

Umwelt

Der schweizerische Stickstoff-Haushalt

Simon Peter, Institut für Agrarwirtschaft, ETH Zürich, CH-8092 Zürich

Auskünfte: Simon Peter, E-Mail: simon.peter@iaw.agril.ethz.ch, Tel. +41 44 632 48 28

Zusammenfassung

Im Rahmen des «Stickstoff-Projekts», das vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) in Auftrag gegeben und am Institut für Agrarwirtschaft bearbeitet worden ist, wurden die zu erwartenden Entwicklungen im Bereich der landwirtschaftlichen Stickstoff-Emissionen bis im Jahr 2013 untersucht. Dabei kam ein sektorales landwirtschaftliches Angebotsmodell mit rekursiv-dynamischer Verknüpfung zur Anwendung. Dieser Artikel stellt das Optimierungsmodell vor und fasst die wichtigsten Stickstoff-spezifischen Resultate zusammen, die anhand der Modellrechnungen für zwei agrarpolitische Szenarien geschätzt worden sind. Die Modellrechnungen zeigen, dass mit der «Agrarpolitik 2007» bis im Jahr 2005 einzig bei den Ammoniakemissionen das angestrebte agrarökologische Etappenziel einer 9%igen Reduktion gegenüber 1990 erreicht werden konnte. Zudem verdeutlichen die Modellresultate, dass es ab dem Jahr 2005 bis 2013 mit der alleinigen Weiterführung des bisherigen agrarpolitischen Reformprozesses (Agrarpolitik 2007/2011) zu keiner weitergehenden substantiellen Reduktion der umweltrelevanten Stickstoff-Emissionen kommen wird.

Der Schutz von Mensch, Umwelt und der natürlichen Lebensgrundlagen bildet die verfassungsmässige Rahmenbedingung der schweizerischen Agrarpolitik. Diese hat sich somit nicht nur an wirtschaftlichen und sozialen Aspekten der Nachhaltigkeit, sondern auch an einer Reihe ökologischer Auswirkungen zu orientieren. Dabei gilt es, der Stickstoffproblematik besondere Beachtung zu schenken, da die Belastung der Umwelt durch reaktive Stickstoffverbindungen wie Ammoniak, Lachgas, Stickoxid und Nitrat ab einem gewissen Ausmass negative Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit haben.

Begriffe und Definitionen

Stickstoff-Düngung: Die Stickstoff-Düngung entspricht dem gesamten Eintrag von Stickstoff (N) auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche in der Schweiz (Landwirtschaftliche Nutzfläche und Sömmerungsfläche). Sie setzt sich zusammen aus:

- dem Stickstoff in den anfallenden Hofdüngern
- dem Stickstoff in den eingesetzten Mineraldüngern
- der atmosphärischen Stickstoff-Deposition
- der biologischen Stickstoff-Fixierung
- dem totalen Stickstoff in Recycling-Düngern (v.a. Klärschlamm/Kompost)

Stickstoff-Emissionen: Die Stickstoff-Emissionen umfassen die umweltbelastenden Stickstoffverbindungen Ammoniak (NH_3), Nitrat (NO_3^-), Lachgas (N_2O) und Stickoxid aus den eingesetzten Düngemitteln (NO_x) sowie den umweltneutralen elementaren Stickstoff (N_2).

Stickstoff-Verlustpotenzial: Das Stickstoff-Verlustpotenzial umfasst die Gesamtheit aller Stickstoff-Emissionen, sowohl die umweltrelevanten als auch die umweltneutralen.

Berechnung: Stickstoff-Düngung minus Stickstoff-Entzug in der pflanzlichen Biomasse

Stickstoff-Effizienz der Landwirtschaft: Der Indikator gibt an, wieviel Prozent des in die Landwirtschaft importierten Stickstoffs (=Stickstoff-Input) den Stickstoff-Kreislauf über die menschlichen Nahrungsmittel (=Stickstoff-Output) wieder verlässt.

Berechnung: Stickstoff-Output/Stickstoff-Input

Stickstoff-Ausnutzung im Pflanzenbau: Der Indikator gibt an, wieviel Prozent der Stickstoff-Düngung sich letztlich in der erntbaren Pflanze befindet.

Berechnung: Stickstoff-Entzug/Stickstoff-Düngung

Forschungsschwerpunkt «Stickstoff-Haushalt»

Der vorliegende Artikel widmet sich der Stickstoffproblematik in der Schweizer Landwirtschaft, indem er einen zusammenfassenden Einblick in die neulich veröffentlichte Studie «Neuberechnung der landwirtschaftlichen Emissionen umweltrelevanter Stickstoffverbindungen» gibt (Peter *et al.* 2006). Gemäss dem Auftraggeber der Studie sollten neben den *umweltrelevanten Stickstoff-Emissionen* zusätzlich folgende Stickstoff-Kennzahlen neu berechnet werden: die *Stickstoff-Düngung*, das *Stickstoff-Verlustpotenzial*, die *Stickstoff-Effizienz der Landwirtschaft* und die *Stickstoff-Ausnutzung im Pflanzenbau* (Begriffs-Definitionen siehe Kasten).

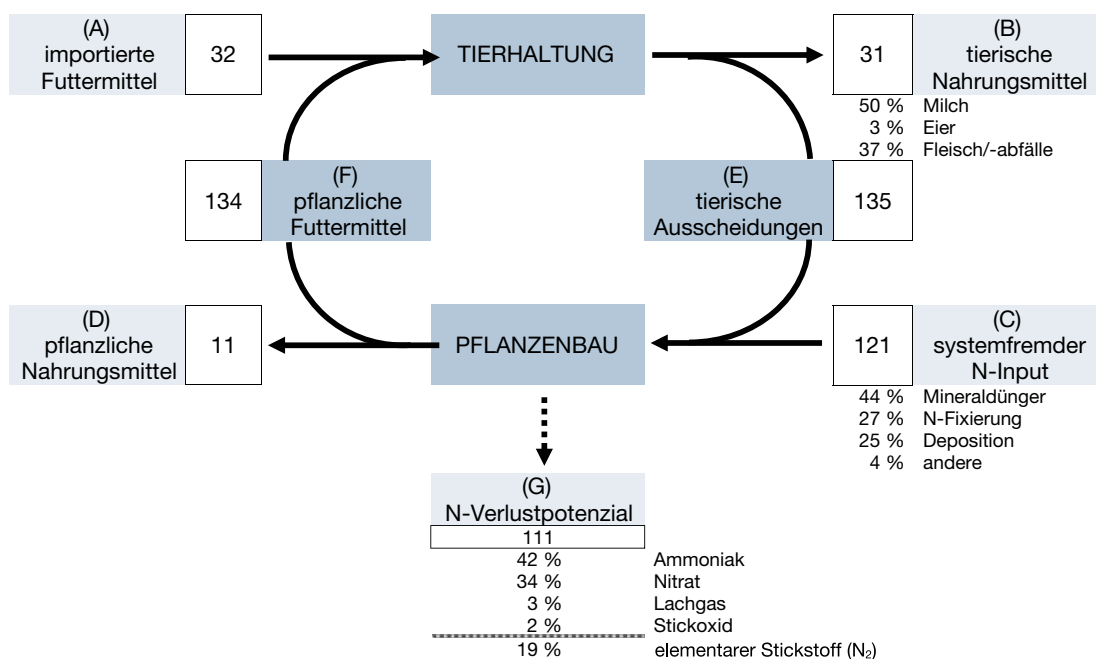


Abb. 1. Der schweizerische Stickstoff-Kreislauf (Mittelwerte 2000-2003, in 1'000 t).

Im Rahmen der Studie sollte neben der Referenz-Situation (2000-2003) auch die zukünftige Entwicklung der entsprechenden Stickstoff-Kennzahlen bis im Jahr 2013 abgeschätzt werden. Im Speziellen sollten die zu erwartenden Auswirkungen des agrarpolitischen Massnahmenpaketes «AP 2011» (Bundesamt für Landwirtschaft 2006) inklusive Aufhebung der Milchkontingentierung auf die ökologische Entwicklung im Stickstoff-Bereich untersucht werden.

Verwendete Berechnungsmethoden

Zur Beurteilung des Nährstoffhaushaltes auf nationalem Niveau haben wir uns methodisch auf die nationale Stickstoff-Bilanz nach Spiess (1999), die so genannte Input-Output-Bilanz abgestützt. Dabei wird der landwirtschaftliche Stickstoff-Kreislauf ins Zentrum gestellt, um ein ganzheitliches Bild der Stickstoff-Flüsse in der Schweizer Landwirtschaft wiederzugeben (Abb. 1). Bei unserer Analyse wurde ein besonderes Augenmerk auf die simultane Betrachtung sämtlicher Formen von reaktiven, d.h. umweltrelevanten Stickstoff-Emissio-

sionen gelegt. Deshalb haben wir den Stickstoff-Kreislauf um die detaillierte Aufschlüsselung des N-Verlustpotenzials auf die einzelnen Emissionsstufen erweitert. Für die Berechnung der umweltrelevanten Stickstoff-Emissionsformen haben wir die neusten Ergebnisse von Reidy und Menzi (2005) beim Ammoniak (NH₃) und der Agroscope ART Reckenholz für die Berechnung der Lachgas- und Stickoxidemissionen verwendet (Schmid *et al.* 2000). Die Nitratemissionen wurden mit der Methode nach Braun *et al.* (1994) und mit aktualisierten Emissionsparametern berechnet. Die ökologisch nicht relevanten elementaren Stickstoffverluste (N₂) wurden als Differenz zwischen dem gesamten Stickstoff-Verlustpotenzial und den umweltrelevanten Stickstoff-Verlusten ausgewiesen.

Berechnung der Referenz-Situation 2000-2003

Ausgehend von den in der Landwirtschaftsstatistik ausgewiesenen Flächenangaben und Tierbeständen wurden mit den geschilderten Berechnungsmethoden die gesuchten Stickstoff-Kennzahlen für die Referenz-

Situation 2000-2003 berechnet. Anhand der Ergebnisse dieser Analyse lässt sich die Ist-Situation für den Stickstoffhaushalt Schweiz beschreiben (Abb. 1).

Ergebnisse zur Referenz-situation 2000-2003

Die tierischen Stickstoff-Ausscheidungen betragen im Mittel der Jahre 2000-2003 durchschnittlich 135'000 t N/Jahr (Abb. 1). Der düngungsrelevante Stickstoff-Input (C in Abb. 1) betrug 121'000 t N/Jahr. Dabei machte der Mineraldüngereinsatz mit durchschnittlich 44 % knapp die Hälfte aus, gefolgt von der Stickstoff-Deposition und der biologischen Stickstoff-Fixierung (je ca. 25 %).

Die Stickstoff-Düngung auf der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche betrug in der Schweiz rund 256'000 t N/Jahr. Diese Stickstoff-Menge teilt sich auf in 236'000 t N/Jahr auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche (223 kg N/ha/Jahr) und in 30'000 t N/Jahr auf den Sommerweiden (38 kg N/ha/Jahr). Die Stickstoff-Düngung setzte sich durchschnittlich zu 75 % aus Hof-, Kunst- und Recyclingdüngern und zu 25 % aus

S_INTAGRAL – ein sektorales landwirtschaftliches Angebotsmodell

Das Swiss INTEGRATED AGRICULTURAL ALLOCATION MODEL *S_INTAGRAL* ist ein am Institut für Agrarwirtschaft entwickeltes Modell zur Bestimmung von kostengünstigen Lösungen im Bereich der Erfüllung von klimapolitischen Vorgaben. Mit dem Modell kann das kurz- und mittelfristige Potenzial der Schweizer Landwirtschaft bezüglich der Reduktion von Stickstoff- und Treibhausgas-Emissionen (inkl. Kohlenstoff-Sequestrierung) abgeschätzt werden. Daneben ermöglicht *S_INTAGRAL* auch die Bestimmung der Vermeidungskosten einer Stickstoff- und THG-Emissionsreduktion sowie eine Analyse der Kosten-Wirksamkeit unterschiedlicher Politikmassnahmen zur Emissionsminderung.

Das Modell *S_INTAGRAL* besteht aus zwei Hauptmodulen, dem *Struktur-Modul* und dem *Öko-Modul*. Das *Struktur-Modul* ist das eigentliche Kernstück des Allokationsmodells. Es bildet die biologisch-technischen Zusammenhänge und die Prozesse des Landwirtschaftssektors ab. Dazu gehören unter anderem der Abschreibungspfad der bestehenden Strukturen und die Neuinvestitionen, die Abbildung der Populationsentwicklung der Tierbestände oder die Beziehung zwischen Futterproduktion und Futterbedarf der Tiere. Dem Modell stehen neben der Auswahl von tierischen und pflanzlichen Aktivitäten auch verschiedene Optionen bezüglich Kriterien wie Stallgrösse, Stalltyp, Weidestyp, Leistungstyp der Tiere etc. zur Auswahl. Durch die Verknüpfung von Flächen und Tierbeständen mit den Kosten und den Erlösen im Pflanzenbau und der Tierhaltung ergibt sich der Bezug zum landwirtschaftlichen Einkommen, welches als Zielgrösse im Modell maximiert wird.

Ausgehend von der bestehenden landwirtschaftlichen Produktionsstruktur im Kalibrierungsjahr 1999 bildet das agrarwirtschaftliche Allokationsmodell *S_INTAGRAL* vor dem Hintergrund der Einkommensmaximierung die zeitliche Entwicklung der landwirtschaftlichen Strukturvariablen, sprich die Entwicklung von Pflanzenbau und Tierhaltung ab. Die bestehenden Strukturen und Produktionskapazitäten unterliegen dabei einem ständigen Prozess von Amortisation und Erneuerung, der mit Investitions- und Remontierungskosten verbunden ist und mittels dynamisches Verknüpfungen modelliert wird. Dadurch kann ein struktureller Wandel in Abhängigkeit der agrarpolitischen Rahmenbedingungen abgebildet werden.

Das zweite Hauptmodul, das *Öko-Modul* besteht aus den Teilmodulen *Stickstoff* und *Treibhausgas*. Währenddem im *Treibhausgas-Modul* die Berechnung der Treibhausgasemissionen und des Kohlenstoff-Sequestrierungspotenzials implementiert ist, enthält das *Stickstoff-Modul* die wissenschaftlichen Berechnungsmethoden für die Ammoniak-, Nitrat-, Lachgas- und die düngungsbedingten Stickoxidemissionen sowie aller weiteren Stickstoff-Kennzahlen.

der natürlichen Stickstoff-Düngung, sprich der biologischen Stickstoff-Fixierung und der Deposition zusammen.

Der Stickstoff-Entzug in der geernteten Biomasse liegt im Durchschnitt bei 145'000 t N/Jahr (D+F in Abb. 1). Aus der Differenz der totalen Stickstoff-Düngung und dem Stickstoff-Entzug ergibt sich ein mittleres Stickstoff-Verlustpotenzial (G in Abb. 1) von 111'000 t N/Jahr für den Zeitraum 2000-2003. Dieses verteilt sich zu 81 % auf die umweltrelevanten Stickstoff-Emissionen und zu 19 % auf den elementaren Stickstoff (N₂). Der Hauptteil der umweltrelevanten Stickstoff-Emissionen setzt sich aus Ammoniak (42 %) und Nitrat (34 %) zusammen. Lachgas (3 %) und düngungsbedingte

Stickoxide (2 %) sind mengenmässig von untergeordneter Bedeutung. Aus dem Stickstoff-Entzug von 145'000 t N/Jahr und der Stickstoff-Düngung von 256'000 t N/Jahr errechnet sich eine *Stickstoff-Ausnutzung im Pflanzenbau* von 57 %. Das heisst, dass 57 % der Stickstoff-Düngung in das Pflanzenmaterial eingebaut werden und 43 % an die Umwelt verloren gehen. Die *Stickstoff-Effizienz in der Landwirtschaft* beträgt 27 %. Dies bedeutet, dass 27 % des importierten Stickstoffs das System in Form von pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln wieder verlassen.

Berechnung der erwarteten Entwicklung

Ab 2004 lagen keine vollständigen statistischen Datensätze

bezüglich landwirtschaftlicher Strukturvariablen mehr vor. Um die zukünftige Entwicklung der gesuchten Stickstoff-Kennzahlen bis zum Jahr 2013 dennoch abschätzen zu können, wurden die wissenschaftlichen Berechnungsmethoden für die Bestimmung der Stickstoff-Kennzahlen in das agrarwirtschaftliche Optimierungsmodell *S_INTAGRAL* integriert. Dabei handelt es sich um ein sektorales Angebotsmodell, mit dem sich zukünftige Entwicklungen der landwirtschaftlichen Strukturvariablen in Abhängigkeit unterschiedlicher Politik- und Preisszenarien als Teil der Modelllösung bestimmen lassen (Ausführungen zu *S_INTAGRAL* siehe Kasten). Auf dieser Grundlage können auch die zu erwartenden Auswirkungen auf die zukünftigen landwirtschaftlichen Stickstoff-Emissionen bis 2013 abgeschätzt werden.

Szenario AP 2011 pur und AP 2011 WTO

Auf diese Weise wurden zwei unterschiedliche agrarpolitische Massnahmenpakete mittels Szenariorechnungen auf ihre ökologischen, strukturellen und wirtschaftlichen Auswirkungen untersucht. Das Szenario «AP 2011 pur» beinhaltet das vom Bundesrat vorgeschlagene Massnahmenpaket AP 2011 (Bundesamt für Landwirtschaft 2006). Dem Szenario «AP 2011 WTO» liegt das Massnahmenpaket AP 2011 mit zusätzlicher Umsetzung der Harbinson-Formula ab 2009 zu Grunde.

Kalibrierung und Validierung des Modells

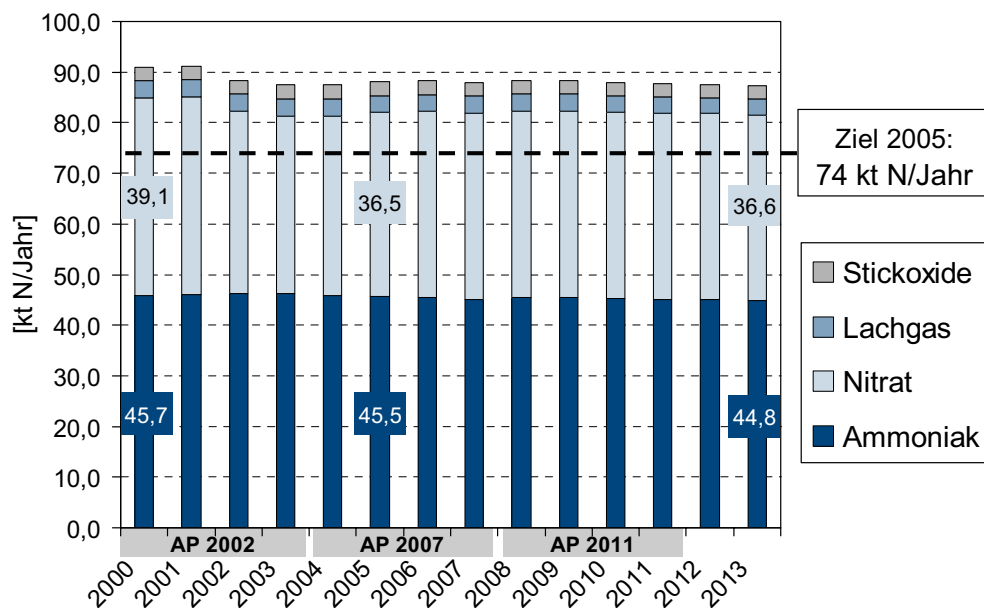
Zwei wichtige Schritte bei der Modellierung sind die Kalibrierung und die Validierung des Modells. Die Kalibrierung dient vor allem bei einem dynamischen Modell dazu, die verwendeten Zustandsvariablen (Kapitalbestand: Ställe, Viehbestände etc.) so zu ei-

chen, dass die Startwerte für die dynamische Optimierung der realen Ausgangssituation entsprechen. Dadurch wird in der Regel eine erste Voraussetzung für ein möglichst realistisches Verhalten des Modells geschaffen. Für die Kalibrierung von *S_INTAGRAL* wurden die statistischen Ausgangswerte bezüglich landwirtschaftlicher Ökonomiegebäude und Tierbestände für das Jahr 1999 verwendet (Schweizerischer Bauernverband 2000).

Die Modellrechnungen für die Jahre 2000-2003 dienten der numerischen Überprüfung des Modellverhaltens. Dazu wurden die Modellresultate bezüglich landwirtschaftlicher Strukturvariablen mit den realen Werten anhand der Statistik verglichen. Nach der Betrachtung der Ergebnisse zur Modellvalidierung bezüglich Flächennutzung und Tierbestände konnte der Schluss gezogen werden, dass das Modell *S_INTAGRAL* die landwirtschaftlichen Strukturvariablen über die Validierungsperiode 2000-2003 insgesamt recht gut wiedergibt. Bei einzelnen Kulturen und Tiertypen sind jedoch wegen der angestrebten Flexibilität des Modells gewisse Abweichungen von der Realität in Kauf zu nehmen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass diese Abweichungen die Prognosefähigkeit des Modells im Hinblick auf die interessierenden Stickstoff-Kennzahlen nicht ernsthaft einschränken.

Ergebnisse zur erwarteten Entwicklung

Das Szenario «AP 2011 WTO» zeigt bezüglich der Entwicklung der landwirtschaftlichen Strukturvariablen und den interessierenden Stickstoff-Kennzahlen keine bedeutenden Unterschiede zum Szenario «AP 2011 pur». Folglich werden wir uns bei der Interpretation der Mo-



dellresultate mit *S_INTAGRAL* auf das Szenario «AP 2011 pur» beschränken.

Das Modell beziffert die **umweltrelevanten Stickstoff-Verluste** unter den getroffenen Annahmen auf 88 kt N/Jahr im Zieljahr 2005. Dieser Wert liegt 19 % über dem agrarpolitischen Zielwert von 74 kt N/Jahr, der gemäss Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik (AP 2007) vom 29. Mai 2002 erreicht werden sollte (Bundesrat 2002). Damit wurde bezüglich Reduktion der umweltrelevanten Stickstoff-Verluste die agrarökologische Zielsetzung deutlich verfehlt (Abb. 2).

Für das Jahr 2013 ergeben die Modellrechnungen für das Szenario «AP 2011» noch immer einen Wert von 87,1 kt N/Jahr. Somit zeigen die Berechnungen bis zum Jahr 2013, dass es im Rahmen der aktuellen beziehungsweise der geplanten Agrarpolitik (AP 2007 und AP 2011) kaum zu einer substanziellen Reduktion der umweltrelevanten Stickstoff-Emissionen kommen wird (Abb. 2 und Tab. 1). Allerdings muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass in der «AP 2011» mit dem Programm «nachhaltige Nutzung

natürlicher Ressourcen» ein Instrument vorgesehen ist, das u.a. die Effizienzverbesserung bei der Nutzung der natürlichen Ressource «Stickstoff» anstrebt. Weil die einzelnen Massnahmen dieses Programms im Rahmen des «Stickstoff-Projekts» noch nicht berücksichtigt werden konnten, ist dessen Wirkung jedoch nicht in unseren Modellresultaten enthalten, was es bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten gilt.

Bei den **Ammoniakemissionen** resultiert für das Jahr 2005 ein mit *S_INTAGRAL* errechneter Wert von 45,5 kt N/Jahr. Dies entspricht einer Reduktion um 19 % gegenüber 1990. Somit wurde das nationale agrarpolitische Zwischenziel einer 9%igen Reduktion für das Jahr 2005 beim Ammoniak mehr als erfüllt. Mit dieser 19%igen Reduktion gegenüber 1990 ist auch die internationale Reduktionsverpflichtung im Rahmen des Göteborg Protokolls (UNECE 2004) von 13 % bis ins Jahr 2010 bereits heute erreicht. Aber auch hier weisen die Modellrechnungen für das Szenario «AP 2011 pur» mit einem erwarteten Wert von 44,8 kt N/Jahr für das Jahr 2013 darauf hin, dass die Ammoniakemissionen ohne zusätzliche

Abb. 2. Entwicklung der umweltrelevanten Stickstoffverluste im Szenario «AP 2011 pur».

Tab. 1. Stickstoff-Umsetzungsziele und Zielerreichung

N-Zielgrösse	Einheit	Basis-Wert	Etappen-Ziel (2005)	Ist-Werte (2005)	erfüllt?	«AP 2011 pur» (2013)	Langfrist-Ziel (20xx)
Reduktion umwelt-relevanter N-Verluste	kt umwelt-relevante N-Verluste pro Jahr	96 kt N/Jahr (1994)	74,0 kt N/Jahr (-23 %) ^a	88,0 kt N/Jahr (-8,3 %)	nein	87,1 kt N/Jahr (-9,3 %)	kein Langfrist-Ziel
Reduktion N-Verlust-potenzial	kt N-Überschuss pro Jahr	129 kt N/Jahr (1990/92)	86,4 kt N/Jahr (-33 %) ^b	108,0 kt N/Jahr (-16,3 %)	nein	104,1 kt N/Jahr (-19,3 %)	kein Langfrist-Ziel
Reduktion land-wirtschaftlicher NH ₃ -Emissionen	in kt N/Jahr NH ₃ -Emissionen	56,4 kt N/Jahr (1990)	51,3 kt N/Jahr (-9 %) ^a	45,5 kt N/Jahr (-19 %)	ja	44,8 kt N/Jahr (-21,3 %)	25-30 kt N/Jahr ^c
Reduktion land-wirtschaftlicher Nitrat-Emissionen	in kt N/Jahr NO ₃ -Emissionen	45 kt N/Jahr (1990)	kein quantitatives nationales Etappen-Ziel	36,5 kt N/Jahr (-19 %)	entfällt	36,6 kt N/Jahr (-19 %)	15-20 kt N/Jahr ^c

Legende: ^a Bundesrat (2002), ^b BLW (2000), ^c Projektgruppe Stickstoffhaushalt Schweiz (1996)

Massnahmen unter den agrarpolitischen Verhältnissen der AP 2007/2011 nicht mehr wesentlich zurückgehen werden. Folglich darf das Erreichen der Etappenziele im Ammoniak-Bereich nicht darüber hinwegtäuschen, dass empfindliche Ökosysteme auch heute noch mit zu hohen Stickstoff-Einträgen belastet werden, und dass zur Erreichung des langfristigen Ziels eines maximalen landwirtschaftlichen Ammoniak-Ausstosses von 25-30 kt/Jahr (Projektgruppe Stickstoffhaushalt Schweiz, 1996) zusätzliche Anstrengungen unumgänglich sind.

Bei den *Nitratemissionen* er rechnen wir für das Jahr 2005 einen Wert von 36,5 kt N/Jahr und für das Szenario «AP 2011 pur» im Jahr 2013 einen Wert von 36,6 kt N/Jahr. Auch hier stellen wir fest, dass unter den erwarteten agrarpolitischen Bedingungen bis 2013 kein weiterer Rückgang der Nitratemissionen mehr erfolgen dürfte, und dass für ein Erreichen des langfristigen Ziels von 15-20 kt N/Jahr (Projektgruppe Stickstoff-

haushalt Schweiz, 1996) ebenfalls spezifische Massnahmen erforderlich sind.

Schlussfolgerungen

Die alleinige Weiterführung des bisherigen agrarpolitischen Reformprozesses wird zu keiner substanziellen Reduktion der umweltrelevanten Stickstoff-Emissionen führen. Auch die Aufhebung der Milchkontingentierung im Jahr 2009 führt unter den getroffenen Annahmen zu keiner signifikanten Veränderung. Will man künftig an den langfristigen agrarökologischen Zielgrössen im Bereich Stickstoff festhalten und eine substanzielle Reduktion der umweltrelevanten Stickstoff-Verluste erreichen, sind konkrete Massnahmen nötig, die sich positiv auf den Rückgang der umweltrelevanten Stickstoff-Emissionen auswirken. Mit solchen Reduktionsmassnahmen sollten insbesondere die Hauptemissionen Ammoniak und Nitrat weiter reduziert werden, da diese mit über 90 % den Hauptanteil der umweltrelevanten landwirtschaftlichen Stickstoff-Emis-

sionen ausmachen. Diese Herausforderung verlangt nach einem konsequenten Einsatz der bekannten, in der Fachliteratur aufgeführten Massnahmen. Dies wird beispielsweise mit dem Programm «nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen» in der «AP 2011» angestrebt. Nur wenn die technologischen Möglichkeiten bis zu ihrem ökonomisch sinnvollen Mass ausgeschöpft werden, kann man verhindern, dass zur Erreichung der Langfrist-Ziele auch strukturelle Massnahmen, d.h. eine Reduktion der Tierbestände und der Ackerfläche notwendig werden. Im Hinblick auf eine umfassende ökologische Wirkungs-Analyse der möglichen Massnahmen müsste untersucht werden, ob die bei einer optimierten Hofdüngerbewirtschaftung eingesparten Stickstoff-Mengen tatsächlich in das Pflanzenmaterial eingebaut werden, oder ob der eingesparte Stickstoff schliesslich im Boden – über die Umwandlung in atmosphärischen Stickstoff respektive über die Auswaschung von Nitrat – der Landwirtschaft wieder verlo-

ren geht. Mit diesem Wissen könnten gerade im Ammoniak-Bereich jene Massnahmen ergriffen werden, die nicht nur die Emissionen reduzieren, sondern auch den Einbau des bei der Hofdünger-Ausbringung eingesparten Stickstoffs in das Pflanzenmaterial garantieren. Dies würde zu einem Rückgang des Mineräldüngereinsatzes führen und sich damit positiv auf die Stickstoffeffizienz des Gesamtsystems auswirken.

Literatur

- Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), 2000. *Evaluation der Ökomaassnahmen und Tierhaltungsprogramme*. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern, August 2000.
- Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), 2006. Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik (Agrarpolitik 2011). Zugang: <http://www.blw.admin.ch/themen> [20.07.2006].
- Bundesrat, 2002. Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik (Agrarpolitik 2007). Zugang: <http://www.admin.ch/ch/d/ff/2002/4721.pdf> [20.07.2006].
- Braun M., Hurni P. & Spiess E., 1994. Phosphor- und Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft und Para-Landwirtschaft. *FAC Schriftenreihe Nr. 18*, Liebefeld. 70 S.
- Peter S., Hartmann M. & Hediger W., 2006. Neuberechnung der landwirtschaftlichen Emissionen umweltrelevanter Stickstoff-Verbindungen. Institut für Agrarwirtschaft, ETH Zürich, Zürich. 173 S.
- Projektgruppe Stickstoffhaushalt Schweiz, 1996. Strategie zur Reduktion von Stickstoff-Emissionen. *Schriftenreihe Nr. 273*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 142 S.
- Reidy B. & Menzi H., 2005. Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neues Emissionsinventar 1990 und 2000 mit Hochrechnungen bis 2003. Technischer Schlussbericht zuhanden BUWAL. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft, Zollikofen. 50 S.
- Schweizerischer Bauernverband, 2000. Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung. Schweizerischer Bauernverband, Brugg. 227 S.
- Schmid M., Neftel A. & Fuhrer J., 2000. Lachgasemissionen aus der Schweizer Landwirtschaft. *Schriftenreihe der FAL 33*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz, Zürich. 131 S.
- Spiess E., 1999. Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 1995. *Schriftenreihe der FAL 28*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz, Zürich. 46 S.
- UNECE, 2004. Strategies and Policies for Air Pollution Abatement. 2002 Review prepared under The Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, ECE/EB.AIR/81, United Nations Economic Commission for Europe, United Nations, New York and Geneva.

RÉSUMÉ

Le «ménage suisse de l'azote» – Evolution prévisible jusqu'en 2013

Dans le cadre du «projet Azote» mandaté par l'Office Fédéral de l'Agriculture (OFAG) et traité à l'Institut d'économie rurale (IER, ETH) un modèle sectoriel d'offre agricole avec des combinaisons dynamiques-récurrentes a été utilisé pour estimer l'évolution des émissions d'azote dans l'agriculture jusqu'en 2013. Cet article présente le modèle d'optimisation et livre les résultats spécifiques les plus importants se rapportant à l'azote qui ont été mis en évidence à l'aide du modèle, sur la base de deux scénarios de politique agricole. Les résultats montrent que jusqu'en 2005, seule la réduction des émissions d'ammoniac atteint l'objectif attendu de la Politique Agricole 2007 qui consistait en une réduction de 9 % par rapport à 1990. En plus de cela, les calculs montrent que la poursuite seule du processus actuel de réforme agricole (Politique Agricole 2007/2011) ne conduit pas à une réduction substantielle des émissions d'azote après 2005 jusqu'à 2013.

SUMMARY

Swiss nitrogen-cycle – expected deployment by 2013

The «Nitrogen-Project» has been mandated by the Swiss Federal Office of Agriculture and was elaborated at the Institute for Agricultural Economics at ETH Zurich. In the framework of this research project a recursive-dynamic agricultural allocation model has been used to anticipate the development of nitrogen emissions from agriculture on the sectoral level. This article provides an overview of the optimisation model and summarises the most important nitrogen-related results that have been estimated with model-based calculations for two agro-political scenarios. The model results show that the policy targets of the agricultural package AP 2007 for the year 2005 have only been reached with respect to agricultural ammonia emissions with an intended reduction of 9 %. Furthermore, our results show that from 2005 to 2013, environmentally harmful nitrogen emissions will not substantially decline just by continuing the present agricultural reform process (agricultural packages AP 2007 and AP 2011).

Key words: Agriculture, nitrogen emissions, linear optimization, recursive dynamics