

# Berichte und Mitteilungen

---

## Landwirtschaftliche Stickstoffbilanzierung für Österreich unter besonderer Berücksichtigung ihrer Einbeziehung in die Volkswirtschaft

Von H. DISSEMOND, T. GOMISCEK und M. ZESSNER

(Mit 4 Abbildungen)

### 1. Einführung

Die Studie zur Stickstoffbilanzierung für Österreich wurde als **Interdisziplinäres Projekt Technischer Umweltschutz (TUSCH)** in den Jahren 1989 und 1990 (TUSCH 1989/90) an der Technischen Universität Wien und der Universität für Bodenkultur Wien in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt Wien im Rahmen des postgraduierten Studienganges „Technischer Umweltschutz“ angefertigt. Die Diskussion zur Düngerproblematik und der Festlegung eines Nitratgrenzwertes im Trinkwasser — sowohl in der Wissenschaft als auch in Politik und Öffentlichkeit — zeigt das besondere Interesse und die Bedeutung einer solchen Untersuchung.

Bei dem vorliegenden Bericht zum **Kapitel Boden** handelt es sich zwar nur um einen Teil der gesamten Studie, doch wird gerade hier versucht, die besondere Situation der Landwirtschaft und ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung darzustellen. Es handelt sich um eine in sich geschlossene Betrachtung des Stickstoffes im System Boden-Landwirtschaft und der Stoffströme in und aus diesem Kreislauf für das Gebiet von Österreich.

Die Erhebungen und Berechnungen konnten — aufgrund der statistischen Datenlage, nur für das Jahr 1986 durchgeführt werden, da in diesem Jahr die jüngste verfügbare Differenzierung der Ergebnisse der landwirtschaftlichen Statistik (ÖSTERREICHISCHES STATISTISCHES ZENTRALAMT, ÖSTZ 1987 a) in Politische Bezirke stattgefunden hat. Kann eine etwaige besondere Situation, verursacht z. B. durch die seinerzeit bevorstehende Düngemittelabgabe, somit nicht ausgeschlossen werden, so liegt das Gewicht in einer breit angelegten Querschnittsanalyse im Erhebungsjahr.

Einerseits belasten nicht von der Landwirtschaft verursachte Stoffeinträge die Bodenfunktionen, andererseits wird die Landwirtschaft selbst in zunehmendem Maße als Verursacher von Bodengefährdungen mit negativen Auswirkungen für Böden, Grundwasser, Oberflächengewässer und die Luft bezeichnet.

Für eine Bilanzierung des Stickstoffes im Boden war es angebracht, den Boden zusammen mit den Bodenorganismen und der Pflanzendecke als ein einheitliches System zu betrachten und sich auf eine Quantifizierung der Stoffströme in und aus diesem System zu beschränken.

Auf der einen Seite sind die Stickstoffumwandlungsvorgänge im Boden von einer Vielzahl äußerer und innerer Faktoren und Wechselbeziehungen abhängig, die nur in großer Differenzierung annähernd z. B. mit **Simulationsmodellen** (DUYNISVELD und STREBEL 1986, HUWE und PLOEG 1988) nachvollzogen werden können. Auf der anderen Seite liegen wichtige Daten und Parameter mit der notwendigen Aufarbeitung in Österreich nicht vor, hierzu zählt z. B. die Publikation einer einheitlichen, flächendeckenden Bodenuntersuchung oder eine Karte der Grundwasserneubildungsraten in Abhängigkeit von klimatischen und bodenkundlichen Gegebenheiten.

Bei der vorliegenden Stickstoffbilanzierung für Österreich kann es sich also nur um eine Schätzung ohne Anspruch auf Vollständigkeit handeln. Die Werte stellen Durchschnittswerte für Gebietseinheiten dar und können, ohne eine Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse, nicht generell für Betriebe oder Aussagen im wasserwirtschaftlichen Sinne übernommen werden. Die Studie versteht sich als Aufforderung zur Kritik, Versachlichung der Problematik und Findung besserer Lösungsmöglichkeiten.

## 2. Eintrag in das System Boden

### 2.1 Düngereintrag

In Agrarökosystemen werden die natürlichen Stoffkreisläufe und das Nährstoffgleichgewicht durch Bewirtschaftungsmaßnahmen des Menschen ausgeglichen und stabilisiert.

Neben einer intensiveren Bodenbewirtschaftung mit fortschreitender Technisierung, Pflanzenzüchtung, Pflanzenschutz auf einem hohen Produktionsniveau, hat besonders der Düngereinsatz und hier vor allem der N-Dünger die Bodenfruchtbarkeit wesentlich erhöht.

Die in den Wirtschaftsdüngern Jauche, Kot, Mist bzw. Gülle zur Verfügung stehende Menge an Pflanzennährstoffen ergibt sich aus dem Produkt von Wirtschaftsdüngeranfall je Tier- und Zeiteinheit mit dem Nährstoffgehalt der Hofdünger, wobei eine pflanzenverfügbare, der Mineraldüngung entsprechende Form wesentlich ist. In Abhängigkeit von Tierart, Stallhaltung, Fütterung, Lagerung und den hieraus resultierenden unterschiedlichen Gehalten an trockener und organischer Substanz variieren die N-Gehalte in den Hofdüngern stark. In der Bundesrepublik Deutschland gibt es zwei wesentliche Arten, die Nährstoffgehalte trotz dieser Schwankungen abzuschätzen.

Vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) wurde die Düngergroßvieheinheit (DGV) vorgeschlagen, die den Gehalt an organischer Substanz, Phosphor und Stickstoff in den verschiedenen Wirtschaftsdüngertypen je Großvieheinheit (GVE) berücksichtigt. Die Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen haben mit der Festlegung von Dungeinheiten (DE) — ebenfalls auf der Grundlage durchschnittlicher Nährstoffgehalte in den Exkrementen der Großvieheinheiten — als erste eine zulässige landwirtschaftliche Düngung in Landesrecht umgesetzt, doch wird hier vom RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (SRU 1985) kritisiert, sich von vorneherein von dem Maßstab der wirklichen Nährstoffgehalte der Gülle entfernt zu haben.

In Österreich findet eine solche Diskussion im Zusammenhang mit der Wasserrechtsgesetz-Novelle 1990 statt, und es kommt hier zu ebensolchen unterschiedlichen Meinungen in der Abschätzung der tatsächlichen Nährstoffgehalte der hofeigenen Düngemittel. Maßgeblich für die nachfolgende Quantifizierung sind die Richtwerte des Fachbeirates für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz für die Düngung des Grünlandes (SCHECHTNER und BUCHGRABER 1989), die auf die

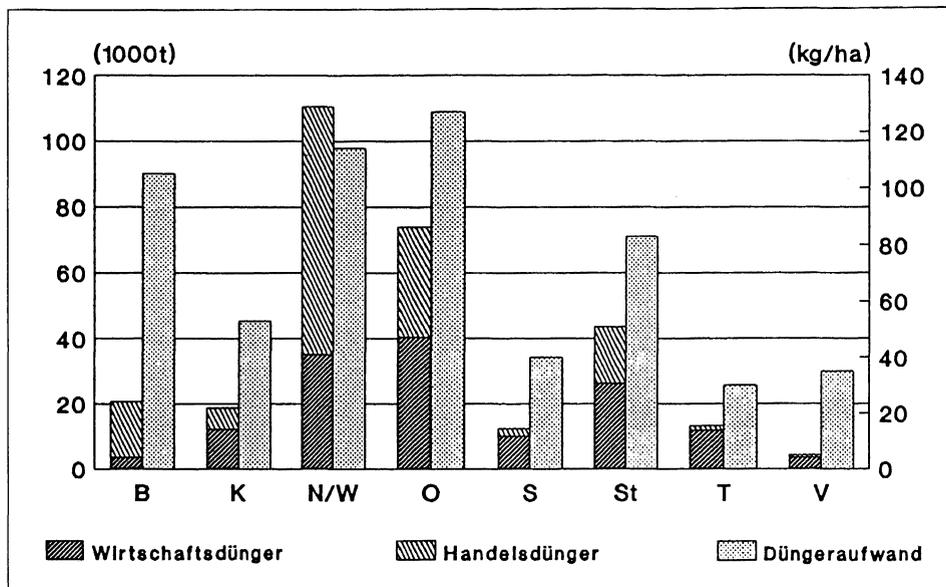


Abb. 1: Düngereintragung N in den Bundesländern 1986

Verhältnisse in Österreich am besten eingehen und die Viehzählungsstatistik des Östz (1987 a) als Grundlage des Viehbestandes haben.

Bei den anorganischen Stickstoffdüngern wurde auf eine Veröffentlichung der heute in dieser Form nicht mehr bestehenden ÖSTERREICHISCHEN DÜNGERBERATUNGSSTELLE (ÖDB 1987) zurückgegriffen. Hier muß allerdings eingeschränkt werden, daß sich diese Angaben auf den Verkauf bzw. Handel von Mineraldünger beziehen. Da eine Quantifizierung der tatsächlichen Handelsdüngeraufbringung nicht möglich war, wurde ein Gebrauch am Ort des Kaufes unterstellt.

Zur Ermittlung des relativen Düngeraufwandes (kg/ha) wurde die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) auf der Grundlage der Bodennutzungserhebung (Östz 1987) herangezogen und in Summe für Hof- und Handelsdünger quantifiziert.

Die absolute Wirtschaftsdüngermenge für Österreich beträgt rund 140.000 t Rein-N, wobei in Oberösterreich, gefolgt von Niederösterreich und der Steiermark, die höchste Menge Hofdünger anfällt. In etwa der gleichen Größenordnung fand der Handelsdünger seinen Absatz mit 156.000 t Rein-N. Hier liegt Niederösterreich mit rund der Hälfte der Gesamtmenge an der Spitze, es folgen Oberösterreich, das Burgenland und die Steiermark (s. auch Tab. 1).

## 2.2 Sonstiger Eintrag

Als weitere Stickstoffquellen für den Boden gelten Depositionen aus der Luft, Aufbringung von Klärschlämmen, Zufuhr mit dem Saatgut, symbiotische und nicht-symbiotische N-Fixierung durch Mikroorganismen. Diese Berechnungen beruhen auf Faustzahlen bzw. Schätzungen und können je nach den lokalen Verhältnissen sehr stark variieren.

Mit den zunehmenden Emissionen von Stickoxiden aus energetischen Verbrennungsprozessen in den letzten Jahrzehnten nahmen auch die Depositionen von Stickstoffverbindungen zu. Für Österreich wurde das ACID-RAINS-Modell

der IASA LAXENBURG (1988) verwendet, das die totale N (NO<sub>x</sub>)-Deposition breiten- und längengradmäßig errechnen kann. Über Österreich wurde ein Rasternetz mit den jeweiligen Eckpunkten eines halben Längen- und Breitengrades (70 Punkte) gelegt, die Depositionsmengen bestimmt und den jeweiligen Bundesländern zugeordnet. Die NH<sub>3</sub>-Depositionen sind als Differenz der Gesamtstickstoff-Deposition in den Bundesländern (ÖSTERREICHISCHES BUNDESINSTITUT FÜR GESUNDHEITSWESSEN, ÖBIG 1989) und den NO<sub>x</sub>-Depositionen (INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS, IASA 1988) berechnet und stellen somit Maximalwerte dar.

Die Erfassung einer Verwertung von Klärschlämmen auf der landwirtschaftlichen Fläche stellt ein besonderes Problem dar. In den Bundesländern besteht keine einheitliche Meldepflicht oder Erfassung der anfallenden Mengen an Klärschlamm (LENGYEL 1986, FISCHER-KOWALSKI 1988). Aufgrund von Schätzungen gehen KROISS und NAGEL (1989) von rund 220.000 t anfallender Trockensubstanz pro Jahr mit einem N-Gehalt von 8500 t aus. Im Durchschnitt würden hiervon 29 % der Feststoffe (2500 t) landwirtschaftlich verwertet. Es kann nur für Kärnten und die Steiermark ein relativ geringer Anteil und für Vorarlberg und das Burgenland ein hoher Anteil landwirtschaftlich verwerteter Klärschlämme festgestellt werden.

Bei der biologischen Stickstoff-Fixierung durch symbiontisch und nicht-symbiontisch lebende Mikroorganismen besteht die Schwierigkeit einer Quantifizierung, ob von den Mikroorganismen für sich bzw. ihre symbiontischen Partner zusätzlich Stickstoff aus der Atmosphäre fixiert wird, in dem unterschiedlichen Verhalten — je nach den vorliegenden Lebensumständen. In der Regel kommt die biologische Stickstoff-Fixierung nur bei schlecht versorgten Böden zum Tragen (KUNTZE und Ma. 1988) und kann daher bei landwirtschaftlich genutzten Böden für nicht-symbiontische Mikroorganismen vernachlässigt werden. Bei den Leguminosen wurde eine Bindungsleistung angenommen, die den N-Gehalten der Ernteprodukte entspricht. Sie stellt damit einen Kompromiß zwischen einer nicht gegebenen und einer über den eigenen Gehalt hinausgehenden N-Fixierung dar.

Die Zufuhr über das Saatgut steht in unmittelbarer Abhängigkeit zum Anbauprodukt. Es wurde daher unterstellt, daß ein mittlerer Anteil des Saatgutes als N-Eintrag mit dem N-Gehalt des Ernteentzuges in Beziehung steht, es wurden 7,5 % des Ernteentzuges in Rein-N als Eintrag mit dem Saatgut angenommen.

Zusammenfassend ergibt sich für die Bundesländer folgender Stickstoffeintrag in das System Boden-Landwirtschaft:

Tabelle 1

*Summe des N-Eintrages auf die landwirtschaftliche Nutzfläche 1986*

Bundesland	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Burgenland	22.000	1.400	700	900	560
Kärnten	22.000	3.500	2.100	400	230
Niederösterreich/Wien	125.000	7.700	7.000	4.300	3.900
Oberösterreich	90.000	5.800	7.500	2.000	2.800
Salzburg	15.000	3.400	1.500	30	40
Steiermark	53.000	4.700	4.900	1.200	800
Tirol	17.000	4.500	1.700	100	120
Vorarlberg	5.000	1.000	600	50	20
Österreich insgesamt	349.000	32.000	26.000	9.000	8.500

1 — Landwirtschaftlicher Dünger (inkl. NH<sub>3</sub>-Verluste) (t)

2 — Luftdeposition NO<sub>x</sub> (t)

4 — Saatgut (t)

3 — Luftdeposition NH<sub>3</sub> (t)

5 — Biologische Fixierung (t)

### 3. Austrag aus dem System Boden

#### 3.1 Ernteaustrag

Auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen stellt die Ernte den größten Teil des Stickstoffaustrages dar. Der gesamte N-Entzug kann über die Erntemengen abzüglich der Ernterückstände und einen mittleren N-Gehalt der einzelnen Kulturarten ermittelt werden. Als Grundlage zur Berechnung dienen die Erntemengen in den Ergebnissen der landwirtschaftlichen Statistik 1986 (Östz 1987 a) und Durchschnittswerte für den spezifischen N-Entzug der Kulturarten aus den Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau (RUHR-STICKSTOFF-AG 1988) — auch hier muß wieder mit größeren Schwankungsbreiten gerechnet werden. Als Zusammenfassung wird der Gesamternteentzug (t) für Ackerland, Grünland, Wein und Obstbau dargestellt und insgesamt als relativer Entzug (kg/ha) nach der Bodennutzungserhebung 1986 (Östz 1987) ausgedrückt.

Der größte Stickstoffentzug erfolgt vom Grünland (138.000 t) besonders in Oberösterreich, der Steiermark und Tirol, beim Ackerlandentzug (115.000 t) — Niederösterreich vor Oberösterreich und der Steiermark — und beim Obst- und Weinernteentzug (3000 t) in Niederösterreich/Wien und im Burgenland.

#### 3.2 Sonstiger Austrag

Als weitere Stickstoffausträge aus den Böden werden gasförmige N-Verluste bei Wirtschafts- und Handelsdüngern, Denitrifikationsverluste und eine mögliche Auswaschung von Nitrat bei gedüngten, landwirtschaftlich genutzten Flächen berücksichtigt.

Die mengenmäßig größten Verluste treten bei der Tierhaltung in Form von Ammoniak auf. Sie können anhand von spezifischen Emissionsfaktoren der einzelnen Tierarten multipliziert mit der absoluten Zahl an Tieren relativ gut geschätzt werden. Bei Handelsdüngern kann ebenfalls ein spezifischer

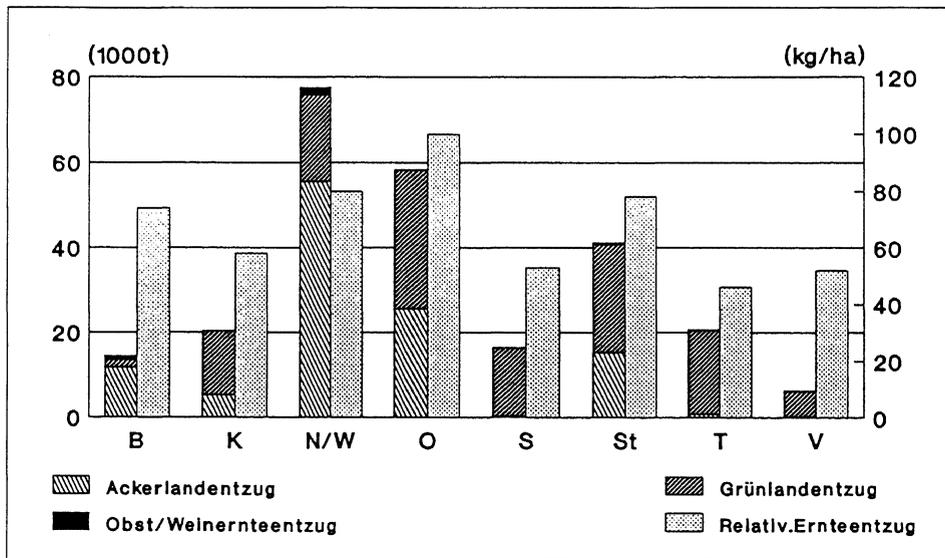


Abb. 2: Ernteaustrag N in den Bundesländern 1986

NH<sub>3</sub>-Austrag, differenziert nach den unterschiedlichen Stickstoffdüngern und aufgrund ihres Verkaufs quantifiziert werden. Die Emissionsfaktoren wurden BULJSMAN und Ma. (1987) entnommen, die Viehzahlen den Veröffentlichungen des Östz (1987a) und die Handelsdüngermengen den Unterlagen der Österreichischen Düngerberatungsstelle (ÖDB 1987).

Bei der Denitrifikation sind die vielfältigen Wechselbeziehungen der denitrifizierenden Mikroorganismen mit ihrer Umwelt von besonderer Bedeutung. Neuere Untersuchungen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1989) bestätigen die starke Abhängigkeit von Feuchteverhältnissen, Temperatur, löslichem organischen Material und dem pH-Wert des Bodens.

In Feldversuchen stellten COLBOURN und Ma. (1985) Denitrifikationsraten bis zu 0,07 kg/ha·d fest, entsprechend etwa 1 % der Düngergabe. Dieses Düngungsniveau entspricht den Verhältnissen in Österreich. Ungeachtet der sonstigen Bedingungen der Feldversuche wird dieser Wert als Denitrifikationspotential der Bodenorganismen angesehen und bei einer Vegetationsperiode von 200 Tagen für die düngungswürdige Fläche der Bundesländer berechnet. Die düngungswürdige Fläche wurde dem Jahrbuch 1986 des ÖDB (1987) entnommen.

Als Gewässeraustrag wird im wesentlichen der Nitrataustrag über das Grundwasser gesehen. Für Österreich liegen jedoch keine flächendeckenden Daten zum Stickstoffaustrag in Gewässer vor. Anhand aufwendiger Simulationsmodelle (DUYNISFELD und STREBEL 1986, HUWE und PLOEG 1988) — unter Berücksichtigung der maßgeblichen Einflußfaktoren, wie hydrogeologische Verhältnisse, Sickerwasser- und Grundwasserflüsse, einer Verknüpfung von Boden, Klima- und Witterungsparametern wäre es zwar möglich den tatsächlichen Verhältnissen nahe zu kommen, doch liegen diese Erhebungen nicht in genügender Differenzierung und auf aktuellem Stand vor.

Es wurde daher ein spezifischer Grundwassereintrag als Durchschnittswert in Abhängigkeit von der Bodennutzung betrachtet, der bei Ackerland mit 25 kg/ha·a und bei Grünland mit 8 kg/ha·a (jeweils Rein-N) angenommen wird. Die Werte bewegen sich damit im unteren Schwankungsbereich in mitteleuropäischen Agrarökosystemen (DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU, DVWK 1985, KUNTZE und Ma. 1988), jedoch im Mittel österreichischer Angaben (SAMPL 1986, LÖHR 1983). Insgesamt kann es sich nur um eine grobe Schätzung — ohne Berücksichtigung wichtiger, nicht vorliegender Daten — handeln.

Zusammenfassend ergibt sich folgender N-Austrag aus dem Boden:

Tabelle 2

*Summe des N-Austrages von der landwirtschaftlichen Nutzfläche 1986*

Bundesland	(1)	(2)	(3)	(4)
Burgenland	14.000	2.200	2.700	5.500
Kärnten	21.000	4.300	2.400	4.500
Niederösterreich/Wien	78.000	18.400	13.200	23.000
Oberösterreich	59.000	16.200	8.000	11.000
Salzburg	16.000	2.900	1.400	3.000
Steiermark	41.000	10.600	5.300	8.000
Tirol	21.000	3.350	1.500	4.000
Vorarlberg	6.000	1.050	500	1.000
Österreich insgesamt	256.000	59.000	35.000	60.000
1 — Entzug durch die Ernte (t)		3 — Denitrifikationsverluste (t)		
2 — Ammoniak-Abgasung (t)		4 — Grundwassereintrag (t)		

Im einzelnen beträgt die Ammoniak-Abgasung bei Hofdüngern rund 50.500 t, bei Handelsdüngern 8500 t, die Denitrifikation bis zu 35.000 t, ein möglicher Grundwasseraustrag vom Ackerland 42.000 t und vom Grünland 18.000 t — mehr oder minder große Schwankungsbreiten sind zu berücksichtigen. Alle Angaben beziehen sich auf Rein-N und Österreich insgesamt.

#### 4. Bilanzierung

Insgesamt erreicht die Stickstoffbilanz Boden-Landwirtschaft, unter Berücksichtigung sämtlicher relevanter Ein- und Austräge und unter der Annahme nicht wesentlich geänderter Stickstoffspeicher bzw. -gehalte des Bodens, im Untersuchungszeitraum einen **Ausgleich** (Differenz = +17.000 t). Bei einer reinen Bilanzierung von Düngereintrag abzüglich des Ernteaustrages ergibt sich ein Überschuß von 44.000 t.

Aufgrund der Schwankungsbreiten bei der Quantifizierung kann es sich bei diesen Differenzbeträgen nur um theoretische Werte handeln. Insgesamt bewegen sie sich mit einem Anteil von 5 % bei einer Gesamtmenge der Ein- und Austräge von rund 800.000 t Rein-N in dem Unsicherheitsbereich statistischer Erhebungen, wobei die Erhebungen und Berechnungen ihrerseits rund 20 % schwanken können.

Die genannten Einschränkungen unterstreichen den Charakter dieser Stickstoffbilanzierung als Schätzung und sind bei einer Interpretation vor diesem Hintergrund zu sehen. Deutlich kommen jedoch auch hier die Größenordnungen im Kreislauf zutage und können bei gleicher Unsicherheit regional differenziert betrachtet werden.

So bietet sich in den Politischen Bezirken ein weit differenziertes Bild der Stickstoffbilanzierung. Bei einer Gegenüberstellung von Gesamtdüngeraufwand und Gesamternteentzug weisen die westlichen Regionen Österreichs, des Alpengebietes mit überwiegender Grünlandnutzung, negative Bilanzen auf. Bei zunehmender Ackernutzung — und besonders in Sonderkulturgebieten Nieder-, Oberösterreichs und des Burgenlandes — sind die Bilanzen positiv.

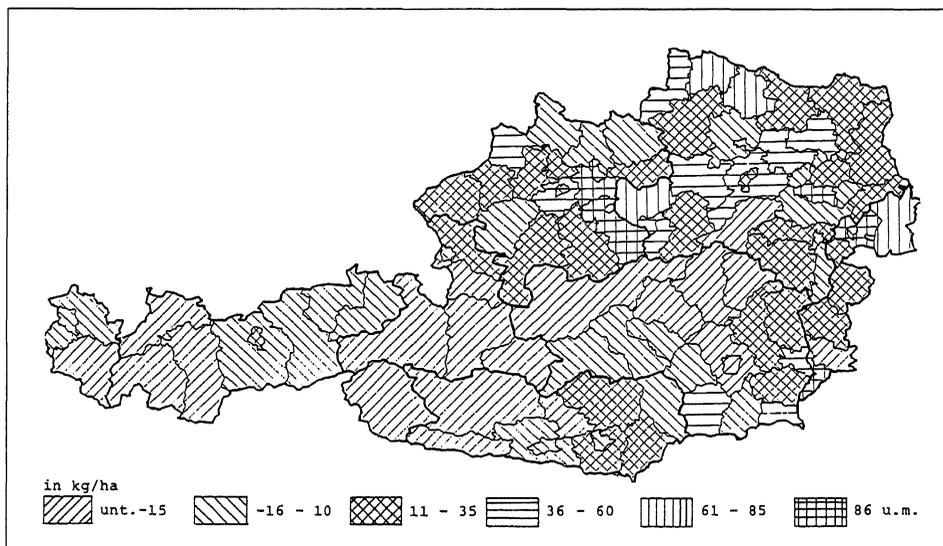


Abb. 3: Bilanz Gesamtdüngeraufwand — Gesamternteentzug Rein-N bei der landwirtschaftlichen Nutzfläche (1986)

## 5. Volkswirtschaftliche Betrachtung

Mit der Ernte verläßt ein großer Teil des Stickstoffes den Boden und die Landwirtschaft. Für eine Betrachtung der weiteren Verwendung ist eine Unterscheidung in Nahrungs- und Futtermittel sinnvoll, wobei auch Ein- und Ausfuhr mitzuberechnenden sind.

Der Stickstoffgehalt der Futtermittel kommt einerseits über die tierische Veredlung zu den Nahrungsmitteln und andererseits über tierische Exkremente als Wirtschaftsdünger wieder auf die Fläche. Bei der Verwendung als Hofdünger ist der innerbetriebliche Stickstoffkreislauf ebenso wie bei einer Verwendung des Erntegutes als Saatgut geschlossen und entfällt somit bei einer weiteren Betrachtung.

Als Berechnungsgrundlage diente die Ernährungsbilanz in den Ergebnissen der landwirtschaftlichen Statistik (Östz 1987 a) und die österreichische Außenhandelsbilanz 1986 (Östz 1987 b), wobei zwischen Erzeugung, Einfuhr, Ausfuhr von Nahrungs- und Futtermittel und Verwendung als Nahrungs- und Futtermittel unterschieden wurde. Die mittleren N-Gehalte sind den Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau (RUHR-STICKSTOFF-AG 1988) entnommen.

Tabelle 3

*Stickstoffzufuhr und -verluste in Österreich 1986*

	Zufuhr (t N/a)		Verluste (t N/a)
Handelsdünger	156.000	Nahrungsmittel	41.000
Nahrungsmittelfuhr	7.500	Nahrungsmittelfuhr	25.000
Futtermittelfuhr	42.000	Futtermittelfuhr	5.000
Lageränderung	2.000	Schwund	9.000
Klärschlamm (landw. genutzt)	2.500	NH <sub>3</sub> -Ausgasung	59.000
Gesamt-N-Deposition	58.000	Denitrifikation	35.000
Biotische N-Fixierung	8.500	NO <sub>3</sub> -Auswaschung	60.000

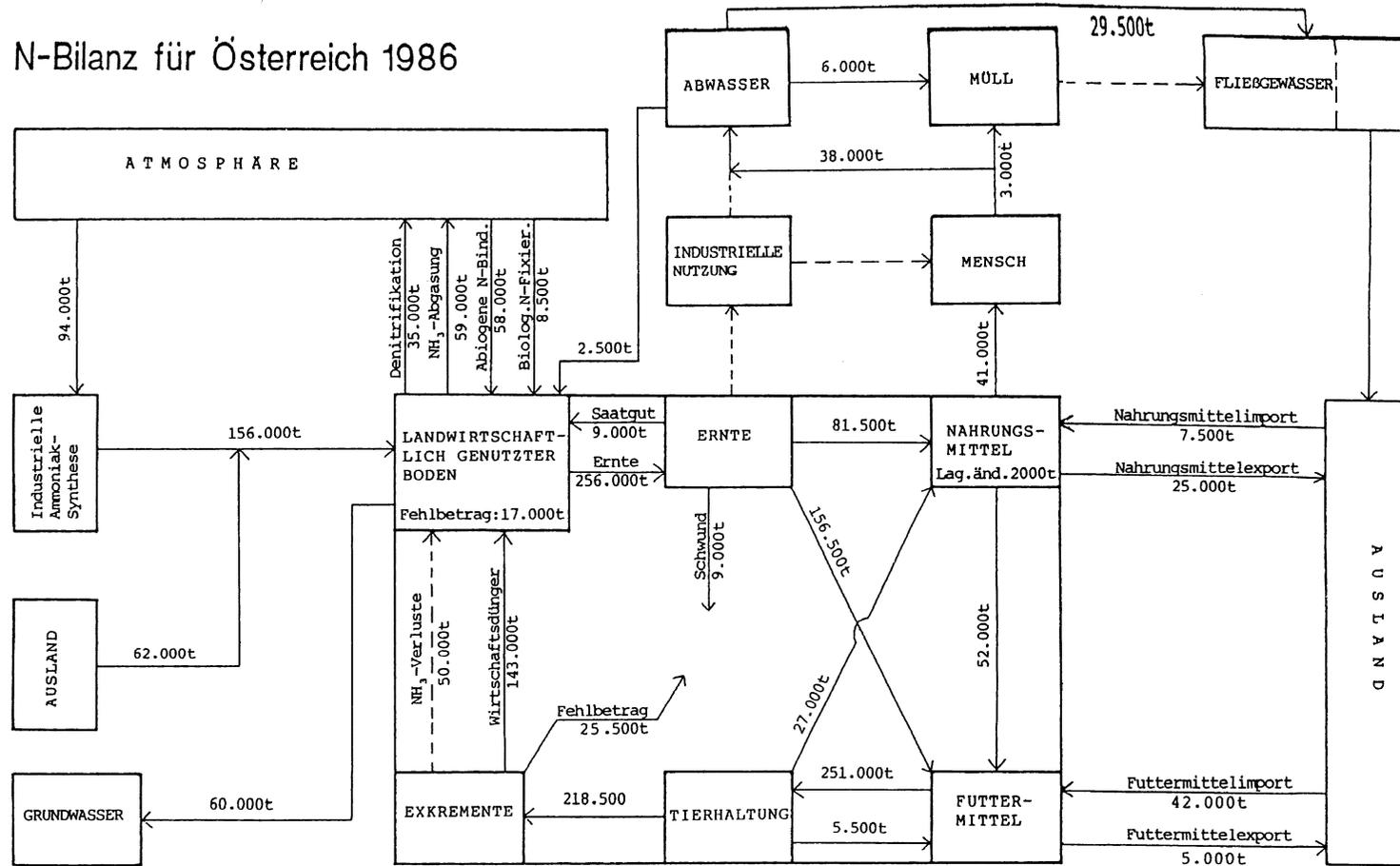
Die gesamten Stickstoffverluste müssen zur Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit und damit zur Sicherstellung der menschlichen Ernährung über den Einsatz von Handelsdüngern (156.000 t, davon 62.000 t Import und 94.000 t inländische Produktion) und Futtermittelimporte (Einfuhr minus Ausfuhr: 37.000 t) ausgeglichen werden.

Dies entspricht einem Stickstoffaufwand von 193.000 t. Da der Nutzen des Stickstoffes in Nahrungsmitteln aber nur 58.500 t beträgt (Verbrauch: 41.000 t und Ausfuhr abzüglich Einfuhr: 17.500 t), liegt der Ausnutzungsgrad bei 30 % und ist volkswirtschaftlich ein unbefriedigendes Ergebnis.

Die Ursachen der Ungleichgewichte im N-Kreislauf sind vielfältig. Der innerbetriebliche Kreislauf der Nährstoffe wurde durch die Intensivierung und Spezialisierung der landwirtschaftlichen Produktion, einhergehend mit verstärkten Ernteentzügen, unterbrochen und mußte in zunehmendem Maße durch den Einsatz mineralischer Dünger ausgeglichen werden. Nur zum Teil gelangen die Nährstoffe über Futtermittel und Wirtschaftsdünger wieder auf die Fläche. Klärschlämme und Komposte werden nur in sehr geringem Umfang wieder einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt.

Hinzu kommen erhöhte Verluste durch Denitrifikation, Ammoniakabgasung und Nitratauswaschung bei zunehmend intensiver Nutzung (SAUERBECK 1984).

# N-Bilanz für Österreich 1986



Die Verschlechterung der Grundwasserqualität bedingt auch eine Minderung der Trinkwasserqualität, sodaß in Zukunft viele Trinkwasserversorgungsunternehmen teure Aufbereitungsanlagen zur Einhaltung des neuen Nitratgrenzwertes von 50 mg/l errichten müssen. Durch Ammoniak kann es zu Geruchsbelästigungen und dem Freiwerden von Keimen kommen,  $\text{NO}_2$  ist im Hinblick auf die photochemische Ozonbildung von Bedeutung. Beide Verbindungen können zu Schädigungen von Pflanzen und einer Erkrankung der Atemwege bei Mensch und Tier führen.

Bei ihrer weiteren Verwendung gelangen die Ernteentzüge über tierische Veredlung und Nahrungsmittel in das Abwasser und den Müll. Hier werden sie entweder deponiert, verbrannt, gelangen in das Grundwasser oder werden in die Fließgewässer abgegeben, wo sie zu Eutrophierungen führen können. ATZMÜLLER und Ma. (1990) ermittelten 38.000 t Rein-N, die in das Abwasser gelangten, hiervon wurden 2500 t einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt, 6000 t auf Deponien gebracht und die restlichen 29.500 t an die Fließgewässer abgegeben. ZAWODSKY (1990) kam zu rund 3000 t Rein-N in dem jährlich anfallenden Hausmüll mit einer Auswaschung ins Grundwasser von ca. 50 t N/a.

Zusammenfassend können die Ergebnisse der Stickstoffbilanz für Österreich 1986, sowohl des Systemes Boden-Landwirtschaft als auch seiner volkswirtschaftlichen Bedeutung, in einem Fließschema dargestellt werden (Abb. 4).

## 6. Problemanalyse

Böden unterliegen als offene Systeme der Zu- und Abfuhr von Stoffen, die im natürlichen Zustand in verschiedenen, zusammenhängenden Kreisläufen zirkulieren. Der Mensch übt hier durch seine wirtschaftende Tätigkeit einen wesentlichen Einfluß aus.

Früher vollzog sich eine weitgehende Wiederherstellung der durch Entnahme und Abtransport des Erntegutes aufgebrochenen Stoffkreisläufe durch die Kombination von Ackerbau und Viehhaltung. Mit der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion zum Erreichen von Optimalerträgen und der damit einhergehenden Spezialisierung der Betriebe in zum Teil reine Ackerbau- und Tierhaltungsbetriebe, zeigen sich einerseits Überdüngungstendenzen meist im Ackerbau durch Handelsdüngereinsatz, die nicht in dem Maße durch erhöhte Ernteerträge ausgeglichen werden. Andererseits treten in reinen Viehhaltungsbetrieben Entsorgungsprobleme bei den anfallenden Wirtschaftsdüngermengen — und hier besonders bei einem zu hohen Viehbesatz — sowie Verluste bei unsachgemäßer Lagerung und Aufbringung hervor.

### 6.1 Maßnahmen

Die Ungleichgewichte und Störungen im landwirtschaftlichen Stickstoffkreislauf zeigen die dringende Notwendigkeit für Maßnahmen zur Reduktion von N-Verlusten. Teilweise sind die Bedingungen für diese Verluste nur eingeschränkt zu beeinflussen; hierzu gehören Untergrundverhältnisse, Bodenart, Klima, Witterung usw.

Sehr wohl beeinflussbar sind Verluste durch Nutzungsart, Bewuchs, Bodenbearbeitung, Zeit, Menge und Art der aufgetragenen Düngemittel. Folgende Maßnahmen werden zu einer Vermeidung von Stickstoffverlusten empfohlen:

- Bedarfsangepaßte Düngung: Berücksichtigung des bereits im Boden mineralisierten Stickstoffes ( $N_{\min}$ -Methode), Ausbringung von N-Düngern in kleinen Gaben, Kopfdüngung, Sachgerechte Gülle-Lagerung in den Zeiten geringen Bedarfs.

- Angepaßte Bodenbearbeitung: Vermeidung zu intensiver Bodenbearbeitung und -lockerung.
- Anbau von Zwischenfrüchten: zum Verbrauch von mineralisiertem Nitrat im Herbst und Winter, kein Anbau von Leguminosen in diesen Zeiträumen als Zwischenfrucht (zusätzliche N-Freisetzung).
- Aufbringung von Klärschlämmen, Gülle, Flüssigmist und Stallmist mit rascher Einarbeitung in den Boden zur Vermeidung erhöhter  $\text{NH}_3$ -Verluste.
- Einzelbetriebliche Düngerberatung, z. B. Landwirtschaftskammern.

Neben diesen Maßnahmen, die auch ohne Verluste von Ernteerträgen durchgeführt werden können, sollten ebenfalls Überlegungen angestellt werden, ob eine allein auf Ertragsoptimierung ausgerichtete Landwirtschaft in Österreich noch zeitgemäß ist. Dies gilt vor allem für Gebiete mit nitrat-gefährdetem Grundwasser, wo im wasserwirtschaftlichen Sinne ein Verzicht auf hohe Düngergaben und damit auch Ertragsverluste in Kauf genommen werden müssen. Gegebenenfalls sind die Landwirte in diesen Gebieten zu entschädigen.

Die weitere Entwicklung zu monostrukturellen Großbetrieben mit den bekannten Problemen sollte im Hinblick auf eine ausgewogene, kleinstrukturierte Landwirtschaft mit kombinierten Betriebszweigen verhindert werden. Dort ist es leichter möglich eine Kreislaufwirtschaft mit Ackernutzung und Viehhaltung zu betreiben. Daneben werden solche Betriebe ihrer Aufgabe zur Landschaftspflege und nachhaltiger Produktionssicherung eher gerecht.

Ein weiteres Ziel ist es, die in Klärschlämmen, Müll und Komposten enthaltenen Nährstoffe wieder in die landwirtschaftliche Produktion einzubringen. Dies setzt einerseits eine weitgehende Abwasserreinigung mit einer Rückgewinnung der Nährstoffe, soweit möglich, voraus. Andererseits muß es sich um unbedenklichen Klärschlamm und Müllkompost handeln, wozu ein umfassendes Abfallwirtschaftskonzept und dessen Umsetzung notwendig ist.

Kurz sei noch auf die Problematik bei einer Erstellung der Stickstoffbilanz eingegangen. Bei der vorliegenden Studie konnte nur z. T. auf vorhandene statistische Unterlagen zurückgegriffen werden (Östz: Bodennutzungserhebung, Viehzählungsstatistik, Ergebnisse der landwirtschaftlichen Statistik, Außenhandelsbilanz; Öbn: Handelsdüngermengen). Sonstige Ein- und Austräge mußten über allgemeingültige Faustzahlen und Mittelwerte abgeschätzt werden. Hierdurch bedingt sind gewisse Unsicherheiten und Schwankungsbreiten bei der Quantifizierung.

Notwendig erscheinen uns:

- einheitliche, flächendeckende Bodenuntersuchungen zur langfristigen Abschätzung der N-Dynamik im Boden (Bundesanstalt für Bodenkunde)
- weitgehende Verknüpfung relevanter Umweltparameter (Geologie, Bodenkennwerte, Grundwasserverhältnisse, Klima, Witterung u. a.) und deren Einfluß auf N-Umsetzungen durch langfristige Untersuchungen an repräsentativen Standorten.

### **Zusammenfassung**

Für die Bilanzierung des Stickstoffes im Boden werden die Ein- und Austräge dieses Systems für Österreich betrachtet. Es handelt sich um eine flächendeckende Schätzung für das Bezugsjahr 1986 mit regionaler Differenzierung bei dem Schwerpunkt landwirtschaftlicher Produktion und einer Analyse des volkswirtschaftlichen Gesamtnutzens in Österreich, die auf konkreten statistischen Daten bzw. allgemein gültigen Faustzahlen beruht.

## Nitrogen Circulation in Austria

### Summary

It was the object of this nitrogen balance sheet to quantify the input and output of nitrogen for the area of Austria. These areable calculations based on statistical and quantified data for the year of 1986 in regional deviation. The main point was to evaluate nitrogen circulation in agro-ecosystems and its pathways in the economy of Austria.

### Literatur

- ATZMÜLLER, C., I. FRÜHWIRTH und E. HORAK: Oberflächengewässer. In: TUSCH, Wien 1990.
- BERGER, T. und F. TWRDIK: Luft. In: TUSCH, Wien 1990.
- BUIJSMAN, E., H. F. M. MAAS and W. A. H. ASMAN: Anthropogenic NH<sub>3</sub> Emissions in Europe. *Atmospheric Environment* 21, 5, 1009—1022, 1987.
- COLBOURN, P., M. M. IQUAL und I. W. HARPER: Estimation of the total gaseous nitrogen losses from clay soils under laboratory and field conditions. *Journal of Soil Science* 35, 11—22, 1984. In: RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN, Stuttgart — Mainz 1985.
- DISSEMOND, H., T. GOMISCEK und M. ZESSNER: Boden. In: TUSCH, Wien 1990.
- DUYNISVELD, W. H. M. und O. STREBEL: Ermittlung der Nitratverlagerung aus Ackerböden ins Grundwasser mit Hilfe von Simulationsmodellen. *Umweltforschungsplan des Bundesministers des Inneren, Wasserwirtschaft — Forschungsbericht*, Bonn 1986.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (DVWK) (Hrsg.): Bodennutzung und Nitrataustrag. *Literaturauswertung über die Situation bis 1984 in der Bundesrepublik Deutschland*. DVWK-Schriften 73, Hamburg — Berlin 1985.
- FISCHER-KOWALSKI, H. (Hrsg.): *Öko-Bilanz Österreich. Zustand, Entwicklungen, Strategien*. Falter-Verlag, Wien 1988.
- HUWE, B. und R. R. v. D. PLOEG: Modelle zur Simulation des Stickstoffhaushaltes von Standorten mit unterschiedlicher landwirtschaftlicher Nutzung. *Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart — Mitteilungen im Eigenverlag*, 69, 1988.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS (IIASA): Acid Rains Modell, Version 4.0. Laxenburg 1988.
- KROISS, H. und G. NAGEL: Klärschlamm Entsorgung in Österreich. *Wiener Mitteilungen* 62, Beitrag C, 1989.
- KUNTZE, H., G. ROESCHMANN und G. SCHWERDTFEGER: *Bodenkunde*. Eugen Ulmer-Verlag, Stuttgart 1988.
- LENGYEL, W.: Stand und Zukunftsaspekte der Klärschlammbehandlung und -beseitigung in Österreich. *Schriftenreihe des ÖWWV*, 66, 99—114, 1986.
- LÖHR, L.: *Faustzahlen für den Landwirt*. Leopold Stocker-Verlag, Graz — Stuttgart 1983.
- ÖSTERREICHISCHE DÜNGERBERATUNGSSTELLE (ÖDB) (Hrsg.): *Jahrbuch 1986*, Wien 1987.
- ÖSTERREICHISCHES BUNDESINSTITUT FÜR GESUNDHEITSWESEN (ÖBIG) (Hrsg.): *Umweltbericht*. 9 Bände, Wien 1989.
- ÖSTERREICHISCHES STATISTISCHES ZENTRALAMT (Östz) (Hrsg.): *Bodennutzungserhebung 1986*. Wien 1987.
- ÖSTZ (Hrsg.): *Ergebnisse der landwirtschaftlichen Statistik 1986*, Wien 1987 a.
- ÖSTZ (Hrsg.): *Außenhandelsbilanz 1986*. Wien 1987 b.
- RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (SRU): *Umweltprobleme der Landwirtschaft*. Sondergutachten, Stuttgart — Mainz 1985.
- RUHR-STICKSTOFF AKTIENGESELLSCHAFT (Hrsg.): *Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau*. Landwirtschaftsverlag, Bochum 1988.
- SAMPL, H.: Einfluß von Nährstoffausschwemmung und Bodenerosion auf die Gewässereutrophierung. *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Forschungsarbeiten*, Wien 1986.
- SAUERBECK, D.: Die land- und wasserwirtschaftliche Bedeutung des Stickstoffkreislaufes in Böden. *Zeitschrift Gewässerschutz — Wasser — Abwasser*, 627—662, 1984.
- SCHECHTNER, G. und K. BUCHGRABER: Richtwerte des Fachbeirates für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz für die Düngung des Grünlandes. 1. Fassung, Entwurf und Erläuterungen, Wien 1989.
- SCHAEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL: *Lehrbuch der Bodenkunde*. Enke Verlag, Stuttgart 1989.

TUSCH: Stickstoffbilanz für Österreich, Interdisziplinäres Projekt Technischer Umweltschutz 1989/90, Universität für Bodenkultur Wien und Technische Universität Wien, Wien 1990.  
ZAWODSKY, R.: Grundwasser. In: TUSCH, Wien 1990.

(Manuskript eingelangt am 29. Oktober 1990)

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Geogr. Hermann DISSEMOND, Gebhardtgasse 8/2, A-1190 Wien, Dipl.-Ing. Tanja GOMISCEK, Untere Augartenstraße 21/21, A-1020 Wien, Dipl.-Ing. Matthias ZESSNER, Trautmannsdorfgasse 34, A-1130 Wien