

**Aus dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde**

Jutta Rogasik  
Ute Funder  
Ewald Schnug

**Kommen wir im Jahr 2025 zu geschlossenen  
Nährstoffkreisläufen?**

Veröffentlicht in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 274

Braunschweig  
**Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)**  
2004



# Kommen wir im Jahr 2025 zu geschlossenen Nährstoffkreisläufen?

Jutta Rogasik, Ute Funder, Ewald Schnug<sup>1</sup>

## 1 Einleitung

Natürliche Ökosysteme zeichnen sich durch weitgehend geschlossene Nährstoffkreisläufe aus. Durch die Entkopplung von Tierhaltung und Pflanzenproduktion sind die Nährstoffkreisläufe in der Landwirtschaft einerseits überfrachtet, andererseits völlig offen, so dass der mit dem Verkauf pflanzlicher Produkte verbundene Nährstoffexport durch Düngerzukauf ausgeglichen werden muss. Der Nährstoffeinsatz in der Landwirtschaft hat somit als Beitrag zur Klärung der Interaktionen zwischen Landwirtschaft und Umwelt einen hohen Stellenwert. Diskussionen über die Rolle der Landwirtschaft in Bezug auf Umweltschäden betreffen vor allem die Eutrophierung von Oberflächen- und Grundwasser sowie die gasförmigen Verluste in die Atmosphäre.

Der Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Nährstoffsalden wird zukünftig ein hoher Stellenwert beizumessen sein (FAO, 2003; OENEMA, et al., 2003; ROY et al., 2003). Die Quantifizierung der Beziehungen zwischen Nährstoffmanagement, Nährstoffüberschüssen und -verlusten sowie Umwelteinflüssen muss dringend durch ein besseres Prozessverständnis der Nährstoffdynamik ergänzt werden (OBORN et al., 2003; SACCO et al., 2003).

Die Diskussion um geschlossene Nährstoffkreisläufe betrifft schwerpunktmäßig Stickstoff und Phosphor, da beide eine hohe Umweltrelevanz besitzen. In den nachfolgenden Ausführungen soll die Frage nach „geschlossenen Stoffkreisläufen“ für N und P im Jahr 2025 beantwortet werden.

## 2 Stickstoff

In der Landwirtschaft wird der natürliche N-Kreislauf durch die Abfuhr von Nährstoffen (Erntemengen) unterbrochen (Abbildung 1). Dieser Nährstoff-Output muss durch einen entsprechenden Nährstoff-Input ausgeglichen werden.

---

<sup>1</sup> Dr. Jutta Rogasik, Ute Funder, Prof. Dr. Dr. Ewald Schnug, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig  
E-Mail: jutta.rogasik@fal.de, ute.funder@fal.de, ewald.schnug@fal.de

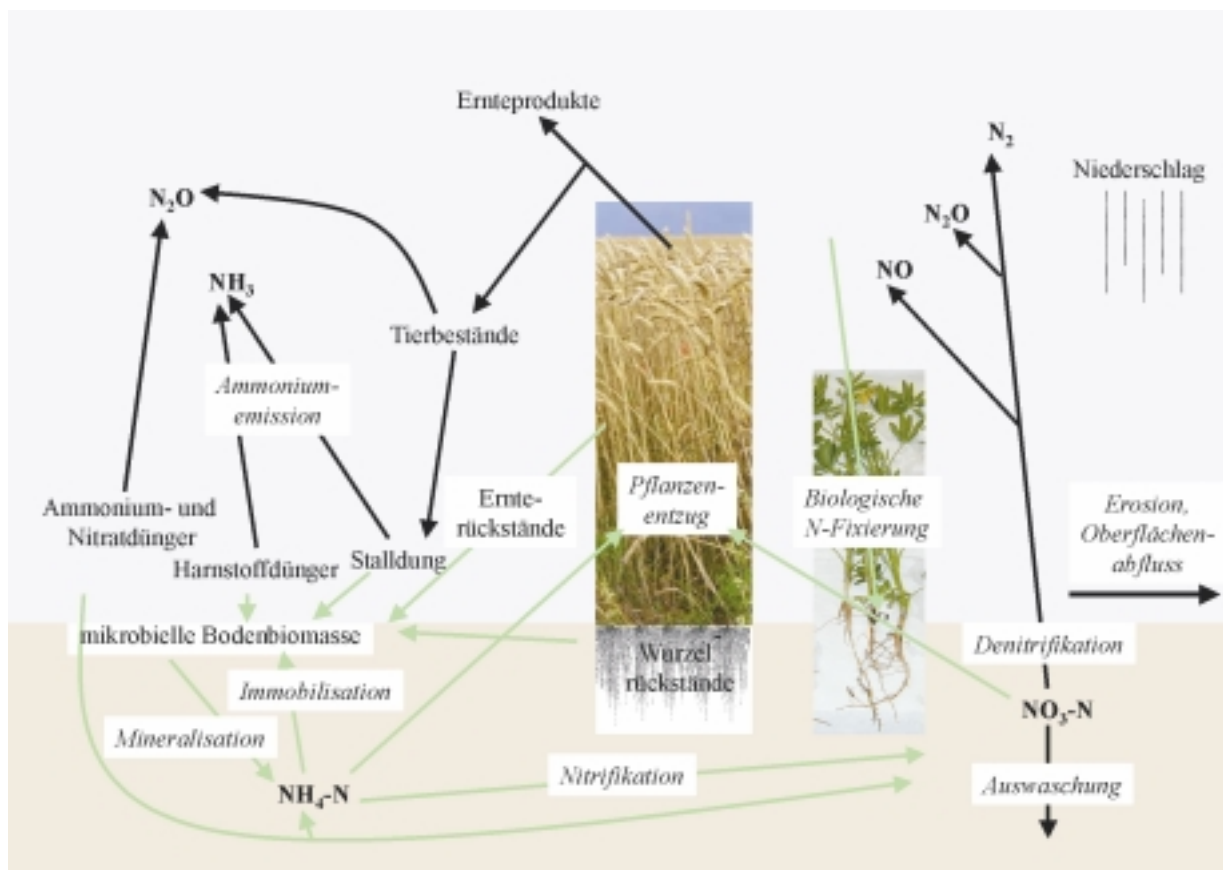
N-Inputparameter sind:

- N-Düngung (mineralisch und organisch)
- Symbiotische N-Fixierung
- N-Deposition aus der Atmosphäre
- N aus Saat- und Pflanzgut
- N aus dem Bodenvorrat

N-Outputparameter sind:

- N-Abfuhr durch Erntemengen
- Denitrifikation
- Emission von  $\text{NH}_3$  (vor allem die Lagerung und Ausbringung organischer Dünger)

**Abbildung 1:** Schema des N-Kreislaufes (nach OECD, 2001, modifiziert)<sup>2</sup>



<sup>2</sup> Environmental Indicators for Agriculture - Volume 3: Methods and Results, Publications Service, Paris, France.

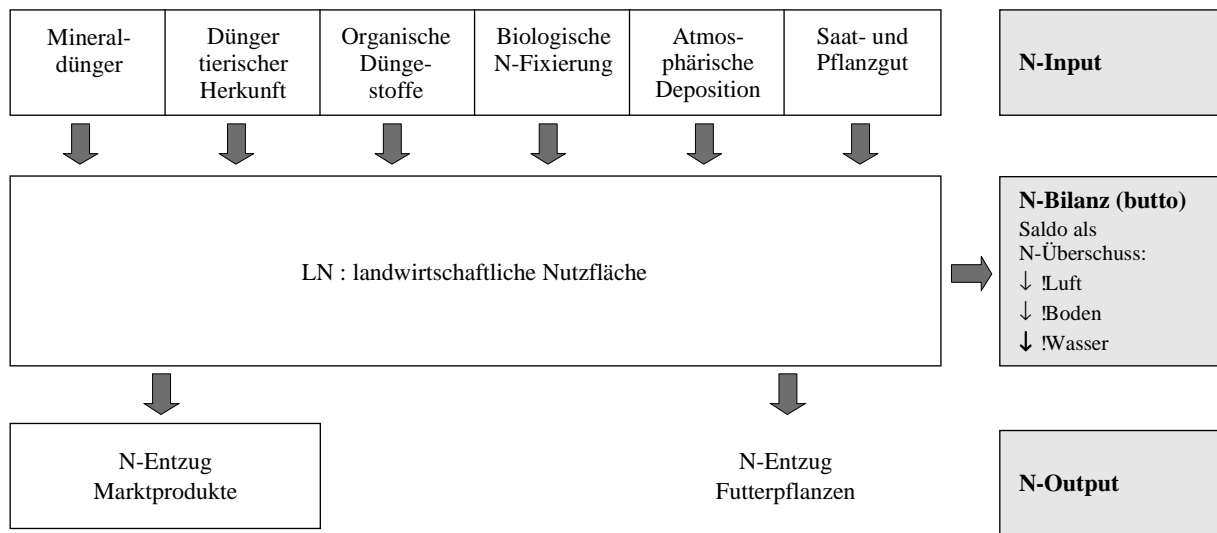
Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Nährstoffzufuhr und Nährstoffentzug ist unerlässlich für ein hohes Ertragsniveau, die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Minimierung der Umweltverschmutzung und eine nachhaltige Ressourcennutzung. Ständige N-Überschüsse erhöhen das potenzielle Risiko der Umweltverschmutzung, aber auch Unterversorgung mit Nährstoffen gefährdet die Ressource „Boden“ durch „nutrient mining“, Bodendegradation und abnehmende Bodenfruchtbarkeit (SHELDRICK et al., 2002).

Dringend notwendig ist eine abgestimmte Methodik zur Bilanzierung der unterschiedlichen Bilanzgrößen, um Vergleichbarkeit auf der Fläche, im Stall und im nationalen Maßstab zu gewährleisten. Ein derartiger Standard ist für die Umsetzung von Richtlinien auf nationaler und internationaler Ebene unerlässlich.

### 2.1 Methodik der N-Bilanzierung (Fläche)

Die N-Flächenbilanz betrachtet den Boden als Bilanzeneinheit, auf die alle In- und Outputs bezogen werden (Abbildung 2). Der N-Überschuss aus der Brutto-N-Bilanz ist ein geeigneter Indikator zur Einschätzung der potenziellen N-Verluste in die Umweltmedien (Luft, Boden, Wasser).

**Abbildung 2:** Hauptelemente der N-Flächenbilanz (brutto)



Gegenüber der Brutto-N-Bilanz werden in der Netto-N-Bilanz die NH<sub>3</sub>-Emissionen aus Lagerung und Ausbringung der Dünger tierischer Herkunft berücksichtigt:

$$\text{Netto-N-Bilanz} = (\text{N-Input}) - (\text{N-Output}) - (\text{N-Verluste})$$

Die In- und Outputdaten der Nährstoffbilanzierung werden aus statistischen Jahrbüchern des Bundesamtes für Statistik übernommen, die Koeffizienten für die Nährstoffkonversion aus der Muster-Verwaltungsvorschrift für den Vollzug der Düngeverordnung.

Die N-Depositionen<sup>3</sup> werden mit 23 kg ha<sup>-1</sup> N für Acker- und Grünland sowie Dauerkulturen veranschlagt. Die N-Verluste durch Lagerung und Ausbringung von Dung tierischer Herkunft<sup>4</sup> betragen bei Rindern 20 %, bei Schweinen 30 %, bei Geflügel 35 % und bei Pferden/Schafen 45 %.

Die N-Flächenbilanz kennzeichnet den Produktionszweig „Pflanzenproduktion“ als Bestandteil der Hof- oder Gesamtbilanz (s. BACH und FREDE, 1998; BACH et al., 2003).

## 2.2 Ergebnisse der N-Bilanzierung

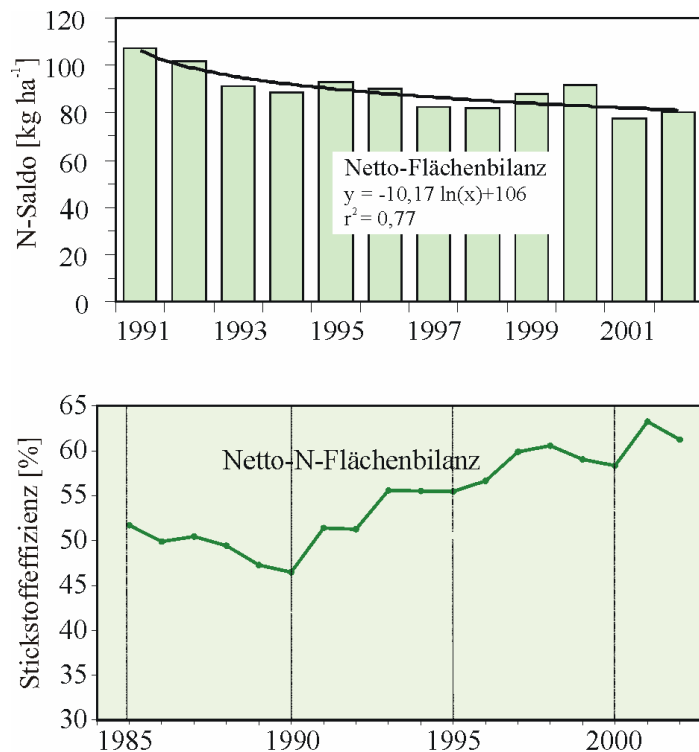
Im Berechnungszeitraum von 1991 bis 2002 ist eine tendenzielle Abnahme der N-Bilanzüberschüsse erkennbar. Entsprechend steigt die N-Effizienz für N-Flächenbilanz an (Abbildung 3). In Jahren mit geringerem Ertragsniveau und damit niedrigem N-Output vergrößert sich der N-Überschuss und reduziert somit die N-Effizienz.

---

<sup>3</sup> [<http://www.nav.uni-stuttgart.de/German/Forschung/CriticalLoads/deutsch.html>].

<sup>4</sup> Angaben gemäß Entwurf Novellierung Düngeverordnung.

**Abbildung 3:** Entwicklung der N-Überschüsse sowie der N-Effizienz in der Flächenbilanz für die Bundesrepublik Deutschland



Durch Mittelwertbildung kann die witterungsbedingte Variabilität der N-Bilanzsalden etwas nivelliert werden (Tabelle 1), der negative Trend der berechneten N-Überschüsse wird deutlicher. Aus den N-Salden kann abgeleitet werden, dass die N-Überschüsse auf landwirtschaftlichen Nutzflächen im Zeitraum von etwa 10 Jahren (2001 bis 2002 vgl. zu 1992 bis 1994) um ca. 15 % reduziert wurden.

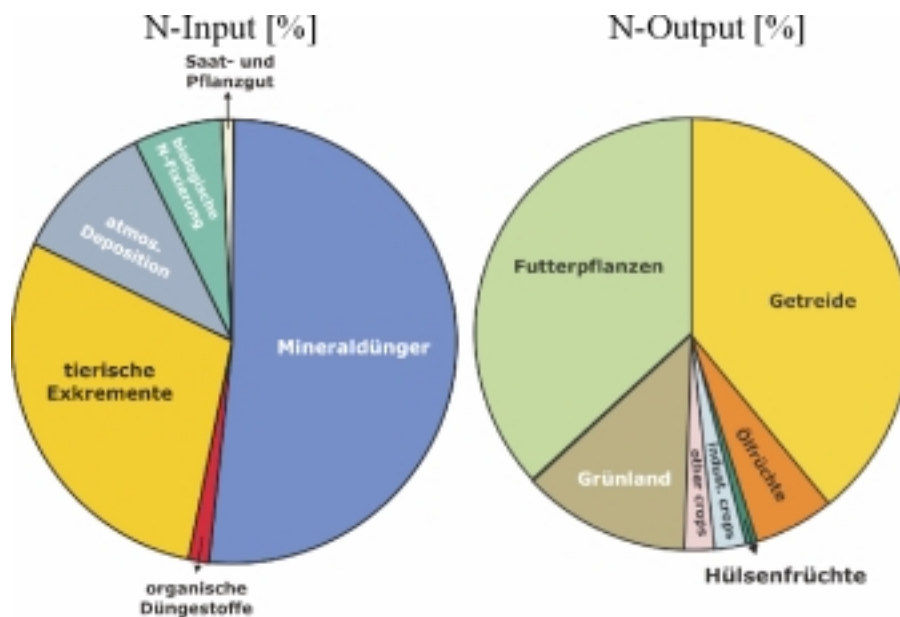
Insgesamt muss aber eingeschätzt werden, dass N-Überschüsse in der Flächenbilanz von ca. 80 bis 100 kg ha<sup>-1</sup> N zukünftig deutlich reduziert werden müssen, um eine bessere N-Effizienz zu erreichen und damit das potenzielle Risiko von Umweltrisiken zu minimieren.

**Tabelle 1:** Mittlere N-Bilanzsalden für die Flächenbilanz in der Bundesrepublik Deutschland

N-Bilanzen	N-Bilanzsaldo [kg ha <sup>-1</sup> ]			
	1992-1994	1995-1997	1998-2000	2001-2002
Brutto-Flächenbilanz	114	108	107	98
Netto Flächenbilanz	94	88	87	79

Den größten Umfang am N-Input in der Flächenbilanz machen Mineraldünger und N-Zufuhr durch tierische Exkremente (Stallung, Gülle) aus (Abbildung 4).

**Abbildung 4:** Prozentualer Anteil der Bilanzparameter an der N-Flächenbilanz, Mittel aus 1999-2002, Bundesrepublik Deutschland



Durch Reduzierung der N-Verluste beim Einsatz mineralischer und organischer Düngemittel kann der N-Aufwand für die Ertragsoptimierung reduziert werden. Wichtige Ansatzpunkte sind verlustarme Lagerungs- und Applikationstechniken für Dünger, verbesserte Fütterungsstrategien und vieles mehr. Beispielhaft wird in Tabelle 2 ein Szenario vorgestellt, wie zukünftig die N-Überschüsse verringert werden können. Mit sehr geringem Aufwand und vor allem ohne Auswirkungen auf das Ertragsniveau könnte kurzfristig eine Verminderung der umweltrelevanten N-Salden bis zu 13 % erreicht werden. Durch Abbau zu hoher Tierbestände und Anwendung phasenangepasster Fütterung ließe sich eine weitere Reduzierung erreichen.



**Tabelle 2:** N-Flächenbilanz und Möglichkeiten der Reduzierung der N-Überschüsse

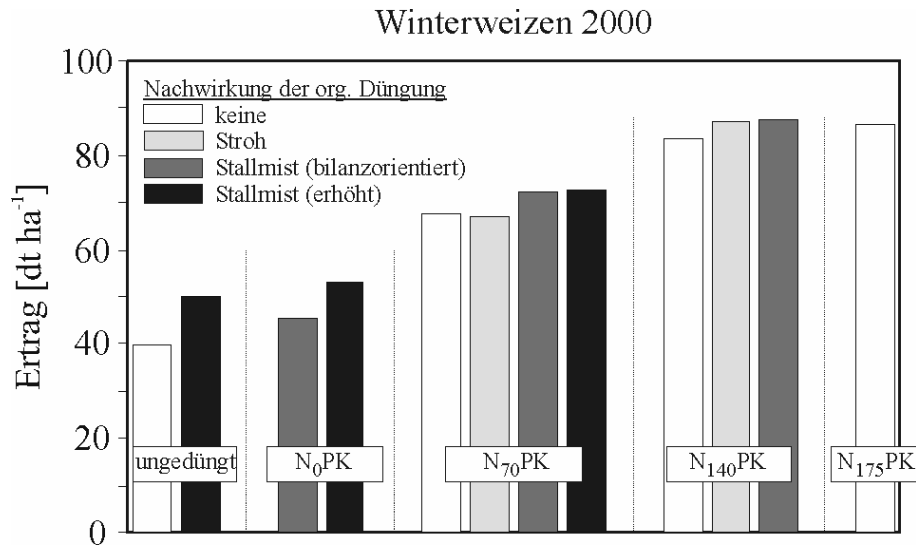
Parameter		Bilanzierungszeitraum 2001-2002	Reduzierungspotenzial	
<b>N-INPUT</b>	<b>1.000 t</b>	<b>3.871</b>	<b>3.667</b>	
<b>Dünger</b> (mineralisch, organisch)	<b>1.000 t</b>	<b>3.231</b>	<b>3.046</b>	
Mineraldünger	1.000 t	1.820	1.729	-5%
Anfall tierischer Exkreme	1.000 t	1.359	1.291	-5%
Klärschlamm	1.000 t	26	0	-100%
Kompost	1.000 t	26	26	
<b>Sonstige N-Input</b>	<b>1.000 t</b>	<b>640</b>	<b>621</b>	
Deposition	1.000 t	391	372	-5%
Biologische N- Fixierung	1.000 t	228	228	
Saat- und Pflanzgut	1.000 t	21	21	
<b>N-OUTPUT</b>	<b>1.000 t</b>	<b>2.206</b>	<b>2.206</b>	
Feldfrüchte	1.000 t	1.136	1.136	
Futterpflanzen	1.000 t	1.046	1.046	
Koppelprodukte	1.000 t	24	24	
<b>N-Saldo Brutto</b>	<b>1.000 t</b>	<b>1.665</b>	<b>1.461</b>	
	<b>kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>98</b>	<b>86</b>	
Lager- und Ausbringverluste	1.000 t	329	296	-10%
<b>N-Saldo Netto</b>	<b>1.000 t</b>	<b>1.336</b>	<b>1.165</b>	<b>-13%</b>
	<b>kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>79</b>	<b>69</b>	

Quelle: Funder et al. (2003).

### 2.3 Überhöhte N-Düngung bringt keinen Ertragsvorteil, sondern Umweltrisiken!

Im Ackerbau muss die Düngung das Ziel verfolgen, durch effektiven Nährstoffeinsatz hohe und stabile Erträge bei gleichzeitig geringen C- und N-Verlusten zu erzeugen. Dieser Forderung wird im Hinblick auf Ertrag, Bodenfruchtbarkeit und Umwelt langfristig nur der kombinierte Einsatz organischer und mineralischer Düngemittel gerecht (ROGASIK et al., 2004). Die Zufuhr organischer Substanz kann in Form von Dung aus der Tierproduktion, Gründüngung, Stroh oder durch Ernte- und Wurzelrückstände bzw. deren Kombinationen erfolgen. Im Braunschweiger Nährstoffsteigerungsversuch wird im Mittel der Versuchsjahre 2000 und 2004 das Ertragsoptimum bei Winterweizen mit 140 bis 160 kg ha<sup>-1</sup> N erreicht. Überhöhte N-Düngung dagegen bringt keinen signifikanten Ertragsvorteil (Abbildung 5).

**Abbildung 5:** Einfluss der mineralischen und organischen N-Düngung auf den Kornertrag von Winterweizen (Dauerdüngungsversuch auf Parabraunerde, Braunschweig) (ROGASIK et al., 2001)

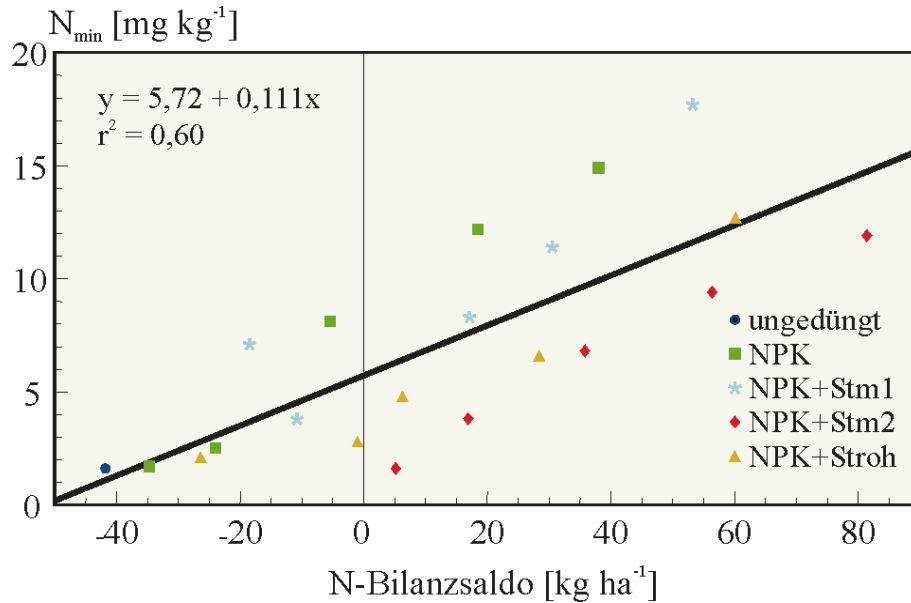


Ein hohes Ertragsniveau bei gleichbleibend guter Qualität der Ernteprodukte ist mit der Forderung nach ressourcenschonendem und damit umweltgerechtem Ackerbau durchaus in Einklang zu bringen, wenn die Langzeiteffekte der ackerbaulichen Maßnahmen in ihrer Wirkung auf Ertrag und Bodenfruchtbarkeit berücksichtigt und gezielt gesteuert werden.

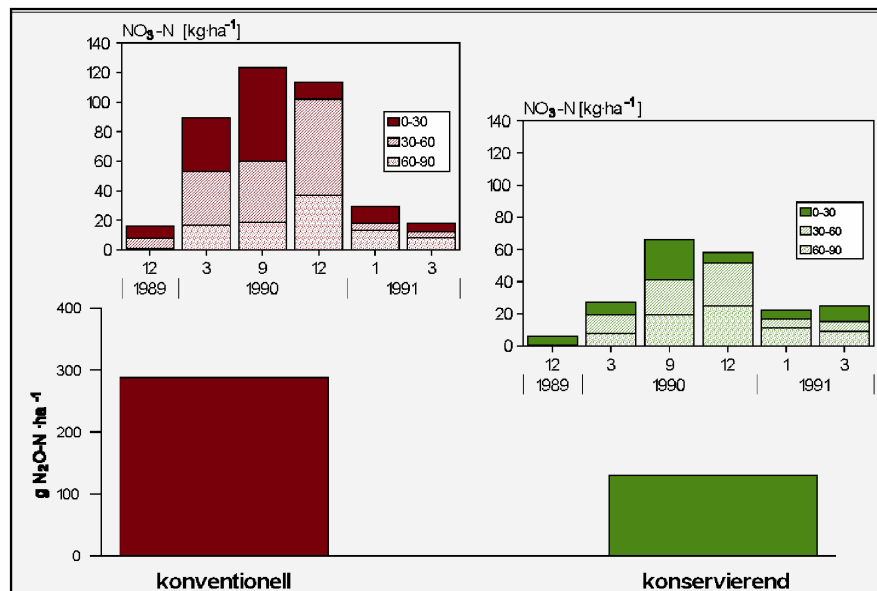
Aus Dauerfeldversuchen ist seit langem bekannt, dass hohe positive N-Bilanzsalden mit ansteigenden  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen im Bodenprofil korrelieren (Abbildung 6) (ROGASIK et al., 1997). Das potenzielle Risiko des N-Austrages steigt an, was zur Eutrophierung von Oberflächen- und Grundwasser führen kann (LORD et al., 2002; OENEMA und VELTHOF, 2002; BEEK et al., 2003; BOOIJ et al., 2003; HANEGRAAF und DEN BOER, 2003).

Nitrat, als Ausgangsprodukt für die Denitrifikation, kann als ein wesentlicher Faktor für die Risikoabschätzung von Lachgasemissionen gesehen werden. Hohe Nitratgehalte im Boden verstärken das potenzielle Risiko von  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen in die Atmosphäre. Ergebnisse aus Dauerversuchen belegen diesen Zusammenhang (ROGASIK et al., 2002) (Abbildung 7).

**Abbildung 6:**  $N_{\min}$ -Konzentration im Bodenprofil als Funktion der N-Bilanzsalden (Dauerdüngungsversuch auf Braunerde, Müncheberg, Probenahme 1992, 0-25 cm Profiltiefe; Stm1/ 2: 1,2/ 3,2 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> Stalldung-TM) (ROGASIK et al., 1997)



**Abbildung 7:** Einfluss der Bodenbearbeitungsintensität auf die  $NO_3$ -N-Konzentration im Bodenprofil und die  $N_2O$ -Emission (Dauerdüngungsversuch auf Braunerde, Müncheberg, Probenahme 1996)



Entscheidend für umweltgerechte, nachhaltige Wirtschaftsweisen ist eine ausgewogene organisch-mineralische Düngung, deren Höhe sich am Nährstoffbedarf der Pflanzen und an den natürlichen Standortbedingungen orientiert. So können unwirtschaftliche Nährstoffüberschüsse vermieden und ökologisch bedenkliche Nährstoffausträge verhindert werden.

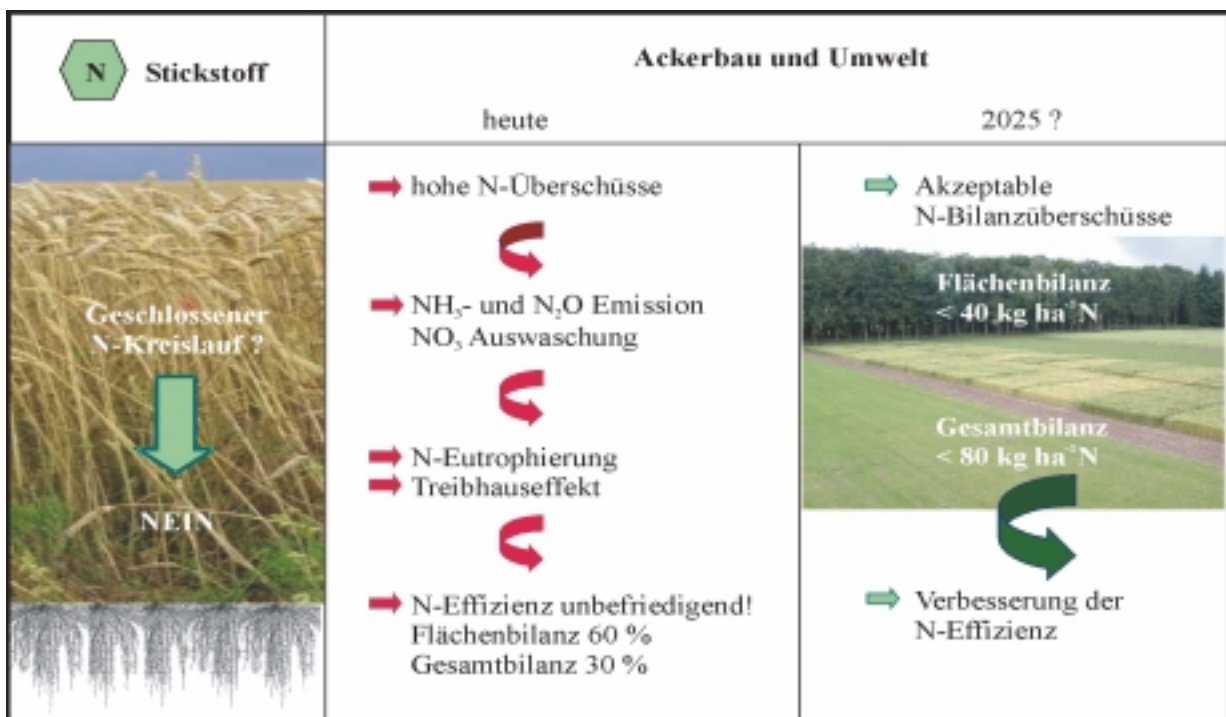
## 2.4 Kommen wir im Jahr 2025 zu einem geschlossenen N-Kreislauf?

Übereinstimmend wird ein umfassendes und konsistentes Verfahren bei der N-Bilanzierung gefordert, um damit N-abhängige Umweltveränderungen besser bewerten zu können und somit auch den N-Kreislauf räumlich und zeitlich exakter zu erklären (KRUG und WINSTANLEY, 2002; SCHRODER et al., 2003).

Die Bilanzierung der N-Flüsse in der Landwirtschaft ist von hoher politischer Relevanz. Sie ermöglicht die Abschätzung der Umweltbelastungspotenziale aus der Landwirtschaft, Aussagen zum Qualitätsmanagement und zum Ressourcenverbrauch (FIXEN und WEST, 2002; JANZEN et al., 2003; MUNOZ et al., 2003).

Einen geschlossenen N-Kreislauf wird es in der Landwirtschaft nicht geben, denn der menschliche Einfluss auf die vielfältigen Transferprozesse von Stickstoff in die Hydro- und Atmosphäre ist begrenzt. Realistisch bleibt die Forderung nach einer verbesserten N-Effizienz (Abbildung 8).

**Abbildung 8:** Ackerbau und Umwelt – Einschätzung der N-Effizienz



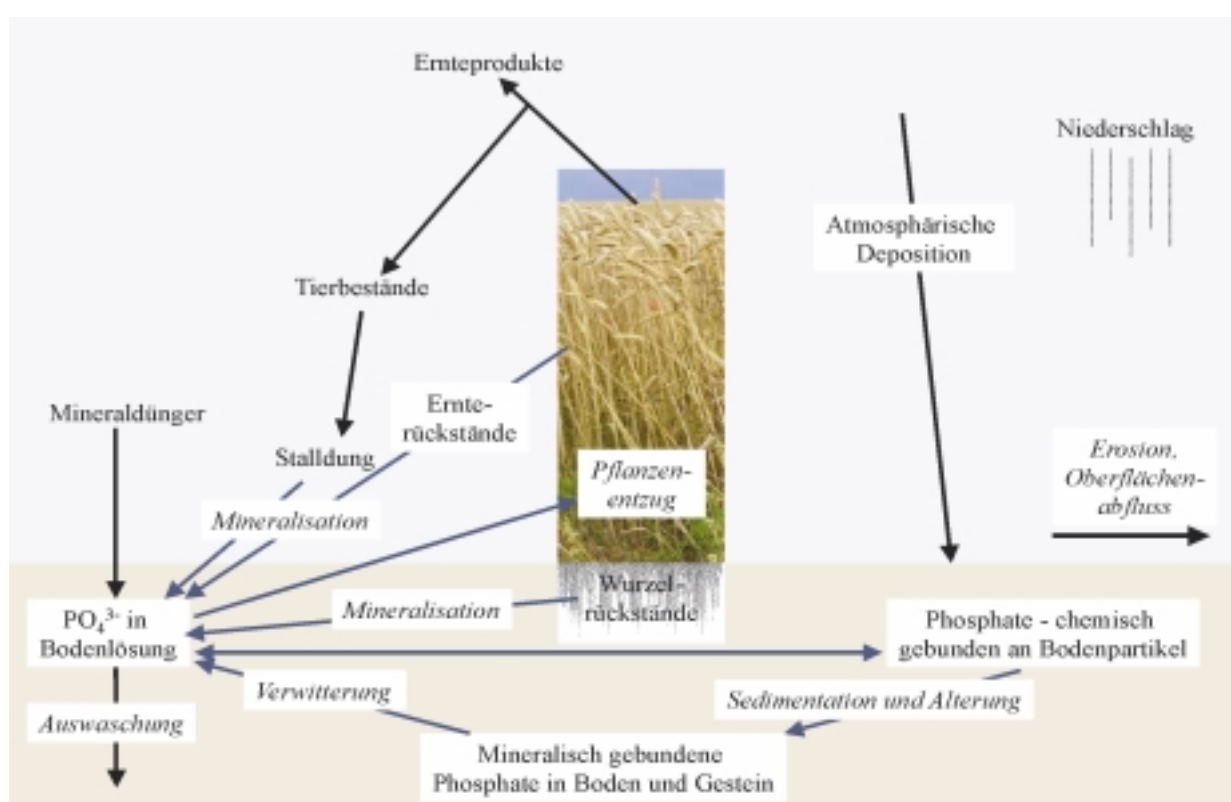
### 3 Phosphor

Phosphor besitzt wie auch Stickstoff, neben der Bedeutung als lebensnotwendiges Element, eine hohe Relevanz als umweltbelastender Stoff. Außerdem ist Phosphor bzw. Phosphat ein nur noch begrenzt verfügbarer Rohstoff. Aus diesen Gründen ist eine möglichst verlustfreie und effiziente Verwendung von P in der Landwirtschaft ein Schlüsselmerkmal nachhaltiger Wirtschaftsweisen (GUSTAFSON et al., 2003; SCHNUG et al., 2003).

Der Boden besitzt eine hohe Affinität für  $\text{PO}_4^{3-}$ , er reagiert als Speichermedium. Austräge sind dadurch vermeidbar. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass vor allem Dünger tierischer Herkunft dem Bedarf angepasst verabreicht werden. P-Anreicherungen im Boden stellen ein hohes Belastungspotenzial für Gewässer dar, da P über den partikelgebundenen, erosiven Transport ausgetragen wird (FREDE und BACH, 2003; SAPORITO und LANYON, 2004).

In der Landwirtschaft wird der natürliche P-Kreislauf durch die Abfuhr der Ernteprodukte unterbrochen (Abbildung 9). Dieser Output muss wie bei Stickstoff durch einen entsprechenden Input ausgeglichen werden.

**Abbildung 9:** Schema des P-Kreislaufes (nach OECD, 2004, modifiziert)<sup>5</sup>

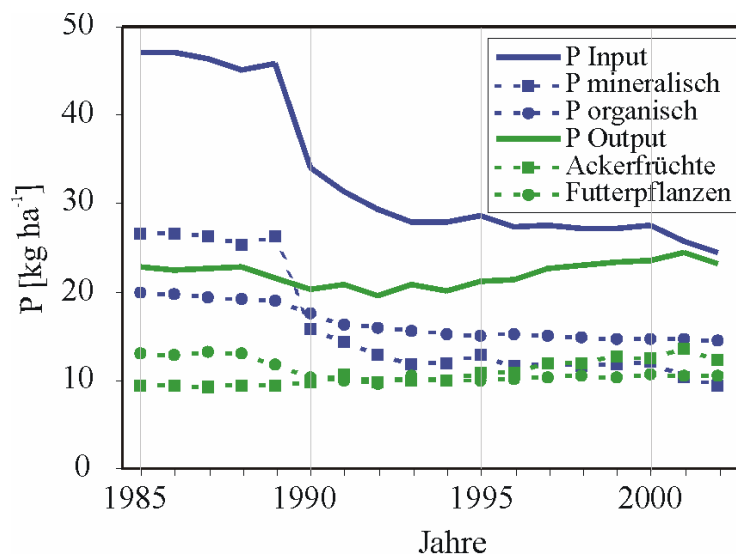


<sup>5</sup> [www.oecd.org/agr/env/indicators.htm](http://www.oecd.org/agr/env/indicators.htm).

### 3.1 Ergebnisse der P-Bilanzierung

Für P ist, im Gegensatz zu N, grundsätzlich anzustreben, dass die Zufuhr dem Entzug der abgefahrenen P-Mengen entsprechen sollte. Der P-Überschuss in der Flächenbilanz der Bundesrepublik Deutschland liegt mit ca. 37.000 t P im Mittel der Jahre 2000 bis 2002 in einem akzeptablen Bereich. Bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche sind das 2,2 kg ha<sup>-1</sup> P (Abbildung 10).

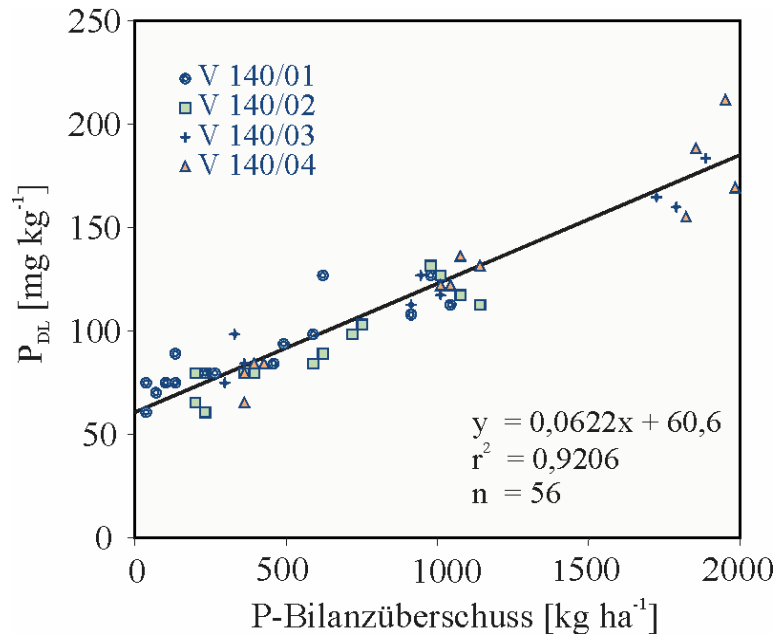
**Abbildung 10:** Phosphor-Bilanzparameter für die Bundesrepublik Deutschland



Im Hinblick auf Ressourcenschonung und Verbesserung der Nachhaltigkeit konnten im letzten Jahrzehnt erhebliche Fortschritte verzeichnet werden. Allerdings muss auch festgestellt werden, dass sich die P-Bilanzen der Betriebe in Abhängigkeit von der Produktionsstruktur deutlich unterscheiden. Marktfruchtbetriebe und Betriebe der organischen Landwirtschaft weisen oft negative P-Bilanzen auf, während Veredlungsbetriebe deutlich positive P-Salden aufzeigen (FREDE und BACH, 2003; TUNNEY et al., 2003).

P-Überhänge werden im Boden akkumuliert, die P-Gehalte steigen an und erhöhen so das Risiko der Gewässereutrophierung (Abbildung 11).

**Abbildung 11:** Beziehung zwischen kumulativem P-Bilanzüberschuss und Gehalt des Bodens an DL-löslichem P (0 bis 25 cm Bodentiefe, kumulativ 25 Versuchsjahre)



### 3.2 P-Recycling organischer Reststoffe

Geschlossene Nährstoffkreisläufe werden gefördert, indem Reststoffe ökologisch verträglich wiederverwertet werden, um natürliche Ressourcen zu schonen. Die Verknappung der Rohstoffe, und hierzu zählt im Bereich der Landwirtschaft vor allem die endliche Ressource Phosphor, wirft schon seit Jahren die Frage nach alternativen Lösungen der Wiederverwertung phosphorhaltiger Abfallprodukte auf. Unter den phosphorhaltigen organischen Reststoffen sind Klärschlämme und Tiermehle als besonders problematisch zu sehen und zwar sowohl aus mengenmäßiger Sicht, als auch unter dem Aspekt des Gefährdungspotenzials für die menschliche Gesundheit. Die Verbrennung von Klärschlämmen und Tiermehlen, die die organischen Bestandteile thermisch zerstört, stellt eine Alternative zur direkten Ausbringung auf landwirtschaftlich genutzte Flächen dar. Beide thermisch aufgearbeiteten Produkte enthalten den Rohstoff „Phosphor“. Der Einsatz der Sekundärrohstoffe Tiermehl- und Klärschlammasche als Phosphor-Quelle steht deshalb in Einklang mit einem nachhaltigen Einsatz dieser Ressource.

Im Vergleich zu den Originalprodukten (Klärschlamm, Tiermehl) liegt mit den Aschen ein definierteres, d. h. in seiner Zusammensetzung kontrollierbares Produkt vor. Untersuchungen von FAN et al. (2003), FLECKENSTEIN et al. (1998), HANEKLAUS et al. (2000), ROGASIK et al. (2003) und ROSYADI et al. (2001) zum Einsatz von Klärschlamm- und Tiermehl-aschen als Phosphorquelle ergaben, dass beide als „Sekundärrohstoffdünger“ geeignet wä-

ren (Tabelle 3), sofern bei deren Anwendung die Mengen an ausgebrachten, umweltrelevanten Elementen berücksichtigt werden.

**Tabelle 3:** Ausgewählte Nährstoffgehalte für Tiermehl- und Klärschlammaschen

Inhaltsstoffe [ % ]	Tiermehlasche	Klärschlammasche
P <sub>gesamt</sub>	18,6	3,6
P <sub>citric acid</sub>	7,0	2,0
Ca	34,3	45,0
Na	2,3	0,3

Quelle: Rosyadi (2004).

Die Entwicklung neuer Düngemittel und Düngungsstrategien auf der Grundlage von schwermetallarmen, aus tierischen Aschen gewonnenen Ca-Phosphaten ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer sinnvollen Wiederverwertung des Rohstoffes Phosphor und damit zu einem geschlossenen P-Kreislauf.

### 3.3 Kommen wir im Jahr 2025 zu einem geschlossenen P-Kreislauf?

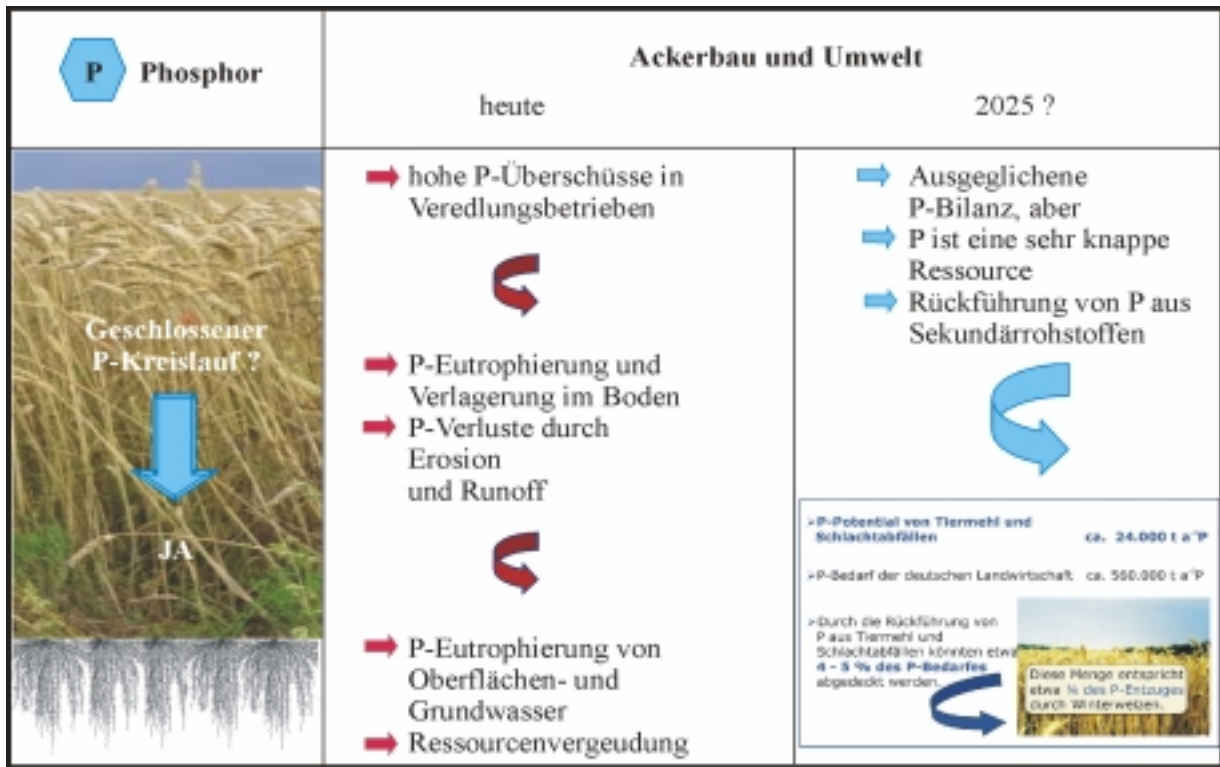
P-Bilanzen sind gegenwärtig Teil zahlreicher administrativer Maßnahmen zur Verringerung von P-Verlusten aus der Landwirtschaft. Dies ist notwendig, um

- P-Quellen, Austragspfade und Flussraten zu identifizieren,
- ein nachhaltiges landwirtschaftliches Management zur Kontrolle der P-Verluste zu etablieren sowie
- die Methodenstandardisierung voranzutreiben.

Aus der Sicht von Landwirtschaft und Umwelt ist einzuschätzen, dass die bodenschutz- und düngerrechtlichen Regelungen der kommenden Jahre zu geschlossenen P-Kreisläufen führen werden.



**Abbildung 12:** Ackerbau und Umwelt - Einschätzung der P-Effizienz



#### 4 Zusammenfassung

Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Nährstoffzufuhr und Nährstoffentzug ist unerlässlich für ein hohes Ertragsniveau, die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Minimierung der Nährstoffausträge und damit für eine nachhaltige Ressourcennutzung. Permanent hohe Nährstoffüberschüsse vergrößern das potenzielle Risiko der Umweltverschmutzung, aber auch Unterversorgung mit Nährstoffen gefährdet die Ressource „Boden“ und zwar durch „nutrient mining“, Bodendegradation und abnehmende Bodenfruchtbarkeit.

N- und P-Bilanzen sind gegenwärtig Bestandteil zahlreicher administrativer Maßnahmen zur Verringerung von Nährstoffverlusten aus der Landwirtschaft. Dies ist notwendig, um

- Quellen, Austragspfade und Flussraten zu identifizieren,
- ein nachhaltiges landwirtschaftliches Management zur Kontrolle der Nährstoffverluste zu etablieren sowie
- die Methodenstandardisierung voranzutreiben.

Einen geschlossenen N-Kreislauf wird es in der Landwirtschaft nicht geben, denn der menschliche Einfluss auf die vielfältigen Transferprozesse von Stickstoff in die Hydro- und

Atmosphäre ist begrenzt. Realistisch bleibt die Forderung nach einer verbesserten N-Effizienz.

Aus der Sicht von Landwirtschaft und Umwelt ist allerdings einzuschätzen, dass bodenschutz- und düngerrechtliche Regelungen zu geschlossenen P-Kreisläufen führen werden.

## **Literaturverzeichnis**

- BACH M, FREDE HG (1998) Agricultural nitrogen, phosphorus and potassium balances in Germany – Methodology and trends 1970-1995. *Z Pflanzenernähr Bodenk* 161: 385-393
- BACH M, GRIMM M, FREDE HG (2003) Berechnung von Stickstoff-Flächenbilanzen für Gemeinden – Beispiel Hessen. *Wasser & Boden* 7+8, Artikel 5081: 1-7
- BEEK C L VAN, BROUWER L, OENEMA O (2003) The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 67(3): 233-244
- BOOIJ R, GROENWOLD K, ROVERS J, CLEVERING O, PIJNENBURG H, HEKKERT M, LANGEVELD H (2003) Nutrient management in vegetable farms; what will be the future? *Acta Horticulturae* No. 627: 275-282
- FAN X, HABIB L, ROSYADI I, ROGASIK J, SCHNUG E (2003) In situ digestion” of rock phosphates. 8<sup>th</sup> International Symposium on Soil and Plant Analysis (ISSPA), 13-17 January, South Africa
- FAO (2003) Current world fertilizer trends and outlook to 2007/08. 55 pp
- FIXEN PE, WEST FB (2002) Nitrogen fertilizers: meeting contemporary challenges. *Ambio* 31(2): 169-176
- FLECKENSTEIN J, HANEKLAUS S, SCHNUG E (1998) Phosphordüngung mit Klärschlamm-aschen im Gefäßversuch. *VDLUFA-Schriftenreihe* 49: 111-114
- FREDE HG, BACH M (2003) Heutiger und künftiger Beitrag der Gülle bei der Phosphorversorgung der Böden. In: Tagungsband zum Symposium “Rückgewinnung von Phosphor in der Landwirtschaft und aus Abwasser und Abfall”, 6.-7.2.2003 in Berlin, 4/1-4/11. ISBN 3-932590-99-6
- FUNDER U, ROGASIK J, SCHNUG E (2003) Landwirtschaftliche N-Bilanzen Deutschlands. *Jahresbericht FAL Braunschweig*: 20

- GUSTAFSON GM, SALOMON E, JONSSON S, STEINECK S (2003) Fluxes of K, P, and Zn in a conventional and an organic dairy farming system through feed, animals, manure, and urine - a case study at Ojebyn, Sweden. *European Journal of Agronomy* 20(1/2): 89-99
- HANEGRAAF MC, BOER DJ den (2003) Perspectives and limitations of the Dutch minerals accounting system (MINAS). *European Journal of Agronomy* 20(1/2): 25-31
- HANEKLAUS S, FLECKENSTEIN J, SCHNUG E (2000) Agro-environmental aspects of land disposal of industrial wastes. In: WILSON MJ, MALISZEWSKA-KORDYBACH B (eds.), *Soil quality, sustainable agriculture and environmental security in Central and Eastern Europe*, Kluwer Academic Publishers, 101-113
- JANZEN HH, BEAUCHEMIN KA, BRUINSMA Y, CAMPBELL CA, DESJARDINS RL, ELLERT BH, SMITH EG (2003) The fate of nitrogen in agroecosystems: an illustration using Canadian estimates. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 67(1): 85-102
- KRUG EC, WINSTANLEY D (2002) The need for comprehensive and consistent treatment of the nitrogen cycle in nitrogen cycling and mass balance studies: I. Terrestrial nitrogen cycle. *Science of the Total Environment* 293(1/3): 1-29
- LORD EI, ANTHONY SG, GOODLASS G (2002) Agricultural nitrogen balance and water quality in the UK. *Soil Use and Management* 18(4): 363-369
- MUNOZ GR, POWELL JM, KELLING KA (2003) Nitrogen budget and soil N dynamics after multiple applications of unlabeled or <sup>15</sup>Nitrogen-enriched dairy manure. *Soil Science Society of America Journal* 67(3): 817-825
- OBORN I, EDWARDS AC, WITTER E, OENEMA O, IVARSSON K, WITHERS PJA, NILSSON SI, STINZING AR (2003) Element balances as a tool for sustainable nutrient management: a critical appraisal of their merits and limitations within an agronomic and environmental context. *European Journal of Agronomy* 20(1/2): 211-225
- OENEMA O, VELTHOF GL (2002) Balanced fertilization and regulating nutrient losses from agriculture. Agricultural effects on ground and surface waters: research at the edge of science and society. *Proceedings of an international symposium, Wageningen, Netherlands, October 2000*: 77-84
- OENEMA O, KROS H, VRIES W DE (2003) Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *European Journal of Agronomy* 20(1/2): 3-16
- ROGASIK J, OBENAUF S, LÜTTICH M, ELLERBROCK R (1997) Faktoreinsatz in der Landwirtschaft - ein Beitrag zur Ressourcenschonung (Daten und Analysen aus dem Münchener Nährstoffsteigerungsversuch). *Arch Acker- Pfl Boden* 42: 247-263

- ROGASIK J, ROSYADI I, XIAOHUI F, FLECKENSTEIN J, HANEKLAUS S, SCHOLZ R, SCHNUG E (2003) Phosphorpotenziale von Tiermehl und Schlachtabfällen sowie Möglichkeiten des Phosphorrecyclings. In: Tagungsband zum Symposium "Rückgewinnung von Phosphor in der Landwirtschaft und aus Abwasser und Abfall", 6.-7.2.2003 in Berlin, 8/1-8/11. ISBN 3-932590-99-6
- ROGASIK J, SCHROETTER S, SCHNUG E, KUNDLER P (2001) Langzeiteffekte ackerbaulicher Maßnahmen auf die Bodenfruchtbarkeit. *Arch Agron Soil Sci* 47: 3-17
- ROGASIK J, SCHROETTER S, SCHNUG E (2002) Impact of air pollutants of agriculture. *Phyton Spec Iss* 42(3): 171-182
- ROGASIK J, SCHROETTER S, FUNDER U, SCHNUG E (2004) Long-term fertilizer experiments as a data base for calculating the carbon sink potential of arable soils. *Arch Agron Soil Sci* 50: 11-19
- ROSYADI I (2004) Agricultural utilisation of phosphate from incinerated sewage sludge and animal meal (unveröffentlichtes Arbeitsmaterial)
- ROSYADI I, ROGASIK J, SCHOLZ R, HANEKLAUS S, SCHNUG E (2001) Utilisation of phosphate from incinerated sewage sludge and meat and bone meal. Jahresbericht FAL Braunschweig
- ROY RN, MISRA RV, LESSCHEN JP, SMALING EM (2003) Assessment of soil nutrient balance: approaches and methodologies. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 14: 87 pp
- SACCO D, BASSANINO M, GRIGNANI C (2003) Developing a regional agronomic information system for estimating nutrient balances at a larger scale. *European Journal of Agronomy* 20(1/2): 199-210
- SAPORITO LS, LANYON L E (2004) Evaluating the spatial and temporal dynamics of farm and field phosphorus and potassium balances on a mixed crop and livestock farm. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69(1): 85-94
- SCHNUG E, ROGASIK J, HANEKLAUS S (2003) Quantitative und qualitative Anforderungen der deutschen Landwirtschaft an Phosphor für die Düngung. In: Tagungsband zum Symposium "Rückgewinnung von Phosphor in der Landwirtschaft und aus Abwasser und Abfall", 6.-7.2.2003 in Berlin, 1/1-1/14. ISBN 3-932590-99-6
- SCHRODER JJ, AARTS HFM, BERGE HFM TEN, KEULEN H VAN, NEETESON JJ (2003) An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *European Journal of Agronomy* 20(1/2): 33-44

SHELDRIK WF, SYERS JK, LINGARD J (2002) A conceptual model for conducting nutrient audits at national, regional, and global scales. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62(1): 61-72

TUNNEY H, CSATHO P, EHLERT P (2003) Approaches to calculating P balance at the field-scale in Europe. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166(4): 438-446