**Zeitschrift:** Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel

**Herausgeber:** Geobotanisches Institut der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel

**Band:** 50 (1982)

**Artikel:** Der Phosphor als primär limitierender Nährstoff in Streuwiesen (Molinion) : Düngungsexperiment im unteren Reusstal = Phosphorus as prime limiting nutrient in litter-meadows (Molinion) : Fertilization experiment in the lower valley of the Reuss

**Autor:** Egloff, Thomas

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-377721

**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:** 08.12.2025

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

Ber.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, *50*, 119-148

# Der Phosphor als primär limitierender Nährstoff in Streuwiesen *(Molinion)*

## Düngungsexperiment im unteren Reusstal

# Phosphorus as prime limiting nutrient in litter-meadows *(Molinion)*

## Fertilization experiment in the lower valley of the Reuss

von

Thomas EGLOFF

Inhalt

1. Einleitung
2. Vorgehen und Methoden 120
3. Ergebnisse 121
   3.1. Reaktion der Vegetation auf die Düngung 125
   3.2. Produktionssteigerung 125
   3.3. Mineralstoffgehalt der Vegetation 130
4. Diskussion 130
   4.1. Der Phosphorhaushalt der Streuwiesenpflanzen 134
   4.2. Der Phosphor-Eintrag durch die Niederschläge 135
   4.3. Der verzögerte Effekt auf den PK-Parzellen 135
   4.4. Hinweise für den Phosphormangel in Streuwiesen 136
        aus der Literatur 137
   4.5. Die Mobilität des Phosphats im Boden 142
5. Konsequenzen für die Naturschutzpraxis 143

Zusammenfassung - Summary 144
Literatur 145

# 1. Einleitung

War noch in den 60er Jahren die direkte Umwandlung die grösste Gefahr für die letzten Streuwiesen, so sind es seit einiger Zeit nebst der Aufschüttung

1) die indirekte Düngung vom benachbarten Intensivgrünland her (Nährstoffeinschwemmung und -einwehung), die sich hauptsächlich in einer Verbreiterung des Hochstaudensaums äussert, und
2) das Brachfallen oder die mangelnde Bewirtschaftung, die infolge der Eigendüngung zur "Verhochstaudung" oder zur Verbuschung führt.

Diese Problemkreise werden mit folgenden Untersuchungen angegangen:

a) Durch Düngung ungestörter Parzellen im Innern des Riedes (der Streuwiese) wird die Eutrophierung simuliert.

b) Die Regeneration gestörten Streulandes wird mit einem zusätzlichen oligotrophierenden Schnitt im Frühsommer angestrebt.

Der Untersuchungsbereich a) soll u.a. klären, auf welchen Nährstoff die Vegetation dieser feuchten und nassen Magerwiesen am empfindlichsten reagiert, oder, im Hinblick auf deren Erhaltung ausgedrückt, welcher Nährstoff für diese am gefährlichsten ist.

Man nahm lange an, dass der Stickstoff der primär limitierende Nährstoff sei. Dies führte zu den Arbeiten von LEON (1968) und BOLLER-ELMER (1977).

WILLIAMS (1968), der gedüngte Feuchtwiesen (Kohldistelwiesen, *Cirsietum*) untersuchte, fand deutliche Hinweise dafür, dass nebst dem Wasser die Verfügbarkeit von Stickstoff *und* Phosphor für floristische Unterschiede verantwortlich zeichnen (S. 165).

Da BOLLER-ELMER (1977) entlang einiger ihrer von der Fettwiese ausgehenden Transekten gegen das Innere von (auf organischen Böden stockenden) Riedern zunehmende Gehalte an pflanzenverfügbarem Stickstoff feststellte, vermutete sie andere limitierende Faktoren (S. 76/77); sie weist dabei auch auf den Phosphor hin (S. 85).

KUHN et al. (1978, 1982), welche in einer auf einem Gley liegenden Streuwiese u.a. den herbstlichen Nährstoffrückzug von *Molinia coerulea* (Pfei-

fengras, Besenried) untersuchten, stellten fest, dass der Phosphor "noch vollständiger zurückgezogen" werde als der Stickstoff (1982, S. 151). Dies und der Vergleich ihrer Ergebnisse mit den Resultaten von LOACH (1968) und MORTON (1977; s. auch KUHN et al. 1978, S. 104) bestärken die Vermutung von BOLLER-ELMER (1977).

Eigene Ergebnisse und Hinweise aus der Literatur (v.a. landwirtschaftliche Düngungsversuche) sollen im folgenden die Hypothese, dass der Phosphor der primär limitierende Nährstoff sei, untermauern.

Den Proff. Dr. E. Landolt und Dr. F. Klötzli vom Geobotanischen Institut ETH danke ich für die Möglichkeit, mit diesem Artikel ein Teilgebiet meiner Dissertation abzuschliessen, ferner für ihre Hinweise zur Verbesserung des Manuskriptes. Dank auch an Dr. W. Dietl von der Forschungsanstalt für Pflanzenbau Zürich-Reckenholz (FAP), der mich in düngungstechnischen Fragen beriet, an Dr. W. Jäggi, ebenfalls FAP, mit dem ich mich über die nichtsymbiontische Stickstoff-Fixierung unterhalten konnte, sowie an J. Bauer, Ing.grad., vom Lehrstuhl für Grünlandlehre der TU München-Weihenstephan (Prof. Dr. G. Voigtländer), mit dem ich den Düngungsversuch Veitshof besichtigen konnte. - Besonderer Dank geht an Erwin "Enzo" Schäffer, der die Laboranalysen leitete und (trotz Mücken) beim Biomasseschneiden half. Herzlichen Dank für ihre Mithilfe empfangen auch Käthi Rentsch und vor allem Anita. Nicht zuletzt danke ich auch Frau A. Honegger, die diese Arbeit tippte.

## 2. Vorgehen und Methoden

Die Streuwiese, auf der unsere Untersuchungen durchgeführt wurden, gehört zur Lunnerallmend und liegt auf dem Boden der Gemeinde Obfelden (Kanton Zürich; Koordinaten 673/234 auf der Schweiz. Landeskarte). Sie wächst auf einem Auenboden (Fluvisol). Der Oberboden (ca. 15 cm mächtig) ist aufgrund seines hohen Kalziumkarbonatgehaltes als kalkreich bis schwach mergelig zu bezeichnen (nach SCHLICHING und BLUME 1966), der pH liegt über 7.5; die obersten 5 cm sind anmoorig, der übrige Oberboden ist stark humos (nach SCHROEDER 1972):

Die Düngung ungestörter Parzellen im Riedinnern sollte, wie bereits in der Einleitung erwähnt wurde, die Nährstoffeinschwemmung und -einwehung vom Intensivkulturland her simulieren und damit folgende Auskünfte geben (s. EGLOFF 1979):

- Art der floristischen Veränderungen und deren Geschwindigkeit
- Welche Pflanzen eignen sich als Warnarten für die Ueberwachung von Schutzgebietrandzonen?
- Welche Nährstoffe sind als für die Streuwiesenvegetation gefährlich zu betrachten?

Gedüngt wurde mit den in der landwirtschaftlichen Praxis gebräuchlichsten Mineraldüngerkombinationen, einer NPK-Volldüngung und einer PK-Grunddüngung. Die Nährstoffmengen entsprechen den in der "Wegleitung zu einer umweltgerechten Anwendung von Düngemitteln" (EIDG.LANDW.FORSCHUNGSANSTALTEN et al. 1974) für Heuwiesen angegebenen Höchstwerten (Tab. 1). Diese hohen Düngergaben sollten die Reaktion der Vegetation beschleunigen.

Die Düngungs- und Kontrollflächen wurden mit einer stratifizierten Zufallsverteilung auf der 12 ha grossen Streuwiese verteilt. Bei der Vegetation der zehn Düngungsflächen handelt es sich in sieben Fällen um Pfeifengraswiesen, zweimal um ein Kleinseggen- und einmal um ein Hochstaudenried. Ueber die floristischen und standörtlichen Charakteristika der zur Besprechung gelangenden Düngungsflächen (ich konzentriere mich auf Pfeifengraswiesen) gibt Tab. 2, über die Versuchsflächenorganisation Abb. 1 und über den Zeitpunkt der Düngung sowie die Erhebungen Tab. 3 Auskunft.

1978 erfolgte nur auf den späteren N1-Parzellen eine Vegetationsaufnahme nach Braun-Blanquet. 1979 wurde die Braun-Blanquet-Skala im unteren Bereich durch Einführung von Zwischenstufen (z.B. 1-2) etwas verfeinert. 1981 erfolgte eine noch weitergehende Verfeinerung, die sich nach den Hilfstafeln von GEHLKER (1977) richtete.

Zur Darstellung der Deckungsgrad-Veränderungen wurde für die y-Achse der logarithmische Massstab gewählt (Abb. 2-8). Die in den Abbildungen eingetragenen Prozentwerte entsprechen den Mittelpunkten der Schätzbereiche.

Für die Bestimmung der Nettoprimärproduktion wurde 1979 auf fünf, 1981 auf drei Kreisflächen à 0.25 $m^2$ die oberirdische Biomasse bis auf ca. 3 cm über Grund abgeschnitten und anschliessend die Trockenmasse bestimmt.

Rückblickend muss der Versuch in drei Punkten bemängelt werden:
- Die hohen Nährstoffgaben führten bereits in der ersten Vegetationsperiode auf den NPK-Parzellen zu überaus starken Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung. Ziel wäre die Erfassung der ersten kleinen Veränderungen gewesen.

- Die Nährstoffkombinationen richteten sich zu wenig nach dem Verhalten der einzelnen Nährstoffe im Boden (s. dazu Kap. 4.5.).
- Die zweite Düngung erfolgte zu spät, um noch floristische Umstellungen hervorrufen zu können.

Diesen Mängeln trägt ein seit 1982 laufender feinerer Versuch, der zwar nicht im gleichen Untersuchungsgebiet stattfindet, Rechnung. Gedüngt wird in jeweils zwei Konzentrationsstufen mit N (Verstärkung des N-Eintrags durch die Niederschläge), NK (Simulation der Harngülleneinschwemmung) und NPK (Simulation der Vollgülleneinschwemmung). Die Düngung erfolgt mit deutlich geringeren Mengen (z.B. 20 resp. 40 kg N pro Hektar und Jahr) und in drei Portionen jeweils anfangs April, Mai und Juni.

Tab. 1. Quantitative Angaben zum Düngungsexperiment
*Quantitative informations to the fertilization experiment*

| Nährstoff | Menge pro Düngungstermin (kg/ha) | Mineraldüngertyp |
|---|---|---|
| Stickstoff | 120 | Ammonsalpeter 26% N |
| Phosphor | 35 | Superphosphat 19 % $P_2O_5$ |
| Kalium | 209 | Kalisalz 60% $K_2O$ |

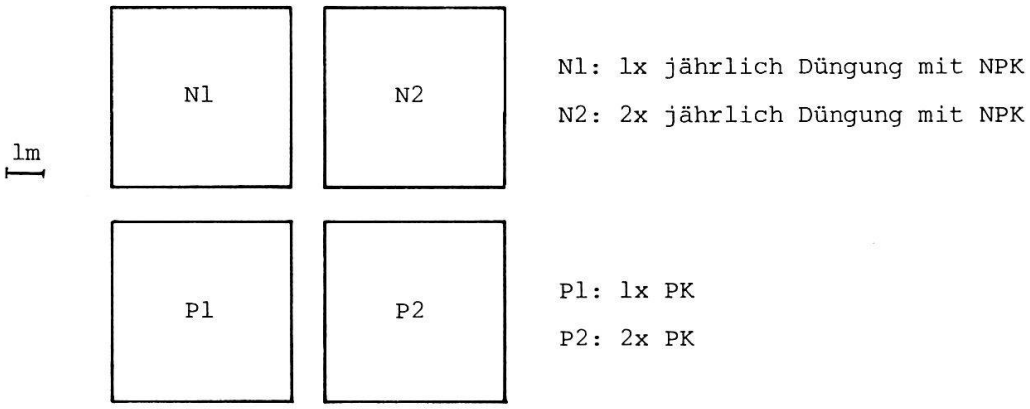


Abb. 1. Organisation einer Versuchsfläche
*Organization of a control plot*

Tab. 2. Dominierende Arten auf den NPK-Düngungsflächen

*Species dominating on plots fertilized with NPK*

| Fläche Nr. | 1978 vor der 1. NPK-Düngung | 1979 nach der 1. NPK-Düngung | 1980 nach der 2. NPK-Düngung | Bemerkungen zum Standort |
|---|---|---|---|---|
| 13 | *Molinia coerulea, Schoenus nigricans* | *Molinia coerulea, Agrostis gigantea, Inula salicina* | *Molinia coerulea, Agrostis gigantea, Inula salicina, Mentha aquatica* | |
| 14 | *Molinia coerulea, Schoenus nigricans* | *Molinia coerulea, Agrostis gigantea* | *Molinia coerulea, Agrostis gigantea, Calamagrostis epigeios, Cirsium palustre* | Gleicher Standort wie Fläche 13, liegt nur 40 m von ihr entfernt. |
| 15 | *Molinia coerulea, Pulicaria dyseterica, Schoenus nigricans* | *Molinia coerulea, Agrostis gigantea, Pulicaria dyseterica, Mentha aquatica* | *Molinia coerulea, Agrostis gigantea, Pulicaria dyseterica, Mentha aquatica* | Grundwasser steht im Frühsommer längere Zeit über Flur; bei 13 und 14 hingegen nie. |
| 20 | *Molinia coerulea, Phragmites communis* | v.a. *Carex acutiformis, Centaurea angustifolia, Angelica silvestris, Cirsium palustre, C. oleraceum, Symphytum officinale* | v.a. *Carex acutiformis, Angelica silvestris, Cirsium palustre, Agrostis gigantea, Calamagrostis epigeios, Eupatorium cannabinum* | Schon vor der 1. Düngung nährstoffreicher als die anderen Flächen. Oberboden humusreicher. |

Tab. 3. Uebersicht über die Düngungszeitpunkte und die Art der Erhebungen

*Dates of fertilization and kind of investigations*

| Zeitpunkt | Düngung | Erhebung |
|---|---|---|
| Juli/August 1978 | - | Vegetation |
| 11.4.1979 | 1. | - |
| 4.7.1979 | 2., auf den N2- und P2-Parzellen | - |
| Juli/August 1979 | - | Vegetation |
| 12.9.1979 | - | Biomasse |
| 20.4.1980 | 2. resp. 3. | - |
| Juli 1980 | - | Vegetation |
| Juli 1981 | - | Vegetation |
| 15.9.1981 | - | Biomasse |

# 3. Ergebnisse

## 3.1. *Reaktion der Vegetation auf die Düngung*

Zur Besprechung der Vegetationsveränderungen beschränke ich mich auf drei Arten, die von der Düngung profitierten (*Agrostis gigantea, Calamagrostis epigeios* und - lediglich auf PK-Parzellen - *Vicia cracca*) und sich somit als Warnarten für indirekte Düngungseinflüsse eignen (s. EGLOFF 1979).

Als Hauptvorkommen von *Agrostis gigantea* nennt KLAPP (1974) die gedüngten Feuchtwiesen (*Bromion racemosi, Calthion*). So erstaunt es nicht, dass dieses Gras auf der Lunnerallmend nur sporadisch anzutreffen war: Auf den Kontrollflächen erhielt es, wenn es überhaupt vorhanden war, nur in Ausnahmefällen den Deckungswert 1 (nach Braun-Blanquet, bis 5% Deckung). *Agrostis gigantea* war - auf die ganze Lunnerallmend bezogen - im ersten Düngungsjahr der Hauptprofiteur; Abb. 2 und 3 zeigen die starke Ausbreitung. Die scheinbare Abnahme auf den Volldüngungsparzellen der Fläche 13 (Abb. 2) im Jahr 1981 ist auf die geänderte Schätzskala zurückzuführen. - Unser Interesse gilt der um ein Jahr verzögerten Ausbreitung auf den PK-Parzellen, die auf der Fläche 13 (Abb. 2) auch 1981 noch anhält. (Im Frühjahr 1981 war keine Düngung erfolgt!). Der Rückgang auf der Fläche 14 (Abb. 3) im Sommer 1981 kann wohl der Konkurrenz durch *Calamagrostis epigeios* zugeschrieben werden (Abb. 6). Auf der - gegenüber 13 und 14 - feuchteren Fläche 15 (Tab. 2) ist hingegen nach anfänglicher Förderung 1981 ein Abklingen festzustellen (Abb. 4). Hier scheint der Wasserfaktor zu limitieren. Diese Vermutung wird gestützt durch die Aussage von ELLENBERG (1952) für Kleinseggenrieder, dass "sich auf übermässig nassen Böden die Düngung nicht genügend auswirkt" (S. 49).

Hinsichtlich der Zunahme von *Calamagrostis epigeios* auf den PK-Parzellen kann für Fläche 14 (Abb. 6) und z.T. auch für Fläche 13 (Abb. 5) die gleiche Feststellung wie für *Agrostis gigantea* gemacht werden. Interessant ist vor allem die Tatsache, dass auf der einen dieser beiden sich floristisch anfänglich nur geringfügig unterscheidenden Flächen *A. gigantea*, auf der anderen *C. epigeios* zur Dominanz gelangte.

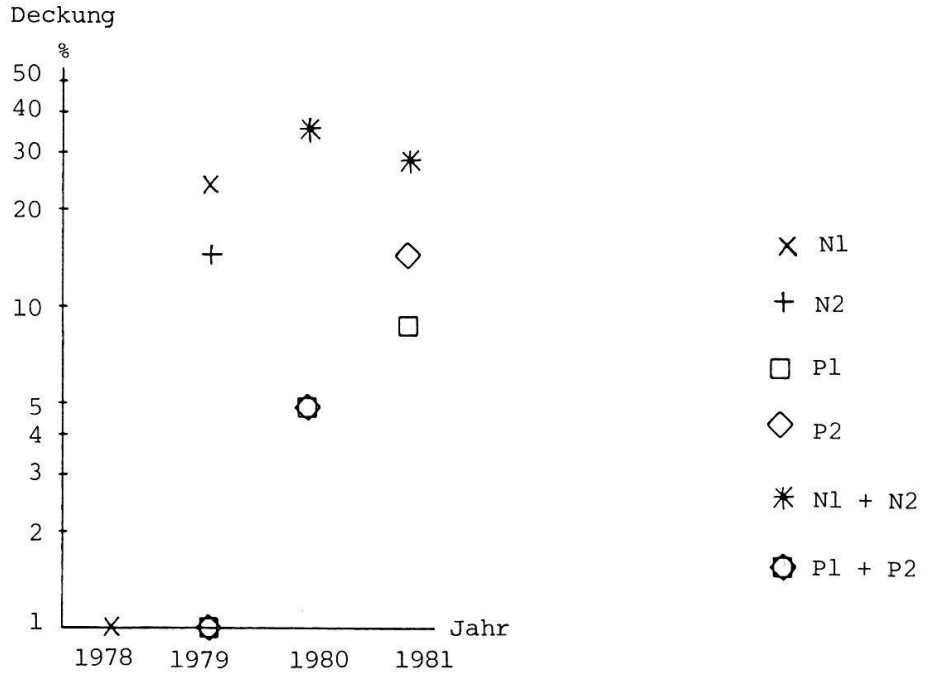


Abb. 2. Aenderungen in der Deckung von *Agrostis gigantea* auf Fläche Nr. 13

*Cover changes of A. gigantea on plot Nr. 13*

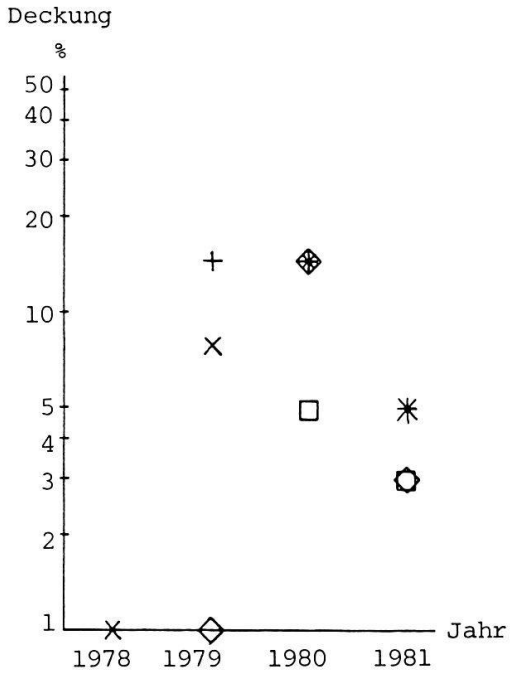


Abb. 3. Aenderungen in der Deckung von *Agrostis gigantea* auf Fläche Nr. 14 (Zeichenerklärung s. Abb. 2)

*Cover changes of A. gigantea on plot Nr. 14 (Meaning of the symbols see Fig. 2)*

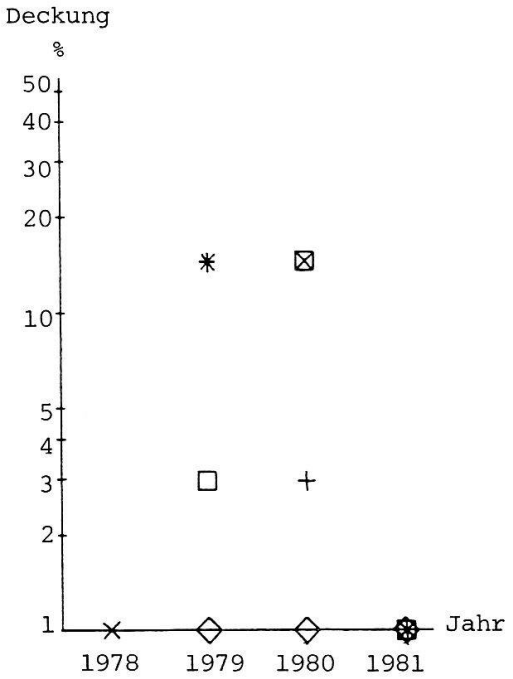


Abb. 4. Aenderungen in der Deckung von *Agrostis gigantea* auf Fläche Nr. 15 (Zeichenerklärung s. Abb. 2)

*Cover changes of A. gigantea on plot No. 15 (Meaning of the symbols see Fig. 2)*

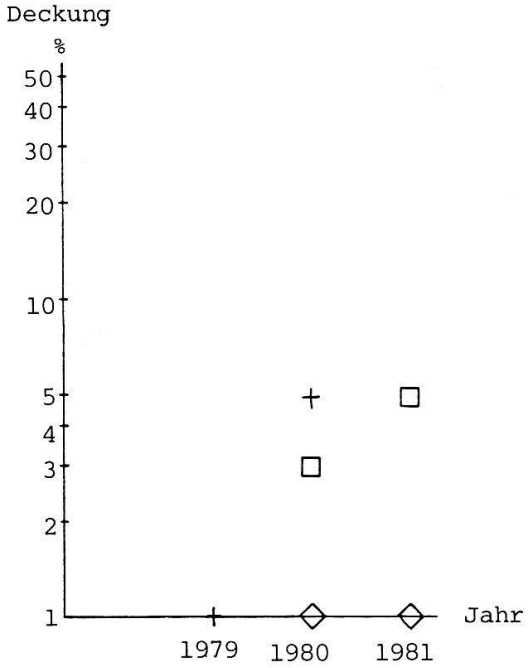


Abb. 5. Aenderungen in der Deckung von *Calamagrostis epigeios* auf Fläche Nr. 13 (Zeichenerklärung s. Abb. 2)

*Cover changes of Calamagrostis epigeios on plot No. 13 (Meaning of the symbols see Fig. 2)*

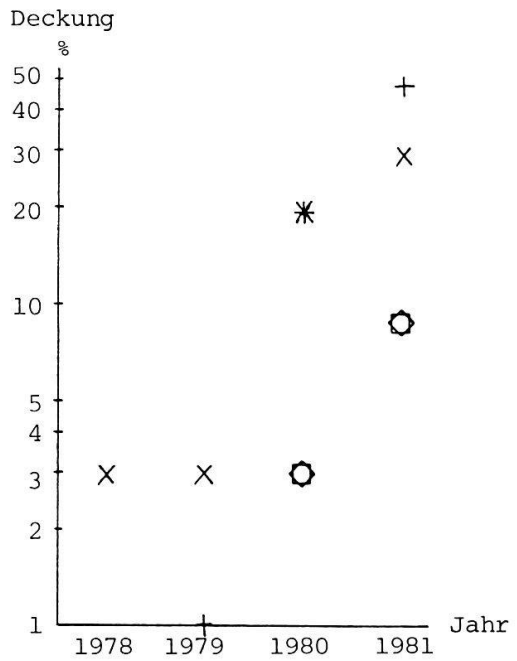


Abb. 6. Veränderungen in der Deckung von *Calamagrostis epigeios* auf Fläche Nr. 14 (Zeichenerklärung s. Abb. 2)

*Cover changes of C. epigeios on plot Nr. 14 (Meaning of the symbols see Fig. 2)*

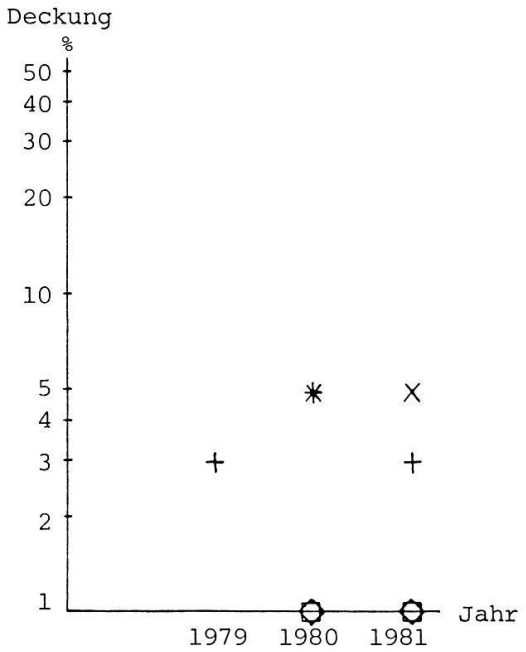


Abb. 7. Veränderungen in der Deckung von *Calamagrostis epigeios* auf Fläche Nr. 15 (Zeichenerklärung s. Abb. 2)

*Cover changes of C. epigeios on plot No. 15 (Meaning of the symbols see Fig. 2)*

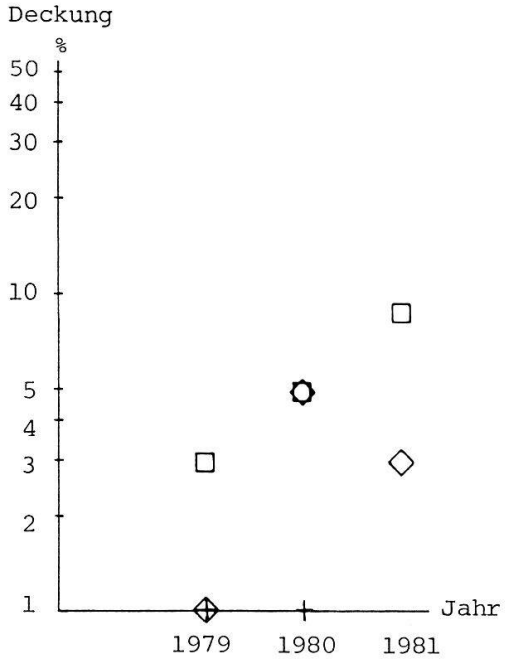


Abb. 8. Veränderungen in der Deckung von *Vicia cracca* auf Fläche Nr. 13 (Zeichenerklärung s. Abb. 2)

*Cover changes of Vicia cracca on plot No. 13 (Meaning of the symbols see Fig. 2)*

Die Förderung dieser beiden Gräser kann nicht als Ueberraschung bezeichnet werden, denn die "Stickstoffdüngung befördert das Wachsthum derjenigen Wiesenpflanzen, die zu den Gramineen gehören", wie STEBLER und SCHRÖTER bereits vor fast hundert Jahren (1887) festhielten. Die ursprünglich dominierende, sich langsamer entwickelnde *Molinia coerulea* hätte lediglich unter konkurrenzlosen Bedingungen profitieren können (vgl. GRABHERR 1942, zitiert in ELLENBERG 1978). - Die PK-Düngung zeigt weniger rasch Wirkungen als die NPK-Düngung. Der Erfolg nimmt jedoch mit den Jahren zu (KLAPP 1971), Hand in Hand mit dem wachsenden Anteil der Leguminosen. Doch diese sind auf der Lunnerallmend nur spärlich vertreten: So war denn auch die Förderung auf den PK-Parzellen nur gering. Lediglich auf zwei Parzellen konnte 1979 ein Deckungswert von über 1% notiert werden (EGLOFF 1979). Und nur in einem Fall fand in den folgenden Jahren eine deutliche Zunahme statt: *Vicia cracca* auf den PK-Parzellen der Fläche 13 (Abb. 8).

## 3.2. *Produktionssteigerung*

Die in Tab. 4 dargestellten Werte lassen folgende Aussagen zu:

- Während die Volldüngung schon im ersten Jahr auf allen Flächen zu deutlichen Produktionssteigerungen führte, zeigte sich lediglich auf der Fläche 20 eine Zunahme infolge der PK-Düngung. Dies deckt sich mit den nur geringen floristischen Veränderungen im ersten Jahr (Kap. 3.1.).
- Die 1981 festgestellten Mehrerträge der PK-Parzellen entsprechen in der Grössenordnung den Ertragssteigerungen der NPK-Varianten von 1979. - Nach der ersten PK-Düngung befand sich offenbar der Stickstoff im Minimum (s. Kap. 4.3.).

Für die z.T. stark unterschiedlichen Werte auf einem Teil der Versuchsflächen im Jahr 1981 (13 NPK, 15 und 20 PK) ist möglicherweise die geringe Parzellenprobenzahl mitverantwortlich.

1979 waren die fünf Parallelproben getrennt getrocknet worden, so dass die Mittelwerte mit einer einfachen Varianzanalyse geprüft werden konnten (EGLOFF 1979). Während sie beim Vergleich NPK/ungedüngte Umgebung signifikant verschieden waren (auf dem 5%-Niveau für Fläche 13, auf dem 1%-Niveau für Fläche 20), war dies bei der Gegenüberstellung PK/ungedüngte Umgebung nicht einmal bei der Fläche 20 der Fall.

## 3.3. *Mineralstoffgehalt der Vegetation*

Im Rahmen des Regenerationsexperimentes (in Kap. 1 erwähnt) wurde zur Abschätzung des Nährstoffentzuges durch den Frühschnitt der Gehalt des Schnittgutes an Stickstoff, Phosphor und Kalium bestimmt (Tab. 5). Diese Angaben können uns ebenfalls Hinweise zur Nährstoffversorgung der Streuwiesenvegetation geben.

KNAUER (1963) stellt in Anlehnung an WAGNER fest, dass die Heuanalyse besser als die Bodenanalyse dazu in der Lage sei, Auskunft über die für die Pflanze aufnehmbaren Nährstoffmengen zu geben. Das mag besonders für den Phosphor gelten, der grösstenteils immobolisiert vorliegt (s. Kap. 4.5.). Die grosse Zahl von (Boden-) Phosphor-Extraktionsmethoden kann auch als

Tab. 4. Biomasseproduktion auf den PK-Parzellen. Vergleich der Jahre 1979 und 1981.
Schnitt-Termine: 12.9.1979 und 15.9.1979. Werte: g Trockenmasse/$m^2$

*Production of biomass on the PK-plots. Comparison of the years 1979 and 1981.*
*Date of cutting: September 12, 1979 and September 15, 1981*
*Values: g dry weight/$m^2$*

| Jahr | Variante | Fläche Nr. | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 13 | 20 | 14 | 15 |
| 1979 | Umgebung | 470 | 535 | - | - |
| | Mehrertrag PK1 | -31 | 115 | - | - |
| | | (-6.6%) | (21.5%) | - | - |
| | Mehrertrag PK2 | 16 | - | - | - |
| | | ( 3.4%) | | | |
| 1981 | Umgebung | 325 | 424 | 341 | 269 |
| | Mehrertrag PK1 | 126 | 297 | 129 | 109 |
| | | (38.8%) | (70.0%) | (37.8%) | (40.5%) |
| | Mehrertrag PK2 | 78 | 171 | 111 | -16 |
| | | (24.0%) | (40.3%) | (32.6%) | (-5.9%) |
| 1979 | Mehrertrag NPK1 | 23.0% | 72.0% | - | - |
| | Mehrertrag NPK2 | 25.0% | - | - | - |
| 1981 | Mehrertrag NPK1 | 104.6% | 38.9% | 60.4% | 74.3% |
| | Mehrertrag NPK2 | 51.7% | 38.2% | 79.8% | 45.0% |

Hinweis dafür betrachtet werden, wie schwierig es ist, von Bodenanalysen her auf die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors zu schliessen.

### 3.3.1. *Phosphor-Gehalt*

Ueber die Resultate informiert die Tabelle 5. Die Unterschiede zwischen den beiden Jahren sind zu gross, als dass sie allein dem Verdünnungseffekt (FINK 1976, S. 44) zugeschrieben werden könnten. (Der Junischnitt erfolgte 1982 ja fast zwei Wochen später, phänologisch war die Vegetation zu diesem Zeitpunkt schon weiter als 1981. Einen Hinweis für das Ausmass des Verdünnungseffektes geben die Gehaltswerte der Umgebung). Bereits der erste zusätzliche Frühschnitt führte demnach zu einer Verarmung an pflanzenverfügbarem Phosphor.

Die folgenden Angaben zeigen, wie gering die sich deutlich von den Umge-

Tab. 5. Mineralstoffgehalt der Streuwiesenvegetation der Lunnerallmend im Sommer (in % der Trockensubstanz)

*Mineral content of the litter meadow vegetation in Lunnerallmend in summer (% of the dry weight)*

| Schnitt-zeitpunkt | Vari-ante | Nährstoffgehalt P 3) | N 4) | K 4) |
|---|---|---|---|---|
| 2.6.1981 | G | 0.15 - 0.21 | 1.8 2.0 1.7 1.8 2.0 | 2.5 3.3 2.0 2.1 2.4 |
| 1) | U | 0.09 - 0.12 | 2.0 1.8 1.9 1.8 2.0 | 2.1 1.8 1.5 1.6 2.0 |
| 15.6.1982 | G | 0.11 - 0.13 | 1.5 1.5 1.4 1.4 1.7 | 1.9 2.2 1.9 1.6 2.2 |
| 2) | U | 0.07 - 0.10 | 1.5 1.7 1.6 1.5 1.7 | 2.0 1.5 1.5 1.5 1.8 |
| 9.7.1981 | G | 0.11 - 0.15 | 1.2 1.2 1.1 1.3 1.4 | 1.9 2.1 1.5 2.5 2.2 |
| 1) | U | 0.07 - 0.09 | 1.4 1.5 1.6 1.5 1.4 | 2.1 1.6 1.5 1.6 1.7 |
| 14.7.1982 | G | 0.082- 0.12 | 1.1 1.1 0.9 1.0 1.2 | 1.6 1.6 1.3 1.4 1.8 |
| 2) | U | 0.06 - 0.077 | 0.8 1.3 1.4 1.2 1.4 | 1.7 1.5 1.3 1.4 1.7 |

G = ehemalige NPK-Parzellen (1979 und 1980 gedüngt, s. Tab. 3)
*former NPK plots, fetilized in 1979 and 1980 (see Table 3)*
U = ungedüngte Umgebung - *unfertilized surroundings*

1) 1. Regenerationsfrühschnitt (1981)
2) 2. Regenerationsfrühschnitt (1982)
3) jeweils tiefster und höchster Wert von fünf Mischproben (von fünf verschiedenen Düngungsparzellen resp. deren Umgebung)
4) Da sich die Werte der beiden Kategorien überlappen, erfolgt die Angabe des Wertepaares für jede Versuchsparzelle getrennt.

bungswerten absetzenden P-Gehalte auf den ehemaligen Düngungsflächen sind:

- FINK (1976) nennt für die Blätter von Kulturpflanzen 0.1-2% Phosphor.
- Naturwiesenheu enthält nach dem WIRZ-Kalender (1982) 0.3% P.
- Für GERICKE und BAERMANN (1958) sind 0.19% P im Wiesenheu völlig ungenügend. MUNK (zit. in KLAPP 1971) nennt als für die Milchkuh anzustrebenden Wert 0.45% P.

Die auf der Lunnerallmend in ungedüngten Beständen festgestellten P-Gehalte liegen im Bereich der Angaben anderer Autoren für denselben Vegetationstyp:

- DENUDT (1975) mass im Juni in *Molinia coerulea* 0.063% P.
- Im Heu der Niedermoorwiesen von STURM (1958; s.Kap. 4.4.2.) fanden sich auf den ungedüngten Parzellen 0.106 resp. 0.147%, auf den NK-Varianten 0.119 resp. 0.123% P.

### 3.3.1. *Stickstoff-Gehalt*

Die Stickstoffgehalte der Vegetation der ungedüngten Umgebung sind fast durchwegs höher als jene auf den ehemaligen Düngungsparzellen (s. Tab. 5). Zum Teil mag dies am Entwicklungsvorsprung der Vegetation der alten Düngungsflächen liegen (Verdünnungseffekt!). Rechnet man jedoch die Werte mit den Daten der Biomasseerhebungen zu flächenbezogenen Gehalten um, dann kehrt sich das Bild (Tab. 6). Tabelle 6 zeigt zudem, dass der Mehrentzug an Stickstoff gegenüber der Umgebung um einiges geringer ist als derjenige an Phosphor.

Die höheren N-Gehalte im ungedüngten Streuland sowie der recht geringe N-Mehrentzug auf den ehemaligen Düngungsflächen weisen ebenfalls darauf hin, dass der Stickstoff wohl kaum als Mangelnährstoff für Riedwiesen gelten kann. Anders als beim Phosphor liegen die Werte im Bereich der für den Heuschnitt festgestellten mittleren N-Gehalte (WIRZ-Kalender 1976: 1.4%).

RUPPANER (1982) stellte anfangs Juni auf einer regelmässig geschnittenen

Tab. 6. Mehrentzug (in %) an den Nährstoffen Stickstoff, Phosphor und Kalium gegenüber der ungedüngten Umgebung durch den Regenerationsschnitt, basierend auf den flächenbezogenen Entzugsdaten.

*Additional taking (in %) of the nutrients nitrogen, phosphorus and potassium compared with the unfertilized environments due to the regeneration cutting (based on the data of the whole plots).*

| Fläche Nr. | Schnitt-zeitpunkt | N % | P % | K % |
|---|---|---|---|---|
| 13 | 2.6.1981 | 54.3 | 235.7 | 170.4 |
| | 9.7.1981 | 86.8 | 278.6 | 161.7 |
| 14 | 2.6.1981 | 1.7 | 107.6 | 51.1 |
| | 9.7.1981 | -4.9 | 118.5 | 29.6 |
| 15 | 2.6.1981 | 16.7 | 82.8 | 58.0 |
| | 9.7.1981 | 9.1 | 81.1 | 97.3 |
| 20 | 2.6.1981 | 31.1 | 110.8 | 60.7 |
| | 9.7.1981 | 51.6 | 180.1 | 103.3 |

Pfeifengraswiese mit 2.45% N Gehalte fest, die um ca. 1/5 über den auf der Lunnerallmend gewonnenen Werten liegen. Doch handelt es sich dabei um auf organischen Böden stockende Pfeifengraswiesen mit offensichtlich guter Stickstoffnachlieferung (stark mineralisch durchsetzter vererdeter Torf!).

### 3.3.3. *Kalium-Gehalt*

Die prozentualen Anteile von Kalium an der Trockensubstanz des Frühschnittes sind in Tabelle 5 aufgeführt.

KNAUER (1963, S. 91) stellt Pflanzen- und Heuyanalysenwerte mehrerer Autoren zusammen und zeigt, dass bei ausreichender K-Versorgung die Gehalte der Trockensubstanz über ca. 1.65% K betragen, bei K-Mangelflächen hingegen niedriger sind. Die in der Vegetation der ungedüngten Umgebung nachgewiesenen Gehalte liegen entweder über oder dann nur knapp unter 1.65%. Der WIRZ-Kalender (1982) nennt für Naturwiesenheu 2.2% K. Die K-Versorgung unserer auf einem Alluvialboden stockenden Streuwiesen könnte demnach mit "knapp genügend" bewertet werden.

Extrem tiefe Werte wies DENUDT (1975) mit 0.72% K in *Molinia coerulea* nach. Wahrscheinlich stammten seine Proben aus einem kaliarmen Niedermoor: Die K-Gehalte im Heu der K-Mangelparzellen (ungedüngt, P, NP) auf STURMs (1958) Niedermoorwiesen liegen mit einer Ausnahme alle unter 0.9%!

## 4. Diskussion

Der Phosphor ist bekannt als primär limitierender Algenwachstumsfaktor in aquatischen Oekosystemen und ist für unsere (stehenden) Gewässer wohl das bedeutendste Gewässerschutzproblem. Der Phosphor ist - in anderer Weise - auch für das landwirtschaftliche Grünland ein Problemnährstoff: Nach KLAPP (1971, S. 172) "stellt (er) fast überall einen Mangelnährstoff für Pflanze und Nutztier dar". So lässt sich denn auch am "P-Status" die Intensität der Bewirtschaftung ablesen (KRUIJNE et al., zit. in VAN DUUREN et al. 1981).

## 4.1. *Der Phosphorhaushalt der Streuwiesenpflanzen*

Mehrere Arbeiten legen dar, dass Streuwiesenpflanzen sehr haushälterisch mit dem Phosphor umgehen: Bereits NOWACKI (1887) erwähnt den herbstlichen Nährstoffrückzug "in die Winterknospen und Ausläufer" (S. 23). STEBLER (1898) begründet den späten Schnitt des Besenrieds (*Molinia coerulea*) damit, dass "die in den Halmen und Blättern aufgespeicherte Reservenahrung Zeit hat, in den Wurzelstock zurückzuwandern und diesen zu kräftigen" (S. 100). Auch LOACH (1968) findet Hinweise für einen internen Nährstoffkreislauf in *Molinia coerulea* und MORTON (1977), der ebenfalls auf einer Sumpfheide (*Erica tetralix*-Heide) arbeitete, weist nach, dass Stickstoff und Phosphor im Herbst aus den oberirdischen Organen zurückgezogen werden. KÜHN et al. (1978) bestimmten zusätzlich die im Laufe von Spätsommer und Herbst ansteigenden Gehalte in den unterirdischen Organen (s. Kap. 1). Sehr sorgfältig ging LÜTKE TWENHÖVEN (1982) an diese Frage heran, der u. a. mit *Molinia coerulea* auf einem Niedermoor und einem verheideten Zwischenmoor arbeitete. Er nahm flächenbezogene Proben und trennte das Pflanzenmaterial in Spross, basale Internodien und Grobwurzeln. Von August bis November verlagerte die Niedermoor-*Molinia* 87% ihres Sprossphosphors; die in den Speichergeweben (Internodien und Grobwurzeln) festgestellte Zunahme beträgt 1.6 kg/ha. Der Stickstoff wanderte in derselben Zeit lediglich zu 45% (rund 18 kg/ha) von den ober- in die unterirdischen Organe.

MEJSTRIK (zit. in LÜTKE TWENHÖVEN 1982) fand bei über 80% der Pflanzen von Molinieten Mykorrhizen, u.a. für *Molinia coerulea* (vgl. auch MUBANDU 1979). Nach HARLEY (zit. in LÜTKE TWENHÖVEN 1982) wird der Pflanze dadurch zusätzlicher Phosphor zur Verfügung gestellt.

## 4.2. *Der Phosphor-Eintrag durch die Niederschläge*

In der Schweiz beträgt der mit den Niederschlägen anfallende Phosphor-Eintrag 0.75 kg/ha/Jahr (Mittel aller Stationen 1975-77, nach Angaben in ZOBRIST und STUMM 1979). Denselben Wert errechneten STEENVOORDEN und OOSTEROM (1979) für die Niederlande. EGNER und RIEHM 1964 (zit. in KUNTZE et al. 1981) nennen 0.2 - 2 kg/ha/Jahr.

Verglichen mit dem Stickstoff-Eintrag durch die Niederschläge (s.Kap. 4.4.3) ist die P-Zufuhr äusserst gering. Die unbedeutend erscheinenden Mengen gewinnen jedoch an Bedeutung, wenn man sich an die zwischen August und November in die Speichergewebe transportierte P-Menge von 1.6 kg/ha (LÜTKE-TWENHÖVEN 1982, s.Kap. 4.1.) erinnert.

Von einem möglichen Eintrag über das Grundwasser kann abgesehen werden, da das Phosphat wohl unterhalb des Wurzelraumes "hängenbleibt". Handelt es sich - wie in unserem Fall - um fliessendes, sauerstoffreiches Grundwasser, dann fällt auch die Möglichkeit einer gewissen Rücklösung bei reduzierenden Verhältnissen weg. Hingegen kann bei bestimmten topographischen und nutzungsbedingten Verhältnissen die oberflächliche Einschwemmung eine bedeutende Rolle spielen (s. dazu Kap. 5).

## 4.3. *Der verzögerte Düngungseffekt auf den PK-Parzellen*

Die Ausführungen in den Kapiteln 3.1. und 3.2. führten zur Frage, warum ab dem zweiten Jahr auch auf den PK-Flächen "Stickstoff-Effekte" (Förderung von Gräsern!) festzustellen waren.

*Förderung der Leguminosen.* - Gemäss der "in Hunderten von Wiesendüngungsversuchen bestätigten Bauernerfahrung" (ELLENBERG 1978, S. 767) hätten die Leguminosen gefördert werden müssen. Doch ihr Anteil blieb zu gering (s.Kap. 3.1.), als dass die N-Fixierung durch die Knöllchenbakterien eine bedeutende Rolle spielen könnte.

*N aus Niederschlägen.* - Da P und K nun in grösseren Mengen vorhanden waren, ist eine gewisse Beteiligung des durch die Niederschläge eingetragenen Stickstoffs nicht auszuschliessen.

*Förderung der mineralisierenden Mikroorganismen.* - Bestimmt profitierten die mineralisierenden Mikroorganismen und zwar a) von der durch die biologische Entwässerung (s. z.B. KLAPP 1954) verbesserten Bodendurchlüftung resp. von der "Ausdehnung ihres Lebensraumes" und b) vom zusätzlichen Phosphor, der vorher möglicherweise auch für sie ein Mangelnährstoff war.

Aufgrund der im ersten Jahr (mit Ausnahme der Fläche 20, s. Tab. 4) geringen Biomasse-Mehrproduktion der PK-Parzellen spielte die biologische

Entwässerung wahrscheinlich eine untergeordnete Rolle. Die Werte für die Fläche 13 können grössenordnungsgemäss auch für die Flächen 14 und 15 übernommen werden (s. Tab. 2).

*Förderung der N-fixierenden Mikroorganismen.* - Man könnte sich gut vorstellen, dass - vergleichbar den Leguminosen - auch die nichtsymbiontischen Luftstickstoff-Fixierer (Bakterien und Blaualgen [Cyanobakterien]) von der P(K)-Düngung profitieren.

Die biologische N-Fixierung in (ungedüngten) Streuwiesen beträgt nach KUHN et al. (1978) 1.5 kg/ha/Jahr, nach DöLER (1982) sogar weniger als 1 kg/ha/Jahr. Unter (mitteleuropäischen) Ackerböden jedoch kann die nichtsymbiontische N-Bindung bis zu 60 kg/ha/Jahr betragen (KUNTZE et al. 1981).

## 4.4. *Hinweise aus der Literatur für den Phosphormangel in Streuwiesen*

### 4.4.1. *Düngungsempfehlungen für Streuwiesen aus dem letzten Jahrhundert*

Wie in Arbeiten aus dem letzten Jahrhundert zum Ausdruck kommt, ist man sich darüber einig, dass Pfeifengraswiesen nicht gedüngt werden müssen, und dass jedes Jahr mit einem guten Streuertrag gerechnet werden kann, wenn nicht zu früh gemäht wird. STEBLER (1898) empfiehlt, bis Ende Oktober oder Anfang November zu warten. Die aus der gleichen Zeit stammenden Düngungsempfehlungen sind im Zusammenhang mit dem damals herrschenden Strohmangel zu sehen.

STEBLER (1887?) empfiehlt zur Ertragssteigerung die Zufuhr von Phosphorsäure und Kali. NOWACKI (1887) lässt offen, ob eine festgestellte Ertragssteigerung nach Düngung mit Thomasschlacke* (59% Kalk, 18% Phosphor) dem Kalk oder dem Phosphor zuzuschreiben sei. Aufgrund seiner Erfahrungen betrachtet er jedoch den Kalk als Hauptdünger für Riedwiesen; so sei jegli-

---

* Wird heute Thomasmehl genannt und besteht nach HASLER und HOFER (1975) aus 16-22% $P_2O_5$ und ca. 32% Ca.

che Düngung überflüssig, wenn das Ried ausreichend mit kalkhaltigem Wasser bewässert werde. Er schlägt Düngungsversuche ohne Stickstoff vor, da ein Herr Rimpau "bei seinen grossartigen Moorkulturen ... Tausende von Thalern für den Stickstoff verschwendet" habe (S. 27). VOLKART (1919) hält fest, dass man Pfeifengraswiesen im allgemeinen nicht oder dann höchstens alle vier bis sechs Jahre mit etwas Thomasschlacke düngen soll. "Eine stärkere Düngung würde nur Pflanzen begünstigen, die im Besenried als Unkräuter zu betrachten sind und jenes verdrängen würden" (S. 6, s. auch STEBLER 1898). Floristische Veränderungen nach Düngung mit Thomasschlacke stellte auch HöHN (1918) fest, der "nach kurzer Zeit das Verschwinden gewisser düngerfeindlicher Arten konstatieren" konnte (S. 42). Im Gegensatz zu STEBLER (1887), der als Düngungstermin Herbst und Winter nennt, darf nach VOLKART (1919) die Düngung nicht vor Mitte Mai erfolgen.

### 4.4.2. *Landwirtschaftliche Düngungsversuche*

Unter dem missverständlichen Titel "Umbruchlose Verbesserung ertragsarmer Streuwiesen" berichtet FINCKH (1960) über einen achtjährigen, auf einem *Schoenetum ferruginei* angelegten Düngungsversuch. Die dominierenden *Schoenus ferrugineus* und *Molinia coerulea* hatten etwa denselben Anteil an der gesamten Vegetation. Boden: Anmoor über kalkhaltigem Seeschlick; jährliche Düngergaben pro ha: 60 kg N, 48 kg P, 166 kg K. Wesentlich für uns ist die Feststellung der Autorin, dass die P-freien Varianten, die NK- und die ebenfalls zweischürigen O-Parzellen, "in ihrem Pflanzenbestand nur sehr unwesentlich verändert sind" (S. 95), und dass die NK-Parzellen keine Ertragssteigerung brachten.

Boden- und Wasserproben von englischen Wuchssorten von *Schoenus ferrugineus* zeigten niedrige Gehalte an Stickstoff und Phosphor (WHEELER et al. 1983).

SIMON (1954, 1955) und STURM (1958) berichten ebenfalls von Düngungsversuchen auf Niedermoorwiesen, die von einer "Glatthaferwiese mit starken Elementen der *Molinietalia*-Gesellschaften, aber auch mit kennzeichnenden Pflanzen der Kalktrockenrasen" ausgingen (SIMON 1955, S. 80; Düngergaben pro Hektar und Jahr: 50 kg N, 30.5 kg P, 99.5 kg K). Folgende Ergebnisse der erwähnten Arbeiten sind für die vorliegende Fragestellung wesentlich:

- SIMON (1954) betrachtet "die Phosphorsäure unter den vorliegenden Verhältnissen als Schlüsselnährstoff" (S. 252) und schliesst, "dass im Vergleich zu Phosphorsäure und Kali der Stickstoff für die Düngung der Niedermoorwiesen geringe Bedeutung besitzt" (1955, S. 93). Die Versuche waren auf Niedermoorböden "mit verhältnismässig reichlicher Stickstoffnachlieferung angelegt". In dieselbe Richtung weist auch STURM (1958), der beim Vergleich der Artengruppenanteile (Gräser, Leguminosen, übrige Pflanzen=Kräuter) die NP- und NK-Parzellen nicht berücksichtigte, "da sie gegenüber P bzw. K nur geringfügige Unterschiede aufweisen" (S. 532). Aehnliche Schlüsse liessen sich von den Ergebnissen eines Düngungsversuchs auf einem pfeifengrasreichen Borstgrasrasen ableiten (WINTER 1957).

- Auf den K- und NK-Parzellen war nur ein recht geringer Mehrertrag zu verzeichnen (Tab. 7). Die schlechte Leistung der P-Parzellen des Versuchs B1 weist darauf hin, dass auf Niedermoor auch K limitierend sein kann. Mineralböden, und darunter vor allem die tonreichen, besitzen hingegen stets einen hohen K-Vorrat (s. dazu auch KLAPP 1971, S. 179).

MUNZERT (1973), der die beiden Düngungsversuche weiter auswertete, stellte auf den NK-Parzellen "einen auffällig hohen Seggenanteil" fest (S. 348). Dasselbe zeigt sich auf den NK-Teilflächen eines anderen Versuchs auf "stark humosem Feinsand (bis Niederanmoor)" (VOIGTLäNDER et al. 1980, S. 50), der auf den ungedüngten Parzellen ein *Molinietum* trägt (MUNZERT 1973).

MUNZERT prüfte u.a. die Wirkung der Nährstoffe auf das Verhalten der Arten im Bestand. Für *Molinia coerulea* konstatierte er nicht nur auf den PK- und NPK-, sondern auch auf den P-Varianten eine starke Abnahme. Dass dies weniger eine Folge des mehrfachen Schnitts war, zeigten die NK-Parzellen, wo bei gleichen Schnittbedingungen *M. coerulea* dominierte: sie war hier sogar häufiger als auf den O-Parzellen (eigene Beobachtung).

Stark vertreten war auf den NK-Parzellen ebenfalls *Centaurea angustifolia* (*Centaurea jacea*-Gruppe nach HESS et al. 1972), welche für Molinieten typisch ist. Diese Tatsache deckt sich mit der Aussage von DENUDT (1975) zu *Centaurea pratensis*, welche aufgrund der Beschreibung mit "unserer" *C. angustifolia* übereinzustimmen scheint: "elle indique des sols pauvres et surtout en phosphore" (im Anhang).

Tab. 7. Mehrerträge (in %) auf zwei zweischürigen Niedermoor-Düngungsversuchen
a: nach SIMON 1955, Mittel 1949-1954
b: nach STURM 1958, Mittel 1949-1958

*Additional crop (in %) of two fertilized fens cut twice*
*a: after SIMON 1955, average 1949-1954*
*b: after STURM 1958, average 1949-1958*

| Versuch Nr. | | P | K | NK | NP | PK | NPK | O (t/ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B1 | a | 26 | 28 | 37 | 45 | 89 | 112 | 3.51 |
| | b | 26 | 26 | 36 | 52 | 111 | 135 | 3.28 |
| B2 | a | 66 | 2 | 11 | 107 | 117 | 136 | 3.43 |
| | b | 61 | 12 | 16 | 105 | 126 | 146 | 3.56 |

Tab. 8. Jährlich ausgebrachte Nährstoffmengen (in kg/ha) auf den Phosphordominanz-Düngungsvarianten

*Nutrients given yearly on the phosphorous dominating plots (in kg/ha).*

| Autoren | Versuchsdauer | N | P | K |
|---|---|---|---|---|
| LIMBOURG et al. 1977 | | 19.2 | 52.5 | 64.6 |
| SOUGNEZ 1966 | 1956-1958 | 19.2 | 42.5 | 53.6 |
| | 1959-1961 | 18.0 | 51.4 | 49.0 |

LIMBOURG et al. (1977) berichten über ein dreijähriges Düngungsexperiment mit sechs verschiedenen Anionen- und Kationendominanzen (N, P, S resp. K, Mg, Ca); gedüngt wurde, mit unterschiedlichen Anteilen, immer mit sämtlichen Nährionen. Ausgangspunkt war ein auf einem alkalischen Mineralboden (pH 7) stockendes *Silaeto-Molinietum*. Tabelle 8 gibt Auskunft über die auf den Phosphordominanzflächen gedüngten Mengen an N, P und K. Es zeigte sich ein deutlicher Rückgang der *Molinion*-Charakterarten, was LIMBOURG et al. veranlasste, sie als "groupe 'phosphorifuge' " (S. 209) zu bezeichnen; *Molinia coerulea* ist dabei "l'espèce la plus handicapée". Die Autoren sehen somit die Feststellungen bestätigt, zu denen SOUGNEZ (1966) mit einem vergleichbaren Düngungsexperiment (s. Tab. 8) auf einer *Molinia-Erica*

(*tetralix*)-Sumpfheide kam, und schliessen daraus, dass der verwertbare Phosphor *der* entscheidende bodenchemische Faktor für das Auftreten von *Molinia*-und *Molinion*-Gesellschaften ist.

Diese Schlussfolgerung lässt sich durch die Untersuchungen von DENUDT (1975) und DENUDT und LAMBERT (1978) unterstreichen: *Molinia coerulea* weist mit Abstand den geringsten P-Gehalt sämtlicher untersuchten Pflanzen auf (s. auch Kap. 3.3.1.; die Probenahme erfolgte in der zweiten Junihälfte). Auch mit seinem K-Gehalt ist es Schlusslicht (s. Kap. 3.3.3.), so dass DENUDT seine Oekologie wie folgt charakterisiert: "... rencontrée principalement dans les terrains humides et humiques pauvres en P et K" (im Anhang).

### 4.4.3. *Weitere Hinweise*

Auch in den Niederlanden laufen Untersuchungen zur Erhaltung der "Blauwgraslanden" (*Cirsio dissecti-Molinietum*, eine zu den sauren Pfeifengraswiesen gehörende Gesellschaft). PEGTEL (1981) vermutet aufgrund von Feld- und Topfdüngungsexperimenten, "that one of the prime factors for maintaining such types of wet grasslands is a sufficient low level of phosphate".

Bei der ökologischen Charakterisierung eines *Oenantho lachenalii-Molinietum* in der Oberrheinebene weist CARBIENER (1978) indirekt auf die Bedeutung des (geringen) pflanzenzugänglichen Bodenphosphorgehaltes für die Ausbildung von Molinieten hin, wenn er "la séquestration (= Beschlagnahmung) des phosphates due au calcaire actif" erwähnt (S. 21).

Bei bodenchemischen Untersuchungen in tschechischen Feuchtwiesen (v.a. *Cirsietum*- und *Filipenduletum*-Gesellschaften) erwies sich das *Junco-Molinietum* deutlich als das phosphorärmste (BALATOVA-TULACKOVA 1977). Seine Stickstoff- und Kaliumgehalte setzen sich nicht von den anderen Gesellschaften ab.

In der englischen Zusammenfassung einer polnischen Arbeit (CHWASTEK 1963) lesen wir: "Many data of literature point out that *Molinia coerulea* appears in great quantities in the meadows where the soil is poor in total or available phosphorus" (S. 354).

Wäre der Stickstoff der primär limitierende Nährstoff, dann könnte man

allein aufgrund der N-Einträge durch die Niederschläge floristische Aenderungen erwarten. EGNER und RIEHM (1954, zit. in KUNTZE et al. 1981) geben 4-30 kg/ha/Jahr an, der Grossteil der Werte in den HYDROLOGISCHEN JAHRBUECHERN DER SCHWEIZ (LANDESHYDROLOGIE, z.B. 1977-1979) liegt über 20 kg und die Maximalwerte sind ebenfalls rund 30 kg N/ha/Jahr. Sicher geht ein Teil dieses Stickstoffes durch Auswaschung und Denitrifikation wieder verloren. Doch scheinen Denitrifikationsverluste in ungedüngtem Grünland grundsätzlich gering zu sein (WOLDENDORP, pers. Mitteilung).

## 4.5. *Die Mobilität des Phosphats im Boden*

Um Konsequenzen für die Naturschutzpraxis ziehen zu können (Kap. 5), ist es wesentlich, über die Mobilität des Phosphors im Boden Bescheid zu wissen.

In Mineralböden ist resp. wird das durch Düngung eingebrachte Phosphat bei stark saurer sowie bei neutral-alkalischer Reaktion grösstenteils ausgefällt, so dass der pflanzenzugängliche Vorrat gering ist (KLAPP 1971).

JäGGLI (1978) berichtet über siebenjährige Lysimeter-Versuche mit einer staufeuchten Braunerde (pH im Oberboden 6.3, Schlufflehm) und einer normaldurchlässigen Kalkbraunerde (pH 7.4, sandiger Lehm). Vom Phosphor fanden sich im Sickerwasser "nur kleinste Spuren" (S. 135). P-Düngung von Lehmböden brachte keine Steigerung der P-Verluste durch Sickerwasser (PFAFF 1963, zit. in FURRER 1975). Die jährliche P-Auswaschung schwankt generell zwischen 0.1 und 1 kg/ha (AMBERGER, zit. in HOFER und JäGGLI 1975). Eine stärkere Auswaschung erfolgt lediglich in sauren Sandböden und bei Anwendung grosser Mengen organischer Dünger (HOFER und JäGGLI 1975), sowie in organischen Böden (VIETS 1975, STEENVOORDEN und OOSTEROM 1975).

So gut wie keine Angaben liegen über den Phosphortotalgehalt der uns interessierenden Böden von Streuwiesen vor. Man erhält jedoch einen Eindruck, wenn man den von LOACH (1968) in den obersten 20 cm einer von *Molinia coerulea* dominierten Sumpfheide festgestellten Wert von 399 kg P/ha

mit landwirtschaftlich genutzten Böden (500-2000 kg P/ha, HOFER und JäGGLI 1975) oder Waldböden (4500 kg P/ha unter einem "*Querceto-Coryletum*" in Belgien, DUVIGNEAUD 1974) vergleicht.

## 5. Konsequenzen für die Narurschutzpraxis

Aufgrund der bisherigen Ausführungen ist es naheliegend, in erster Linie den Phosphor von den Streuwiesen fernzuhalten. Es erübrigt sich fast, vorauszuschicken, dass die im folgenden aufgeführten Konsequenzen nur dann umsetzbar sind, falls mit der Schutzgebietsverordnung oder durch einen Vertrag mit dem Grundbesitzer Einfluss auf die Bewirtschaftung der unmittelbaren Umgebung des Schutzgebietes resp. dessen Kernzone genommen werden kann.

Bezüglich der Düngung der Umgebung sind zwei Situationen zu unterscheiden: a) Riedwiesen in Ebenen und b) Riedwiesen in Mulden oder in Hanglagen.

Zu a): - Bei Verwendung mineralischer P-Dünger ist auf die sehr feinkörnigen Dünger (Thomasmehl und Hyperphosphat in feinkörniger Form, entleimtes Knochenmehl) zu verzichten. Auch bei scheinbar windstillen Verhältnissen käme es zu einer Verdriftung und damit zu einer Einwehung ins Schutzgebiet. Die von KAULE (1976) empfohlene Pufferzonenbreite von "mindestens 200 m, besser 500 m" könnte stark eingeschränkt werden, wenn im Umkreis von einigen hundert Metern bei Wind eine Ausbringung feinkörniger Dünger unterlassen würde.

- Die Verwendung organischer Flüssigdünger (inkl. Klärschlamm) ist nur dann gefahrlos, wenn die horizontalen Bewegungen des Grundwassers unbedeutend sind. Harngülle ist ein "sehr einseitiger NK-Dünger" (KLAPP 1971, S. 220), der nur Spuren von Phosphor enthält; Vorsicht ist nur bei kaliarmen Niedermooren geboten. Die wirtschaftliche Bedeutung der Harngülle - wie auch des Mistes - hat jedoch infolge der vielerorts erfolgten Umstellung auf (Voll-)Güllewirtschaft stark abgenommen.

- Ohne Einschränkung können somit granulierte Phosphordünger (z.B. Superphosphat), die neuerdings häufiger verwendeten (ebenfalls granulierten) Komplexdünger und Mist angewandt werden.

zu b): - Die unmittelbare Umgebung sollte als Grünland und nicht als Acker bewirtschaftet werden, um die oberflächliche Einschwemmung von Boden- und Düngerpartikeln möglichst gering zu halten.

- Von einer Verwendung der (wasserreichen) organischen Flüssigdünger ist infolge des Humateffekts (FLIEG 1935, zit. in HOFER und JäGGLI 1975) grundsätzlich abzusehen. "Der Humateffekt... besagt, dass die organische Substanz auf die Phosphorsäure eine schutzkolloidale Wirkung ausübt, wodurch die Phosphate mehr oder weniger beweglich bleiben" (S. 96).

- Stocken auch die angrenzenden Fettwiesen auf organischen Böden, ist die Phosphataus- resp. -einwaschung in jedem Fall möglich (Kap. 4.5.). Als einzige Schutzmöglichkeit bleibt dann nur die Ausscheidung eines grösseren Pufferstreifens, der mehr als einmal geschnitten, aber nie gedüngt werden darf.

Der oberflächliche Abtrag und somit die oberflächliche Einschwemmung ins Schutzgebiet haben wohl die gravierendsten Auswirkungen. Nicht zu unterschätzen sind jedoch die Einwehung sowie die Einschwemmung über Hang- und Grundwasser, weil sie leicht die puffernde Randzone umgehen und damit bedeutungslos machen können. (Was den Stickstoff betrifft, verweise ich auf BOLLER-ELMER 1977, vor allem S. 83).

## Zusammenfassung

Eine Reihe von Untersuchungen weist darauf hin, dass der Phosphor und nicht der Stickstoff als primär limitierender Nährstoff für Streuwiesen zu betrachten ist.

- Beim zur Eutrophierungssimulation angelegten eigenen Düngungsexperiment zeigen sich auf den mit Phosphor und Kalium gedüngten Parzellen im zweiten Jahr "Stickstoff-Effekte" (Ausbreitung von Gräsern, die im ersten Jahr nur auf den auch zusätzlich mit Stickstoff gedüngten Parzellen gefördert worden waren). Kap. 3.1., 3.2., 4.3.
- Von den Hinweisen aus der Literatur sind vor allem die Phosphor-Mangel-

parzellen landwirtschaftlicher Düngungsversuche auf Niedermoor sowie die Phosphordominanzflächen eines Düngungsversuchs auf Mineralboden zu erwähnen. Kap. 4.4.2.

In Kapitel 5 werden die Konsequenzen für die Naturschutzpraxis zusammengestellt.

## Summary

*Several investigations revealed that in litter meadows the prime limiting nutrient is not nitrogen but phosphorus.*

- *On the phosphorus-potassium plots of our fertilization experiment, where eutrophication was simulated, "nitrogen-effects" were observed in the second year ( spreading of grasses which only advanced in the first year on plots additionally fertilized with nitrogen). Chap. 3.1., 3.2., 4.3.*
- *Of the literature data those of phosphorus deficient plots concerning agricultural fertilization experiments on fen as well as phosphorus dominant plots of a fertilization experiment on mineral soil have to be pointed out. Chap. 4.4.2.*

*In Chapter 5 the consequences for nature conservation are listed.*

## Literatur

BALATOVA-TULACKOVA E., 1977: Available soil nutrients related to species composition of some meadow communities in northwestern Bohemia. Proc. XIII Internat. Grassland Congress, 485-487.

BOLLER-ELMER K., 1977: Stickstoff-Düngungseinflüsse von Intensivgrünland auf Streu- und Moorwiesen. Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, *63*, 103 S.

CARBIENER R., 1978: Un exemple de prairie hygrophile primaire juvénile: l'*Oenantho lachenalii-Molinietum* de la zonation d'atterrissement rhénane résultant des endiguements du 19e siècle en moyenne Alsace. Coll.Phytosoc. V, Lille 1976. 13-42.

CHWASTEK M., 1963: The influence of nutritional soil resources, especially phosphorus content, on the dominance of *Molinia coerulea* (L.) Moench in the meadow sward. The Poznan Soc. Friends of Sci, Dept.Agric. and Sylvicult.Sci. *14*,(3), 277-356.

DENUDT G., 1975: Essai de caractérisation de la flore et de la végétation prairiale à l'aide des teneurs minérales. Thèse Univ. de Louvain, 118 S. + Anhang.

- und LAMBERT J., 1978: Etude minérale de quelques plantes de prairies humides. Coll.Phytosoc. V, Lille, 1976. 353-358.

DÖLER H.-P., 1982: Untersuchungen zur mikrobiellen Stickstoff-Fixierung in einigen Hochmoorkomplexen im württembergischen und bayerischen Alpenvorland. Diplomarbeit Univ. Tübingen und Stuttgart. 81 S.

VAN DUUREN R., BAKKER J.P. und FRESCO L.F.M., 1981: From intensively agricultural practices to hay-making without fertilization, effects on moist grassland communities. Vegetatio *47*, 241-258.

DUVIGNEAUD P., 1974: La synthèse écologique. Dion, Paris. 296 S.

EGLOFF Th., 1979: Pflegemassnahmen und Sukzessionen in Schutzgebieten feuchter Standorte am Beispiel Reusstal. Diplomarbeit ETH Zürich (Manuskript). 192 S.

EIDG.LANDW.FORSCHUNGSANSTALTEN et al., 1974: Wegleitung zu einer umweltgerechten Anwendung von Düngermitteln. Mitt.f.d.Schweiz.Landw. *22*(7), 133-149.

ELLENBERG H., 1952: Wiesen und Weiden und ihre standörtliche Bewertung. Landw.Pflanz.soz. *2*, 144 S.

- 1978: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen - in ökologischer Sicht. (2. Aufl.). Ulmer, Stuttgart. 982 S.

FINCKH B., 1960: Umbruchlose Verbesserung ertragsarmer Streuwiesen. Bayer. Landw.Jb. *37*, 91-119.

FINK A., 1976: Pflanzenernährung in Stichworten. (3. Aufl.). Hirt, Kiel. 200 S.

FURRER O.J., 1975: Die Phosphor-Belastung der Gewässer durch die Landwirtschaft. Mitt.Eidg.Anstalt f.d. forstl. Vers'wes. *51*(1), 267-282.

GEHLKER H., 1977: Eine Hilfstafel zur Schätzung von Deckungsgrad und Artmächtigkeit.Mitt.flor.-sg.Arb.gem. N.F. *19/20*, 427-429.

GERICKE S. und BäRMANN C., 1958: Die Phosphatversorgung der Milchkuh durch Wiesenheu. Die Phosphorsäure *18*(3), 140-153.

HASLER A. und HOFER H., 1975: Düngungslehre. Lehrbuch für landwirtschaftliche Fachschulen und für die Praxis. Wirz, Aarau. 103 S.

HESS H.E., LANDOLT E. und HIRZEL R., 1972: Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. Bd. 3. Birkhäuser, Stuttgart/Basel. 876 S.

HOFER H. und JäGGLI F., 1975: Probleme bei der umweltgerechten Anwendung von Düngemitteln. Mitt.f.d.Schweiz.Landwirtschaft *23*(8), 89-111.

HöHN W., 1918: Ueber die Flora und Entstehung unserer Moore. Mitt.Natw. Ges. Winterthur, *12*, 29-65.

JäGGLI F., 1978: Sickerverluste an Mineralstoffen (Lysimeterversuche 1972-1978). Mitt.f.d.Schweiz.Landwirtschaft *26*(7), 130-136.

KAULE G., 1976: Spezielle Probleme des Moorschutzes. Natur und Landschaft *51*(4), 117.

KLAPP E., 1954: Erträge von Pflanzengesellschaften in Beziehung zu Grundwasser und Nährstoffversorgung. Angew.Pfl.soz. *8*, 137-148.

- 1971: Wiesen und Weiden - eine Grünlandlehre. (4. Aufl.). Parey, Berlin/Hamburg. 620 S.

- 1974: Taschenbuch der Gräser, Erkennung und Bestimmung, Standort und Vergesellschaftung, Bewertung und Verwendung. (10. Aufl.). Parey, Berlin/Hamburg. 260 S.

KNAUER N., 1963: Ueber die Brauchbarkeit der Pflanzenanalyse als Massstab für die Nährstoffversorgung und das Düngebedürfnis im Grünland. Schriftenreihe d.Land.Fak.Univ. Kiel, *33*, 140 S.

KUHN U., LEUPI E., OBERHOLZER H.-R. und TSCHüTSCHER B., 1978: Naturwissenschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung von Naturschutz und Erholungsgebieten. Gruppendiplomarbeit. Geobot.Inst.ETH. 236 S. (Manuskript).

- - - und OBERHOLZER-TSCHüTSCHER B., 1982: Rückzug von Nährstoffen bei *Molinia coerulea* im Herbst. Ber.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, *49*, 146-153.

KUNTZE H., NIEMANN J., ROESCHMANN G. und SCHWERDTFEGER R., 1981: Bodenkunde (2. Aufl.). Ulmer, Stuttgart. 407 S.

LANDESHYDROLOGIE, 1977-1979: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.

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

LIMBOURG P., NOIRFALISE A. und THILL A., 1977: Réactions floristiques d'une prairie à Molinie aux facteurs édapho-chimiques. Doc. Phytosoc. *1*, 205-210.

LOACH K., 1968: Seasonal growth and nutrient uptake in a *Molinietum*. J.Ecol. *56*, 433-444.

LÜTKE-TWENHÖVEN F., 1982: Untersuchungen zum inneren Nährstoffkreislauf einiger Niedermoorpflanzen. Diplomarbeit Univ. Stuttgart-Hohenheim. 98 S.

MORTON A.J., 1977: Mineral nutrient pathway in a *Molinietum* in autumn and winter, J.Ecol. *65*, 993-999.

MUBANDU M., 1979: Contribution à l'étude des endomycorrhizes de *Molinia coerulea* (L.) Moench. Diss. Gembloux (Belgien). 214 S.

MUNTZERT M., 1973: Zur Methodik der quantitativen floristischen Auswertung von Grünlandversuchen. Bayer.Landw.Jb. *50*(3), 321-374.

NOWACKI A., 1887: Die Streunoth und die Mittel zu ihrer Abhülfe; eine Volksschrift. Aarau. 39 S.

PEGTEL D.M., 1981: Ecological aspects of a nutrient-deficient wet grassland. Kurzfassungen zur 11. Tagung der Ges. f. Oekologie in Mainz. S. 48.

RUPPANER M., 1982: Untersuchungen zum Stickstoffkreislauf auf verschieden genutzten Nassstandorten bei Isny (Bodenmer Moos und NSG Schächtel). Diplomarbeit. Univ. Stuttgart-Hohenheim. 76 S.

SCHLICHTING E. und BLUME H.P., 1966: Bodenkundliches Praktikum. Parey, Berlin/Hamburg. 209 S.

SCHROEDER D., 1972: Bodenkunde in Stichworten. (2. Aufl.). Hirt, Kiel. 146 S.

SIMON U., 1954: Fünfjährige Versuchsergebnisse über Beziehungen zwischen Niederschlagsmenge, Pflanzenbestand, Düngung und Ertrag auf Niedermoorwiesen. Z. Pflanzenbau und Pflanzenschutz *5*, 241-256.

- 1955: Düngerwirkungen auf oberbayerischen Niedermoorwiesen. Phosphorsäure *15*, 18-97.

SOUGNEZ N., 1966: Réactions floristiques d'une lande humide aux fumures minérales. Oecol.Plant. *1*(1), 219-234.

STEBLER F.G., 1887: Ueber die Anlage und Behandlung von Streuwiesen und die Beschaffung von Streuematerial. Meyersche Buchdruckerei Luzern. 28 S.

- 1898: Die besten Streuepflanzen. 4. Teil des Schweiz. Wiesenpfl.werkes, Bern- 148 S.

- und SCHRÖTER C., 1887: Untersuchungen über den Einfluss der Düngung auf die Zusammensetzung der Grasnarbe. Beitr.z.Kenntnis d. Matten und Weiden d. Schweiz *2*(1-4), 93-148.

STEENVOORDEN J.H.A.M. und OOSTERROM H.P., 1979: Natural and artificial sources of nitrogen and phosphate pollution of waters in the Netherlands surface. Inst.f.Land and Water Management Research, Wageningen. Techn.Bull. *114*, 19 S.

STURM H., 1958: Zehnjähriger Wiesedüngungsversuch auf oberbayerischem Niedermoor. Bayer.Landw.Jb. *35*, 530-543.

VIETS G.F., 1975: The environmental impact of fertilizers. Critical Reviews in Environm. Control *5*, 423-453.

VOIGTLäNDER G., MäDEL F. und BAUER J., 1980: Pflanzenbestände und Erträge im Wiesenversuch Veitshof von 1969 bis 1979. Beitr.d.Jahrestagung d.Arbeitsgemeinschaft f. Grünland u. Futterbau 1980 in Freising-Weihenstephan. 50-58.

VOLKART A., 1919: Gutachten der "Schweiz. Samenuntersuchungs- und Versuchsanstalt"in Oerlikon betr. Anbau von Besenriedstreue. 12 S.

WHEELER B.D., BROOKES B.S. und SMITH R.A.H., 1983: An ecological study of *Schoenus ferrugineus* L. in Scotland. Watsonia *14*, 249-256.

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

WINTER F., 1957: Ueber den Einfluss der Düngung auf Pflanzenbestand und Massenertrag verschiedener Wiesengesellschaften. J. Acker- u. Pflanzenbau *102*, 135-164.

WIRZ-KALENDER, 1976: Landwirtschaftliches Handbüchlein zum Wirz-Kalender. Wirz, Aarau.

- 1982: Landwirtschaftliches Handbüchlein zum Wirz-Kalender. Wirz, Aarau.

ZOBRIST J. und STURM W., 1979: Wie sauber ist das Schweizer Regenwasser? Neue Zürcher Zeitung v. 27.6.1979. (Separatdruck 4 S.).

Adresse des Autors: Thomas EGLOFF, dipl. Natw. ETH
Geobotanisches Institut ETH
Stiftung Rübel
Zürichbergstr. 38
8044 Zürich