

# Unvermeidbare Nährstoffverluste in der Landwirtschaft

*Reinhold Gutser und Thomas Ebertseder, Freising*

Aufgabe dieses Vortrages ist es, Auswirkungen der Landbewirtschaftung auf unsere Umwelt abzuschätzen und grundsätzliche Ursachen hierfür kurz zu nennen, um dann als wesentlichen Teil einen Schätzrahmen für die Ermittlung unvermeidbarer Stickstoff-, Phosphor- und Kalium-Verluste in landwirtschaftlichen Betrieben vorzustellen, der von nachstehender Autorengruppe entwickelt wurde.

Autorengruppe:

Gerhard Baumgärtel, Landwirtschaftskammer Hannover  
Thomas Ebertseder, BASF Aktiengesellschaft  
Reinhold Gutser, TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan  
Ulrich Hege, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau  
Jörg Hötter, Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten  
Frank Lorenz, LUFA Oldenburg  
Kristian Orlovius, Kail und Salz GmbH  
Joachim Pollehn, Düngekalk-Hauptgemeinschaft  
Dietrich Pradt, Bundesarbeitskreis Düngung (Vorsitzender der Arbeitsgruppe)  
Martin Rex, Thomasdünger GmbH  
Hans-Peter Wodsack, Hydro Agri Deutschland GmbH

## 1 Auswirkungen der Landbewirtschaftung auf die Umwelt

Landwirte erzeugen nicht nur Nahrungsmittel, sondern Kultur- und Erholungslandschaft und beeinflussen durch ihre Produktionsweise auf den ihnen anvertrauten 60-70% der Landesfläche Deutschlands (Land- und Forstwirtschaft) unter anderem die stoffliche Qualität unserer Umwelt, der Hydrosphäre und der Atmosphäre. Die Öffentlichkeit erwartet von ihren Landwirten zunehmend mehr Umweltleistung, sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht. Der Schutz der Hydrosphäre und Atmosphäre, der Pedosphäre (Bodenschutz) und die Erhaltung der Artenvielfalt als biotische Ressource stehen hierbei im Vordergrund.

Jede Art der Landbewirtschaftung ist zwangsläufig mit Eingriffen in den Naturhaushalt verbunden. Die derzeitigen Anteile der Landwirtschaft an den durch den Menschen verursachten Umweltproblemen sind beachtlich (Abb. 1) und bedürfen einem Gegensteuern durch optimierte und modifizierte Produktionsweisen, begleitet durch geeignete rechtliche Vorgaben und agrarpolitische Rahmenbedingungen. Für eine wirksame Verbesserung der Umweltqualität ist eine ausschließliche Förderung des Öko-Landbaus nicht notwendig, wenngleich diese Art der Bewirtschaftung eine besonders umweltschonende Form darstellt. Es bleibt genügend Spielraum, um durch eine angepasste konventionelle Landwirtschaft gute Umweltstandards zu erreichen.

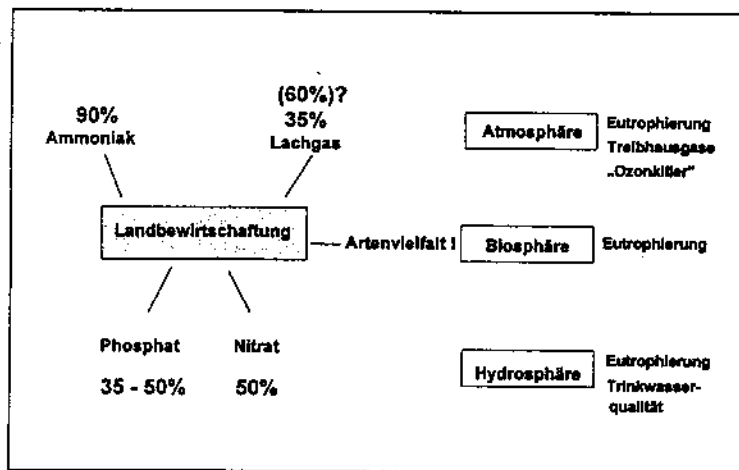


Abbildung 1: Anteil der Landwirtschaft an anthropogen bedingten Umweltproblemen (Gutser und Matthes, 2001)

In den achtziger Jahren wurde insbesondere dem hohen Beitrag der Landwirtschaft zur Eutrophierung der Hydrosphäre größere Beachtung gewidmet. Die Bundesrepublik verpflichtete sich im Rahmen der „Pariser Konvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung“ (PARCOM) zu einer Halbierung der N- und P-Einträge bis 1995. In den neunziger Jahren erhielt die Reduktion der Emissionen an N-haltigen Schadgasen wie  $\text{NH}_3$  und  $\text{N}_2\text{O}$  zunehmende Bedeutung (so z.B. das UN-ECE „Multikomponentenprotokoll“: Limitierung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen in BRD ab 2010 auf jährlich 550 kt; das entspricht einer Reduktion der 1990 emittierten Menge um ca. 30 – 40 %).

Derzeit werden aus Sicht von „Landwirtschaft“ und „Umweltschutz“ z.B. für den Nährstoff Stickstoff sehr unterschiedliche tolerierbare Obergrenzen für Emissionen in die Hydro- und Atmosphäre gefordert. Basis der landwirtschaftlichen Sichtweise ist eine Landwirtschaft nach guter fachlicher Praxis mit der Zielvorgabe der Sicherung einer hohen Produktivität. Der Umweltschutz orientiert sich z.T. an critical loads (z.B.  $\text{NH}_3$ ), an Emissionen ( $\text{N}_2\text{O}$ ) aus nicht oder schwach gedüngten Flächen oder an Zielwerten einer 50 – 80%igen Reduzierung der N-Frachten ( $\text{NO}_3^-$ ) in die Oberflächengewässer. Die derzeitige Ist-Situation für N-Verluste unterscheidet sich um den Faktor 2 bis 3,5 von den Zielwerten aus Umweltsicht (Abb. 2).

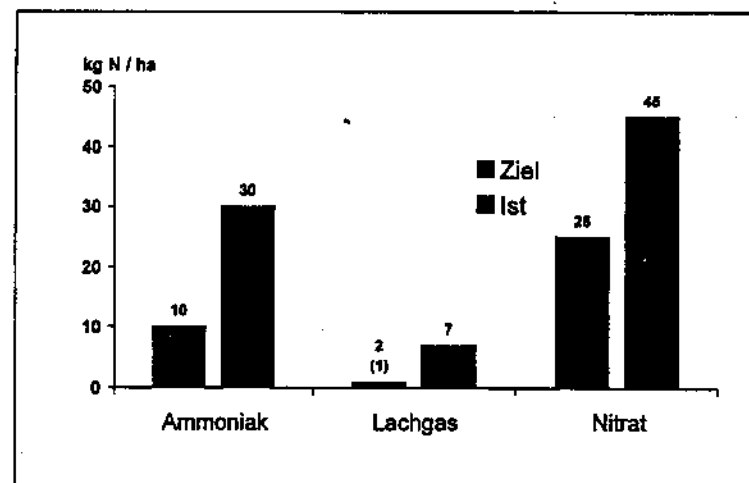


Abbildung 2: Umweltqualitätsziele der Landwirtschaft aus Sicht des Umweltschutzes (Gutser und Matthes, 2001)

Aus diesem Sachverhalt werfen sich zwangsläufig mehrere Fragen auf, die letztlich die Zielsetzung der Arbeitsgruppe hinsichtlich „unvermeidbarer Verluste“ durch sachgemäße Landwirtschaft mit begründet haben:

Ist zur Aufrechterhaltung einer leistungsfähigen Landwirtschaft dieses umweltbelastende Ausmaß notwendig? Welche Umweltstandards lassen sich durch eine „optimale“ Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Betriebe erzielen? Bedarf die Düngeverordnung als wichtige rechtliche Definition der guten fachlichen Praxis einer Korrektur und Konkretisierung?

## 2 Ursachen für die Umweltbeeinträchtigung durch Landwirtschaft

Die Auswirkung der Landwirtschaft auf verschiedene Umwelt-Kompartimente ist vielfältig. Hier sollen nur grundsätzliche Zusammenhänge für den Nährstoff Stickstoff beispielhaft angesprochen werden.

Die Ursachen für hohe N-Einträge sind heute weniger die Folgen einer zeitlich und technisch fehlerhaft ausgebrachten aktuellen Düngung, sondern in erster Linie die kurz- und vor allem langfristigen Auswirkungen einer zu hohen Dosierung der Düngung, insbesondere in tierhaltenden Betrieben. Der Überschuss-Saldo (Hoftorbilanz, Flächen- und Stall-Bilanz) beträgt im Mittel der BRD nach maximal 150 - 160 kg N/ha (1980) heute immerhin noch 100 kg N/ha und ist unter der Annahme stabiler N-Vorräte der Böden gleichzusetzen mit dem durchschnittlichen jährlichen N-Austrag je ha in Gewässer und Atmosphäre, wobei allerdings auch der quantitativ schwer abschätzbare Verlustpfad " $\text{N}_2$  aus der Denitrifikation" mit enthalten ist.

Der hohe „Fruchtbarkeitszustand“ der Böden gewährleistet zwar Ertragssicherheit, erhöht allerdings auch das Potential für N-Verluste. Abbildung 3 weist auf die schwache Kurzzeit- und beachtliche Langzeitwirkung organischer Düngung hin, die in den Düngerstrategien insbesondere tierhaltender Betriebe lange Zeit nicht berücksichtigt wurde.

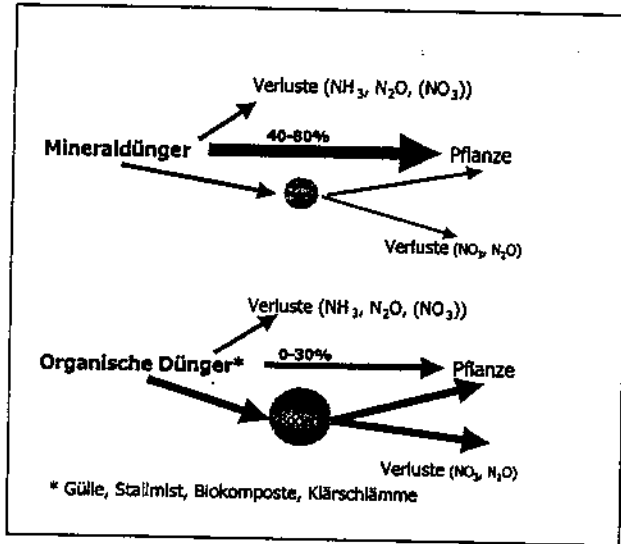


Abbildung 3: Wirk- und Verlustpfade organischer und mineralischer N-Dünger (Gutser und Matthes, 2001)

Die Verluste an Nitratstickstoff durch Auswaschung sind sehr wesentlich auf das im Boden angereicherte N-Potential zurückzuführen, was beispielhaft durch ein Langzeitexperiment im Weihestephaner Lysimeter belegt werden soll (Abb. 4).

Auch der als Lachgas (N<sub>2</sub>O) entweichende Stickstoff besteht zu einem beachtlichen Teil aus über Düngung angereichertem Bodenstickstoff (Abb. 5). In Kombination mit mineralischer N-Düngung wurde auf N-reichen Böden bis zu 90% des emittierten N<sub>2</sub>O-Stickstoff als Boden-N nachgewiesen (Linzmeier et al., 2001).

Die NH<sub>3</sub>-Verluste entstammen nahezu ausschließlich (bis zu 90%) aus der Tierhaltung einschließlich des Recyclings für die Exkremente. Die Verluste werden trotz guter Techniken (Stall, Lagerung, Feld) und optimierter Fütterung wesentlich von der Tierdichte (GV/ha LN) vorbestimmt.

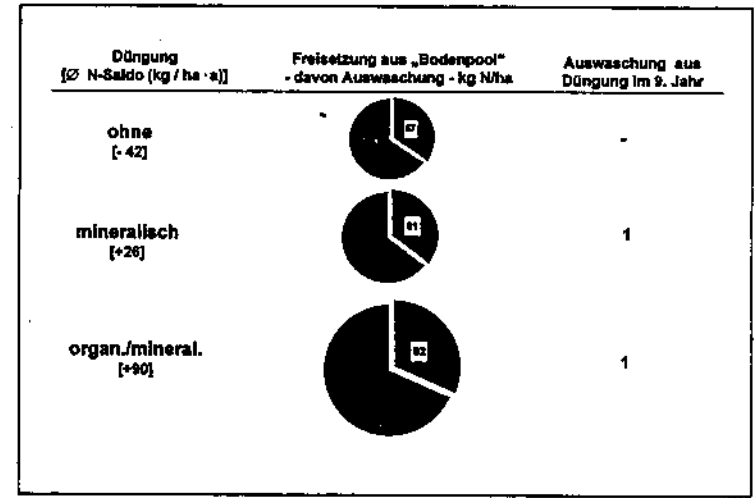


Abbildung 4: N-Potential des Bodens und Nitratauswaschung – Langzeitversuch im 9. Jahr (Lysimeter) (Gutser, 1998)

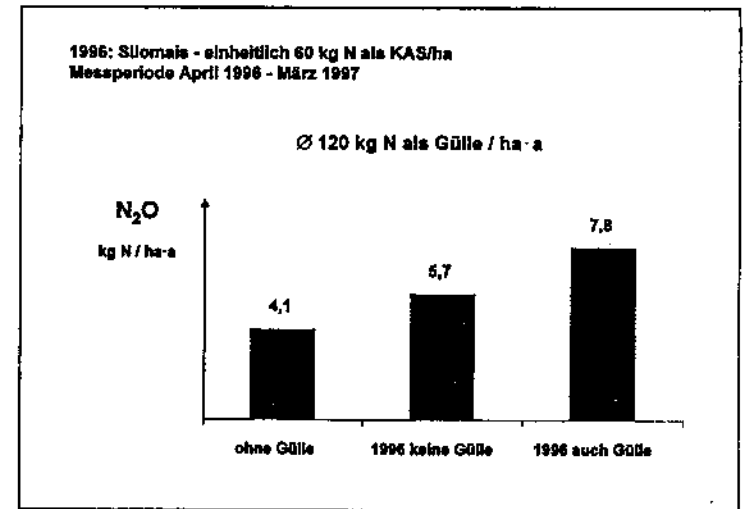


Abbildung 5: N<sub>2</sub>O-Emissionen aus langjährig (seit 1988) mit Gülle gedüngten Flächen (Kilian et al., 1998)

Aus Ergebnissen langjähriger systemgerechter Feldexperimente mit zusätzlicher Miterfassung verschiedener Ein- und Austragspfade (Immissionen und Emissionen) lässt sich beispielhaft für tierhaltende Betriebe (angenommen ca. 1,5 Rinder GV/ha) unter allgemein günstigen Standortbedingungen (Boden, Niederschläge) mit ca. 65 kg N/ha ein wesentlich höherer Verlustsaldo (Saldo aus Immissionen und unvermeidbaren Verlusten) als in Betrieben ohne Tierhaltung mit 15 kg N/ha ableiten (Abb. 6). Die unvermeidbaren Verluste liegen im Bereich von 90 bzw. 40 kg N/ha; die höheren Austräge aus tierhaltenden Betrieben sind auf höhere  $\text{NH}_3$ -Emissionen und Verlustpotentiale aus dem über organische Dünger angereicherten N-Pool der Böden zurückzuführen.

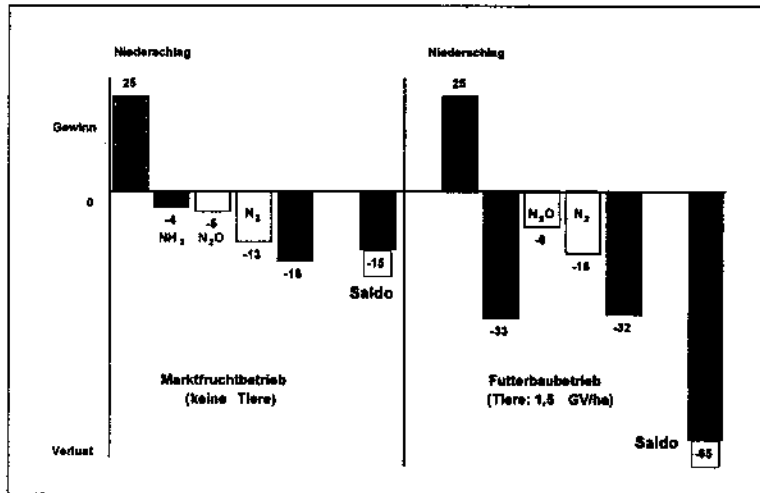


Abbildung 6: Unvermeidbare Gewinne und Verluste an Stickstoff (kg N/ha AF) unter günstigen Standortbedingungen (Gutser und Wagner, 2000)

### 3 Schätzrahmen zur Ermittlung unvermeidbarer N-, P- und K-Verluste aus landwirtschaftlichen Betrieben

Die Arbeitsgruppe hat sich im wesentlichen mit unvermeidbaren Stickstoffverlusten beschäftigt. Zudem wurden einer Literatur-Recherche orientierende Daten für unvermeidbare P- und K-Verluste entnommen.

Zunächst einige Vorbemerkungen:

Sehr lange wurde über eine Definition der Begriffe „unvermeidbare Nährstoffverluste“ beraten, ohne dass letztlich volles Einverständnis erreicht werden konnte. Unstimmigkeiten traten insbesondere dahingehend auf, inwieweit „in einer guten fachlichen Praxis“ auch Umweltas-

pekte maßgebend Berücksichtigung finden sollten und über den Begriff „tolerierbare Verluste“ zum Ausdruck gebracht werden können. Es bestand allerdings volle Übereinstimmung über die aus den Bereichen „Umweltschutz“ derzeit vorgeschlagenen Orientierungswerte bezüglich „tolerabler Verluste aus der Landbewirtschaftung“ inhaltlich nicht näher zu befinden.

Als Bezugsebene für „unvermeidbare Verluste“ wurde ausschließlich der landwirtschaftliche Betrieb (Pflanzen- und Tierproduktion) berücksichtigt. Regionale Betrachtungen, die sich insbesondere für gasförmige N-Verluste anbieten würden, (so z.B. die Fragestellung, wie mit  $\text{NH}_3$ -Verlusten (Stall, Lagerung) in Betrieben mit hoher Tierdichte und Gülleexport zu verfahren ist) wurden ausgeklammert.

Übereinstimmend wurde als Definition „Unvermeidbarer Nährstoffverluste aus Sicht der Landwirtschaft“ der in Abbildung 7 wiedergegebene Text akzeptiert. Einige wichtige Einflussgrößen auf das Verlustniveau sind angeführt.

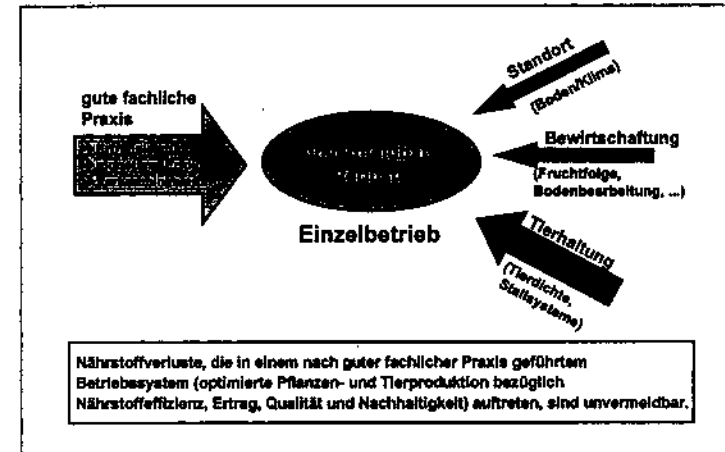


Abbildung 7: Unvermeidbare Nährstoffverluste aus Sicht der Landwirtschaft

Darüber hinausgehend wird zusätzlich der Begriff „Tolerierbare Nährstoffverluste aus Sicht der Landwirtschaft“ angeboten (Abb. 8), der insbesondere in Betrieben mit stärkerer Tierhaltung Berücksichtigung finden sollte. Um ein optimales Recycling der in den tierischen Ausscheidungen enthaltenen Nährstoffmengen über die pflanzliche Produktion erzielen zu können, ist entsprechend der Düngeverordnung eine Abstimmung der Nährstoffzufuhr auf den Nährstoffbedarf der Pflanzen, insbesondere unter Berücksichtigung des nahezu durchwegs guten Nährstoffzustandes der Böden, zwingend notwendig. Somit wird die noch optimal zu verwertende Menge an Wirtschaftsdünger häufig durch die P-Fracht (ca. 60 – 70 kg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ ) begrenzt, die in etwa einer über die Tiere ausgeschiedenen N-Menge von 150

kg/ha äquivalent ist und damit auch sehr wesentlich, zumindest bei längerjähriger Betrachtung, den Düngungsbedarf der Pflanzen für diesen Nährstoff abdeckt. Damit stehen den Pflanzen aus wirtschaftseigenen Düngern N-Mengen bis etwa 120 kg/ha und Jahr zur Verfügung, so dass für die mineralische Ergänzungsdüngung im Sinne einer bedarfsgerechten Nährstoffversorgung ausreichend Steuerungsmöglichkeiten zur Optimierung des Pflanzenwachstums verbleiben.

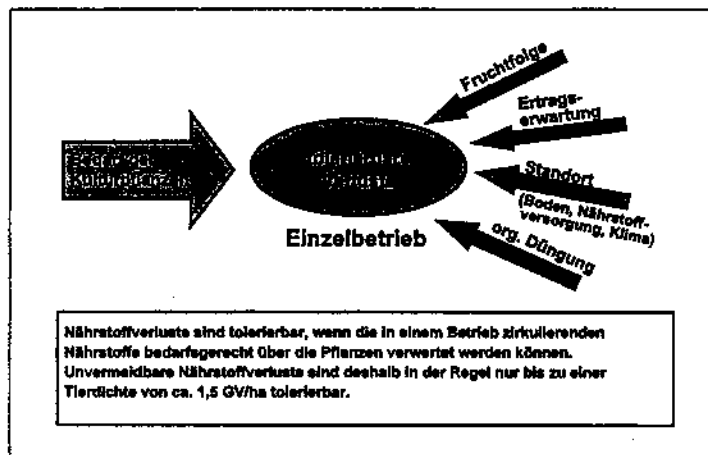


Abbildung 8: Tolerierbare Nährstoffverluste aus Sicht der Landwirtschaft

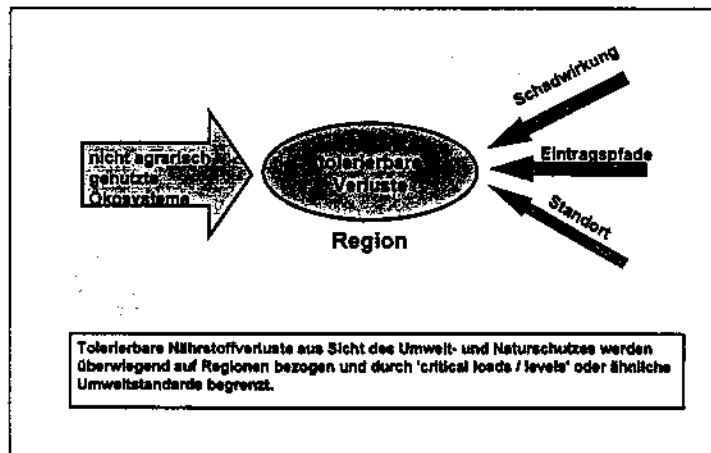


Abbildung 9: Tolerierbare Verluste aus Sicht des Umwelt- und Naturschutzes

„Tolerierbare Nährstoffverluste aus Sicht des Umwelt- und Naturschutzes“ werden häufig durch Umweltstandards vorgegeben, die einer laufenden Überprüfung und Absicherung bedürfen und meist nicht auf den Einzelbetrieb, sondern auf größere Landschaftsausschnitte (Naturräume, politische Verwaltungseinheiten, Regionen) ausgerichtet sind (der Bezug auf die Ebene des Einzelbetriebes wird derzeit jedoch diskutiert) (Abb. 9).

### Unvermeidbare Verluste an Stickstoff

Aus Langzeitexperimenten ist bekannt, dass die Verwertung der N-Düngung durch Pflanzen im Bereich von 60 bis 90 % liegt (Tab. 1). Die im Jahr der Anwendung sehr stark differierenden Wirkungsgrade mineralischer und organischer Dünger nähern sich nach Einstellung eines steady-state-Zustandes der Böden mit zunehmender Versuchsdauer zwar an, insgesamt erzielen organische N-Dünger aber eine schwächere N-Wirkung. Dies ist z.T. durch eine N-Anreicherung der Böden, aber sehr wesentlich auch durch höhere N-Verluste an die Hydrosphäre und Atmosphäre zu erklären.

Tabelle 1: Verwertung der N-Düngung durch die Pflanzen (Gutser und Wagner, 2000)

Düngung	im 1. Jahr		in den Folgejahren	
	Pflanze %	Verluste	Pflanze %	Verluste
mineralisch	40-80			
organisch:	15-30			
Gülle	10-20			
Stallmist	0-10			
Kompost	0-10	Langfristige Verwertung durch Pflanzen: 60 bis ca. 90 %		

Langzeitexperimente weisen demnach auf beachtliche unvermeidbare N-Verluste auch von zeitlich und mengenmäßig optimal applizierter Düngung hin; das Verlustrisiko liegt in organischen Düngungssystemen höher als in Systemen mit ausschließlicher mineralischer Düngung.

Die im Folgenden entwickelte Orientierungshilfe ermöglicht eine Abschätzung unvermeidbarer N-Verluste im landwirtschaftlichen Betrieb anhand leicht zu erfassender standort- und betriebsspezifischer Daten. Unvermeidbare N-Verluste im Einzelbetrieb hängen sehr wesentlich ab von den Standortvoraussetzungen (Boden, Klima) und der Bewirtschaftung (Tierhaltung, Fruchtfolge, Düngung). Bei der Düngung ist neben der kurzfristigen insbesondere auch die langfristige Wirkung über die Veränderung des N-Potentials der Böden zu berücksichtigen. Wesentliche N-Verluste entstehen durch Auswaschung und Ammoniak-Emissionen. Verluste an  $N_2$ ,  $NO_x$  oder  $N_2O$  sind betriebsspezifisch schwer zu erfassen. Sie

liegen häufig in einer ähnlichen Größenordnung wie die über Deposition und asymbiotischer  $N_2$ -Fixierung eingetragenen N-Mengen (Abb. 10).

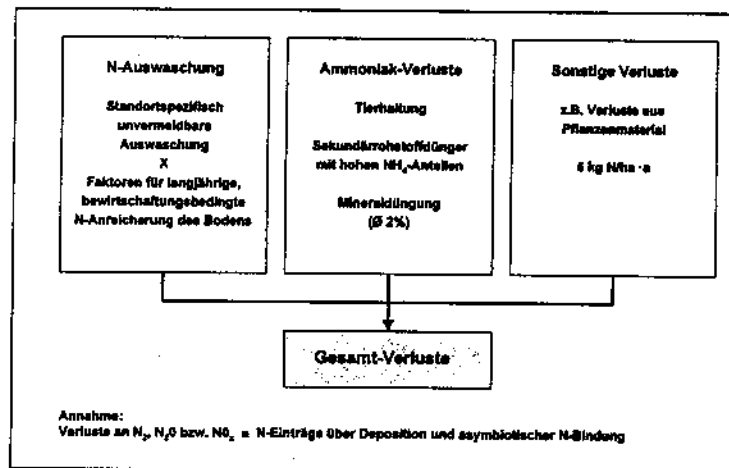


Abbildung 10: Orientierungshilfe zur Abschätzung unvermeidbarer N-Verluste im landwirtschaftlichen Betrieb

Sonstige Verluste aus wachsenden, alternden, absterbenden Pflanzen (Haupt- und Zwischenfrüchte) bzw. gemulchtem Grünmaterial u.a. werden mit einem Pauschalwert von durchschnittlich 5 kg N/ha einbezogen (siehe auch Weber et al., 2000).

#### Auswaschung

Eine einfache Charakterisierung des Standortes und dessen unvermeidbarer N-Auswaschung kann durch die Bodennutzung (Acker, Grünland), die Ackerzahl (Bodengüte, Tiefgründigkeit) und durch den durchschnittlichen Jahresniederschlag erfolgen (Tabelle 2, modifiziert nach Hege, 1995). Die ganzjährige Pflanzendecke des Dauergrünlandes nivelliert den Einfluss der Bodenunterschiede auf die Nitratverlagerung, so dass für Grünlandstandorte weitgehend einheitliche Auswaschungsverluste angesetzt werden können. Eine Ausnahme bilden lediglich grundwasserbeeinflusste Böden, deren kontinuierlicher, oberflächennaher Wasserabfluss über Draingräben zu etwas höheren Verlusten führt.

Die in Tabelle 2 aufgeführten Sockelwerte für eine standorttypische unvermeidbare N-Auswaschung wurden kalkuliert für eine Bewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis in Marktfruchtbetrieben ohne Tierhaltung und ohne Anbau von Kulturen mit erhöhtem Verlustpotential bzw. in Grünlandbetrieben mit einer mittleren Tierhaltung von 1,5 GV/ha.

Tabelle 2: Unvermeidbare Verluste (kg N/ha und Jahr) bei standortspezifisch optimaler Bewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis  
Ackerland: ohne Kulturen mit erhöhtem Verlustpotential und ohne Tierhaltung  
Grünland: mit mittlerer Tierhaltung von 1,5 GV/ha

Bodennutzung	Ackerzahl	Niederschlag (mm)		
		< 600	600 - 750	> 750
Acker	< 45	30	35	40
	45 - 65	25	30	35
	66 - 85	15	20	25
	> 85	5	10	15
Grünland	Grundwasser-beeinflusste Böden	30		
	Übrige Böden	20		

Langjährige intensive organische Düngung (Wirtschaftsdünger oder Sekundärrohstoffdünger) führen wie oben gezeigt, zu einer N-Anreicherung der Böden. Der in diesen Düngern enthaltene Stickstoff liegt zu großen Teilen organisch und damit relativ stabil gebunden vor. Mit zunehmender Intensität der organischen Düngung in der Vergangenheit (10 bis 20 Jahre) treten daher erhöhte Auswaschungsverluste auf. Diese können beispielsweise anhand der mittleren Tierdichte der Betriebe abgeschätzt werden (Abb. 11). Der aus Abbildung 11 zu entnehmende prozentuale Anstieg kann über die Sockelwerte der Tabelle 2 in absolute N-Mengen überführt werden.

Ähnliches wie für die organische Düngung gilt für den Anbau von Kulturen, die nach der Ernte erhebliche N-Mengen im Boden zurück lassen (Raps, Körnerleguminosen, Feldgemüse – siehe Abb. 11). Mit zunehmendem Anteil dieser Kulturen in der Fruchtfolge steigt der N-Saldo und folglich das Verlustpotential (siehe auch Gutser, 1998).

#### N-Verluste durch $NH_3$ -Emissionen

Ammoniakverluste ( $NH_3$ ) treten vor allem dann auf, wenn organische und mineralische Dünger hohe Mengen an  $NH_3$ -N enthalten bzw. diese bei deren Umsetzung entstehen und ein intensiver Kontakt zur Umgebungsluft gegeben ist (z.B. locker aufgeschüttete Lagerstätten für Stallmist, Laufflächen in Ställen ohne schnellen Jauche-/Gülle-Abfluß, oberflächige Applikation von Gülle ohne sofortige Einarbeitung). In Betrieben mit Wirtschaftsdüngern sind neben den Verlusten, die mit der Ausbringung verbunden sind, auch Verluste in Stall und Lager zu berücksichtigen. Insbesondere in Betrieben mit Stallmist können diese die  $NH_3$ -Verluste vom Feld deutlich übersteigen. Sie lassen sich durch technische Maßnahmen nur schwer verhindern. Stallmistssysteme weisen daher insgesamt höhere unvermeidbare  $NH_3$ -Verluste auf als Güllesysteme. Das Verlust-Niveau wird in erster Linie durch die Tierdichte

der Betriebe bestimmt. (Abb. 12). Durch Einsatz modernster Technik (z.B. Gülleinjektion) können die in der bestehenden Düngeverordnung tolerierten Verluste um bis zur Hälfte reduziert werden.

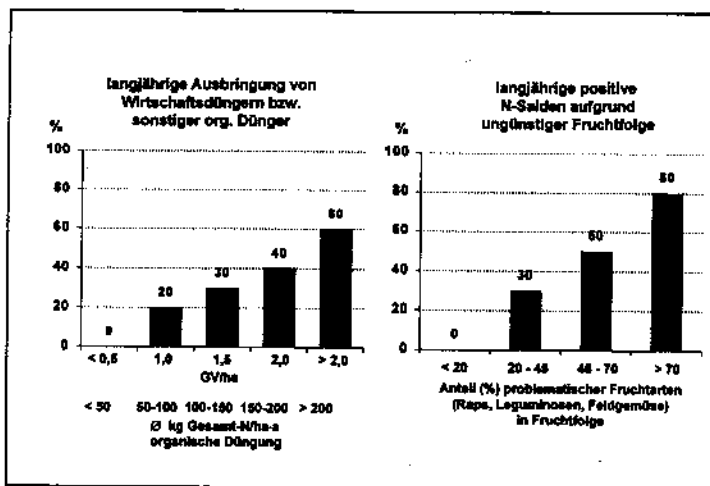


Abbildung 11: Anstieg der standorttypischen N-Auswaschungsverluste durch N-Anreicherung des Bodens – Ackerflächen

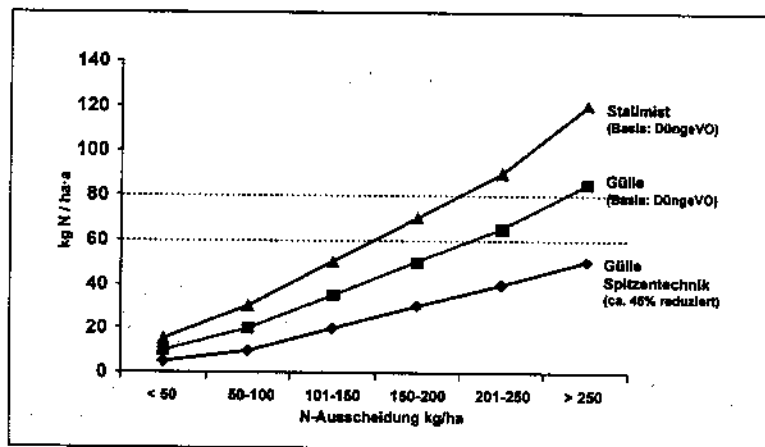


Abbildung 12: Unvermeidbare Ammoniak-Verluste aus der Tierhaltung – Summe aus Stall, Lagerung und Ausbringung

Die mit der Anwendung von Sekundärrohstoffdüngern (hohe  $\text{NH}_4$ -Gehalte, z.B. flüssiger Klärschlamm) verbundenen  $\text{NH}_3$ -Verluste müssen ebenso mit eingezogen werden wie Ammoniakemissionen nach oberflächiger Ausbringung von Mineraldüngern. Letztere unterscheiden sich erheblich je nach eingesetzter Düngerform. Insbesondere Harnstoff-haltige N-Dünger weisen ein erhöhtes Verlustpotential auf. Im Mittel sind etwa 2 % des mineralisch gedüngten N als unvermeidbarer Verlust anzusetzen.

#### Sonstige N-Verluste

Als weitere Verlustgrößen sind gasförmige N-Emissionen aus abreifenden Pflanzen sowie gemulchtem Pflanzenmaterial zu nennen (Weber et al., 2000; siehe oben Abb. 10). Gasförmige N-Verluste aus der Nitrifikation bzw. Denitrifikation werden allgemein den in N-Bilanzen häufig nicht enthaltenden Einträgen aus Niederschlägen und asymbiotischer  $\text{N}_2$ -Fixierung (ca. 20 – 25 kg N/ha und Jahr) gleichgesetzt. Die Messung gasförmiger  $\text{N}_2$ -Verluste setzt einen hohen analytischen Aufwand voraus.

#### Gesamtverluste an Stickstoff

Aus dem in Abbildung 10 vorgegebenen Rahmenkonzept, der Tabelle 1 sowie den Abbildungen 11 und 12 lassen sich für einzelne landwirtschaftliche Betriebe standort- und betriebstypspezifische unvermeidbare Gesamtverluste an Stickstoff abschätzen. Die Verluste können von ca. 20 bis weit über 100 kg N/ha schwanken. Als gemeinsame Bezugsbasis wurde eine "gute fachliche Praxis" vorausgesetzt, die eine optimale Produktionsintensität bezüglich Erträgen und monetärem Betriebserfolg ermöglicht (siehe Abb. 7). Wie früher bereits ausgeführt (siehe auch Abb. 8), sind aus Sicht einer bedarfsgerechten Ernährung der Pflanzen und zur Aufrechterhaltung einer optimalen Bodenfruchtbarkeit, wenn auch aus guter fachlicher Praxis unvermeidbar, Gesamtverluste deutlich über 100 kg N/ha unnötig und aus ökologischen Gründen unverwünscht. Deshalb wurde in Abbildung 13 eine Deckelung der unvermeidbaren N-Verluste vorgenommen.

#### Orientierungswerte für unvermeidbare N-Verluste in Abhängigkeit des Betriebstypes

Die Orientierungswerte für betriebsspezifische unvermeidbare N-Verluste sind im wesentlichen durch die Auswaschungsgefährdung des Standortes und der Tierdichte vorgegeben (Abb. 13).

Die Deckelung der unvermeidbaren Verluste in der Gruppe „N-Ausscheidungen über 100 kg/ha“ erfolgte bei einer Ausscheidungsmenge von 150 kg N bzw. etwa 70 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha und entspricht damit der in Abbildung 8 aus Sicht der Landwirtschaft tolerierbaren Verlustmenge.

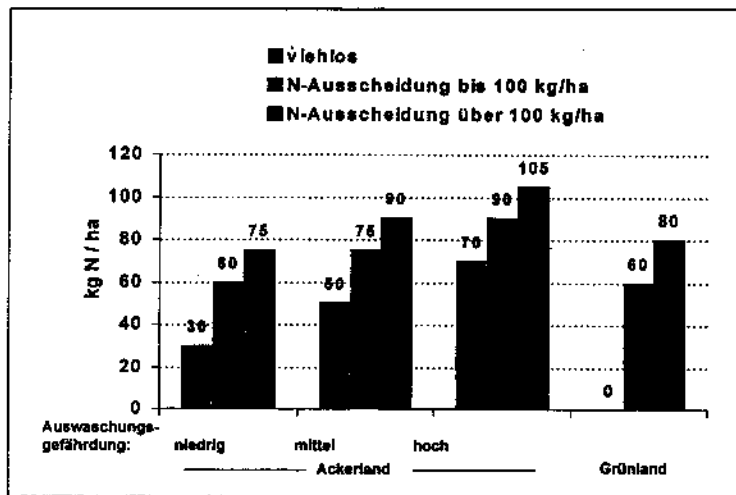


Abbildung 13: Orientierungswerte für betriebstypabhängige, unvermeidbare N-Verluste bei nachhaltiger Pflanzenernährung und Bodenfruchtbarkeit

Interessant, aber nicht überraschend ist der Befund, dass auf Basis der „guten fachlichen Praxis“ auf auswaschungsgefährdeten Standorten höhere unvermeidbare Verluste zugestanden werden, was letztlich für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit einen höheren Düngereinsatz erfordert (denn: optimale N-Düngung = N-Abfuhr über Erntegüter + unvermeidbare N-Verluste – siehe unten). Damit wird offensichtlich, dass eine „gute fachliche Praxis“ vorrangig auf eine Optimierung der Produktion und nur nachrangig auf die Minimierung von Umweltbeeinträchtigungen abzielt. Aus Sicht von Landwirtschaft und Umweltschutz zeichnet sich somit eine konträre Einschätzung der optimalen Düngungspraxis auf auswaschungsgefährdeten Standorten ab. Die Optimierung der Produktion erfordert einen höheren, die Minimierung der Verluste einen verminderten Düngeraufwand. Der mit der Wasserwirtschaft erzielbare Kompromiss (Zielwert  $\text{NO}_3$ -Gehalt des Sicker- oder Grundwassers) entspricht nicht den Qualitätszielen des Hydrosphären- und Atmosphärenschutzes (Zielwert N-Fracht in  $\text{kg N/ha}$ ). Verdeutlicht wird dieser Sachverhalt in Abbildung 14, in der Orientierungswerte für N-Salden (N-Input über Düngung, N-Output über Ernten), gleichzusetzen mit den in Abbildung 13 vorgeschlagenen Orientierungswert für „unvermeidbare N-Verluste“, dem Schwellenwert des Umweltbundesamtes (UBA, 1999) für Standorte mit hoher bzw. geringer bis mittlerer Auswaschungsgefährdung gegenübergestellt sind: für auswaschungsgefährdete Standorte liegt der derzeit diskutierte Schwellenwert (UBA 1999) um  $35 \text{ kg N/ha}$ , der bestenfalls in Marktfruchtbetrieben erreichbar sein wird.

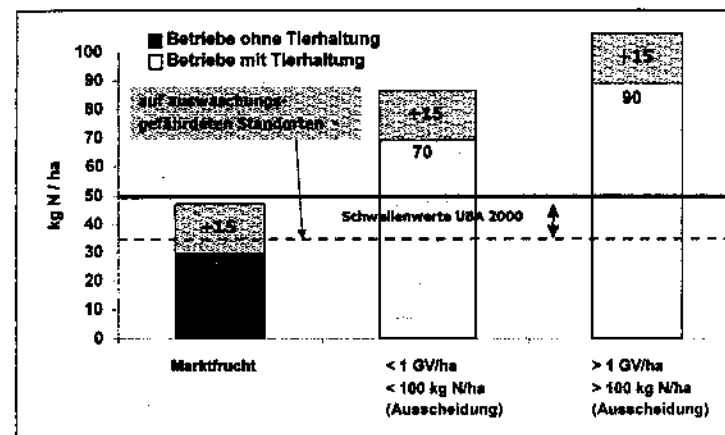


Abbildung 14: Orientierungswerte für tolerierbare betriebsspezifische N-Salden unter günstigen Standortbedingungen (Obergrenzen, Brutto-Salden incl. Verluste in Stall und Lager) (Gutser und Matthes, 2001a)

#### Definition der nachhaltigen Düngung mit Stickstoff

Die Ermittlung standort- und betriebstyp-spezifischer unvermeidbarer Stickstoffverluste ermöglicht eine neue Definition der guten fachlichen Düngerpraxis, die unter anderem auf die Erhaltung eines guten Fruchtbarkeitszustandes des Bodens abzielt (Abb. 15).

Für Böden in einem optimalen Fruchtbarkeitszustand (N-Potential) wird dann optimal gedüngt, wenn im mehrjährigen Mittel (z.B. 3 – 5 Jahre) sowohl die N-Abfuhr über die Ernteprodukte als auch die unvermeidbaren N-Verluste durch die Düngung (organisch + mineralisch) ersetzt werden.

Sofern geeignete methodische Ansätze zur Beurteilung standortabhängiger N- und C-Potentiale (niedrig/optimal/hoch) verfügbar sind (derzeit laufen hierzu erfolgversprechende Aktivitäten), kann das Konzept für eine optimale N-Düngung über Abschläge (Aushagerung von sehr fruchtbaren Böden mit hohem Verlustrisiko) oder Zuschläge (N- und C-Anreicherung für Böden mit geringem N-Potential, aber potentiell höherem Ertragspotential) gezielt erweitert werden.



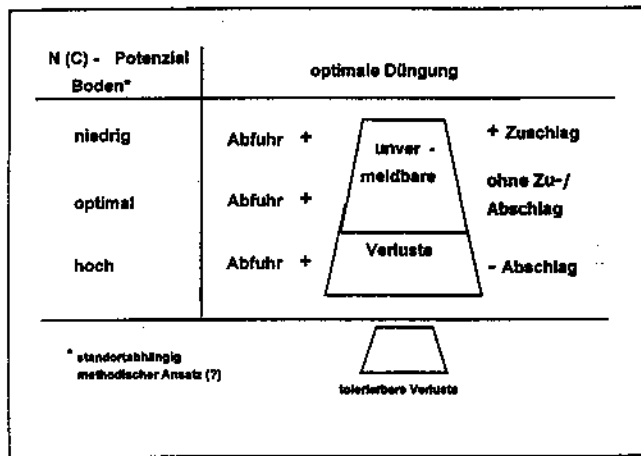


Abbildung 15: Zielvorstellungen für optimale Strategien der N-Düngung (Gutser und Matthes, 2001a)

#### Unvermeidbare Verluste an Phosphor und Kalium

Im Unterschied zu Stickstoff bleiben für die Mengenoptimierung der P- und K-Düngung grundsätzlich „unvermeidbare“ Verluste unberücksichtigt. Tabelle 3 gibt die optimierten Düngungsstrategien für beide Nährelemente auf gut versorgten Böden wieder. Langfristig wird von einer mehr oder weniger vollständigen Verwertung der Düngemährstoffe ausgegangen.

Tabelle 3: Optimale Düngungsstrategien für P und K und deren Verwertung auf gut versorgten Böden (Stufe C) (Gutser und Wagner, 2000)

Düngung = Abfuhr				
"unvermeidbare Verluste" fallweise durch spezifische Strategien begrenzen!				
Element	Anwendungsjahr		Folgejahre aus Boden-Pool	
	Pflanze	Verluste	Pflanze	Verluste
P	10 - 20	< 1	5 - 10	< 1
K	30 - 60	< 5	5 - 20	< 2
Langfristig stets bei nahezu 100 %				

Davon unberührt bleibt die Erkenntnis, dass auf Böden mit fehlenden oder geringem Angebot an anorganischen Sorptionsträgern in Abhängigkeit von den mittleren jährlichen Niederschlägen die Auswaschung an Kalium auf Werte über 20 bis zu 50 kg K<sub>2</sub>O/ha „unvermeidbar“ ansteigen kann (Abb. 16). Besonders das in Ernterückständen enthaltene Kalium lässt sich auf diesen Standorten nur schwer über die vegetationsfreie Zeit im Boden konservieren (Abb. 17).

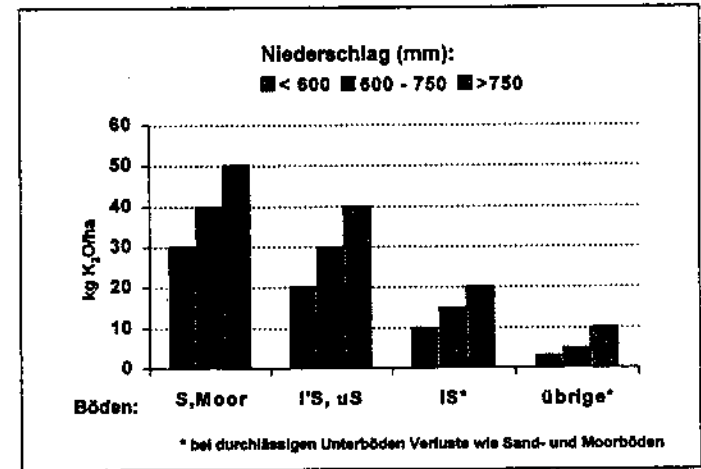


Abbildung 16: Abschätzung standortspezifisch unvermeidbarer Kalium-Verluste (Bodenversorgungsstufe C, K-Düngung nach Entzug)

Als mögliche Abhilfe könnte ein Überdenken der bisherigen guten fachlichen Düngepraxis für Problemböden in Erwägung gezogen werden.

Eine Reduktion der anzustrebenden K-Versorgung dieser Böden in Stufe C, ergänzt mit jährlich an die K-Aufnahme der Pflanzen angepasste, aber gesplittete K-Düngung sollte zumindest teilweise eine Minderung der in Abb. 16 und 17 aufgeführten unvermeidbaren K-Verluste ermöglichen.

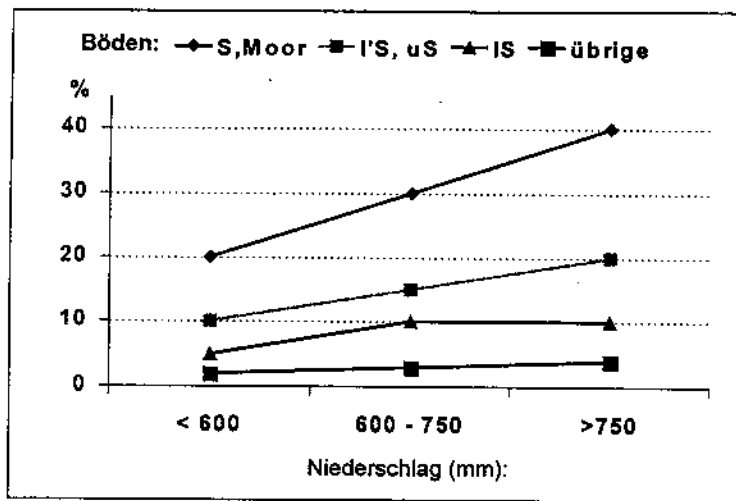


Abbildung 17: Anstieg der unvermeidbaren Kalium-Verluste durch Ernterückstände bzw. Applikation organischer Dünger (Wirtschaftsdünger, Sekundärrohstoffdünger) im Herbst (% der K-Zufuhr)

Das im Boden gegenüber N und K in wesentlich geringeren Mengen enthaltene und wenig mobile, weil pH- und sorptionsabhängig stark gepufferte Phosphat geht grundsätzlich in wesentlich geringeren Mengen unvermeidbar verloren.

Als Pfade und Ursachen für P-Verluste kommen in Betracht:

- P-Verluste durch Oberflächenabtrag (Erosion)** in partikulärer oder gelöster Form (im Mittel bis 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha)
- P-Verluste durch Tiefenverlagerung** aus dem durchwurzelten Bodenraum (Tab. 4)
  - in gelöster Form durch Auswaschung
  - in gelöster Form durch Austrag mit dem Grund- und Drainwasser
  - in partikulärer Form durch Auswaschung und Verlagerung in Grobporen und Schrumpfrissen

Die Größenordnung der „unvermeidbaren“ P-Verluste ist für die Höhe der P-Düngung nicht relevant, wohl aber für die Eutrophierung der Oberflächengewässer. Besonders schwer ist der P-Austrag über den Zwischenabfluss (Dränflüsse in Ober- und Unterböden, „preferential flow“) auf produktiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen (z.B. Grünland) zu kontrollieren.

Tabelle 4: Abschätzung standortspezifisch unvermeidbarer Phosphat-Verluste (Tiefenverlagerung, Auswaschung)

Besonderheiten der Böden		P-Verlust
Humusgehalt		kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / ha-a
<b>A. Mineralböden</b>		
Grundwasserflurabstand > max. Durchwurzelungstiefe	0 – 4 % sandig-schluffige Böden	0,5
	tonige Böden	5
Grundwasserflurabstand und hochliegende Drainage innerhalb des durchwurzelbaren Bodenraumes	Schrumpfrissbildung tiefer als Wurzelraum	
	0 – 4 % pH ca. 5,5	0,5
	4 – 8 % pH < 5,5	5
	8 – 15 % pH < 5,5	10
> 4 % pH < 5,5 - Grünland	2	
<b>B. Organische Böden</b>		
Niedermoor	pH < 6,0	1
	pH < 6,0 - Grünland	7
Hochmoor	Grünland	10

#### 4 Zusammenfassung

Auch Landwirtschaft nach guter fachlicher Praxis führt zur Beeinträchtigung unserer Umwelt. Einige Ursachen für unerwünschte Stoffflüsse aus landwirtschaftlichen Betrieben und Flächen in die Hydro- und Atmosphäre wurden aufgeführt. Zur Abschätzung von „unvermeidbaren Nährstoffverlusten (N, P, K)“ wurde das in einer Arbeitsgruppe aus Experten für die Ebene eines landwirtschaftlichen Betriebes entwickelte benutzerfreundliche Verfahren vorgestellt. Nährstoffverluste wurden als unvermeidbar definiert, wenn sie in einem nach guter fachlicher Praxis geführten Betriebssystem (optimale Pflanzen- und Tierproduktion) auftreten. Die Größenordnung der Verluste sind in Abb. 18 zusammenfassend dargestellt.

Für Betriebe mit höheren Tierdichten (N-Ausscheidung > 100 kg/ha) wurden Orientierungswerte für aus landwirtschaftlicher Sichtweise tolerierbare unvermeidbare N-Verluste entwickelt, in dem eine Deckelung der Tierdichte bis zu einer N-Ausscheidung von 150 kg/ha (entsprechend ca. 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) vorgenommen wurde. Die unvermeidbaren Verluste schwanken je nach Standort und Tierdichte zwischen 30 und 105 kg N/ha. Auf auswaschungsgefährdeten Standorten leiten sich aus höheren unvermeidbaren N-Verlusten höhere notwendige positive N-Salden (Saldo aus N-Düngung und N-Abfuhr über die Ernte) ab.

Mittels der Kenntnis unvermeidbarer Verluste lässt sich die nachhaltige N-Düngung in nach guter fachlicher Praxis geführten Betrieben neu definieren.

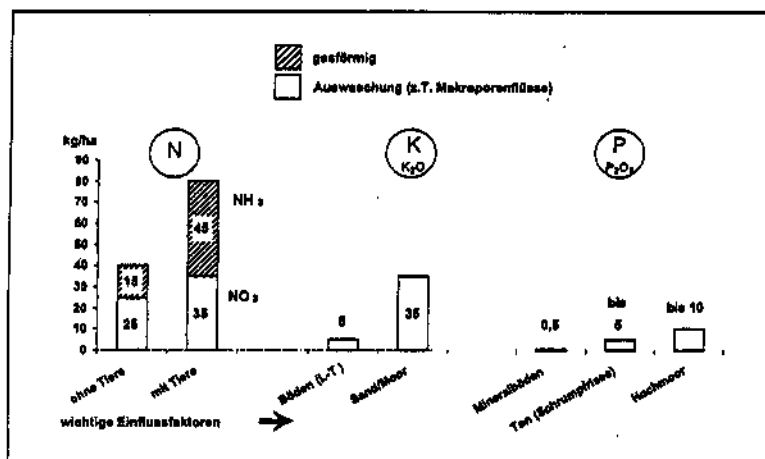


Abbildung 18: Größenordnung unvermeidbarer N-, P- und K-Verluste bei "guter fachlicher Praxis"

## 5 Literatur

- Gutser, R. 1998: Zur Problematik von Stickstoffbilanzen. Die Düngeverordnung auf dem Prüfstand. DLG-Kolloquium vom 1.12.1997 in Kassel, DLG-C98, 27-45
- Gutser, R und Matthes, U., 2001: Gute fachliche Praxis der Düngung aus Sicht der Ökonomie und Ökologie. KTBL-Schrift 400, 91-102
- Gutser, R. und Matthes, U., 2001a: nicht publiziert
- Gutser, R. und Wagner, B., 2000: Gute Noten für den Maisanbau. Mais 28; 48-51
- Hege, U., 1995: Nährstoffbilanz als Kontrollinstrument ordnungsgemäßer Landbewirtschaftung (Feld-, Stall-, Hoftor-Bilanz). In Bundesarbeitskreis Düngung (Hrsg.): Nährstoffbilanz im Blickfeld von Landwirtschaft und Umwelt. Frankfurt/Main, 129-137
- Kilian, A., Gutser, R., Claassen, N., 1998: N<sub>2</sub>O-emissions following long-term organic fertilization at different levels. *Agrobiol. Res.* 51, 27-36
- Linzmeier W., Gutser, R. und Schmidhalter, U., 2001: Nitrous oxide emission from soil and from a nitrogen-15-labeled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). *Biol. Fert. Soils* 34, 2,103-108
- Umweltbundesamt (UBA), 1999: Entwicklung von Parametern und Kriterien als Grundlage zur Bewertung ökologischer Leistungen und Lasten der Landwirtschaft – Indikatoren-systeme. UBA Texte 24/99, 258 Seiten
- Weber, A., Gutser, R., Henkelmann, G. und Schmidhalter, U., 2000: Unvermeidbare NH<sub>3</sub>-Emissionen aus mineralischer Düngung (Harnstoff) und Pflanzenmulch unter Verwendung einer modifizierten Messtechnik. *VDLUFA-Schriftenreihe* 53, 175-182.