

Umwelt

Weniger Nitrat im Grundwasser dank Ökomassnahmen

Ernst Spiess und Volker Prasuhn, Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich

Auskünfte: Ernst Spiess, E-mail: ernst.spiess@fal.admin.ch, Fax +41 (0)44 377 72 01, Tel. +41 (0)44 377 73 49

Zusammenfassung

Der Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf den Nitratgehalt des Grundwassers wurde im Kanton Bern mit Hilfe des Stofffluss-Modells MODIFFUS untersucht. Zwischen 1990 und 1999 nahm der durchschnittliche Gehalt um 12 % ab, wobei der Rückgang je nach Region unterschiedlich hoch ausfiel. Die Resultate der Modellrechnungen zeigten teilweise eine gute Übereinstimmung mit einer Reihe von Messwerten aus Grundwasser-Fassungen. Der vermehrte Anbau von Kulturen mit geringer Nitratauswaschung und von Zwischenkulturen sowie der geringere Stickstoff-Düngereinsatz im Ackerbau haben am meisten zur Verringerung der Nitratgehalte beigetragen. Über die Hälfte der Reduktion dürfte eine Folge dieser 1993 eingeführten Ökomassnahmen sein.

Der durchschnittliche Gehalt des Grundwassers an Nitrat (NO_3^-) hat in der Schweiz seit Mitte der neunziger Jahre um rund 4 mg/l abgenommen (BUWAL und BWG 2004; Murali und Cornaz 2005). Während der Nitratgehalt bei der Mehrheit der Grundwasserfassungen eine sinkende Tendenz aufweist, ist er bei einigen Fassungen konstant oder steigt sogar an. Im Kanton Bern beobachtete Spiess (2004) die gleiche Entwicklung bei Grundwasserfassungen mit landwirtschaftlicher Bewirtschaftung im Einzugsgebiet. Der Nitratgehalt nahm hier zwischen den Perioden 1990 bis

1992 und 1999 bis 2001 im Mittel um 9 % auf 17,9 mg/l ab. Die höchsten Gehalte waren jedoch in der Periode 1993 bis 1995 zu verzeichnen. Trotz der Abnahme um 1,8 mg/l dürfte das vom Bundesamt für Landwirtschaft angestrebte Ziel, den Nitratgehalt des Grundwassers zwischen den Referenzjahren 1990 bis 1992 und dem Jahr 2005 um durchschnittlich 5 mg/l zu reduzieren (Forni *et al.* 1999), kaum erreicht werden.

Die Untersuchungen aus dem Kanton Bern zeigen, dass die Höhe des Nitratgehalts je nach geographischer Region stark schwankt. In den Alpen und grösstenteils auch im Jura weist das Grundwasser seit jeher niedrige Nitratgehalte auf. Daher besteht in den Alpen auch kaum ein Reduktionspotenzial und im Jura nur ein geringes (Prasuhn *et al.* 1997). Die Voralpen und vor allem das Mittelland sind dagegen landwirtschaftlich intensiv genutzte Regionen mit deutlich höheren Nitratgehalten (Abb.1). Eine Verminderung der Nitratauswaschung sollte deshalb vor allem in diesen Regionen erfolgen.

Nachfolgend werden Modellrechnungen vorgestellt, mit denen der Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf den Nitratgehalt des Grundwassers untersucht worden ist. Dazu wurde der durchschnittliche Nitratgehalt des Sickerwassers in den vier geographischen Regionen des Kantons Bern mit Hilfe des Stofffluss-Modells MODIFFUS für 1990 und 1999 geschätzt. Anschliessend wurde der Schätzwert mit dem Mittelwert verglichen, der aus den Messwerten von 263 Grundwasserfassungen einer Nitratdatenreihe (Spiess 2004) abgeleitet wurde.

Stofffluss-Modell MODIFFUS

MODIFFUS ist ein Modell zur Abschätzung der diffusen Einträge von Stickstoff (N) 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. Das Modell beruht auf diversen naturräumlichen, klimatischen, pedologischen und landwirtschaftlichen Eingangsdaten, welche mittels eines geographischen Informationssystems miteinander verknüpft wurden. Als räumliche Einheit dienen Rasterzellen von einer Hektare Grösse.

Für die beiden Berechnungsjahre 1990 und 1999 lagen von den Grundlagendaten nur für die Ackerkulturen und die Tierzahlen unterschiedliche Datensätze aus der landwirtschaftlichen

Abb. 1. Das Berner Mittelland ist eine landwirtschaftlich intensiv genutzte Region mit deutlich höheren Nitratgehalten als die Alpen und der Jura. (Foto: Ernst Spiess, Agroscope FAL Reckenholz)



Betriebszählung vor. Die Daten für die Arealstatistik 1992/97 wurden im Kanton Bern in den Jahren 1992 bis 1994 erhoben. Da keine neueren Daten existieren, konnten Änderungen in der Landnutzung nur beim Ackerland berücksichtigt werden. Ein Vergleich der Arealstatistiken 1979/85 sowie 1992/97 zeigt jedoch, dass der Wald und besonders die Siedlungsfläche innerhalb von einem Jahrzehnt stark auf Kosten der acker- und futterbaulich genutzten Flächen zugenommen haben. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Entwicklung bis heute fortsetzt. Da oftmals Äcker überbaut werden, die gesamte Ackerfläche gemäss landwirtschaftlicher Betriebszählung jedoch zwischen 1990 und 1999 konstant geblieben ist, muss die überbaute Ackerfläche durch die Umwandlung von Dauergrünland in Ackerflächen kompensiert worden sein (Prasuhn und Mohni 2003). Durch den Umbruch von Naturwiesen, die im Allgemeinen einen bedeutend höheren Humusgehalt aufweisen als Ackerland, dürften grössere Nitratmengen freigesetzt worden sein.

Berechnung der Nitratauswaschung

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 wurden für 1990 und 1999 die gleichen Sickerwassermengen verwendet.

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 Unter-

schiede 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 Ausgangswert 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 Ausgangswert für 1990 um 0,3 kg N/ha erhöht. Bei Grasland (Naturwiesen, Heimweiden, alpwirtschaftliche Nutzflächen) und Obstbau wurde für 1990 und 1999 angenommen, dass die Höhe der N-Düngung im Bereich von 70 bis 130 % der Düngungsnorm keinen Einfluss auf die Nitratauswaschung hat; deshalb wurde 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 Kaspar Grünig in Prasuhn und Mohni (2003) beschriebenen Methode konstruiert. Für jede Kulturkombination (Vorkultur – Nachkultur) wurde zusätzlich festgelegt, ob

eine Zwischenkultur möglich und praxisüblich ist. Die Summe dieser Flächen ergab die potenzielle maximale Zwischenkulturfläche des gesamten Kantons. Die tatsächliche Fläche mit Zwischenkulturen wurde aufgrund der verkauften Saatgutmengen und der empfohlenen Saatmenge pro Hektare geschätzt. Für das Jahr 1990 konnte diese Schätzung mit dem Wert der landwirtschaftlichen Betriebszählung verglichen werden, bei welcher die Zwischenkulturfläche nur in diesem Jahr erhoben wurde, was eine gute Übereinstimmung ergab. Anschliessend wurden die einzelbetrieblichen potenziellen Zwischenkulturflächen aufgrund des Verhältnisses zwischen tatsächlicher und potenzieller Fläche im gesamten Kanton reduziert.

Vielen der rund 500 möglichen Kulturkombinationen (mit oder ohne Zwischenkultur) konnte in einer Datenbank für das Jahr 1999 ein aus in- und ausländischen Lysimeterversuchen abgeleiteter, durchschnittlicher Nitrat-Auswaschungswert zugeordnet werden, der überwiegende Teil musste jedoch anhand von Analogieschlüssen abgeschätzt werden. Die Fruchtfolgen aller Betriebe wurden mit dieser Datenbank verknüpft. Dadurch erhielt jede Kulturkombination in der Fruchtfolge einen Nitratauswaschungswert. Bei allen Kulturkombinationen mit Extensogetreide oder -raps als Vorkultur

Tab. 1. Fläche, Niederschlags- und Sickerwassermenge, ausgewaschene Nitratmenge und durchschnittlicher Nitratgehalt des Sickerwassers in den vier Regionen des Kantons Bern 1999

Region	Fläche ha	Niederschlag mm	Sickerwasser:			
			Wassermenge mm	Mio. m ³	Nitratmenge t N	Nitratgehalt mg NO ₃ -/l
Alpen	272'753	1'823	820	2'238	1'259	2,5
Voralpen	120'085	1'376	749	900	1'691	8,3
Mittelland	127'955	1'127	457	584	2'832	21,5
Jura	52'755	1'504	924	487	590	5,4
Total ¹⁾	573'548	1'545	734	4'209	6'372	6,7

¹⁾ Einige Randgebiete mit einer Gesamtfläche von ca. 20'000 ha fehlen in den Berechnungen.

Tab. 2. Vergleich der berechneten (MODIFFUS) mit den gemessenen Nitratgehalten (Nitratdatenreihe) in den vier Regionen des Kantons Bern

Region	MODIFFUS			Nitratdatenreihe*			
	1990 mg NO ₃ /l	1999 mg NO ₃ /l	Differenz	1990-92 mg NO ₃ /l	1999-01 mg NO ₃ /l	Differenz	Anzahl Fassungen
Alpen	2,6	2,5	-3 %	2,5	2,6	1 %	64
Voralpen	9,8	8,3	-16 %	19,6	16,9	-14 %	76
Mittelland	24,7	21,5	-14 %	25,8	24,1	-7 %	109
Jura	5,9	5,4	-10 %	7,5	7,4	-1 %	14
Total	7,6	6,7	-12 %	17,4	15,9	-9 %	263

*Spiess 2004

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

Unterschiede zwischen Alpen und Mittelland

Mehr als die Hälfte der Sickerwassermenge des gesamten Kantons fiel infolge des hohen Niederschlags und des grossen Flächenanteils in den Alpen an (Tab. 1). Am meisten Sickerwasser pro Flächeneinheit war dagegen im Jura zu verzeichnen. Dort fiel zwar weniger Niederschlag als in den Alpen, wegen dem kleineren Anteil mit vegetationslosen Flächen entstand aber viel weniger Oberflächenabfluss.

1999 waren im Mittelland die ausgewaschene Nitratmenge und der durchschnittliche Nitratgehalt des Sickerwassers infolge des hohen Ackeranteils am höch-

sten. Mit 21,5 mg NO₃/l war der Nitratgehalt dort mehr als doppelt so hoch wie in den Voralpen. Die Alpen wiesen mit 2,5 mg NO₃/l den geringsten Nitratgehalt auf. Einerseits machen hier die Äcker weniger als ein Prozent der gesamten Fläche aus, andererseits wird das ausgewaschene Nitrat durch die hohen Niederschläge stark verdünnt.

Unterschiedlich stark sinkende Nitratgehalte

Gemäss der Modellrechnung mit MODIFFUS nahm der Nitratgehalt des Sickerwassers zwischen 1990 und 1999 in allen vier Regionen ab, wobei der Rückgang unterschiedlich stark ausfiel (Tab. 2, Abb. 2). Die geringste Abnahme war in den Alpen zu verzeichnen. Hier war jedoch der Nitratgehalt mit 2,6 mg NO₃/l schon 1990 sehr tief, so dass keine grössere Abnahme erwartet werden konnte. Im Mittelland fiel dagegen der Rückgang mit 14 % beziehungsweise 3,2 mg NO₃/l wesentlich höher aus. 1990 war hier der durchschnittliche Nitratgehalt gleich hoch wie die numerische Anforderung der Gewässerschutzverordnung von 25 mg NO₃/l. In den Voralpen ergab die Modellrechnung mit 16 % die grösste relative Abnahme.

Vergleich von MODIFFUS und Nitratdatenreihe

Der Vergleich der Resultate von MODIFFUS mit den Messwerten der Nitratdatenreihe (Spiess 2004) zeigt teilweise eine gute Übereinstimmung (Tab. 2). In den Alpen gibt es bei der relativen Abnahme eine grössere Abweichung zwischen dem berechneten und dem gemessenen Wert. In den Voralpen stimmen die relativen Abnahmen gut miteinander überein, die gemessenen Nitratgehalte sind dagegen doppelt so hoch wie diejenigen von MODIFFUS. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass viele der beprobten Grundwasserfassungen in Ge-

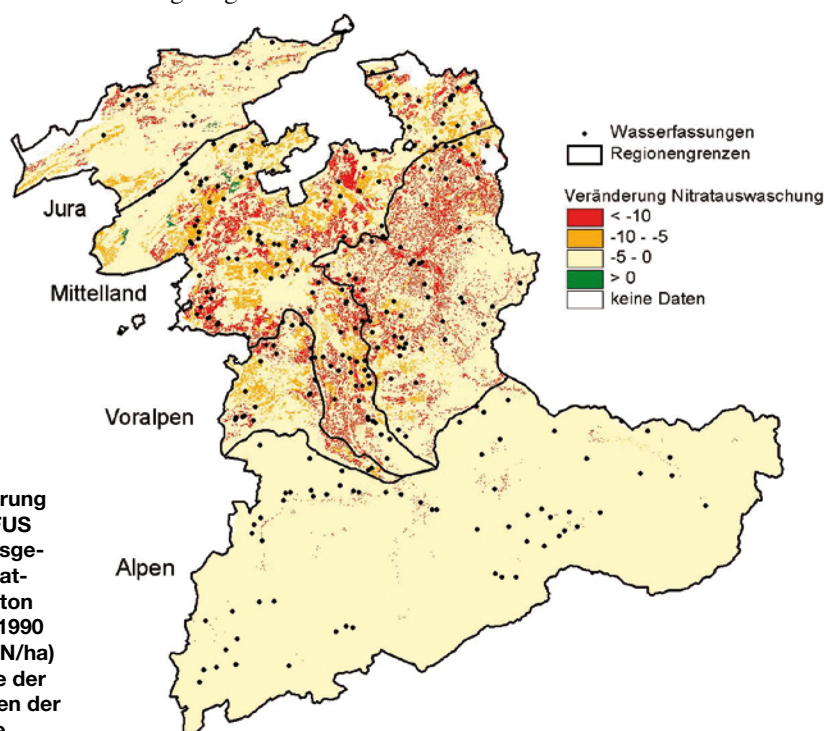


Abb. 2. Veränderung der mit MODIFFUS berechneten ausgewaschenen Nitratmengen im Kanton Bern zwischen 1990 und 1999 (in kg N/ha) sowie Standorte der Wasserfassungen der Nitratdatenreihe.

bieten mit intensiver landwirtschaftlicher Bewirtschaftung nahe der Grenze zum Mittelland lagen und nur wenige in den höher gelegenen Regionen mit viel Wald und extensiv bewirtschaftetem Grasland (Abb. 2). Im Mittelland und im Jura wiederum liegen die modellierten und die gemessenen Nitratgehalte in der gleichen Grössenordnung, die Abnahmen fallen aber bei der Nitratdatenreihe mit 7 % beziehungsweise 1 % wesentlich tiefer aus als bei MODIFFUS.

Beim Mittelwert für den gesamten Kanton Bern fallen die grossen Unterschiede bei den Nitratgehalten auf. Diese sind darauf zurückzuführen, dass bei der Modellrechnung die Sickerwassermenge der verschiedenen Regionen für die Mittelwertbildung berücksichtigt worden ist. In den Alpen erhielten die niedrigen Nitratgehalte eine starke Gewichtung durch die sehr hohe Sickerwassermenge. Im Mittelland dagegen, wo nur 14 % des Berner Grundwassers anfällt, erhielten die hohen Nitratgehalte eine geringe Gewichtung. Bei der Nitratdatenreihe trat gerade der umgekehrte Fall ein: Am meisten Trinkwasser wird im dicht besiedelten Mittelland verbraucht. Hier liegen nicht nur viele Wasserfassungen, sondern diese fördern auch grosse Wassermengen. In den Alpen ist dagegen der Wasserverbrauch viel niedriger und weniger Wasserfassungen als im Mittelland konnten in die Auswertung einbezogen werden.

Die relative Abnahme zwischen 1990 und 1999 fiel bei der Nitratdatenreihe im gesamten Kanton wie auch in allen vier Regionen geringer aus als bei MODIFFUS. Eine Ursache dafür könnte darin liegen, dass die bei der Umwandlung von Naturwiesen in Ackerland freigesetzten hohen Nitratmengen mit MODIFFUS nicht berechnet werden konnten, weil nicht

bekannt war, welche Fläche unter den Pflug genommen worden ist. Im Weiteren ist zu bedenken, dass das im Boden versickernde Wasser im Durchschnitt mehrere Jahre benötigt, bis es in eine Wasserfassung gelangt. Die Auswirkungen der zwischen 1990 und 1999 in der Landwirtschaft erreichten ökologischen Fortschritte auf den Nitratgehalt des Trinkwassers können folglich erst mit einer Verzögerung von einigen Jahren festgestellt werden. Somit ist davon auszugehen, dass der Nitratgehalt im Kanton Bern nach dem Jahr 1999 noch weiter abgenommen hat. Im gesamtschweizerischen Beobachtungsnetz NAQUA (BUWAL und BWG 2004) wurde zwischen 1999 bis 2001 und 2002 bis 2003 ein Rückgang um 2 mg NO₃/l beziehungsweise um rund 10 % festgestellt.

Ursachen der sinkenden Nitratgehalte

Fünf Einflussfaktoren (Tab. 3), welche sich zwischen 1990 und 1999 verändert haben, konnten

Tab. 3. Geschätzte Reduktion der Nitratenauswaschung zwischen 1990 und 1999 durch verschiedene Einflussfaktoren (in Prozent der 1990 ausgewaschenen N-Menge)

Einflussfaktor	Beitrag
andere 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 %
Total	12 %

in MODIFFUS berücksichtigt werden. Nach der Modellrechnung haben andere 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 Nitratenauswaschung zwischen 1990 und 1999 eine Folge der verschiedenen Ökomassnahmen sein. Auch Decrem *et al.* (2005)

Tab. 4. Flächen der Ackerkulturen in den vier Regionen des Kantons Bern 1990¹⁾ und 1999 gemäss Betriebszählung (in ha)

	Total	Alpen	Voralpen	Mittelland	Jura
<i>Fläche 1990:</i>					
Kunstwiesen	30'416	84	14'345	14'477	1'511
Wintergetreide	27'760	56	7'350	19'074	1'281
Sommergetreide	6'385	15	2'055	2'625	1'690
Zucker- und Futterrüben	3'558	5	337	3'181	35
Kartoffeln	6'988	16	2'181	4'708	83
Silo- und Körnermais	9'356	208	1'502	7'370	277
Übrige Kulturen	3'955	6	418	3'475	57
Total Ackerland	88'417	389	28'187	54'908	4'933
<i>Veränderung zwischen 1990 und 1999:</i>					
Kunstwiesen	5'555	613	2'706	969	1'268
Wintergetreide	-4'125	3	-1'361	-2'941	173
Sommergetreide	-1'294	-7	-639	127	-775
Zucker- und Futterrüben	1'138	-1	107	1'019	13
Kartoffeln	-1'921	-8	-968	-898	-45
Silo- und Körnermais	771	-53	443	348	33
Übrige Kulturen	637	-1	50	579	9
Total Ackerland	761	545	338	-798	676

¹⁾ ohne Laufental

kommen aufgrund von Untersuchungen in einem Einzugsgebiet im Kanton Zürich zum Schluss, dass die Ökomassnahmen eine Reduktion der Nitratauswaschung bewirkt haben. Für das Ackerland errechneten sie eine Reduktion von 30 % für denselben Zeitraum.

Einfluss der Kulturanteile im Ackerbau

Während die Ackerfläche zwischen 1990 und 1999 nahezu konstant blieb, traten bei einzelnen Kulturen zum Teil grosse Flächenänderungen auf (Tab. 4). Bezogen auf den gesamten Kanton verzeichneten die meisten Getreidearten sowie die Kartoffeln bedeutende Abnahmen, Zunahmen wurden dagegen vor allem bei den Kunstwiesen und den Rüben 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, da sie wahr-

scheinlich in vielen Fällen mit einem zusätzlichen Nutzungsjahr verbunden war. Durch den dauernden Bodenbewuchs wird wenig Nitrat ausgewaschen. Zu grösseren Verlusten kommt es erst nach dem Umbruch der Kunstwiese.

In den Alpen erfuhr die Ackerfläche zwischen 1990 und 1999 eine massive Zunahme von 389 auf 935 ha (plus 140 %). Da gleichzeitig auch die Kunstwiesenfläche stark anstieg, dürften hier Naturwiesen umgebrochen, neu angesät und anschliessend in der landwirtschaftlichen Betriebszählung als Kunstwiesen deklariert worden sein. Möglich ist auch, dass 1990 Kunstwiesen fälschlicherweise als Naturwiesen ausgewiesen wurden. In den Voralpen nahm die Ackerfläche um 1 % auf 28 525 ha zu. Die Kunstwiesen verzeichneten einen Anstieg um 19 % und machten 1999 60 % der Ackerfläche aus. Dagegen wurde weniger Getreide angebaut und die Kartoffelfläche brach stark ein (minus 44 %). Auch im Mittelland wurde eine geringere Fläche mit Kartoffeln angebaut (minus 19 %), der Rückgang beim Wintergetreide fiel aber mit über 2'941 ha oder minus 15 % flächenmässig weit bedeutender aus. Starke Zunahmen wurden hier neben den Kunstwiesen (plus 7 %) vor allem bei den Rüben (plus 32 %) beobachtet. Wie in den Alpen nahm auch im Jura die Ackerfläche zu (plus 14 %). Auch hier dürfte dieser Anstieg hauptsächlich auf den Umbruch von Naturwiesen mit nachfolgender Neuansaat zurückzuführen sein.

Im Weiteren wurden bedeutend mehr Kunstwiesen anstelle von Sommergetreide angebaut. Die Entwicklung im Mittelland und insbesondere in den Voralpen hat stark zur Verminderung der Nitratauswaschung beigetragen.

Im Ackerbau geringerer N-Düngereinsatz

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 Mineraldünger- und Hofdüngereinsatz weiter abgenommen (Spiess 2005).

Der N-Anfall in den tierischen Exkrementen war in den Voralpen absolut und pro Hektare landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) am höchsten (Tab. 5). Im Mittel des gesamten Kantons nahm der N-Anfall aus der Tierhaltung zwischen 1990 und 1999 um 9 % ab. In den Voralpen und im Mittelland war der Rückgang 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 Bodenschutz-Index zurückzuführen.

Geringere N-Deposition

Die N-Deposition aus der Luft geht seit 1980 kontinuierlich zurück, weil die Tierbestände und die damit verbundenen Ammoniakverluste abgenommen ha-

Tab. 5. Veränderung des N-Anfalls in tierischen Exkrementen in den vier Regionen zwischen 1990 und 1999

		Total	Alpen	Voralpen	Mittelland	Jura
1990	t N	27'452	4'405	11'229	9'936	1'883
1999	t N	24'791	4'131	10'118	8'687	1'855
Veränderung		-9 %	-6 %	-10 %	-13 %	-1 %
1990	kg N/ha LN	140	127	162	135	103
1999	kg N/ha LN	128	122	150	121	94

ben 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 Nitrat- auswaschung verbunden sein, wobei die Reduktion pro Flächeneinheit vermutlich wesentlich geringer ausfällt als bei der Extensivierung im Ackerbau.

Sinkender Nitratgehalt

Zusammenfassend lässt sich somit folgendes festhalten:

■ In den Alpen ist der Nitratgehalt des Grundwassers sehr niedrig, weil wenig Stickstoff pro Flächeneinheit ausgewaschen und das Nitrat durch die hohen Sickerwassermengen stark verdünnt wird. Im Mittelland dagegen ist die Sickerwasserbildung am geringsten und die Nitrat- auswaschung infolge des hohen Ackeranteils am höchsten.

■ Im Mittelland und in den Voralpen trug der Rückgang der Getreide- und vor allem der Kartoffelfläche, der grösstenteils durch den vermehrten Anbau von Kunstwiesen und Rüben kompensiert wurde, wesentlich zur Verminderung der Nitrat- auswaschung bei.

■ Neben der Veränderung der Kulturanteile haben der geringere Düngereinsatz im Ackerbau sowie der vermehrte Anbau von Zwischenkulturen am meisten zur Verringerung der Nitrat- gehalte im Grundwasser beigetragen.

Literatur

■ BUWAL & BWG, 2004. NAQUA - Grundwasserqualität in der Schweiz 2002/2003. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft und Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern, 204 S.

■ Decrem M., Herzog F., Nievergelt J., Richner W. & Spiess E., 2005. Analyse von Szenarien zur Wirkung des ÖLN auf die Nitrat- auswaschung im Ackerbau. Schriftenreihe der FAL Nr. 57, 49-58.

■ Forni D., Gujer H.U., Nyffenegger L., Vogel S. & Gantner U., 1999. Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme. *Agrarforschung* 6 (3), 107-110.

■ Mural R. & Cornaz S., 2005. Nitratgehalte im Grundwasser (NAQUA). Schriftenreihe der FAL Nr. 57, 32-40.

■ Nievergelt J., 2002. Nitrat und Fruchtfolgen 20 Jahre lang beobachtet. *Agrarforschung* 9 (1), 28-33.

■ Prasuhn V., Braun M. & Kopše Rolli D., 1997. Massnahmen zur Verminderung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft in die Gewässer, dargestellt am Beispiel von 20 hydrologischen Einzugsgebieten im Kt. Bern. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft, Bern, 216 S.

■ Prasuhn V. & 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, 223 S. Zugang: <http://www.reckenholz.ch/doc/de/forsch/umwelt/wasser/wasser.html> [10.11.05].

■ Spiess E., 2004. Ökomassnahmen und Nitratgehalt des Grundwassers. *Agrarforschung* 11 (6), 246-251.

■ Spiess E., 2005. Stickstoffbilanz. Schriftenreihe der FAL Nr. 57, 26-31.

■ Stauffer W. & Spiess E., 2005. Einfluss unterschiedlicher Nutzung und Düngung auf Sickerwassermenge und Nitrat- auswaschung. In: Gebietsbilanzen bei unterschiedlicher Landnutzung. Bericht über die 11. Gumpensteiner Lysimetertagung, Irndning, 213-215.

RÉSUMÉ

Moins de nitrates dans les eaux souterraines grâce aux mesures écologiques

L'influence de l'aménagement agricole sur la teneur en nitrate des eaux souterraines dans le canton de Berne a été étudiée au moyen du modèle de flux de substances MODIFFUS. La teneur moyenne a diminué de 12 % entre 1990 et 1999 avec des grandes variations entre les régions. Les résultats étaient en partie conformes à des mesures provenant de captages d'eaux souterraines.

La mise en place plus fréquente de cultures principales moins susceptibles au lessivage et de cultures dérobées ainsi qu'un emploi réduit d'azote dans les grandes cultures ont contribué pour la majeure partie à la réduction des teneurs en nitrate. Plus de la moitié de cette réduction pourrait être une conséquence de l'introduction des mesures écologiques dans l'agriculture en 1993.

SUMMARY

Less nitrate in groundwater due to ecological measures

The impact of agricultural management on the nitrate content of groundwater in the canton of Berne was investigated with the substance flow model MODIFFUS. The nitrate content decreased on average by 12 % between 1990 and 1999, varying widely between regions. The results partly were in line with a dataset of measured values from groundwater wells. Nitrate contents mainly decreased because more main crops with low leaching losses and more catch crops were grown and less fertilizer and manure nitrogen was applied in arable farming. Probably more than half of the reduction was due to the introduction of ecological measures in agriculture in 1993.

Key words: nitrate, leaching, groundwater, arable land, fertilization