



9 Wirkung der Ökomassnahmen auf die Stickstoffausträge aus der schweizerischen Landwirtschaft

Felix Herzog, Samuel Cornaz, Michel Decrem, Jens Leifeld, Harald Menzi, Reto Mural, Ernst Spiess und Walter Richner

Die durch die schweizerische Landwirtschaft verursachten Stickstoffemissionen sind zurückgegangen. Der Stickstoffeinsatz ist insgesamt effizienter geworden. Trotzdem werden die für 2005 gesetzten Umweltziele des Bundes nur teilweise erreicht. Der nationale Stickstoff-Bilanzüberschuss liegt seit 1996 konstant ca. 25'000 t N über dem Zielwert. Die Nitratgehalte im Grundwasser ausgewählter, insgesamt repräsentativer Grund- und Quellwasserfassungen haben zwar abgenommen, im Mittel aber um weniger als die angestrebten 5 mg/l. Über 90 % der Trinkwasserfassungen, deren Einzugsgebiet landwirtschaftlich genutzt wird, haben weniger als 40 mg NO₃/l im Grundwasser. In den Ackerbaugebieten wurde dieser Anteil jedoch nur knapp erreicht. Die Ziele bezüglich der Reduktion der Ammoniak- und Lachgasemissionen werden erreicht. Um den Stickstoff-Bilanzüberschuss weiter zu reduzieren, müssen die Anforderungen des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) im Bereich des Stickstoffeinsatzes erhöht werden. In Ackerbaugebieten sind zusätzliche Anstrengungen zur Sicherung und Verbesserung der Grund- und Trinkwasserqualität notwendig.

Erreichung der Ziele

Das Bundesamt für Landwirtschaft und der Bund haben Ziele formuliert, die mit den Ökomassnahmen bzw. dem ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN, Bundesrat 1998a) bis 2005 zu erreichen sind (BLW 1999, Bundesblatt 2002). Die Ziele sind in der Einleitung zusammengestellt (Kapitel 1, Tab. 1).

Nationale N-Bilanz

Das Ziel, den jährlichen Stickstoff-Überschuss der nationalen Input-/Outputbilanz bis 2005 auf 86'000 t N zu reduzieren (Bundesblatt 2002), wird nicht erreicht. Zwar beobachten wir seit 1980 einen Rückgang des N-Überschusses, insbesondere durch eine Verminderung des Mineraldüngereinsatzes und der importierten Futtermittel (Kapitel 3, Abb. 3), doch stabilisiert sich der nationale Überschuss seit 1996 auf dem Niveau von ca.

Felix Herzog,
Michel Decrem,
Jens Leifeld,
Ernst Spiess und
Walter Richner,
Agroscope
FAL Reckenholz,
Reckenholzstr. 191,
CH-8046 Zürich
Samuel Cornaz
und Reto Mural,
BUWAL, Abteilung
Gewässerschutz,
CH-3003 Bern
Harald Menzi,
Schweizerische
Hochschule für
Landwirtschaft,
Länggasse 65,
CH-3052 Zollikofen

110'000 t N pro Jahr (Kapitel 3, Abb. 5). Es gibt seither keine Hinweise auf einen weiteren Rückgang. Die N-Überschüsse sind in den letzten Jahren sogar eher wieder leicht angestiegen, weil wieder mehr N-Mineraldünger eingesetzt und mehr Futtermittel importiert wurden.

Grundwasserqualität

Bezüglich der Grundwasserqualität hatten wir zwei Ziele zu überprüfen:

1. *Um 5 mg/l gesunkene NO_3^- -Belastung ausgewählter, insgesamt repräsentativer Grund- und Quellwasserfassungen zwischen 1990–92 und 2005 (BLW 1999).* Dieses Ziel wird nicht erreicht werden. Es ist aber durchaus eine Verbesserung der Grundwasserqualität bezüglich Nitrat zu beobachten. Im Mittelland, wo die Nitratgehalte generell am höchsten und die landwirtschaftliche Nutzung am intensivsten ist, haben wir einen mittleren Rückgang um ca. 2 mg/l bis 1999–2001 beobachtet. In den Voralpen war der Rückgang – von einem tieferen Niveau ausgehend – stärker (3 mg/l). Im Jura und in den Alpen blieben die Nitratgehalte auf tiefem Niveau einigermaßen konstant (Kapitel 5, Tab. 2). Im Durchschnitt von 158 Messstellen, die vorwiegend im Mittelland liegen, wurde zwischen 1989–91 und 2002–03 ein Rückgang von 3,7 mg NO_3^- /l beobachtet (Kapitel 4, Tab. 4). Allerdings ist dieser Wert nicht nach Landnutzung im Einzugsgebiet differenziert. Auch wenn der Trend des Rückgangs der Nitratgehalte anhält, so wird doch bis 2005 das anvisierte Ziel eines generellen Rückgangs um 5 mg/l nicht erreicht werden. Da in wenig belasteten Regionen eine weitere Reduktion kaum zu erreichen ist, hätte der Rückgang in den stark belasteten Regionen überproportional ausfallen müssen.

2. *Nitratgehalte von Wasser liegen in 90 % der Trinkwasserfassungen, deren Zuflussbereiche von der Landwirtschaft genutzt werden, unter 40 mg/l (Bundesblatt 2002).* Im Mittel der Jahre 2002–03 wurde dieses Ziel erreicht. Für die vorwiegend ackerbaulich genutzten Einzugsgebiete war das Erreichen des Ziels beim mittleren Nitratgehalt mit 90,2 % der Messstellen allerdings knapp, beim maximalen Nitratgehalt wurde hier das Ziel mit 87 % nicht erreicht. 53,2 % dieser Fassungen wiesen mittlere Nitratgehalte oberhalb der Anforderung der Gewässerschutzverordnung (GSchV, Bundesrat 1998 b) an genutztes Grundwasser von 25 mg/l auf (Kapitel 4, Tab. 3). Mit 9,2 % bzw. 0 % (mittlere Gehalte) waren die Anteile der Fassungen mit Nitratgehalten oberhalb der Anforderung der GSchV für Gebiete mit vorwiegend gemischter und futterbaulicher Nutzung bzw. mit Sömmerungsweiden deutlich tiefer. Aufgrund des noch anhaltenden leicht rückläufigen Trends der Nitratgehalte können wir davon ausgehen, dass diese im Jahr 2005 in einer ähnlichen Grössenordnung liegen werden. Bei der Interpretation der oben beschriebenen Abnahmen der Nitratgehalte ist zu berücksichtigen, dass der Verzicht auf die Nutzung von Grundwasserfassungen mit zu hohen Nitratgehalten im untersuchten Zeitraum mit zum Erreichen des Ziels beigetragen hat.

Luftqualität

Das Ziel, die Ammoniak-Emissionen bis 2005 auf jährlich 48'700 t N zu reduzieren (Bundesblatt 2002), wird erreicht. Bereits im Jahr 2000 betragen die aus der Landwirtschaft stammenden Emissionen nur noch 41'300 t N, dies entspricht einem Rückgang von 11 % seit 1990 (Kapitel 7, Tab. 1). Es besteht ein leichter Trend zu einer weiteren Abnahme. Zur Erreichung der langfristigen Ziele des Göteborg Protokolls bzw. des Bundesrates (Abnahme der landwirtschaftlichen NH_3 -Emissionen um weitere 40–50 %) wären allerdings grosse zusätzliche Anstrengungen seitens der Landwirtschaft nötig (Abbau von Tierzahlen und/oder grosse Investitionen für emissionsverringende Massnahmen).

Im Rahmen der Klimakonvention besteht eine Verpflichtung zur Reduktion der Treibhausgasemissionen um 8 % für den Zeitraum 2008 bis 2012 relativ zu 1990 (UN 1997). Diese Verpflichtung gilt jedoch gesamtwirtschaftlich und nicht notwendigerweise proportional zu den Sektoren oder Treibhausgasen. Eine Aufteilung nach Sektoren und

Treibhausgasen ist jedoch hilfreich, um einzelne Massnahmen besser beurteilen zu können. Beim Lachgas betrug die geschätzte Abnahme zwischen 1990 und 2002 im Sektor Landwirtschaft 10 %. Dies ist vor allem auf den verringerten Mineraldüngereinsatz sowie auf den reduzierten Tierbestand und der damit einhergehenden Abnahme des Hofdüngeranfalls zurückzuführen (Kapitel 8, Abb. 2). Die Emissionen werden sich weiterhin proportional zur Entwicklung dieser beiden Faktoren verändern. Aufgrund des relativ konstanten Trends seit 1998 ist aber zukünftig nicht unbedingt von einer weiteren Abnahme der landwirtschaftlichen Lachgas-Emission auszugehen. Dazu müsste primär ein weiterer Abbau des schweizerischen Nutztierbestandes ins Auge gefasst werden.

Beitrag der einzelnen Massnahmen des ÖLN

Wie bereits einleitend dargelegt (Kapitel 1) ist es schwierig, die Wirkungen der einzelnen Massnahmen sowie des ÖLN als Ganzes von anderen Einflussfaktoren (zusätzliche agrar- und umweltpolitische Massnahmen, biologisch-technischer Fortschritt, Marktmechanismen) zu trennen, welche ebenfalls auf die Stoffflüsse wirken. Bei den hier gemachten Angaben handelt es sich deshalb um Schätzungen, die auf Modellrechnungen und Expertenbeurteilungen beruhen.

Ausgewogene Nährstoffbilanz

Die Forderung einer ausgeglichenen betrieblichen Nährstoffbilanz ist das wirksamste Instrument des ÖLN zur Reduktion des Stickstoffüberschusses. Aufgrund der Fallstudien im Kanton Bern und in Fehraltorf schätzen wir, dass dadurch im Ackerland die Nitratauswaschung um 5–20 % reduziert wurde (Kapitel 5, Tab. 3; Kapitel 6, Abb. 6). Bei weitgehend stabilen Erträgen im Pflanzenbau wurden 10 % weniger mineralische und organische Stickstoffdünger eingesetzt. Wir führen insbesondere den Rückgang des Mineraldüngereinsatzes auf die Anforderung an eine ausgewogene Nährstoffbilanz und dadurch auf den bewussteren Umgang mit Stickstoffdünger zurück.

Geeigneter Bodenschutz

Bodenbedeckung im Winter ist eine wichtige Massnahme zur Reduktion der Nitratauswaschung. Wir schätzen, dass die Anforderung des Bodenschutzindex eine Reduktion von ca. 10 % bewirkt hat (Kapitel 6, Abb. 6). Damit verknüpft ist wohl auch die allgemein beobachtete Zunahme der mit konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren bewirtschafteten Fläche, welche sich nach Zwischenkulturen anbietet. Dies wirkt sich vermutlich ebenfalls günstig auf die Verringerung der Nitratauswaschung aus.

Anlässlich der letzten Revision der Direktzahlungsverordnung (Bundesrat 1998 a) wurde allerdings der Bodenschutzindex durch eine für die Erfassung einfachere Methode mit geringeren Anforderungen an die Bodenbedeckung ersetzt. Falls dies wieder zu vermehrten Schwarzbrachen im Winterhalbjahr führt, so wird damit auch die Nitratauswaschung wieder zunehmen.

Weitere ÖLN-Vorschriften und Ökomassnahmen

Vermutlich hat auch der Anteil von inzwischen 10 % mehrheitlich ungedüngten ökologischen Ausgleichsflächen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz und die Anforderungen an eine geregelte Fruchtfolge zur Reduktion der Stickstoffemissionen und -immissionen beigetragen. Das Ausmass schätzen wir jedoch geringer ein als die Wirkung von ausgeglichener Nährstoffbilanz und des Bodenschutzes. Einen unerwünschten Effekt auf die Ammoniakemissionen haben die Programme zum Tierwohl, welche zu einer starken Zunahme von Laufställen und Laufhöfen führte. Die dadurch verursachte Zunahme der Ammoniakemissionen ist allerdings relativ gering (+1,2 % zwischen 1990 und 2000, Kapitel 7). Sie wird durch andere Veränderungen wie die Zunahme der Beweidung mehr als

kompensiert. Vermehrte Weidehaltung wirkt sich zwar günstig auf die Reduktion der Ammoniakemissionen aus, kann jedoch die Gefahr von verstärkter Nitratauswaschung mit sich bringen. Es bestehen hier Zielkonflikte, deren man sich bewusst sein muss.

Wir haben den Einfluss des biologischen Landbaus (110'134 ha in 2003, BLW 2004) und der extensiven Produktion von Getreide und Raps (EXTENSO, 78'425 ha in 2003, BLW 2004) nicht speziell untersucht. In beiden Anbausystemen wird tendenziell weniger Stickstoffdünger eingesetzt (Gaillard und Nemecek 2002). Dies wirkt sich zumindest auf die nationale Stickstoffbilanz aus. Ob und in welchem Ausmass Effekte auf Nitrat-, Ammoniak- und Lachgasemissionen entstehen, ist nicht bekannt.

Andere Einflussfaktoren

Umweltgesetzgebung

1992 trat das revidierte Gewässerschutzgesetz (GSchG, Bundesversammlung 1991) in Kraft. In den Artikeln 14, 27 und 51 werden Anforderungen an Hofdüngermanagement (z.B. Ausbringung, Lagerkapazität, Abnahmeverträge, Besatz an Grossvieheinheiten), Bodenbewirtschaftung und Beratung formuliert. 1994 erschien eine neue Wegleitung für den Gewässerschutz (BLW/BUWAL 1994). Die Gewässerschutzverordnung von 1999 regelt unter anderem ökologische Ziele der Gewässer, Anforderungen an die Wasserqualität und Anforderungen an Betriebe mit Nutztierhaltung (Bundesrat 1998b). Die Einhaltung dieser Gesetze dürfte ebenfalls zu einer Verminderung der N-Belastung der Gewässer aus der Landwirtschaft geführt haben. Ihr Einfluss wurde jedoch bisher nicht evaluiert und quantifiziert.

Regionale Massnahmen

Über eventuelle lokale Effekte der Nitratprojekte, welche auf Art. 62a GSchG basieren, können wir aufgrund unserer Untersuchungen keine Aussage machen. Wir können jedoch weitgehend ausschliessen, dass sie die bisher beobachteten Veränderungen auf nationaler Ebene beeinflusst haben, denn es gibt erst wenige entsprechende Projekte. Diese betreffen insgesamt nur einen sehr kleinen Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Die Projekte wurden zudem erst vor kurzem gestartet.

Technischer Fortschritt, Markt, Beratung

Hingegen gibt es Einflussfaktoren ausserhalb der agrar-ökologischen Programme. An erster Stelle ist die Abnahme der Tierzahlen zu nennen (von 1,43 auf 1,29 Mio. GVE zwischen 1990 und 2002, BLW 2004). Wichtigste Ursache hierfür waren der biologisch-technische Fortschritt, der eine vergleichbare Milch- und Fleischproduktion mit weniger Tieren ermöglichte und dadurch zu einer Abnahme des Anfalls an Hofdüngern und zu einer Reduktion der Ammoniakemissionen führte sowie Markteinflüsse wie ein leicht rückläufiger Fleischkonsum. Die Abnahme der offenen Ackerfläche von 312'000 ha (1990–92) auf 284'000 ha (2003) bei insgesamt konstanter landwirtschaftlicher Nutzfläche (BLW 2004) ist ebenfalls auf Verschiebungen im Preis-Kosten-Gefüge sowie auf den landwirtschaftlichen Strukturwandel zurückzuführen. Tendenzuell dürfte auch diese Entwicklung zum Rückgang der Nitratauswaschung beigetragen haben.

Wir gehen davon aus, dass auch die Sensibilisierung der Landwirte, die verbesserte Ausbildung und die Beratung sich positiv auf das Stickstoff-Management auf den Betrieben ausgewirkt haben. Quantifizieren können wir diesen Einfluss allerdings nicht.

Erkenntnisse aus anderen Projekten

Julien *et al.* (2002) haben in vier Untersuchungsgebieten im Kanton Freiburg die Umsetzung des ÖLN und die Wirkung auf Stoffausträge aus der Landwirtschaft in die

Gewässer untersucht. Sie beobachteten eine Stabilisierung der Nitratgehalte im Grundwasser. Diese kann allerdings nur teilweise auf den ÖLN zurückgeführt werden. Die Autoren betonen jedoch die gute Akzeptanz des ÖLN durch die Landwirte und die Bedeutung des ÖLN für ihre Sensibilisierung für ökologische Anliegen.

Im Rahmen des sogenannten «Greifenseeprojektes» haben Prasuhn *et al.* (2004) die Stoffflüsse im Einzugsgebiet des Greifensees (ZH) untersucht. Die Stickstoffausträge wurden mit dem Modell MODIFFUS (Prasuhn und Mohni 2003) geschätzt. Die Auswaschungsverluste waren unter drainiertem Ackerland am höchsten (46 kg N/ha und Jahr, Stand 1999). Sie betragen unter Ackerland im Mittel 35 kg/ha und Jahr, unter Siedlungen und Gärten 22 kg N/ha und Jahr und unter Grasland und Wald 9 bzw. 8 kg N/ha und Jahr. In Modellrechnungen wurde untersucht, welche Effekte ein eventueller zukünftiger Wegfall der Ökobeiträge hätte (Zraggen *et al.* 2004). Es resultierte eine deutlich intensivere Landwirtschaft und Flächennutzung – allerdings bei einer prognostizierten Abnahme der Ackerfläche. Dadurch erfolgte für das gesamte Einzugsgebiet eine Reduktion der Stickstoffausträge in die Gewässer zu. Am höchsten ist diese Reduktion bei einer Marktöffnung zur EU (–27 %, Zraggen *et al.* 2004). Dafür würden jedoch infolge der zunehmenden Tierhaltung vermehrt gasförmige N-Verluste auftreten, die in den Modellrechnungen aber nicht berücksichtigt wurden.

Prasuhn und Mohni (2003) berechneten die Stickstoffeinträge in Grundwasser und Oberflächengewässer aus diffusen Quellen für 38 hydrologische Einzugsgebiete im Kanton Bern für den Stand 2000 mit dem Stoffflussmodell MODIFFUS und verglichen die Ergebnisse mit einer früheren Berechnung von Prasuhn und Braun (1994) für den Stand 1990. Sie schlossen auf eine Reduktion der diffusen Stickstoffverluste in der Grössenordnung von 5 %. Sie schätzten, dass die Ökomassnahmen insgesamt eine Reduktion der Nitratauswaschung unter Ackerland in der Grössenordnung von 10 % bewirkten. Eine Neuberechnung bestätigte diese Schätzung weitgehend (Kapitel 5, Tab. 3).

Ausblick und Empfehlungen

Stickstoffbilanz

Es gibt keinen Anlass für die Erwartung, dass mit den gegenwärtig geltenden Regelungen des ÖLN eine weitere Reduktion des nationalen Stickstoffüberschusses erreicht werden kann. Der N-Überschuss ist seit 1997 stabil oder leicht ansteigend. Der Anstieg ist insbesondere auf den seit 1997 wieder um 4'500 t N angestiegenen Mineraldüngerverbrauch sowie die Zunahme der Futtermittelimporte um 11'500 t zurückzuführen. Um den nationalen Stickstoffüberschuss auf dem jetzigen Niveau zu halten, dürfen die Verpflichtungen im ÖLN nicht gelockert werden und müssen weiterhin für alle Betriebe gelten. Will man sich dem Ziel von maximal 86'000 t N-Überschuss pro Jahr weiter annähern, so sind insbesondere die Toleranzen in den betrieblichen Stickstoffbilanzen zu überdenken (z.B. die 10 % Toleranz nach oben in der Gesamtbilanz, 5 % Toleranz in der Grundfutterbilanz). Die betriebliche Stickstoffbilanz hat sich als das wirksamste Instrument zur Steigerung der Effizienz des N-Einsatzes erwiesen. Dort anzusetzen wäre am erfolgversprechendsten. Für eine vollständige Zielerreichung müsste der N-Anfall in der Landwirtschaft im Vergleich zu heute deutlich verringert werden (Reduktion der Tierzahlen und des Einsatzes von zugekauften Futtermitteln und Stickstoffdüngern).

Vollzug

Inwiefern die Einhaltung der ÖLN-Vorschriften durch einen verbesserten Vollzug (Beratung, Kontrolle) verbessert werden kann, können wir nicht beurteilen. Diese Frage ist jedoch unbedingt zu prüfen. 2003 wurde die Einhaltung der Vorschriften des ÖLN auf zwei Drittel aller angemeldeten Betriebe kontrolliert. In 12 % der Fälle wurden Verstösse festgestellt. Nach Mängeln bei der Vollständigkeit und Korrektheit der Aufzeichnungen und

nach Verstößen gegen die Anforderungen an die tiergerechte Haltung waren Verstöße gegen die ausgeglichene Düngerbilanz am dritthäufigsten (BLW 2004). Wir gehen davon aus, dass der ÖLN zu einem bewussteren Umgang mit Stickstoffdüngern geführt hat. Die Effizienz des Stickstoffeinsatzes kann durch eine verbesserte Beratung und durch die Erarbeitung von einfachen Planungshilfen weiter gesteigert werden. Dabei muss insbesondere der Umgang mit den Hofdüngern beachtet werden.

Nitrat im Grundwasser

Bezüglich der Nitratgehalte im Grundwasser erwarten wir eine Stabilisierung auf dem jetzt erreichten tiefen Niveau. Aufgrund der zeitlichen Verzögerung zwischen Nitratemission (Auswaschung aus dem Boden) und Nitratimmission (Nitratgehalte im Grundwasser) wird eventuell nochmals ein leichter Rückgang zu beobachten sein. Sollte sich jedoch die Tendenz eines Anstiegs der Stickstoffüberschüsse bestätigen, so werden auch die Nitratgehalte im Grundwasser wieder ansteigen. Handlungsbedarf besteht hier vor allem in den Ackerbau-regionen des Mittellandes. Es muss vermieden werden, dass im Ackerbau wieder vermehrt über den Bedarf der Kulturen hinaus Stickstoff gedüngt wird, denn dadurch würden die erzielten Effizienzgewinne verloren gehen. Die oben erwähnten höheren Anforderungen an den N-Saldo der Suisse-Bilanz würden dem entgegenwirken. Ausserdem muss der Stand der Bodenbedeckung im Winter, wie er mit dem Bodenschutzindex erreicht wurde, beibehalten werden. Sollte die seit 2004 geltende neue technische Regelung des Bodenschutzes wieder zu mehr Schwarzbrache im Winter führen, so müsste der Bodenschutzindex wieder eingeführt werden. Bereits eingeleitet sind die Nitratprojekte nach Art. 62a GSchG. Werden diese sorgfältig geplant und durchgeführt, so können sie einen wirksamen Beitrag zur Reduktion der Nitratgehalte in stark belasteten Grundwässern leisten.

Klima

Die Bedeutung des Klimaschutzes und damit auch die Bedeutung der Verringerung gasförmiger Stickstoffverluste nimmt zu. Die Ammoniak-Emissionen sind zudem zur Verringerung von Eutrophierung und Versauerung von natürlichen Ökosystemen weiter zu reduzieren. Mit der Ratifizierung von internationalen Abkommen besteht für die Schweiz eine juristische Verpflichtung zur Reduktion der Ammoniak-Emissionen. Für das Lachgas gibt es keine direkte Reduktionsverpflichtung, sie lässt sich aber indirekt aus der Verpflichtung zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen ableiten. Die mittelfristigen Verpflichtungen zur Verringerung der Lachgas- und Ammoniakverluste im Landwirtschaftssektor werden voraussichtlich erfüllt. Es ist aber möglich, dass in Zukunft noch stärkere Anforderungen gestellt werden. Deshalb darf bei den Anstrengungen, durch Beratung und Anreize eine emissionsarme Stallhaltung, eine Optimierung der Fütterung, Hofdüngerlagerung und Hofdüngerausbringung zu erreichen sowie die Nitratausträge zu reduzieren, nicht nachgelassen werden.

Fazit

Insgesamt hat seit der Referenzperiode 1990–92 die Effizienz des Stickstoffeinsatzes zugenommen. Das Ertragsniveau im Pflanzenbau konnte gehalten werden, während die Emissionen in Grundwasser und Luft zurückgegangen sind. Allerdings stagnieren seit der zweiten Hälfte der 1990er Jahre die Abnahmen der Stickstoff-Emissionen. Der Stickstoffeinsatz nimmt tendenziell sogar wieder zu. Dadurch können die erzielten positiven Umwelteffekte mittelfristig wieder zunichte gemacht werden.

Wir konnten eine positive Umweltwirkung des ÖLN feststellen, auch wenn die Ziele in einigen Bereichen (nationaler N-Bilanzüberschuss, Rückgang der Nitratgehalte im Grundwasser) nicht erreicht wurden. Sollen die Ziele mittelfristig erreicht werden, so muss am ÖLN in seiner heutigen Form festgehalten werden, die Anforderungen müssen punktuell verschärft werden, die Anstrengungen von Beratung und Vollzug sind zu intensivieren und

der ÖLN ist in regionalen Problemgebieten durch die bereits angelaufenen Nitratprojekte nach Art. 62a GSchG zu verstärken.

Bei der Anwendung von zusätzlichen Massnahmen zur Erfüllung der bis heute noch nicht erreichten ökologischen Ziele besteht jedoch ein starker Zielkonflikt bezüglich der Wirtschaftlichkeit der landwirtschaftlichen Produktion. Über die heutigen Anforderungen des ÖLN hinausgehende Massnahmen sind deshalb bezüglich Kosteneffizienz zu prüfen und zu priorisieren.

Evaluationsbedarf

Die Evaluationsprojekte des Bundes laufen in ihrer jetzigen Form aus. Sie werden teilweise durch Agrar-Umweltindikatoren (BLW 2002, Gaillard *et al.* 2003) ersetzt:

- Nationale Stickstoffbilanz. Diese wird weiterhin nach der bisherigen sowie der OECD-Methode gerechnet und jährlich verfügbar sein.
- Umweltrelevante Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft: Dieser Indikator wird ab 2005 an der Agroscope FAL Reckenholz entwickelt und erstmals für das Jahr 2006 berechnet.
- Das «Nationales Netz zur Qualitätsbeobachtung des Grundwassers» (NAQUA) des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft ist seit 2002 operationell. Es wird weitergeführt und ausgebaut.

Ausserdem werden von der FAL weiterhin Inventare für Treibhausgase landwirtschaftlichen Ursprungs (Lachgas, Methan) berechnet und jährlich aktualisiert. Für Ammoniak besteht eine internationale Berichtspflicht. Das BUWAL wird voraussichtlich alle fünf Jahre eine detaillierte Neuberechnung vornehmen und die Angaben dazwischen jährlich aktualisieren.

Diese Arbeiten erlauben es, den Umweltzustand bezüglich Stickstoff und Landwirtschaft recht gut abzubilden. Es handelt sich jedoch in erster Linie um Monitoringinstrumente, welche nur beschränkt Rückschlüsse auf die Ursachen der beobachteten Trends erlauben werden. Dazu wären weiterhin Evaluationsprojekte im engeren Sinn notwendig, in denen der Einfluss der landwirtschaftlichen Praxis und der agrarpolitischen Massnahmen auf die Stickstoffflüsse untersucht wird wie in den Fallstudien im Kanton Bern (Kapitel 5) und in Fehraltorf (Kapitel 6). Auf einer mittleren regionalen Skala bietet sich eine Kopplung der im Rahmen von NAQUA gemachten Erhebungen mit Untersuchungen zur landwirtschaftlichen Bodennutzung in den jeweiligen Einzugsgebieten und eine Auswertung mit mesoskaligen, statistischen und empirischen Stoffmodellen wie MODIFFUS (Prasuhn und Mohni 2003) an. In kleineren Einzugsgebieten und insbesondere in Projektgebieten, in denen Massnahmen nach Art. 62 GSchG umgesetzt werden, kann die Wirkung der einzelnen Massnahmen (analog zum Vorgehen in der Fallstudie Fehraltorf; Kapitel 6) mit dynamischen Stickstoffmodellen abgeschätzt werden.

Forschungsbedarf

Forschungsbedarf im Bereich ÖLN und Stickstoffhaushalt sehen wir vor allem in folgenden Bereichen:

- Die Forschung im Bereich der «Guten landwirtschaftlichen Praxis» bezüglich landwirtschaftlichem Stickstoffmanagement (Richner *et al.* 2003) muss weitergeführt werden. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse müssen durch die Beratung rasch und effizient der Praxis zur Verfügung gestellt werden.
- Zur weiteren Steigerung der Stickstoffeffizienz im Bereich der Tierhaltung (z.B. Optimierung der Fütterungs- und Stallhaltungssysteme zur Verringerung der Ammoniakemissionen; Hofdüngeraufbereitung zur Erhöhung der Transporteignung und der Nährstoffeffizienz der resultierenden Düngerprodukte) und des Pflanzenbaus (z.B. präzisere Düngungs-

bemessung mit Hilfe von verbesserten Diagnosesystemen und Simulationsmodellen; bessere Prognose der N-Mobilisierung aus dem organischen N-Pool von Böden; verbesserte Düngungstechniken zur Optimierung der N-Freisetzung aus Düngern) sind Forschungsaktivitäten nötig.

- Im biologischen Landbau wird aufgrund der Tatsache, dass keine Mineraldünger eingesetzt werden, tendenziell auf einem geringeren Intensitätsniveau des Stickstoffeinsatzes gewirtschaftet. Umso wichtiger ist es, die Stickstoffflüsse innerhalb der Betriebe zu optimieren und Verluste zu vermeiden. Diesbezüglich – und insbesondere im Hinblick auf das Hofdüngermanagement – muss die Forschung weitere Beiträge leisten.
- Im Hinblick auf die Verringerung der N-Verluste sollte eine Optimierung neuer Anbausysteme wie bodenschonende Anbauverfahren, reduzierte Bodenbearbeitung und Mischkulturen angestrebt werden.
- Stickstoff-Simulationsmodelle zur Abschätzung von Stickstoffverlusten in Einzugsgebieten sind weiterzuentwickeln. Zwar existiert eine Vielzahl von N-Simulationsmodellen mit unterschiedlichen Ansätzen und Eignung für verschiedene Skalenebenen. In der Schweiz werden sie jedoch bisher nur selten erfolgreich eingesetzt. Forschungsbedarf besteht im Bereich der Validierung und der Abschätzung der Unsicherheit der Ergebnisse. Mit diesen Modellen können Vorhersagen über Veränderungen in der Bewirtschaftung (z.B. im Zusammenhang mit Projekten nach Art. 62a GSchG) gemacht werden.
- Mittels betrieblicher und regionaler Stickstoffsimulationsmodelle und experimenteller Erfassung der Lachgasemissionen unterschiedlich genutzter Graslandstandorte können die Emissionsfaktoren für Lachgas besser an die Schweizerischen Gegebenheiten angepasst werden.
- Die Optimierung des landwirtschaftlichen Betriebssystems bei Zielkonflikten nicht nur bezüglich des Stickstoffmanagements, sondern darüber hinaus auch der anderen Stoffflüsse (alle Nährstoffe, Pflanzenschutzmittel), der eingesetzten Energie und der Biodiversität stellt eine grosse Herausforderung dar.

Es gibt somit Forschungsbedarf sowohl in der klassischen agronomischen Forschung zur Verbesserung der Effizienz des Stickstoffeinsatzes und zur Verringerung von Stickstoffverlusten als auch in der Weiterentwicklung von Instrumenten, mit denen der Stickstoffhaushalt beurteilt und Optimierungsstrategien abgeleitet werden können. Weiter verstärkt werden müssen ausserdem die Anstrengungen in Ausbildung und Beratung.

Literatur

- BLW, 1999. Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme, Konzeptbericht. Bern, Bundesamt für Landwirtschaft.
- BLW, 2002. Entwicklung von Agrar-Umweltindikatoren und Monitoring. Bern, Bundesamt für Landwirtschaft. <http://www.blw.admin.ch/rubriken/00690/index.html?lang=de>.
- BLW, 2004. Agrarbericht. Bern, Bundesamt für Landwirtschaft.
- BLW/BUWAL, 1994. Wegleitung für den Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Bern, Bundesamt für Landwirtschaft und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Bundesblatt, 2002. Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik (Agrarpolitik 2007) Bundeskanzlei, BBL V (02.046). 4721–5010.
- Bundesrat, 1998a. Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft, Stand vom 30.12.2003. Bern, SR 910.13.
- Bundesrat, 1998b. Gewässerschutzverordnung. Bern, SR 814.201.
- Bundesversammlung, 1991. Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer. Bern, SR 814.20.
- Gaillard G., Daniel O., Desales A., Flisch R., Herzog F., Hofer G., Jeanneret P., Nemecek T., Oberholzer H., Prasuhn V., Ramsauer M., Richner W., Schüpbach B., Spiess E., Vonarburg U.-P., Walter T. und Weisskopf P., 2003. Agrar-Umweltindikatoren: Machbarkeitsstudie für die Umsetzung in der Schweiz. Schriftenreihe der FAL 47.
- Gaillard G. und Nemecek T., 2002. Ökobilanzierung des Extensioanbaus von Getreide und Raps. Agrarforschung 9 (11–12), 490–495.

- Julien P., Niggli T. und Vorlet L., 2002. Beobachtungsperimeter ökologischer Massnahmen in der Landwirtschaft. Landwirtschaftliches Institut Grangeneuve und Amt für Umweltschutz des Kantons Fribourg.
- Prasuhn V. und Braun M., 1994. Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. Schriftenreihe der Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC) Liebefeld-Bern Nr. 17.
- Prasuhn V., Herzog F., Schärer M., Frossard E., Flühler H., Flury C. und Zraggen K., 2004. Stoffflüsse im Greifenseegebiet: Phosphor und Stickstoff. *Agrarforschung* 11 (10), 440–445.
- Prasuhn V. und Mohni R., 2003. GIS-gestützte Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. Interner Bericht. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz. 223 S. www.reckenholz.ch/doc/de/forsch/umwelt/wasser/wasser.html
- Richner W., Anken T., Dubois D., Keck M., Lüscher A., Neftel A., Prasuhn V., Weisskopf P., Vullioud P. und Zihlmann U., 2003. Forschungsperspektiven für das Stickstoffmanagement in der Landwirtschaft. Schriftenreihe der FAL 43, 65–70.
- UN, 1997. Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der vereinten Nationen über Klimaänderungen. New York, United Nations.
- Zraggen K., Flury C., Gotsch N. und Rieder P., 2004. Gestaltung der Landnutzung in der Region Greifensee. *Agrarforschung* 11 (10), 470–477.