
Messung der Stickstoffverlagerung mit Saugsonden in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen

István Jászberényi¹ – Jakab Loch¹ –
Wulf Bartolomaeus² – Detloff Köppen²

¹Universität Debrecen, Agrarwissenschaftliches Zentrum,
Lehrstuhl für Agrikulturchemie, Debrecen

²Universität Rostock, Institut für Umweltgerechten Pflanzenbau,
Rostock

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Untersuchung der Stickstoffkonzentration in der Bodenlösung wurden unter verschiedenen Boden- und Klimaverhältnissen Saugsonden in den Versuchsstationen der Universitäten Rostock und Debrecen (Ungarn) in Feldversuchen eingesetzt. Auf beiden Standorten konnte eine Abhängigkeit der N-Konzentration der Bodenlösung von der Bewirtschaftung nachgewiesen werden.

Auf dem grundwassernahen anlehmigen Sand des Standortes Rostock wurden die Stickstoffkonzentrationen der Bodenlösungen in den einzelnen Bodenschichten durch den in der Tendenz abwärts gerichteten Wasserstrom geprägt. Von den vier Prüfgliedern des Knaulgrasfeldversuches mit (m. D.) und ohne (o. D.) N-Düngung, bzw. mit und ohne Ernte des Aufwuchses wies die Variante ohne N-Düngung mit Ernte des Aufwuchses den geringsten Anstieg der N-Konzentration mit zunehmender Bodentiefe auf. Unter Berücksichtigung der Sickerwassermenge nahm die N-Fracht in folgender Reihenfolge zu: o. D., geerntet < o. D., nicht geerntet < m. D., geerntet << m. D., nicht geerntet.

Auch auf der grundwasserfernen Schwarzerde des Standortes Debrecen konnte der Einfluß der N-Düngung auf die NO₃-N-Konzentrationen der Bodenlösung und den gesamt löslichen N-Gehalt (N_s) in den untersuchten Bodenschichten eindeutig nachgewiesen werden. Unter den semiariden Klimaverhältnissen ist infolge der aufwärts gerichteten Wasserbewegung während der Vegetationsperiode keine permanente Verlagerung zu beobachten. Temporäre Verlagerungen sind durch stärkere Niederschläge möglich.

SUMMARY

Measuring of nitrogen leaching using ceramic suction cups at different locations

Ceramic suction cups were used for the measurement of N-concentration in soil solutions under different soil and climate conditions in both field experiments of Rostock University and Agricultural University of Debrecen (Hungary). Depending on the soil utilisation the change in the N concentration of the soil solution can be proved on both sites.

The experimental field of Rostock University can be characterised by its high groundwater table. The nitrogen concentration of soil solutions in the different soil layers were determined by the trend downward of water. In the dactylis (*Dactylis glomerata*) experiment, the quadruple treatments involved the following: with and without N-fertiliser, with and without harvesting, respectively. In the lower soil layers, the least rising N concentrations were established in case of the treatment without N-fertiliser combined with harvesting. The nitrogen leaching calculated from the infiltrated water quantity and the

nitrate N concentration increased in the following order: without N-fertiliser, with harvesting < without N-fertiliser, without harvesting < with N-fertiliser, with harvesting << with N-fertiliser, without harvesting.

The field experiment site of Debrecen can be characterised by a low groundwater table. The effect of N-fertilisation on the nitrate-N concentration of soil solution in the soil layers can be stated unanimously. Permanent nitrate-N leaching cannot be established due to the water upward movement under semiarid climate conditions. Intermittently transfer of nitrate-N between the soil layers is probable in cases of remarkable precipitation.

EINLEITUNG

Kenntnisse der Stoffumsetzungen im Boden in Abhängigkeit von der Nutzung, Bearbeitung und Düngung sowie von Umwelteinflüssen erlangen steigende Bedeutung (Werner, 1990 1994; Meissner et al., 1995; Meissner, 1996).

Die Messung der Stickstoffverlagerung ist besonders zur Vermeidung der potentiellen Umweltschäden von Bedeutung. Über die Ergebnisse von Messungen in Freilandversuchen auf verschiedenen Böden Ungarns berichten Loch und Jászberényi (1987), Bocz et al. (1989), Füleky (1996), Németh (1996).

Loch und Jászberényi (1987) konnten in einem Düngungsversuch auf Schwarzerde, bei den Bedarf der Pflanzen überschreitenden Stickstoffgaben eine Nitratanreicherung zwischen 50-60 cm nachweisen. In den bewässerten Varianten war die Verlagerung bis 100 cm und tiefer zu beobachten.

Bocz, et al. (1989) berichten aufgrund von Freilandversuchen mit steigenden Stickstoffgaben auf einem typischen Schwarzerdestandort der Ungarischen Tiefebene, dass die Nitratverlagerung mit und ohne Bewässerung bis 120-200 cm vor sich geht. Mit Bewässerung kann die Verlagerung auch 200 cm überschreiten. Die gemessenen NO₃-N Werte stehen mit den Gaben in engerer Beziehung, als mit der Ausbringungszeit.

Nach Untersuchungen von Füleky (1996) verursachen steigende N-, P- und K-Gaben auf saurem Sandboden die Abnahme des pH-Wertes, sowie die des Ca- und Mg-Gehaltes. Gleichzeitig ist eine Zunahme des Nährstoffgehaltes in tieferen Schichten zu beobachten. Es konnte eine NO₃-N Verlagerung bis 3 m und tiefer registriert werden. Bei den weniger beweglichen K-Ionen war eine Verlagerung bis 60 cm zu beobachten.

Németh (1996) berichtet über die Ergebnisse eines Modellversuches. Aufgrund der $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ Messungen scheint es zweckmäßig den Ursprung der in tieferen Schichten vorliegenden Stickstofffraktionen zu klären. Dies ist zur Beurteilung der potentiell möglichen Umweltbelastung der Pflanzenproduktion notwendig.

Nach deutschen Autoren, wie Werner et al. (1989) ist die Landwirtschaft heute ein Hauptverursacher der Nährstoffbelastung der Gewässer. Von der Gesamtstickstoffbelastung der Oberflächengewässer stammen 57% aus diffusen Quellen, der Anteil der Landwirtschaft daran beträgt etwa 46% bei N und 38% bei P. Seit 1979 besteht im Bundesgebiet ein rechnerischer N-Überschuß von rund $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ LN}$ (Bach, 1987). Für die Analyse dieser Zusammenhänge haben sich globale, betriebs- und schlagbezogene Nährstoffbilanzen (Isermann, 1990) bewährt.

Stofftransporte lassen sich durch Untersuchungen von wäßrigen Bodenlösungen oder Bodenproben aus unterschiedlichen Tiefen ermitteln (Riess et al., 1995). Die Entnahme der Bodenproben und Extraktion der Nährstoffe ist jedoch zeit- und kostenaufwendig. Daher war das Ziel der nachfolgend vorgestellten Untersuchungen zu prüfen, ob über Saugsonden auf unterschiedlichen Standorten und unter dem Einfluß unterschiedlicher Bewirtschaftung dem Boden in situ wäßrige Bodenlösungen entnommen werden können, um Stickstoffverlagerungen zu beurteilen.

MATERIAL UND METHODEN

Zur Klärung der aufgezeigten Problematik wurden in den Versuchstationen der Universität Rostock und der Agrarwissenschaftliche Universität Debrecen (Ungarn) auf zwei durch Klima, Boden und Bewirtschaftung unterschiedlichen Standorten nachfolgende experimentelle Untersuchungen durchgeführt:

Versuchsstation Rostock

Zur Bilanzierung der Stickstoffverlagerung erfolgte unterhalb der Hauptwurzelzone die Entnahme von Sickerwasserproben. Dies geschah mit Hilfe von Keramikkerzen, die in vier Tiefen von 20, 40, 60 und 90 cm als Saugsonden eingebaut wurden (Abbildung 1).

Für die Einbindung der Saugkerzen wurden 4 Prüfglieder in zweifacher Wiederholung (= 8 Parzellen) eines Parzellenversuches mit Knautgras (*Dactylis glomerata*) ausgewählt.

1. Prüffaktor A: Düngung
 - a1 ohne N-Düngung
 - a2 mit 50 kg N ha^{-1} Düngung
2. Prüffaktor B: Aufwuchsbehandlung
 - b1 Mahd und Abfuhr
 - b2 Mahd und Verbleib auf der Fläche

Die Saugsondenanlage bestand aus dem porösen Körper der Saugkerze mit dem fest installierten PVC-Schaft, Verbindungsschläuchen zur Erdoberfläche, Auffanggefäß und einer Unterdruckapparatur. Das Anlegen von Unterdruck (0,3–0,7 bar) bewirkte den Übertritt des Bodenwassers durch die poröse Keramikumhüllung in den Hohlraum der Kerze. Über Nylonschläuche gelangte das Bodenwasser in das Auffanggefäß (Abbildung 2). Damit weitgehend nur das im Boden versickernde Wasser abgesaugt wird, erfolgte die kontinuierliche Beprobung während der Versickerungsperioden.

Der Versuchsstandort befindet sich in einer ebenen, weichselglazialen Grundmoräne 15 km von der Ostsee entfernt im stark maritim beeinflussten Küstenbereich. Bei einer mittleren jährlichen Temperatur von $8,2 \text{ }^\circ\text{C}$ fallen im langjährigen Mittel 599 mm Niederschlag. Das Bodenwasserregime ist durch natürliche, zeitweise Nässe und außerdem infolge von Verdichtungen durch Haft- und Stauwasser gekennzeichnet.

– Bodentyp	:	Braunstaugley
– Bodenart	:	lehmgiger Sand
– Ton- und Schluffgehalt (%)	:	35
– Trockenrohdichte (g cm^{-3})	:	1,46
– Humose Schicht (cm)	:	25
– Humus-Gehalt im Oberboden (%)	:	1,53
– pH (KCl, 1 M)	:	5,0
– N_i (%)	:	0,1
– P, Ca-Lactat ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	:	14,8
– K, Ca-Lactat ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	:	19,7

Versuchsstation Debrecen

Erfassung der N-Dynamik in einem mehrfaktoriellen Feldversuch mit einem N-Düngungsaufwand 0, 120 und 240 kg ha^{-1} . In diesem Versuch wird seit 1985 die Wirkung der Düngung, Bodenbearbeitung und Bewässerung auf den Pflanzenertrag geprüft. Als Versuchspflanze diente Mais, der in verschiedenen Blöcken als Monokultur, Dikultur (Weizen-Mais), bzw. Trikultur (Weizen-Mais-Leguminosen) bei Bedarf unter Bewässerung (Tropfverfahren) angebaut wurde. Die Saugsonden wurden in den einzelnen Düngungsvarianten der Maismonokultur bei normaler Bodenbearbeitung (Pflug), Bewässerung mit Tropfverfahren nach Bedarf der Pflanzen, in den Schichten 0-30, 30-60, 60-90 cm eingebaut.

Die Installation der Saugsonden erfolgte im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Universität Rostock nach der Richtlinie des DVWK (Anonymus, 1990) jedoch nur in zweifacher Wiederholung in den ausgewählten Varianten. Die Versuchsstation liegt im Osten Ungarns auf einer grundwasserfernen Schwarzerde. Bei einer mittleren jährlichen Temperatur von $10,0 \text{ }^\circ\text{C}$, fallen im langjährigen Mittel 550 mm Niederschlag, in den Versuchsjahren 1995/96 nur 500 bzw. 520 mm.

– Bodentyp	:	Schwarzerde auf Löß
– Bodenart	:	Lehm
– Ton- und Schluffgehalt (%)	:	50
– Trockenrohdichte (g cm ⁻³)	:	1,43
– Humose Schicht (cm)	:	80 bis 100
– Humusgehalt (%)	:	2,76
– CaCO ₃ Anteile in 110 cm (%)	:	13,6
– pH (KCl, 1 M)	:	6,6
– N _i (%)	:	0,18
– P, Ammoniumlactat-Essigsäure (mg 100 g ⁻¹)	:	6,3
– K, Ammoniumlactat-Essigsäure (mg 100 g ⁻¹)	:	23,2

Die Probenahme der wäßrigen Bodenlösung mit Hilfe der Saugsonden wurde durch die Witterungsverhältnisse, bzw. Bodenfeuchte bestimmt.

Zeitpunkte:

1995 29. 05., 15. 06., 22. 06., 06. 07.

1996 04. 04., 12. 04., 19. 04., 22. 04., 15. 05.

In beiden Jahren wurden auf beiden Standorten im Bereich der Sonden zusätzlich Bodenproben gezogen, um den löslichen N-Gehalt im KCl- bzw. CaCl₂- Auszug zu bestimmen.

Die Konzentrationen der verschiedenen N-Formen (NH₄⁺-N und NO₃⁻+NO₂⁻-N) in der Bodenlösung wurden photometrisch, in Rostock nach dem Fließverfahren mit dem Aquatec (Puchades et al., 1994), in Debrecen mit dem Skalar Autoanalyser (Houba et al., 1994), bestimmt.

N_i = 0, 01 M CaCl₂-gesamtlöslicher und UV oxidierbarer N-Gehalt.

Als außerordentlich wichtig erwies sich das sorgfältige Einbringen der Keramikkerzen, um eine kapillare Verbindung mit den Bodenporen herzustellen. Zum Einbau der Saugkerzen wurde zunächst ein Kanal (Ø 1 mm größer als Kerze) bis zur vorgesehenen Tiefe gebohrt. Darin wurde die Saugsonde abgesenkt und sorgfältig mit am Standort vorhandenen Bodenmaterial eingeschlämmt. Vorteilhaft war weiterhin die Wiederholung der Installation von Saugsonden in jeweils gleicher Entnahmetiefe, da auch bei sorgfältigster Beprobung trotz kontrolliertem Unterdruck aus einzelnen Saugkerzen keine Bodenlösungen zu gewinnen waren. Als Ursachen können, besonders nach Winterperioden oder intensiver Sonneneinstrahlung Undichtigkeiten des Vakuumsystems vermutet werden. Verschiedene Autoren weisen darüber hinaus auch auf die Möglichkeit eines unterschiedlich starken Verstopfens der Kerzenporen z.B. mit Bodenteilchen hin (Grossmann und Udluft, 1991; Riess et al., 1995).

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Der Einfluß der Bewirtschaftung auf die NO₃-N Konzentrationen der Bodenlösung konnte auf beiden Standorten nachgewiesen werden.

Versuchsstation Rostock

In Rostock hatte die Ernte des Knäulgrasaufwuchses und der Verzicht auf jegliche N-Düngung im 3 jährigen Durchschnitt eine Verringerung des NO₃-N Gehaltes im Sickerwasser unter 1 mg l⁻¹ zur Folge (*Tabelle 1*).

Ein Verbleiben des Knäulgrasaufwuchses führte im Mittel der Vegetationsperioden zu geringfügig höheren Nitratgehalten. Unter dem Einfluß der N-Düngung konnten kurzzeitig auf dem lehmigen Sandboden in 40 cm Tiefe Konzentrationsanstiege bis 6,13 mg NO₃-N l⁻¹ im Sickerwasser nachgewiesen werden, die jedoch in den nachfolgenden Monaten wieder abfielen.

Beim Verbleiben des Aufwuchses auf der Parzelle wurde der N-Düngungseffekt verstärkt. Im Extremfall konnten kurzfristig höhere Konzentrationsanstiege bis 9,14 mg l⁻¹ nachgewiesen werden, verursacht durch erhebliche Niederschläge und der fehlenden Einlagerung in die noch nicht gebildete Biomasse in den Nachwinterperioden. Bedingt durch die abwärts gerichtete Wasserbewegung erhöhte sich in den nachfolgenden Monaten der Nitratgehalt in abgeschwächter Konzentration bis 90 cm, so daß eine Tiefenverlagerung geringer Nitratmengen nicht ausgeschlossen werden kann (*Tabelle 1*). Der Nitratgehalt der Bodenwasserproben innerhalb einer Wiederholung streute in einem weiten Bereich bis zu 200%, wodurch systemimmanente Unzulänglichkeiten deutlich hervortraten.

Im Vergleich zu den Nitratstickstoffgehalten bewegten sich die Ammoniumstickstoff-gehalte auf einem überraschend hohen Niveau, jedoch fallend mit fortschreitender Versuchsdauer, wie auch von Meinsen et al. (1991) auf gleichem Versuchsstandort bestätigt wurde (*Tabelle 2*). Im Spätsommer (September) werden in einigen Versuchsvarianten die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (0,39 mg l⁻¹ NH₄⁺-N) weit überschritten. Systemimmanente Unzulänglichkeiten, wie starke Variabilität des Ammoniumnitratgehaltes der Bodenwasserproben oder Infiltration des Bohrloches, inhomogene Verteilung von mineralischen und organischen Bestandteilen, eine inhomogene Aktivität von Flora und Fauna kommen nach Grossmann und Udluft (1991), und Riess et al. (1995) als Ursachen für schwer zu erklärende Extremwerte in Frage.

Auch der zu erwartende Rückgang der Ammoniumkonzentrationen mit zunehmender Bodentiefe konnte nachgewiesen werden.

ERMITTLUNG DER N-FRACHTEN

Aus dem Produkt der Nitrat- und Ammoniumstickstoffgehalte der Bodenlösungen aus den Bodenschichten (0-20, 20-40, 40-60 und 60-90 cm) und der Sickerwassermenge (*Tabelle 3*)

konnte die Stickstoffverlagerung in kg ha^{-1} im Untersuchungszeitraum errechnet werden (*Abbildung 3*). Die dazu notwendigen monatlichen Sickerwassermengen (l m^{-2}) wurden mit Bodenmaterial des Versuchsstandortes in einer Lysimeteranlage in 1,0 m Tiefe unter Dauergrasbrache ermittelt. Die Verlagerung wurde schichtenweise bestimmt, obwohl mit einem kontinuierlichen Verlagerungseffekt gerechnet werden muß.

Insgesamt waren relativ geringe Stickstoffmengen zu verzeichnen. Im Unterboden von 20-40 cm traten die höchsten Werte auf, wie auch von Asmus (1994) für sandige Diluvialböden gefunden wurde. Auf dem anlehmigen Sandboden führte eine N-Düngung von 40 kg ha^{-1} zu einer erhöhten N-Verlagerung im Bereich von 20-60 cm Tiefe. In der Bodenschicht von 60-90 cm konnte eine kleinere N-Menge im Verhältnis zum übrigen Profil nachgewiesen werden.

Abgeerntete Versuchsflächen, die nicht gedüngt wurden, zeigten erwartungsgemäß den geringsten N-Austrag. Ein Verbleiben des Aufwuchses ließ den N-Gehalt ansteigen. Die höchsten N-Gehalte wurden beim Verbleiben des Aufwuchses und zusätzlicher N-Düngung in einem Versuchsjahr mit $24,15 \text{ kg ha}^{-1}$ N verzeichnet.

Gravierenden Einfluß auf die Höhe der N-Verlagerungen übten die Niederschlagsmengen und deren zeitliche Verteilung aus. Darüber hinaus konnten in niederschlagsarmen Vegetationsabschnitten und unter Frosteinwirkung in den Wintermonaten bei einem Unterdruck von 0,3-0,7 bar keine Bodenlösungen entnommen werden, wodurch nur für 10 Monate im Mittel der drei Versuchsjahre die N-Frachten errechnet werden konnten.

Versuchsstation Debrecen

Die Standortbedingungen in Debrecen unterscheiden sich hinsichtlich der Boden- und Klimaverhältnisse von Rostock wesentlich. Bei insgesamt geringeren Niederschlägen und hoher Evapotranspiration überwiegt in der Vegetationsperiode die aufsteigende Wasserbewegung im Boden. Das schließt allerdings

eine zeitweilige Nitratverlagerung in tiefere Bodenschichten nicht aus.

Es werden die Ergebnisse aus zwei Versuchsjahren vorgestellt, die durch sehr unterschiedliche Bodenfeuchtegehalte gekennzeichnet sind. Im Jahre 1996 war das verfügbare Wasser im Boden mehr als doppelt so hoch als im Jahre 1995.

In beiden Jahren ist der Einfluß der Düngung auf die $\text{NO}_3\text{-N}$ und N_t -Konzentration der Bodenlösung deutlich ausgeprägt (*Tabelle 4 und 5*). N_t beinhaltet außer den anorganischen Formen auch die lösliche organische Fraktion, die zu $\text{NO}_3\text{-N}$ oxidiert wird und im Gesamtgehalt erscheint. Die Unterschiede der N-Konzentrationen zwischen den Jahren sind vor allem auf die Differenzen beim verfügbaren Bodenwasser zurückzuführen. Außerdem sind die höheren Werte 1995 damit zu erklären, daß zur Gewinnung der Proben ein hoher Unterdruck notwendig war (0,7-0,8 bar). Dieser kann nach Mayer (1971), Hansen und Harris (1975), und Walter (1980) die Konzentration verschiedener Stoffe erheblich erhöhen.

Abweichend von der in Rostock angewandten Meßtechnik wurde in Debrecen mit dem Skalargerät auch der N_t -Gehalt bestimmt, Houba et al. (1994). Wegen des geringen Anteils an $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (unter 10% des $\text{NO}_3^-\text{-N}$ Gehaltes) wurde dieser in den *Tabellen 4 und 5* nicht gesondert ausgewiesen.

In den *Tabellen 4 und 5* sind neben den Ergebnissen der Einzelmessungen die Durchschnittswerte der Meßperioden dargestellt. Die Durchschnittswerte charakterisieren die Unterschiede zwischen den Jahren und Düngungsstufen besser, überdecken aber die Schwankungen und die Dynamik der Einzelmessungen. Zum Beispiel wird im Jahre 1996 (*Tabelle 5*) vorübergehend ein deutlicher Anstieg sowohl für $\text{NO}_3^-\text{-N}$ als auch für N_t in der Tiefe von 30-60 cm, besonders ausgeprägt bei der höchsten N-Gabe, Mitte April nachgewiesen (*Tabelle 5*). Die erwähnte Verlagerung war durch wiederholte Niederschläge zwischen der 1. und 2. Messung bedingt.

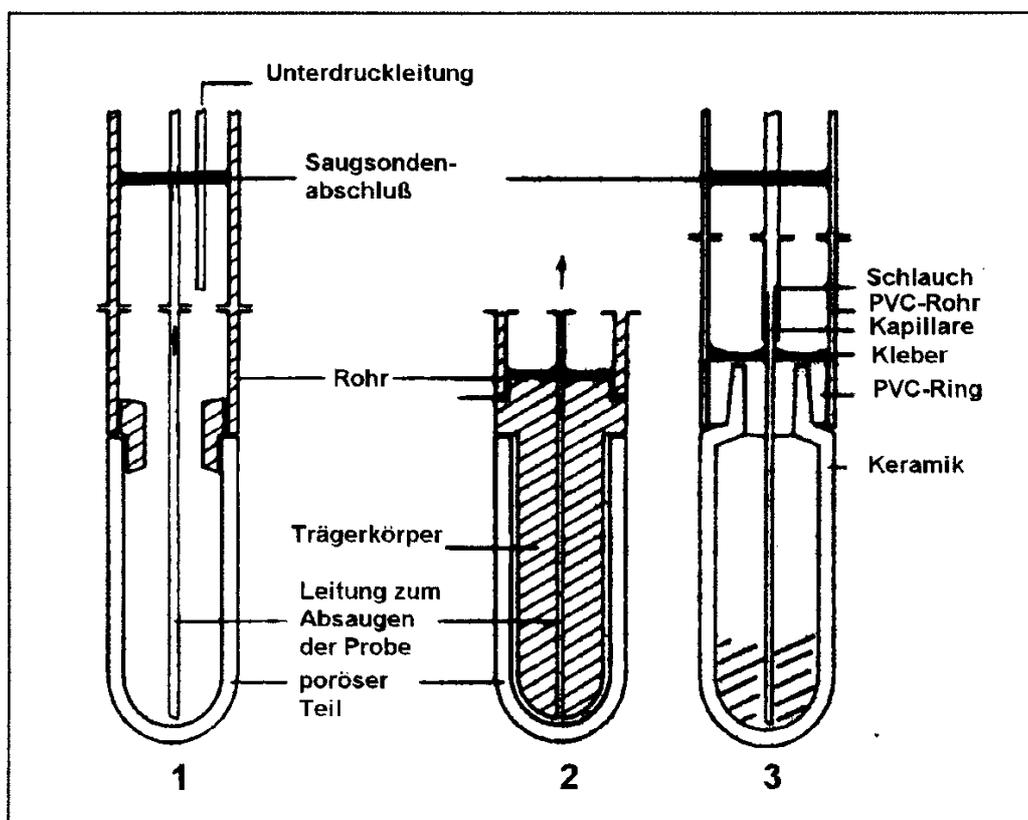
Aufgrund der Bodenwasserverhältnisse in Debrecen war eine Berechnung der Stickstofffrachten in der Zeitspanne der Messungen nicht sinnvoll.

LITERATUR

- Anonymus, (1990): Gewinnung von Wasserproben mit Hilfe der Saugkerzen. Methode – Richtlinie 217 des DVWK P. Parey, Hbg. U. Bln. S. 1-12.
- Asmus, F. (1994): N-Dynamik und N-Verlagerung in diluvialen sandigen Ackerböden bei verschiedenen Formen der Flächenstilllegung – 106. VDLUFA – Kongreß Jena 37.
- Bach, M. (1987): Die potentielle Nitratbelastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. Göttinger Bodenkundliche Berichte 93. 1-186.
- Bocz, E.-Jászberényi, I.-Györi, Z. (1989): The effect of nitrogen fertilization on the nitrate leaching in a chernozem soil. Poster on Conference of „Movement of the element in the soil”. Gödöllő, Hungary
- Füleky, Gy. (1996): Impact of long-term cropping on chemical properties of soil. In: Land Use and Soil Management, International Seminar, Debrecen, Ed: Gy. Filep. 1997. 157-168.
- Grossmann, I.-Udluft, P. (1991): The extraction of soil water by the suction-cup method: a review. Journal of Soil Science, 42.
- Grüner, A. (1997): Sickerwassermessung aus der Rostocker Lysimeteranlage. Unveröffentlichtes Arbeitsmaterial
- Hansen, E. A.-Harris, A. R. (1975): Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39. 528-536.
- Houba, V. J. G.-Novozamsky, I.-Teminghoff, E. (1994): Soil analysis procedures, a series of syllaby Extraction with 0,01 M CaCl_2 (Soil and Plant Analysis, Part 5A). Wageningen

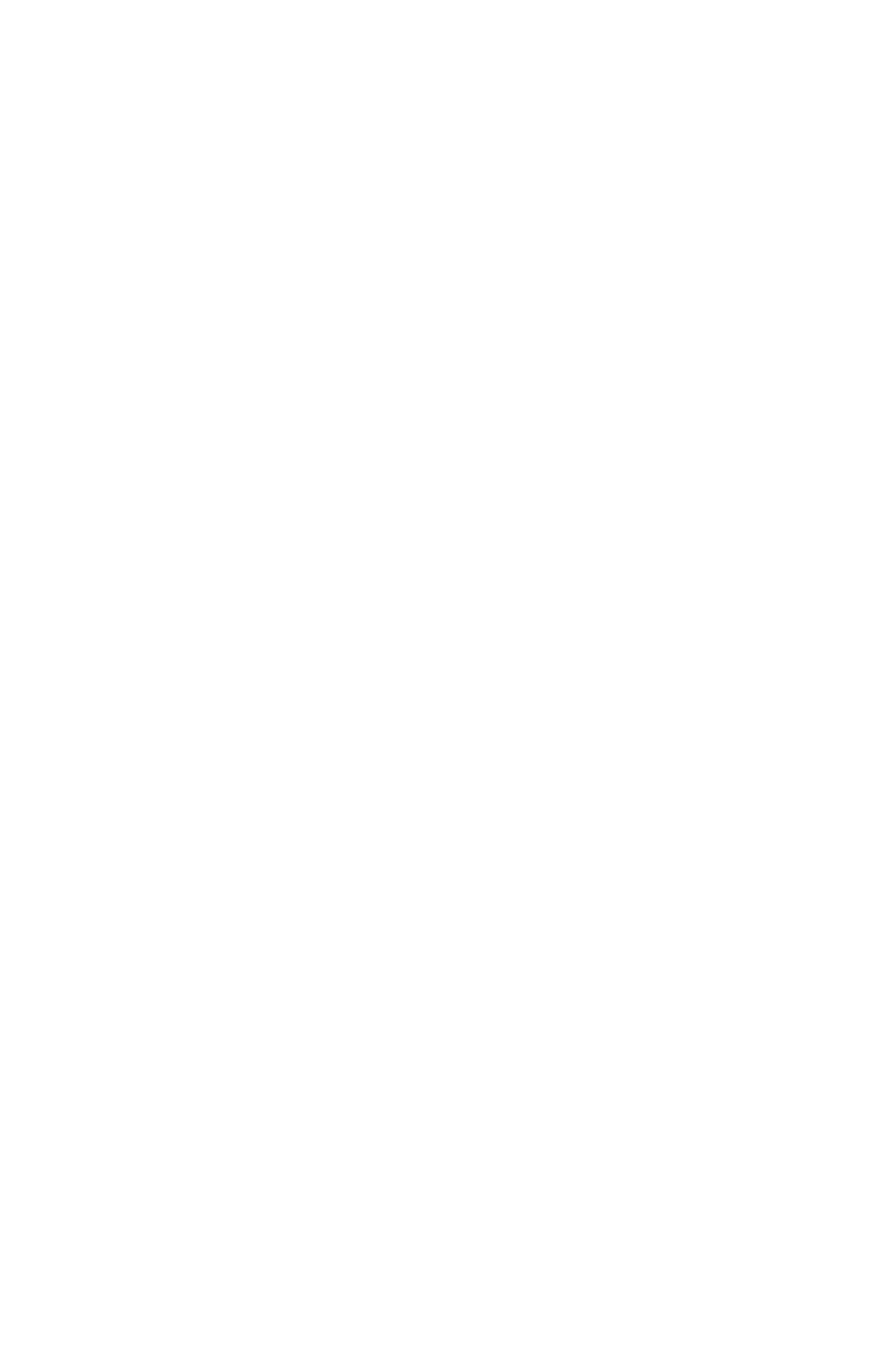
- Agricultural University, Department of Soil Science and Plant Nutrition
- Isermann, K. (1990): Die Stickstoff- und Phosphor-Einträge in die Oberflächengewässer der Bundesrepublik Deutschland durch verschiedene Wirtschaftsbereiche unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoff- und Phosphor-Bilanz der Landwirtschaft und der Humanernährung. DLG-Forschungsberichte zur Tierernährung
- Loch, J.-Jászberényi, I. (1987): The effect of fertilization and irrigation on the change of nitrate content of the soil profile. Proceedings of the 5th International CIEC Symposium on „Protection of Water Quality from Harmful Emission“ 1-4. September 1987. Ed: E. Welte-I. Szabolcs. 127-129.
- Mayer, B. (1971): Bioelement-Transport im Niederschlagswasser und in der Bodenlösung eines Wald-Ökosystems. Göttinger Bodenkundl. Berichte, 19. 1-119.
- Meinsen, Ch.-Schmude, D.-Belau, L. (1991): Untersuchungen zum Nmin-Gehalt im Boden bei Herbst- und Frühjahrsumbruch. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss, 4. 151-154.
- Meissner, R. (1996): Veränderte Landnutzung in einem Einzugsgebiet Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 46. Heft 5. S. 23-29.
- Meissner, R.-Rupp, H.-Braumann, F.-Müller, H. (1995): Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen im Sachsen-anhaltinischen Drömling auf die Verlagerung von Stickstoffverbindungen aus Böden in die Gewässer. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung, 36. S. 155-157.
- Németh, T. (1996): Role of land use in organic matter and nitrogen distribution in soil profiles of a pilot area. In: Land Use and Soil Management, International Seminar, Debrecen, Ed: Gy. Filep. 1997. 169-174.
- Puchades, R.-Lopis, A.-Raigon, M. D.-Peris-Tortajada, M.-Maquieira, A. (1994): A simplified method for the extraction and analysis of available nitrogen, phosphorus, and potassium in soils. Commun. soil. sci. plant anal.; 25. 2543-2560.
- Riess, F.-Rieder, J. B.-Amberger, A. (1995): Praktische Erfahrungen beim Einsatz von Saugkerzen zur Untersuchung der Nitratauswaschung 5. Gumpensteiner Lysimetertagung „Stofftransport und Stoffbilanz in der ungesättigten Zone“, BAL Gumpenstein, A 8952 Irnding, S. 5-11.
- Walter, Ch. (1980): Untersuchungen zur Mineralisation von Sickerwässern in Rendzinen auf alpinem Hauptdolomit. Diplomarbeit, TU München
- Werner, W. (1990): Ökologische Aspekte extensiver Flächennutzung: Problemfeld Nährstoffausträge, 102. VDLUFA-Kongreß. Berlin v. 17.-22. Sept., S. 19-35.
- Werner, W. (1994): Stickstoff- und Phosphateintrag in die Fließgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Eintragsgeschehens im Lockergestein der ehemaligen DDR, 1994 Schriftenreihe agrarspectrum, Bd. 22.
- Werner, W.-Auerswald, K.-Isermann, K.-Olf, H. W. (1989): Landwirtschaft und Gewässerschutz. Pflug und Spaten 5. 4-5.

Abbildung 1: Saugkerzen im Schnitt



1: Probensammlung in Kerze und Schaft; 2: Direktabsaugung im Vorratsgefäß; 3: Direktabsaugung im Vorratsgefäß, Kerze mit ausgefülltem Hohlraum für horizontalen Einbau

Figure 1: Cross section of ceramic suction cups



The figure area is currently blank, indicating that the image content is missing or not rendered.

Abbildung 2: Schematische Anordnung und Arbeitsprinzip der Saugsondenanlage

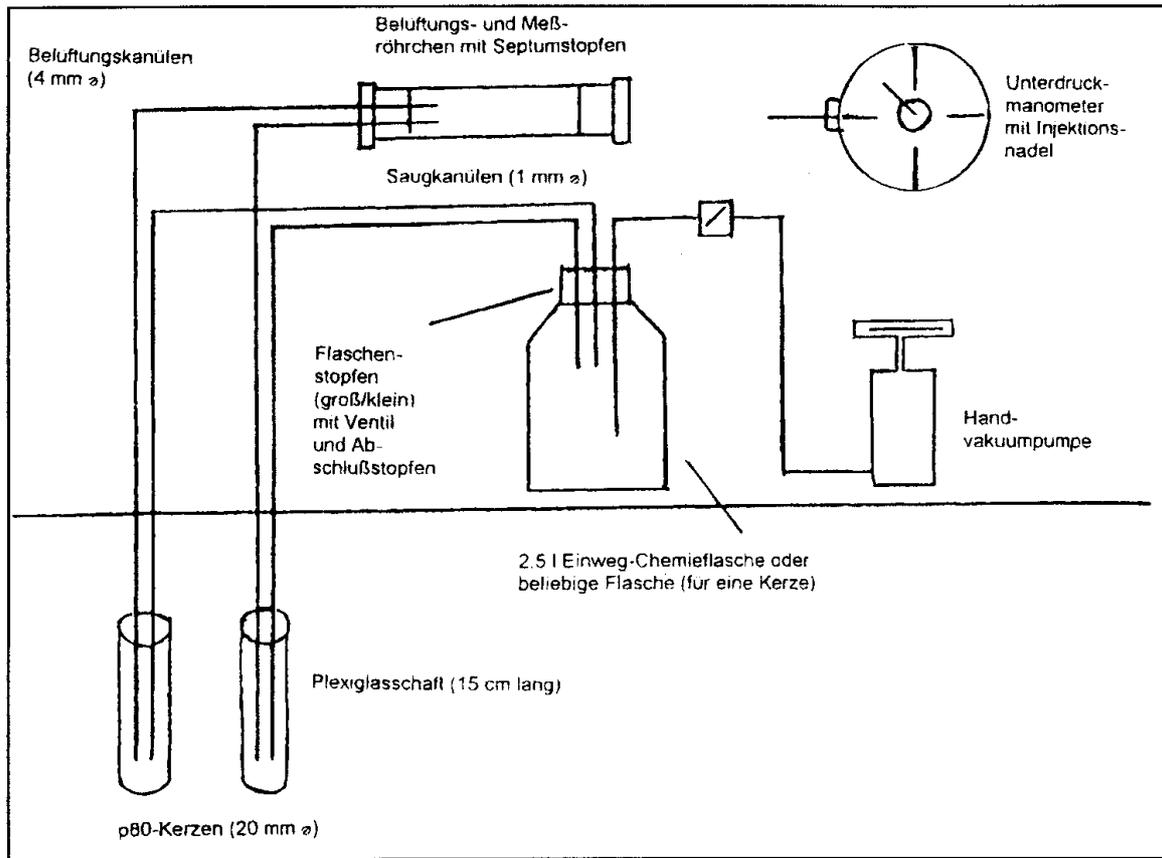


Figure 2: General layout and working principle of the ceramic suction cups

Abbildung 3: Stickstoffaustrag unter Knaulgram im dreijährigen Untersuchungszeitraum

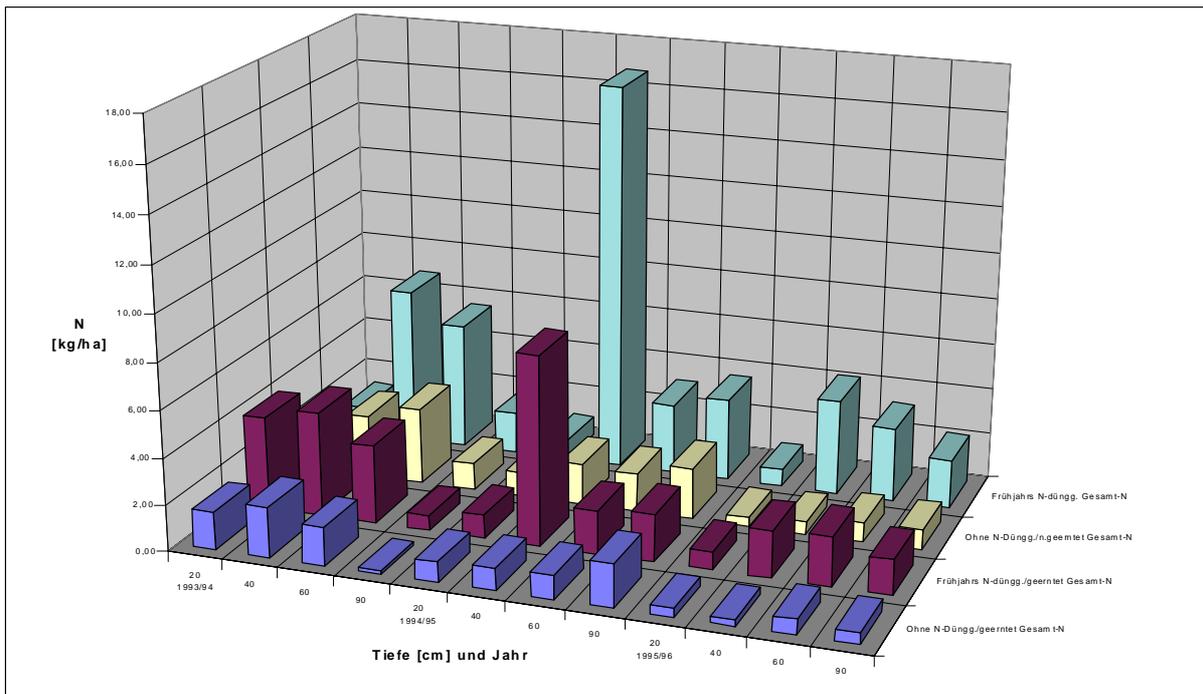
Figure 3: Nitrogen output under dactylis (*Dactylis glomerata*) over 3 years

Tabelle 1: Mittelwerte der Nitratstickstoffgehalte ($\text{NO}_3\text{-N mg l}^{-1}$) im Sickerwasser der Saugsonden in 20-90 cm Tiefe unter Knaulgras (*Dactylis glomerata*) im dreijährigen Untersuchungszeitraum

Tiefe 20 cm				
	Ohne Düngg. /geerntet	N-Düngg. /geerntet	Ohne Düngg. /n. geerntet	N-Düngg. /n. geerntet
Oktober	0,12	0,07	0,10	0,08
November	0,10	0,11	0,15	0,13
Dezember	0,09	0,09	0,08	0,03
Januar	0,13	0,06	0,11	0,09
Februar	0,05	0,11	0,21	0,07
März	0,20	0,55	0,41	0,28
April	0,15	1,60	0,19	0,40
Mai	0,39	1,40	0,19	0,47
Juni	0,52	0,21	0,21	0,50
September	0,44	0,09	0,60	0,17
Tiefe 40 cm				
Oktober	0,15	0,17	0,13	0,21
November	0,18	0,18	0,14	0,23
Dezember	0,07	0,06	0,08	0,07
Januar	0,10	0,22	0,64	0,32
Februar	0,06	0,11	0,26	0,36
März	0,19	6,13	0,56	9,14
April	0,12	4,50	0,40	8,29
Mai	0,23	3,86	0,31	7,80
Juni	0,61	0,08	0,05	0,69
September	0,28	0,13	0,16	0,19
Tiefe 60 cm				
Oktober	0,09	0,28	0,27	0,23
November	0,20	0,28	0,28	0,23
Dezember	0,11	0,04	0,17	0,08
Januar	0,15	0,13	0,51	0,50
Februar	0,19	0,39	0,33	0,33
März	0,46	0,35	0,58	0,65
April	0,26	2,60	0,78	3,79
Mai	0,49	2,15	0,45	3,59
Juni	0,23	0,34	-	2,79
September	0,18	0,61	0,20	0,27
Tiefe 90 cm				
Oktober	0,58	0,78	0,46	0,70
November	0,52	0,25	0,95	0,78
Dezember	0,54	0,24	0,28	0,86
Januar	0,32	0,34	0,24	0,42
Februar	0,17	0,26	0,34	0,52
März	0,18	0,32	0,46	0,57
April	0,29	1,60	0,60	1,79
Mai	0,42	1,86	0,38	2,78
Juni	0,63	0,71	0,92	1,40
September	-	-	-	-

Table 1: Average of nitrate nitrogen contents ($\text{NO}_3\text{-N mg l}^{-1}$) in the seeping water of the ceramic suction cups in a depth of 20 to 90 cm under dactylis (*Dactylis glomerata*) over 3 years

Tabelle 2: Mittelwerte der Ammoniumgehalte ($\text{NH}_4\text{-N mg l}^{-1}$) im Sickerwasser der Saugsonden in 20-90 cm Tiefe unter Knaulgras (*Dactylis glomerata*) im dreijährigen Untersuchungszeitraum

Tiefe 20 cm				
	Ohne Düngg. /geerntet	N-Düngg. /geerntet	Ohne Düngg. /n. geerntet	N-Düngg. /n. geerntet
Oktober	0,15	0,13	0,10	0,08
November	0,13	0,15	0,11	0,11
Dezember	0,29	0,23	0,14	0,15
Januar	0,14	0,19	0,13	0,15
Februar	0,10	0,09	0,20	0,14
März	0,12	0,18	0,21	0,16
April	0,43	0,44	-	0,16
Mai	0,07	0,12	0,34	0,14
Juni	-	-	-	-
September	0,47	0,76	0,96	0,66
Tiefe 40 cm				
Oktober	0,14	0,14	0,62	0,12
November	0,14	0,34	0,19	0,16
Dezember	0,15	0,23	0,36	0,12
Januar	0,21	0,26	0,22	0,28
Februar	0,12	0,12	0,30	0,20
März	0,18	0,16	0,17	0,16
April	0,58	0,31	0,20	0,25
Mai	0,11	0,18	0,14	0,19
Juni	-	2,27	-	-
September	0,93	0,84	0,45	0,41
Tiefe 60 cm				
Oktober	0,12	0,15	0,13	0,12
November	0,10	0,11	0,10	0,12
Dezember	0,06	0,08	0,08	0,09
Januar	0,21	0,11	0,27	0,12
Februar	0,17	0,14	0,26	0,26
März	0,13	0,12	0,28	0,19
April	0,14	0,16	0,22	0,33
Mai	0,10	0,10	0,12	0,13
Juni	0,50	1,22	0,03	0,61
September	0,33	0,51	0,25	0,26
Tiefe 90 cm				
Oktober	0,09	0,12	0,17	0,19
November	0,09	0,11	0,18	0,21
Dezember	0,12	0,12	0,14	0,22
Januar	0,17	0,17	0,12	0,14
Februar	0,08	0,13	0,17	0,20
März	0,12	0,15	0,17	0,18
April	0,14	0,19	0,18	0,19
Mai	0,14	0,12	0,17	0,21
Juni	0,13	0,07	0,03	-
September	0,12	0,16	0,31	0,18

Table 2: Average of ammonium nitrogen contents ($\text{NH}_4\text{-N mg l}^{-1}$) in the seeping water of the ceramic suction cups in a depth of 20 to 90 cm under dactylis (*Dactylis glomerata*) over 3 years

Tabelle 3: Mittelwerte der monatlichen Sickerwassermengen ($l\ m^{-2}$) unter Dauergrasbrache aus der Lysimeteranlage der Versuchsstation Rostock 1994-1996 (Grüner, 1997)

Monat	1993/94		1994/95		1995/96	
	Aufwuchs nicht geerntet	Aufwuchs geerntet	Aufwuchs nicht geerntet	Aufwuchs geerntet	Aufwuchs nicht geerntet	Aufwuchs geerntet
Nov.	20,9	20,7	50,1	48,6	23,7	18,5
Dez.	115,1	121,4	82,0	82,1	3,2	2,2
Jan.	103,7	106,4	73,1	76,3	6,7	7,0
Febr.	12,6	11,3	57,9	60,5	0,0	0,0
März	109,5	114,8	23,9	25,5	0,9	13,7
April	55,2	54,3	28,4	27,9	56,9	65,5
Mai	0,2	2,3	0,6	1,0	41,3	40,7
Juni	14,0	12,9	0,0	0,0	3,1	3,1
Juli	0,0	0,0	0,0	0,0	12,4	11,2
Aug.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sept.	37,3	21,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Okt.	2,8	2,6	2,8	0,0	21,1	25,3
Summe	471,4	468,4	318,8	321,8	169,3	187,3

Table 3: Average of monthly seeping water under long term set aside in the lysimeter construction of the experimental station of Rostock 1994-1996 (Grüner, 1997)

Tabelle 4: Stickstoffgehalte der Bodenlösung $mg\ l^{-1}$
Probenahme mit Saugsonden, Mais Monokultur, Debrecen
Látókép, 1995

Zeitpunkt	NO ₃ -N			N _t		
	Tiefe cm	N-Gabe	kg ha ⁻¹	N-Gabe	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
	0	60+60	120+120	0	60+60	120+120
29. Mai						
0-30	114	141	169	238	266	311
30-60	98	133	158	221	308	323
60-90	41	112	140	107	229	254
15. Juni						
0-30	31	48	107	61	69	141
30-60	24	64	122	44	93	157
60-90	18	37	96	24	57	117
22. Juni						
0-30	34	88	251	75	115	282
30-60	25	104	98	38	104	130
60-90	13	37	207	39	57	214
06. Juli						
0-30	-	-	-	-	-	-
30-60	21	28	77	21	28	98
60-90	104	46	99	118	55	105
Durchschnitt						
0-30	60	92	176	125	150	245
30-60	42	82	114	81	133	177
60-90	44	58	136	72	100	173

Table 4: Nitrogen content of soil solution $mg\ l^{-1}$, sampling with ceramic suction cups, maize in monoculture, Debrecen Látókép, 1995

Tabelle 5: Stickstoffgehalte der Bodenlösung $mg\ l^{-1}$
Probenahme mit Saugsonden, Mais Monokultur, Debrecen
Látókép, 1996

Zeitpunkt	NO ₃ -N			N _t		
	Tiefe cm	N-Gabe	kg ha ⁻¹	N-Gabe	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
	0	60+60	120+120	0	60+60	120+120
04. April						
0-30	44	21	70	61	51	85
30-60	10	20	34	20	34	70
60-90	10	44	52	16	17	57
12. April						
0-30	19	23	25	29	28	29
30-60	6	28	96	11	34	102
60-90	11	-	12	12	-	11
19. April						
0-30	20	23	-	34	38	-
30-60	10	-	97	13	-	111
60-90	11	24	54	14	51	62
22. April						
0-30	25	32	34	40	53	60
30-60	12	26	73	18	42	79
60-90	12	24	35	18	41	55
15. Mai						
0-30	19	-	48	53	-	66
30-60	12	12	55	18	27	77
60-90	13	7	10	20	28	40
Durchschnitt						
0-30	25	25	44	43	43	60
30-60	10	22	71	16	34	88
60-90	11	25	33	16	34	45

Table 5: Nitrogen content of soil solution $mg\ l^{-1}$, sampling with ceramic suction cups, maize in monoculture, Debrecen Látókép, 1996