/S, S	F/Cd, Cd/F, Cd
Abkürzung (je Aufnahme)	K K	A/L A/L A/L A/L A/L A/L A/L	A A A A A A A A A A	A/Fac A/Fac A/Fac A/Fac A/Fac A/Fac A/Fac A/Fac A/Fac A/Fac A/Fac A/Fac A/F	Fac/A Fac/A Fac/A	Fac Fac Fac Fac Fac Fac	Fac/A* Fac/A* Fac/A* Fac* Fac/Fe* Fac/Fe* Fac/Fe* Fe/Fac* Fe* Fe*	Fac/Ce Fe/Ce Ce/Fe Ce/Fe Ce/Cl Ce Ce	F/Cf F/Cf F/Cf F/Cf Cf/F Cf Cf/R	A/M A/M M/A M M/Fac JMac	F/S S S S S S S S	F/Cd F/Cd F/Cd F/Cd Cd/F Cd/F Cd/F Cd/F Cd/F Cd/F Cd Cd Cd
Fixpunkt Nr.	R III 1, R IV 1	A V 1, G I 1, F XI 1, G III 0, G III 1, O IX 1, A VI 1	A VII 1, R VI 1, R V 1, A IV 1, O X 1, O VIII 1, F XII 1, F XIII 1, G II 1, O IX 2	A VII 2, G III 2, A IV 2, O VIII 2, R III 2, F XII 2, F XIII 3, F XIII 2, F XI 2, O X 2, A V 2, A IV 3, R I 2	A VII 3, A IV 4, A VI 2	O X 3, O X 4, A V 3, A VI 3, G III 3, O IX 3	R VI 2, R VI 3, R V 2, R V 3, R V 4, R V 5, R V 6, R V 7, R V 8, R V 9	O VIII 4, O VIII 5, R I 3, R III 3, R II 1, O VIII 6, O X 6	A IV 5, A V 4, A V 5, A V 6, A IV 6, O IX 6, O IX 7	R I 1, R IV 2, R IV 3, G I 2, O VIII 3, A VI 4	G III 4, G III 5, G III 6, G II 2, G I 3, G I 4, G I 5, G I 6	O X 5, F XII 4, F XI 3, F XII 5, F XIII 3, A VII 4, A VII 5, A VII 6, O IX 1, O IX 4, O IX 5, F XI 4, F XI 5
Deckung (%) Krautschicht	100 100	100 100 100 100 95 100 100	100 60 90 100 100 95 80 75 100 75	100 90 75 100 100 90 90 100 100 100 100 100 100	100 100 100	80 80 100 75 100 80	100 100 100 100 100 80 75 80 60 75	75 100 75 80 60 90 60	80 100 100 80 75 80 75	95 100 80 90 70 80	80 75 75 80 75 75 75 80	80 90 95 85 90 90 75 70 85 90 80 75 75
Moosschicht	- -	- - - - - - -	- - - - - - - - - -	- 5 - 30 60 - 80 2 2 15 60 30 20	- 25 60	50 20 50 20 60 20	- - - - 40 50 65 85 100 95	80 70 80. 90 100 60 65	70 70 70 75 100 100 100	2 90 90 50 25 60	40 70 75 75 90 90 100 100	90 70 90 100 90 70 90 90 50 80 100 95 100
Triticum vulgare	5 5											
Lolium perenne		1 2 2 1 + 2 2	2 1 2									
Trifolium repens		2 3 2 4 1 3 3	1 2 + + 2 +									
Cardamine hirsuta		1 +	2 1 +									
Lolium multiflorum		2 2 1 1 2	3 2 3	1			r r			+		
Bromus mollis		1 1 1	1 1 1 1 r +	r						r		
Taraxacum officinale		2 2 1 r +	2 2 r 1 1	+								
Trisetum flavescens		+ +	+ + + 1 + 1									
Rumex obtusifolius		2 3	1 1 + 2	+								
Cerastium caespitosum		+ 1 1 2	+ + 1 + r	r			r			r		
Veronica sublobata		+ 3 r	1 + 2	+								
Bellis perennis		r + 1 r		1 1								
Phleum pratense			1 1	2 + + 1								
Stellaria media		1 1	2 2	+ r	+							
Trifolium pratense		1 2 2 2 2 2 2	2 +	3 2						3 1		
Arrhenatherum elatius		1 r 1 2	2 2 2 2 2 2 2	2 2 1 + 2 + 1 + + r 1 + +						2 +		
Dactylis glomerata		1 2 2 2 1	3 + 2 2 2 r 2 1	2 1 r + r r	+		2 2 + +			1 2 +		
Convolvulus sepium			1 +	+ r r +			1 1					
Ranunculus Friesianus		1 2 2 2 2	+ 2 2 + 1 2 2 1 2	1 3 + 1 + +								
Plantago lanceolata		3 2 +	1 1 + 2 2 2	1 1 2 2 +						2 r 1		+
Glechoma hederaceum		+	2 1 +	1 2 +						+		
Vicia sepium		1 1 1	+ 1 1 +	+ + 1						+		
Poa trivialis		2 2 2	1 2 3 1 3 3 1	+ 1 2 2 1 2			3			2		
Cardamine pratensis		r 1 + 1	1 2 1 1 +	1 + + + + + 2 + r r	1 + r			+				
Rumex acetosa		2 +	1 r r + + r 1	+ + + + r	1	r	1		r	r		
Poa pratensis		2 2 1 + 2 1	1 1 2 2 + 1 1	2 + 1 1 1	+		r		+	1		
Equisetum arvense	+	2	r 2	1		+				2		
Carex hirta		+	1 r	+ 1 +	r							
Ajuga reptans		+ 1 +	1 1 1 +	+ + 1 r r	+					1 +	r 1	
Anthoxanthum odoratum		2 + 2	+ + 2 1 1	1 + + 1 r r + 1	+ r	r 1		1	r r r r	2 + +		
Holcus lanatus		2 + 2 + 2 2 2	3 r 1 2 3 3 1 2	2 1 + + 1 2 + 1 1 2 + 2	+ r	+ 1	+ 1		+ + r	1		+ r
Galium album		1 r +	3 2 1 + 3 1 3	2 2 2 2 3 3 2 2 + 2	1 3 2	2 1 + + + +	+ + r + r + r +	1 1	+	1 +		2
Ranunculus repens		+ 2	1 + 1 2 +	2			r 2 4 2 4	2 2		r		
Anemone nemorosa			1	2 2 2 2 1			2 2 1					2 + 2
Lotus uliginosus		+	1	1 2 2 2 +	2		1 + 2	+ 2	+		+	2 2
Vicia cracca		+	2 1	r r + 1 1	1	+ +	1 1 + 2 2 1 2		+	2 r		2 +
Filipendula ulmaria		r	+ r + r 1 +	2 2 2 4 3 2 3 4 1 3 4 4 3	5 4 3	2 3 4 3 3 3	3 3 3 3 2 2 1 1 2	2 2 + r	4 4 2 3 1	1 +	2	3 2 2 1 + 1 1 + 1 + r
Lysimachia vulgaris				1 + + 1 2 2 2 + + 1 1	+ + 1	2 2 2 + 1	+ 3 4 1 1 1 1	r r + + + r	r 1 1 1 r r	+	2 1	+ 1 2 2 r + + r
Carex acutiformis		2		1 1 3 + 3 3 2 4 2 1 +	1 1 4	2 2 3 5	2 2 1 2 3 + 2 +	2	1	2 3	+	r
Hypericum perforatum			r	1 + +		1 2 +				r		
Agrostis stolonifera		1		+ 1 r +	+ 2		+ 1 3 2 2 2 2 + +	r	r		+	
Iris sibirica							1 2 1 1 2 2 2 2 2 3					
Melilotus altissimus			1	2			r + 2 2 2 2 1			+		
Rhinanthus minor		+	+	+ 1 + 1			r 1 2 2 2 2 1 1 +	1 r		1 1		r
Valeriana officinalis							1 + + 2 1 2 1 2	3				
Amblystegium spec.							2 3 3 3 3 3					
Silene Flos-cuculi			1	2 + r			1 3 1 1	2 r				
Heleocharis palustris							2 2 1 +					
Carex elata							1 2 1 1 1 2	3 3 4 4 2 2 3				
Carex paradoxa								2 2 1 + 1 1 3				
Pleurozium Schreberi								2 3 3		+		
Mentha aquatica				2 +		1	2 2 3 2 2 2	2 1 + 1 2 +	2	1	1 + 1 +	1 +
Acrocladium cuspidatum				+ + + 2 3	2 3	2 2	2 2 3 3 2 1	4 3 3 5 3 2	2 3	4 5 3 2	2 1 2 2 3 1	2 3 3 2 3 4 3
Lythrum salicaria				r 1 2 +	+	+ r +	1 2 + + 1 1 1	+ r r + r	r r 1 1	+ 2	+ r r	+ + r + + r + +
Phragmites communis	+ +	+	+	+ 3 1	2	1	2 3 2 2 2 2 1 2 3 3	2 2 1	1 2 3	1 1	+ r r + + r	r r 3 3 3
Climacium dendroides				3 2 3	1	3 2 3 2	+ 1 3 4 4	2 2	3 3 3 4 1	1 +	1 + 1	5 3 4 3 1 + + 1 2
Carex panicea		r		+ 2	r	1 2 + r	1 + + 1		2 + 1 1 r	1 + 1 +	1 r 1 r	3 2 3 2 2 + + 3 3 4 2 1
Succisa pratensis				r		2 1 1	+ 1 2 2	+ 3	2 2 r	1 2 2	+ + 1 1 2 2 2	2 2 2 2 r r +
Molinia coerulea				2 2 1 2	1 2 +	2 + 3		2 2	2 2 2 2 2 2 2	+ 3 3 4 4 2	2 1 3 2 2 2 3 3	3 2 2 2 1 3 3 2 2 2 1
Potentilla erecta				+ + 1		2 + +		+ 2 +	1 + + 1 2 2	2 + 1 2 +	1 2 r 1 r 1 2 1	1 2 2 2 2 1 1 + + 1 1 1 1
Carex hostiana		r	r	1	r		+		+ 1 +	r 2 1 +	1 1 + 2 1 1 1	+ + 1 2 1 2 3
Carex flava				1	r	+ + r	+	1	+ 1 1 +	+	1	1 2 2 + r 1
Carex fusca				1	+			+	+ 1 1 r 4 2 1			1 + r 1 2 3 2 1 +
Valeriana dioeca				+	+				+ + +			r +
Betonica officinalis			1	2 1 +		2 2			+ 3 3	2 r	1	1 2 2 2 +
Angelica silvestris				1 + +	r +	+ 1 1		+ 1 +	+ 1 + 1	r		+ r + r + r
Galium uliginosum				+	+	+ +		+	1 + +			1 r +
Orchis maculata				+ r r		+			+			+ 2 1 2 + r
Cirsium oleraceum		3		r r 3 + 1	+	2 2		+	2 1 2		r	r 2 2
Stachys palustris			2	1 1 r	1							
Rhytidiadelphus squarrosus				1 2	+	3		+	+ 2 3	+		
Mnium Seligeri				1 +	1	+			1 +			
Luzula campestris					r			2	1 + r r	+		
Lathyrus pratensis		+ r	+ 2 +	1 + + 1 2 1 1 1	2 2	+ r	1 + 2 2 3 2 2 r		+ r + 1	2 2 + r	r	r
Festuca pratensis		+ 2 + +	+ r	1 + +	r		1 2 1 + + + 2			2 1 1 1	r	r
Colchicum autumnale		1 +		1 2		r	2 2 1 2			2 2 2	1 1	1
Thuidium Philibertii				r		+ + +			+ 1	+ + + 1	+ +	1
Ctenidium molluscum										2 2	4	
Lotus corniculatus				1	3	r				2 2 3	+	+
Galium verum				+			+			2 3 2	r	
Schoenus ferrugineus										+	r 3 4 4 3 3 3 3	
Cratoneurum filicinum											2 3 3	
Juncus subnodulosus				r		2				+	3 1 + + 2 2 1 1	
Centaurea angustifolia						+	r				1 1 2	r r + r
Chrysohypnum stellatum								+	+		1 2 3 3 2 2	2 2 5
Drepanocladus intermedius								2	+ 3		3 4 4 5	2 3 4 4 5 2
Carex Davalliana										+	1 + + + 1	1 2 2 3 r 1 1 2 2 1 3 3
Linum catharticum							r r			1 1	1 r 1	r + r + 1 r r + +
Briza media				r					+ r r +	2 +	+ + 2 + r	1 + 2 + 1 r
Crepis paludosa			+				r					1 2 2 1 r 1 1
Juncus articulatus									r +			1 + 2 1 1 2
Epipactis palustris						+					r	1 + r + + r
Eriophorum latifolium										r		2 1 r 1 + + 2 2 2
Polytrichum strictum								3	2			
Ranunculus flammula									2 2			+
Trichophorum alpinum									2 2			
Salix repens									2 2			
Sphagnum spec.									4 5	3		
Equisetum palustre	+	r + 2	+ 1	+ + r r 1 2 r + 1 +	+ + +	1 1 1 +	1 1 + + 1 2 2 3	+ + + + 1 2	1 1 + 1 1 r	+ 1 1 + r	1 + +	1 2 2 + 1 1 2 1 1 + r 1
Cirsium palustre				+ + +		2	+ +	1	+ +	2		+ +
Mnium affine				1 + +			+			1 +		
Festuca rubra		+	+ 1 1	2 2 +	1 1	2 + 2 2		+ +	2 1 + 2	2 1	1 2 1 +	r
Fissidens adiantoides				+ +					+ +		+	1 1 1 + +
Ranunculus nemorosus		+ +	+ r	2		+			+ 1	r +	r +	1 2 1 r
Rhytidiadelphus triquetrus				4								3 3 3 3
Juncus inflexus			+	r + 2 +		4			1			
Urtica dioeca		r	r	5								

Erklärungen der Abkürzungen

A = *Arrhenatheretum* (s.l.)
Cd = *Caricetum davallianae* (s.l.)
Ce = *Caricetum elatae*
Cf = *Caricetum canescenti-fuscae* (s.l.)
Cl = *Caricetum lasiocarpae* (s.l.)
F = *Valeriano-Filipenduletum*
F* = " " -*Iris sibirica-reiche* Ausbildung
Fac = " " -*Carex acutiformis*-Ausbildung
Fe = " " -*Carex elata*-Ausbildung
JMac = *Junco-Molinietum*, *Carex acutiformis*-reich
K = Aecker
L = *Lolio-Cynosuretum*
M = *Stachyo-Molinietum*
R = *Rhynchosporetum albae*
S = *Primulo-Schoenetum*

Seltener vorkommende Arten mit Fixpunkt
(in Klammern: Artmächtigkeit)

5x festgestellt: *Carex flacca:* G I 1 (+), G I 2 (1), F XI 4 (r), F XII 3 (2), R I 1 (+). *Orchis mascula:* A VII 5 (+), F XI 2 (r), F XIII 3 (+), R IV 2 (+), R IV 3 (1). *Parnassia palustris:* G I 6 (1), G III 6 (1), O X 3 (1), F XI 5 (1), F XIII 3 (1). *Potentilla sterilis:* A VII 1 (r), F XI 2 (1), F XII 3 (2), FXIII 1 (2), F XIII 2 (+). *Primula veris:* F XII 4 (1), F XII 5 (2), R I 1 (+), R IV 2 (+), R IV 3 (+). *Prunella vulgaris:* G I 6 (r), G II 2 (r), A VI 1 (1), F XI 3 (r), F XII 5 (r). *Symphytum officinale:* R IV 1 (+), R V 7 (1), R V 9 (+), R VI 2 (1), R VI 3 (+).

4x festgestellt: *Bryum pseudotriquetrum:* A IV 6 (2), A VII 5 (1), O VIII 4 (+), O X 6 (2). *Comarum palustre:* O VIII 4 (r), O IX 5 (+) O IX 6 (2), O X 6 (1). *Selinum carvifolia:* G III 5(1), A V 4 (r), R I 1 (r), R V 2 (+). *Viola hirta:* G II 2 (+), G III 5 (r), A VI 3 (r), A VI 4 (r).

3x festgestellt: *Alopecurus pratensis:* F XI 1 (2), R III 2 (r), R VI 1 (2). *Deschampsia caespitosa:* G I 2 (1), F XI 2 (2), F XI 3 (r). *Dicranum scoparium:* A IV 6 (3), A VI 4 (1), R II 1 (1). *Lysimachia nummularia:* G I 2 (4), F XII 3 (1), R I 3 (2). *Peucedanum palustre:* G II 2 (1), O VIII 5 (+), O VIII 6 (+). *Polygala amarella:* G II 2 (+), G III 5 (+), O IX 6 (+). *Potentilla anserina:* A IV 1 (+), A IV 2 (1), A IV 3 (r). *Ranunculus Ficaria:* A IV 1 (r), A VII 1 (2), R III 2 (1). *Veronica chamaedrys:* A VII 1 (1), O VIII 2 (r), O IX 2 (2).

2x festgestellt: *Alchemilla monticola:* A VII 1 (2), A VII 2 (1). *Aulacomnium palustre:* O VIII 6 (2), R II 1 (3). *Caltha palustris:* R I 3 (1), R III 3 (r). *Drosera rotundifolia:* O IX 7 (2), R II 1 (1). *Equisetum limosum:* R I 3 (r), R II 1 (r). *Equisetum maximum:* F XIII 2 (+), F XIII 3 (r). *Festuca arundinacea:* R I 2 (1), R III 2 (1). *Luzula multiflora:* G III 1 (1), O IX 2 (1). *Myosotis palustris:* A IV 2 (1), F XI 1 (2). *Polygonum bistorta:* F XI 2 (3), F XI 3 (1). *Primula elatior:* G III 2 (+), G III 3 (r). *Ranunculus bulbosus:* G I 1 (2), A IV 1 (2). *Senecio paludosa:* R I 3 (2), R III 3 (2). *Stellaria graminea:* O VIII 2 (+), F XIII 2 (+). *Veronica arvensis:* O VIII 1 (+), R V 1 (+).*Thalictrum flavum:* G III 2 (2), G III 3 (+).

1x festgestellt: *Agropyron repens:* A V 2 (+). *Alchemilla vulgaris:* A V 1 (1).*Brachythecium rutabulum:* R III 2 (2). *Calluna vulgaris:* A VI 4 (1). *Camptothecium lutescens:* R I 2 (2). *Capsella bursa-pastoris:* O IX 1 (r). *Carex Oederi:* O IX 7 (2). *Carex rostrata:* O VIII 6 (2). *Chaerophyllum silvestre:* G III O (+). *Cratoneurum commutatum:* F XIII 3 (5). *Daucus carota:* R I 1 (r). *Eupatorium cannabium:* O VIII 5 (2). *Hypericum acutum:* G III 1 (1). *Iris Pseudacorus:* R III 2 (1). *Lamium purpureum:* A VII 1 (2). *Leontodon hispidus:* G II 2 (+). *Listera ovata:* G III 4 (r). *Lophocolea bidentata:* R II 1 (2). *Menyanthes trifoliata:* O X 6 (2). *Orchis latifolia:* A IV 6 (r). *Pimpinella major:* R I 1 (r). *Pinguicula vulgaris:* F XI 4 (1). *Polygonum aviculare:* R III 1 (r). *Potentilla reptans:* G I 2 (1). *Rhamnus cathartica:* A VI 4 (2). *Rumex crispus:* A IV 1 (2). *Salix nigricans:* R II 1 (3). *Solidago serotina:* A VI 4 (2). *Veronica agrestis:* F XI 1 (1). *Viola palustris:* G III 3 (1).