

# Verlauf des Stickstoffgehaltes in zwei Ackerböden

Peter WEISSKOPF, Urs ZIHLMANN und Hans-Ruedi OBERHOLZER, Eidgenössische Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Reckenholz (FAP), CH-8046 Zürich

**Der Stickstoffgehalt von Böden wird durch Witterung, Bodenbeschaffenheit und Bewirtschaftung bestimmt. Saugkerzenbeprobungen zeigten, dass ein Gleyboden weniger Stickstoff (N) mineralisierte und mit dem Grundwasser mehr N verlor als ein Braunerdeboden, dessen bessere Durchlüftung die N-Mineralisierung förderte. Die Bewirtschaftung während der Zeit zwischen zwei Hauptkulturen ist wichtig für das Ausmass von N-Verlusten; zu deren Verminderung tragen insbesondere rasche Begrünung und reduzierte Bearbeitungsintensität bei.**

Nach den neuen Grundlagen für die Düngung sind für die Nährstoffversorgung der Pflanzen in erster Linie die Bodenreserven und der Nährstoffanfall aus Ernterückständen und Hofdüngern auszunutzen; nur wenn nötig sollen betriebsfremde Dünger als Ergänzung zum Einsatz kommen (Walther *et al.* 1994). Im Hinblick auf die möglichst effiziente Verwertung des betriebseigenen Stickstoffes (N) gilt es, die betriebseigenen N-Quellen gezielter und vollständiger auszunutzen sowie mögliche N-Verluste (z.B. durch Auswaschung oder Denitrifikation) auch im Interesse der Umwelt zu verringern. Um die Anbautechnik diesbezüglich verbessern zu können, braucht es Methoden zur Beurteilung der pflanzenbaulichen Verfügbarkeit und der Mobilität von N im Boden.

In der Praxis wird heute zur Bemessung der notwendigen N-Düngergaben oft die  $N_{min}$ -Methode eingesetzt; aufgrund von Bodenproben wird die gesamte mineralische N-Menge (Ammonium und Nitrat), die zu einem bestimmten Zeitpunkt im Bodenwasser gelöst oder am Bodenkörper austauschbar gebunden ist, gemessen.

Vorwiegend im Versuchswesen kommen zwei weitere Methoden zur Beurteilung des N-Haushaltes zum Einsatz: Mit Hilfe von Saugkerzen können an derselben Stelle wiederholt Bodenwasserproben entnommen und die Konzentration des darin gelösten mineralischen N bestimmt werden; das von Sickerwassersammlern aufgefangene Bodenwasser wird bezüglich Menge und N-Konzentration untersucht. Jede dieser Methoden erfasst jedoch nur einen Ausschnitt des N-Haushaltes von Böden; eine vertiefte Beurteilung der pflanzenbaulichen Verfügbarkeit und

Mobilität des mineralischen N im Boden erfordert die Kombination mehrerer Verfahren (Nievergelt und Weisskopf 1993).

## Beprobungen mit Saugkerzen

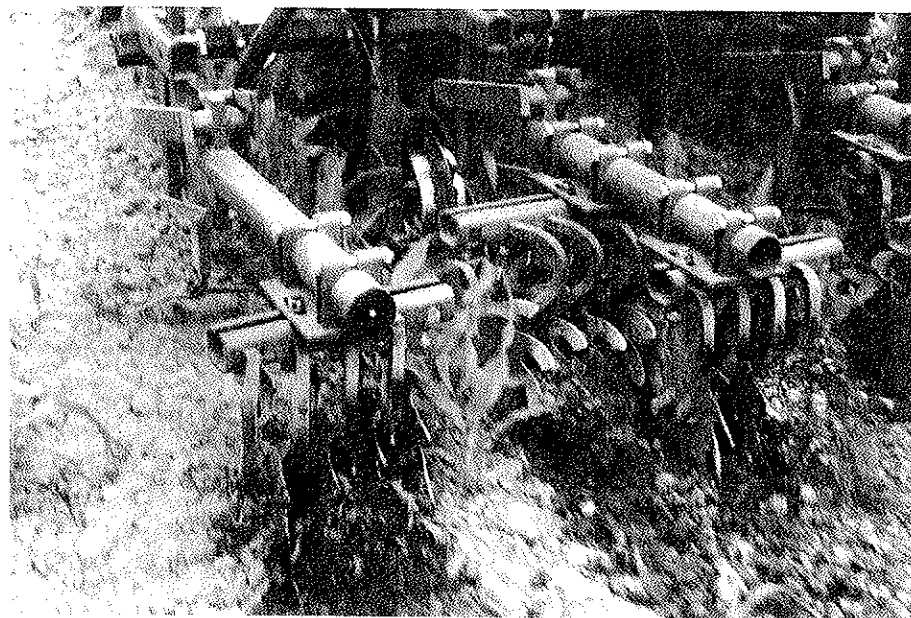
Die Saugkerzen-Methode hat den Vorzug, dass sich während langer Zeit dasselbe Bodenvolumen beproben lässt. Allerdings wird nur den gröberen Mittelporen und Grobporen Bodenwasser entnommen; während Trockenphasen oder bei starkem Frost kann diese Methode deshalb keine Informationen liefern. Pflanzenphysiologisch betrachtet stammt die entzogene Probemenge aus dem leicht verfügbaren Anteil des Bodenwassers,

von der Mobilität her der leicht und rasch verlagerbaren Fraktion. Diese Methode erlaubt es normalerweise nicht, rasche Verlagerungsvorgänge zu erfassen, weil meist in ein- bis zweiwöchigen Intervallen während eines Tages beprobt wird.

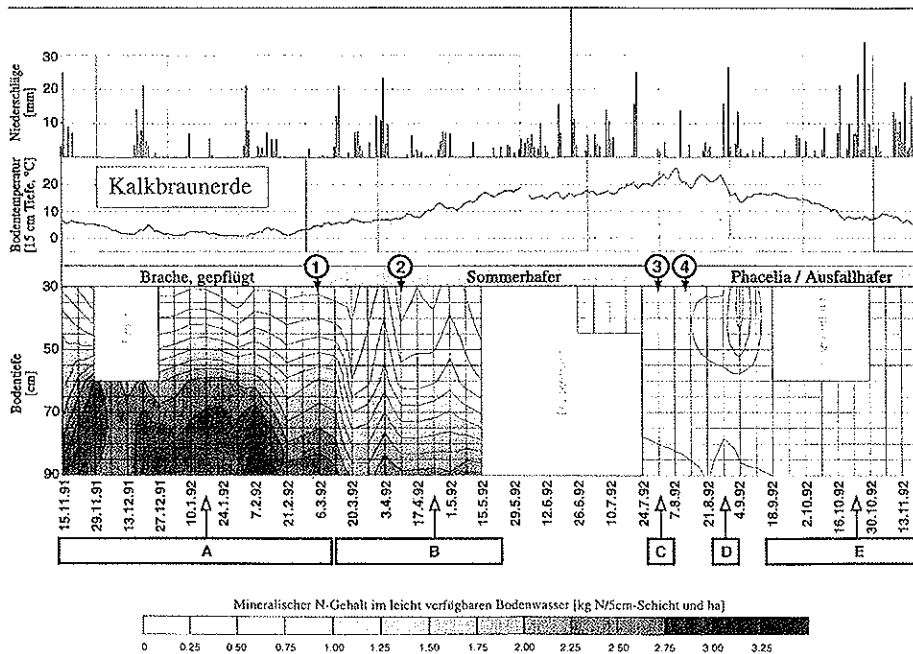
Auf dem Areal der FAP Reckenholz sind ein grundwasserbeeinflusster Braunerde-Gley und eine gut durchlässige Kalkbraunerde untersucht worden, beides schwach humose lehmige Böden (Weisskopf und Zihlmann 1994): Während fünf Jahren verfolgten wir unter anderem die Konzentration des mineralischen N im leicht verfügbaren Bodenwasser<sup>1</sup> mit Hilfe der Saugkerzen-Technik (30, 60 und 90 cm Tiefe; Beprobungsintervall 14 Tage; 800 hPa<sup>2</sup> max. Unterdruck, während 24 Stunden abnehmend) und den Wassergehalt des Bodens. In dieser Zeit wurden die beiden Böden mit der Fruchtfolge Kunstwiese - Kunstwiese - Mais - Hafer - Kartoffeln genutzt und praxisüblich bewirtschaftet.

<sup>1</sup>der Einfachheit halber nachfolgend nur noch als N bezeichnet

<sup>2</sup>1 hPa (Hektopascal) = 1 mbar



**Abb. 1.** Das Hacken lockert den Boden, verbessert dessen Durchlüftung und fördert die mikrobielle Aktivität; dadurch kann organisch gebundener Stickstoff für die wachsenden Pflanzen verfügbar gemacht werden. (Foto: H.U. Ammon, FAP)



#### Massnahmen:

- 1 Eggen (Federzinkenegge, 1 Durchgang), Saat Sommerhafer, N-Düngung (Ammonsalpeter, 41 kg N/ha)
- 2 N-Düngung (Ammonsalpeter, 32 kg N/ha)
- 3 Ernte des Sommerhafers
- 4 N-Düngung (Ammonsalpeter, 32 kg N/ha), Frässaat Phacelia

#### Beobachtungen:

- A Beträchtliche N-Mengen in tieferen Bodenschichten durch Rückstau von Sickerwasser auf anstehendem Gestein
- B Vor dem Hauptwachstum des Sommerhafers erhöhter N-Gehalt in tieferen Bodenschichten
- C Nach Ernte des Sommerhafers wenig leicht verfügbarer N im Bodenprofil
- D N-Auswaschung in tiefere Bodenschichten nach Niederschlägen
- E N-Festlegung durch Zwischenkultur, deshalb wenig leicht verfügbarer N

Abb. 2. Verlauf des Gehaltes an mineralischem Stickstoff im leicht verfügbaren Bodenwasser einer durchlässigen Kalkbraunerde in Abhängigkeit von Niederschlägen, Bodentemperatur und Bewirtschaftung (November 1991 bis November 1992; Kultur: Sommerhafer).

## Viel verfügbarer N bei Kartoffeln

1992 zeigte sich nach der Saat von Sommerhafer in beiden Böden vorerst nur eine allmähliche Abnahme des N-Gehaltes - zwischen Anfang März und Mitte Mai waren im Boden beträchtliche N-Mengen vorhanden (Abb. 2, B). Erst ab Mitte Mai nahmen die N-Konzentrationen und damit auch die N-Mengen im Bodenwasser deutlich ab; bei der Ernte enthielt das Bodenprofil dagegen praktisch keinen N mehr (Abb. 2, C). Ein bedeutender N-Entzug durch den Sommerhafer dürfte erst ab Mitte Mai stattgefunden haben - entsprechend gross war das Verlustrisiko vor und zu Beginn der Vegetationszeit.

1993 liessen sich während des Kartoffelwachstums Abnahmen von N-Konzentration und -Gehalt vorwiegend im obersten halben Meter der beiden Böden erkennen (Abb. 3 und 4). Von der Pflanzung Mitte April bis - je nach Boden - Mitte Mai bis Mitte Juni enthielten die Bodenprofile grössere N-Mengen, in tieferen Schichten

waren noch bis zur Ernte Restmengen an N nachzuweisen (Abb. 3, K).

## Grössere N-Verluste im grundnassen Boden

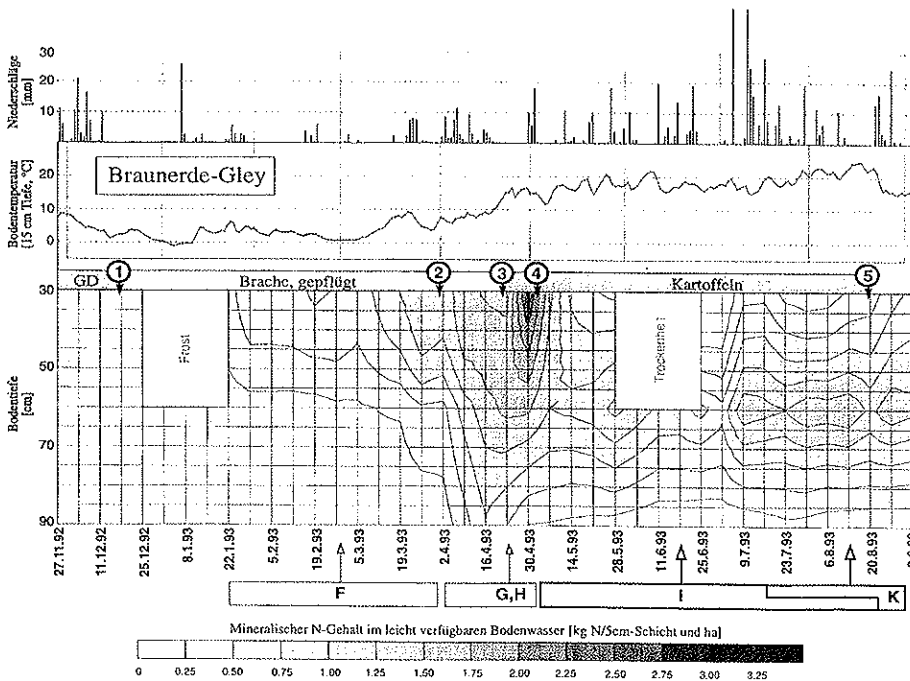
Die Bodenwasserproben des Gleybodens wiesen meist geringere N-Konzentrationen auf als jene der Kalkbraunerde; entsprechend waren im Oberboden des Gleybodens nie sehr hohe Gehalte an N zu erkennen. Gründe dafür könnten einerseits die intensivere mikrobielle N-Mineralisierung in der Kalkbraunerde, andererseits die mikrobiell verursachten Denitrifikationsverluste im oft bis in die obersten Bodenschichten schlecht durchlüfteten Gleyboden gewesen sein. Der geringere N-Gehalt in den tieferen Schichten des Gleybodens dürfte auf den Verdünnungseffekt des horizontal durch den Boden fliessenden Grundwassers («Hangwasser») zurückzuführen sein (Abb. 3, I). In den Bodenwasserproben der Kalkbraunerde waren im Verlauf der Beob-

achtungsperiode bedeutend grössere Konzentrationsspitzen festzustellen als im Gleyboden; dies je nach Vorkultur beziehungsweise Witterung sowohl in oberflächennahen als auch in tieferen Bodenschichten. Weil die obere Bodenschicht der Kalkbraunerde ein relativ grosses Grobporenvolumen aufweist und rasch entwässert, waren die N-Mengen oft nur gering; bei sehr hoher Konzentration beziehungsweise erhöhter Wassersättigung (Abb. 4, L) konnten dagegen grosse N-Mengen auftreten. Der anstehende mergelige Sandstein erschwerte bei der an sich durchlässigen Kalkbraunerde die Tiefensickerung des Bodenwassers; deshalb wurden zeitweilig beträchtliche N-Mengen in den unteren Schichten dieses Bodens nachgewiesen (Abb. 2, A).

## Überschüssiger N erhöht das Verlustrisiko

Rasche Zunahmen des N-Gehaltes bis in grössere Bodentiefen waren mit Hilfe der Saugkerzen mehrfach nachzuweisen, sie dürften das Ergebnis von N-Verlagerungen gewesen sein. Ein erhöhtes Risiko für N-Auswaschung ergab sich bei der Kombination intensiver Niederschläge mit geringem N-Bedarf einer Kultur (Abb. 3 und 4, H), mit einer Düngung leicht löslicher N-Formen oder mit Perioden intensiver N-Mineralisierung (Abb. 4, G). Deutliche Zunahmen der N-Menge konnten in den oberen Bodenschichten teilweise bereits während des Winterhalbjahres festgestellt werden (Abb. 3 und 4, F); vermutlich handelt es sich dabei um aus den obersten Bodenschichten verlagerten N, der bei milder Winterwitterung und gut durchlüftetem Boden aus eingepflügtem leicht abbaubarem organischem Material mineralisiert worden ist. Starke Zunahmen vor allem der N-Konzentration (Abb. 4, F) nach wiederholten Frühjahrsfrösten könnten darauf hinweisen, dass Frostphasen zusätzliche abbaubare organische Substanz freisetzen und dadurch die N-Mineralisierung fördern.

Im Spätsommer/Herbst 1992 traten in beiden Böden nur sehr geringe N-Mengen im Bodenprofil auf (Abb. 2, E) - die rasche Wiederbegrünung des Feldes nach der Ernte mit einer massenwüchsigen Gründüngung dürfte dazu beigetragen haben, dass durch mikrobielle N-Mineralisierung freigesetzter N kaum im Bodenwasser auftauchte, sondern rasch wieder von den Pflanzen aufgenommen wurde.



**Massnahmen:**

- 1 Mulchen (Gründüngung Phacelia/Ausfallhafer), Misten (40 t/ha), Pflügen
- 2 Eggen (Federzinkenegge, 1 Durchgang)
- 3 N-Düngung (Ammonsalpeter, 51 kg N/ha), Eggen (Federzinkenegge, 1 Durchgang); Kartoffeln setzen und anhäufeln
- 4 Anhäufeln der Kartoffeln
- 5 Kartoffelernte

**Beobachtungen:**

- F Bereits im Winter N-Mineralisierung und -Verlagerung nach Mulchen, Misten und Pflügen; mit Erwärmung des Bodens zunehmend
- G Erhöhter N-Gehalt in oberen Bodenschichten nach mineralischer N-Düngung und Bodenbearbeitung (Saatbettbereitung und Häufeln der Kartoffeln)
- H N-Verlagerungen in tiefere Bodenschichten nach Niederschlägen
- I Seitliche Verlagerung von N aus dem Profil durch Grundwasserstrom («Verdünnungseffekt»)
- K Zu Ende und nach der Vegetationsperiode der Kartoffeln Restmengen an N in tieferen Bodenschichten

**Abb. 3. Verlauf des Gehaltes an mineralischem Stickstoff im leicht verfügbaren Bodenwasser eines Braunerde-Gleys in Abhängigkeit von Niederschlägen, Bodentemperatur und Bewirtschaftung (Dezember 1992 bis August 1993; Kultur: Kartoffeln).**

Anfang Mai 1993 nahm der N-Gehalt des Bodenwassers in der Kalkbraunerde erheblich zu (Abb. 4, L). Diese N-Mengen dürften nicht nur von verlagertem Dünger-N stammen, sondern auch das Ergebnis einer sehr aktiven mikrobiellen Mineralisierung sein.

**Schutz vor N-Auswaschung**

Um N-Verluste durch Auswaschung zu vermindern und die Ausnutzung betriebseigener N-Quellen zu verbessern, ist besonders die Bewirtschaftung während der Zeit zwischen zwei Hauptkulturen von Bedeutung. Bis zur Etablierung der Folgekultur kann nach der Ernte bei günstigen Boden- und Witterungsbedingungen in kurzer Zeit viel N durch mikrobielle Mi-

neralisierung freigesetzt werden, der zuvor in der organischen Bodensubstanz, in Ernterückständen oder in Hofdünger organisch gebunden war.

Geeignete Massnahmen zur Verminderung von N-Verlusten zwischen zwei Hauptkulturen lassen sich am einfachsten mit Hilfe folgender Überlegungen finden:

**Wieviel N ist unmittelbar nach der Ernte im Boden verfügbar?**

Unsere Beobachtungen zeigten, dass nach Kunstwiesen und Sommerhafer wenig, nach Kartoffeln deutlich mehr N im Boden vorhanden ist; gemäss Untersuchungen von Walther (1990) ist nach Zuckerrüben und Getreide mit wenig, nach Mais mit mehr verfügbarem N zu rechnen. Je mehr N nach der Ernte verfügbar ist, desto rascher und mit umso geringerer Bodenbearbeitungsintensität sollte das

Feld wieder begrünt werden - zum Beispiel nach Kartoffeln. Zwischenfutter- und Gründüngungskulturen können bei rechtzeitiger Saat als wirksamer Schutz vor Nitratauswaschung empfohlen werden.

**Wieviel N kann nach der Ernte durch die Bodenmikroorganismen freigesetzt werden?**

Bodenbearbeitungsmassnahmen können oft als Auslöser für die mikrobielle N-Mineralisierung wirken, vor allem bei warmem, feuchtem, gut durchlüftetem Boden und bei gleichzeitigem Einarbeiten von Hofdüngern und Ernterückständen. Deshalb ist der Boden nur so intensiv wie unbedingt nötig und so kurz vor der Folgekultur wie möglich zu bearbeiten, damit N nicht zu früh und zu intensiv mineralisiert und damit nicht einem grösseren Verlustrisiko ausgesetzt wird; besonders in leichten und mittelschweren, gut strukturierten Böden können beträchtliche Mineralisierungsschübe auftreten. Eine reduzierte Bearbeitungsintensität vermindert nicht nur die unerwünschte N-Freisetzung - auch die erzielte Gefügeschonung ist von grosser Bedeutung. Umgekehrt kann gezieltes Fördern der mikrobiellen Aktivität durch Hacken zusätzlichen Boden-N für die wachsenden Pflanzen verfügbar machen.

**Wieviel N kann vor Anlage der Sommerkultur im Frühjahr durch die Bodenmikroorganismen freigesetzt und durch Niederschläge ausgewaschen werden?**

Wenn die Sommerkultur erst spät im Frühjahr angelegt wird, können in gut durchlüfteten, das heisst leichten, durchlässigen Böden erhebliche N-Mengen mineralisiert werden. Wird dieser freigesetzte N nicht von Pflanzen aufgenommen, ist er einem erhöhten Verlustrisiko durch Auswaschung oder Denitrifikation ausgesetzt. Mit einer möglichst späten, schonenden Bodenbearbeitung wird die N-Mineralisierung verzögert. Besonders in niederschlagsreichen Gebieten sollte die Bodenbedeckung durch Zwischenkulturen möglichst lange erhalten werden - im Idealfall durch einen fließenden Übergang mit einer Streifenfrässaat der Hauptkultur in den stehenden Zwischenkulturbestand.

**LITERATUR**

Das Literaturverzeichnis kann bei den Autoren angefordert werden.

## RÉSUMÉ

### Azote dans l'eau facilement disponible de deux sols de grandes cultures

La teneur du sol en azote disponible est influencée par le climat récent, les caractéristiques du sol et son mode d'utilisation. Des prélèvements d'eau à l'aide de bougies poreuses ont montré que la minéralisation de l'azote (N) était moins importante et les pertes dans la nappe plus élevées dans un sol à gley que dans un sol brun. La meilleure aération de ce dernier favorise la minéralisation du N.

Le sol contenait une grande quantité de N minéral facilement disponible après une culture de pommes de terre, un peu moins de N après une avoine de printemps, et encore moins sous une prairie artificielle. Les opérations de travail mécanique du sol activent la minéralisation du N, en particulier lorsque des engrais de ferme ou des résidus de récoltes sont incorporés; le même phénomène est par ailleurs observable lorsque le sol se réchauffe.

Si le sol est riche en N au moment de la récolte, ou si l'on peut raisonnablement prévoir une minéralisation importante, il convient de mettre en place rapidement une culture intercalaire par semis, en veillant à réduire au maximum l'intensité de la préparation mécanique du sol.

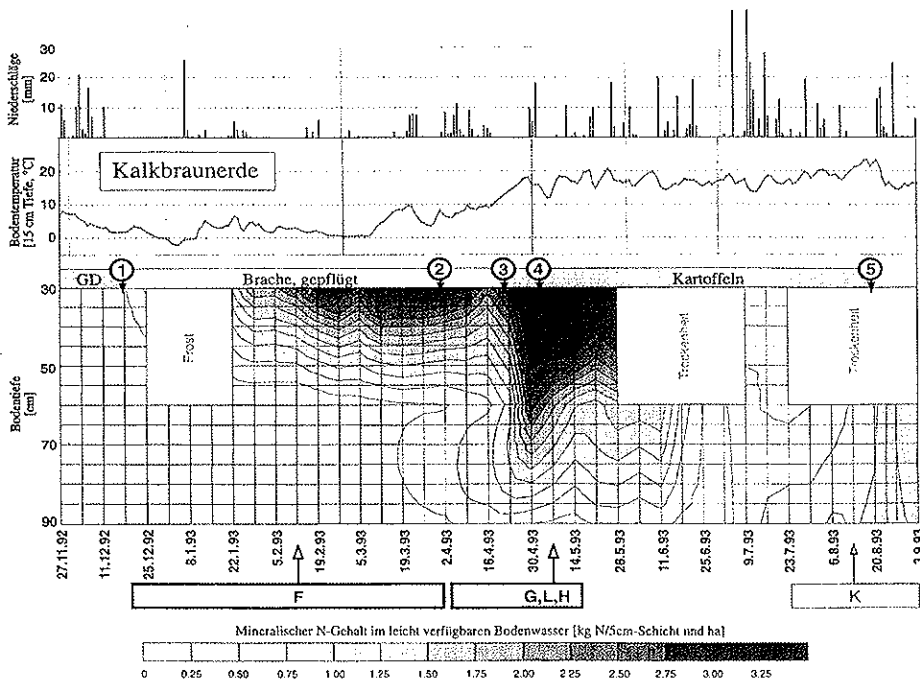
Quelques exemples de la dynamique du N dans le temps et la profondeur sont donnés pour les deux types de sol.

## SUMMARY

### Nitrogen in the readily available soil-water of two arable soils

The nitrogen content of soils is influenced by weather, soil characteristics and cultivation practices. Sampling with porous cups showed, that a Gley soil mineralized less nitrogen (N) and lost more N into ground water than a Brown Earth soil. The latter has a better aeration and therefore a more intensive N-mineralization. Much mineral N, available to plants, was present in the soil after a potato crop, little after spring oats and especially after leas. Cultivation accelerated N-mineralization, especially when manure or crop residues were simultaneously plowed into the soil; this process was also accelerated by rising soil temperatures. When much N is available or may be mineralized after harvest, a succeeding crop should be planted immediately, with minimal cultivation in order to reduce N-losses. The N-dynamics of two soils are presented in time-depth-diagrams.

**KEY WORDS:** nitrogen content, nitrogen dynamics, porous cups, soil type, cultivation



#### Massnahmen:

- 1 Mulchen (Gründung Phacelia/Ausfallhafer), Misten (40 t/ha), Pflügen
- 2 Eggen (Federzinkenegge, 1 Durchgang)
- 3 N-Düngung (Ammonsalpeter, 51 kg N/ha), Eggen (Federzinkenegge, 1 Durchgang); Kartoffeln setzen und anhäufeln
- 4 Anhäufeln der Kartoffeln
- 5 Kartoffelernte

#### Beobachtungen:

- F** Bereits im Winter N-Mineralisierung und -Verlagerung nach Mulchen, Misten und Pflügen; mit Erwärmung des Bodens zunehmend
- G** Erhöhter N-Gehalt in oberen Bodenschichten nach mineralischer N-Düngung und Bodenbearbeitung (Saatbettbereitung und Häufeln der Kartoffeln)
- H** N-Verlagerungen in tiefere Bodenschichten nach Niederschlägen
- L** Bedeutende N-Mengen unter den gut durchlüfteten Kartoffeldämmen
- K** Zu Ende und nach der Vegetationsperiode der Kartoffeln Restmengen an N in tieferen Bodenschichten

Abb. 4. Verlauf des Gehaltes an mineralischem Stickstoff im leicht verfügbaren Bodenwasser einer durchlässigen Kalkbraunerde in Abhängigkeit von Niederschlägen, Bodentemperatur und Bewirtschaftung (Dezember 1992 bis August 1993; Kultur: Kartoffeln).



Abb. 5. Das vorzeitige Ziehen der Kartoffeldämme im Vorsummer und deren Begrünung (links) sollen dazu beitragen, den N-Mineralisierungsschub im Frühjahr zu verringern beziehungsweise zu verzögern. (Foto: H.U. Ammon, FAP)