

**Agrovoc descriptors:** agricultural and rural legislation, Germany, fertilizer application, nitrogen, losses, farms, soil fertility, environmental protection

**Agris category code:** D50, P35

## **Bilanzierung von Stickstoffflüssen im landwirtschaftlichen Betrieb zur Bewertung und Optimierung der Düngungsstrategien**

Reinhold GUTSER<sup>1</sup>

Received March 19, 2006; accepted April 3, 2006.  
Delo je prispelo 19. marca 2006; sprejeto 3. aprila 2006.

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Der in landwirtschaftlichen Betrieben über Bilanzierungsmethoden feststellbare Stickstoff-Überschuss stellt unbestritten einen Schlüsselindikator für die Bewertung der N-Effizienz sowie der bewirtschaftungsbedingten Umweltbelastung dar. Die verschiedenen Methoden der Nährstoffbilanzierung werden hinsichtlich ihrer Ergebnissicherheit und -verwendbarkeit beurteilt. Für die inner- und außerbetriebliche Verwendung der Bilanzierungsergebnisse eignet sich in erster Linie die Betriebs- und Flächen-Bilanz nach Hofer-Methode, kombiniert mit der Schlag-Bilanz zur Analyse der Schwachstellen für die Optimierung der Düngung. In einem Langzeitversuch wird aufgezeigt, dass aus dem Stickstoffsaldo das Verlustpotenzial nur bei Berücksichtigung der Veränderung des N-Vorrates der Böden zu prognostizieren ist. Die neugefasste Düngeverordnung für Deutschland enthält Richtwerte für N-Überschüsse einer Flächen-Bilanz. Diese werden mit bekannten Bewertungsmaßstäben aus dem Bereich der Landwirtschaft und des Umweltschutzes diskutiert.

**Schlüsselworte:** Betriebs-Bilanz, Flächen-Bilanz, N-Überschüsse, N-Verlustpotential, Düngeverordnung

### **IZVLEČEK**

#### **BILANCA DUŠIKOVIH TOKOV NA KMETIJI ZA DOLOČANJE IN OPTIMALIZACIJO STRATEGIJE GNOJENJA**

Presežek dušika na kmetiji, ki ga izračunamo z bilančnimi metodami, predstavlja ključni indikator za določitev učinkovitosti uporabljenega dušika na kmetiji in za obremenitev okolja. Prikazane so različne metode bilance hranil in ocenjena njihova realnost in uporabnost. Za bilance hranil na kmetiji za notranje in zunanje potrebe sta primerni predvsem bilanca na ravni „kmetija“ in „kmetijsko zemljišče“ po metodi „kmetijsko dvorišče“, če jo dopolnimo z bilanco posameznih parcel, s čimer lahko določimo za vsako parcelo optimalno gnojenje. Na primeru trajnega poljskega poskusa avtor dokazuje, da je možno iz bilance dušikovega salda sklepati na potencial izgub le, če upoštevamo tudi spremembo zalog dušika v tleh. Nova nemška uredba o gnojenju vsebuje smernice za presežke dušika na ravni „kmetijsko zemljišče“. Obravnavane metode bilance hranil so preučene s pomočjo znanih meril vrednotenja in ocenjene tako s stališča kmetijstva kot varstva okolja.

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Am Hochanger 2, 85350 Freising-Weihenstephan, Deutschland.

**Ključne besede:** Bilanca „kmetija“, Bilanca „kmetijsko zemljišče“, presežek dušika, potencial izgub dušika, uredba o gnojenju

#### ABSTRACT

##### BALANCE OF NITROGEN FLOWS IN FARMS FOR ESTIMATION AND OPTIMISATION OF FERTILIZING STRATEGIES

Nitrogen surplus in farms which can be assessed by balance-methods uncontradictedly represents a key indicator for the estimation of nitrogen efficiency as well as for environmental load caused by agricultural management. Different methods for nutrient balance are evaluated concerning their reliability and usability.

Farm- and field-balance according to farm gate-method - in combination with a weak-point analysis via "balance at the field scale" for optimisation of fertilization strategies - are predominantly suited for intra-farm and external utilization of balance results. A long-time experiment shows that prediction of nitrogen loss potential by nitrogen balance only works when changes in soil-N-pool are considered. The revised fertilization regulation for Germany contains benchmarks for N-surpluses determined by field-balance. Those and further in domains of agriculture and environmental protection published valuation standards are discussed.

**Key words:** farm-balance, field-balance, N-surpluses, N-loss potential, fertilization regulation.

## 1 EINLEITUNG

Seit vielen Jahren hat die Berechnung von Nährstoffbilanzen für die Landwirtschaft Eingang in Wissenschaft und Praxis gefunden. Für die kaum verlustgefährdeten Nährstoffe Phosphor und Kalium war die Gegenüberstellung von Input- und Output-Größen zur Beurteilung und Steuerung der Düngung seit langer Zeit bereits unumstritten. Mittlerweile hat sich der Bilanzüberschuss für Stickstoff als einer der wenig allgemein anerkannten Schlüsselindikatoren zur Dokumentation, Analyse und Bewertung der Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion sowie der Umweltbelastung durch N-Emissionen fest etabliert (Bach und Frede, 2005). Innerhalb eines Betriebes zeigen die Ergebnisse einer Nährstoffbilanzierung Schwachstellen in der Düngepraxis auf und liefern Ansatzpunkte zu deren Optimierung. Nach außen hin dienen die Salden zum Nachweis umweltverträglichen Verhaltens gegenüber Öffentlichkeit, Wasserwirtschaft und Naturschutz, zur Positionierung in der Agrarumweltdiskussion, sowie agrarpolitisch zur Umweltberichterstattung, Bewertung förderpolitischer Maßnahmen und administrativen Einflussnahme (VDLUFA, 2006). Als Beispiele für aktuelle Politikfelder, in denen der N-Bilanzüberschuss als Schlüsselindikator für die Bewertung der Umweltbelastung durch die Landwirtschaft beziehungsweise des Umweltbewusstseins der Landwirte Eingang gefunden hat, können genannt werden:

OSPARCOM	Übereinkommen zum Schutz des Nordostatlantiks (z.B. HELCOM, 2000).
OECD	Konzeption von Agrarumweltindikatoren (KOM, 2000 ; OECD, 2001)
Deutscher Umwelt Index (DUX)	Strategiepapier « Nachhaltige Entwicklung für Deutschland » (Bundesregierung, 2004)
EU	Rechtliche Basis für N-Minderungspolitiken (Nitratrichtlinie, 1991)
- Nitratrichtlinie	
EU	Wasserrahmenrichtlinie zur nachhaltigen Gewässeruntersuchung (Flussgebietseinheiten) mit internationalen Standards (Wasserrahmenrichtlinie, 2000)
- Wasserrahmenrichtlinie	
Düngeverordnung (1996, 2006)	Definition der guten fachlichen Düngepraxis
Qualitätssicherung	Bewertungsmodelle auf einzelbetrieblicher Ebene USL/KUL (VDLUFA, 1998; Eckert et al., 1999) REPRO (Hülsbergen, 2003)

Es handelt sich dabei im Wesentlichen um N-Minderungspolitiken zur Eingrenzung des Gefährdungspotenzials durch die Landbewirtschaftung. USL/KUL und REPRO berücksichtigen zudem die Grundlagen einer nachhaltigen Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Betriebe.

Stoffbilanzen werden für unterschiedliche Bezugsebene wie z.B. für den landwirtschaftlichen Sektor in Deutschland insgesamt, für regionale Einheiten oder für landwirtschaftliche Betriebe erstellt. Modifikationen im methodischen Ansatz der Bilanzierung beeinflussen sehr wesentlich die Ergebnisse und erschweren damit nicht unerheblich deren objektive Interpretation. So setzt die Vergleichbarkeit von N-Überschüssen in verschiedenen Untersuchungen stets die Anwendung einer vergleichbaren Methodik voraus. Nach Bach und Frede (2005) verbleibt entsprechend einer Sensitivitätsanalyse auch bei Anwendung gleicher Methoden für den N-Bilanzüberschuss noch ein Fehler von  $\pm 10\%$ , der in tierhaltenden Betrieben nur dann auf diesem Niveau gehalten werden kann, wenn das berücksichtigte N-Recycling über Wirtschaftsdünger (z.B. Menge, Gehalte an N) auch nicht mehr als  $\pm 10\%$  vom wahren Wert abweicht.

Der VDLUFA (2006) bereitet derzeit einen Standpunkt vor, der wesentliche Bilanzierungsansätze aus wissenschaftlicher Sicht darstellt, ihre Einsatzmöglichkeiten bewertet und begründete Empfehlungen für die geeignete Methodik der Stoffflüsse im landwirtschaftlichen Betrieb ableitet. Sein wesentlicher Inhalt wurde in dieser Ausarbeitung berücksichtigt.

## 2 METHODE DER BILANZIERUNG

Eine Nährstoffbilanzierung ist die Gegenüberstellung der Nährstoffein- und -austräge einer klar definierten Bezugsebene über einen bestimmten Zeitraum, wobei zusätzlich die nährstoffrelevanten Bestandesänderungen (z.B. Vorrat an Futter, Dünger, Tierbestand, etc.) mit berücksichtigt werden. Die Differenz zwischen beiden Größen bildet der Saldo, dem eine Indikatorfunktion sowohl für die Nährstoffeffizienz als auch für die Gefährdung der Umwelt und der Bodenfruchtbarkeit zukommt. Ein positiver N-Saldo stellt demnach eine Schätzgröße für die gesamten, potenziell umweltgefährdenden N-Verluste dar, die von einer Bezugsebene an die Umwelt abgegeben werden. Häufig benutzte Bezugsebenen innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebes sind der Betrieb insgesamt (Fläche + Stall), die bewirtschaftete

Betriebsfläche und der Schlag. Die Wahl der Bezugsebene wird weitgehend von der Zielsetzung der Bilanzierung bestimmt. Der resultierende Saldo wird aus Gründen der Vergleichbarkeit generell auf die bewirtschaftete Fläche (landwirtschaftlich genutzte Fläche minus ungenutzte Brache) bezogen.

Die Qualität der Eingangsdaten kann entsprechend ihrer Fehlerbehaftung und Belegbarkeit in vier Gruppen eingeteilt werden:

- belegt: mit Kauf- oder Verkaufsbelege
- berechnet: nach feststehenden und nachvollziehbaren Algorithmen anhand von Richtwerten (z.B. symbiotische N-Bindung, Anfall von Wirtschaftsdünger, NH<sub>3</sub>-Emission)
- aufgezeichnet: eigene Datenerfassung des Landwirtes
- geschätzt: z.B. Futtererträge, Einsatzmengen an Wirtschaftsdünger

Die Düngeverordnung (DüngeVO 1996, 2006) und eine ergänzende Musterverwaltungsvorschrift (1996) enthalten verbindliche Basisdaten zum tierartspezifischen Anfall der Nährstoffausscheidung, zu Nährstoffgehalten in landwirtschaftlichen Produkten und Betriebsmitteln sowie Obergrenzen für die Anrechenbarkeit tierart- und aufstallungsspezifischer unvermeidbarer NH<sub>3</sub>-Verluste in Stall/Lager und Feld.

### 3 BILANZIERUNGSFORMEN FÜR DEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN BETRIEB

Je nach der Bezugsebene unterscheidet man eine gesamtbetriebliche und eine ausschließlich Flächen (Pflanzenbau)- oder Stall (Tierproduktion)-bezogene Nährstoffbilanz (Abbildung 1(1)).

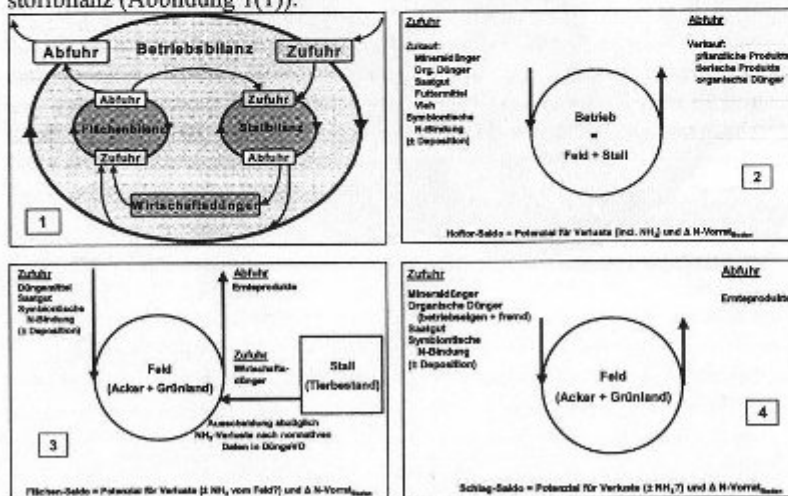


Abbildung 1: (1) Nährstoffflüsse und -bilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb. (2) Betriebs-Bilanz nach Hoftor-Methode. (3) Flächen-Bilanz nach Feld/Stall-Methode („Feld-Bilanz“). (4) Schlag-Bilanz.

Figure 1: (1) Nutrient flows and nutrient balances in farm. (2) Farm-balance according to farm gate-method. (3) Field-balance according to field/stable-method. (4) Balance at the field scale.

Mit einer wesentlichen Ursache für methodisch bedingte Unterschiede in den N-Salden besteht in der Einbeziehung der Einträge über die Atmosphäre. Je nach Berücksichtigung der festen, flüssigen und gasförmigen sowie regionsspezifischen N-Deposition schwankt dieser Input zwischen 20 und 60 kg N je Hektar und Jahr. Bilanzierungsansätze für den internationalen Vergleich und mit regionaler Bezugsebene enthalten meist diese Einträge, in der Regel als Standardwerte (PARCOM, 1993). In der Bilanzierung der Stoffflüsse auf Betriebsebene wird der Eintrag über die N-Deposition häufig nicht berücksichtigt (so auch im Standpunkt des VDLUFA). Generell wird auch das nach Abzug der  $\text{NH}_3$ -Emission verbleibende Verlustpotenzial wegen der bekannten schwierigen Methodik nicht weiter auf den Wasser- ( $\text{NO}_3^-$ -N) und Luftpfad ( $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) aufgeteilt. Generell sind Bilanzgrößen, die der Landwirt nicht oder kaum beeinflussen kann, dann entbehrlich, solange dieser Sachverhalt bei der Bewertung der N-Salden berücksichtigt wird.

Der gesamtbetriebliche N-Saldo ist für eine vergleichende Beurteilung der Qualität der Flächen- oder Tierproduktion wenig aussagekräftig; er muss folglich auf seine beiden Komponenten Flächen-Saldo und Stall-Saldo aufgegliedert werden. In dieser Ausarbeitung wird die Stall-Bilanz nur insoweit berücksichtigt, wie aus ihr die Datenbasis für Flächen-Bilanzen mit notwendigen Eingabedaten komplementiert wird, z.B. Anfall von Wirtschaftsdünger,  $\text{NH}_3$ -Verlust im Stall und Düngerlager.

In allen Bilanzierungsmethoden wird der Über- oder Überschuss für Nährstoffe stets auf die bewirtschaftete Fläche bezogen. Folgende Bilanzierungsformen und -methoden sind zu unterscheiden:

1. Betriebs-Bilanz („Hofstor-Bilanz“) nach Hofstor-Methode (Abbildung 1(2))
2. Flächen-Bilanz auf Betriebsebene
  - a. aggregiert aus Schlag-Bilanzen (siehe Abbildung 1(4))
  - b. nach Feld/Stall-Methode (Abbildung 1(3))
  - c. nach Hofstor-Methode (siehe 1.)

In dieser „Hofstor-Flächen-Bilanz“ werden vom Hofstor-Saldo die  $\text{NH}_3$ -Verluste, wie in 2.b. ermittelt, in Abzug gebracht.

Flächen-Bilanz auf Schlägebene („Schlag-Bilanz“) (Abbildung 1(4))

In dieser „Feld-Bilanz“ wird die ausgebrachte N-Menge über Wirtschaftsdünger aus dem Tierbesatz mit normativen Daten für die N-Ausscheidung und  $\text{NH}_3$ -Verluste (Stall/Lager  $\pm$  Feld?) nach Düngeverordnung ermittelt.

Im Hofstor-Saldo sind zudem die  $\text{NH}_3$ -Emissionen im Stall/Lager und von den Flächen mit enthalten. Für die flächenbezogenen Bilanzierungen (Flächen- und Schlag-Bilanz) ist stets festzuhalten, ob im Saldo die  $\text{NH}_3$ -Verluste von der Fläche nach der Ausbringung noch enthalten oder bereits subtrahiert worden sind.

Allgemein lassen sich die realen Nährstoffströme im landwirtschaftlichen Betriebe mangels exakter Lage der Daten nur in Annäherung abbilden. Deshalb ist bei der Auswahl der einzusetzenden Methoden das betriebsspezifische Angebot an repräsentativen und belastbaren Daten zu berücksichtigen. Grundsätzlich beruhen die Bilanzen nach Hofstor-Ansatz weitestgehend auf belegbaren und objektiven Daten, so

dass das Bilanzierungsergebnis sich mit Abstand am besten innerbetrieblich (Bewertung sowie Grobsteuerung der Düngepraxis), außerbetrieblich (Nachweis umweltverträglichen Verhaltens) sowie agrarpolitisch und administrativ (Umweltberichterstattung, Nachweis für förderpolitische Maßnahmen) verwenden lässt. Die „Feld-Bilanz“ nach Feld/Stall-Ansatz muss zwangsläufig auf einen berechneten Anfall an Wirtschaftsdünger und zum Teil geschätzte Futterpflanzen- und Grünlanderträge zurückgreifen. Dies beeinträchtigt besonders in tierhaltenden Betrieben die Aussagesicherheit des ermittelten Saldos insbesondere dann, wenn die Kontrolle fehlt, inwieweit der normativ ermittelte Anfall an Wirtschaftsdünger zu den betrieblich angegebenen Futtererträgen passt.

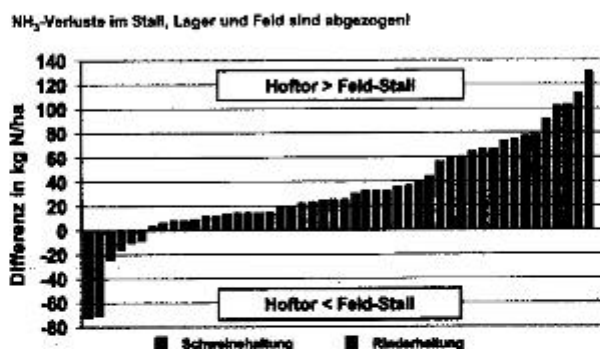


Abbildung 2: Methodisch bedingte Unterschiede im Flächen-Saldo landwirtschaftlicher Betriebe nach Hof- und Feld/Stall-Methode (Hege, 1995).

Figure 2: Methodically based differences in field-balance on farms according to farm gate- and field/stable-method (Hege, 1995).

Abbildung 2 weist auf die Unstimmigkeiten zwischen den Flächen-Bilanzen nach Hof- und Feld/Stall-Methode hin.

Die Schlag-Bilanz eignet sich in viehhaltenden Betrieben aus den gleichen Gründen weder für eine außerbetriebliche Verwendung noch für die Ermittlung des Flächen-Saldos auf Betriebsebene. Innerbetrieblich ist der Saldo der Schlag-Bilanz für eine Schwachstellenanalyse zur Optimierung der Düngung allerdings geeignet. Deshalb wird im Standpunkt des VDLUFA (2006) eine Kombination von Flächen-Bilanz nach Hof- und Schlag-Bilanz empfohlen.

In Kenntnis dieses Sachverhaltes ist es nicht nachvollziehbar, warum die 2006 novellierte Düngeverordnung in Deutschland zum Unterschied von der bisher gültigen Verordnung (1996) nicht mehr den Hof- und Schlag-Ansatz, sondern nur noch die Flächen-Bilanz, nach dem Feld/Stall-Ansatz oder über die Aggregation einzelner Schlag-Salden ermittelt, als rechtsgültige Methode anerkennt.

#### 4 ÜBERSCHUSS-SALDO UND REALES VERLUSTPOTENZIAL FÜR STICKSTOFF

In zwei nach den Kriterien des Ökolandbaus (68 ha) und integrierten Landbaus (43 ha) bewirtschafteten Betrieben wurden über zehn Jahre mittels exakter Messung der N-Zufuhr und -Abfuhr flächenbezogene N-Überschussalden auf Betriebsebene ermittelt und den Veränderungen der N-Vorräte der Böden (Bodeninventur an ca. 550 Punkten im 50 m x 50 m Raster zu Beginn (1991) und am Ende (2001) von FAM) sowie den gemessenen N-Austrägen über den Wasserpfad ( $\text{NO}_3^-$ -N) sowie Luftpfad ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$  entspricht der noch offenen Verlustmenge) gegenüber gestellt (Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM), Osinski et al., 2005).

Der Ökobetrieb wurde mit einer siebenfeldrigen Fruchtfolge (ca. 35% der Ackerfläche Leguminosen) mit wendender Bodenbearbeitung (Pflug) bewirtschaftet. Die Tierbesatzdichte betrug 1,2 GV je Hektar (Wirtschaftsdünger: Stallmist). Der integrierte Betrieb wirtschaftete bodenkonservierend ohne Pflugeinsatz und mit Zwischenfruchtanbau; die Tierbesatzdichte betrug 0,6 GV je Hektar (Gülle).

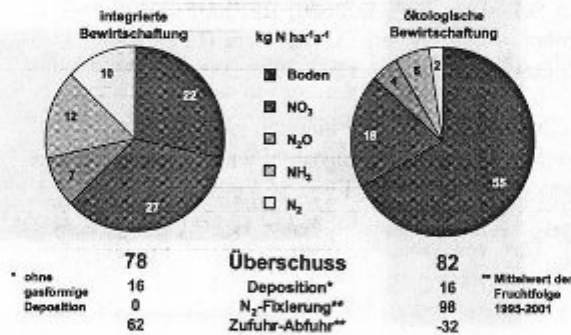


Abbildung 3: Verbleib der N-Überschüsse auf den Ackerflächen der Betriebe von Scheyern (FAM, Rühling et al., 2005).

Figure 3: Fate of nitrogen surpluses on agricultural crop land in integrated and organically managed farms in Scheyern (FAM, Rühling et al., 2005).

Unter Einbeziehung der Deposition und symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierung wurde in beiden Betrieben ein mittlerer Flächen-Saldo von 78 (integriert) bzw. 82 (ökologisch) kg N je Hektar Ackerfläche ermittelt (Abbildung 3).

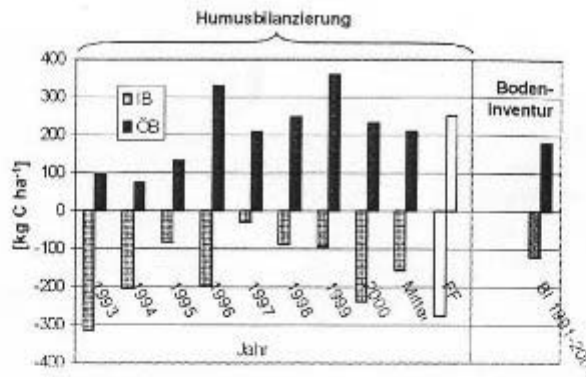


Abbildung 4: Humusbilanz im integrierten (IB) und ökologischen (ÖB) Betrieb in Scheyern von 1993 bis 2000 (mit REPRO) und im Mittel einer kompletten Fruchtfolge von vier bzw. sieben Jahren (FF) sowie Änderung der C-Vorräte nach Bodeninventur (BI, 1991-2001) (FAM, Rühling et al., 2005).

Figure 4: Humus-balance in integrated (IB) and organically (ÖB) managed farms in Scheyern (1993 to 2000; REPRO) and averaging a complete crop rotation of four resp. seven years (FF) as well as change of C-pool following soil analysis (BI, 1991-2001) (FAM, Rühling et al., 2005).

Davon konnte mittels Bodeninventur eine Anreicherung der Böden in Höhe von 22 bzw. 55 kg N je Hektar und Jahr festgestellt werden. Das im integrierten Betrieb je Hektar verbleibende Verlustpotenzial von 56 kg N verteilt sich mit 27 kg N auf den Wasserpfad und 29 kg N auf den Luftpfad (12 kg als NH<sub>3</sub>, 7 kg als N<sub>2</sub>O und 10 kg als N<sub>2</sub> (Differenz)). Das verbleibende Verlustpotenzial im Ökobetrieb von 27 kg N realisiert sich mit einem Austrag in die Hydrosphäre von 16 kg N und in die Atmosphäre von 11 kg N (5 kg als NH<sub>3</sub>, 4 kg als N<sub>2</sub>O, 2 kg als N<sub>2</sub>).

Dieses Beispiel unterstreicht nachdrücklich, dass der über die Bilanzierung ermittelte N-Überschuss einen realen Bezug hat. Zur Ermittlung des kurzfristig wirksam werdenden Verlustpotenzials muss jedoch stets eine An- oder Abreicherung des N-Vorrates der Böden Berücksichtigung finden. Letztlich steigt mit zunehmendem N-Vorrat der Böden auch das Risiko für N-Verluste an. In Kenntnis dieses Sachverhaltes kann jedoch durch Anpassung der zukünftigen Bewirtschaftung dieses längerfristige Potenzial für Verluste eingegrenzt werden. Im Falle der N<sub>2</sub>-Fixierung im Ökobetrieb ist eine natürliche Regulation über einen Rückgang dieser Fixierleistung wahrscheinlich.



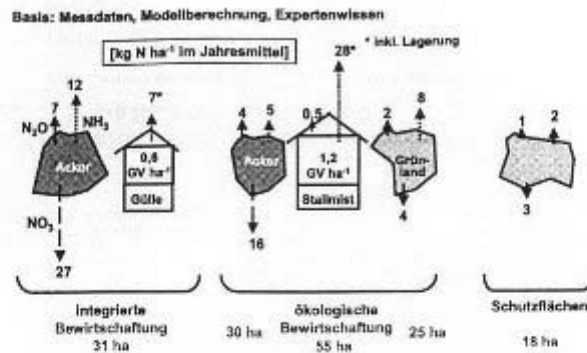


Abbildung 5: Aufteilung der N-Überschüsse einer Betriebs-Bilanz nach Hofort-Methode auf die verschiedenen Bezugsebenen (Stall, Acker-/Grünland, Schutzflächen) der Betriebe in Scheyern.

Figure 5: Distribution of nitrogen surpluses in farm-balance according to farm gate-method balanced on different reference levels (stable, arable land/grassland, set aside area) in farm in Scheyern.

Die zusätzliche Erstellung einer Humusbilanz (z.B. VDLUFA, 2004) informiert darüber, ob die gegebene Bewirtschaftung (Fruchtfolge, organische Düngung) langfristig den Humusvorrat verändert (Abbildung 4). Geht man von Böden in gutem Humuszustand aus, so deutet ein positiver Humussaldo zumindest kurzfristig auf eine Verminderung (Immobilisation), ein negativer Saldo auf eine Erhöhung (Mobilisation) des über die N-Bilanzierung festgestellten Verlustpotenzials hin. Längerfristig betrachtet sind aber weder stark positive (unnötig für die Ertragssicherung, aber häufige Ursache hoher N-Austräge in die Hydro- und Atmosphäre) noch negative Humussalden (Gefährdung der Ertrags- und Pufferfunktion des Bodens) erwünscht (Körshens und Schulz, 1999).

Abbildung 5 zeigt am Beispiel der Betriebe in Scheyern (FAM), wie aus dem Zusammenwirken einer Betriebs- und Flächen-Bilanz sowie punktuell erfassten Emissionsmessungen eine nutzungsbedingte Zuweisung der N-Austräge auf die einzelnen Kompartimente des Betriebes abgeschätzt werden kann.

## 5 ZIELWERTE FÜR N-ÜBERSCHÜSSE NACH DÜNGEVERORDNUNG 2006

In der 2006 neugefassten Düngeverordnung wird für die Bilanzierung der Stickstoff- und Phosphorflüsse im landwirtschaftlichen Betrieb nur noch die Flächen-Bilanz nach Feld/Stall-Methode oder nach Aggregation der Einzelschlag-Bilanzen anerkannt. Damit sind in den N-Überschüssen bestenfalls noch die NH<sub>3</sub>-Verluste vom Feld, nicht jedoch die im Stall/Lager enthalten. N-Salden werden über drei, P-Salden über sechs Jahre gemittelt. Die „gute fachliche Praxis“ der P-Düngung wurde auch noch für hoch bis sehr hoch versorgte Böden bis zu einem P-Überschuss von 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> je Hektar definiert, das heißt, eine Abreicherung auch sehr hoch versorgter Böden wird nicht als zwingende Notwendigkeit gesehen (Abbildung 6). Damit kann die N-Zufuhr über die meist P-reichen Wirtschaftsdünger durch die P-Fracht kaum mehr begrenzt werden.

Zielwerte in kg ha<sup>-1</sup>

N		P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Mittelwert über 3 Jahre		Mittelwert über 6 Jahre
2006	ab 2009	ab 2006
< 90	< 60	< 20
NH <sub>3</sub> -Verluste sind bereits in Abzug gebracht Zusätzliche Sonderregelung für Gemüsekulturen und Erzeugung von Proteinpflanzen.		Abreicherung auf hoch und sehr hoch versorgten Böden war nicht mehr befähigt.

Die Düngung kann sowohl durch die N- als auch die P-Fracht begrenzt werden.

Abbildung 6: Zielwerte für Nährstoff-Überschüsse einer Flächen-Bilanz – DüngVO für Deutschland (2006).

Figure 6: Benchmarks for nutrient surpluses in a field-balance – Fertilizer regulation for Germany (2006).

Futterbaubetrieb, 1,5 GV ha<sup>-1</sup>, N-Ausscheidung = 160 kg N ha<sup>-1</sup>  
 N-Eintrag über Deposition: 30 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>

	N-Überschuss auf der Fläche		N-Überschuss im Gesamt-Betrieb	
	2006	ab 2009	2006	ab 2009
	kg N ha <sup>-1</sup> bewirtschaftete Fläche a <sup>-1</sup>			
Richtwert Düng-VO (Statio einer Flächen-Bilanz)	90	60	90	60
Deposition	30	30	30	30
NH <sub>3</sub> -Verlust	25	25	50	50
Summe	145	115	170	140

Abbildung 7: Obere Grenze für N-Überschüsse nach “guter fachlicher Praxis” (DüngVO in Deutschland, 2006) am Beispiel der Flächen- und Betriebs-Bilanz eines Futterbaubetriebes.

Figure 7: Upper limit for nitrogen surpluses following the “code of good agricultural practice” (Fertilizer regulation in Germany, 2006) illustrated by field- and farm-balance in a forage growing farm.

Die gute Düng Praxis für Stickstoff wird an den N-Salden der Flächen-Bilanz gemessen. Die Zielwerte reichen derzeit noch bis 90 und verringern sich ab 2009 auf Werte unter 60 kg N je Hektar. Zudem sind Sonderregelungen getroffen, z.B. für düngintensive Gemüsekulturen oder für die Erzeugung von proteinreichem Getreide.

Bezieht man die Einträge über die Deposition und die in der Flächen-Bilanzierung unberücksichtigt gebliebenen NH<sub>3</sub>-Emissionen zusätzlich noch mit ein, so lassen sich auf Basis der genannten Zielwerte einem Futterbaubetrieb mit einer Tierhaltung von

ca. 1,4 GV je Hektar ab 2009 noch mit N-Überschüssen bis 115 kg (Bezugsebene: bewirtschaftete Fläche) oder bis 140 kg (Bezugsebene: Gesamtbetrieb) je Hektar eine fachlich korrekte Düngungsstrategie bescheinigen (Abbildung 7).

## 6 ZIELWERTE DER DÜNGEVERORDNUNG (2006) IM VERGLEICH MIT BEKANNTEN BEWERTUNGSMASSTÄBEN

Tabelle 1 bietet einen Vergleich der in der Düngeverordnung (2006) festgelegten Zielwerte mit bekannten Ziel- oder Diskussionswerten aus der Sicht von Landwirtschaft und Umweltschutz. Es wurde versucht, die Basis dieses Vergleiches auf Stickstoffsalden einer Flächen-Bilanz ohne Berücksichtigung der NH<sub>3</sub>-Emissionen zu normieren.

Erst mit dem Wirksamwerden des Zielwertes von 2009 (60 kg N ha<sup>-1</sup>) können sich für Futterbau- und Veredelungsbetriebe vor allem auf auswaschunggefährdeten Standorten Engpässe ergeben, trotz guter Düngungsstrategie die Begrenzung der N-Überschüsse auf der Fläche nicht immer einhalten zu können. Der für den Ausgleich der unvermeidbaren Verluste notwendige Überschuss liegt praktisch gleich auf mit dem als obere Grenze gegebenen Zielwert (55 bzw. 60 kg N ha<sup>-1</sup>). Betriebe ohne Tierhaltung können den Zielwert durchwegs ohne Probleme unterschreiten. Die aus dem Bereich des Umweltschutzes genannten Orientierungswerte liegen stets unter dem Zielwert der Düngeverordnung. Sie stellen Mittelwerte über den gesamten landwirtschaftlichen Sektor dar. Mittelt man die erreichbaren Salden aus Betrieben ohne und mit Tierhaltung, nähern sich die Zielsetzungen an.

Tabelle 1: Vergleich des Zielwertes nach DüngVO (2006) mit bekannten Bewertungsmaßstäben aus dem Bereich von Landwirtschaft und Umweltschutz für notwendige, anzustrebende oder tolerierbare N-Überschüsse.

Table 1: Comparison of benchmarks in the fertilization regulation (2006) with in the domains of agriculture and environmental protection published valuation standards for required, aimed and tolerable N-surpluses.

Quelle	Ziel/Orientierungswert [kg N ha <sup>-1</sup> ]	Einbeziehung von		Bemerkungen zum Ziel/Orientierungswert
		Deposition	NH <sub>3</sub> -Emissionen*	
DüngVO (2006)	< 60	-	-	Zielwert einer Flächen-Bilanz unabhängig von der Tierhaltung
	15-40	-	-	ohne Tierhaltung
Guber u. Ebertseder (2001)	20-45	-	-	Fächen-Bilanz, Spanne für günstige bis auswaschunggefährdete Standorte
BAD (2003)	25-55	-	-	bis 1,4 GV ha <sup>-1</sup>
"notwendige Überschüsse unvermeidbare Verluste"	50-95	-	++	bis 0,8 GV ha <sup>-1</sup>
	55-105	-	++	bis 1,4 GV ha <sup>-1</sup>
USLKAU (VDLUFA 2002)	<30 bis <50	-	-	Fächen-Bilanz
"Umweltanforderungspläne"	<80 bis <100	-	++	Betriebs-Bilanz
REPRO (Hölscher 2002)	<25	+	+	Fächen-Bilanz
"Nachhaltigkeit landw. Betriebe"	25-150	+	+	(Summe reaktiver N) - erhöhte Verluste (noch tolerabel)
	<30	+	++	Betriebs-Bilanz
Bundesregierung (2004)				Mittelwerte über Deutschland
"Nachhaltige Entwicklung BRD"	<35	-	-	Fächen-Bilanz (abzüglich 20 kg N Deposition und 25 kg NH <sub>3</sub> -Emission (Basis: 0,85 GV ha <sup>-1</sup> ))
USA (1999)	<50	+	-	Fächen-Bilanz
"Umweltstandard in Landwirtschaft"	<30	-	-	Mittelwerte über landwirtschaftlich genutzte Flächen
zu DüngVO (2006) s. oben	<60	-	-	bei Ausschöpfung der Höchstfracht nach EU-Nährstofflinie auch auf besten Standorten kaum erreichbar

\* + NH<sub>3</sub>-Emissionen von F&E enthalten

\*\* NH<sub>3</sub>-Emissionen von Stoff, 2001 und F&E enthalten

Es wird allerdings nachdrücklich darauf verwiesen, dass sehr wesentlich auch das Niveau der  $\text{NH}_3$ -Emissionen die Umweltleistung der Landwirtschaft bestimmt. Dieser Bereich wurde in dieser Arbeit ausgeklammert. Es ergeben sich hier sehr enge Beziehungen zwischen der Tierbesatzdichte der Betriebe und der Höhe der  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus Stall, Düngerlager und von den genutzten Flächen. Für diesen Bereich findet sich in der Düngeverordnung keine überzeugende Regelung. Es werden lediglich verlustmindernde Anwendungspraktiken angeführt, aber keine Aussagen zu tolerierbaren  $\text{NH}_3$ -Einträgen in die Atmosphäre gemacht.

## 7 LITERATUR

- Bach, M./ Frede, H.G. Methodische Aspekte und Aussagemöglichkeiten von Stickstoffbilanzen. Hrsg.: Institut für Landwirtschaft und Umwelt (ilu), Bonn, 2005, 55 S.
- BAD. Nährstoffverluste aus landwirtschaftlichen Betrieben mit einer Bewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis. Hrsg.: Bundesarbeitskreis Düngung, Frankfurt, 2003, 36 S.
- Bundesregierung. Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Fortschrittsbericht, Deutsche Bundesregierung, Berlin, 2004.
- Düngeverordnung (DüngeVO). Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 06.02.1996. BGBl, I, 1996, S. 118.
- Düngeverordnung (DüngeVO). Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 10.01.2006. BGBl, I, 2006, S. 20.
- Eckert, H./ Breitschuh, G./ Sauerbeck, D. Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL) – Ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben. *Agribiol. Res.*, 52(1999), S. 57-76.
- Gutser, R./ Ebertseder, T. Unvermeidbare Nährstoffverluste in der Landwirtschaft. In: BAD, Düngung: Baustein nachhaltiger Landwirtschaft, Hrsg.: Bundesarbeitskreis Düngung, Frankfurt, 2001, S. 95-114.
- Hege, U. Nährstoffbilanz als Kontrollinstrument ordnungsgemäßer Landwirtschaft (Feld-, Stall-, Hoftor-Bilanz). In: BAD, Nährstoffbilanz im Blickfeld von Landwirtschaft und Umwelt, Hrsg.: Bundesarbeitskreis Düngung, Frankfurt, 1995, S. 129-137.
- HELCOM. Report of the 21st meeting of the Helsinki commission. Baltic Marine Environment Protection Commission, Helsinki, 3(2000).
- Hülsbergen, K.J. Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. *Habil.-Schrift*, Univ. Halle-Wittenberg, Shaker-Verlag, Aachen, 2003, 257 S.
- Körschens, M./ Schulz, E. Die organische Bodensubstanz. Dynamik – Reproduktion – Ökonomisch und ökologisch begründete Richtwerte. *UFZ-Bericht*, ISSN 0948-9452, 13(1999), S. 1-46.
- KOM. Indikatoren für die Integration von Umweltbelangen in der gemeinsamen Umweltpolitik. Kommission der Europäischen Gemeinschaft, Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament, Brüssel, 2000, 20 endgültig.
- Nitratrichtlinie. Richtlinie (EWG) Nr. 91/676 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. *ABl, EG Nr. L 375*, 1991, S. 1.

- OECD. Environmental Indicators for Agriculture. In: Volume 3, Methods and Results. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, <http://www.oecd.org/publications/e-book/5101011E.pdf>, 2001.
- Osinski, E./ Meyer-Aurich, A./ Huber, B./ Rühling, I./Gerl, G./Schröder, P. Landwirtschaft und Umwelt – ein Spannungsfeld. Ergebnisse des Forschungsverbunds Agrarökosysteme München (FAM). Oekom Verlag, München, 2005, 280 S.
- PARCOM (Paris-Konvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung). Dritte Sitzung der Ad-hoc Arbeitsgruppe zur Reduzierung der Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft. Anlage 1, PARCOM-Richtlinien für die Berechnung von Mineralbilanzen, 1993.
- Rühling, I./ Ruser, R./ Kölbl, A./ Priesack, E./ Gutser, R. Kohlenstoff und Stickstoff in Agrarökosystemen. In: Osinski et al., 2005, S. 99-154.
- UBA. Entwicklung von Parametern und Kriterien als Grundlage zur Bewertung ökologischer Leistungen und Lasten der Landwirtschaft – Indikatorsysteme. Hrsg.: Umweltbundesamt, Dessau, UBA-Texte, 42(1999), 258 S.
- VDLUFA. Standpunkt „Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung“. Hrsg.: VDLUFA, VDLUFA-Infos: <http://www.vdlufa.de>, 1998.
- VDLUFA. Standpunkt „Humusbilanzierung“. Hrsg.: VDLUFA, VDLUFA-Infos: <http://www.vdlufa.de>, 2004.
- VDLUFA. Standpunkt „Nährstoffbilanzierung im Landwirtschaftsbetrieb“. Hrsg.: VDLUFA, VDLUFA-Infos: <http://www.vdlufa.de>, in press, 2006.
- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Richtlinie EG Nr. 2000/60 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABl, EG Nr. L 327, 2000, S. 1.