

# Einfluss der Ökologisierung in der Landwirtschaft auf den Nitratgehalt des Grundwassers

Ernst Spiess und Volker Prasuhn

Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), CH-8046 Zürich

## Zusammenfassung

Im Rahmen der Evaluation der Ökomassnahmen in der Landwirtschaft wurde die zeitliche Entwicklung der Nitratgehalte von Trinkwasserfassungen im Kanton Bern verfolgt. Das vom Bundesamt für Landwirtschaft gesetzte Ziel einer Reduktion um 5 mg NO<sub>3</sub>/l zwischen 1990-92 und 2005 wurde vermutlich nur im Mittelland und in den Voralpen erreicht, nicht aber im Kanton als Ganzes. Eine Abschätzung mit dem Stoffflussmodell MODIFFUS zeigt, dass der Rückgang der Getreide- und der Kartoffelfläche, der geringere N-Düngereinsatz im Ackerbau sowie der vermehrte Anbau von Zwischenkulturen am meisten zur Verringerung der Nitratauswaschung beigetragen haben. Über die Hälfte der Reduktion dürfte eine Folge der 1993 eingeführten Ökomassnahmen sein.

## Abstract: Impact of ecological measures in agriculture on nitrate contents of groundwater

A survey of nitrate contents of groundwater in the canton of Berne has been carried out within the framework of the evaluation of ecological measures in Swiss agriculture. The goal of the Swiss Federal Office for Agriculture of an average reduction by 5 mg NO<sub>3</sub>/l between the period of 1990/92 and 2005 is likely to be reached only in the Bernese Central Plain and in the Prealps, but not in the canton of Berne as a whole. An assessment made with the substance flow model MODIFFUS shows that decreasing surfaces of cereals and potatoes, lower inputs of N fertilizers in arable land and a larger proportion of catch crops contributed most to the reduction in nitrate leaching. It is suggested that more than half of the reduction is a result of the ecological measures introduced in 1993.

**Keywords:** nitrate, leaching, groundwater

## 1. Einleitung

In der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts kam es infolge der Intensivierung in der Landwirtschaft zu einem starken Anstieg der Nitratgehalte im Grundwasser (BUWAL 1993). Dieser führte dazu, dass der Nitratgehalt des Trinkwassers in den achtziger Jahren an vielen Orten über dem Anforderungswert der Gewässerschutzverordnung von 25 mg NO<sub>3</sub>/l lag. Bei einigen Wasserfassungen wurde auch der in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung festgelegte Toleranzwert für Trinkwasser von 40 mg NO<sub>3</sub>/l überschritten. Mit den 1993 eingeführten Direktzahlungen und den damit verbundenen Ökomassnahmen hat sich das Bundesamt für Landwirtschaft unter anderem zum Ziel gesetzt, den Nitratgehalt des Grundwassers um durchschnittlich 5 mg NO<sub>3</sub>/l zu reduzieren. Dies soll an ausgewählten, insgesamt repräsentativen Fassungen zwischen den Referenzjahren 1990-92 und dem Jahr 2005 beobachtet werden (FORNI et al. 1999).

Zum Bezug von allgemeinen Direktzahlungen ist berechtigt, wer den ökologischen Leistungsnachweis erfüllt. Dieser beinhaltet unter anderem eine ausgeglichene Stickstoffbilanz, eine gezielte Fruchfolge, einen angemessenen Anteil

an ökologischen Ausgleichsflächen und einen geeigneten Bodenschutz. Ökobeiträge werden auch für verschiedene Typen von ökologischen Ausgleichsflächen, den extensiven Anbau von Getreide und Raps sowie für den Biolandbau ausgerichtet.

Im Rahmen der Evaluation der Ökomassnahmen, die aufgrund der Nachhaltigkeitsverordnung durchzuführen ist, wurde in drei Projekten untersucht (HERZOG und RICHNER 2005), ob das oben genannte Ziel erreicht wird. Nachfolgend werden Resultate aus dem Projekt "Nitratauswaschung im Kanton Bern" vorgestellt, in dem a) die zeitliche Entwicklung der Nitratgehalte von Trinkwasserfassungen verfolgt (Nitratdatenreihe) und b) der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Reduktion der Nitratauswaschung mittels des Stoffflussmodells MODIFFUS (PRASUHN und MOHNI 2003) untersucht wird.

## 2. Material und Methoden

### a) Auswahl der Wasserfassungen und statistische Auswertung der Nitratdatenreihe

Zur Verfolgung der zeitlichen Entwicklung der Nitratgehalte von Trinkwasserfassungen im Kanton Bern wurden Nitratanalysen ausgewertet,

die im Kantonalen Laboratorium im Rahmen der Trinkwasserkontrolle durchgeführt worden waren. Analysen von Probenahmestellen, welche Mischwasser enthielten und deshalb nicht einer einzelnen Wasserfassung zugeordnet werden konnten, wurden ausgeschieden. Zudem wurden nur Fassungen berücksichtigt, von denen in den Perioden 1990-92, 1993-95, 1996-98, 1999-2001 und 2002-04 mindestens je eine Nitratanalyse vorhanden war. Einige Fassungen, welche in der Untersuchungsperiode infolge zu hoher Nitratgehalte oder anderer Gründe abgestellt worden waren und deren Wasser nicht mehr analysiert wurde, wurden nicht einbezogen.

Die ausgewählten Wasserfassungen wurden einer der vier Regionen Alpen, Voralpen, Mittelland und Jura zugeordnet und aufgrund der Bodennutzung im vermuteten oberirdischen Einzugsgebiet in zwei Nutzungskategorien eingeteilt: Die Kategorie "Landwirtschaft" umfasst 182 Wasserfassungen, deren Einzugsgebiet vollständig oder teilweise landwirtschaftlich genutzt wird. Im Gegensatz dazu setzt sich das Einzugsgebiet der 41 Wasserfassungen in der Kategorie "Wald" ausschliesslich aus Wald und unproduktiven Flächen zusammen. Bei letzteren Wasserfassungen soll geprüft werden, ob der Verlauf des Nitratgehaltes in der Untersuchungsperiode ähnlich war wie bei den Fassungen in Gebieten mit landwirtschaftlicher Bewirtschaftung.

Für die statistische Auswertung wurde für jede Fassung eine lineare Regression vom Jahresmittel des Nitratgehaltes auf das Jahr berechnet. Der Regressionskoeffizient gibt an, wie stark der Nitratgehalt pro Jahr zu- oder abnimmt. Mit Hilfe eines t-Tests gegen 0 mg NO<sub>3</sub>/l und Jahr wurde für jede Nutzungskategorie geprüft, ob eine allfällige Abnahme des Nitratgehaltes signifikant oder nur zufällig ist. Ein zweiter t-Test gegen -0,36 mg NO<sub>3</sub>/l und Jahr zeigte, ob das Ziel einer Reduktion des Nitratgehaltes um 5 mg NO<sub>3</sub>/l bis 2005 erreicht werden konnte, wenn der Trend des Nitratgehaltes gleich blieb wie zwischen 1990 und 2004. Eine Abnahme um 0,36 mg NO<sub>3</sub>/l und Jahr entspricht dem Ziel einer Reduktion von 5 mg NO<sub>3</sub>/l in 14 Jahren. Zuletzt wurde mit einer einfachen Varianzanalyse abgeklärt, ob bei den beiden Kategorien "Landwirtschaft" und "Wald" eine unterschiedliche Entwicklung der Nitratgehalte beobachtet werden kann.

### **b) Stoffflussmodell MODIFFUS**

MODIFFUS ist ein Modell zur Abschätzung der diffusen Einträge von Stickstoff und Phosphor in die Gewässer und wurde detailliert in PRASUHN und MOHNI (2003) beschrieben. Für die vorliegende Arbeit wurden nur die Module "Wasserhaushalt" und "Nitratauswaschung" von MODIFFUS verwendet (SPIESS und PRASUHN 2006). Das Modell beruht auf diversen naturräumlichen, klimatischen, pedologischen und landwirtschaft-

lichen Eingangsdaten, welche mittels eines geographischen Informationssystems miteinander verknüpft wurden. Als räumliche Einheit dienten Rasterzellen von einer Hektare Grösse.

Für die beiden Berechnungsjahre 1990 und 1999 lagen von den Flächendaten nur für die Ackerkulturen unterschiedliche Datensätze aus der landwirtschaftlichen Betriebszählung vor. Die Erhebungen der Arealstatistik 1992/97 wurden im Kanton Bern in den Jahren 1992 bis 1994 durchgeführt. Da keine neueren Daten existieren, konnten Änderungen in der Landnutzung deshalb nur beim Ackerland berücksichtigt werden.

In einem ersten Schritt wurden die Wasserflüsse für jede Rasterzelle mit MODIFFUS berechnet. Die Sickerwassermenge ergab sich aus der Differenz zwischen dem Niederschlag einerseits und der Evapotranspiration, dem Oberflächenabfluss und dem Drainageabfluss andererseits. Infolge der Verwendung von langjährigen Mittelwerten wurde für 1990 und 1999 mit den gleichen Sickerwassermengen gerechnet.

In einem zweiten Schritt erfolgte die Berechnung der ausgewaschenen Nitratmenge. Ein nutzungsspezifischer Ausgangswert für die Nitratauswaschung wurde mit den in PRASUHN und MOHNI (2003) beschriebenen Korrekturfaktoren für Unterschiede in der Sickerwassermenge, der Höhenlage, des Bodens, der Hofdüngermenge, der Denitrifikation und der Drainage verrechnet.

Bei Wald und unproduktiver Vegetation wurde für das Jahr 1999 ein Auswaschungsausgangswert von 9,0 kg N/ha verwendet. 1990 war die N-Deposition gesamtschweizerisch rund 3 kg/ha höher als 1999. Unter der Annahme, dass 10% der aus der Luft abgelagerten N-Menge ausgewaschen werden, wurde der Auswaschungsausgangswert für 1990 um 0,3 kg N/ha erhöht. Bei Grasland (Naturwiesen, Heimweiden, alpwirtschaftliche Nutzflächen) und Obstbau wurde angenommen, dass die Höhe der N-Düngung im Bereich von 70 bis 130% der Düngungsnorm keinen Einfluss auf die Nitratauswaschung hat; deshalb wurde für 1990 und 1999 mit dem gleichen Ausgangswert von 13 kg N/ha gerechnet. Für die extensiv und wenig intensiv genutzten Ökowiesen wurde dieser Wert um 20% reduziert. Im Ackerbau wurde für jeden der über 10'000 Landwirtschaftsbetriebe je eine Fruchtfolge für 1990 und 1999 aufgrund der Flächenanteile der einzelnen Kulturen in diesen Jahren nach der von K. Grünig in PRASUHN und MOHNI (2003) beschriebenen Methode konstruiert. Für jede Kulturskombination (Vorkultur – Nachkultur) wurde zusätzlich festgelegt, ob eine Zwischenkultur möglich und praxisüblich ist. Die Zwischenkulturläche des gesamten Kantons wurde aufgrund der verkauften Saatgutmengen und der empfohlenen Saatmenge pro Hektare geschätzt. Vielen der rund 500 möglichen Kulturskombinationen (mit oder ohne Zwischenkultur) konnte in

einer Datenbank für das Jahr 1999 ein aus in- und ausländischen Lysimeterversuchen abgeleiteter, durchschnittlicher Nitratauswaschungswert zugeordnet werden, der überwiegende Teil musste jedoch anhand von Analogieschlüssen abgeschätzt werden. Die Fruchtfolgen aller Betriebe wurden mit dieser Datenbank verknüpft. Dadurch erhielt jede Kulturmischung in der Fruchfolge einen Nitratauswaschungswert. Bei allen Kulturmischungen mit Extensogetreide oder -raps als Vorkultur wurde der Ausgangswert um 5% reduziert. Dieser Wert wurde aus Lysimeterversuchen von NIEVERGELT (2002) abgeleitet.

1990 wurden gesamtschweizerisch 30% mehr Stickstoff mit Mineraldüngern und 8% mehr mit Hofdüngern ausgebracht als 1999 und die N-Deposition war im Mittel 3 kg/ha höher (SPIESS 2005). Es wurde angenommen, dass 10% des zusätzlichen mineralischen Stickstoffs und 15% des organischen Stickstoffs ausgewaschen wurden. Da die Werte für den Mineraldünger-

verbrauch und die N-Deposition nur für die gesamte Schweiz vorlagen, konnte keine regionale Differenzierung vorgenommen werden.

### 3. Resultate und Diskussion

#### a) Aktuelle Nitratgehalte und zeitliche Entwicklung

In der Periode 2002-04 betrug der Nitratgehalt der 182 Wasserfassungen, deren Einzugsgebiet mindestens zu einem Teil oder ausschliesslich landwirtschaftlich genutzt wird, im Durchschnitt 16,5 mg NO<sub>3</sub>/l (Tab. 1). Im Mittelland lag er mit 24,4 mg NO<sub>3</sub>/l über, im Jura und insbesondere in den Alpen dagegen mit 7,9 bzw. 2,6 mg NO<sub>3</sub>/l deutlich unter dem Durchschnitt. Bei den 41 Fassungen mit bewaldeten und vegetationslosen Flächen im Einzugsgebiet betrug der durchschnittliche Nitratgehalt 6,9 mg NO<sub>3</sub>/l und die Unterschiede zwischen den Regionen fielen weit geringer aus.

Tab. 1: Durchschnittliche Nitratgehalte der Wasserfassungen mit bzw. ohne landwirtschaftlichen Einfluss im Einzugsgebiet.

Kategorie Region	Anzahl Fassungen	Nitratgehalt (mg NO <sub>3</sub> /l)					
		1990-1992	1993-1995	1996-1998	1999-2001	2002-2004	Differenz <sup>1)</sup>
<i>Landwirtschaft</i>	182	19,7	20,2	18,7	17,8	16,5	-3,2
Alpen	39	2.3	2.5	2.6	2.3	2.6	0.3
Voralpen	53	20.6	20.8	18.7	17.3	16.2	-4.4
Mittelland	81	28.8	29.6	27.6	26.7	24.4	-4.4
Jura	9	9.0	8.9	9.1	7.9	7.9	-1.1
<i>Wald</i>	41	7.0	7.2	7.2	6.8	6.9	-0.1
Alpen	16	2.9	2.8	2.8	2.7	3.0	0.1
Voralpen	10	10.8	11.1	11.1	10.2	9.9	-0.9
Mittelland	13	9.8	10.3	10.0	9.5	9.9	0.1
Jura	2	2.9	2.7	4.8	4.6	4.4	1.5

<sup>1)</sup> Differenz zwischen den Perioden 2002-04 und 1990-92

Bei den Fassungen mit landwirtschaftlich genutztem Einzugsgebiet wurde im Mittelland in der Periode 2002-04 der Toleranzwert von 40 mg NO<sub>3</sub>/l bei zwei Fassungen und der Anforderungswert der Gewässerschutzverordnung von 25 mg NO<sub>3</sub>/l bei fast der Hälfte der Fassungen überschritten. In den Voralpen traten nur noch Überschreitungen des Anforderungswertes bei 10% der Fassungen auf. Im Jura und in den Alpen sowie bei der Nutzungskategorie «Wald» lagen die Mittelwerte bei allen Fassungen deutlich unter 25 mg NO<sub>3</sub>/l.

Zwischen den Perioden 1990-92 und 2002-04 hat der Nitratgehalt bei den Wasserfassungen mit landwirtschaftlich genutztem Einzugsgebiet im Mittel um 3,2 mg NO<sub>3</sub>/l abgenommen (Tab. 1). Während zwischen 1990-92 und 1993-95 noch ein leichter Anstieg beobachtet wurde, konnte danach bis zur letzten Periode 2002-04 eine stärkere Abnahme verzeichnet werden. Im Mittelland

und in den Voralpen war der Rückgang über die ganze Untersuchungsperiode mit je 4.4 mg NO<sub>3</sub>/l am höchsten. In den Alpen und im Jura waren dagegen nur geringe Veränderungen festzustellen. Im Jura betrug der durchschnittliche Nitratgehalt in der Periode 1990-92 9 mg NO<sub>3</sub>/l; eine Zielerreichung dürfte hier deshalb sehr schwierig sein. In den Alpen lag der Ausgangswert von 1990-92 bei fast allen Fassungen schon unter 5 mg NO<sub>3</sub>/l. Somit ist eine Reduktion um 5 mg NO<sub>3</sub>/l unmöglich. Damit das Ziel für den gesamten Kanton Bern erreicht werden kann, muss deshalb der Nitratgehalt im Mittelland und in den Voralpen um mehr als 5 mg NO<sub>3</sub>/l zurückgehen. Bei der Nutzungskategorie «Wald» war gesamthaft nur eine geringfügige Abnahme um 0,1 mg NO<sub>3</sub>/l zu verzeichnen. Die durchschnittlichen Nitratgehalte waren bei diesen Fassungen allerdings weniger als halb so hoch als bei den Fassungen mit landwirtschaftlicher Nutzung im Einzugsgebiet.

Der t-Test der Regressionskoeffizienten gegen 0 mg NO<sub>3</sub>/l und Jahr ergab, dass nur die Abnahme des Nitratgehaltes der Nutzungskategorie "Landwirtschaft" im Mittelland und in den Voralpen signifikant ist ( $p < 0,001$ ; Abb. 1). Mit dem t-Test gegen -0,36 mg NO<sub>3</sub>/l und Jahr konnte festgestellt werden, dass bei gleich bleibendem Trend das Ziel einer Reduktion des Nitratgehaltes um 5 mg NO<sub>3</sub>/l in diesen beiden Regionen erreicht werden kann. Die einfache Varianzanalyse ergab, dass sich die beiden Nutzungskategorien "Landwirtschaft" und "Wald" ebenfalls nur in diesen beiden Regionen unterscheiden. Ein Unterschied weist darauf hin, dass die Abnahme des Nitratgehaltes auf Änderungen in der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zurückgeführt werden kann. Neben den Ökomass-

nahmen waren diese Änderungen auch durch weitere Einflussfaktoren bedingt: Geringere Produktpreise infolge veränderter agrarpolitischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen dürften an den Verschiebungen in den Kulturanteilen mitbeteiligt sein (z.B. Abnahme der Getreideproduktion). Die veränderten Ernährungsgewohnheiten haben zu einem sinkenden Fleischkonsum geführt, wodurch die Tierzahlen und damit der N-Anfall in den Hofdüngern abgenommen haben. Dank Leistungssteigerungen in der Landwirtschaft wie z.B. der höheren Milchleistung pro Kuh werden weniger Kühe zur Produktion der gleichen Milchmenge benötigt. Die einzelne Kuh scheidet zwar etwas mehr Stickstoff aus, durch die geringere Tierzahl sinkt aber gesamthaft der N-Anfall in den Hofdüngern.

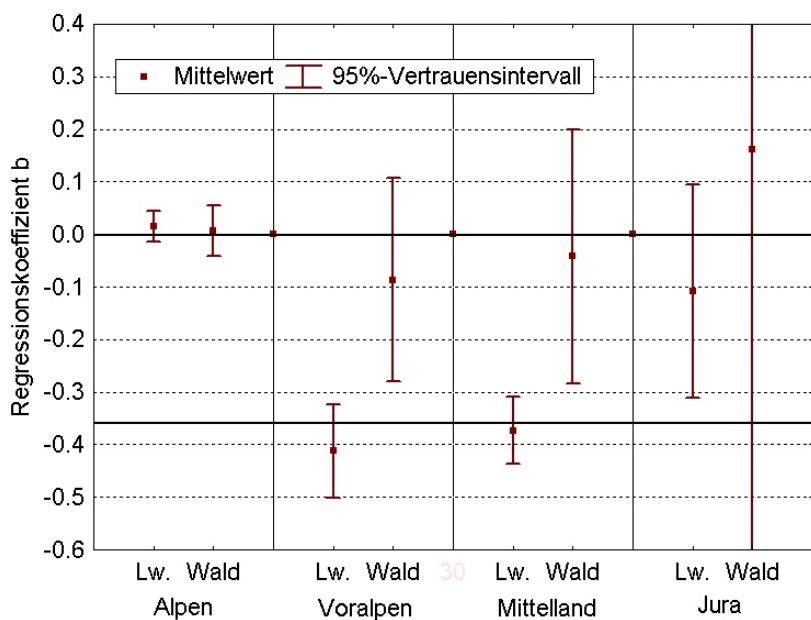


Abb. 1: Regressionskoeffizienten der einzelnen Gruppen von Fassungen (Lw. = Landwirtschaft). Die durchgezogene Linie bei 0 stellt den Zustand bei konstantem Nitratgehalt während der ganzen Periode dar, diejenige bei -0,36 die Zielgröße mit der Abnahme um 5 mg NO<sub>3</sub>/l in 14 Jahren. Wenn sich die Vertrauensintervalle zweier Verfahren nicht überschneiden, besteht ein signifikanter Unterschied.

Diese Einflussfaktoren haben dazu geführt, dass der N-Überschuss der schweizerischen Landwirtschaft schon seit 1980 rückläufig ist und bis 2000 von rund 152'000 t N um ein Viertel auf 113'000 t N abgenommen hat (SPIESS 2005). Als Folge davon müssen auch die N-Verluste beträchtlich abgenommen haben, weil eine grössere N-Anreicherung im Boden als einziger weiterer Senke unwahrscheinlich ist. Stickstoff geht hauptsächlich über die Ammoniakverflüchtigung, die Denitrifikation und die Nitratauswaschung verloren. Die Ammoniakverluste haben gesamtschweizerisch zwischen 1980 und 2000 etwa gleich stark abgenommen haben wie der N-Überschuss (MENZI et al. 1997, MENZI 2005), die Lachgasverluste dagegen bedeutend weniger (SCHMID et al. 2000, LEIFELD 2005). Somit müssten die Nitratverluste aus der Landwirtschaft

infolge des sinkenden N-Überschusses um mindestens ein Viertel zurückgegangen sein.

Bei der Interpretation der vorliegenden Resultate muss berücksichtigt werden, dass das im Boden versickernde Wasser im Durchschnitt mehrere Jahre benötigt, bis es in eine Wasserfassung gelangt. Die Auswirkungen der 1993 eingeführten Ökomassnahmen auf den Nitratgehalt des Trinkwassers können folglich erst mit einer Verzögerung von einigen Jahren festgestellt werden.

### b) Abschätzung mit MODIFFUS

Die Abschätzungen mit dem Stoffflussmodell MODIFFUS ergaben, dass eine bedeutende Reduktion der ausgewaschenen Nitratmenge zwischen 1990 und 1999 vor allem unter den Ackerflächen im Mittelland und in den Voralpen erreicht worden ist (Abb. 2).

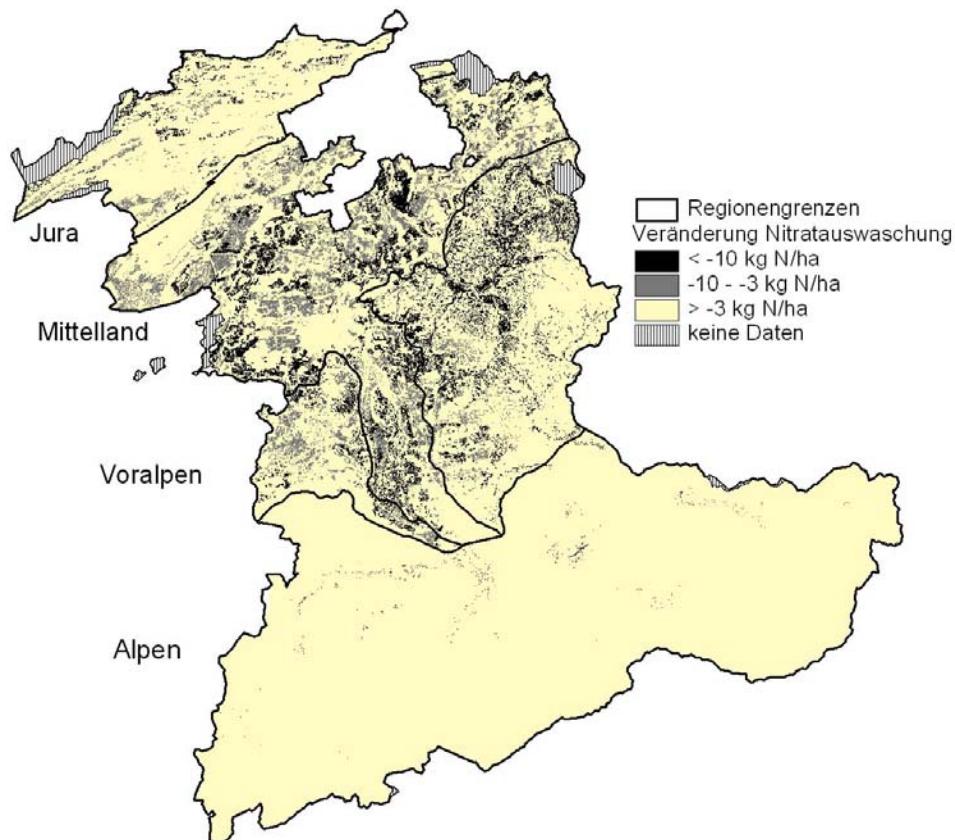


Abb. 2: Veränderung der mit MODIFFUS berechneten ausgewaschenen Nitratmengen im Kanton Bern zwischen 1990 und 1999 (in kg N/ha).

Fünf Einflussfaktoren (Tab. 2), welche sich zwischen 1990 und 1999 verändert haben, konnten in MODIFFUS berücksichtigt werden. Nach der Modellrechnung haben veränderte Kulturanteile im Ackerbau, der geringere Einsatz von N-Düngern im Ackerbau sowie der vermehrte Anbau von Zwischenkulturen am meisten zu den tieferen Nitratgehalten im Grundwasser beigetragen. Die Auswirkungen der restlichen Faktoren waren dagegen gering. Insgesamt dürfte über die Hälfte der 12-prozentigen Reduktion der Nitratauswaschung zwischen 1990 und 1999 eine Folge der verschiedenen Ökomassnahmen sein.

Tab. 2: Geschätzte Reduktion der Nitratauswaschung zwischen 1990 und 1999 durch verschiedene Einflussfaktoren (in % der 1990 ausgewaschenen N-Menge).

Einflussfaktor	Beitrag
veränderte Kulturanteile im Ackerbau	4%
geringerer N-Düngereinsatz im Ackerbau	4%
davon bei Extensogetreide und -raps	1%
vermehrter Anbau von Zwischenkulturen	3%
geringere N-Deposition	1%
Extensivierung im Futterbau	< 1%
<b>Total</b>	<b>12%</b>

➤ Veränderung der Kulturanteile im Ackerbau  
Während die Ackerfläche zwischen 1990 und 1999 nahezu konstant blieb, traten bei einzelnen

Kulturen zum Teil grosse Flächenänderungen auf. Bezogen auf den gesamten Kanton verzeichneten das Getreide (- 16%) sowie die Kartoffeln (- 27%) bedeutende Abnahmen, Zunahmen wurden dagegen vor allem bei den Kunstwiesen (+ 18%) und den Rüben (+ 32%) beobachtet. Die Nitratauswaschung wurde durch diese Entwicklung reduziert. Bei der Kartoffelernte wird der Boden intensiv bearbeitet und viel Sauerstoff gelangt in die oberste Bodenschicht. Dies fördert die N-Mineralisierung. Da im Spätherbst die N-Aufnahme durch die Nachkultur häufig gering ist, können hohe N-Verluste entstehen. Dies ist zum Beispiel bei Wintergetreide nicht nur nach Kartoffeln, sondern auch nach dem Umbruch einer Kunstwiese der Fall. Zuckerrüben dagegen nehmen bis spät in den Herbst Stickstoff auf und hinterlassen nach der Ernte geringe  $N_{min}$ -Mengen im Boden. Die grössere Kunstwiesenfläche dürfte die bedeutendste Auswirkung auf die Nitratauswaschung gehabt haben. Durch den dauernden Bodenbewuchs wird wenig Nitrat ausgewaschen. Zu grösseren Verlusten kommt es erst nach dem Umbruch der Kunstwiese.

➤ Geringerer N-Düngereinsatz im Ackerbau  
Lysimeterversuche zeigen, dass die Nitratauswaschung unter Ackerkulturen mit steigender N-Düngung zunimmt (NIEVERGELT 2002, STAUFFER und SPIESS 2005). Durch die Suisse-Bilanz

wird die Höhe der N-Düngung begrenzt. Seit der Einführung der Ökomassnahmen hat deshalb der Einsatz von N-Mineraldüngern (- 23% in der Schweiz zwischen 1990 und 1999) und die Hofdüngermenge (- 9% im Kanton Bern) weiter abgenommen. In den Voralpen und im Mittelland war der Rückgang im Hofdüngeranfall überdurchschnittlich hoch.

➤ **Vermehrter Anbau von Zwischenkulturen**

Die Fläche mit Zwischenkulturen war 1990 mit 12'636 ha und 1999 mit 12'864 ha fast gleich gross. Da aber die Fläche der im Frühjahr gesäten Kulturen, vor denen Zwischenkulturen normalerweise angebaut werden, abnahm, war dies mit weniger Winterbrache und einer geringeren Nitratauswaschung verbunden. Dies ist vermutlich zu einem grossen Teil auf die Einführung des Bodenschutzindex zurückzuführen.

➤ **Geringere N-Deposition**

Die N-Deposition aus der Luft geht seit 1980 kontinuierlich zurück, weil die Tierbestände und die damit verbundenen Ammoniakverluste abgenommen haben und die Stickoxid-Emissionen aus Verkehr und Industrie reduziert werden konnten. Dadurch verminderte sich der atmosphärische N-Eintrag in den Boden.

➤ **Extensivierung im Futterbau**

Durch die Förderung der Ökologischen Ausgleichsflächen wird auf vielen Wiesen weniger oder kein N-Dünger ausgebracht. Dies dürfte mit einer geringeren Nitratauswaschung verbunden sein, wobei die Reduktion pro Flächeneinheit vermutlich wesentlich geringer ausfällt als bei der Extensivierung im Ackerbau.

## 4. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich somit folgendes festhalten:

- Die Nitratgehalte haben im Kanton Bern zwischen den Referenzjahren 1990-92 und dem Jahr 2004 um durchschnittlich 3,2 mg NO<sub>3</sub>/l abgenommen. Die Abnahme war mit je 4,4 NO<sub>3</sub>/l im Mittelland und in den Voralpen am höchsten. Das Ziel einer Reduktion um 5 mg NO<sub>3</sub>/l bis 2005 wurde vermutlich nur in diesen beiden Regionen erreicht, nicht aber im Kanton Bern als Ganzes.
- Im Mittelland und in den Voralpen trug der Rückgang der Getreide- und der Kartoffelfläche, der grösstenteils durch den vermehrten Anbau von Kunstwiesen und Rüben kompensiert wurde, wesentlich zur Verminderung der Nitratauswaschung bei.
- Neben der Veränderung der Kulturanteile haben der geringere N-Düngereinsatz im Ackerbau sowie der vermehrte Anbau von Zwischenkulturen am meisten zur Verringerung der Nitratgehalte im Grundwasser beigetragen.

## 5. Literatur

- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (1993): Situation der Trinkwasserversorgung. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 212. Bern, 128 S.
- FORNI D., GUJER H.U., NYFFENEGGER L., VOGEL S. und GANTNER U. (1999): Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme. Agrarforschung 6, 107-110.
- Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (1995): Verordnung des EDI über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln. SR 817.021.23.
- Gewässerschutzverordnung (1998). SR 814.201.
- HERZOG F und RICHNER W. (Hrsg.) (2005): Evaluation der Ökomassnahmen – Bereich Stickstoff und Phosphor. Schriftenreihe der FAL Nr. 57, 132 S.
- LEIFELD J. (2005): Lachgas-Emissionen aus der Schweizer Landwirtschaft. Schriftenreihe der FAL Nr. 57, 66-69.
- MENZI H. (2005): Ammoniak-Emissionen aus der Schweizer Landwirtschaft. Schriftenreihe der FAL Nr. 57, 59-65.
- MENZI H., FRICK R. und KAUFMANN R. (1997): Ammoniak-Emissionen in der Schweiz: Ausmass und technische Beurteilung des Reduktionspotentials. Schriftenreihe der FAL Nr. 26, 107 S.
- Nachhaltigkeitsverordnung (1998): Verordnung über die Beurteilung der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft. SR 919.118.
- NIEVERGELT J. (2002): Nitrat und Fruchfolgen 20 Jahre lang beobachtet. Agrarforschung 9, 28-33.
- PRASUHN V. und MOHNI R. (2003): GIS-gestützte Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Zürich-Reckenholz, 223 S. [www.reckenholz.ch/doc/de/forsch/umwelt/wasser/wasser.html](http://www.reckenholz.ch/doc/de/forsch/umwelt/wasser/wasser.html); 10.01.07.
- SCHMID M., NEFTEL A. und FUHRER J. (2000): Lachgasemissionen aus der Schweizer Landwirtschaft. Schriftenreihe der FAL Nr. 33, 131 S.
- SPIESS E. (2005): Stickstoffbilanz. Schriftenreihe der FAL Nr. 57, 24-29.
- SPIESS E. und PRASUHN V. (2006): Weniger Nitrat im Grundwasser dank Ökomassnahmen. Agrarforschung 13, 4-9.
- STAUFFER W. und SPIESS E. (2005): Einfluss unterschiedlicher Nutzung und Düngung auf Sickerwassermenge und Nitratauswaschung. In: Gebietsbilanzen bei unterschiedlicher Landnutzung. Bericht über die 11. Gumpensteiner Lysimetertagung, Irdning, 213-215.