

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

Kapitel: F: Diskussion

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: 23.12.2025

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

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 Süden 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 Grosseggen Sümpfen.

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

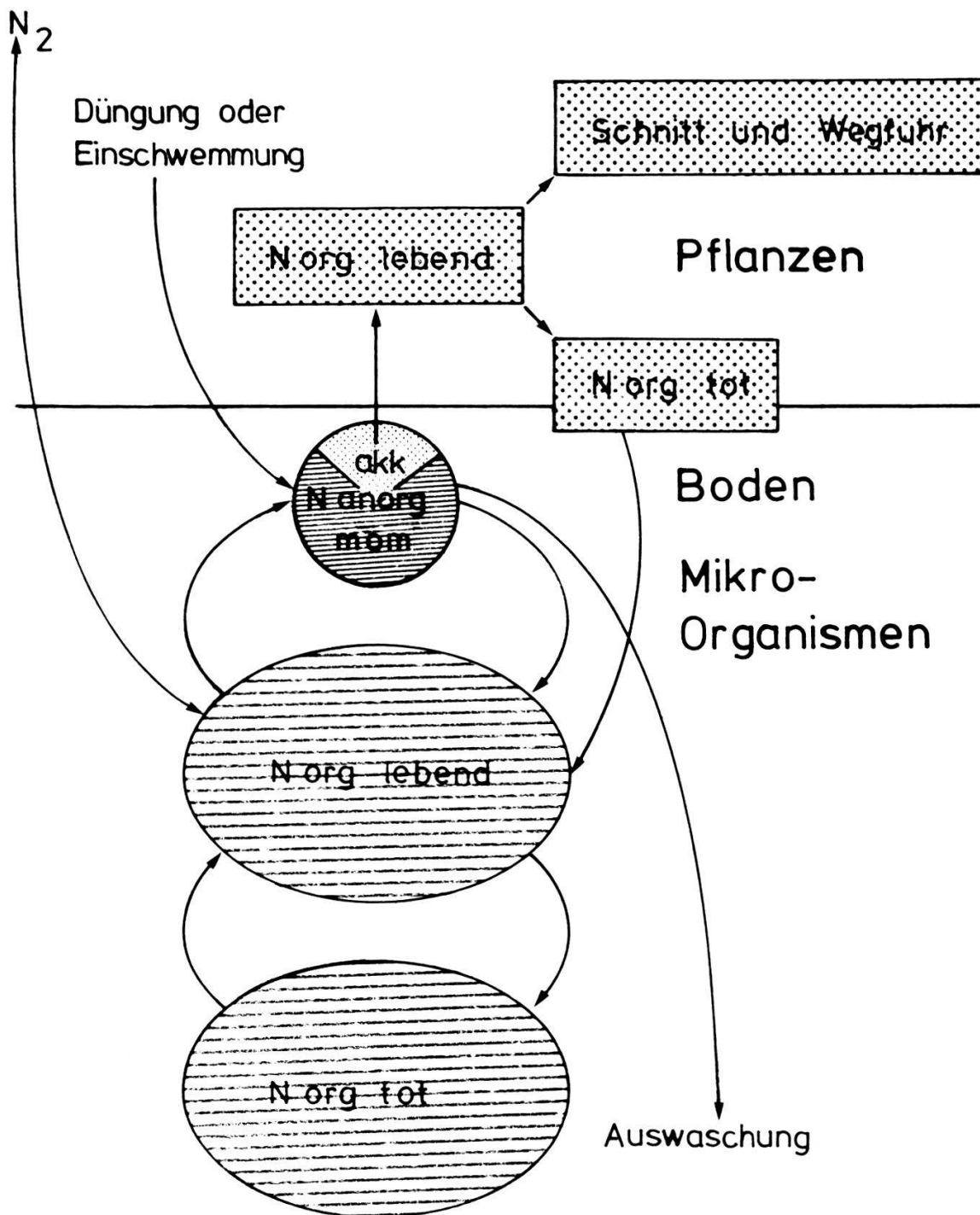
DER STICKSTOFF-KREISLAUF UND DIE STICKSTOFF-MESSGRÖSSEN

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 N¹⁵) 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 benutzt 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 Sphagnum 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 Transekten? Betrachten wir zunächst den mittleren N mom-Wert! Er liegt sowohl in der Fettwiese wie im ersten Punkt der Uebergangszzone relativ hoch und nimmt dann gegen das Riedinnere im Bereich des Pufferzonen-Einflusses ab. Weiter im Riedinnern bleibt er konstant oder nimmt bei manchen Transekten 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_3 mom 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_3 mom 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_3 mom-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_4 mom-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/m² in Pufferzonen mit *Valeriano-Filipenduletum*-Charakter und zwischen 300 - 150 g/m² 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.)

OBERFLÄCHLICHE 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 Überlegungen 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 Übergangszone 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

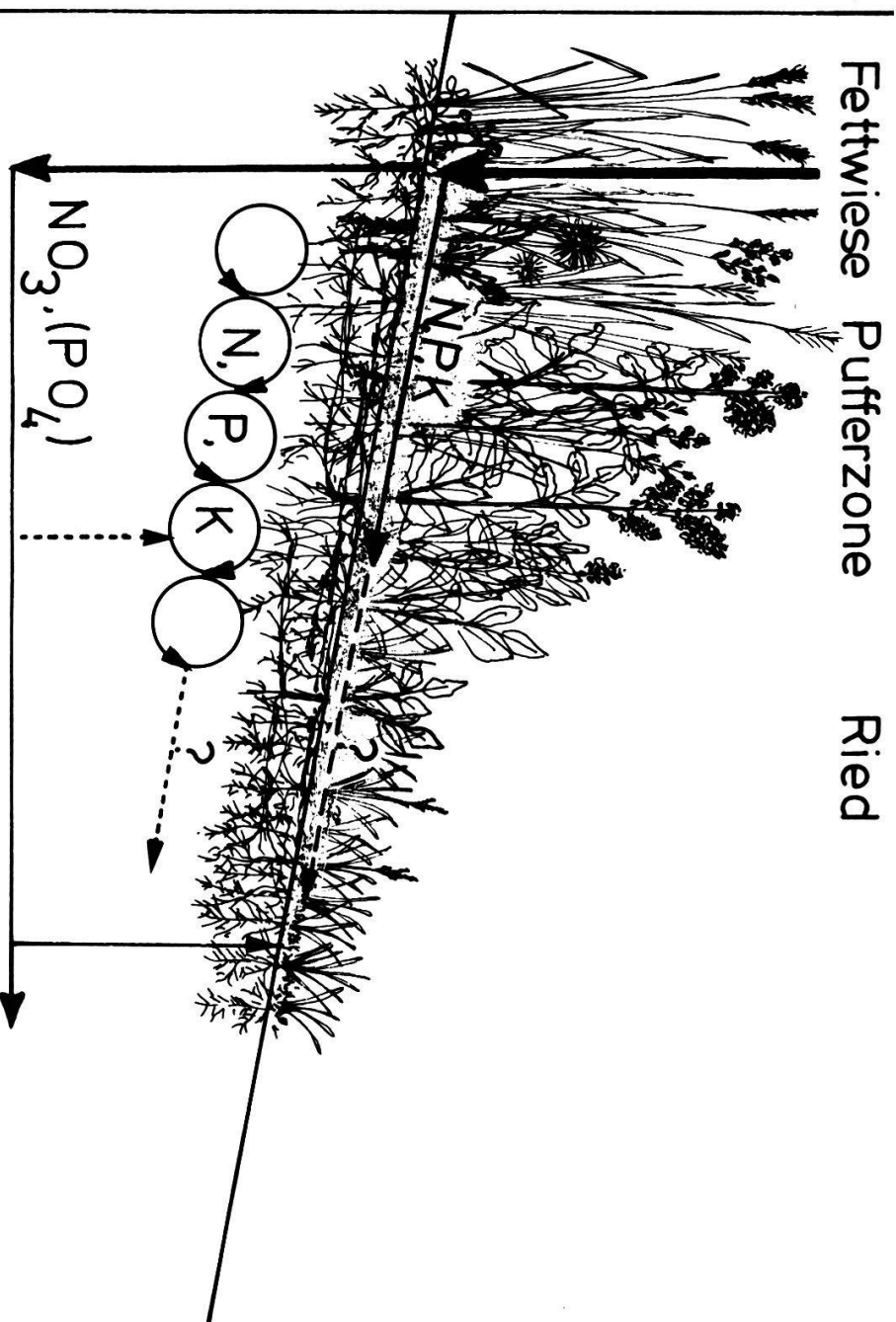
Weg der Nährstoff-
Zufuhr :

Direkte Düngung

oberflächliche
Einschwemmung

biogener
Transport

Auswaschung
im Boden und
Einschwemmung
mit dem
Grundwasser



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 DÜNGESTOFFEN

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 anderen 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.