

# Stickstoff- und Phosphorbilanz der Schweizer Landwirtschaft

Ernst SPIESS, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), Liebefeld, CH-3003 Bern  
 Auskünfte: Ernst Spiess, e-mail: Ernst.Spiess@iul.admin.ch Fax: +41 (0)31 323 84 15,  
 Tel. +41 (0)31 323 83 16

**Im Rahmen der Evaluation der Ökomassnahmen wurden die Stickstoff- und die Phosphorbilanz der schweizerischen Landwirtschaft mittels einer Input-Output-Bilanz für die Jahre 1975 bis 1995 berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Überschüsse bei beiden Nährstoffe seit 1980 kontinuierlich zurückgehen.**

In der schweizerischen Landwirtschaft trug der jahrzehntelang steigende Düngereinsatz wesentlich zur Erhöhung der Pflanzenerträge bei. Er hatte aber auch zunehmende Nährstoffverluste und verschiedene Umweltprobleme zur Folge: Der Nitratgehalt im Trinkwasser liegt an vielen Orten über dem Qualitätsziel. Ammoniak-Emissionen tragen zur Überdüngung von empfindlichen Ökosystemen (z.B. Wälder, Magerwiesen) bei. Bei der Denitrifikation wird neben molekularem Stickstoff (N<sub>2</sub>) auch Lachgas (N<sub>2</sub>O) gebildet, welches am Treibhauseffekt und am Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre beteiligt ist. Die grossen Phosphorfrachten, die über die Abschwemmung und die Erosion in die Gewässer gelangen, sind eine Hauptursache für die Eutrophierung von Seen und Flüssen. Im Pflanzenbau führt die Überdüngung zu einer unerwünschten Anreicherung des Bodens mit Phosphor.

## Ziel der Arbeit

Die Nährstoffverluste sowie die Anreicherung im Boden können gezielter vermindert werden, wenn die landwirtschaftlichen Nährstoffflüsse bekannt sind. Aus diesem Grund wurden die Nährstoffbilanz und der Nährstoffkreislauf der schweizerischen Landwirtschaft für Stickstoff (N) und Phosphor (P) berechnet. Damit die zeitliche Entwicklung der verschiedenen Grössen verfolgt werden kann, wurden die Berechnungen für jedes Jahr im Zeitabschnitt 1975 bis 1995 durchgeführt. Die Berechnungen der letzten Jahre dieser Periode sind ein Hilfsmittel bei der Evaluation der 1993 eingeführten Ökomassnahmen nach Artikel 70 und 76 des Landwirtschaftsgesetzes (früher: Artikel 31b) und wurden im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft durchgeführt (BLW 1998).

## Bilanzierungsmethode

Die Bilanzierung erfolgte für die gesamte Landwirtschaft (Pflanzenbau und Tierhaltung). Die schweizerische Landwirtschaft wurde als eine Einheit - als ein einziger «landwirtschaftlicher Betrieb» - betrachtet. Wie bei einer früheren Studie (Braun *et al.* 1994) wurden die Nährstoffbilanzen aufgrund des Nährstoff-Inputs in die Land-

wirtschaft und des Nährstoff-Outputs aus der Landwirtschaft erstellt (= Input-Output-Bilanz; Abb. 1). Der Input umfasst die importierten Futtermittel, die Mineräldünger, die Abfall- und die übrigen Dünger (Klärschlamm, Kompost, Rübenkalk usw.), das importierte Saatgut, die biologische N-Fixierung durch die Leguminosen sowie die Nährstoff-Deposition aus der Luft. Der Output setzt sich zusammen aus den tierischen (Milch, Fleisch, Eier usw.) und pflanzlichen Nahrungsmitteln (Brotgetreide, Speisekartoffeln usw.) sowie den anderen tierischen Produkten (Tierhäute, exportiertes Fleisch- und Fleischknochenmehl usw.). Die Bilanz, das heisst die Differenz



Die tierischen Ausscheidungen an Stickstoff und Phosphor entsprechen in etwa dem Anteil in den pflanzlichen Futtermitteln.

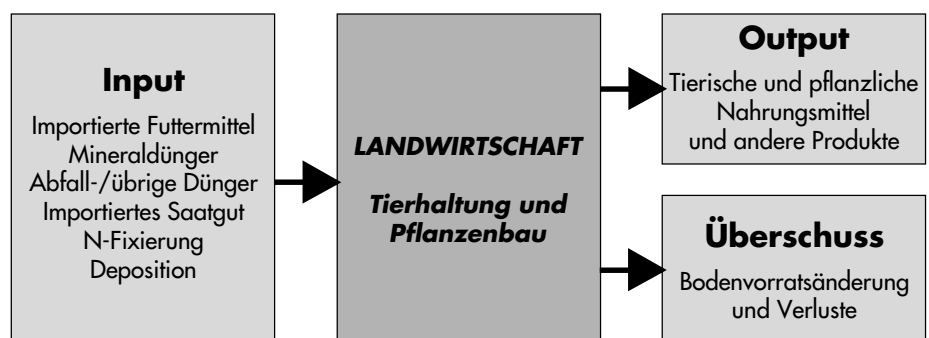


Abb. 1. Prinzip der Input-Output-Bilanz.

zwischen Input und Output, ist meistens positiv (= Überschuss) und umfasst die Bodenvorratsänderung (Zu- bzw. Abnahme des Nährstoffgehaltes im Boden) sowie die gesamten Verluste (Ammoniakverflüchtigung, Denitrifikation, Auswaschung, Abschwemmung, Erosion usw.). Zur Ergänzung der Input-Output-Bilanz wurden auch alle landwirtschaftsinternen Nährstoffflüsse berechnet.

Die Nährstoffmengen wurden in den meisten Fällen durch Multiplikation der einzelnen Produktmengen mit dem Nährstoffgehalt ermittelt. Die Mengenangaben stammten grösstenteils vom Schweizerischen Bauernsekretariat (z.B. SBV 1996). Die Nährstoffgehalte wurden vor allem den «Fütterungsempfehlungen und Nährwerttabellen für Wiederkäuer» (FAG 1994) entnommen. Die Methodik ist detailliert in Spiess (1999) beschrieben.

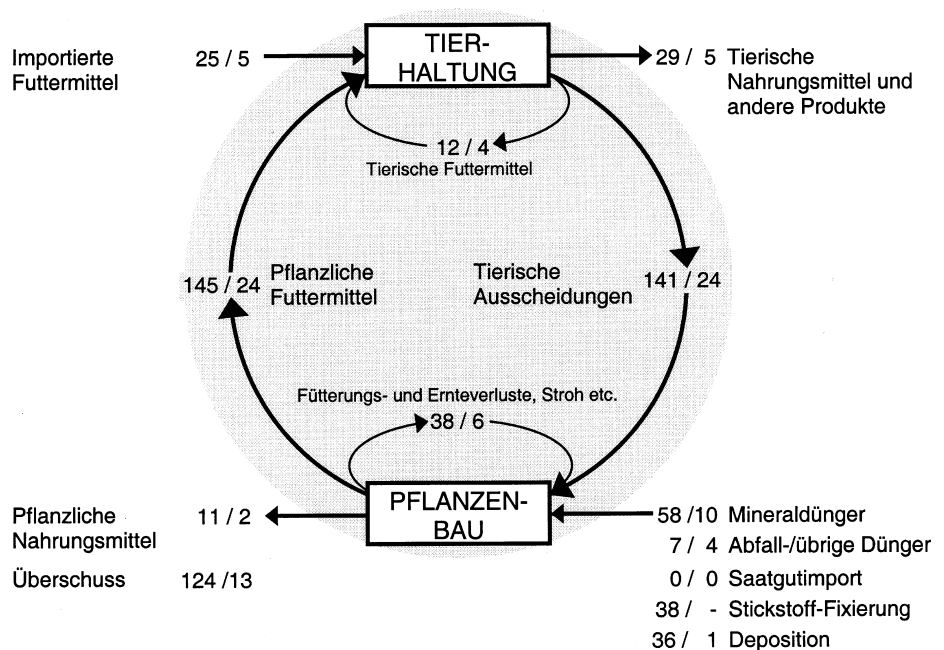
### N-Bilanz im Jahr 1995

Im Jahr 1995 gelangten rund 164'000 t N über den Input in die Landwirtschaft (Tab. 1). Die Mineraldünger wiesen mit 36 %, die N-Fixierung mit 23 % und die Deposition mit 22 % die höchsten Anteile am gesamten Input auf. Über den Output verliessen 40'000 t N wieder die Landwirtschaft, was etwa einem Viertel des Inputs entsprach. Der N-Überschuss betrug fast 124'000 t. Bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche von 1'064'740 Hektaren im Jahr 1995 machte dies 116 kg N/ha aus. Es muss angenommen werden, dass diese Menge grösstenteils der Landwirtschaft über die Ammoniakverflüchtigung, die Denitrifikation und die Nitrat- auswaschung verloren ging, weil eine starke Anreicherung von Stickstoff im Boden ausgeschlossen werden kann.

Aus dem N-Kreislauf (Abb. 2) ist ersichtlich, dass die N-Mengen in den pflanzlichen Futtermitteln und in den tierischen Ausscheidungen 1995 praktisch gleich gross waren. Über die importierten Futtermittel gelangte etwas weniger Stickstoff in den Kreislauf als über die tierischen Nahrungsmittel und die anderen tierischen Produkte exportiert wurde. Von der gesamten Milch- und Fleischproduktion gingen über zwei Drittel des Stickstoffs in die tierischen Nahrungsmittel und die anderen tierischen Produkte. Der Rest war in den tierischen Futtermitteln (Milch für die Aufzucht, Schotte, Fleisch- und Fleischnochenmehl usw.) enthalten. Im Pflanzenbau überstiegen die Düngung (tierische Ausscheidungen, Mineral-, Abfall-

**Tab. 1. N- und P-Bilanz der schweizerischen Landwirtschaft im Jahr 1995** (in t/Jahr und in % des gesamten Inputs)

	N		P	
	t/Jahr	%	t/Jahr	%
<b>Input</b>	<b>163'940</b>	<b>100</b>	<b>19'865</b>	<b>100</b>
Importierte Futtermittel	24'855	15	4'927	25
Mineraldünger	58'560	36	10'145	51
Abfall- und übrige Dünger	6'757	4	3'756	19
Importiertes Saatgut	147	0	31	0
N-Fixierung der Leguminosen	37'730	23		
Deposition über die Luft	35'891	22	1'006	5
<b>Output</b>	<b>40'383</b>	<b>25</b>	<b>6'354</b>	<b>32</b>
Tierische Nahrungsmittel und andere tierische Produkte	29'017	18	4'544	23
Pflanzliche Nahrungsmittel	11'367	7	1'810	9
<b>Überschuss</b>	<b>123'556</b>	<b>75</b>	<b>13'511</b>	<b>68</b>



**Abb. 2. N- und P-Kreislauf der schweizerischen Landwirtschaft im Jahr 1995** (in 1000 t N/Jahr bzw. 1000 t P/Jahr).

und übrige Dünger), die Deposition und die N-Fixierung zusammen den Entzug durch die pflanzlichen Futter- und Nahrungsmittel um 79 %. Die N-Menge in den pflanzlichen Nahrungsmitteln war relativ gering. Der grösste Teil des Stickstoffs stammte hier vom Brotgetreide. Bei diesem gelangte im langjährigen Durchschnitt nur die Hälfte des Stickstoffs in den Körnern in die menschliche Ernährung. Die andere Hälfte wurde verfüttert (deklassiertes Brotgetreide und Müllereiabfälle wie Kleie).

N-Mengen, die gesamthaft in der gleichen Grössenordnung lagen wie diejenigen der biologischen N-Fixierung oder der Deposition, zirkulierten innerhalb der Landwirtschaft via Ernte- und Fütterungsverluste, Stroh sowie inländisches Saatgut. Von den 38'000 t N, die in diesen Produkten enthalten waren, gelangte der grösste Teil in organischer Form in den Boden. Die

tierischen Futtermittel waren mit rund 12'000 t N ebenfalls nicht unbedeutend.

### P-Bilanz im Jahr 1995

Der gesamthafte P-Input in die Landwirtschaft betrug 1995 fast 20'000 t P (Tab. 1). Wie beim Stickstoff wiesen die Mineraldünger mit 51 % den grössten Anteil am gesamten Input auf. 25 % des P-Inputs gelangten über die importierten Futtermittel und 19 % über die Abfall- und die übrigen Dünger in den landwirtschaftlichen Kreislauf. Der Anteil der Abfall- und der übrigen Dünger war hauptsächlich wegen des P-reichen Klärschlammes so hoch. Der Output betrug mit gegen 6'500 t P/Jahr fast ein Drittel des Inputs. Der Überschuss von 13'500 t wurde beim Phosphor zum grössten Teil im Boden angereichert. Der Rest gelangte vor allem über die Erosion und die Abschwemmung

in die Gewässer. Mit 13 kg P/ha Landwirtschaftliche Nutzfläche entspricht der Überschuss rund einem Drittel bis der Hälfte des P-Bedarfs vieler landwirtschaftlicher Kulturen.

Beim P-Kreislauf (Abb. 2) liegen die Verhältnisse ähnlich wie beim Stickstoff. In den pflanzlichen Futtermitteln und in den tierischen Ausscheidungen zirkulierte eine P-Menge in der Größenordnung von 24'000 t P/Jahr. Die tierischen Futtermittel enthielten gleich viel Phosphor wie die tierischen Nahrungsmittel und die anderen tierischen Produkte. Viel Phosphor gelangte vor allem über die tierischen Futtermittel (v.a. Fleischknochenmehl) wieder in die Fütterung. Im Pflanzenbau überstieg die P-Zufuhr über alle Düngemittel und die Deposition den Nährstoffentzug über die Futter- und Nahrungsmittel um rund 50 %.

### Seit 1980 sinkende Überschüsse bei Stickstoff...

Beim N-Input verdoppelte sich der Mineraldüngereinsatz zwischen 1975 und 1988

von 36'000 auf 69'000 t N und nahm bis 1995 wieder um 10'000 t N ab (Abb. 3). Der Rückgang war vor allem nach der Einführung der ökologischen Direktzahlungen im Jahr 1993 beträchtlich. Der Einsatz der Abfall- und der übrigen Dünger stieg in den letzten 20 Jahren zwar an, die N-Mengen waren aber verglichen mit anderen Input-Größen gering. Die biologische N-Fixierung blieb ziemlich konstant auf einem Niveau von rund 38'000 t N. Die N-Einträge über die Deposition erreichten Ende der achtziger Jahre mit 40'000 t N ihren höchsten Wert. In den letzten Jahren gingen sie zurück, weil einerseits die Tierzahlen und damit der Hofdüngeranfall und die Ammoniakverluste und andererseits die Stickoxidemissionen (Barrett *et al.* 1995; Menzi *et al.* 1997; Stadelmann *et al.* 1996). Die N-Menge in den importierten Futtermitteln erfuhr eine starke Abnahme und war Mitte der neunziger Jahre noch halb so hoch wie 20 Jahre zuvor, weil der gesamte Futterbedarf infolge der sinkenden Tierzahlen abnahm und weil ausländisches durch inländisches

Futtergetreide verdrängt wurde. Der gesamte N-Input in die Landwirtschaft stieg bis 1980 an und nahm danach ab.

Beim Output fällt auf, dass die N-Menge in den tierischen Nahrungsmitteln und den anderen Produkten 1995 ungefähr gleich hoch war wie Mitte der siebziger Jahre (Abb. 3). Die Milch- und die Fleischproduktion nahmen jahrelang leicht zu; in den letzten zehn Jahren ging dann vor allem die Fleischproduktion um fast 10 % zurück. Der N-Export über die pflanzlichen Produkte schwankte relativ stark von Jahr zu Jahr, nahm aber insgesamt vor allem infolge der steigenden Weizenfläche und der ertragreicheren Sorten zu.

Der N-Überschuss stieg in den ersten fünf Jahren der untersuchten Periode stark an, erreichte 1980 mit 152'000 t N seinen Höhepunkt und nahm anschliessend kontinuierlich ab (Abb. 3). In den letzten Jahren lag er bei rund 124'000 t N, was ungefähr dem Niveau von Mitte der siebziger Jahre entspricht. Dieser Rückgang hatte vor allem zwei Ursachen: Einerseits ging der Mineraldüngereinsatz in den letzten Jahren um 10'000 t N zurück, anderer-

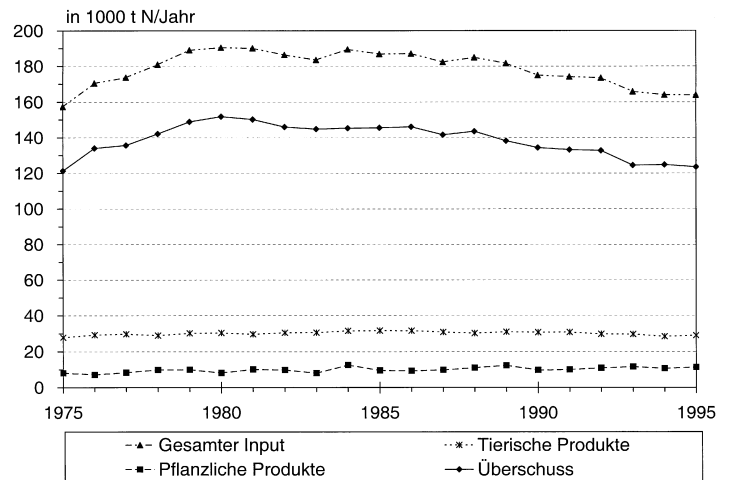
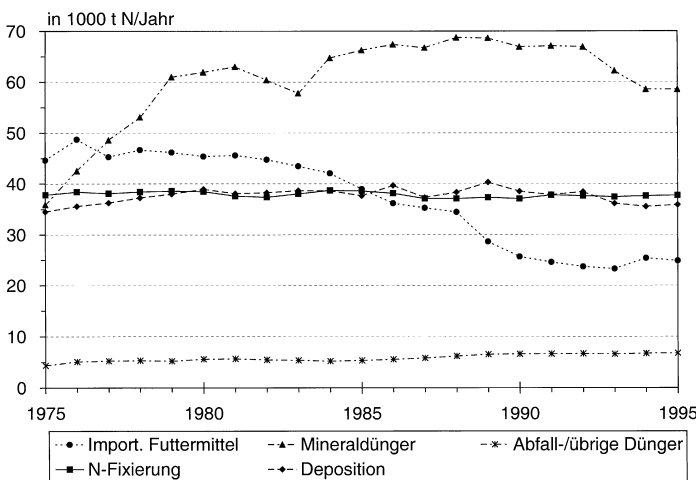


Abb. 3. N-Mengen in den einzelnen Input- und Output-Größen sowie Gesaminput und Überschuss zwischen 1975 und 1995.

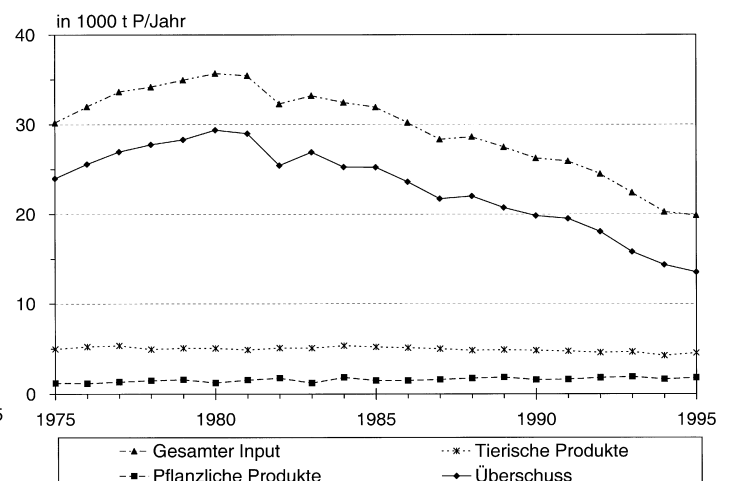
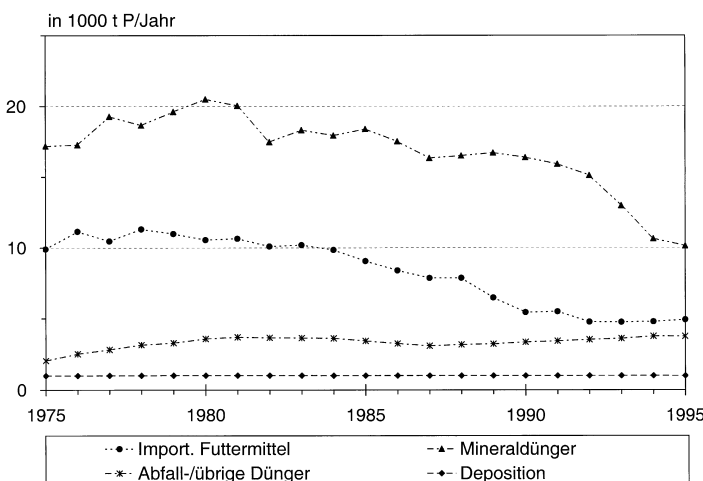


Abb. 4. P-Mengen in den einzelnen Input- und Output-Größen sowie Gesaminput und Überschuss zwischen 1975 und 1995.

**Tab. 2. Ausgangsbasis in den Referenzjahren, aktueller Zwischenstand und Zielgrößen für die N- und P-Überschüsse bei der Evaluation der Ökomassnahmen (in t/Jahr)**

	Referenzjahre 1990-92	Zwischenstand 1995	Ziel 2005
Stickstoff-Überschuss Reduktion gegenüber 1990-92	134'000	124'000 - 10'000	90'000 - 44'000
Phosphor-Überschuss Reduktion gegenüber 1990-92	19'000	13'500 - 5'500	9'500 - 9'500

seits nahmen die importierten Futtermittel seit 1975 sogar um 20'000 t N ab.

### ...und bei Phosphor

Der Mineräldüngerverbrauch nahm bei Phosphor zwischen 1975 und 1980 von 17'000 auf 20'500 t P/Jahr zu. In den nachfolgenden Jahren fand ein Rückgang auf 10'500 t P statt (Abb. 4). Der in den letzten 20 Jahren steigende Einsatz der Abfall- und der übrigen Dünger ist auch beim Phosphor gut sichtbar. Bei der Deposition wurde davon ausgegangen, dass die Werte in der untersuchten Periode auf einem Niveau von 1'000 t P/Jahr konstant blieben. Die P-Menge in den importierten Futtermitteln nahm stark ab und war Mitte der neunziger Jahre noch halb so hoch wie 20 Jahre zuvor. Der gesamte P-Input in die Landwirtschaft stieg bis 1980 und ging nachher fast jedes Jahr zurück.

Beim Output wurde im Gegensatz zum Stickstoff festgestellt, dass die P-Menge in den tierischen Nahrungsmitteln und den anderen tierischen Produkten 1995 leicht niedriger war als 1975. Der P-Export über die pflanzlichen Produkte nahm dagegen wie beim Stickstoff zu. Der Überschuss stieg bis 1980 von 24'000 auf 29'000 t P/Jahr an, nahm nachher ab und war 1995 mit etwas über 13'000 t P/Jahr bedeutend tiefer als 1975.

### Ökomassnahmen wirken

Seit 1993 entrichtet der Bund ökologische Direktzahlungen für die Integrierte Produktion, den Biologischen Landbau, ökologische Ausgleichsflächen sowie andere Ökomassnahmen. Im Rahmen der Evaluation dieser Ökomassnahmen formulierte das Bundesamt für Landwirtschaft für Stickstoff und Phosphor je ein Umweltziel (Wirkungsziel) und ein agronomisches Ziel (Umsetzungsziel), die zwischen den Referenzjahren 1990-92 und dem Jahr 2005 erreicht werden sollen (BLW 1998): Umweltziele:

■ Der Nitratgehalt ausgewählter, insgesamt repräsentativer Grund- und Quellwasser soll im Durchschnitt um 5 mg/l reduziert werden.

■ Die durch die Landwirtschaft verursachte P-Belastung der Oberflächengewässer soll um 50 % reduziert werden.

Agronomische Ziele:

■ Der N-Überschuss gemäss Input-Output-Bilanz soll um ein Drittel reduziert werden.

■ Der P-Überschuss soll um die Hälfte reduziert werden.

Zu welchem Teil konnten die agronomischen Ziele bis 1995 schon erreicht werden? In den drei Referenzjahren vor der Einführung der Direktzahlungen betragen die Nährstoff-Überschüsse im Mittel 134'000 t N/Jahr beziehungsweise 19'000 t P/Jahr (Tab. 2). Der Überschuss soll beim Stickstoff durch die Ökomassnahmen bis ins Jahr 2005 um ein Drittel, das heisst um 44'000 t N, auf 90'000 t N reduziert werden. Beim Phosphor wird eine Reduktion um die Hälfte auf 9'500 t P angestrebt. Zwischen 1990/92 und 1995 nahm der Mineräldüngerverbrauch um über 8'000 t N und 5'500 t P ab. Die N-Deposition ging infolge der verminderten Ammoniakverluste und der Massnahmen der Luftreinhaltverordnung um über 2'000 t N zurück. Dagegen veränderten sich die anderen Input-Größen sowie der Output über die tierischen und pflanzlichen Produkte nur wenig. Gesamthaft haben die Überschüsse beim Stickstoff zwischen 1990-92 und 1995 um fast 10'000 t N (= 7 %) und rund 5'500 t P (= 29 %) abgenommen.

In der vorliegenden Studie ist der Nährstoffüberschuss bis 1995, also nur für die ersten drei Jahre seit der Einführung der ökologischen Direktzahlungen, berechnet worden. Aus diesem Grund ist es zum Teil noch schwierig zu beurteilen, ob die angestrebten Ziele bis zum Jahr 2005 erreicht werden können oder nicht. Sowohl beim Stickstoff wie beim Phosphor ist eine klare Abnahme des Überschusses zu beobachten. Beim Phosphor machte die Reduktion zwischen den Referenzjahren 1990-92 und 1995 schon mehr als die Hälfte der angestrebten Menge von 9'500 t P aus. Es kann deshalb angenommen werden, dass das Ziel schon in wenigen Jahren erreicht werden kann. Beim Stickstoff wurde 1995 fast ein Viertel der ange-

strebten Reduktion erreicht. Im Gegensatz zum Phosphor scheint es für diesen Nährstoff noch verfrüht zu sein, eine Prognose bezüglich der Zielerreichung zu erstellen.

### LITERATUR

Das vollständige Literaturverzeichnis ist beim Autor erhältlich.

### RÉSUMÉ

#### Bilan de l'azote et du phosphore dans l'agriculture suisse pour les années 1975 à 1995

Le bilan de l'azote et du phosphore dans l'agriculture suisse a été calculé pour l'azote (N) et le phosphore (P) au cours des années 1975 à 1995. Le calcul de ce bilan est basé sur le bilan des entrées et des sorties dans lequel les quantités d'éléments nutritifs qui entrent en agriculture sont confrontées à celles qui en ressortent. Le surplus s'est élevé en 1995 pour l'azote à environ 124'000 t N, soit 116 kg N/ha de surface agricole utile (SAU) et pour le phosphore à environ 13'500 t P, soit 13 kg P/ha SAU. Entre 1975 et 1995 l'utilisation des engrais minéraux a tout d'abord augmenté pour ensuite diminuer. On a constaté une forte diminution des importations de fourrages au cours de toute la période. Les surplus des deux éléments nutritifs ont augmenté jusqu'en 1980 et ont diminué par la suite de manière presque continue. Dans le cadre de l'évaluation des mesures écologiques selon la Loi sur l'agriculture, on a constaté une diminution des surplus entre les années de référence 1990 à 1992 et 1995 de presque 10'000 t N (= 7 %) et d'environ 5'500 t P (= 29 %).

### SUMMARY

#### Nitrogen and phosphorus balances of Swiss agriculture between 1975 and 1995

The nutrient balances of the Swiss agriculture were calculated for nitrogen (N) and phosphorus (P) for all the years between 1975 and 1995 on the basis of the farmgate balance, a comparison between nutrient input into agriculture and output from agriculture.

Nitrogen surplus amounted to about 124'000 t N and 116 kg N/ha agricultural used area (= surface used by agriculture without alpine pastures) respectively in 1995. For phosphorus the corresponding values were about 13'500 t P and 13 kg P/ha. Between 1975 and 1995 mineral fertilizer consumption increased at first and decreased subsequently. A strong decrease over the whole period was observed for the imported feedstuffs. Nutrient surplus increased for both nutrients up to 1980, then decreased continuously. In the framework of the evaluation of the ecological measures according to the Agricultural Law a decrease in nutrient surplus of nearly 10'000 t N and about 5'500 t P could be observed between the reference years of 1990-92 and 1995.

**KEY WORDS:** nitrogen, phosphorus, nutrient balance, nutrient cycling, surplus, ecological measures