



Gewässerschonende Landwirtschaft vor dem Hintergrund der Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie

**Informationsbroschüre anlässlich der Wasserschutztage
in Liebenau & Hohenzethen
für Auszubildende und Fachschüler
im Rahmen des Projektes WAgriCo**

Inhaltsverzeichnis

1. Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie und das Projekt WAgriCo	4
2. Stickstoffhaushalt des Bodens	7
2.1 Stickstoffeinträge	7
2.2 Stickstoffumwandlungen	8
2.3 Stickstoffausträge	9
3. Nitratauswaschung – Ursachen und Gegenmaßnahmen	11
3.1 Ursachen für Nitratauswaschung aus Böden	11
3.2 Maßnahmen zur Verringerung der Nitratauswaschung	19
4. Versuche der Landwirtschaftskammer zur grundwasserschonenden Landbewirtschaftung	25
5. Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von Gewässerbelastungen im Pflanzenschutz	32
6. Notizen	34
7. Projektpartner WAgriCo	35
8. Quellen und weiterführende Literatur	35



Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1: Projektgebiet Ilmenau/ Jeetzel.....	6
Abbildung 2: Stickstoffhaushalt des Bodens.....	7
Abbildung 3: Umwandlung von organischen Stickstoffverbindungen	8
Abbildung 4: Nitratauswaschung bei unterschiedlicher Wirtschaftsweise.....	11
Abbildung 5: Veränderung des Nitratgehaltes im Boden im Verlauf der Vegetationsperiode.....	12
Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung der N_{min} -Werte im Frühjahr und im Herbst auf ackerbaulich genutzten Flächen (Nitratraster Niedersachsen 1985 - 1988)	12
Abbildung 7: Kornerträge von Winterweizen und N_{min} -Gehalte (0 - 90 cm) zur Ernte bei unterschiedlichem N-Angebot	13
Abbildung 8: N_{min} -Gehalt in Bodenprofilen im Herbst (kg N_{min} /ha, 0 - 100 cm Bodentiefe) und N-Auswaschung (kg NO_3 -N/ ha) bei unterschiedlicher N_{min} -Verteilung im Herbst.....	15
Abbildung 9: Veränderung der N_{min} -Gehalte in Bodenprofilen von Lößlehm und Sand über Winter (kg N_{min} / ha; 0 - 100 cm Bodentiefe)	16
Abbildung 10: Niederschlag und Sickerwassermenge im Verlauf von 13 Jahren (JUNG 1972).....	17
Abbildung 11: Nitratkonzentration im Sickerwasser zu verschiedenen Jahreszeiten (STREBEL und RENGER 1978).....	18
Abbildung 12: Wirkung von Nitrifikationshemmern	21
Abbildung 13: Veränderung des Mineralstickstoffgehaltes von Dezember bis Februar mit und ohne Zwischenfrucht (KUHLMANN, 1989)	22
Tabelle 1: Mittlere N-Entzüge verschiedener Fruchtarten.....	9
Tabelle 2: Einfluss von N-Angebot auf Ertrag und N_{min} -Rest im Boden zum Erntetermin bei Spinat	13
Tabelle 3: Anhaltswerte für die Durchwurzelungstiefe verschiedener Pflanzenarten bei tiefgründigen Böden.....	14
Tabelle 4: Wassergehalt bei Feldkapazität in verschiedenen Böden, mm je 1m Bodentiefe	16
Tabelle 5: Nitratkonzentration im Sickerwasser bei unterschiedlicher Nitratauswaschung und Sickerwassermenge	18
Tabelle 6: Kenngrößen der Stickstoffversorgung von Kulturpflanzen	19
Tabelle 7: Stickstoffbedarf und -entzug bei einigen Kulturen.....	23
Tabelle 8: Einfluss von Wirtschaftsweise, Bestands- und Standorteigenschaften auf die Nitratauswaschung	24
Tabelle 9: Berechnungsbeispiel Hohenzethen	29

1. Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie und das Projekt WAgriCo

Ausreichendes und sauberes Wasser ist nicht selbstverständlich.

„Derzeit leiden auf der Welt etwa 840 Mio. Menschen an Unterernährung oder Mangel an sicheren Lebensmitteln. Nach groben Schätzungen könnten es im Jahre 2025 sogar zwei Milliarden Menschen oder noch mehr sein. Die großen Risiken liegen dabei in einer Mangelversorgung von sauberem Wasser zur Herstellung von Lebensmitteln.“

(Quelle: Ernährung der Industriestaaten beutet Wasserreserven extrem aus, Internet)

Wasser ist nicht nur aus globaler Sicht begrenzt verfügbar.

„Exzessiver Wasserverbrauch ist auch ein europäisches Problem. In vielen europäischen Staaten wird Wasser oftmals so behandelt, als wäre es eine unendlich vorhandene Ressource, die sauber, zu jeder Zeit und in jeglicher Menge vorhanden ist.“

(Quelle: Wasserreserven Europas unter Druck, Internet)

„20% des gesamten Oberflächenwassers in der Europäischen Union sind schwer schadstoffbelastet.

60% der europäischen Städte übernutzen ihre Grundwasservorräte.

50% der Feuchtgebiete sind auf Grund der Übernutzung des Grundwassers gefährdet.“

(Quelle: Die Wasserrahmenrichtlinie: Tauchen Sie ein!, Europäische Kommission)

Übernutzung und Verschmutzung der Wasserreserven könnten dazu führen, dass Wasser auch in Europa für die nächsten Generationen knapp wird. Um solch ein „Horrorszenario“ auszuschließen, hat die Europäische Kommission im Dezember 2000 die so genannte **Wasserrahmenrichtlinie** als Gesetz erlassen.

Damit ist jeder Mitgliedsstaat der EU verpflichtet, bis 2015 dafür Sorge zu tragen, dass seine Gewässer, also Flüsse, Seen und das Grundwasser, einen so genannten guten Zustand erreichen.

Es ist absehbar, dass die Ziele der EU nach den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie bis 2015 nicht sofort überall erfüllt werden können. Im Grundwasser dürfen maximal 50 mg NO₃/l und 0,1 Mycrogramm Pflanzenschutzmittel/l enthalten sein. Auch die Belastung der Flüsse und Seen mit Nährstoffen sollte so gering wie möglich gehalten werden. Pflanzenschutzmittel haben in Flüssen und Seen generell nichts zu suchen!

In einem ersten Schritt, der so genannten Bestandsaufnahme, war seit dem Jahr 2000 festzustellen, inwieweit unsere Gewässer bereits heute den Vorgaben der EU entsprechen. Erreichen einzelne Flüsse, Seen oder Grundwasserkörper die oben genannten Zielkriterien nicht, so sind ab dem Jahr 2009 Maßnahmen umzusetzen, die einer schrittweisen Verbesserung der Wasserqualität dienen.

Die erste Analyse der Gewässer in Deutschland zeigte, dass bereits viel getan wurde. Kläranlagen entsprechen heute dem modernsten Stand, Industrieabwässer

werden gereinigt und auch die Landwirtschaft leistet mit der Umsetzung der Düngeverordnung und der bestehenden Vorschriften zum Pflanzenschutz ihren Beitrag zur Vermeidung von Gewässerbelastungen.

Die Bestandsaufnahme zeigte jedoch auch, dass wir weiterhin etwas für unsere Gewässer tun müssen, damit der angestrebte gute Zustand erreicht und gehalten werden kann. Dies gilt besonders, da teilweise sowohl im Grundwasser als auch in Flüssen und Seen immer noch höhere Mengen an Nitrat und leider auch Pflanzenschutzmitteln gemessen werden.

Im Folgenden wird analysiert, wo die Ursachen für die Gewässerbelastung liegen und wie dem entgegengewirkt werden kann.

Als größter Flächennutzer und Anwender von Düngern und Pflanzenschutzmitteln muss dafür auch die Landwirtschaft ihren Beitrag leisten. Dabei kommt es darauf an, die bestehenden gesetzlichen Regelungen konsequent umzusetzen und die Düngungs- und Pflanzenschutzmittelpraxis im Sinne des Gewässerschutzes zu optimieren!

Doch ist absehbar, dass dies allein in manchen Gebieten nicht ausreicht, um die Anforderungen an die Gewässer zu erfüllen. Hier sind weitergehende Maßnahmen notwendig, die bei den landwirtschaftlichen Betrieben auch zusätzliche Kosten verursachen werden, die es auszugleichen gilt.

Bis 2009 sollen für Niedersachsen, da wo es notwendig ist, weitergehende Maßnahmen benannt werden. Diese sollen dann von den landwirtschaftlichen Betrieben umgesetzt werden, um den angestrebten Gewässerzustand zu erreichen. Welche Maßnahmen das sein können, soll mit dem Projekt **WAgriCo** ermittelt werden. Damit für die Maßnahmen ab 2009 auch Fördergelder zur Verfügung stehen arbeitet das Projekt WAgriCo den eigentlichen Umsetzungsschritten nach Wasserrahmenrichtlinie zeitlich voraus.

WAgriCo wird von der EU gefördert und von Oktober 2005 bis September 2008 in Pilotgebieten in Niedersachsen und in England umgesetzt. Das Kürzel WAgriCo steht für **Wasserressourcenmanagement in Kooperation mit der Landwirtschaft**. Deutscher Projektträger ist der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK) ist als nationaler Projektpartner neben dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) und dem Forschungszentrum Jülich maßgeblich an der Umsetzung von WAgriCo in den niedersächsischen Pilotgebieten beteiligt.

Ein Ziel von WAgriCo ist es, beispielhaft in den drei niedersächsischen Gebieten (Region Vechta/ Cloppenburg; Region Nienburg/ Sulingen/ Diepholz und Region Uelzen) gemeinsam mit landwirtschaftlichen Betrieben Maßnahmen zum Wasserschutz zu entwickeln und umzusetzen. Sowohl der Erfolg für den Wasserschutz als auch der erforderliche betriebliche Aufwand ist dabei darzustellen. Dafür sollen die guten Erfahrungen aus der Kooperationsarbeit in Wasserschutzgebieten genutzt werden.

In den Wasserschutzgebieten, die der Trinkwassergewinnung dienen, arbeiten die Landwirte bereits heute erfolgreich mit den Wasserversorgern zusammen, um eine geringe Belastung des Wassers und damit eine gute Trinkwasserqualität zu gewährleisten.

2. Stickstoffhaushalt des Bodens

Ähnlich wie bei der Wirkung auf Pflanzenwachstum und Produktqualität, unterscheidet sich Stickstoff auch im Boden grundlegend von anderen Nährstoffen: Kein anderer Nährstoff ist so schnell und in so großem Umfang Veränderungen unterworfen. Der Stickstoffhaushalt des Bodens wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Die bedeutendsten Größen dabei stellen die *Stickstoffzufuhr durch Düngung* und die *Stickstoffaufnahme der Pflanzen* dar. Im Einzelnen spielen sich folgende Vorgänge ab:

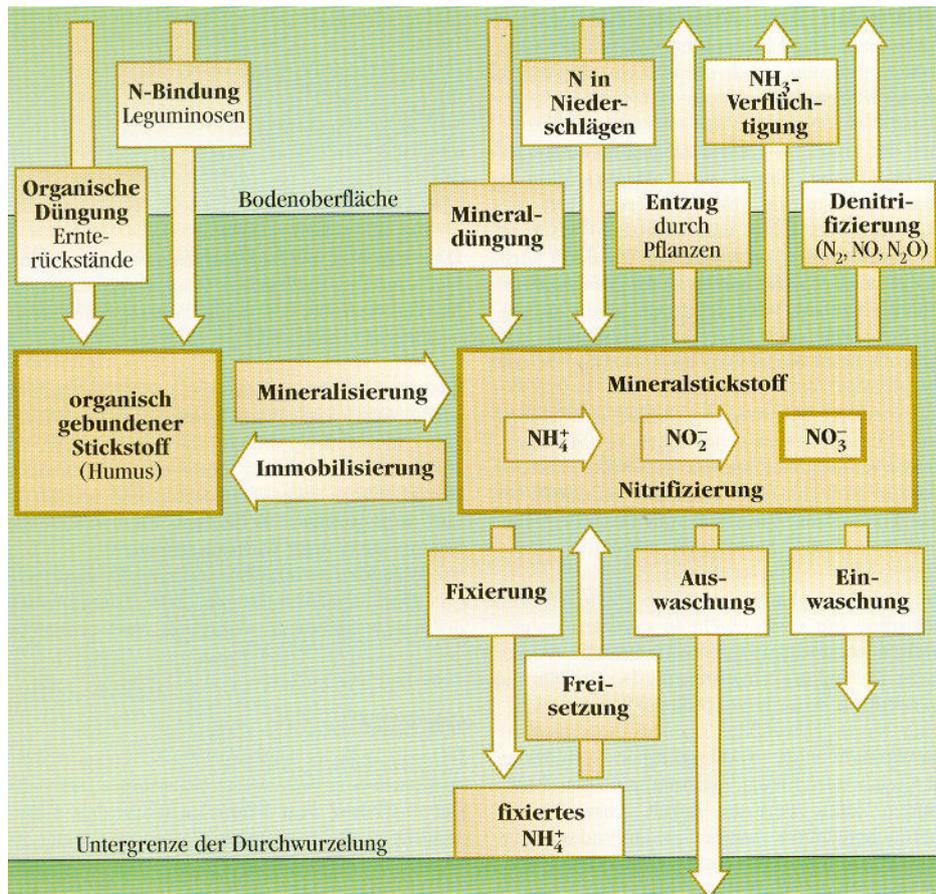


Abbildung 2: Stickstoffhaushalt des Bodens

2.1 Stickstoffeinträge

a) Mikrobielle N-Bindung:

Bindung des Luftstickstoffs durch *Knöllchenbakterien* (Rhizobien) der Leguminosen oder durch *freilebende Mikroorganismen* (Azotobacter).

b) Atmosphärische N-Einträge:

Atmosphärische N-Einträge aus verschiedenen *Emissionsquellen* (z. B. Ammoniak aus Tierhaltungen oder bei der Gülleausbringung usw.) gelangen mit den Niederschlägen, als Staubpartikeln oder gasförmig auf die Erdoberfläche.

c) Zufuhr durch organische und mineralische Düngung:

Die Höhe der Stickstoffdüngergabe hängt in entscheidendem Maße ab vom pflanzenverfügbaren Stickstoffangebot des Bodens (N_{min}), der *Stickstoffnachlieferung* während der Vegetation und dem *Stickstoffbedarf* der verschiedenen Pflanzenarten.

2.2 Stickstoffumwandlungen

a) Mineralisation org. gebundenen Stickstoffs mit anschließender Nitrifikation im Boden:

Der weitaus überwiegende Teil des Stickstoffs liegt im Boden in organischen Bindungen in Größenordnungen von 3.000 bis 14.000 kg/ha oder als fixiertes Ammonium vor. Als N-Mineralisation wird die Umwandlung von organischen N-Verbindungen in Mineralstickstoff durch Mikroorganismen bezeichnet. Bei der Nitrifizierung überführen Bakterien Ammoniumstickstoff in Nitratstickstoff.

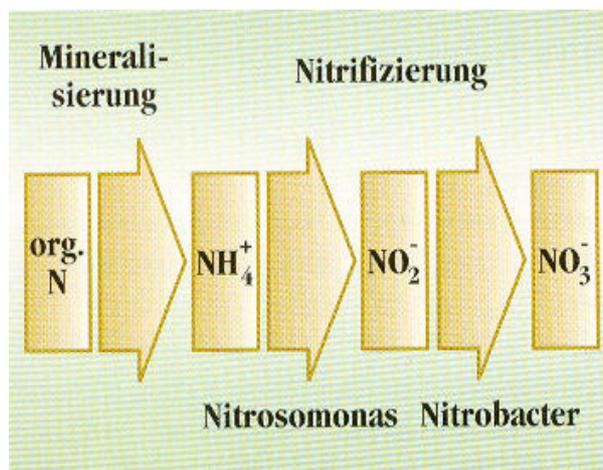


Abbildung 3: Umwandlung von organischen Stickstoffverbindungen

OrgN ⇒ Mineralisierung ⇒ NH₄ ⇒ Nitrifizierung ⇒ NO₃

Diese Prozesse werden begünstigt durch:

- *Leicht zersetzbare, stickstoffreiche organische Substanz, d. h. günstige Lebensbedingungen für Bodenorganismen*
- *Hohe Bodentemperatur und -feuchte*
- *Gute Durchlüftung des Bodens*
- *Hohen Nährstoffgehalt des Bodens*
- *Schwachsaure bis schwach alkalische Bodenreaktion*

Besonders *hohe Mineralisationsraten* sind nach Einarbeitung von *leicht zersetzbaren Ernterückständen* (Rübenblatt, Leguminosen) und bei langjährig *starker Zufuhr von Wirtschaftsdüngern* (mehr als 1,5 GV/ha) zu erwarten.

b) Immobilisierung:

Die Immobilisierung ist der entgegengesetzte Prozess, bei dem mineralischer Stickstoff *in organische Bindung überführt* und *vorübergehend festgelegt* wird. Dieser Prozess wird begünstigt durch große Mengen *leicht zersetzbarer, stickstoffreicher, organischer Substanz* sowie durch *günstige Lebensbedingungen für die Mikroorganismen*. Bekanntes Beispiel: Wird Getreidestroh in den Boden eingearbeitet, bedienen sich die Mikroorganismen des mineralischen Bodenstickstoffs zum *Aufbau von körpereigenem Eiweiß*, um dann das Stroh zu zersetzen. Erst nach ihrem Absterben wird dieser Stickstoff wieder zu mineralischem Stickstoff umgewandelt. Es handelt sich hierbei also nur um eine vorübergehende Festlegung des Stickstoffs.

c) Ammoniumfixierung:

Auf *tonhaltigen Böden* kann die Ammoniumfixierung Bedeutung erlangen, wenn die K-Gehalte im Boden stark absinken (*unter 3 mg K/100 ml Boden nach der CaCl₂-Methode bzw. unter 4 mg K/100 g Boden nach der CAL-Methode*). Anstelle des Kaliums wird dann unter Umständen Ammonium *in die Zwischenschichten der Tonminerale eingebaut* und damit für die Pflanzen vorübergehend *unerreichbar*.

2.3 Stickstoffausträge

a) Pflanzenentzug:

Tabelle 1: Mittlere N-Entzüge verschiedener Fruchtarten

	Ertrag (dt/ha)	Entzug (kg N/ha)	
		Ernteprodukte (Korn/Rübe/Knolle)	Ernterückstände (Stroh,Blatt,Kraut)
Weizen (13 % RP)	80	155	35
Gerste (12 % RP)	70	115	35
Roggen (11 % RP)	60	90	35
Hafer (12 % RP)	60	100	35
Zuckerrüben	500	100	140
Raps (40 % TM)	40	150	50
Kartoffeln	400	100	65
CCM-Mais	120	140	40
Silomais	500	180	-
Erbsen	40	220	40
Ackerbohnen	40	200	60

Der Pflanzenentzug ist abhängig von *Pflanzenart, Ertrag* und *Stickstoffangebot des Bodens* (siehe Tabelle N-Entzüge). *Brutto-Entzug* ist die Menge eines Nährstoffs, die im oberirdischen Aufwuchs und in unterirdischen Ernteprodukten zum Zeitpunkt der Ernte enthalten ist. *Netto-Entzug* ist die Menge, die mit den Ernteprodukten (Körner, Zuckerrüben, Kartoffelknollen, unter Umständen auch Stroh und Rübenblatt) tatsächlich vom Feld abgefahren wird.

b) Denitrifizierung:

Die **Denitrifizierung** ist die Umwandlung von *Nitratstickstoff in gasförmige N-Verbindungen* (N_2 , N_2O , NO), die ungenutzt aus dem Boden in die Atmosphäre entweichen.

Sie wird begünstigt durch:

- *Hohen Nitratgehalt des Bodens*
- *Anaerobe Bedingungen (vernässter Boden)*
- *Hohe Bodentemperatur (größer 15 °C)*
- *Leicht zersetzbare organische Substanz*
- *Hohe Humusgehalte im Boden*

Neuen Versuchsergebnissen zur Folge lagen die jährlichen *Denitrifikationsverluste* im Boden, wo Zuckerrüben sowie Getreide angebaut wird, *zwischen 2,5 und 15 kg N/ha* (März bis November). Die Denitrifizierung ist ein höchst umweltrelevanter Prozess, da das entstehende Distickstoffoxid N_2O zum Abbau der Ozonschicht beiträgt.

c) Ammoniakverluste bei Gülleausbringung

Die Ammoniakverflüchtigung ist bei der Gülleausbringung von besonderer Bedeutung. Die N-Verluste sind unmittelbar nach der Ausbringung der Gülle auf die Bodenoberfläche am größten. Eine Minderung kann durch sofortiges Einarbeiten der Gülle in den Boden erzielt werden.

Ammoniakverluste werden begünstigt durch:

- ***Geringe Bindungskapazität für Ammonium (Sandböden)***
- ***Hohe Temperatur (Dampfdruck der Ammoniakmoleküle erhöht)***
- ***Hohen Trockensubstanzgehalt der Gülle (langsame Versickerung)***

Aufgrund der ständigen Diskussion, welchen Beitrag die Landwirtschaft bzw. ihre Art der Bewirtschaftung zum Ausmaß der Nitratbelastung in der Umwelt leistet, wird deshalb im Folgenden auf die Ursachen und Zusammenhänge näher eingegangen.

3. Nitratauswaschung – Ursachen und Gegenmaßnahmen

In Wassergewinnungsanlagen wird beobachtet, dass der Nitratgehalt des Wassers insbesondere in den letzten beiden Jahrzehnten zugenommen hat (regional jährlich um 1 bis 1,5 mg NO₃/l) und teilweise den zulässigen Grenzwert von **50 mg NO₃/l** bereits überschreitet. Die Nitratgehalte im Grundwasser hängen auf den meisten Standorten mit der aus den Böden ausgewaschenen Stickstoffmenge zusammen. Diese wird von der **Nutzungsweise** der Böden beeinflusst (Abbildung 4).

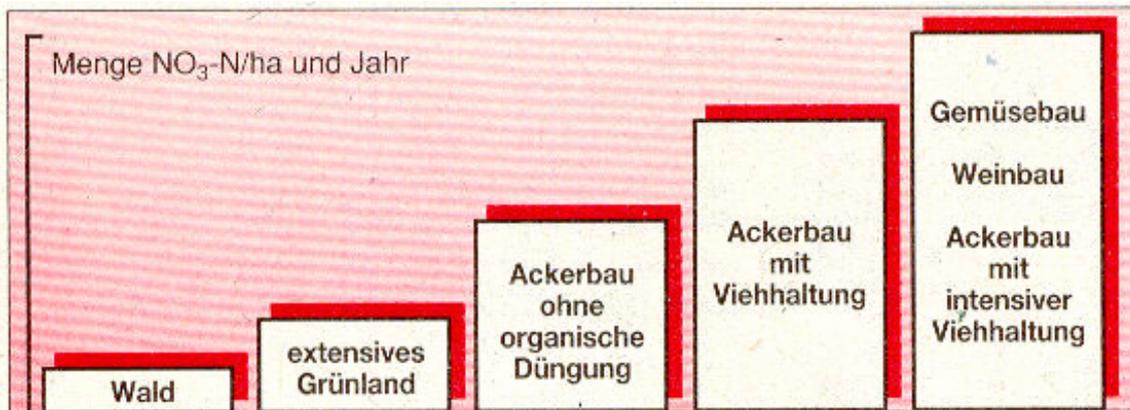


Abbildung 4: Nitratauswaschung bei unterschiedlicher Wirtschaftsweise

3.1 Ursachen für Nitratauswaschung aus Böden

Stickstoff wird aus dem Boden fast ausschließlich in Form von Nitrat ausgewaschen, da es, im Gegensatz zu Ammonium, nicht an Bodenteilchen gebunden, sondern gelöst im Bodenwasser vorliegt und somit leicht verlagert werden kann.

Das Ausmaß der Stickstoffauswaschung wird beeinflusst durch

- die Nitratmenge und Nitratverteilung zu Beginn von Auswaschungsperioden (insbesondere im Herbst und Winter),
- die Nitratmenge, die im Laufe des Winters durch Düngung zugeführt und durch Mineralisierung freigesetzt wird,
- die Sickerwassermenge, die im Wesentlichen durch die Wasserspeicherefähigkeit des Bodens (Feldkapazität) und den Überschuss der Niederschläge gegenüber der Verdunstung (klimatische Wasserbilanz) bestimmt wird.

Nitratgehalt und Nitratverteilung im Boden

Der Nitratgehalt des Bodens unterliegt vielfältigen Einflüssen, wie in Kapitel 2 beschrieben.

Als Ergebnis dieser Prozesse enthalten Böden im Frühjahr sehr unterschiedliche Mengen an Nitratstickstoff.

Der zu Vegetationsbeginn in der von den Wurzeln erreichbaren Bodenschicht vorhandene Mineralstickstoff (= N_{min}) wird im Regelfall von den Pflanzen aufgenommen. Unter normalen Witterungsbedingungen und bei speicherfähigen Böden unterliegt er daher nicht der Auswaschung.

Dies gilt ebenfalls für mineralischen Stickstoffdünger, sofern die Düngermenge dem N-Bedarf der Pflanze und dem N-Angebot des Bodens angepasst wird. Bei Pflanzenarten, die erst sehr spät Stickstoff aufnehmen (z. B. Mais, Zuckerrüben, Möhren) ist insbesondere auf Böden mit geringer Wasserspeicherfähigkeit die Gefahr, dass auch ein Teil des im Frühjahr vorhandenen N_{\min} -Vorrates ausgewaschen wird, nicht auszuschließen. Bei bedarfsorientierter Düngung enthält der Boden normalerweise zum Ende der Vegetationsperiode im Herbst (Erntezeitpunkt) keine nennenswerten Nitratmengen (Abbildung 5).

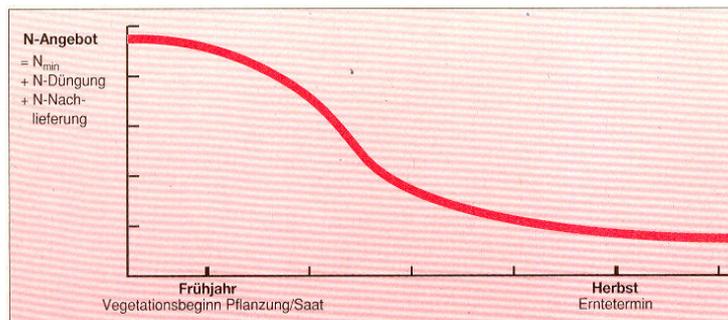


Abbildung 5: Veränderung des Nitratgehaltes im Boden im Verlauf der Vegetationsperiode

Dies gilt insbesondere für Zuckerrüben sowie stark zehrende, tief wurzelnde Gemüsearten (Weißkohl, Rotkohl, Wirsing, Rosenkohl).

Andererseits enthalten viele Böden zu Winteranfang beträchtliche Mengen an Nitrat, welches **besonders auswaschungsgefährdet** ist. Die Streubreite liegt hierbei in der gleichen Größenordnung wie zu Vegetationsbeginn (Abbildung 6). Um eine Anhäufung von Nitrat im Boden, insbesondere zu Winteranfang, zu vermeiden, müssen die Ursachen im Einzelfall bekannt sein.

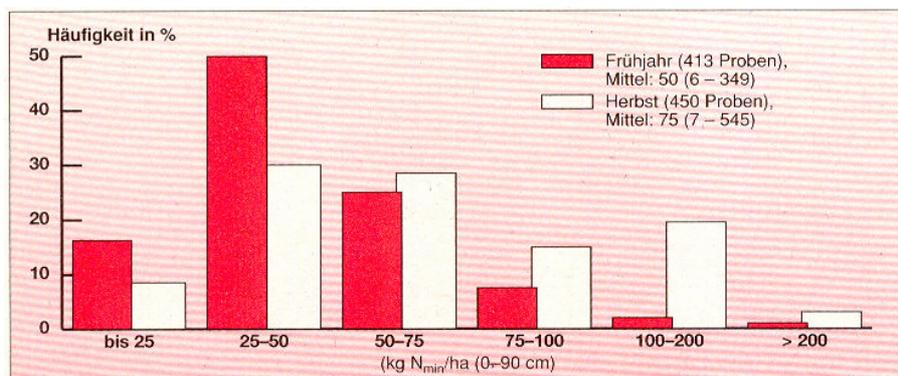


Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung der N_{\min} -Werte im Frühjahr und im Herbst auf ackerbaulich genutzten Flächen (Nitratraster Niedersachsen 1985 - 1988)

Ursachen für hohe Nitratgehalte im Boden zu Beginn von Auswaschungsperioden

Wenn zu Winteranfang große Mengen an Nitrat im Boden vorgefunden werden, können die nachstehend aufgeführten Gründe maßgebend sein.

1. Zu hohe oder nicht zeitgerechte mineralische bzw. organische N-Düngung;

besonders deutlich wird dies bei überhöhter Gülleanwendung im Herbst im intensiven Gemüsebau oder bei früher Leguminoseneinarbeitung. Bei Getreide führt

eine steigende N-Düngung so lange nicht zu einer Anhebung der N_{\min} -Restwerte, wie die Erträge steigen. Erst wenn mehr N verabreicht wird, als von den Pflanzen verwertet werden kann, nehmen die N_{\min} -Restwerte zur Ernte stark zu (Abb. 7).

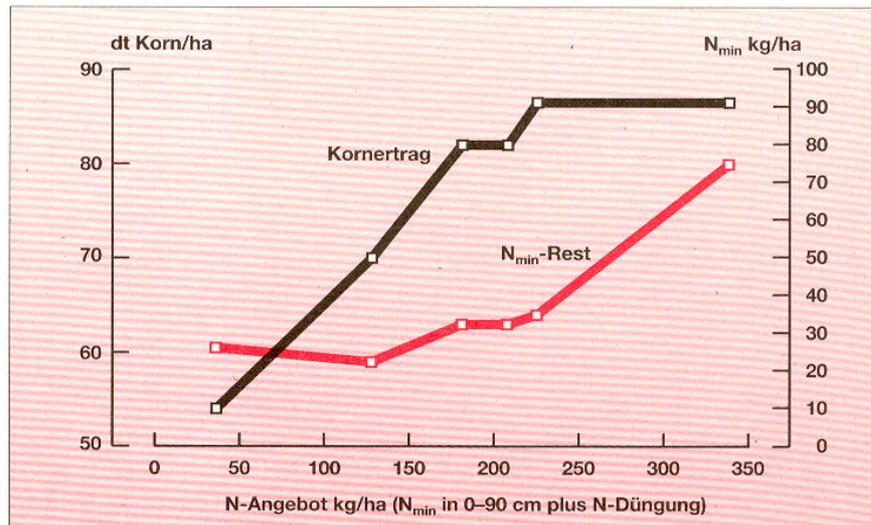


Abbildung 7: Kornerträge von Winterweizen und N_{\min} -Gehalte (0 - 90 cm) zur Ernte bei unterschiedlichem N-Angebot

2. Beeinträchtigung der Stickstoffaufnahme der Pflanzen,

z. B. durch Trockenheit, Krankheiten und Schädlingsbefall.

3. Anbau von Pflanzen, die einen hohen N_{\min} -Rest zum Erntetermin im Boden hinterlassen;

hierbei handelt es sich meist um Gemüse, das in der Hauptwachstumsphase geerntet wird. Wegen des bis kurz vor dem Erntetermin hohen täglichen Stickstoffbedarfs werden optimaler Ertrag und eine gute Produktqualität nur erreicht, wenn bis zum Schluss genügend Nitrat im Wurzelbereich vorhanden ist.

Ein besonders krasses Beispiel hierfür ist Frühjahrsspinat (Tabelle 2), bei dem das zum optimalen Ertrag erforderliche N-Angebot zu einem N_{\min} -Rest im Boden von über 100 kg N/ha führt.

Aus diesem und anderen Versuchen geht hervor, dass bei Frühjahrsspinat der Bereich des Höchstertrages bei einem N-Angebot (N_{\min} -Vorrat + N-Düngung) von ca. 250 kg/ha liegt.

Tabelle 2: Einfluss von N-Angebot auf Ertrag und N_{\min} -Rest im Boden zum Erntetermin bei Spinat

N_{\min} -Vorrat + N-Düngung = N-Angebot	kg N/ha	40	110	160	210	260	310	410
Spinatertrag	dt/ha	80	170	180	220	240	260	230
N_{\min} -Rest zum Erntetermin (0 - 60 cm)	kg N/ha	35	38	60	95	148	159	195

Das bedeutet, dass bei Spinat, wie auch bei einigen anderen Pflanzenarten, selbst bei bedarfsgerechter N-Düngung zum Erntetermin hohe N_{\min} -Reste im Boden verbleiben.

4. Anbau schwach zehrender Pflanzenarten;

langsam wachsende Pflanzenarten nutzen wegen ihres geringen N-Bedarfs oft nicht einmal die aus der Mineralisierung laufend freigesetzten N-Mengen vollständig. Hierzu zählen z. B. Stiefmütterchen, Feldsalat und manche Obstgehölze.

5. Rasche Mineralisierung großer Mengen stickstoffreicher Ernterückstände;

je nach Pflanzenart werden dem Boden mit den Ernterückständen bis zu 180 kg N/ha zugeführt, und zwar oft in einer rasch mineralisierbaren Form (C/N-Verhältnis um 10:1). Die Mineralisierung wird durch sorgfältige Zerkleinerung und Einarbeitung in den Boden noch begünstigt.

Ein weiteres C/N-Verhältnis und eine späte Einarbeitung, wie z. B. Zuckerrüben (C/N-Verhältnis ca. 25:1), vermindert die Mineralisationsrate bis zum Vegetationsbeginn deutlich (bei Zuckerrüben ca. 15 %).

6. Anbau flach wurzelnder Kulturen;

Nitrat, das zu Kulturbeginn bereits in tiefere Bodenschichten verlagert ist, kann von flach wurzelnden Kulturen nicht erreicht und somit nicht aufgenommen werden. Der Anbau von „Flachwurzlern“ (Tabelle 3) führt daher häufig zu erhöhten Nitratmengen im Unterboden.

Tabelle 3: Anhaltswerte für die Durchwurzelungstiefe verschiedener Pflanzenarten bei tiefgründigen Böden

(Flachwurzler) 30 cm	60 cm	(Tiefwurzler) 90 cm
Kopfsalat Erbsen	Kartoffeln Spinat Porree Sellerie Eissalat Erdbeeren	Getreide Mais Zuckerrüben Raps Luzerne Spätkohlarten Rosenkohl Äpfel

Nitratverteilung im Boden

Die Nitratverteilung im Bodenprofil beeinflusst die Auswaschung, da bei hohen Nitratgehalten im Unterboden bereits geringe Sickerwassermengen zu Nitratverlusten führen.

Aus Abbildung 8 ist zu ersehen, dass in speicherfähigen Böden unter sonst gleichen Bedingungen das im Oberboden enthaltene Nitrat im Laufe des Winters nur in tiefere Bodenschichten verlagert wird, jedoch pflanzenverfügbar bleibt (Beispiel A). Im Unterboden bereits vorhandenes Nitrat wird dagegen während der Vegetationsruhe im Winter aus der nutzbaren Schicht weitgehend ausgewaschen (Beispiel B).

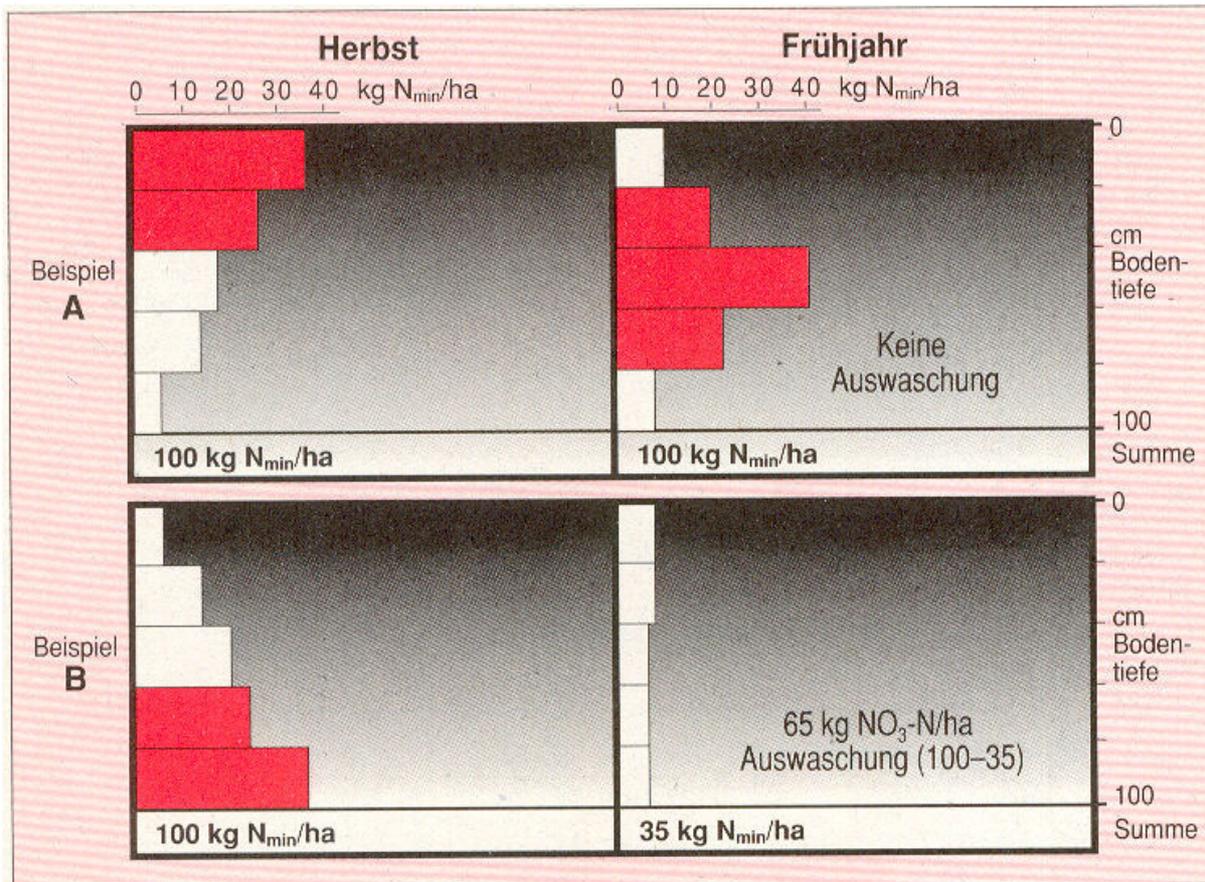


Abbildung 8: N_{min}-Gehalt in Bodenprofilen im Herbst (kg N_{min}/ha, 0 - 100 cm Bodentiefe) und N-Auswaschung (kg NO₃-N/ha) bei unterschiedlicher N_{min}-Verteilung im Herbst

Bei der Abschätzung der Auswaschung mit Hilfe von wiederholten Bodenuntersuchungen ist zu berücksichtigen, dass die gemessene Differenz zwischen den Nitratgehalten im Herbst und Frühjahr nur einen Mindestwert der Auswaschung darstellt, weil auch über Winter erhebliche Anteile der stickstoffreichen Ernterückstände mineralisiert werden können, um die die Herbstwerte eigentlich erhöht werden müssten.

Sickerwassermenge

Da das Nitrat gelöst im Bodenwasser vorliegt, wird es mit dem Sickerwasser transportiert. Hohe Sickerwassermengen, also eine hohe Grundwasserneubildung, führen daher zu einer Beschleunigung der Auswaschung. Die Sickerwassermenge hängt ab von:

- der Höhe und Verteilung der Niederschläge einschließlich der Beregnung,
- dem Oberflächenabfluss (Hanglagen),
- der Speicherkapazität des Bodens für Wasser und damit im Wesentlichen von der Bodenart und der Tiefgründigkeit des Bodens,
- der Transpiration der Pflanzen und der Verdunstung des Bodens (Evapotranspiration).

Die Differenz zwischen der jährlichen Höhe der Niederschläge und der Verdunstung wird als mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz (kwBa) bezeichnet und in mm Wasser ausgedrückt.

Speicherfähigkeit des Bodens für Wasser

Die Bedeutung der Speicherfähigkeit des Bodens für die Nitratverlagerung kommt in Abbildung 9 bei einem Vergleich von Lößlehm und Sand zum Ausdruck. Während aus dem Sandboden über Winter fast alles Nitrat ausgewaschen wird, kommt es in Lößlehm bei ungefähr gleichen Niederschlägen nur zu einer Verlagerung innerhalb der nutzbaren Bodenschicht (bis 80 cm), wobei die Mineralisierung sogar zu einer Erhöhung des N_{min} -Gehaltes um ca. 20 kg N/ha führt ($88 - 69 = 19$).

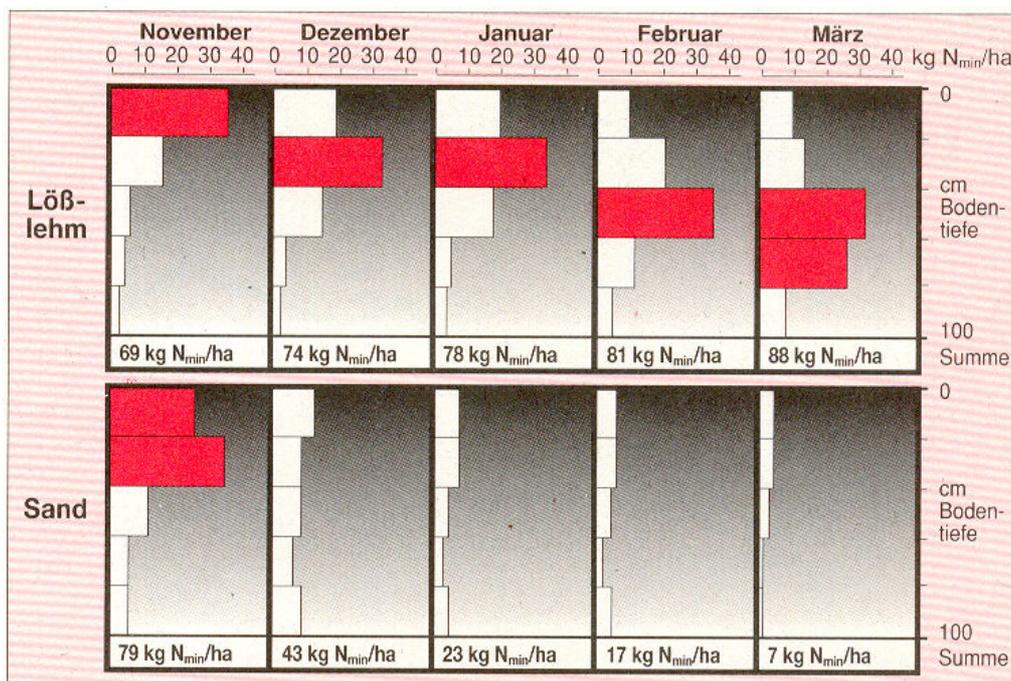


Abbildung 9: Veränderung der N_{min} -Gehalte in Bodenprofilen von Lößlehm und Sand über Winter (kg N_{min} /ha; 0 - 100 cm Bodentiefe)

Die Speicherfähigkeit des Bodens für Wasser wird durch die Feldkapazität (FK) gekennzeichnet. Zusätzlich ist der effektive Wurzelraum von Bedeutung.

Tabelle 4: Wassergehalt bei Feldkapazität in verschiedenen Böden, mm je 1m Bodentiefe

Bodenart	Wassergehalt bei Feldkapazität (mm)
Sand	135
lehmiger Sand	210
sandiger Lehm	245
Lehm (Löß)	360
sandig-toniger Lehm	330
Ton	400

(CERATZKI und BRAMM 1976)

Feldkapazität ist die Wassermenge, die ein wassergesättigter, natürlich gelagerter Boden gegen die Schwerkraft festzuhalten vermag. Wie in Tabelle 4 ersichtlich, hängt sie stark von der Bodenart ab.

Wie Lysimeterergebnisse zeigen, fließen bei einem mittleren Jahresniederschlag von 600 mm

in Sandboden etwa **240 mm**,

in Lehmboden etwa **150 mm**

als Sickerwasser in den Untergrund.

Eine Nitratverlagerung um **30 cm** erfordert

- bei Lößböden (33 % FK) **100 mm**,
- bei lehmigen Sanden (20 % FK) **60 mm**,
- bei Sandböden (10 % FK) **30 mm**

Niederschlag.

Niederschläge und Evapotranspiration

Zwischen der Höhe der Niederschläge und der Sickerwassermenge besteht im Jahresdurchschnitt ein enger Zusammenhang, wie aus Abbildung 10 ersichtlich ist. Die Differenz zwischen Niederschlag und Sickerwasser von durchschnittlich 300 mm (l/m^2) ist das Ergebnis der Transpiration und Evaporation.

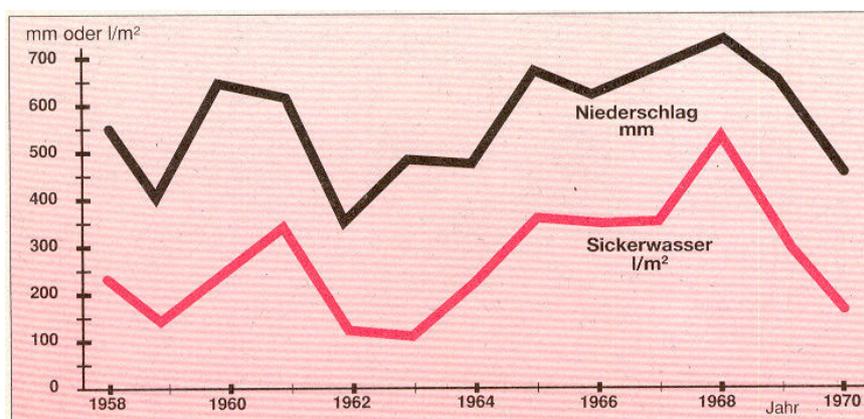


Abbildung 10: Niederschlag und Sickerwassermenge im Verlauf von 13 Jahren (JUNG 1972)

Weil der Wasserverbrauch der Vegetation und die Verdunstung im Sommerhalbjahr überwiegen, liegt der Schwerpunkt des Sickerwasseranfalls im **Winterhalbjahr**.

Auch im Sommer versickern aus dem Sandboden im Gegensatz zum Lehmboden nennenswerte Anteile der Niederschläge.

Darüber hinaus bleibt festzuhalten, dass sich die Nitratauswaschung auch bei gleichen Bodenarten in unterschiedlichen Klimaräumen stark unterscheiden kann.

Die ausgewaschene Nitratmenge beeinflusst die Nitratkonzentration im Sickerwasser. So ist regelmäßig im Winter ein Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser zu beobachten, wofür die in Abbildung 11 dargestellten Ergebnisse ein Beispiel sind.

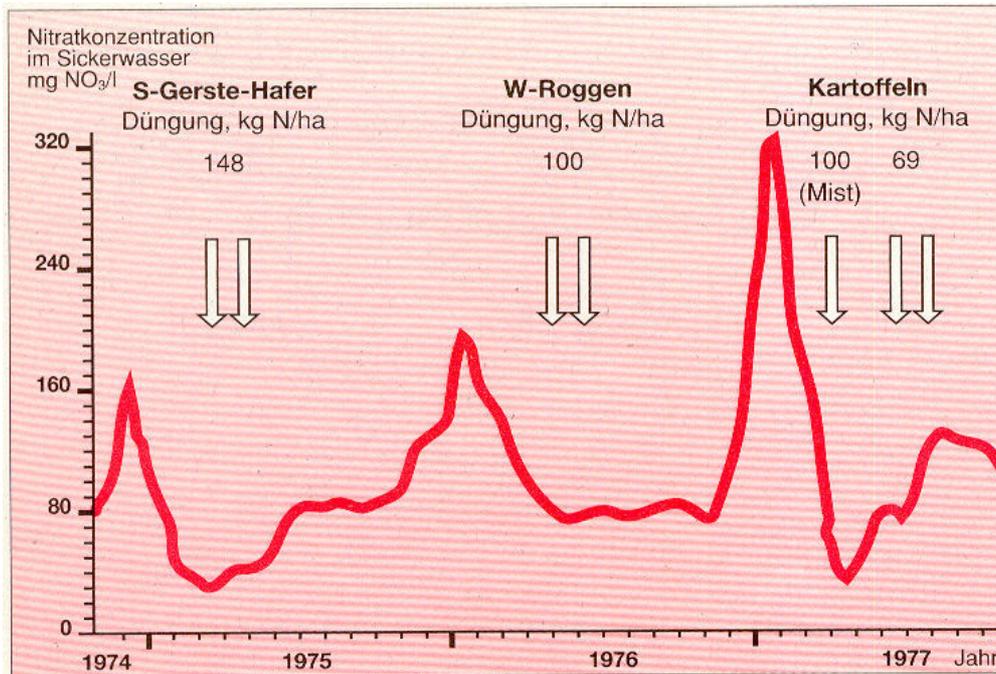


Abbildung 11: Nitratkonzentration im Sickerwasser zu verschiedenen Jahreszeiten (STREBEL und RENGGER 1978)

Welche Nitratkonzentrationen dabei durchschnittlich im Sickerwasser erreicht werden können, geht aus Tabelle 5 hervor. Dort sind die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser aus der ausgewaschenen Sickerwassermenge berechnet worden.

Tabelle 5: Nitratkonzentration im Sickerwasser bei unterschiedlicher Nitratauswaschung und Sickerwassermenge

ausgewaschene Menge an Nitrat, kg N/ha	Sickerwassermenge in mm		
	150	200	250
	mg NO ₃ /l Sickerwasser		
10	29	22	18
50	146	110	88
100	290	220	180
150	440	330	264
200	580	440	360

Die mittlere Nitratkonzentration erreicht demnach schon durch Auswaschung von 50 kg Nitrat/ha bei geringen Sickerwassermengen eine Größenordnung, die oberhalb der für Trinkwasser zulässigen Grenze von 50 mg NO₃/l liegt. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass ein mehr oder weniger großer Anteil dieses Nitrats auf dem Wege zur Trinkwasserentnahmestelle durch Denitrifikation entfernt wird.

3.2 Maßnahmen zur Verringerung der Nitratauswaschung

Bemühungen, die Nitratauswaschung und damit die Nitratkonzentration im Sickerwasser zu verringern, sind nur erfolgreich, wenn die Böden zu Beginn von Auswaschungsperioden weitgehend frei von Nitrat sind.

Ziele

- Niedrige Nitratgehalte im Boden zur Erntezeit, insbesondere im Herbst
- Niedrige Stickstoffmineralisierung in der vegetationsfreien Zeit
- Niedrige Nitratbevorratung des Bodens in der Vegetationsperiode bei flach wurzelnden Kulturen bzw. wenig speicherfähigen Böden

Diese Ziele lassen sich am ehesten durch bedarfsgerechte Stickstoffdüngung, zweckmäßige Auswahl der angebauten Kulturen, Gestaltung der Fruchtfolge und Behandlung der Ernterückstände erreichen.

Bedarfsgerechte Stickstoffdüngung

Die auf hohe Erträge und hochwertige Produkte ausgerichtete Stickstoffdüngung schließt nicht automatisch eine Belastung der Umwelt durch stärkere Auswaschung von Nitrat mit ein.

Verluste an Stickstoff sind immer unökonomisch und deshalb unerwünscht. Sie können vermieden oder aber zumindest auf einem niedrigen Niveau gehalten werden, wenn bei

- der Höhe der Düngergabe,
- dem Zeitpunkt und der Verteilung der Düngung und
- der Düngerform

immer auch die Auswaschungsgefahr berücksichtigt wird.

Höhe der Düngergabe

Eine auf Verringerung der Nitratauswaschung ausgerichtete mineralische und organische Stickstoffdüngung ist nur möglich, wenn neben dem Stickstoffbedarf der Pflanzen auch das Stickstoffangebot des Bodens bekannt ist (Tabelle 6).

Tabelle 6: Kenngrößen der Stickstoffversorgung von Kulturpflanzen

Stickstoffbedarf der Pflanzen		
Stickstoffangebot des Bodens		Stickstoffdüngung
N _{min} -Vorrat zu Beginn der Kultur messen	Nachlieferung während der Kultur schätzen	
		dosieren

Mit **N-Bedarf** wird die vom Pflanzenbestand bei optimaler Ernährung aufgenommene Stickstoffmenge bezeichnet. Im Gegensatz dazu bedeutet der **N-Entzug** die mit dem

Erntegut vom Feld abgefahrene N-Menge. Bedarf und Entzug sind von Pflanzenart und Ertrag abhängig, wie an einigen Beispielen in Tabelle 7 gezeigt wird. Eine Düngung in Höhe des Bedarfs der Pflanzen ist in den meisten Fällen zu hoch, da hierbei das **N-Angebot** des Bodens nicht angerechnet wird.

Das N-Angebot des Bodens setzt sich zusammen aus

**N_{\min} -Vorrat zu Kulturbeginn
+ N-Nachlieferung
während der Kulturzeit.**

Zur Erfassung des N-Angebotes des Bodens muss zunächst der N_{\min} -Vorrat, d. h. der Mineralstickstoffgehalt in der von den Pflanzen nutzbaren Bodenschicht, zu Kulturbeginn gemessen oder mit Hilfe von Kalkulationsverfahren abgeschätzt werden. Die N-Nachlieferung (Mineralisierung) kann bisher nicht sicher erfasst werden. Insbesondere die N-Gehalte und -Ausnutzungsraten leicht zersetzbarer Ernterückstände der Vorfrucht oder organischer Dünger müssen berücksichtigt werden.

Eine suboptimale N-Düngung führt bei allen Pflanzen definitionsgemäß zu mehr oder weniger starken Ertragseinbußen und häufig auch zu Qualitätsminderungen. Die auswaschungsgefährdeten N_{\min} -Mengen im Boden nach der Ernte lassen sich durch diese Maßnahmen bei Getreide, Raps und Zuckerrüben nicht oder nur unwesentlich absenken. Nur bei Pflanzenarten, die im vollen vegetativen Stadium (z. B. viele Gemüsearten) geerntet werden, lässt sich durch suboptimale Düngung der Nitratrest vermindern.

Zeitpunkt und Aufteilung der Düngung

Mineraldüngung

- Bei speicherfähigen Böden (Lehm) und tief wurzelnden Kulturen bedeuten selbst einmalige höhere Mineraldüngergaben zum Saat- bzw. Pflanztermin sowie zu den Bedarfsspitzen nur eine geringe Auswaschungsgefahr.
- Bei wenig speicherfähigen Böden (Sand) sowie bei flach wurzelnden Kulturen (Kopfsalat) ist die Aufteilung in Teilgaben zur Verminderung von Auswaschungsverlusten unbedingt erforderlich.

Organische Düngung

Zur Verringerung der Mineralisierung in Herbst und Winter bieten sich an:

- Ausbringung der organischen Dünger erst unmittelbar vor Kulturbeginn;
- Ernterückstände und Gründüngung möglichst spät einarbeiten, unter besonders kritischen Bedingungen vom Acker entfernen;
- Gülle wegen des hohen Gehaltes an Mineralstickstoff nach den Grundsätzen der Mineraldüngung verwenden

Düngerform

Ein Ausweichen auf Stickstoffdünger, die kein Nitrat enthalten, wie Ammonium, Harnstoff, Kalkstickstoff, Depotdünger oder stickstoffhaltige organische Düngemittel, wird häufig als Möglichkeit angesehen, eine Nitratauswaschung zu vermeiden oder zu verringern.

Hiervon ist jedoch meist nur eine kurzfristige Wirkung im Verlauf der Vegetationsperiode zu erwarten. Längerfristig werden die genannten Düngerformen, soweit sie nicht als Ammonium von den Pflanzen aufgenommen werden, im Boden zu Nitrat umgewandelt. Dieser Prozess ist bis zum Beginn der winterlichen Auswaschungsperiode im Allgemeinen abgeschlossen.

Nitrifikationshemmer

Nitrifikationshemmer bzw. N-Dünger mit Nitrifikationshemmern (z. B. Dicyandiamid) können den Prozess der Nitrifikation zeitweilig unterbinden und dadurch zur Verringerung der Nitratauswaschung beitragen. Dies kann besonders bei einer frühen Gülleausbringung sehr vorteilhaft sein.

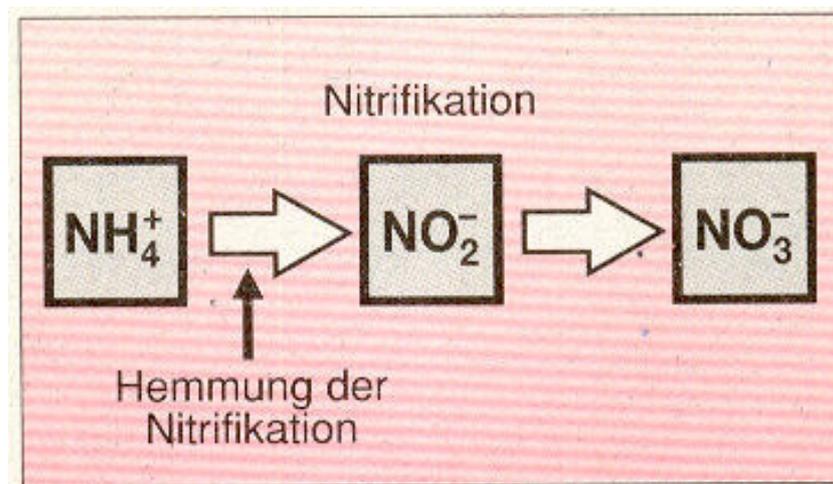


Abbildung 12: Wirkung von Nitrifikationshemmern

Blattdüngung

Eine Blattdüngung hat sich zur schnellen Beseitigung von N-Mangel bewährt, weil Pflanzen Stickstoff über das Blatt sehr effektiv aufnehmen können.

Vorteile

- geringere Stickstoffzufuhr zum Boden und damit geringere Auswaschungsgefahr,
- rasche N-Aufnahme auch bei trockenem Boden.

Nachteile

- N-Ausbringungsmenge pro Gabe ist begrenzt durch Blattschäden bei zu hoher Konzentration bzw. Abtropfen von den Blättern bei zu großer Wassermenge,
- erhöhter Arbeitsaufwand, falls die Düngung nicht mit Pflanzenschutzmaßnahmen kombiniert werden kann

Kulturartenwahl und Gestaltung der Fruchtfolge

Die Art der angebauten Pflanzen und die Fruchtfolge beeinflussen die Stickstoffauswaschung durch die Aufnahme von Wasser und Nitratstickstoff.

Von besonderer Bedeutung sind

- Ertrag und Wachstumsdauer (Stickstoffaufnahme auch noch im Herbst) und
- Durchwurzelungstiefe (Nutzung des Unterbodens).

Eine Verringerung der Stickstoffauswaschung wird erreicht durch

- ganzjährige Vegetationsdecke (Grünland),
- Anbau von Zwischenfrüchten im Acker- und Gemüsebau zur Vermeidung von Schwarzbrachezeiten (s. Abbildung 13),
- Untersaaten bei Kulturen mit großen Pflanzenabständen (z. B. im Obst- und Weinbau),
- dichte Pflanzenbestände,
- Anbau von tief wurzelnden Pflanzenarten, z. B. im Gemüsebau als Herbstkultur (s. Tabelle 3),
- Anbau von Pflanzen mit hohem N-Bedarf (s. Tabelle 7) bzw. mit geringem N_{\min} -Rest zum Erntetermin,
- Förderung des Wachstums durch Optimierung von Mineralstoffernährung, Beregnung und Pflanzenschutz.

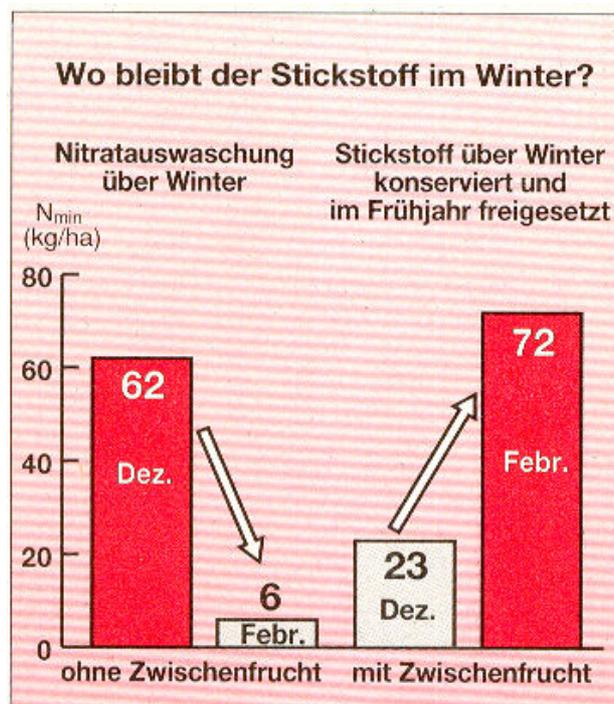


Abbildung 13: Veränderung des Mineralstickstoffgehaltes von Dezember bis Februar mit und ohne Zwischenfrucht (KUHLMANN, 1989)

Ergänzende Bewirtschaftungsmaßnahmen

Alle weiteren pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Verminderung der Nitratauswaschung müssen darauf abzielen,

- Nitratverluste durch die mikrobielle Freisetzung von Nitrat zwischen Herbst und Frühjahr und
- die Sickerwassermenge zu verringern.

Es kommen in Frage:

- relativ späte Zerkleinerung und Einarbeitung von Ernterückständen und Gründüngung,
- Verringerung der organischen Düngung, z. B. Verkauf von Gülle oder Abfuhr N-reicher Ernterückstände,
- zeitweilige Immobilisierung des Stickstoffs durch Strohdüngung,
- konservierende Bodenbearbeitung,
- Vermeidung übermäßiger bzw. ungleichmäßiger Beregnung

Tabelle 7: Stickstoffbedarf und -entzug bei einigen Kulturen

Kultur	N-Bedarf (kg N/ha)	N-Entzug (kg N/ha)
Kernobst, Weinreben	80	30
Spinat	150	100
Winterweizen 70 dt/ha	200	150 (Korn)
Zuckerrüben 500 dt/ha	225	80 – 100 (Rüben)
Weißkohl 300 dt/ha	120	90
500 dt/ha	200	150
700 dt/ha	280	210
900 dt/ha	360	270

Allgemeine Anmerkungen zur Nitratauswaschung aus Böden

Grundsätzlich muss man davon ausgehen, dass Nitrat aus nahezu allen Böden ausgewaschen wird. Die Auswaschung lässt sich nicht vollständig unterbinden.

Ihre Größenordnung wird jedoch von der Wirtschaftsweise, den Bestands- und Standorteigenschaften bestimmt.

Tabelle 8 fasst die wichtigsten Einflussfaktoren noch einmal zusammen. Der Praktiker kann mit diesen Angaben den Umfang der Nitratauswaschung grob abschätzen. Genauere Angaben lassen sich mit Hilfe nachstehend aufgeführter Untersuchungsmethoden gewinnen:

- **N_{min}-Gehalt des Bodens (0 – 90 cm)**
 - zur Ernte der letzten Kultur oder einmalig im November,
 - zwei- oder mehrfach zwischen Herbst und Frühjahr;

- **N_{min}-Gehalt des Bodens, 0 – 2 m und tiefer;**
- **NO₃-Konzentration im Bodenwasser** (häufige Analyse von Sickerwasser, Dränwasser, Grundwasser oder Beregnungswasser, vgl. Abbildung 11);
- **Ausgewaschene NO₃-N-Menge**, berechnet aus NO₃-Konzentration im Sickerwasser und Sickerwassermenge (vgl. Abbildung 10 sowie Tabelle 5).

Tabelle 8: Einfluss von Wirtschaftsweise, Bestands- und Standorteigenschaften auf die Nitratauswaschung

Wirtschaftsweise, Bestands- und Standorteigenschaften	Gefahr der NO ₃ -Auswaschung	
	gering	hoch
N-Bedarf des Bestandes	hoch	gering
Wurzeltiefgang	tief	flach
Kulturdauer	lang	kurz
gezielte N-Düngung (N _{min})	ja	nein
N-Bilanz (Düngung – Abfuhr)	ausgeglichen	hoch positiv
Restnitrat	gering	hoch
N-Menge der Ernterückstände	gering	hoch
Einarbeitungstermin der Ernterückstände	Winter/Frühjahr	Herbst
Zwischenfrüchte	üppig	keine
Brachezeiten	kurz	lang
Niederschläge/Beregnung	ausgeglichen	übermäßig
Feldkapazität der Wurzelzone	hoch	gering
Bodenart	Lehm	Sand
Durchwurzelbarkeit des Bodens	tief	flach

Ausführliche Untersuchungen sind auch deswegen sinnvoll, weil aus den genaueren Ergebnissen konkrete Empfehlungen für die Praxis abgeleitet werden können.

Die in den vorangegangenen Abschnitten genannten Maßnahmen sind geeignet, die Nitratauswaschung zu verringern.

Eine kurzfristige Wirkung auf den Nitratgehalt des Trinkwassers ist zunächst nur bei flachen, nicht aber bei tiefen Brunnen zu erwarten, denn das Nitrat wandert im Grundwasserleiter nur verhältnismäßig langsam (oft nur 1 m/Jahr).

Einige der genannten Methoden sind ohne wirtschaftliche Nachteile bzw. sogar mit Gewinn (Optimierung der N-Düngung) durchführbar. Andere (z. B. Anbau von Zwischenfrüchten, Abfuhr von Ernterückständen) sind mit Mehraufwand und höheren Kosten verbunden. Aber auch diese Maßnahmen können langfristig sinnvoll sein, wenn dadurch kostspieligere Eingriffe vermieden werden, wie

- Verlagerung des intensiven Pflanzenbaus aus Wasserschutz-zonen,
- Verlagerung von Wassergewinnungsanlagen aus Gebieten mit Intensivkulturen,
- Entfernung von Nitrat aus dem Trinkwasser oder
- Begrenzung der N-Düngung auf suboptimales Niveau.

4. Versuche der Landwirtschaftskammer zur grundwasserschonenden Landwirtschaft

Nachstehenden werden die Versuchsergebnisse aus dem Einzugsgebiet der ehemaligen Landwirtschaftskammer Hannover in Bezug auf die Standorte Liebenau und Hohenzethen vorgestellt. Informationen zu den Versuchen zur grundwasserschutzorientierten Landwirtschaft aus der Region Weser-Ems sowie weitere Informationen zu den Versuchen aus dem Einzugsgebiet Hannover erhalten Sie unter:

<http://www.lwk-niedersachsen.de> ;

Portal Betrieb & Umwelt > Umwelt- & Ressourcenschutz > Wasser

Die Landwirtschaftskammer führt seit 1995 Feldversuche durch, die verschiedene pflanzenbauliche Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratauswaschung im Rahmen einer grundwasserschutzorientierten Landwirtschaft untersuchen. Ziel der Versuche ist es, regionalspezifische Daten zur Auswirkung verschiedener Stickstoffdüngungssysteme und Fruchtfolgen auf Ertrag und Qualität von Pflanzen zu gewinnen und diese hinsichtlich ihrer Auswirkung auf Stofftransport und Nitratverlagerung im Boden zu beurteilen. Im Vordergrund stehen die Verminderung von Stickstoffüberschüssen bei landwirtschaftlicher Bewirtschaftung und damit die Reduzierung des potenziellen Nitratintrags ins Grundwasser.

Die Versuche lassen weiterhin Rückschlüsse zu, welche Maßnahme für welchen Standort am effizientesten geeignet ist und bilden damit eine aktuelle Grundlage für die Zusatzberatung in Wasserschutzgebieten. Auf dieser Basis dienen die Versuchsergebnisse dazu, Grundlagen für konkrete Bewirtschaftungsempfehlungen zu ermitteln.

Der Versuchsserie liegen eine konventionelle und eine nitratkonservierende Fruchtfolge zugrunde. Dabei soll durch pflanzenbauliche Maßnahmen über Herbst und Winter Nitrat dem Boden entzogen werden und im Pflanzenbestand konserviert werden.

In Hohenzethen machen die Hackfrüchte Zuckerrüben und Kartoffeln sowie die Ge-

konventionell			
Zuckerrübe	Braugerste	Kartoffel	Winterroggen
1995/1999/2003	1996/2000/2004	1997/2001/2005	1998/2002
konservierend			
Zuckerrübe	Braugerste	Kartoffel	Brache
	<i>Zwischenfrucht</i>		

Abbildung 14: Fruchtfolge am Versuchsstandort Hohenzethen

treidearten Sommergerste und Winterroggen in der Fruchtfolge je einen Anteil von 25 % aus. Die konservierende Fruchtfolge unterscheidet sich von der konventionellen durch Gelbsenf als Zwischenfrucht nach der Sommergerste und den Ersatz von Win-

terroggen durch eine begrünte Brache. Sie wird als eine Alternative zu den in dieser Region vorherrschenden ertragsschwachen Getreidearten gewählt.

Hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Reduzierung der Nitratauswaschung werden in jeder Fruchtfolge unterschiedliche Stickstoffdüngermengen geprüft. Die Referenzdüngermenge (Sollwertdüngung = pflanzenspezifischer Sollwert) ergibt sich aus dem Bedarf der Pflanzen und der verfügbaren Stickstoffmenge im Boden zu Vegetationsbeginn. Die Versuche enthalten folgende Düngungsstufen:

Var.	Düngemenge
1.1	Ohne N-Düngung
1.2	Sollwert - 40 %
1.3	Sollwert – 20 %
1.4	Sollwert
1.5	Sollwert + 30 %

Nicht nur unterschiedliche N-Düngermengen, sondern auch unterschiedliche Düngerformen und Düngungstermine können sich auf das Ausmaß der Nitratauswaschung auswirken.

Var.	Düngesystem
2.1	Sollwert= N-Düngebedarf vorwiegend an Bodenuntersuchung (Nmin) orientiert
2.2	Bilanzmethode = N-Düngebedarf vorwiegend am Ertrag (Bilanzmethode) orientiert
2.3	wie 1, jedoch erste Stickstoffgabe nach Ende der Auswaschungsgefahr
2.4	wie 1, jedoch mit anteiliger Gülledüngung
2.5	wie 1, jedoch mit anteiliger Gülledüngung und Ammoniumstabilisator (Didin)

Ergebnisse im Überblick

Untersuchungsstandorte:

seit 1995 : Ohlendorf (WL), Liebenau (NI), Hohenzethen (UE), Schwüblingsen (H), Jühnde (GÖ)

seit 1999: Bostel (CE) und Rockstedt (ROW)

Standortcharakteristika:

Braunerden, Podsole, Renzinen und Pseudogleye wurden für den Versuch ausgesucht. Sie befinden sich überwiegend in einer Höhe von ca. 43 m über NN, bis auf den Standort Jühnde, der 280 m über NN liegt. Dabei geht die vorherrschende Bodenart vom schwach lehmigen Sand bis Sand über. Bis auf den Standort Jühnde, wo toniger Lehm prägend ist. Die Ackerzahl liegt bei den Untersuchungsstandorten zwischen 24 und 38. Klimatische Verhältnisse zeichnen sich durch eine mittl. Jahrestemperatur von 8,7°C und einer langjährigen Niederschlagssumme von 688 mm aus. Wohingegen die Sommerniederschläge nur einen Umfang von 361 einnehmen.

Einfluss der Stickstoffdüngermenge

Ertrag

- **Verzicht auf Stickstoff** führt zu *Ertragsverlusten*, jedoch ist das Ausmaß *stark Fruchtarten abhängig*. Zuckerrüben (24%) und Silomais (19%) reagieren weit-aus geringer darauf als Sommer- und Wintergetreide (ca. 60%). Kartoffeln und Körnermais nehmen dagegen eine mittlere Position ein. Gründe hierfür liegen in der *längeren Wachstumsdauer* und im *Zeitpunkt des N-Bedarfs* (Silomais und Zuckerrüben haben dann das *max. N- Aufnahmevermögen* zum Zeitpunkt des *höchsten N-Mineralisationsgrads im Boden* erreicht).
- Eine **suboptimale N-Düngung** führt zu Ertragsrückgängen. In der ungedüngten Variante werden im Mittel aller Standorte lediglich Erträge von *57% der Sollwertparzellen (=100%) (Hohenzethen: 57%)* erreicht. Bei der Variante „Sollwert-40%“ reduziert sich der Ertrag durchschnittlich um *10% (Hohenzethen:13%)*. *Minimale* Ertragseinbußen lassen sich bei der Variante „Sollwert-20%“ (3%) feststellen (**Hohenzethen: 6%**).

N-Salden

- Für die Berechnung der **Stickstoffsalden** wurde von der *N-Zufuhr mit Düngemitteln* die *N-Abfuhr durch das Erntegut* abgezogen. Die Ernterückstände verblieben i.d.R. auf den Flächen. Die *Werte schwanken* von Standort zu Standort bei einer Sollwertdüngung zwischen *-16 und 161 kg N/ha*. Im *Durchschnitt* liegen sie bei *46 kg N/ha (Hohenzethen: 24 kg)*. Die N-Salden sind stark von der *Fruchtart abhängig*. Sie sind z.B. beim *Silomais* in der Regel *negativ*, da *ca. 200 kg N/ha mit dem Erntegut abgefahren werden und das Düngungsniveau generell gering* ist (wegen des hohen N- Aneignungsvermögen aus dem Boden). Der höchste Wert resultiert aus dem Anbau von Eissalat.
- generell führt eine **bedarfsgerechte N-Düngung** zu unvermeidbaren *N-Verlusten (positive N-Salden)*, die mit steigendem Düngungsniveau überproportional zunehmen. Dagegen führt eine *suboptimale N-Düngung häufig zu negativen N-Salden*. Bei einer *Düngung*, die den *Bedarf deutlich übersteigt*, nehmen auch die *Überschüsse stark zu*.

N-min

- **Nmin-Werte im Herbst** liegen bei der *Sollwert-Methode* je nach Standort zwischen *23-61 kg/ha* und befinden sich *im Durchschnitt bei 38 kg N/ha (0-90 cm) (Hohenzethen: 23 kg)*. Bei *überhöhter Düngung „Sollwert+30%“* ist *kein zusätzlicher Effekt* bis auf den Standorten Rockstedt und Liebenau festzustellen. Im Fall der suboptimalen Düngung konnte ähnliches ermittelt werden. N-min-Werte sind *von der Höhe der N-Düngung weitestgehend unabhängig* und *fast auf gleichem Niveau*.

Einfluss verschiedener Stickstoffdüngersysteme

Ertrag

- **Ausbringung von Gülle** führt zu *gleichen Erträgen* wie die der mineralischen. Die in den Versuchen ausgebrachte Rindergüllemenge richtete sich nach dem P- und K-Bedarf der Pflanzen entsprechend den Gehaltsklassen C. Der Stickstoff der Rindergülle wurde zu 70 % angerechnet. Die restliche N-Düngung erfolgte mit Mineraldüngern. N-Verluste können durch Verwendung von *Schleppschläuchen* weitestgehend vermieden werden.
- **Verwendung von Ammoniumstabilisatoren (10 l Didin /ha) bei Gülle** erzielt *keine Mehrerträge*.
- **Verspäteter N-Ausbringungszeitpunkt** bedeutet, dass das *Düngesystem* in Liebenau, Hohenzethen und Schwüblingsen so *umgestellt* wurde, dass eine mögliche *Auswaschung* der ersten N-Düngung *im Frühjahr minimiert* werden konnte. Aus diesem Grund wurde die N-Verteilung im Vergleich zur klassischen Sollwert-Variante verändert. Was wiederum bedeutet, dass die *erste Stickstoffgabe* nämlich erst zu dem Zeitpunkt ausgebracht wurde, ab dem keine Versickerung mehr zu erwarten war. In der Regel erfolgte daher die erste Düngung des Wintergetreides erst gegen *Ende April*, also zum üblicherweise 2. Düngungstermin bei *Schossbeginn*.
Beim Anbau von *Sommergetreide, Kartoffeln, Zuckerrüben und Mais* ist die erste N-Gabe i. d. R. nicht mehr auswaschungsgefährdet. Die N-Düngung in dieser Variante wurde für die genannten Früchte deshalb so gestaltet, dass bei der *ersten Stickstoffdüngung nur etwa 1/3 der gesamten Düngung ausgebracht* wurde. Die *restliche N-Düngung* erfolgte zum *Reihenschließen*. Bei der Braugerste unterschied sich die N-Verteilung nicht.
Diese Maßnahme hat bei *Zuckerrüben* und *Silomais* aufgrund der längeren Wachstumsphase *kaum Auswirkungen* auf den Ertrag. Im Gegensatz zum *Wintergetreide*, wo z. B. Winterroggen am empfindlichsten in Form von *Mindererträgen* (im Durchschnitt 14%) darauf reagiert.
- **Einsatz stabilisierter Stickstoffdünger (Basamon 25 N bzw. Entec 26)** führen zu *Mehrerträgen bei Braugerste (6%) und Silomais (8%) sowie Körnermais (5%)*, nicht jedoch bei Kartoffeln (-4%). Dieser Effekt wurde *nur in bestimmten Jahren* verzeichnet.
- Ziel der Stickstoffdüngung nach der **Bilanzmethode** ist es, die rein rechnerische *Nitratauswaschung im Laufe der Fruchtfolge auf ein Minimum zu begrenzen*. Wesentliche *Kalkulationsgrößen* zur Bemessung der Düngung sind die *Stickstoffabfuhr* (Produkt aus Ertrag und dem Stickstoffgehalt) der einzelnen *Fruchtfolgeglieder* und der *standortspezifische Wert* für eine *tolerierbare Stickstoffauswaschung*, bei der 50 mg Nitrat pro Liter Sickerwasser nicht überschritten wird.

Tabelle 9: Berechnungsbeispiel Hohenzethen

Fruchtfolge	Ertrag dt/ha	N-Abfuhr kg/ha	Sickerung mm/a	tolerierbare	N-Düngung	Verteilung*
				N-Auswaschung kg/ha	Abfuhr + Toleranzw. kg/ha	
Zuckerrüben 1995	550	100	200	22	122	160
Sommergerste 1996	60	85	200	22	107	60
Kartoffeln 1997	400	140	200	22	162	160
Winterroggen 1998	70	105	200	22	127	140
Summe		430	800	88	518	520

*) Verteilung bei Berücksichtigung ortsüblicher N_{min} -Werte + Korrekturfaktoren für Nachlieferung

Bei Anwendung dieser Methode wurden auf den Standorten Ohlendorf und Hohenzethen deutliche *Mindererträge* ermittelt. Hier reichte die auf Basis der N-Abfuhr berechnete Düngermenge für eine ausreichende N-Versorgung nicht aus. Auf den verbleibenden fünf Standorten wurden nur Einbußen in Höhe von durchschnittlich 2-3% ermittelt.

N-Salden

- **Gülle** führt zu *höheren N-Salden* als bei der mineralischen, da 100 kg N aus Rindergülle der Wirksamkeit von 70 kg N aus Mineraldünger entsprechen. Das Mineraldüngungeäquivalent beträgt somit nur 70%. Dabei weist *Gülle* im Vergleich zur Mineralischen Düngung im Durchschnitt ein *höheres N-Saldo* von etwa 30-35 kg N/ha auf.
- **Verwendung von Ammoniumstabilisatoren (10 l Didin /ha) bei Gülle** hat keinen *Effekt auf N-Salden* (Erprobung auf dem Versuchsstandort Liebenau).
- Es ergeben sich *deutlich höhere N-Düngeempfehlungen* (z.B. in Liebenau und Rockstedt) für die einzelnen Fruchtfolgeglieder als nach der Sollwertmethode bei Anwendung der **Bilanzmethode**. Da z.B. bei Mais das enorme *N-Nachlieferungspotentials* nicht berücksichtigt wird. Die *Gefahr* auf den untersuchten sandigen Standorten hierbei ist, dass das *Potential für die Nitrataustragsgefährdung ansteigt*. Dies wiederum wirkt sich langfristig *negativ in den Wasserschutzgebieten* aus, da die *N-Salden* spürbar ansteigen.
- **Verspäteter N-Ausbringungszeitpunkt** hat *unerhebliche Auswirkungen auf die N-Salden*.
- **Einsatz stabilerer Stickstoffdünger (Basamon 25 N bzw. Entec 26)** hat auf die N-Salden *keinen Effekt*.

N-min

- **N-min-Werte im Herbst** liegen in Jühnde und Liebenau *bei der Güllevariante niedriger*, in Hohenzethen konnte kein Unterschied festgestellt werden. Nur in Rockstedt lagen die N-min-Werte um 15 kg/ha höher.
- **Verwendung von Ammoniumstabilisatoren (10 l Didin /ha) bei Gülle** hat keinen *Effekt auf N-min-Werte im Herbst*.
- bei der Düngung nach der **Bilanzmethode** ergeben sich bei Betrachtung der Herbst-N-min-Werte auch *keine deutlichen Vorteile*.
- **Verspäteter N-Ausbringungszeitpunkt** hat *unerhebliche Auswirkungen auf die Herbst-N-min-Werte*.
- **Einsatz stabilisierter Stickstoffdünger (Basamon 25 N bzw. Entec 26)** hat auf die N-min-Werte *keinen Einfluß*.

Einfluss verschiedener Fruchtfolgen

Generell führt eine „**nitratkonservierende Fruchtfolge**“, das bedeutet eine *stärkere und längere Begrünung* mit Hilfe von **Zwischenfrüchten** (z.B. Ölrettich, Grünroggen, Gelbsenf) und/oder *Untersaaten* (*Deutsches Weidelgras*; überwiegend bei Mais) oder auch *begrünter Brache* während des Winters, zu einer *verminderten N- Verlagerung bzw. –Auswaschung ins Grundwasser*.

Ertrag

Die Erträge bei gleicher Frucht sind sowohl in der „konventionellen“ wie in der konservierenden“ Fruchtfolge annähernd gleich. Somit ist die *herabgesetzte N-Düngung aufgrund der Gründüngung bei der konservierenden Fruchtfolge richtig!* Dennoch sollten die damit verbundenen *finanziellen Mehr aufwendungen* und das *notwendige Fachwissen des jeweiligen Betriebsleiters* dabei nicht außer Acht gelassen werden.

N-Salden

- *Geringere N-Salden* stellen sich durch eine **nitratkonservierende Fruchtfolge, d.h. zwischenfruchtbetonte**, ein. Dieser Effekt der *verminderten N- Verlagerung bzw. –Auswaschung ins Grundwasser* ist auch bei der *Umwandlung von Acker in extensives Grünland* zu erzielen. Da eine N-Konservierung durch die über Winter verbleibende Pflanzenmasse auf dem Acker erfolgt und erst im darauf folgenden Frühjahr zu Vegetationsbeginn in den Boden eingearbeitet (Gründüngung) wird und anschließend mineralisiert. Hinzu kommt, dass dabei zwischen *10 bis 30 kg N/ha/Jahr* je nach Fruchtart eingespart werden können. Auf eine ausreichende Jugendentwicklung ist jedoch zu achten (z.B. 30-40 kg N/ha zur Zwischenfrucht).

- *N-Salden* sind in der **konservierenden Fruchtfolgevariante geringer** als in der konventionellen, jedoch je nach Untersuchungsstandort unterschiedlich stark ausgeprägt.

N-min

- **N-min-Werte im Herbst** liegen in der *konservierenden Fruchtfolge niedriger* als in der konventionellen (bis auf den Standort Hohenzethen). Dies zeigt sich besonders deutlich beim Anbau von *Grünroggen* (Standort Ohlendorf), von *Untersaaten* (Standort Liebenau, Bostel, Rockstedt) oder von *Zwischenfrüchten* (Standort Liebenau, Schwüblingen, Bostel). *Konstant niedrige N-min-Werte* sind auf *extensiven Grünlandstandorten* (unter 10 kg N/ha in 0-90 cm Bodentiefe) zu erzielen.

Durch diese Maßnahmen sind sogar *unterhalb der Wurzelzone Nitratgehalt-rückgänge* zu verzeichnen (deutlich auf den Standorten Ohlendorf und Liebenau).

Fazit

Eine *Änderung der Fruchtfolge* (z.B. durch den Anbau von *Zwischenfrüchten* und *Untersaaten*) führt zu *geringeren N-min Restwerten* im Herbst und zu einer *verminderten Nitratverlagerung ins Grundwasser*. „Da Stickstoff in Form von Nitrat in Biomasse eingebaut (konserviert) wird und daher nicht mehr wie bisher mit dem Niederschlagswasser in tiefere Bodenschichten verlagert werden kann.

Deshalb sollte eine möglichst *lange Bodenbedeckung* und *bedarfsgerechte Düngung* besonders in Wasserschutzgebieten angestrebt werden, weil diese Art der Bewirtschaftung *nachhaltig* und *umweltschonend* sowie *erfolgsorientiert* ist.



Beteiligte: LWK Niedersachsen und LBEG

Auftraggeber: Umweltministerium des Landes Niedersachsen

Finanzierung: aus Mitteln der Wasserentnahmegebühr

Ansprechpartner: Dr. Gerhard Baumgärtel

5. Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von Gewässerbelastungen im Pflanzenschutz

Pflanzenschutzmittel im Wasser machen dieses als Nahrungsmittel unbrauchbar! Damit Oberflächen- und Grundwasser wenn möglich überhaupt keine Pflanzenschutzmittel (PSM) enthalten, ist eine äußerst sensible, sachgerechte Handhabung gefordert. Die sachgerechte Ausbringung von PSM richtet sich nach der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz und damit nach den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes. Hierzu gehören besonders alle **vorbeugenden nicht chemischen Maßnahmen** zur Vermeidung eines Befalls mit Schadorganismen, die Feststellung des Befalls und der Bekämpfungswürdigkeit, nicht chemische Bekämpfungsmaßnahmen sowie Regeln für den sonstigen Umgang mit Pflanzenschutzgeräten und PSM.

Zur Vermeidung von Pflanzenschutzmittelausträgen in Oberflächengewässer durch Abdrift oder Abschwemmung werden bei der Zulassung der Mittel Abstände von 5 – 20 m Breite zu den Gewässern festgesetzt. Nach dem Pflanzenschutzgesetz darf die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln nur entsprechend dieser Auflagen erfolgen. Ist keine Breite bestimmt, gilt grundsätzlich, dass ein Meter Abstand zur Böschungsoberkante eingehalten werden muss. PSM haben auf den so definierten Randstreifen nichts zu suchen. Abdriftmindernde Pflanzenschutzgeräte helfen, diese Vorschriften in der Praxis einzuhalten. Abschwemmung oder Abdrift lassen sich allein dadurch erheblich reduzieren bzw. ganz vermeiden, wenn 75% Abdrift reduzierende Düsen eingesetzt und auf Mittel mit größeren **Abstandsauflagen** weitgehend verzichtet wird.

Zusätzlich zur konsequenten Einhaltung dieser Auflagen, lässt sich durch **konservierende Bodenbearbeitung und unbehandelte bewachsene Randstreifen** die Gefahr der Abschwemmung von PSM reduzieren. Um erhebliche Mittelverluste durch Abdrift und Verflüchtigungen zu vermeiden, verbieten sich Spritzeinsätze bei dauerhafter Windgeschwindigkeit über 5 m/s, dauerhaften Temperaturen über 25°C oder relativen Luftfeuchten unter 30%. In der Regel lassen die technischen Voraussetzungen nur eine Fahrgeschwindigkeit von 8 km/h zu, bei der eine gleichmäßige Quer- und Längsverteilung sowie **abdriftarme Anwendung** gewährleistet ist.

Eine weitere Voraussetzung für eine bestimmungsgemäße und sachgerechte Ausbringung von PSM ist ein **exakt dosierendes und zuverlässiges Pflanzenschutzgerät**. Um eine exakte und zuverlässige Arbeitsweise der Pflanzenschutzgeräte, d.h. die Funktionstüchtigkeit sowie die Dosier- und Verteilgenauigkeit, sicherzustellen, ist eine periodische Überprüfung dieser Geräte unbedingt erforderlich. Die derzeitige Gesetzeslage schreibt einen **regelmäßigen Kontrollturnus** von mindestens 2 Jahren vor. Die dabei durchgeführten Inspektionen zeigen technische Mängel an den Geräten auf, die ohne entsprechende Prüfeinrichtungen nicht zu erkennen sind.

Eine Bekämpfungsmaßnahme erweist sich nur dann als wirtschaftlich sinnvoll, wenn Ertragminderungen zu erwarten sind, die über die Kosten für eine Pflanzenschutzmaßnahme hinausgehen. Der Landwirt handelt durch die reduzierte Zahl der Mittelanwendungen nicht nur nach ökonomischen Gesichtspunkten, sondern schont so weit es geht auch die Gewässer, in dem er die Gefahr der Austräge minimiert. Für die meisten Schädlinge, Pilze und Unkräuter existieren Bekämpfungsrichtwerte. Auch

Prognosemodelle und die Warndienste, z.B. der Landwirtschaftskammer, können eine große Hilfe bei der **Bestimmung der Schadensschwellen** und damit des Zeitpunktes, an dem ein Mitteleinsatz erforderlich wird, sein.

Einen erheblichen Beitrag zur Vermeidung von Einträgen in Gewässer leistet **fachgerechtes Befüllen und Reinigen der Geräte** und **fachgerechtes Entsorgen von Restspritz- und Reinigungsflüssigkeiten**. Beim Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer spielen häufig Hofabläufe eine entscheidende Rolle. Nicht nur in Restspritzflüssigkeiten, sondern auch in Reinigungsflüssigkeiten und dem Spülwasser, mit dem die Pflanzenschutzmittelbehälter gesäubert werden, finden sich Reste von PSM. Diese dürfen auf keinen Fall in die Kanalisation und/oder über Hofabläufe „entsorgt“ werden. Die Reinigung der Pflanzenschutzgeräte ist möglichst auf dem Feld oder einem dafür zugelassenen Waschplatz durchzuführen, da dort eine direkte Einleitung in Vorfluter ausgeschlossen ist und die Bodenorganismen die Mittel abbauen können. Die Innenreinigung kann am besten über Tankinnenreinigungsdüsen durch mitgeführtes Klarwasser erfolgen. Restflüssigkeiten werden dann in geeigneter Verdünnung (1:10) mit vermindertem Druck und erhöhter Fahrgeschwindigkeit auf der Anwendungsfläche ausgebracht. Leere Behälter werden gespült an den Handel zurückgegeben. Durch die Nutzung einer Einspülschleuse lassen sich Verluste von PSM durch Verschütten sowie mögliches Überlaufen oder Überschäumen des Behälters vermeiden.

6. Notizen

In jedem Landwirt steckt ein Wasserschützer!

7. Projektpartner WAgriCo

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)

Göttinger Chaussee 76
30453 Hannover

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)

Friedrich- Mißler- Str. 46 -48
28211 Bremen

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Forschungszentrum Jülich GmbH

Leo- Brandt- Str.
52425 Jülich

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Mars-la-Tour-Str.1 -13
26121 Oldenburg

8. Quellen und weiterführende Literatur

AID, Landbewirtschaftung und Gewässerschutz, Darmstadt, 2005

Europäische Kommission, Die Wasserrahmenrichtlinie: Tauchen Sie ein!, Luxemburg, 2002

FREDE/ DABBERT (Hrsg.), Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft, Landberg, 1998

KTBL, Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/2005, Darmstadt, 2004

LWK, Sachgerechter Umgang mit Pflanzenschutzmitteln, Hannover, 2003

LWK Weser-Ems, Leitfaden Pflanzenproduktion, Oldenburg, 2005

Internet:

www.innovations-report.de/html/berichte/umwelt_naturschutz/bericht-32377.html,
2006

www.innovations-report.de/html/berichte/umwelt_naturschutz/bericht-23404.html,
2006