

aus: DLG-Arbeitsunterlagen "Die Düngeverordnung auf dem Prüfstand"; DLG-Kolloquium v.3.12.97 in Kassel, 1998 (27-45)

Zur Problematik von Stickstoffbilanzen

429.

Dr. Reinhold Gutser,
Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU-München, Freising-Weihenstephan

Die Gegenüberstellung von Input- und Output-Größen (Bilanzierung) zur Beurteilung der optimalen Düngung in landwirtschaftlichen Betrieben ist für die Nährstoffe Phosphor und Kalium unumstritten und wird demnach bereits lange Zeit praktiziert. Für den verlustgefährdeten Nährstoff Stickstoff besteht Unsicherheit, inwieweit Bilanzierung und Saldierung Aussagen für die Beurteilung einer sachgemäßen und standortbezogenen Düngung zulassen.

Die Dünge-VO (1996) definiert die „gute fachliche Praxis beim Düngen“ sowohl mit einer weitestgehenden Verwertung der Düngernährstoffe durch die Pflanzen als auch mit einer weitestgehenden Vermeidung von Einträgen in die Gewässer und ergänzend auch in die Atmosphäre.

Eine 1994 von Nieberg et al. in der BRD durchgeführte Expertenbefragung weist dem Indikator „N-Saldo“ eine gute Eignung für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit eines landwirtschaftlichen Betriebes zu (Tabelle 1), unterstreicht jedoch auch die Bedeutung feinsteuernder Meß- und Kontrollmaßnahmen.

Tabelle 1: Eignung von Indikatoren für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit eines landwirtschaftlichen Betriebes (Expertenbefragung in der BRD; n= 63)

| Indikatoren | Einstufung "geeignet bis gut geeignet" (% der Experten) |
|--|---|
| Monetärer Düngemittelaufwand (DM/ha LF) | 23 |
| Früchte mit potentiell hohen Rest-N _{min} Werten (% AF) | 41 |
| N-Düngung im Herbst (WiKulturen) | 45 |
| Ø N _{min} vor Winter | 64 |
| N-Saldo (Zufuhr – Abfuhr) | 67 |
| begrünte Fläche während Winter (% AF) | 70 |
| feinsteuernde Meß- und Kontrollmaßnahmen (N _{min} , EUF, Düngefenster ...) | 85 |
| u. a. "Viehichte" DE/ha AF | 74 |
| Zufuhr Gülle-N im Spätsommer/ Herbst auf Flächen ohne/mit geringem Bewuchs (kg N/ha LF) | 90 |

(Nieberg et al., 1994)

Für die Ermittlung von N-Salden aus der N-Bilanzierung gibt es verschiedene Berechnungsmöglichkeiten (Betriebsbilanzen auf Stall-/Schlag- bzw. Hoftorbasis) ohne und mit Einbeziehung von weiteren Input- (Atmosphäre) und Output- (Verlust) Größen, so daß die jeweilige Vorgehensweise im Interesse einer Vergleichbarkeit der Salden genau definiert sein muß. In der vorliegenden Arbeit wird fast ausschließlich auf Salden der Schlag- oder Flächenbilanz zurückgegriffen.

Aussagekraft einjähriger/mehrjähriger N-Salden

Für die ökonomische und ökologische Bewertung der N-Düngung auf landwirtschaftlichen Flächen besitzen einjährige Salden eine meist geringe Aussagekraft. Umfangreiche Erhebungen in Thüringen (Herold et al., 1996) belegen fehlende Beziehungen zwischen einjährigen Flächenbilanz-Salden und N_{\min} -Gehalten der Böden im Herbst (Abb. 1) und dies für eine Bandbreite der Salden von -200 bis $+300$ kg N/ha.

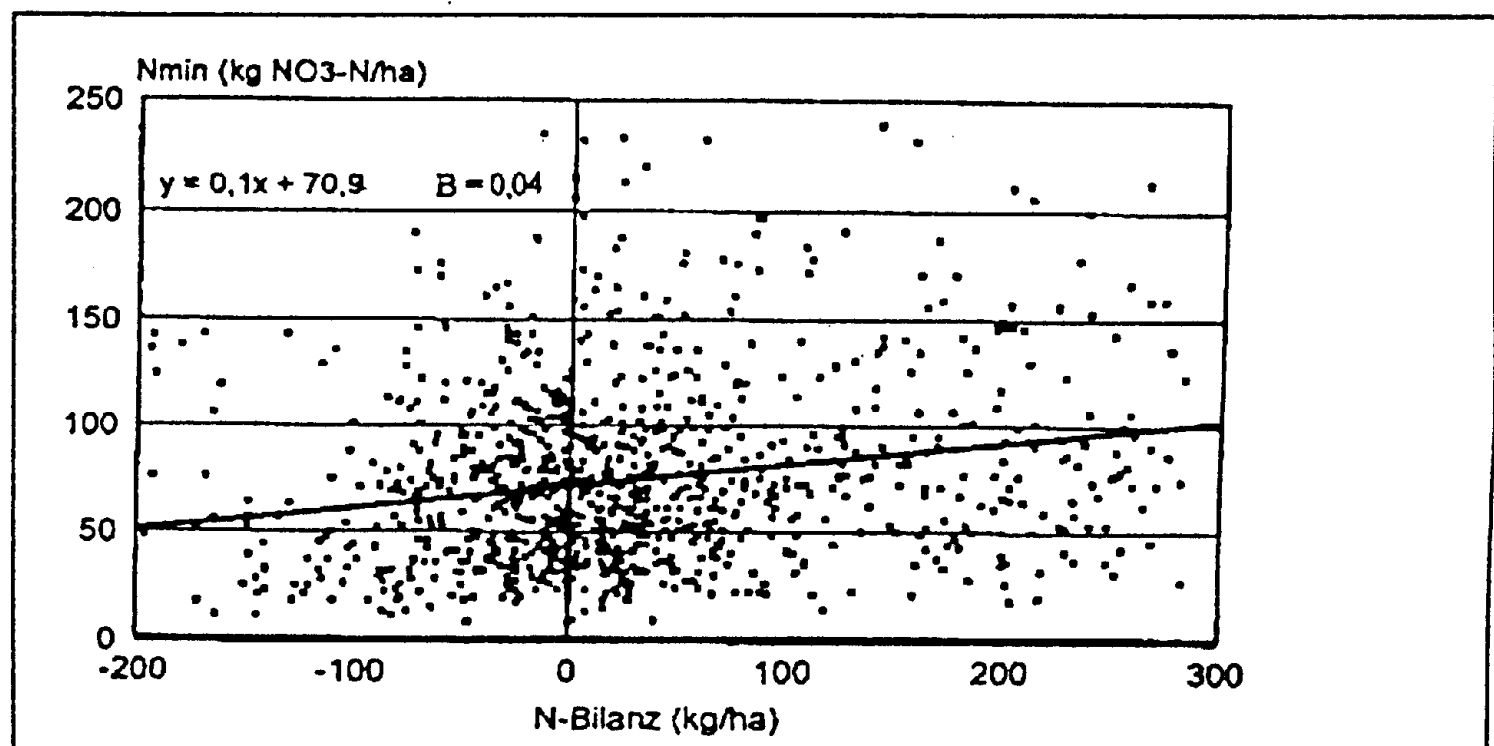


Abbildung 1: Beziehung zwischen der Brutto-N-Bilanz und dem N_{\min} -Gehalt des Bodens im Herbst (N_{\min} -Dauertestflächen 1993-1995, $n = 1064$, Schlageinzelwerte ohne Ausreißer) – einjährige Daten

Einschränkend sei jedoch erwähnt, daß der gewählte Bezugsparameter N_{\min} für die Beurteilung der Aussagekraft von N-Salden problematisch ist – es ist hinlänglich bekannt, daß aus den N_{\min} -Gehalten der Böden im Spätherbst nur schwer die Güte der Düngungsstrategie des Jahres abgeleitet werden kann (starke Abhängigkeit der N_{\min} -Gehalte von Boden, Witterung, Erntetermin, Zwischenfruchtbau, Bodenbearbeitung, Ernterückstände etc.).

Ergebnisse des Weihenstephaner Lysimeterversuches belegen die geringe Aussagekraft einjähriger N-Salden für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit der N-Düngung (Tab. 2). Die Höhe der im 9. Versuchsjahr gemessenen N-Auswaschung wird fast ausschließlich durch die N-Freisetzung aus dem Boden-Pool – langjährige N-Salden belegen eine unterschiedlich hohe Anreicherung des Boden-N – und nur unwesentlich von der richtig terminierten Düngung des 9. Jahres bestimmt.

Tabelle 2: N-Potential organisch gedüngter Böden
Lysimeter Weihenstephan (Lu) - 9. Jahr (^{15}N) - ZuRüben

| Düngung | N- Dgg. Ø Saldo | | N-Freisetzung des Bodens | | | Auswaschung Dünger-N - 9. Jahr (kg/ha) |
|---------------------------|--------------------|------|--------------------------|---------------------------------|-----|--|
| | (kg/ha·a) | | insgesamt (kg/ha) | davon Auswaschung (kg/ha) | (%) | |
| ohne N | — | - 42 | 164 | 57 | 35 | — |
| Mineraldüngung | 120 | + 26 | 172 | 61 | 35 | 1 |
| Gülle*/ Mineraldüngung | 180 | + 90 | 258 | 82 | 32 | 1 |

* nur Gülle $\text{NH}_4\text{-N}$ → 120 kg N/ha·a

Die Höhe des Pflanzenertrages wird sehr wesentlich durch die Jahreswitterung determiniert und weit schwächer durch die Düngung. Folglich ist auch der N-Saldo einer jahresspezifisch optimierten N-Düngung abhängig vom erzielbaren Ertragsniveau.

Mehrjährige N-Salden eignen sich für die Beurteilung der Düngeneffizienz sowie des Verlustpotentials besser (Tab. 2 und s. später). Bouwer (1995) konnte für 10 Quell-Trinkwassereinzugsgebiete des Osthessischen Berglandes belegen, daß flächengewichtete N-Salden die tatsächlichen N-Verluste durch Auswaschung besser prognostizieren als im Herbst ermittelte N_{min} -Mengen der Böden (Abb. 2).

Zum Unterschied zur NO_3 -Auswaschung werden gasförmige Verluste als N_2O (Lachgas) stärker durch die „Jahresdüngung“ (Düngungshöhe/Verteilung x Witterung x Bewirtschaftung) und weniger von dem durch langjährige Düngung modifizierten N-Potential der Böden beeinflusst. In einem nunmehr 16jährigen Langzeitexperiment ließ sich allerdings auch eine gute Beziehung zwischen den langjährigen N-Salden und der Höhe der N_2O -Emission aufzeigen (Kilian et al., 1997) – (Tab. 3).

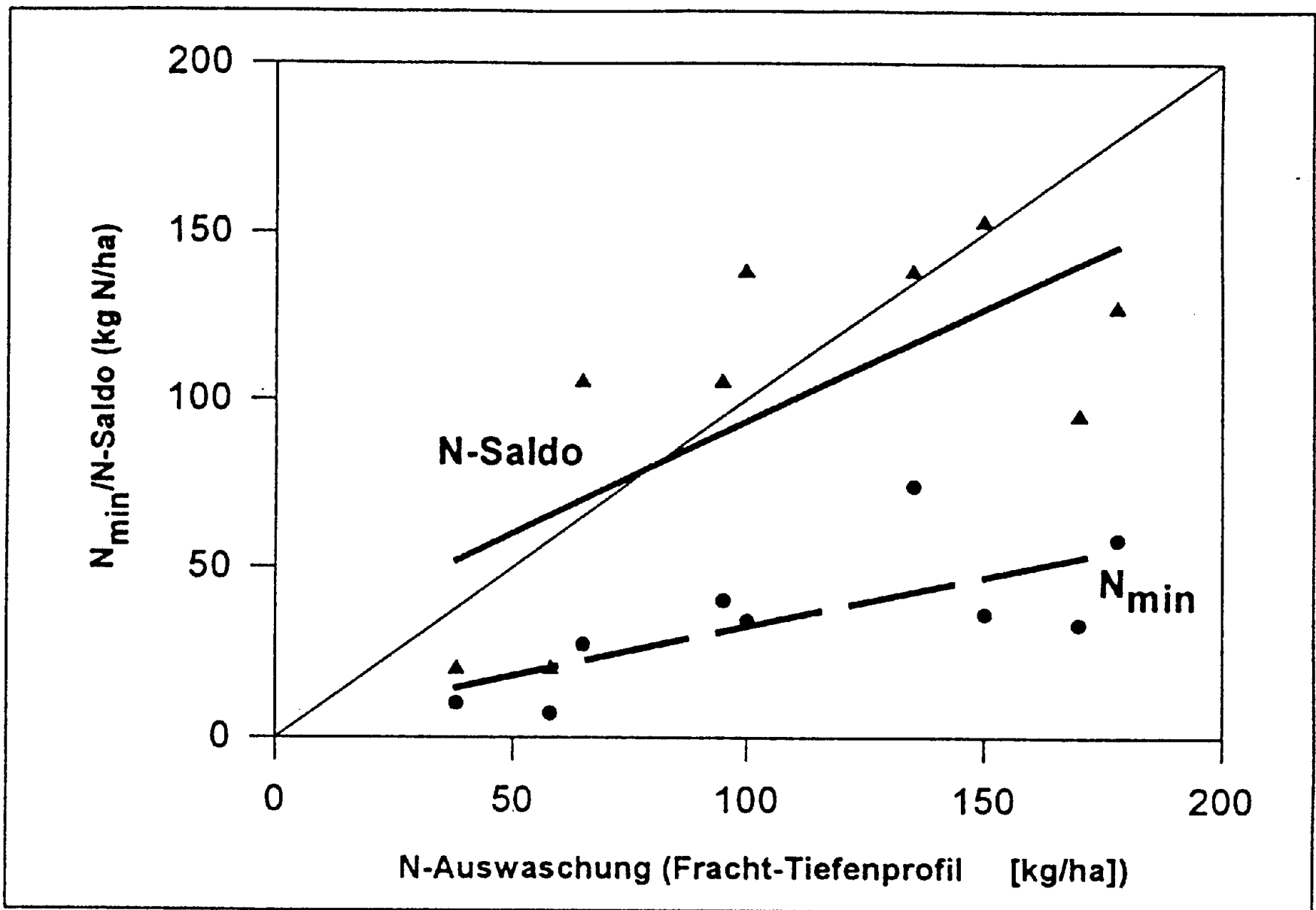


Abbildung 2: Beziehung zwischen gemessener und über Flächenbilanz (N-Saldo) bzw. N_{min}- Untersuchung (Herbst) abgeschätzter N-Auswaschung (Bouwer, 1995)

Tabelle 3: Lachgas (N₂O) - Emission langjährig differenziert gedüngter Ackerflächen mineralische (KAS), organische (Gülle) und kombinierte (Gülle/KAS) Düngung Boden: Lu Fruchtfolge: SiMais - WiWeizen - WiGerste+Zwifrucht Meßdauer: 16. Jahr April 1995 (WiWeizen) - März 1996 (WiGerste)

| Düngung | Ø N-Saldo (kg N/ha·a) | N ₂ O-Emission (kg N/ha) |
|-------------------------------|--------------------------|--|
| N ₀ | - 52 | 2.5 |
| Mineraldüngung reduziert | + 12 | 3.3 |
| Mineraldüngung optimal | + 32 | 5.4 |
| Gülle + Mineraldüngung | + 135 | 11.9 |

(Kilian, Gutser, Claassen, 1997)

Langzeitexperimente zur Ermittlung standortbezogener optimaler N-Düngung und N-Salden („Marktfruchtbetrieb“ und „Futterbaubetrieb“)

Die Optimierung der N-Düngung und die Ermittlung von standortbezogenen optimalen N-Salden lassen sich nur in Langzeitexperimenten erarbeiten und zwar deshalb, weil neben Input und Output auch die Veränderung des N-Zustandes der Böden (steady state) Berücksichtigung finden muß (siehe später). Dies trifft insbesondere für Flächen mit organischer Düngung zu. Abwertende Stellungnahmen zur Aussagekraft von N-Salden finden meist in der „Nichterfüllung“ dieser Forderung ihre Erklärung.

Langzeitexperiment „Marktfruchtbetrieb“

In einem 12jährigen N-Steigerungsversuch (ausschließlich mineralische Düngung; Stroh und Rübenblätter verbleiben auf dem Feld) auf guten Standortbedingungen lassen sich ertrags- und qualitätsbezogene jährliche optimale Düngermengen und daraus die mittleren N-Salden z.B. für die letzten 5 Jahre berechnen (Abb. 3). Das Optimum wurde mit einem \emptyset Saldo von -10 kg N/ha (Düngung – Abfuhr) erzielt.

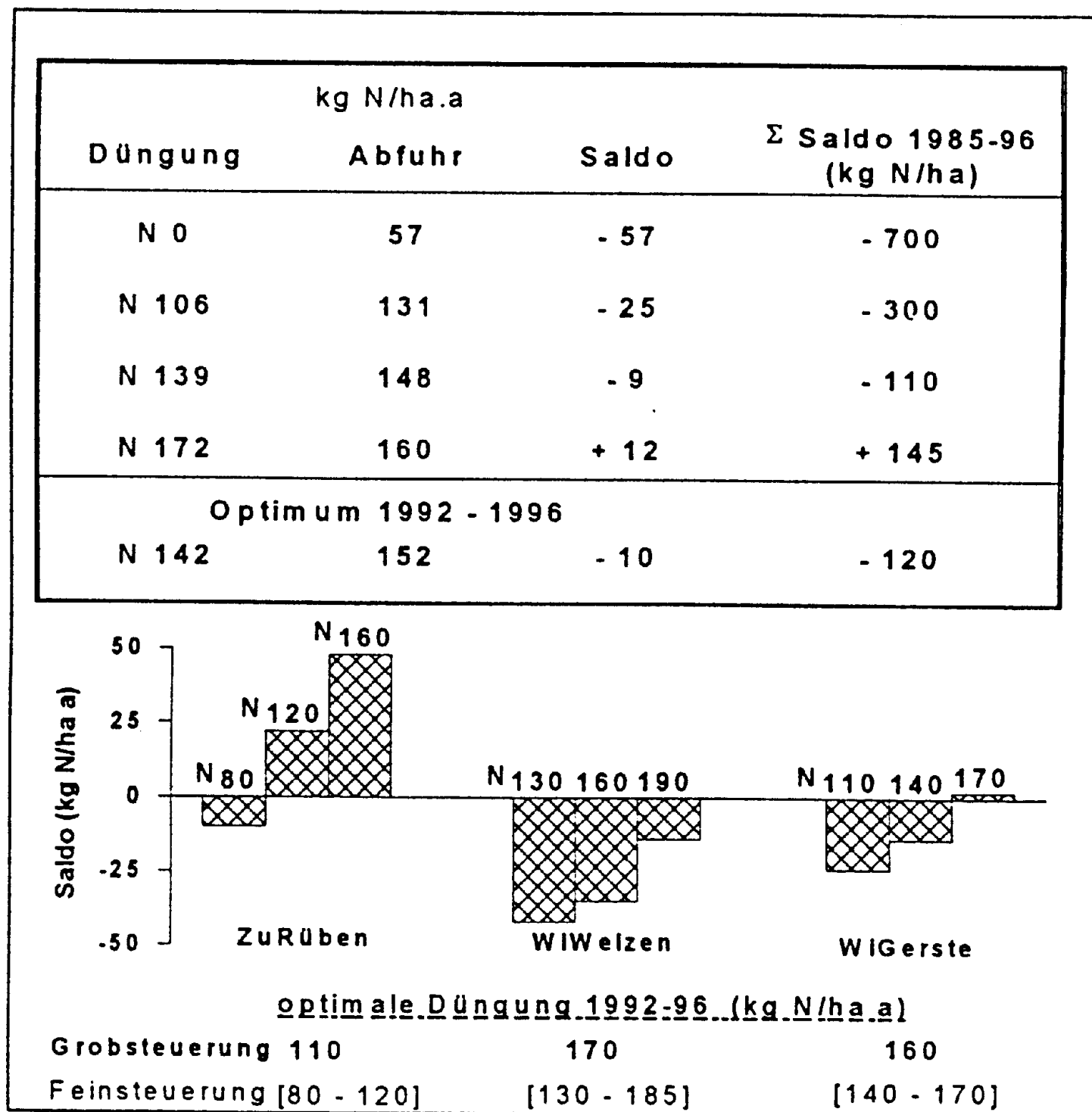


Abbildung 3: N-Steigerungsversuch Niederhummel 1985 – 1996 (Parabraunerde (Lu), AZ: 80; 780 mm Niederschlag; Fruchtfolge: ZuRüben - WiWeizen – WiGerste; Abfuhr: Rüben, Körner)

Dieser sehr günstige Saldo war möglich, weil die Fruchtfolge auch Kulturen mit langer Wachstumszeit (Zuckerrüben) enthielt, welche die N-Freisetzung aus dem Boden gut verwerten konnten. Zuckerrüben erreichten bereits mit geringer N-Düngung ausgeglichene N-Salden; Getreide benötigte hierfür deutlich höhere N-Salden (s. später). Die fruchtspezifische optimale N-Düngung betrug im Mittel 110 (ZuRüben), 170 (WiWeizen) und 160 (WiGerste) kg N/ha.a. Diese Abstufung läßt sich grob durch die N-Bilanzierung und Saldierung steuern, während für die jahresspezifische Feinsteuerung (80 – 120 bzw. 130 – 185 und 140 – 170 kg N/ha – s. Abb. 3 unten) weitere Instrumentarien (z.B. N_{min} , Düngefenster, zukünftig eventuell auch berührungsfreie spektroskopische Meßsysteme im „on line-Verfahren“, „precision farming“) notwendig sind.

In einem weiteren Versuchsjahr ohne jegliche N-Düngung (1997) wurde die Nachhaltigkeit der optimalen N-Düngung über 12 Jahre am Wachstum verschiedener Kulturen (Abb. 4) und den N-Potentialen der Böden im Inkubationsversuch und Gefäßversuch (Tab. 4) beurteilt. Die Ertragsfähigkeit blieb für Kulturen mit längerer Wachstumszeit erhalten, die N-Nettomineralisation sowie die N-Freisetzung der Krume im Gefäßversuch (\pm Düngung) unterschieden sich in den langjährigen Stufen $N_1 - N_3$ trotz Differenzen in der 12jährigen Saldosumme (-300 bis +145 kg N/ha) nur unwesentlich.

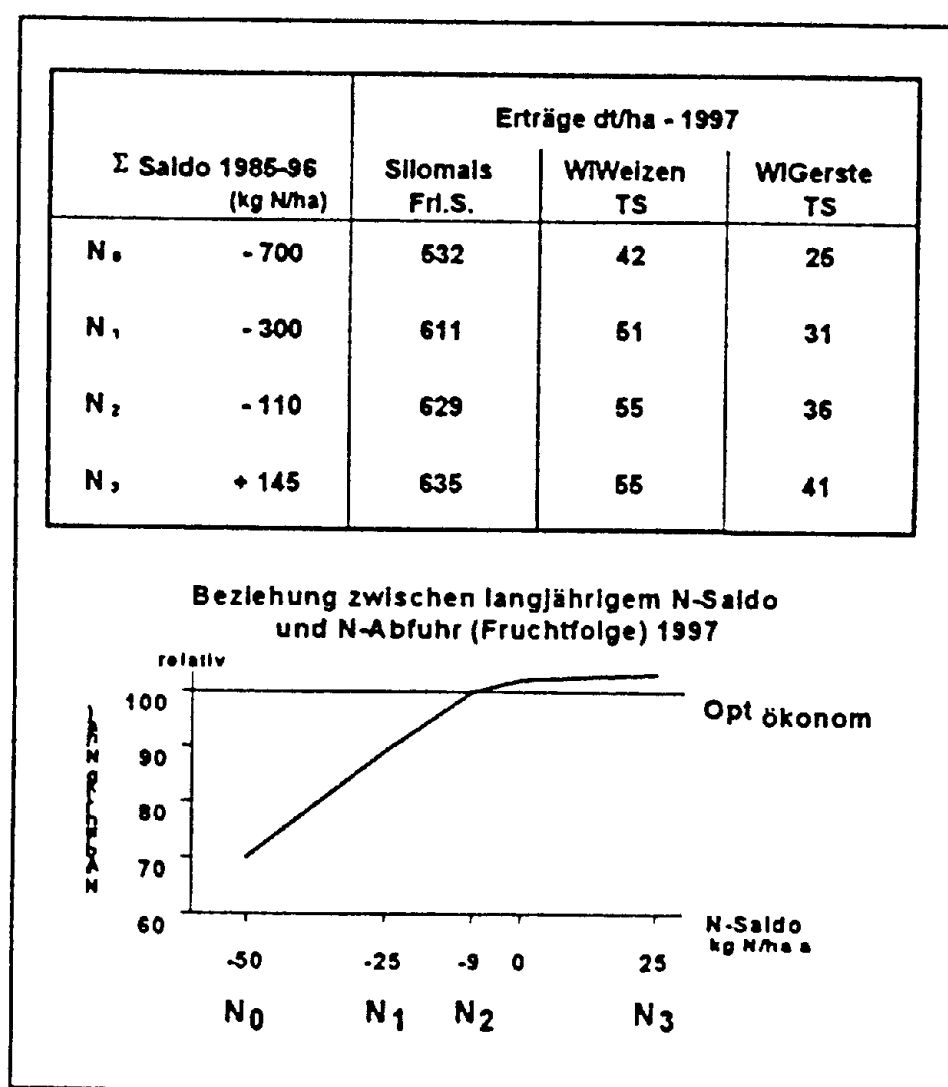


Abbildung 4: Nachhaltigkeit der N-Düngung 1985 – 1996 (Feldversuch 1997: Nachwirkung – keine mineralische N-Düngung)

Tabelle 4: Nachhaltigkeit der N-Düngung 1985 – 1996
N-Freisetzung der Krume (Probenahme Herbst 1996)

| N-Saldo 1985-1996 (kg N/ha) | aerobe Inkubation (110d) Nettomineralisation (mg N/100 g Boden) | Gefäßversuch (Hafer + Weidelgras) N-Abfuhr (mg N/100 g Boden) Düngung (mg/Gefäß) | |
|-----------------------------------|--|--|------------------|
| | | N ₀ | N ₃₀₀ |
| N ₀ - 700 | 1.9 | 4.9 | 10.1 |
| N ₁ - 300 | 3.1 | 5.1 | 10.3 |
| N ₂ - 110 | 3.5 | 5.1 | 10.7 |
| N ₃ + 145 | 3.8 | 5.1 | 10.7 |

→ Opt ökonom

Langzeitexperiment „Futterbaubetrieb“

In einem 15jährigen Lysimeterversuch auf früher ausschließlich mineralisch gedüngtem Lößboden (Lu) wurde die zeitliche Entwicklung mineralischer und organisch (Gülle)/mineralischer Düngung auf Erträge, N-Salden und N-Auswaschung mit einer Fruchtfolge ZuRüben – WiWeizen – WiGerste überprüft (Abb. 5).

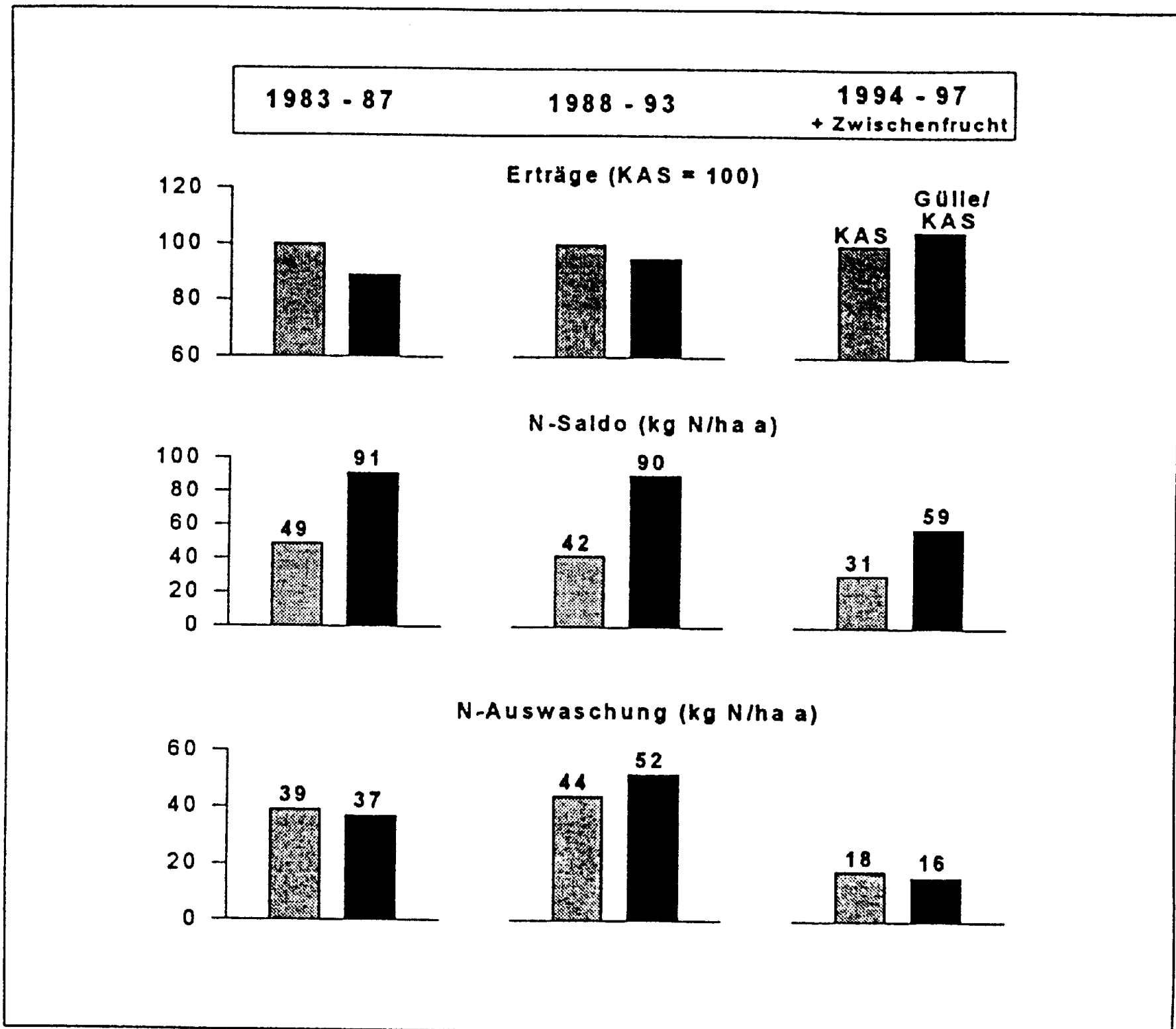


Abbildung 5: Langzeitexperiment zur Wirkung von KAS bzw. Gülle/KAS – Lysimeter 1983-1997 (Lu), Fruchtfolge: ZuRüben – WiWeizen – WiGerste, N-Düngung: KAS 165, Gülle/KAS 180 (kg N/ha)

Die Ertragsleistung der „Gülle/KAS“-Kombination nahm gegenüber „KAS“ mit der Laufzeit des Versuches deutlich zu; der hierfür notwendige N-Saldo lag mit $\bar{\varnothing}$ 90 kg/ha·a deutlich über der KAS-Variante (49 – 42 kg/ha·a) und verminderte sich durch den ab 1994 praktizierten Zwischenfruchtanbau auf 59 gegenüber 31 kg/ha·a. Die mit der stärkeren N-Anreicherung der Böden nach Güllendüngung einhergehenden höheren Verluste durch N-Auswaschung (s.a. Tab. 2) konnten zumindest für die Jahre 1994-97 durch Zwischenfrüchte einheitlich beachtlich reduziert werden.

Aus dem Experiment wird deutlich, daß für Betriebe mit Tierhaltung und folglich mit Verwertung von Wirtschaftsdüngern zur Aufrechterhaltung eines hohen Ertragsniveaus höhere N-Salden als in reinen „Marktfruchtbetrieben“ notwendig sind. Die N-Überhänge lassen sich allerdings mit zunehmender Dauer der Bewirtschaftung reduzieren (parallel zum Anstieg des N-Potentials der Düngung). Es verbleibt jedoch ein höheres Risiko für Nitratauswaschung sowie für gasförmige N-Verluste.

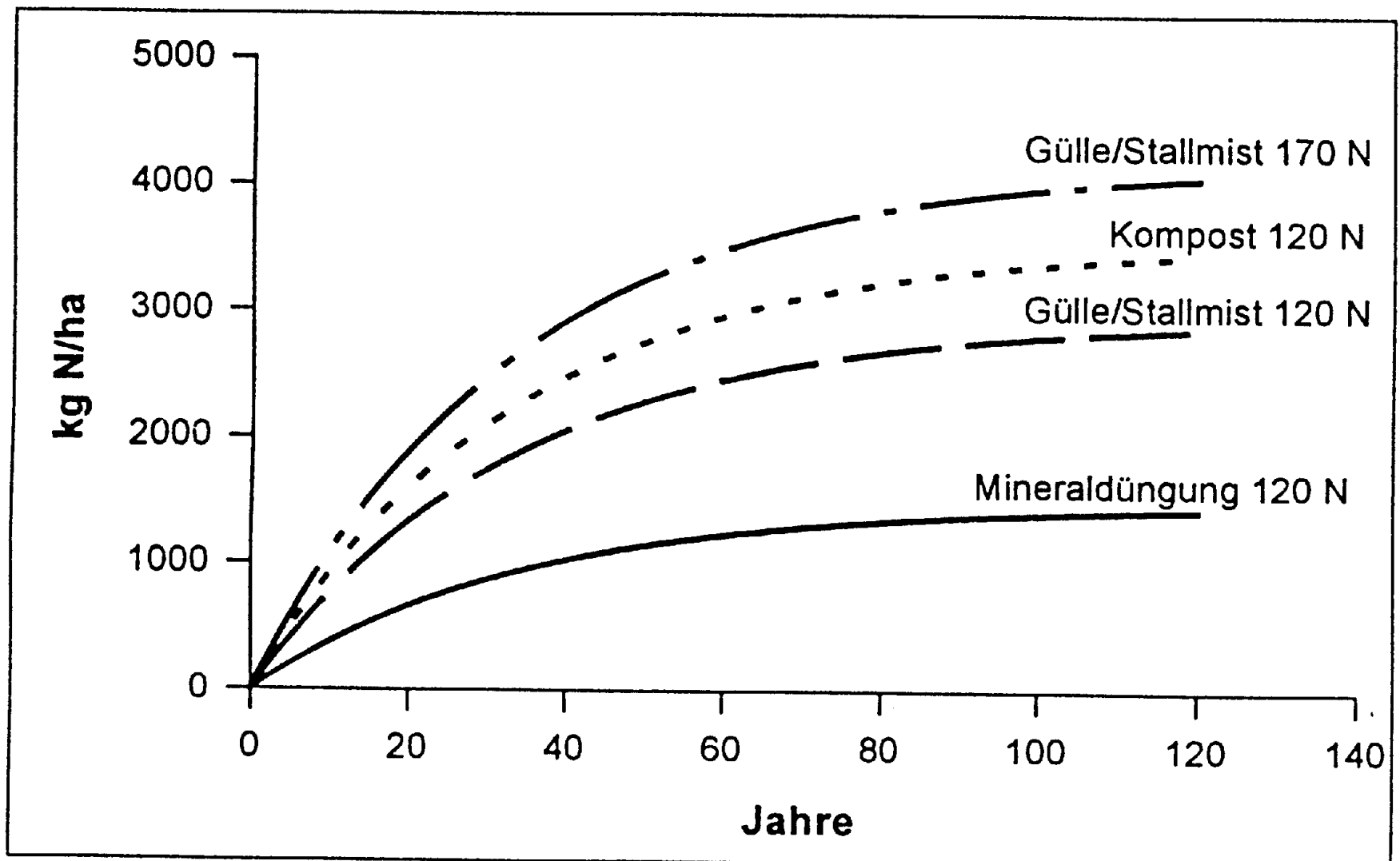


Abbildung 6: Anreicherung ungedüngter Böden durch Düngung (120 bzw. 170 kg N/ha·a) – Mineralisationsrate: 3% ab 3. Jahr; Boden: Lu

Als Ursache für die stärkere N-Anreicherung der Böden durch organische Düngung ist die geringe Verwertung des Dünger-N durch die Pflanzen im Anwendungsjahr zu nennen. Diese beträgt für Gülle/Stallmist ca. 20%, für Mineraldünger ca. 60% und für Biokomposte ca. 5%. Abbildung 6 gibt modellhaft den Verlauf der N-Anreicherung durch unterschiedliche Düngung wieder (Gutser und Claassen, 1994). Aus dem Kurvenverlauf wird ersichtlich, daß entsprechend den Ergebnissen des Lysimeterversuches (Abb. 5) mit zunehmender Dauer der Gölledüngung der N-Überschußsaldo vermindert werden kann, weil bedingt durch die Zunahme der N-Gehalte der Böden deren jährliche N-Freisetzung ansteigt.

Bezüglich der Eignung von N-Salden zur Bewertung der guten fachlichen Düngepraxis sind aus dem bisher Gesagten folgende Schlüsse zu ziehen:

- Nur auf mehrjährigen Daten basierende N-Salden sind aussagekräftig.
- Vereinfachte Bilanzierungsansätze gehen von einem konstanten N-Vorrat („steady state“) bzw. einem Humus-Fließgleichgewicht aus. N- und C-Gehalte der Böden variieren allerdings kleinräumig, jahreszeitlich, aber insbesondere längerfristig als Folge veränderter Bewirtschaftung. Für die Bewertung der N-Salden muß deshalb die N-Pufferfunktion des Bodens (Nettoimmobilisation, Nettomineralisation) berücksichtigt werden.

Richtwerte für optimale N-Salden (Ackerflächen)

Die Dünge-VO fordert in § 5 Nährstoffvergleiche bezüglich Input und Output auf Betriebs- bzw. Schlagebene. Eine Nährstoffbilanzierung macht allerdings nur Sinn, wenn die ermittelten Salden bewertet werden, wofür spezifische Richtwerte für typische Betriebsformen erforderlich werden.

Die in den Tabellen 5 und 6 abgeleiteten Richtwerte für optimale N-Salden haben folgende Annahme zur Voraussetzung:

- längerjährige optimale Bewirtschaftung – die Böden befinden sich weitestgehend in einem N-Gleichgewicht („steady state“)
- Anwendung von bestmöglichen NO_3^- - und NH_3 -konservierenden Strategien
- optimierte Fütterung

Die Richtwerte basieren zum Teil auf Versuchsergebnissen, zum Teil auf Expertenwissen. Je nach Güte des Standortes errechnen sich aus sogenannten „unvermeidbaren N-Gewinnen und –Verlusten“ Gewinn/Verlust-Salden (kg N/ha) von – 15 bis – 25 für Marktfruchtbetriebe bzw. – 65 bis – 75 für Futterbaubetriebe (Basis: 1,5 GV/ha) (Tab. 5).

Die Gunst des Standortes schlägt sich vor allem in den Verlusten durch Auswaschung nieder. Die höheren unvermeidbaren Verluste der Futterbaubetriebe sind sowohl auf NH_3 -Emission (20-25% der tierischen N-Ausscheidung) als auch auf NO_3^- -Auswaschung (höheres N-Potential der Böden) bzw. Denitrifikation und N_2O -Emission (C- und N-Potential der Böden, spezifische Düngerwirkung) zurückzuführen.

Tabelle 5: Unvermeidbare Stickstoffgewinne und -verluste nach längerjähriger optimaler Bewirtschaftung mit NO₃- und NH₃-konservierenden Strategien

| | (kg N/ha AF) | | | |
|--|---------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|
| | Marktfruchtbetriebe | | Futterbaubetriebe (1,5 GV/ha) | |
| | Standortbedingungen | | | |
| | günstig | weniger günstig | günstig | weniger günstig |
| Gewinne | | | | |
| aus Atmosphäre (incl. gasf. Einträge) | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Verluste | | | | |
| an Atmosphäre | 40 | 50 | 90 | 100 |
| NH ₃ * | 4 | 4 | 33 | 32 |
| N ₂ , | 18 | 16 | 25 | 23 |
| N ₂ O | | | | |
| (N ₂ O) | (5) | (5) | (9) | (8) |
| an Hydrosphäre | | | | |
| NO ₃ | 18 | 30 | 32 | 45 |
| Saldo (Gewinn - Verlust) | - 15 | - 25 | - 65 | - 75 |

* Ges. Verluste incl. Lagerung

Die für den Futterbaubetrieb (hier ausschließlich Ackerkulturen) gewählte Viehdichte von 1,5 GV/ha AF stellt für den Einzelbetrieb (nicht für die Region!) eine Grenze dar, bis zu der eine Verwertung der tierischen Exkremente auf betriebseigenen Flächen mit bestmöglichen Verwertungsstrategien als noch annähernd „umweltgerecht“ toleriert werden kann.

Mit den in Tabelle 5 angeführten Verlusten lassen sich die für naturnahe Ökosysteme geforderten critical loads (Bobbink und Roelofs (1995), Isermann und Isermann (1997)) nicht erfüllen (s.a. Gewinne aus Atmosphäre). Voraussetzung hierfür wäre für die BRD eine weitere Verringerung der Tierbestände.

Aus den in Tabelle 5 enthaltenen Gewinn/Verlust-Salden leiten sich für die jeweiligen Betriebssituationen optimale erzielbare Flächenbilanz-Salden von +15 bis +75 bzw. +25 bis +85 kg N/ha (incl. eines noch tolerierbaren Zuschlages von 10 kg N/ha) ab. Von einem höheren tolerierbaren Zuschlag wurde abgesehen, weil 10 kg N/ha für Hydro- und Atmosphäre bereits ein hohes Belastungspotential darstellen (10 kg N/ha erhöhen z.B. die NO₃-Konzentration des Sickerwassers (z.B. 200 mm/a) um 22 mg/l).

Tabelle 6: Erzielbare N-Salden sowie Toleranzbereich für längerjährig („steady state“) optimal bewirtschaftete landwirtschaftliche Flächen.
Flächenbilanzsalden: Düngung + (N₂-Fixierung) - Abfuhr_{Ernte} (kg N/ha AF)

| | Marktf Fruchtbetriebe | | Futterbaubetriebe (1,5 GV/ha) | |
|----------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
| | günstig | weniger günstig* | günstig | weniger günstig* |
| Richtwert | + 15 | + 25 | + 65 | + 75 |
| Toleranzbereich bis | + 25 | + 35 | + 75 | + 85 |

* Auswaschung durch N-Fracht begrenzt

Ursachen für von den Richtwerten stärker abweichende N-Salden

Neben offensichtlichen Düngungsfehlern, allgemein hohen Viehdichten ohne Flächenbindung mit überwiegender Verwertung der Wirtschaftsdünger im eigenen Betrieb sowie intensiver Bewirtschaftung auswaschungsgefährdeter Standorte sind von den Richtwerten stärker abweichende N-Salden unter Bewirtschaftungsvoraussetzungen anzutreffen, die einen steady-state-Zustand der Böden (noch) nicht gewährleisten, d.h. die Böden befinden sich in einer bewirtschaftungsbedingten An- oder Abreicherungsphase für Stickstoff und Kohlenstoff (Abb. 7).

| | | Teilbewertung | |
|---|--|----------------------------|----------------------|
| | | ökonomisch | ökologisch |
| A. hohe positive N-Salden (>> Richtwert) | | | |
| I. | allg. sehr hohe N-Zufuhr (bes. wenn zugleich negative C-Bilanz) | - | - |
| | hohe Viehdichten (fehlende Flächenbindung) | - | -(NH ₃ !) |
| II. Böden im N-Gleichgewicht („steady-state“) | | | |
| | - stark auswaschungsgefährdete Böden – hohe N-Zufuhr | (+) | - |
| | - ungünstige Fruchtfolgen (kurze/lange Vegetationszeit, „harvest-index“) | +/- | - |
| III. Böden in der N-Anreicherungsphase (positive C-Bilanz und N-Nettomineralisation) | | | |
| | - Fremdgülle, Biokompost in Marktfruchtbetrieben | + | +/- |
| | - Krumenvertiefung | (-) | - |
| B. niedrige, z.T. negative N-Salden (<< Richtwert) | | | |
| Böden in der Abreicherungsphase (negative C-Bilanz, Dauer der Nettomineralisation!) | | | |
| | - Optimierung der N-Zufuhr nach langjähriger „Überschußdüngung“ | + | + |
| | - zurückhaltende N-Zufuhr (z.B. Wasserschutzgebiete) | - | + |
| | - nach Umstellung der Bewirtschaftung wie: | | |
| | • Umbruch Grünland (Maßnahme allg. problematisch) | + | + |
| | • Abbau Viehbestände (zunehmende Bedeutung der Mineraldg.) | + | + |
| | - Ökobetriebe mit zu niedrigem Flächenanteil „Leguminosen“ | - | + |
| | | + = günstig, - = ungünstig | |

Abbildung 7: Ursachen für vom Optimum abweichende N-Salden (Beispiele)

Als Beispiele zu den in Abbildung 7 aufgeführten Ursachen wären u.a. festzuhalten:

- auswaschungsgefährdete Standorte (Abb. 8)

Der N-Saldo für das ökonomische Düngungsoptimum liegt auf auswaschungsgefährdeten Standorten trotz angepaßter Düngungsstrategie deutlich höher als auf besseren Standorten. Eine Verminderung des N-Saldos kann meist nur durch Rücknahme der Düngungsintensität auf Kosten des Ertrages erreicht werden. Die N-Zufuhr sollte sich mehr an der Höhe der ausgewaschenen N-Fracht und weniger an den Nitratgehalten des Sickerwassers orientieren.

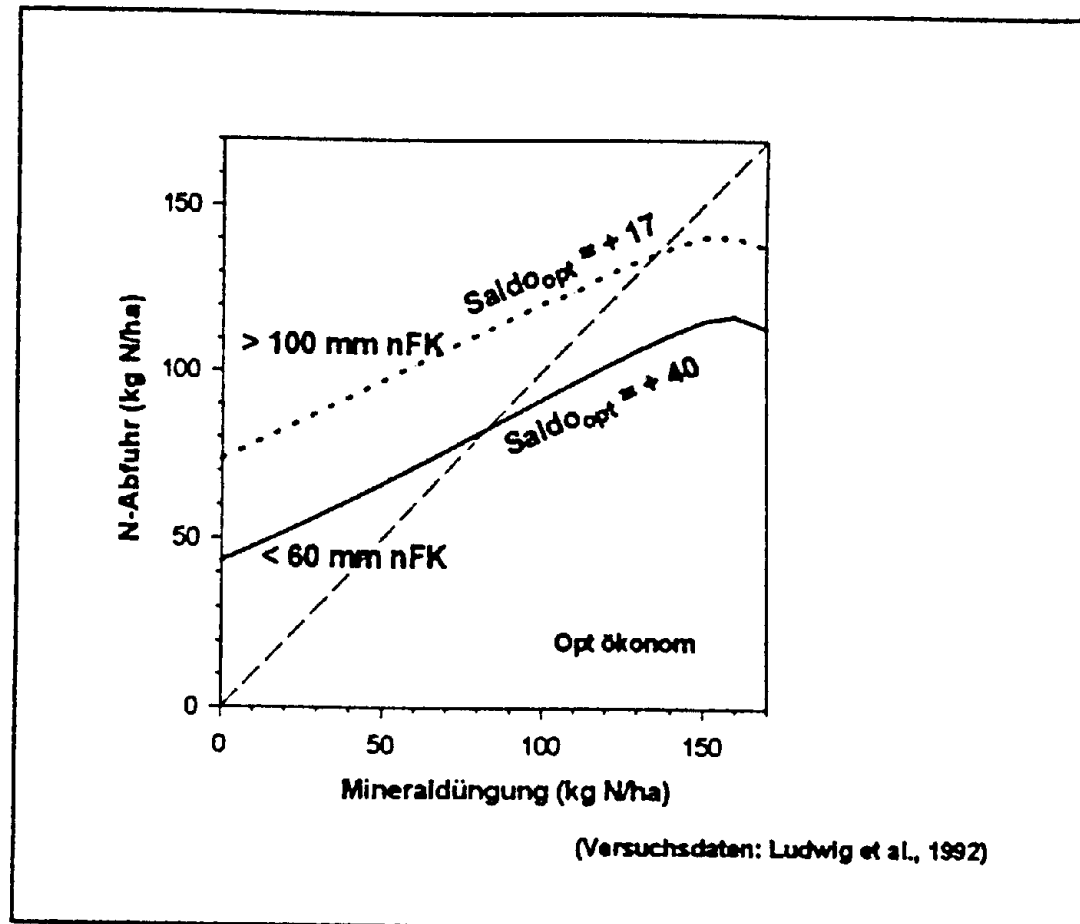


Abbildung 8: N-Salden von Winterweizen in Abhängigkeit von der nutzbaren Feldkapazität

- ungünstige Fruchtfolgen (Abb. 9)

Die Art der angebauten Kulturen beeinflusst erheblich die Höhe des erzielbaren N-Saldos. Kulturen mit kurzer Nachwinter-Vegetationszeit (wie Raps) sind nur wenig in der Lage, Bodenstickstoff zu verwerten. Zudem führt ein ungünstiger „harvest index“ trotz optimaler Düngung zu einem hohen positiven N-Saldo. Die Getreidearten erreichen insgesamt ausgeglichene N-Salden. Kulturen mit längerer Vegetationszeit wie Rüben und Silomais (auch Kartoffeln) verwerten den aus dem Boden freigesetzten Stickstoff besonders gut und lassen sich mit relativ niedriger N-Düngung und folglich negativen N-Salden optimal ernähren.

- Böden in der Anreicherungsphase für Humus und Stickstoff (Tab. 7, Abb. 10)

Verwertung von Fremdgülle und Biokompost in Marktfruchtbetrieben erfordert zumindest in den ersten 10 – 20 Jahren (s. Abb. 6 → Dauer der Gleichgewichtseinstellung!) für die Aufrechterhaltung des Ertragsniveaus deutlich positive N-Salden (Tab. 7). Die Höhe des positiven N-Saldos ist abhängig von der Verwertbarkeit des über die organischen Dünger zugeführten Stickstoffs im Jahr der Anwendung.

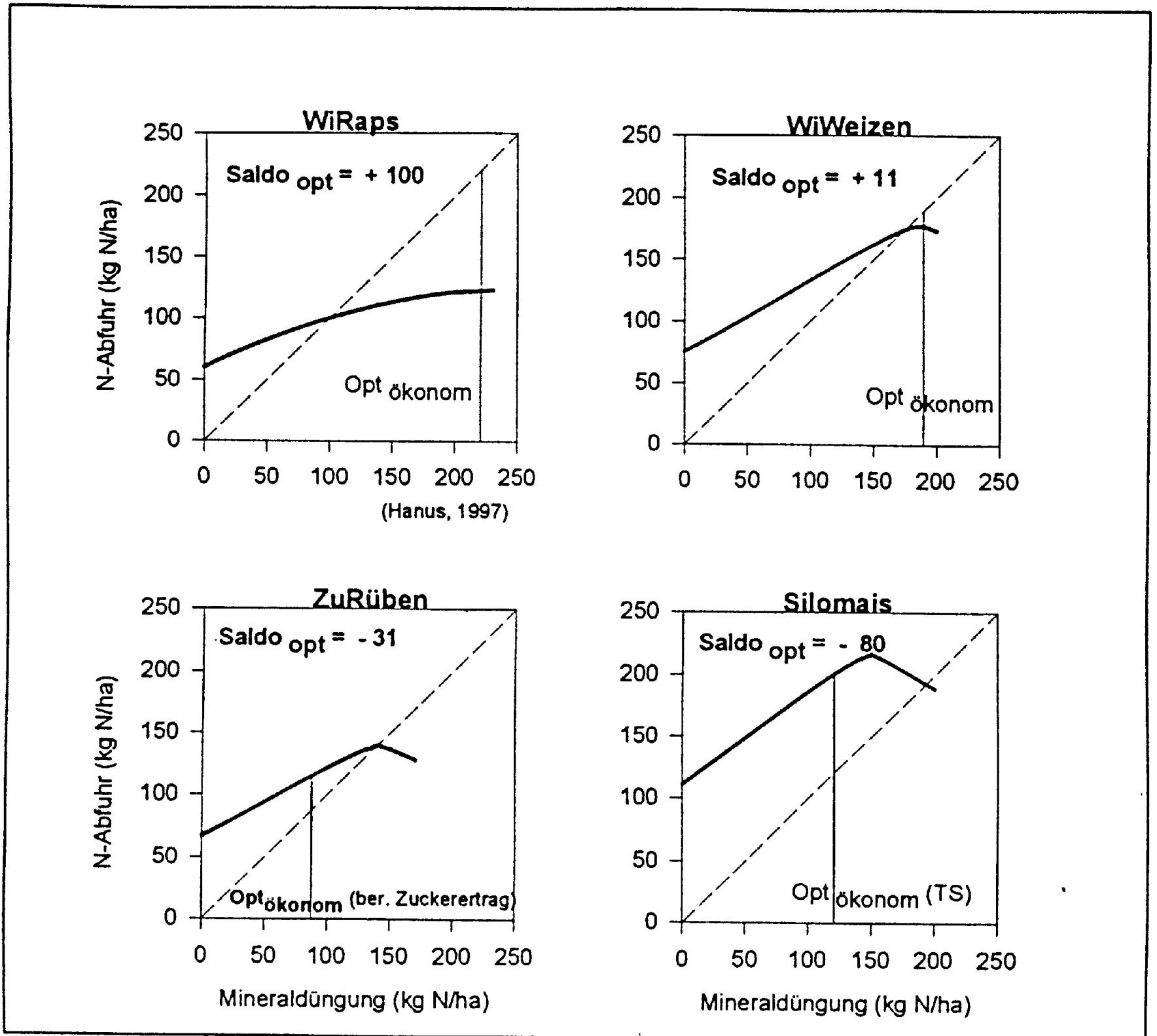


Abbildung 9: N-Salden verschiedener Früchte auf tiefgründigen Braunerden
Saldo = Düngung – Abfuhr (Körner, Rüben, Maissproß)

Tabelle 7: N-Salden (Düngung - Abfuhr) nach organischer Düngung bei gleichen Erträgen wie Mineraldüngung (kg N/ha·a)

| organischer Dünger | Versuchsdauer (a) | Saldo | Saldo Mineraldün- gung |
|--------------------|----------------------|-------|---------------------------|
| Stallmist* | 24 | + 45 | + 9 |
| Gülle | 9 | + 71 | + 24 |
| Kompost | 20 | + 100 | + 6 |

* (Asmus, 1992)

Abbildung 10 enthält sowohl den zeitlichen Verlauf des Anpassungsvorganges auf einen neuen Gleichgewichtszustand der Böden, ausgelöst durch verschiedene Bewirtschaftungseingriffe, als auch die Auswirkung auf die ebenfalls zeitabhängige Veränderung des für Optimalbedingungen notwendigen N-Saldos.

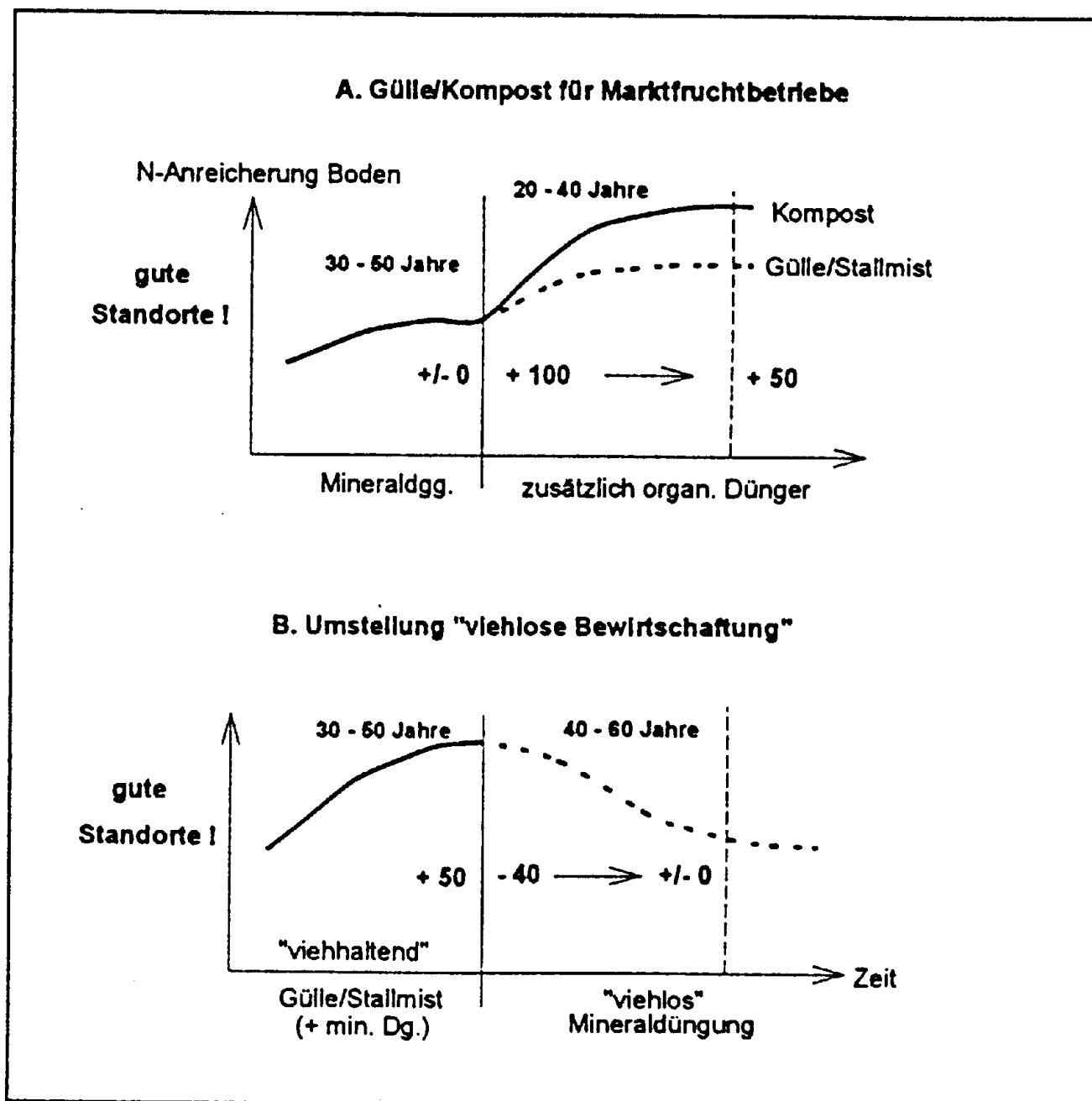


Abbildung 10: Richtwerte für optimale N-Salden (Düngung - Abfuhr; kg N/ha·a) in Abhängigkeit von bewirtschaftungsbedingten Gleichgewichtszuständen des N-Potentials der Böden (\pm steady state) - Beispiele

- **Betriebe in Umstellung auf viehlose Bewirtschaftung oder stark reduzierte Tierhaltung** können längerjährig als Folge einer deutlichen N-Nettomineralisation der Böden mit negativen N-Salden optimale Ergebnisse erzielen (Abb. 10).

Schlußfolgerungen und Zusammenfassung

Der Nährstoffvergleich, d.h. die Bilanzierung und Saldierung von Nährstoffinput und -output in landwirtschaftlichen Betrieben, auf Einzelschlägen etc., wie ihn die Dünge-VO fordert, ermöglicht dem Landwirt unzweifelhaft sowohl eine Beurteilung der Effizienz der Düngung bezüglich deren Ertragsleistung als auch eine Abschätzung des durch die Düngung bestimmten Verlustpotentials im Hinblick auf eine mögliche Eutrophierung der Hydrosphäre und Atmosphäre. Voraussetzung hierfür ist allerdings, daß für die Beurteilung der N-Salden betriebspezifische Richtwerte für optimal geführte Betriebsformen geschaffen werden, an Hand derer der Landwirt selbst eine Bewertung seiner Düngepraxis vornehmen und im Bedarfsfall fachliche Beratung anfordern kann (muß?). Dieser Gedanke wurde auch während der Beratungen zur Dünge-VO vom Umweltausschuß vorgebracht („bei hohen N-Salden muß eine Beratung in Anspruch genommen werden“), aber in der endgültigen Fassung nicht berücksichtigt. Für die Richtwertfindung ist festzuhalten, daß eine standortbezogene optimale Düngung gewisse Beeinträchtigungen anderer Umweltbereiche nicht ausschließen kann – die Düngeintensität kann sich nicht ausschließlich auf die Minimierung von Umweltbeeinträchtigungen ausrichten; es sei denn, dies wird von der Öffentlichkeit gefordert und dem Landwirt auch entsprechend honoriert.

Die in dieser Arbeit vorgeschlagenen Richtwerte für optimale N-Salden zwischen +25 kg N/ha (Marktfruchtbetrieb, günstiger Standort) und + 85 kg N/ha (Futterbaubetrieb, ca. 1,5 GV/ha, ungünstiger Standort) stellen einen tragfähigen Kompromiß zwischen Ökonomie und Ökologie dar. Unbestritten ist allerdings auch, daß diese Richtwerte laufend an den Kenntnissen über abgesicherte Umweltstandards („critical loads“) neu auszurichten sind.

Die vorgeschlagenen Richtwerte gelten streng genommen nur unter der Voraussetzung einer längerjährigen einheitlichen Bewirtschaftungsintensität, so daß sich der Boden auf ein Fließgleichgewicht bezüglich Humus und Stickstoff einstellen konnte. Auswirkungen veränderter Bewirtschaftungsbedingungen auf die Höhe optimaler N-Salden wurden aufgezeigt. Zukünftig müssen Wechselwirkungen zwischen der notwendigen Höhe optimaler N-Salden mit bewirtschaftungsbedingten Veränderungen des N- und C-Potentials der Böden verstärkte Berücksichtigung finden:

$$\text{N-Saldo } (\pm) \times \text{C-Saldo } (\pm)$$

Die Kenntnis der C-Bilanz und des zeitlichen Abstandes nach Umstellungsmaßnahmen ist für die Bewertung betriebsspezifischer N-Salden unumgänglich. Mittlerweile gibt es u.a. bereits gute Ansätze für die Ermittlung dieses zusätzlichen Parameters, z.B. in einem Modell REPRO (Hülsbergen und Diepenbrock, 1997), aufbauend auf der Humusbilanzierung nach Leithold et al. (1997) bzw. den Arbeiten Eckert und Breitschuh (1994) zu „kritischen Umweltbelastungen Landwirtschaft (KUL)“.

Grundsätzlich ist festzuhalten, daß sich nur über mehrere Jahre (3 – 5) gemittelte N-Salden, nicht „Einjahressalden“ (!), als Kriterium für die Beurteilung von Effizienz und Nachhaltigkeit der Düngung im landwirtschaftlichen Betrieb eignen.

Literatur

- Asmus, F. (1992): Anwendung von Stallmist im Pflanzenbau. KTBL-Arbeitspapier 182 zur „Umweltverträglichen Verwertung von Festmist“. 32-44
- Bouwer, W. (1995): Wasser- und Stickstoffumsatz im Boden- und Grundwasserbereich eines Wassereinzugsgebietes in Niedersachsen. Boden und Landschaft, Band 6, Gießen
- Bobbink und Roelfs (1995): zit. in Isermann und Isermann, 1997
- Dünge-VO (1996): Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung). Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 6, 118-121
- Eckert, H. und Breitschuh, G. (1994): Kritische Umweltbelastungen Landwirtschaft (KUL) – Eine Methode zur Analyse und Beratung der ökologischen Situation von Landwirtschaftsbetrieben. Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, 38, 149-163
- Gutser, R. und Claassen, N. (1994): Langzeitversuche zum N-Umsatz von Wirtschaftsdüngern und kommunalen Komposten. Mitteilung Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft 73, 47-50
- Hanus, H.; Sieling, K.; Teebken, T. und Günther-Borstel, O. (1997): Ertragsleistungen und NO₃-Belastung des Sickerwassers in unterschiedlich intensiven Produktionssystemen. Mitteilung Gesellschaft Pflanzenbauwissenschaften 10, 1-5
- Herold, L.; Kerschberger, M. und Höpfer E. (1996): Beziehungen zwischen N-Bilanz und N_{min}-Gehalt des Bodens im Herbst. VDLUFA-Schriftenreihe 44, Kongreßband, 587-590

- Hülsbergen, K.-J. und Diepenbrock, W. (1997): Das Modell REPRO zur Analyse und Bewertung von Stoff- und Energieflüssen in Landwirtschaftsbetrieben. Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Wittenberg, Juli 1996. Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Initiativen zum Umweltschutz 5, 159-183
- Isermann, K. und Isermann, R. (1997): Tolerierbare Nährstoffsalden der Landwirtschaft, ausgerichtet an den kritischen Eintragsraten und –konzentrationen der naturnahen Ökosysteme. Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Wittenberg, Juli 1996. Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Initiativen zum Umweltschutz 5, 127-158
- Kilian, A.; Gutser, R. und Claassen, N. (1997): Erhöhte N₂O-Emissionen durch Kohlenstoffanreicherung von Ackerböden infolge organischer Düngung. 4.Wiss. Tagung Ökologischer Landbau, Bonn, 70-76
- Leithold, G.; Hülsbergen, K.-J.; Michel, D. und Schönmeier, H. (1997): Humusbilanzierung – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Wittenberg, Juli 1996. Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Initiativen zum Umweltschutz 5, 43-54
- Ludwig, A.; Maidl, F.-X. und Fischbeck G. (1992): Bedeutung der Stickstoffmenge und Ausbringungszeitpunkt für die N-Verwertung von Winterweizen bei unterschiedlicher nFK. VDLUFA-Schriftenreihe 35, Kongreßband, 270-273
- Nieberg, H.; Isermeyer, F. und Frhr. v. Münchhausen (1994): Möglichkeiten und Grenzen der Verwendung von Agrar-Umwelt-Indikatoren in agrarökonomischen Analysen und in der Agrarpolitik. Arbeitsbericht 6/94 des Institutes für Betriebswirtschaft der FAL

Danksagung:

Besonderer Dank gebührt Frau Dipl.-Ing. agr. Sabine Bous für Ihre Mithilfe in der Ausarbeitung sowie sorgfältigen redaktionellen Bearbeitung (EDV) dieses Vortrages.