

Umwelt

Einfluss der Bewirtschaftung auf die Stickstoffdynamik im Bodenwasser

Peter Weisskopf, Urs Zihlmann und Ulrich Walther, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL), CH-8046 Zürich

Auskünfte: Peter Weisskopf, e-mail: peter.weisskopf@fal.admin.ch, Fax: +41 (0)1 377 72 01, Tel. +41 (0)1 377 73 27

Zusammenfassung

Der Mineralstickstoffgehalt im Boden verändert sich über die Zeit hinweg sehr schnell: Mehrere zusammenwirkende Prozesse führen zu teilweise rasch aufeinanderfolgenden Überschuss- oder Mangelsituationen für Pflanzen und Bodenorganismen. Mit sogenannten Mineralstickstoff-Profilen ist es möglich, dieses Geschehen grob abzubilden, so dass sich Abläufe und Abhängigkeiten erkennen lassen. Dabei zeigt sich, dass bei optimierter N-Düngung während der Hauptwachstumsperiode der Kulturen kaum grössere Mineralstickstoffmengen in der Bodenlösung vorhanden sind, sondern vor allem im Zeitraum zwischen Wachstumsabschluss der Vorkultur und Etablierung der Folgekultur. Wegen der Bedeutung von bodenbürtigen Mineralisierungsvorgängen können nicht nur Düngungs-, sondern auch Bewirtschaftungsmassnahmen zu einer Erhöhung des Mineralstickstoffgehaltes im Boden beitragen. Mit den Informationen von Mineralstickstoff-Profilen lassen sich Eingriffe in den Stickstoff-Haushalt des Bodens so planen, dass Stickstoff-Mineralisierung und -Entzug in gewünschte Bahnen gelenkt und damit in agronomischer, ökologischer und auch ökonomischer Hinsicht optimiert werden können.

Im STABIO-Versuch in Zürich-Reckenholz wurde in vier Verfahren der mineralische Stickstoffgehalt im Bodenwasser bestimmt (Tab. 1).

Der Standort auf dem Versuchsareal der FAL entspricht einem fruchtbaren, vielseitig nutzbaren Boden (tiefgründige, schwach humose lehmige Braunerde,

skelettfrei; im Oberboden: Tongehalt um 20 %, Schluffgehalt um 26 %, Humusgehalt ca. 2,4 %, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ etwa 7,0) und liegt in einem Gebiet mit langer Vegetationsperiode (ca. 8,5 °C mittlere Jahrestemperatur) und ausgeglichener Niederschlagsregime (mittlere jährliche Niederschlagsmenge ca. 1000 mm).

Die Konzentration des Mineralstickstoffes ($\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$, «N-Konzentration») wurde anhand von Bodenlösungsproben aus vier Tiefen (10, 25, 50 und 90 cm) in vierzehntägigem Abstand mit Hilfe der Saugkerzentechnik ermittelt. Gleichzeitig wurde mit Hilfe der TDR-Technik (Time-Domain-Reflectometry) jeweils der volumetrische Wassergehalt in den entsprechenden Bodentiefen gemessen, so dass sich der Mineralstickstoff-Gehalt in der Bodenlösung («N-Gehalt») berechnen liess.

Foto: Anordnung der Messgeräte zur Untersuchung des Mineralstickstoffgehaltes im Feldversuch.



Die Untersuchungen erfolgten in drei aufeinanderfolgenden Jahren. In diesem Zeitraum konnte die Entwicklung von der Saat einer Winterweizen-Kultur (1997/98 nach Kartoffeln) über Wintergerste (1999) bis zur Kunstwiese (1999/2000) erfasst werden. Die Witterung während des Untersuchungszeitraumes war charakterisiert durch einen warmen, eher trockenen Spätherbst 1997, eine überdurchschnittlich warme und trockene Periode im Winter/Frühjahr 1998, ein eher kühles, ausgesprochen feuchtes Winterhalbjahr 1998/99 sowie einen ausgeprägt feuchten Frühsommer 1999.

Die Mineralstickstoff-Menge in der Bodenlösung ist das Ergebnis mehrerer zusammenwirkender Prozesse, die messtechnisch nicht vollständig erfasst wurden. Aufgrund der vorhandenen Daten lassen sich die Beiträge von Mineralisierung, Düngung, Pflanzenentzug und Auswaschung beurteilen, nicht aber jener der Denitrifikation oder der Ammoniakverflüchtigung. Die aus den Mineralstickstoff-Profilen abgeleiteten Folgerungen sind deshalb als Hypothesen zu verstehen und dienen dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen den wichtigsten agronomischen, bodenkundlichen und klimatischen Einflussgrößen.

Typischer Verlauf des Mineralstickstoff-Gehaltes in einem Bodenprofil

Für das Verfahren 42 (Tab. 1) liegen die längsten Messreihen der N-Konzentration vor. Deshalb wird der typische Verlauf des Mineralstickstoff-Gehaltes in der Bodenlösung sowie die Ableitung der wichtigsten beteiligten Einflüsse anhand ausgewählter Zeitabschnitte aus dem Mineralstickstoff-Profil dieses Verfahrens aufgezeigt (Abb. 1).

Zwischenkultur nach der Kartoffelernte: Wegen der verfrühten Kartoffelernte (als Folge eines starken Krautfäulebefalles) in diesem Verfahren konnte im Spätsommer 1997 noch eine Gründung als Zwischenkultur gesät werden. Das Konzentrationsprofil zeigt, dass die nach der Kartoffelernte im Oberboden vorhandene erhöhte Mineralstickstoff-Konzentration nach der Zwischenkultur-Einsaat dank deren N-Entzug rasch abnahm.

Auflaufen des Winterweizens: Zu Beginn des folgenden Winterweizens - nach einer Grundboden- und zwei Arbeitsgängen zur Saatbettbereitung - nahm die Mineralstickstoff-Konzentration im Oberboden nochmals

Tab. 1. Charakterisierung des STABIO-Versuches: Versuchsfaktoren und beprobte Verfahren

Versuchsstandort

Versuchsgut der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Zürich-Reckenholz

Fruchtfolge

Kartoffeln (1997) - Winterweizen - Wintergerste - Kunstwiese - Kunstwiese - Mais - Winterweizen - Zwischenkultur.

Beprobte Verfahren

7 38 39 42

X

X

X

X

X

Bodenbearbeitung

Die Saat- bzw. Pflanzbettbereitung erfolgt bei allen Bodenbearbeitungsverfahren einheitlich mit Federzinkenegge, Fräse oder Kreiselegge.

B1 «Tiefe Bodenbearbeitung bei integrierter Wirtschaftsweise»: Pflug- oder Grubbereinsatz 25 cm tief.

B2 «Mässig tiefe Bodenbearbeitung bei integrierter Wirtschaftsweise»: Pflug- oder Grubbereinsatz 18 cm tief.

B3 «Mässig tiefe Bodenbearbeitung bei biologischer Wirtschaftsweise»: Pflugeinsatz 18 cm tief, auf die Bedürfnisse der biologischen Bewirtschaftung abgestimmt (eher mischende Bodenbearbeitung zur Einarbeitung von organischen Düngern bzw. zur Unkrautkontrolle).

Düngung

Bewirtschaftung nach den Grundsätzen der integrierten Produktion (IP)

D0 Ohne N-Düngung

D2 Optimale mineralische N-Düngung (nach N_{min} -Gehalt des Bodens)

D4 Stalmist und kotarme Gülle entsprechend einem mittleren Tierbesatz von 1 GVE (90 kg N_{tot}) + mineralische N-Düngung. (NH_4 -N in Mist und Gülle + Mineraldünger-N = 70 % von Verf. D2)

Bewirtschaftung nach den Grundsätzen der biologischen Wirtschaftsweise (BIO)

D9 Rottemist (aufgearbeitet) und kotarme Gülle entsprechend einem hohen Tierbesatz von 1,8 GVE/ha

deutlich zu, was vermutlich auf eine durch die überdurchschnittlich hohen Temperaturen im Spätherbst geförderte N-Mineralisierung aus der organischen Substanz des Bodens und aus Rückständen der Gründung zurückzuführen ist.

Überwintern des Winterweizens:

Die Mineralstickstoff-Konzentrationen im Oberboden nahmen im Verlauf des Frühwinters rasch ab, jene im Unterboden dagegen zu. Ursache dieser Entwicklung dürfte vor allem die Verlagerung des in der Bodenlösung vorhandenen Mineralstick-

stoffes gewesen sein, die durch überdurchschnittliche Niederschlagsmengen begünstigt wurde. Rasche Verlagerungen als Folge präferentieller Flüsse lassen sich mit der gewählten Beprobungstechnik und -strategie allerdings nicht systematisch erfassen.

Hauptwachstum des Winterweizens:

Nach dieser diagonal durch das Mineralstickstoff-Profil verlaufenden «N-Spur» war im gesamten Bodenprofil keine nennenswerte Menge an Mineralstickstoff mehr zu finden: Trotz der vermutlich zuneh-

Verfahren 42

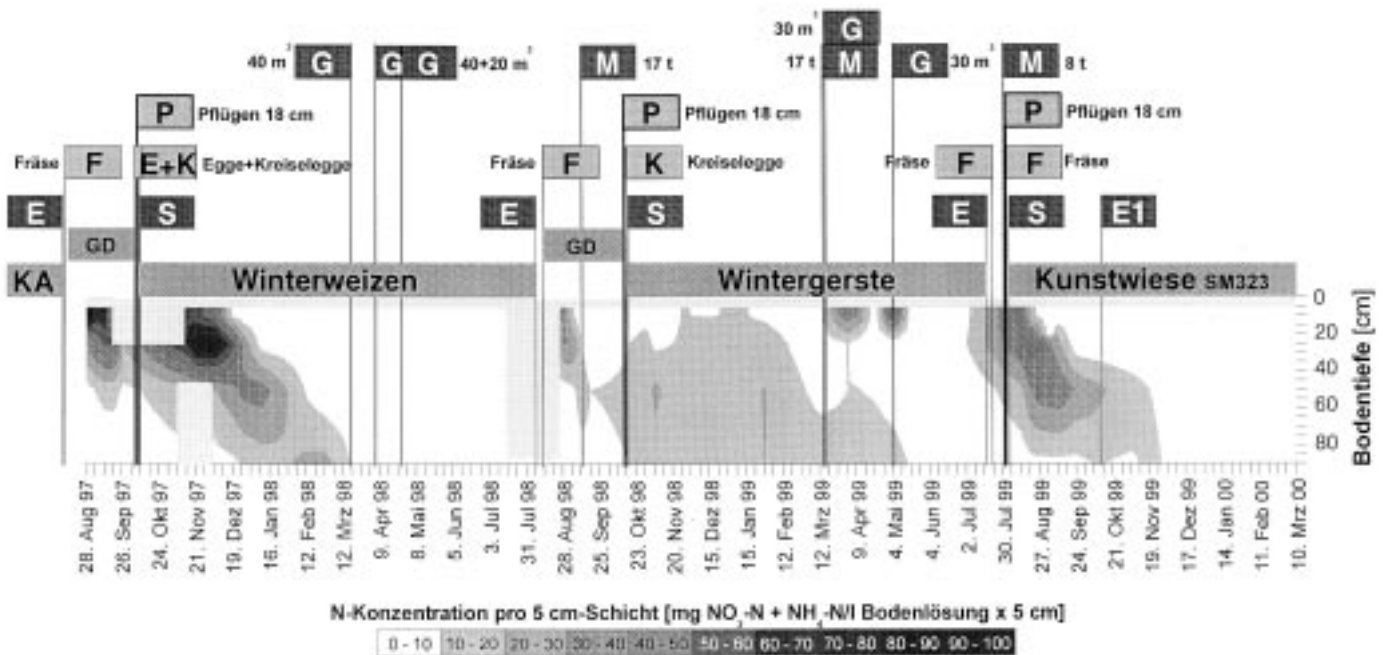


Abb. 1. Mineralstickstoff-Profil des Verfahrens 42 (Tab.1). Dargestellt wird die Konzentration von Mineralstickstoff im Bodenprofil während des Untersuchungszeitraumes; Daten aus Bodenlösungsproben von Saugkerzen in vier verschiedenen Tiefen (10, 25, 50 und 90 cm), gewonnen in üblicherweise 14-tägigem Abstand. Verwendete Abkürzungen: Düngung: G = Gülle; M = Mist, AS = Ammonsalpeter; Bodenbearbeitung: P = Pflug, Gr = Grubber, F = Fräse, E = Egge, KE = Kreiselegge; Kulturen: S = Saat, E = Ernte, GD = Gründüngung.

menden Mineralisierung im Oberboden und der überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen im Spätwinter/Frühjahr 1998 entzog die nun intensiv wachsende Winterweizenkultur praktisch allen verfügbaren Mineralstickstoff aus dem beobachteten Bodenprofil. Selbst die drei Güllegaben im weiteren Vegetationsverlauf hinterliessen keine erkennbaren Spuren im Mineralstickstoff-Profil, das heisst die gedüngten und die mineralisierten Mineralstickstoff-Mengen wurden unter der Annahme minimaler Denitrifikations- und Ammoniakverluste sehr rasch von den Pflanzen aufgenommen. Dies entspricht dem Grundsatz einer nach Menge, Form und Zeitpunkt bedarfsgerechten Düngung.

Zwischenkultur nach Winterweizen: Nach der Winterweizen-ernte und einem Fräsdurchgang wurde eine Zwischenkultur gesät. Zu Beginn dieser Periode zeigte sich im Oberboden eine erhöhte Mineralstickstoff-Menge, die aber rasch wieder abnahm. Der Grund dafür dürfte bei der

durch das Mischen und Lockern des Bodens zur Zwischenkultur-Saat begünstigten Mineralisierung von boden- beziehungsweise hofdüngerbürtigem organisch gebundenem N zu finden sein, bei gleichzeitig noch geringem N-Entzug durch die Zwischenkultur. Sobald jedoch deren N-Bedarf zugenommen und nachdem im Spätsommer 1998 überdurchschnittliche Niederschlagsmengen gefallen waren, verringerten sich die N-Gehalte im Oberboden infolge Entzug und Verlagerung rasch. Die Mistdüngung zur Zwischenkultur hatte im N-Profil kurzfristig keinen erkennbaren Einfluss.

Auflaufen und Überwintern der Wintergerste: Unter der spät gesäten Wintergerste waren über das ganze Bodenprofil verteilt dauernd erhebliche Mineralstickstoff-Mengen vorhanden, besonders auch in den tieferen Bodenschichten, so dass Mineralstickstoff bis in den Frühling hinein mit der Bodenlösung verlagert wurde und das Profil nach unten verlassen haben dürfte.

Hauptwachstum der Wintergerste: Im Unterschied zur Situation beim Winterweizen 1998, wo die Mineralstickstoff-Gehalte mit der einsetzenden Vegetationsentwicklung vom Ober- in den Unterboden abnahmen, verblieb im feuchten Frühsommer 1999 während längerer Zeit eine beträchtliche Menge an Mineralstickstoff in der Bodenlösung: Der N-Entzug durch den Wintergerstebestand war vermutlich relativ gering. Während dieser Zeit ausgebrachte Mist- und Güllegaben hinterliessen deshalb auch deutlich erkennbare Spuren im Mineralstickstoff-Profil. Zumindest bei den ersten Hofdüngereinsätzen führte dies zusammen mit den überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen im April zu N-Verlagerungen im Profil. Ab Anfang Mai 1999 war dann auch bei der Wintergerste im ganzen Profil praktisch kein Mineralstickstoff mehr in der Bodenlösung zu finden.

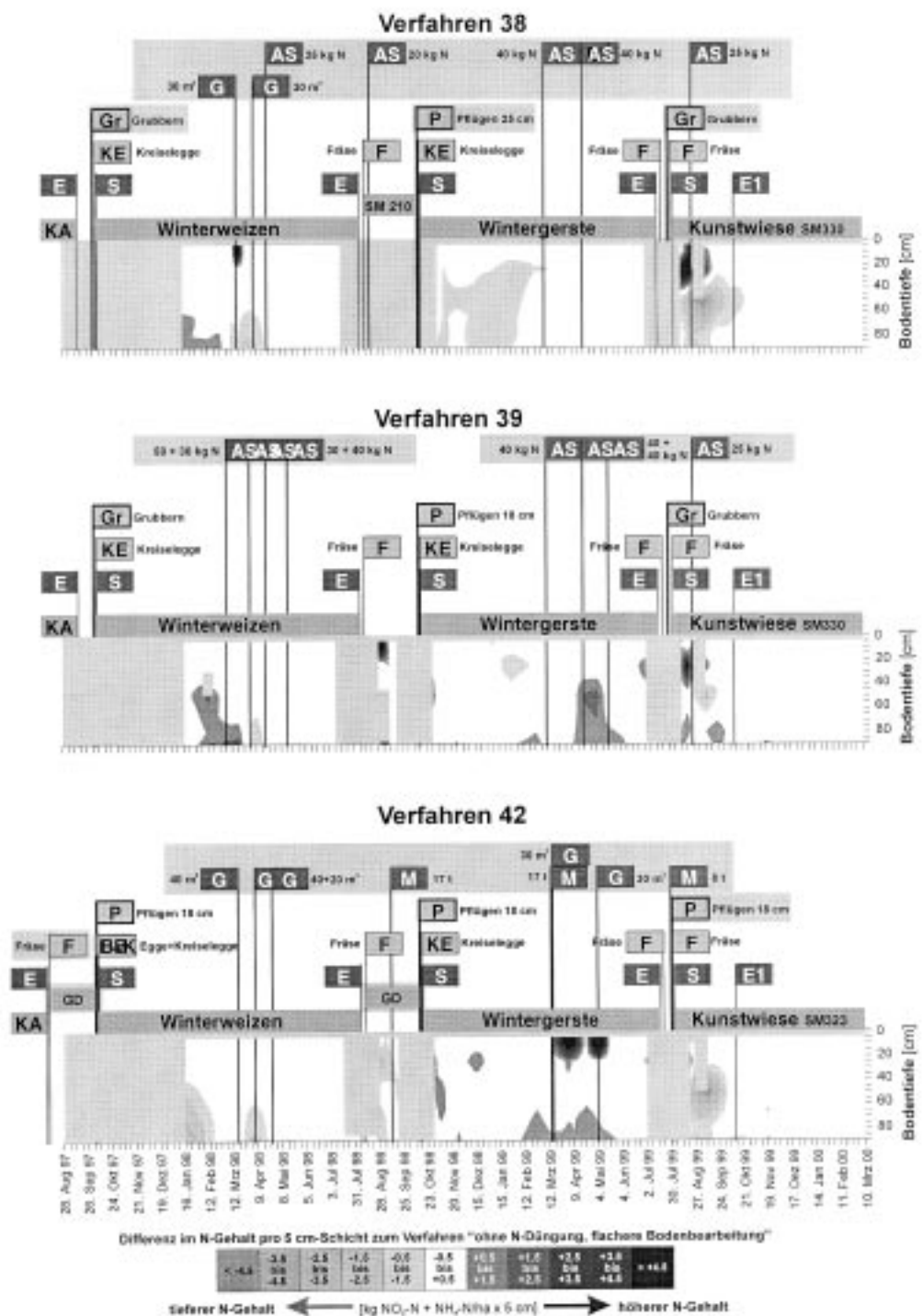
Abreife der Wintergerste und Ansaat der Kunstwiese: Ab Anfang Juli nahm der Mineral-

stickstoff-Gehalt im Oberboden, ab Mitte August auch im Unterboden deutlich zu; relativ hohe Mineralstickstoff-Gehalte traten hier noch bis in den Winter hinein auf. Bedingt durch mehrere aufeinanderfolgende Arbeitsgänge zum Lockern und Mischen des Bodens, den günstigen Umweltbedingungen und einer Mistgabe, war die N-Mineralisierung während der zweiten Julihälfte wohl sehr intensiv. Wegen der langsamen Jugendentwicklung der Kunstwiese verblieben noch beträchtliche Mineralstickstoff-Mengen in der Bodenlösung, die von zwei grösseren Niederschlagsstaffeln Anfang August und Ende September 1999 in tiefere Bodenschichten verlagert werden konnten. Mit zunehmendem N-Entzug der Kunstwiese nahm der Mineralstickstoff-Gehalt im Profil anschliessend bis Ausgang Winter 1999/2000 von oben nach unten fortschreitend ab. Dieser Zustand des «leeren» Profils dürfte unter der entwickelten Kunstwiese in den folgenden Monaten unverändert geblieben sein.

Vergleich verschiedener Anbauverfahren

Im folgenden werden die drei Verfahren 38, 39 und 42 hinsichtlich ihres Mineralstickstoff-Gehaltes mit dem Referenzverfahren 7 («ohne N-Düngung», Tab. 1) verglichen. Dies soll zeigen, welche kurzfristigen Einflüsse einzelne Anbaumassnahmen zur Folge haben können (Abb. 2).

Auflaufen des Winterweizens: Zu Beginn der Winterweizen-Entwicklung im Winter 1997/98 waren in den beiden Verfahren 38 und 39 höhere Mineralstickstoff-Gehalte in den tieferen Bodenschichten vorhanden als im Verfahren 42. Dank der Zwischenkultur im Verfahren 42 konnte während der intensiven N-Mineralisierungsphase nach



der Kartoffelernte vermutlich mehr Mineralstickstoff aus der Bodenlösung entzogen und damit vor der Verlagerung bewahrt werden; in den beiden anderen Verfahren mit späterer Kartoffelernte blieb der Boden bis zur Winterweizensaat dagegen brach.

Jugendwachstum des Winterweizens: Bei allen drei Verfah-

Abbildung 2: Mineralstickstoff-Differenzprofil der Verfahren 38 (oben), 39 (Mitte) und 42 (unten) zum Referenzverfahren 7 («ohne N-Düngung», Tab. 1). Dargestellt wird jeweils der Unterschied zwischen dem Mineralstickstoff-Gehalt im Bodenprofil der Verfahren 38, 39 bzw. 42 und dem Mineralstickstoff-Gehalt im Referenzverfahren 7 während des Untersuchungszeitraumes.

Grau hinterlegt: Unterschiede in der Anbautechnik der einzelnen Verfahren verglichen mit dem Referenzverfahren 7. Verwendete Abkürzungen: vgl. Abb.1.

ren lässt sich der erste N-Düngungstermin erkennen: Sehr deutlich die Güllegabe im Verfahren 38, weniger deutlich die Ammonsalpeter- beziehungsweise Güllegaben in den Verfahren 39 beziehungsweise 42. Weil die N-Gaben in allen Verfahren auf praktisch mineralstickstofffreie, von einer rasch wachsenden, N-zehrenden Winterweizenkultur durchwurzelte Oberböden ausgebracht wurden, traten keine Verlagerungen in tiefere Bodenschichten auf. Schon kurze Zeit später waren die gedüngten N-Mengen nicht mehr nachweisbar.

Übergangsperiode zwischen Winterweizen und Wintergerste: Zwischen der Ernte des Winterweizens und der Saat der Wintergerste wurde je nach Verfahren unterschiedlich bewirtschaftet: Zwischenkulturen in den Verfahren 38 und 42, Brache im Verfahren 39. Der Einfluss dieser Zwischenkulturen ist klar erkennbar: Obschon sowohl im Verfahren 38 als auch im Verfahren 42 noch zusätzliche N-Gaben ausgebracht wurden, wiesen die Verfahren verglichen mit dem Referenzverfahren 7 «ohne N-Düngung» denselben beziehungsweise sogar einen geringeren N-Gehalt im Profil auf. Unter der nicht gedüngten Brache im Verfahren 39 entwickelte sich dagegen nach dem Einfräsen der Winterweizenstoppeln ein N-Mineralisierungsschub, der wegen des geringen Entzuges durch die Pflanzen mit den Herbstniederschlägen in tiefere Bodenschichten verlagert werden konnte. Verfahren 39 unterschied sich in diesem Moment anbautechnisch nicht vom Referenzverfahren. Die unterschiedliche Reaktion könnte jedoch durch die generell bessere N-Versorgung bedingt sein, weil in diesem Verfahren durch die höhere pflanzliche Biomassebildung auch mehr mineralisierbare organische Substanz vorhanden war.

Hauptwachstum der Wintergerste: Während der Wintergerste-Vegetationsperiode unterschieden sich die Verfahren besonders durch ihre Reaktion auf die N-Düngung: Während in den beiden mineralisch (breitflächig) gedüngten Verfahren verglichen mit dem Referenzverfahren 7 praktisch kein zusätzlicher Mineralstickstoff in der Bodenlösung auftauchte, führten die N-Gaben in Form von Mist und Gülle (zweimal) im Verfahren 42 zu deutlichen, länger anhaltenden Phasen mit erhöhten Mengen an Mineralstickstoff. Mindestens nach den ersten beiden kurz aufeinander folgenden Gaben im März 1999 musste aufgrund des Mineralstickstoff-Differenzprofils mit stärkeren Verlagerungen gerechnet werden: Während des überdurchschnittlich niederschlagsreichen Frühlings 1999 wurde Mineralstickstoff aus organischen Düngern anscheinend nur verzögert mineralisiert beziehungsweise von den Pflanzen aufgenommen.

Übergangsperiode zwischen Wintergerste und Kunstwiese: In den beiden Verfahren 38 und 39 traten zu Beginn der Kunstwiesenentwicklung erheblich höhere N-Spitzenwerte auf als im Referenzverfahren 7 «ohne N-Düngung». Möglicherweise lassen sich diese Unterschiede (analog zur Situation nach der Winterweizenernte) mit Wechselwirkungen zwischen indirekten Effekten der N-Düngung (grössere pflanzliche Biomasse, mehr organisch gebundener N im Boden) und der Bodenbearbeitung erklären: Durch die Bodenbearbeitung, besonders das Grubbern, und die Start-N-Düngung zur Kunstwiesensaat wurden in diesen beiden Verfahren grössere Mengen an organisch gebundenem N mineralisiert. Das Verfahren 42 mit Pflugeinsatz und organischer Düngung wies - verglichen mit dem Referenzverfahren

7 - nur kurzzeitig unwesentlich höhere N-Gehalte im Oberboden auf, das heisst die N-Mineralisierung führte hier nicht zur Freisetzung deutlich grösserer Mineralstickstoff-Mengen.

Folgerungen

■ Mit Mineralstickstoff-Profilen lässt sich die Entwicklung von Mineralstickstoff-Konzentration und -Gehalt in der Bodenlösung über das ganze Bodenprofil im Zeitverlauf verfolgen.

■ Sofern sich die Düngung am Pflanzenbedarf orientiert, bestehen die grössten Mineralstickstoff-Verlustrisiken durch Auswaschung nicht während der Hauptwachstumsperiode der Kulturen, sondern während der Übergangsperiode zwischen Kulturen sowie zu Beginn der Folgekultur, weil in diesen Zeiträumen das N-Angebot im Boden üblicherweise deutlich grösser ist als die N-Nachfrage durch die Kulturen. Unter schweizerischen Klimaverhältnissen des Mittellandes wird das Auswaschungsrisiko in diesen kritischen Übergangssituationen meist noch durch den Umstand verschärft, dass im Boden während dieser Perioden üblicherweise deutlich nach unten gerichtete Wasserbewegungen («Sickerung») auftreten.

■ Sobald gesunde Kulturen ihre Hauptwachstumsphase erreichen, besteht im Allgemeinen ein permanenter Nachfrageüberhang nach N, das heisst N wird ein zentraler Minimumfaktor für die Kulturen, was bei normalem Witterungsverlauf je nach Kultureigenschaften zur Leerung grösserer Teile oder gar des ganzen durchwurzelbaren Bodenprofils führt.

■ Am Pflanzenbedarf und dem im Boden vorhandenen pflanzenverfügbaren Mineralstickstoff (N_{\min}) orientierte Düngungsmassnahmen führen in der

Regel nicht zu erhöhten N-Auswaschungsrisiken. Wegen des Einflusses auf die N-Mineralisierung kann bei ackerbaulicher Bodennutzung in bestimmten Situationen selbst ohne N-Düngung kurzfristig so viel Mineralstickstoff freigesetzt werden, dass ein beträchtliches Auswaschungsrisiko besteht.

■ Mit Düngern, die leichtlösliche N-Komponenten enthalten, kann N meist rasch und gezielt den Pflanzen angeboten werden. Müssen Dünger mit organisch gebundenem N dagegen zunächst in den Mineralisierungsprozess eingeschleust werden, hängt die Wirksamkeit des Düngers auch von jenen Einflussgrößen ab, die die Mineralisierung steuern. Im Allgemeinen ist deshalb organische Düngung (besonders natürlich bei hohem Tierbesatz und entsprechend grossen Aus-

bringungsmengen sowie bei ungünstigem Witterungsverlauf) mit einem erhöhten Verlustrisiko verbunden.

■ Durch N-Düngung kann das generelle Risiko von Mineralstickstoff-Verlusten indirekt insofern erhöht werden, als durch die Förderung der Pflanzenentwicklung auch grössere Mengen an organischem N mit den Pflanzenrückständen in den Boden und damit in den N-Kreislauf gelangen, was das N-Mineralisierungspotential erhöht. Gelingt dann die Synchronisierung von N-Angebot und N-Nachfrage nicht wunschgemäss, sind grössere Mineralstickstoff-Mengen verlustgefährdet.

■ Das Beurteilen des potenziellen Risikos von Mineralstickstoff-Auswaschungsverlusten anhand definierter Anbausysteme

(z.B. «konventionell», «IP», «Bio», usw.) führt nicht zu verlässlichen Einschätzungen. Entscheidend ist vielmehr die Abfolge der einzelnen Anbaumassnahmen und deren Abstimmung auf die zu erwartenden standorttypischen Konstellationen der wichtigsten Prozesse Mineralisierung, Verlagerung und Entzug.

■ Im Einzelfall spielen nicht nur die Abfolge der Einzelmassnahmen, sondern zusätzlich auch die Wechselwirkungen mit dem Witterungsverlauf und der Bewirtschaftungsgeschichte eine grosse Rolle für das tatsächliche Ausmass der N-Auswaschung.

RÉSUMÉ

Influence du travail du sol sur la dynamique de l'azote présent dans l'eau du sol

La teneur du sol en azote minéral est sujette à de très importantes variations temporelles : plusieurs processus sont à l'œuvre de manière interactive et induisent successivement des situations d'excès et de carence en azote pour la plante et les organismes vivants du sol.

Le relevé périodique des profils de teneur en azote minéral du sol permet de suivre cette évolution et de décrire le déroulement de chaque processus ainsi que ses interactions avec les autres processus. On observe ainsi qu'une fumure N optimale ne produit pas d'augmentation notable de la teneur en azote minéral de l'eau du sol durant la période de croissance principale des cultures, mais que son effet s'exerce dès la fin de la période de croissance, jusqu'à la mise en place de la culture suivante. Les actions de travail du sol activent également le processus de minéralisation de l'azote, élevant ainsi sa concentration dans la phase aqueuse. Une bonne interprétation du profil de teneur en azote minéral permet de mieux gérer la dynamique des processus actifs et d'orienter leur déroulement vers une optimisation aux plans agronomique, écologique et économique.

SUMMARY

Influences of soil management on nitrogen dynamics in the soil solution

Time course of mineral nitrogen content in soil is very dynamic: The combination of several processes leads to quickly succeeding situations of surpluses and shortages for plants and soil organisms. By means of so called „mineral nitrogen-profiles“ it is possible to identify the course of events and to get a rough idea of the interdependencies between cultivation techniques and soil processes. This way it can be shown that as long as nitrogen fertilization is optimized no large amounts of mineral nitrogen have to be expected in the soil solution during the main growing period of the crops. However this can happen during the period between end of the growing season of the preceding crop to start of the main growing season of the subsequent crop. Because of the importance of mineralisation processes in the soil not only nitrogen fertilization but also soil management can lead to an increase of the mineral nitrogen content in soil. „Mineral nitrogen-profiles“ allow to plan interventions in the soil nitrogen cycle so that nitrogen mineralization and uptake can be lead to the desired direction and the soil nitrogen regime can be optimized agronomically, ecologically and last but not least economically.

Key words: mineral nitrogen, soil solution, nitrogen dynamics, nitrogen mineralization, nitrogen loss, soil management, crop rotation, nitrogen fertilization