II.
Bewertung der ökologischen Wirksamkeit und Eignung von technisch-organisatorischen Wasserschutz-maßnahmen in der Landwirtschaft

Thomas G. Schmidt, Tania Runge, Kirsten Seidel, Bernhard Osterburg (FAL)

Literaturstudie zu 'Kosteneffiziente Maßnahmenkombinationen nach Wasserrahmenrichtlinie zur Nitratreduktion in der Landwirtschaft' im Auftrag der Bund / Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall" 2006

WAgriCo
'Water Resources Management in Cooperation with Agriculture'
EU-LIFE-Projekt

AGRUM Weser
'Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des land-wirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie in der FGE Weser'
im Auftrag der Flussgebietsgemeinschaft Weser

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Einleitung 163

2 Struktur und inhaltliche Gliederung der Maßnahmenbeschreibungen 163

3 Diagnose- und Planungsmethoden zum Düngemanagement 165

3.1 Wirtschaftsdünger- und Bodenuntersuchungen 165

3.2 Düngeplanung 166

4 Technische Maßnahmen zur Reduzierung negativer Umweltwirkungen auf die Qualität des Grundwassers und der Oberflächengewässer 167

4.1 Maßnahmen zur Reduzierung der N-Auswaschung 167
4.1.1 Zwischenfruchtanbau 168
4.1.2 Untersaaten 171
4.1.3 Fruchtfolgeanpassungen und veränderte Anbauweise 172

4.2 Maßnahmen zur Reduzierung des N-Überschusses 174
4.2.1 Zeitpunkt der Düngerausbringung (mineralisch, organisch) 175
4.2.2 Technik der Düngeausbringung 177
4.2.3 Reduzierte N-Mineraldüngung, Acker 180
4.2.4 Anwendung von stabilisiertem N-Dünger/ Depotdüngung 183
4.2.5 Weidemanagement 185
4.2.6 Wirtschaftsdüngermanagement im Betrieb (Stall, Lager) 187
4.2.7 N-reduzierte Fütterung 189

4.3 Maßnahmen zur N-Immobilisation und zur Verminderung der Mineralisation 191
4.3.1 Aktive Begrünung von Stilllegungsflächen 191
4.3.2 Umwandlung von Ackerland in Grünland und Verzicht von Grünlandumbruch 194
4.3.3 Grünlandextensivierung 197
4.3.4 Zeitpunkt der Bodenbearbeitung 200

4.4 Maßnahmen zur Verminderung des Oberflächenabflusses, mit Einfluss auf direkte Eintragspfade in Oberflächengewässer 202
4.4.1 Konservierende Bodenbearbeitung 202
4.4.2 Uferrandstreifen 205

4.5 Produktionssysteme mit positiver Wirkung auf die Wasserqualität 206
4.5.1 Ökologischer Landbau 206
4.5.2 Teilflächenspezifische Düngung bei Precision Farming 209

4.6 Maßnahmen zur Erhöhung der Denitrifikation im Boden 212
4.6.1 Rückbau von Vorflutern 212

4.6.2 Aktive Flächenüberstauung 213

4.7 Überbetriebliches Wirtschaftsdüngermanagement 214

Literatur **218**

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abbildung 1: Anteil der Zwischenfruchtfläche an der Ackerfläche mit im Frühjahr bestellten Kulturen (Jahre 1977, 1991, 1995, 1999, 2003) 169

Abbildung 2: Ziel-Wirkungsdiagramm - Zwischenfrüchte und Untersaaten 170

Abbildung 3: Ziel-Wirkungsdiagramm - Fruchtfolgeanpassungen 174

Abbildung 4: Ziel-Wirkungsdiagramm - Zeitpunkt der Ausbringung von Wirtschaftsdünger, Zeitpunkt der Mineraldüngung 176

Abbildung 5: Ziel-Wirkungsdiagramm - Verbesserte Techniken für organische Düngerausbringung 179

Abbildung 6: Ziel-Wirkungsdiagramm - N-reduzierte Düngung und Einsatz von N-stabilisiertem Dünger 182

Abbildung 7: Ziel-Wirkungsdiagramm – Weidewirtschaft 187

Abbildung 8: Ziel-Wirkungsdiagramm - N-reduzierte Fütterung 190

Abbildung 9: Ziel-Wirkungsdiagramm - Begrünung von stillgelegten Flächen und aktivem Brachland 193

Abbildung 10: Flächenstilllegung nach Stilllegungsformen (in 1.000 ha) 193

Abbildung 11: Umwandlung von Ackerland in Grünland 2004 (Hessen: 2003, Thüringen: 2002) (in 1.000 ha), sowie der Anteil am gesamten Grünland (%) (Basis: 2004) 195

Abbildung 12: Ziel-Wirkungsdiagramm - Umwandlung von Ackerland in Grünland 196

Abbildung 13: Fläche der extensiven Grünlandnutzung (in 1.000 ha) und Anteil (%) der im Rahmen der Agrarumweltprogramme geförderten extensiven Grünlandnutzung am gesamten Grünland (2004) (Thüringen: 2002) 198

Abbildung 14: Ziel-Wirkungsdiagramm - Extensive Grünlandnutzung 199

Abbildung 15: Ziel-Wirkungsdiagramm - Zeitpunkt der Bodenbearbeitung, konservierende Bearbeitung im Herbst 201

Abbildung 16: Anteil der im Anbaujahr 2003/04 zur Hauptfrucht nicht gepflügte Fläche von der gesamten Ackerfläche (%) 203

Abbildung 17: Umfang des Ökologischen Landbaus (1.000 ha) bzw. Anteil der ökologisch bewirtschafteten Fläche an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (%) 2003 207

Abbildung 18: Ziel-Wirkungsdiagramm - Ökologischer Landbau 208

Abbildung 19: Ziel-Wirkungsdiagramm - Precision Farming 211

Abbildung 20: Verteilung der bewerteten Gewässerstrecken (ca. 33.000 km) auf Strukturklassen 2001 213

Abbildung 21: Übernahme von Wirtschaftsdünger in Niedersachsen 215

Abbildung 22: Wirtschafts- und Mineraldüngereinsatz in landwirtschaftlichen Betrieben in Niedersachsen in Abhängigkeit vom N-Aufkommen aus tierischem Dung (Mittelwert der Jahre 1999/2000 und 2000/2001) 216

1 Einleitung

Dieser Teil des Sonderheftes enthält eine Literaturauswertung von Maßnahmen zum Wasserschutz, die im Rahmen der Projekte

- 'Kosteneffiziente Maßnahmenkombinationen nach Wasserrahmenrichtlinie zur Nitratreduktion in der Landwirtschaft' im Auftrag der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall" 2006
- WAgriCo 'Water Resources Management in Cooperation with Agriculture', EU-LIFE-Projekt
- AGRUM Weser 'Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie in der FGE Weser' im Auftrag der Flussgebietsgemeinschaft Weser

erstellt wurde. Alle drei Projekte haben zum Ziel, den Prozess zur Entwicklung von Bewirtschaftungsplänen für die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie zu unterstützen und werden an der FAL (gemeinsam mit externen Partnern) bearbeitet.

In diesem Katalog werden die ökologischen Wirkungen von aktuellen Wasserschutzmaßnahmen beschrieben und mit dem Potenzial, der technischen Umsetzbarkeit und der Akzeptanz ergänzt. Damit wird die Grundlage für eine explizit definierte Maßnahmenbewertung gelegt.

2 Struktur und inhaltliche Gliederung der Maßnahmenbeschreibungen

Die technisch-organisatorischen Maßnahmen zur Reduzierung von Nitratemissionen sind entsprechend ihrer unterschiedlichen Ansätze in vier Kapitel gegliedert. Dabei steht jeweils eine Hauptwirkung im Vordergrund: Nitratauswaschung, Stickstoffüberschuss und N-Immobilisation im Boden. Zusätzlich zu diesen drei Hauptkategorien werden Maßnahmen analysiert, die vorrangig zu einer Reduzierung des oberflächigen Wasser- und Stoffabflusses beitragen sowie komplexe Maßnahmen mit Auswirkungen auf das gesamte Produktionssystem. Das Kapitel 3 beschreibt den Bereich der Diagnose- und Planungsmethoden, ihr Einsatz ist eine Grundvoraussetzung für erfolgreichen Wasserschutz. Erst eine Flankierung der im Folgenden genannten Maßnahmen durch Kenntnisse über Nährstoffvorrat im Boden und Düngebedarf der Pflanzen erlaubt eine hohe ökologische Wirksamkeit. Das Kapitel 4 enthält eine Zusammenstellung aller technischen Maßnahmen, die einer Wasserschutz orientierten, im Idealfall sogar einer Wasserschutz optimierten Landbewirtschaftung dienen. Darunter finden sich eine Reihe bekannter und bereits seit vielen Jahren praktizierter Agrarumweltmaßnahmen. In den Unterkapiteln 4.1 und 4.2 werden

Maßnahmen zur Reduzierung der N-Auswaschung und des N-Überschusses beschrieben. Unterkapitel 4.3 enthält Maßnahmen, die den im Oberboden gespeicherten Stickstoff halten und vor Mineralisierung und Auswaschung schützen. Während der zuletzt genannte Maßnahmenblock hauptsächlich den Grundwasserschutz bedient, werden im Unterkapitel 4.4 die Oberflächenschutzmaßnahmen beschrieben. Der Ökologische Landbau und das ´Precision Farming´ als schlagübergreifende Produktionssysteme werden in Unterkapitel 4.5 angesprochen. Es folgt das Unterkapitel 4.6 mit zwei Maßnahmen zur Erhöhung der Denitrifikation im Boden. Diese Maßnahmen bewirken direkte Veränderungen bei Grund- bzw. Oberflächengewässern. Während die vorgenannten Maßnahmen eine Umsetzung auf Einzelflächen bzw. auf Betriebsebene erlauben, bedarf es bei Maßnahmen zur Erhöhung der Denitrifikation betriebsübergreifender, z. T. regionaler Abstimmungen. Das abschließende Kapitel (4.7) beschäftigt sich mit den Möglichkeiten eines überbetrieblichen Wirtschaftsdüngermanagements.

Die folgende Analyse der einzelnen ausgewählten Maßnahmen ist in fünf Abschnitte gegliedert:

a. Definition/kurze Beschreibung

Zunächst werden die typischen Ausgestaltungen der Maßnahmen und ihre ökologischen Hauptwirkungen beschrieben.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Für Maßnahmen, die in Deutschland bereits gefördert werden bzw. wurden, beschreibt dieses Kapitel den Stand der Umsetzung. Dabei werden Unterschiede bei der Ausgestaltung z. B. in Form zusätzlicher oder besonderer Handlungsvorgaben berücksichtigt. In weiten Teilen wurde hier auf die Evaluierungsberichte von Agrarumweltmaßnahmen der einzelnen Bundesländer und Erfahrungen aus freiwilligen Vereinbarungen im Trinkwasserschutz zurückgegriffen.

c. Ökologische Auswirkungen

Die ökologische Wirksamkeit der Maßnahmen ist der Hauptaspekt dieses Berichts. Entsprechend dem Auftrag des WAgriCo-Projekts stehen die Wirkungen auf den Stickstoffhaushalt und deren Einfluss auf die Qualität von Grund- und Oberflächenwasser im Vordergrund. Für jede einzelne Maßnahme erfolgt eine detaillierte Beschreibung zum Wasserschutz mit Informationen über die beteiligten Prozesse sowie fördernde und hindernde Faktoren. Aussagen in diesem Kapitel basieren auf einer breit angelegten Literaturrecherche wissenschaftlicher Veröffentlichungen und Projekt- bzw. Evaluierungsberichten.

Sofern vorhanden, werden Zahlenwerte vorrangig aus Niedersachsen zitiert. Dieses Kapitel enthält zudem Ziel-Wirkungs-Diagramme, die einen Überblick über die Wirkungsweise auf Wasser, Luft, Boden, Biodiversität und Landschaft und, sofern vorhanden, auf die Tiergesundheit gibt. Deren Struktur wurde für die Evaluierung von Agrarumweltpro-

grammen entwickelt (Reiter et al., 2005a) und für die hier vorgestellten Wasserschutzmaßnahmen inhaltlich weiterbearbeitet.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Gegenüber der Wirkungsanalyse einer Maßnahme je Flächeneinheit, die Bestandteil des vorhergehenden Abschnitts ist, gibt die Potenzialabschätzung ein Maß für die mögliche Flächenausdehnung in Abhängigkeit geeigneter Betriebstypen. Wo sachgerecht, werden geeignete Standortverhältnisse benannt. Möglichkeiten die Maßnahme umzusetzen, Rahmenbedingungen und erforderliche Betriebsanpassungen werden unter dem Aspekt technische Umsetzbarkeit angesprochen. Bei allen hier vorgestellten Maßnahmen ist eine praktische Umsetzung möglich, jedoch mit unterschiedlich hohem organisatorischem und finanziellem Aufwand für den Betrieb. Bei hohem technischem Aufwand erleichtern große Betriebsstrukturen oder der Einsatz von Lohnunternehmern deren Umsetzung. Auch die Höhe der Ausgleichszahlungen hat einen deutlichen Einfluss auf die Akzeptanz, dieser Aspekt wird jedoch in einem gesonderten Bericht betrachtet. Die bisherige bzw. die zu erwartende Akzeptanz der Maßnahmen lässt sich anhand von Evaluierungsberichten belegen bzw. abschätzen. Der Informationsstand zu den einzelnen Maßnahmen ist sehr unterschiedlich, da bisher nicht alle hier beschriebenen Maßnahmen als Agrarumweltmaßnahmen angeboten wurden. Aber auch für Maßnahmen, die bereits seit vielen Jahren auf Betrieben praktiziert werden, fanden quantitative Auswertungen entweder nicht vollständig statt oder sie sind nur begrenzt zugänglich und zitierfähig.

e. Kontrollmöglichkeiten

Die einzelnen Maßnahmen werden hinsichtlich ihrer Kontrollfähigkeit, einem wichtigem Kriterium bei der Administrierbarkeit, betrachtet. Ein Hauptziel des Projektes ist es, Maßnahmen zu selektieren und so weiterzuentwickeln, dass sie im Rahmen der Agrarumweltförderung entweder handlungsorientiert oder ergebnisorientiert angeboten werden können (mit Kofinanzierung durch die EU als Bestandteil des EPLR). Hierfür ist gem. ELER-Verordnung (Rat der Europäischen Union, 2005) eine Kontrollierbarkeit der Maßnahme zu gewährleisten und diese muss möglichst kostengünstig durchführbar sein. Der Aspekt der Administrierbarkeit wird zu einem späteren Zeitpunkt genauer betrachtet.

3 Diagnose- und Planungsmethoden zum Düngemanagement

3.1 Wirtschaftsdünger- und Bodenuntersuchungen

a. Definition/kurze Beschreibung

Eine gute Düngeplanung benötigt ein Maximum an Informationen über die Nährstoffe im Betriebsablauf. Dazu gehören neben den absoluten Mengen aller In- und Outputs auch die prozentualen Anteile der verschiedenen Inhaltsstoffe. Entsprechende Angaben für Mine-

raldünger und Ernteprodukte sind im Allgemeinen verfügbar. Teilweise müssen sie aus vergleichbaren Messreihen oder Faustzahlen abgeleitet werden. Allerdings sind die Inhaltsstoffe von Wirtschaftsdünger und Böden sowohl regional als auch zeitlich sehr variabel und sollten deshalb regelmäßig zeitnah vor der Düngeplanung bzw. Düngung erfasst werden. Bei einer labortechnischen Untersuchung werden die Proben auf verschiedene Inhaltsstoffe analysiert, die den Anteil und die Verfügbarkeit der darin enthaltenen Pflanzennährstoffe beschreiben. Alternativ kann auch eine einfache Quantofix-Messung (nur NH_4 im Wirtschaftsdünger) durchgeführt werden.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Bei der Teilnahme an Maßnahmen zur umweltfreundlichen Gülleausbringung (z. B. NAU-A3) ist eine jährliche Wirtschaftsdüngeruntersuchung Pflicht, ebenso beim Transfer organischer Dünger von einem Betrieb auf einen anderen (Lieferschein mit Angabe der Inhaltsstoffe).

c. Ökologische Auswirkungen

Durch die größere Sicherheit infolge einer Düngeplanung kann Mineraldünger eingespart werden und dementsprechend sinkt der Bilanzüberschuss.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Das Verbesserungspotenzial durch Nährstoffuntersuchungen hängt von der Unsicherheit bei der Düngeplanung ab. Ist die mögliche Spannweite groß, so ist auch das Einsparpotenzial hoch.

Die technische Umsetzbarkeit ist gut, da die Beprobung und Analyse standardisiert und zunehmend auch professionalisiert sind.

Die Akzeptanz zur Durchführung von Boden- und Wirtschaftsdüngeranalysen ist mit viel Überzeugungsarbeit und einer z. T. 100 % Übernahme der Analysekosten (z. B. Wasserschutzkooperation in Niedersachsen und im Ruhreinzugsgebiet) verbunden.

e. Kontrollmöglichkeiten

Eine Kontrolle kann anhand der Laborprotokolle einfach und effizient stattfinden.

3.2 Düngeplanung

a. Definition/kurze Beschreibung

Eine Düngeplanung zeigt vor und während eines Wirtschaftsjahres die N-Situation auf Einzelschlägen (Flächenbilanz) und wird eventuell durch eine Hoftor- und Stallbilanz er-

gänzt. Der Entwurf geht von einem Ertragsziel aus, das mit geeigneten Düngemaßnahmen unter Berücksichtigung des vorhandenen Stickstoffs im Boden und dem Mineralisationspotenzial während der Wachstumsphase erreicht werden kann. In der Vegetationsperiode können die Vorgaben entsprechend weiterer Informationen aus Düngefenstern, Nitrachek-Messung, SPAD-Chlorophyllmeter und N-Sensor korrigiert werden.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Die Düngeplanung ist ein anerkanntes Instrument zur optimalen Bestandesführung und wird entsprechend häufig eingesetzt. Oft ist es eine flankierende Maßnahme im Rahmen eines Agrarumwelt- bzw. Kooperationsprogramms und gilt als fester Bestandteil der betriebsspezifischen Beratung oder auch der Weiterbildung.

c. Ökologische Auswirkungen

Diese Maßnahme ist in jedem Fall sehr positiv zu bewerten, wenngleich die positive Wirkung einer Düngeplanung auf die Gewässerqualität sehr stark von der Ausgangssituation abhängt.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Das Minderungspotenzial der N-Salden durch eine Düngeplanung ist vom Ausgangsniveau abhängig, das erfahrungsgemäß sehr variabel ist. Mithilfe entsprechender EDV kann eine Planung sehr schnell und einfach durchgeführt werden, vorausgesetzt die Input-Daten sind bekannt. Die meisten Betriebsleiter führen -teilweise mithilfe von Beratern- eine Düngeplanung durch, wobei im Allgemeinen die Akzeptanz dieser Maßnahme mit zunehmender Beratungsintensität und Betriebsgröße ansteigt.

e. Kontrollmöglichkeiten

Eine Kontrolle erfolgt über die Dokumentation von Düngeplanung und Durchführung.

4 Technische Maßnahmen zur Reduzierung negativer Umweltwirkungen auf die Qualität des Grundwassers und der Oberflächengewässer

4.1 Maßnahmen zur Reduzierung der N-Auswaschung

Hierzu gehören alle Maßnahmen zur Begrünung von Schwarzbrachephasen. Durch eine Verkürzung der Zeiten ohne bzw. unzureichender Pflanzenbedeckung wird die Gefahr des N-Austrags in tiefere Bodenschichten reduziert. Von Bedeutung sind sowohl die Auswaschung im Herbst/Winter sowie die Frühjahrsauswaschung, die vor allem auf leichten Standorten zu hohen N-Auswaschungsverlusten führen können. Ziel ist es, den nach der

Ernte der Vorfrucht noch vorhandenen Stickstoff in der Pflanzenmasse/ im Oberboden zu konservieren und so für die folgende Hauptfrucht verfügbar zu halten. Hohe N_{min}-Werte im Herbst weisen auf ein hohes Auswaschungsrisiko hin.

4.1.1 Zwischenfruchtanbau

a. Definition/kurze Beschreibung

Der Anbau von Zwischenfrüchten erfolgt in Abhängigkeit von der gewählten Pflanzenart als Gründüngung oder zur Futterproduktion entweder als Sommer- oder als Winterzwischenfrucht. Die Wahl der geeigneten Zwischenfrüchte ist abhängig von Standort, Fruchtfolge und Einsatz zu Futterzwecken bzw. zur Gründüngung. Als Zwischenfrüchte haben sich Phacelia und Senf, ganz besonders Ölrettich bewährt. Sie bilden sehr rasch nach der Einsaat einen dichten Pflanzenbestand und unterdrücken somit wirksam die Entwicklung von Unkräutern. Des Weiteren dienen sie zur biologischen Nemathodenbekämpfung, z. B. innerhalb von Zuckerrübenfruchtfolgen. Der Anbau von Zwischenfrüchten zur Futternutzung hat angesichts rückläufiger Viehbestände bei gleichzeitig hohen Anforderungen an die Futterqualität weitgehend an Bedeutung verloren. Aus ökologischen Gründen kommt dem Zwischenfruchtanbau jedoch ein sehr hoher Stellenwert zu. So können durch Zwischenfrüchte Schwarzbrachephasen zwischen Winter- und Sommerfrüchten überbrückt werden. Dies schützt den Boden vor Wind- und Wassererosion und sorgt für eine Strukturverbesserung. Dies gilt für die Zwischenfrüchte selbst bzw. die als Mulch verbleibenden Zwischenfruchtreste. Gleichzeitig reduziert eine aufwachsende Zwischenfrucht durch ihre Nährstoffaufnahme und -bindung den Austrag von z. B. Nitratstickstoff in tiefere Bodenschichten. Damit stehen heute beim Zwischenfruchtanbau die erhöhte biologische Aktivität, die Strukturverbesserung, die Erreichung der nutzbaren Feldkapazität, die Minimierung der Nährstoffverluste (Nitratauswaschung) und der Erosionsschutz im Vordergrund.

Nach der Ernte der Hauptfrucht im Sommer erfolgt die Aussaat der Zwischenfrucht möglichst früh (spätestens Anfang September), um eine ausreichende Entwicklung und N-Aufnahme vor dem Winter zu gewährleisten. So können die Zwischenfrüchte den im Boden verfügbaren mineralischen Stickstoff nutzen und effizient vor der Auswaschung im Winter schützen. Um eine zügige Jugendentwicklung der Pflanzen zu gewährleisten ist eine Andüngung mit 40 und bei Futternutzung bis maximal 80 kg N/ha möglich. Diese Düngemenge muss allerdings bei der Düngung der folgenden Hauptfrucht bzw. Fruchtfolge berücksichtigt werden.

Um eine möglichst effiziente Minderung der N-Auswaschung über Winter zu erreichen, ist eine Einarbeitung der Zwischenfrucht erst kurz vor Bestellung der Folgefrucht wichtig, insbesondere wenn eine Sommerung mit spätem Bestandesschluss wie z. B. Zuckerrüben

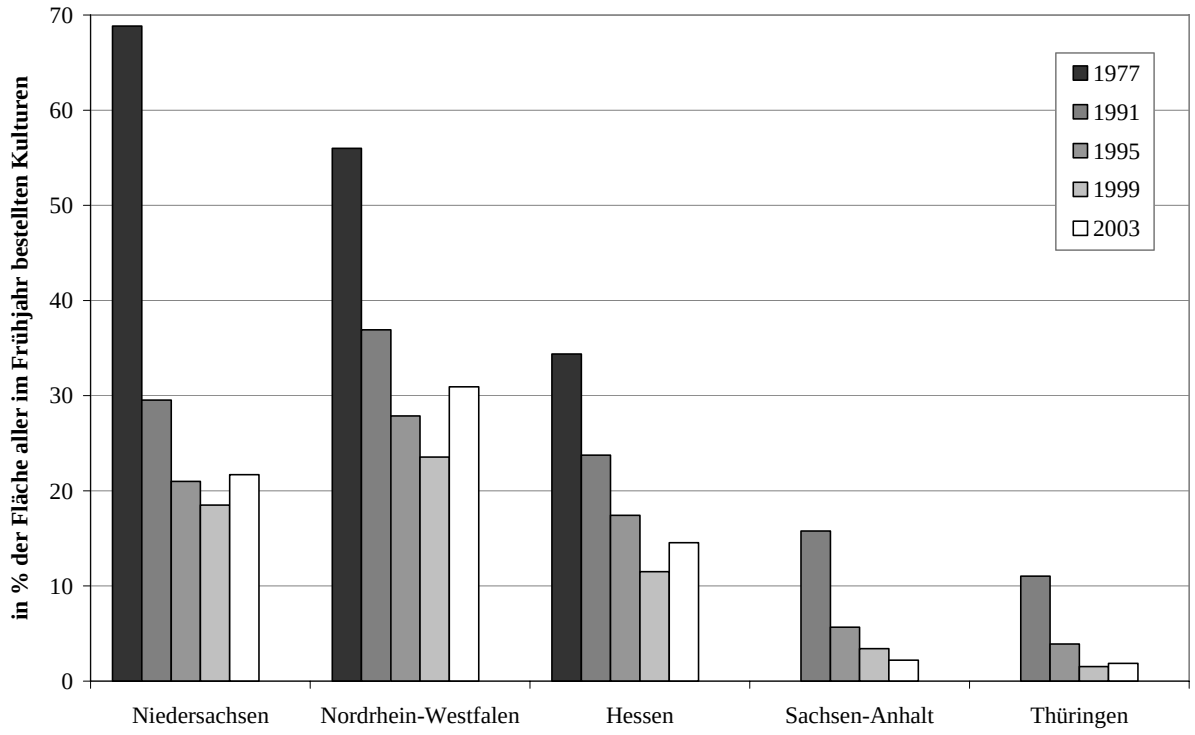
oder Mais folgt. Diese sollte dann nicht vor Mitte Februar, sondern eher später kurz vor der Aussaat der Sommerung, erfolgen. So kann eine vorzeitige Mineralisierung von Ernterückständen und organisch gebundenem Stickstoff im Boden vermieden werden, wenn noch keine Folgefrucht wächst, die diesen mineralischen Stickstoff aufnehmen könnte.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Der Umfang des Zwischenfruchtanbaus und der Anteil der Zwischenfruchtfläche an der Ackerfläche mit im Frühjahr bestellten Kulturen betrug 2003 in Niedersachsen 158.514 ha (21,7 %), in Nordrhein-Westfalen 119.912 ha (30,9 %), in Hessen 18.287 ha (14,6 %), in Sachsen-Anhalt 5.473 ha (2,2 %) und in Thüringen 3.199 ha (1,9 %).

Die Entwicklung des Anteils an Zwischenfruchtfläche an der Ackerfläche mit im Frühjahr bestellten Kulturen in den entsprechenden Bundesländern zeigt Abbildung 1.

Abbildung 1: Anteil der Zwischenfruchtfläche an der Ackerfläche mit im Frühjahr bestellten Kulturen (Jahre 1977, 1991, 1995, 1999, 2003)



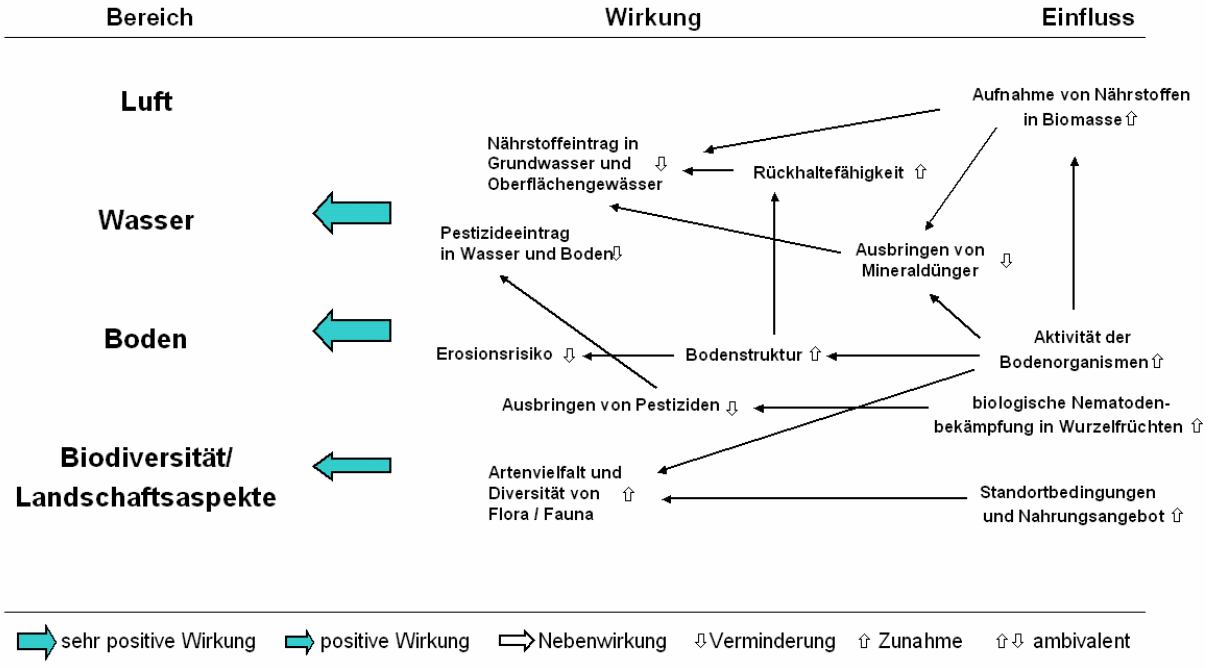
Quelle: Statistisches Bundesamt, 2003.

c. Ökologische Auswirkungen

Während das N-Saldo durch den Anbau von Zwischenfrüchten (außer bei Futternutzung und in Kombination mit anderen Maßnahmen) nicht vermindert wird, sondern im Fall einer N-Startgabe im Herbst um diese Menge sogar erhöht wird, kann der Zwischenfrucht-

bau bei optimaler Entwicklung und Frühjahrsumbruch die N_{min}-Menge im Herbst um 30 bis 100 kg N/ha vermindern (Eichler et al., 2004; Martinez und Guiraud, 1990; Sörensen, 1992; Thorup-Kristensen, 2001). Eine Verminderung der N-Austräge im Winterhalbjahr um 10 bis 50 kg N/ha ist möglich (Catt et al., 1998; Garwood et al., 1999; Hösch, J. und Dersch, G., 2003; Jonczyk, 2004; Shepherd, 1999; Shepherd und Webb, 1999; Stauffer, W. und Spiess, E., 2001; Thomsen, 2005; Vos und Putten, 2004). Die Landwirtschaftskammer Hannover (ehem. Weser Ems, LWK Weser-Ems, 2005), untersuchte Standorte mit erhöhter N-Nachlieferung. Dabei schwankten die Herbst-N_{min}-Werte im Boden bei grundwasserschutzorientierter Fruchtfolge mit Untersaaten und Zwischenfruchtanbau im auswaschungsgefährdeten Zeitraum von Oktober bis März zwischen 15 und 50 kg N/ha. Standortübliche Fruchtfolgen lagen deutlich darüber. Darüber hinaus entscheidet die Wahl der Zwischenfrucht über den erreichbaren Effekt. Miegel und Zachow (2002) ermittelten die höchsten N-Entzüge und somit die geringsten Nährstoffverluste bei Ölrettich, Raphanobrassica, Seradella, Phacelia und Senf.

Abbildung 2: Ziel-Wirkungsdiagramm - Zwischenfrüchte und Untersaaten



Quelle: Reiter et al., 2005a, verändert.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Der Anbau von Zwischenfrüchten ist auf Flächen begrenzt, auf denen im Folgejahr eine Sommerung angebaut wird. Lediglich beim Anbau von Sommerzwischenfrüchten erfolgt bereits im Herbst die Einsaat der folgenden Hauptfrucht (nur im Süden Deutschlands flächenmäßig von Bedeutung). Im Jahr 2003 lag der Anteil von Zwischenfruchtanbau auf diesen Flächen zwischen knapp 2 % (Thüringen) und knapp 31 % (Nordrhein-Westfalen),

mit einer deutlichen Abnahme des Anbauumfangs im Vergleich zu 1977 bzw. 1991. Die Anbauwürdigkeit von Zwischenfrüchten besteht aber nicht in allen Gebieten in gleicher Weise. Da der Zwischenfruchtanbau ein ausreichendes Wasserangebot im Herbst voraussetzt, lässt sich die Maßnahme in Gebieten mit unzureichender Niederschlagsmenge, wie in Sachsen-Anhalt und Thüringen, praktisch nur bedingt umsetzen.

Soweit die zusätzlichen Kosten für Saatgut etc. ihm Rahmen eines Förderprogramms erstattet werden, ist die Akzeptanz auf der Seite der Landwirte sehr gut. Durch das Auftreten von Arbeitsspitzen im Spätsommer/Frühherbst erfolgt die Aussaat der Zwischenfrüchte nicht immer zum optimalen Zeitpunkt direkt nach der Ernte der Vorfrucht.

e. Kontrollmöglichkeiten

Eine Kontrolle des Zwischenfruchtanbaus ist auf dem Feld möglich. Eingeschränkt können Kaufbelege von Saatgut für den Zwischenfruchtanbau für die Kontrolle herangezogen werden.

4.1.2 Untersaaten

a. Definition/kurze Beschreibung

Im Vergleich zu den Zwischenfrüchten, die nach der Ernte der Hauptfrucht etabliert werden, werden Untersaaten entweder mit der Hauptfrucht oder während der Wachstumsphase der Hauptfrucht ausgesät. Somit ist bereits zur Ernte der Hauptfrucht eine Bodenbedeckung gewährleistet und die Wuchsphase ist gegenüber dem Zwischenfruchtanbau verlängert. Um eine zusätzliche Nährstoffanreicherung im Boden zu vermeiden, werden für den Wasserschutz leguminosenfreie Untersaaten verwendet.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Der Anbau von Untersaaten wird in den meisten Bundesländern nicht einzeln ausgewiesen, sondern ist im Anbauumfang der Zwischenfrüchte enthalten. In der Regel ist der Anbauumfang von Untersaaten aber recht gering, z. B. hatte er 2005 im Gebiet der NLWKN-Betriebsstelle Lüneburg einen Flächenanteil von knapp 2 % an der gesamten geförderten Fläche.

c. Ökologische Auswirkungen

Ähnlich wie bei den Zwischenfrüchten führt auch der Anbau von Untersaaten kaum zu einer Verminderung des N-Saldos. Durch die Speicherung von Stickstoff in Pflanzenmasse können die Herbst-N_{min}-Werte um 20 bis 50 kg N/ha vermindert werden (Alvenäs und Marstorp, 1993; Lüttmann und Müller, 1994; Ott und Taube, 1995; Wallgren und Linden, 1994), eine Verminderung der N-Austräge um 5 bis 40 kg N/ha ist möglich (Alvenäs und

Marstorp, 1993; Aronsson und Torstensson, 1998; Askegaard et al., 2005; Bergström und Jokela, 2001; Hansen und Djurhuus, 1997; Lewan, 1994; Sjödahl-Svensson et al., 1994; Thomsen und Christensen, 1999; Torstensson und Aronsson, 2000).

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Untersaaten stellen im Vergleich zu Zwischenfrüchten höhere Anforderungen an die pflanzenbaulichen Kenntnisse der Landwirte, da gleichzeitig hohe Erträge der Hauptfrüchte und eine gute Etablierung der Untersaaten realisiert werden müssen. Bei zu stark entwickelten Untersaaten kann es zu Beeinträchtigungen in der Entwicklung der Deckfrüchte kommen, auch Wasserkonkurrenz zwischen Untersaat und Deckfrucht, die zu Ertragsminderungen führen kann, wird in trockenen Jahren befürchtet. Umgekehrt können stark entwickelte Deckfrüchte, z. B. Energiemais, die Untersaat gefährden. Zumeist sind auch Anpassungen im Pflanzenschutz erforderlich, was die Umsetzung erschwert.

e. Kontrollmöglichkeiten

Eine Kontrolle des Anbaus von Untersaaten ist direkt auf dem Feld oder eingeschränkt über Kaufbelege von Saatgut möglich.

4.1.3 Fruchtfolgeanpassungen und veränderte Anbauweise

a. Definition/kurze Beschreibung

Anpassungen bei der Fruchtfolge, die dem Gewässerschutz dienen, können entweder durch Fruchtartendiversifizierung (Wahl der Früchte) oder über einen verbesserten Wechsel einzelner Kulturarten (Fruchtstellung) erreicht werden. Geeignet sind Kulturen, die mit geringeren Düngegaben auskommen und/oder die im Boden von der Vorfrucht übrig gebliebenen Nährstoffe in einem möglichst großen Umfang in Pflanzenmasse binden. Ersetzen Extensivfrüchte wie der Roggen oder die Winterbraugerste Kulturen mit höherem Düngebedarf und/oder kürzerer Entwicklungszeit wie den Weizen oder die Sommergerste, so kann hierdurch die Gefahr einer N-Auswaschung reduziert werden. Beim Roggen wirken sich die im Verhältnis zum Weizen geringere Düngeintensität sowie das Ausbleiben einer Kopfdüngung positiv aus. Aufgrund des geringeren Nährstoffbedarfs haben die Landsorten gegenüber den Hybridsorten hinsichtlich des Wasserschutzes einen Vorteil. Die Winterbraugerste hat gegenüber der Sommerform den Vorteil, dass noch im Herbst Nährstoffe dem Boden entzogen werden. Zudem ist bei Verwendung als Braugerste insgesamt die Düngeintensität geringer.

Auch durch eine veränderte Anbauweise kann die Aufnahme der im Boden vorhandenen Nährstoffe verbessert und somit die Gefahr der N-Auswaschung reduziert werden. Bei der Maisengsaat, wo die Einzelpflanzen gleichmäßiger über die Fläche verteilt sind, kann ein früherer Bestandesschluss erreicht werden. Im Idealfall haben die Pflanzen untereinander

und zur Nachbarreihe den gleichen Abstand zueinander (Quadratsaat), im Gegensatz zur konventionellen Reihensaat.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

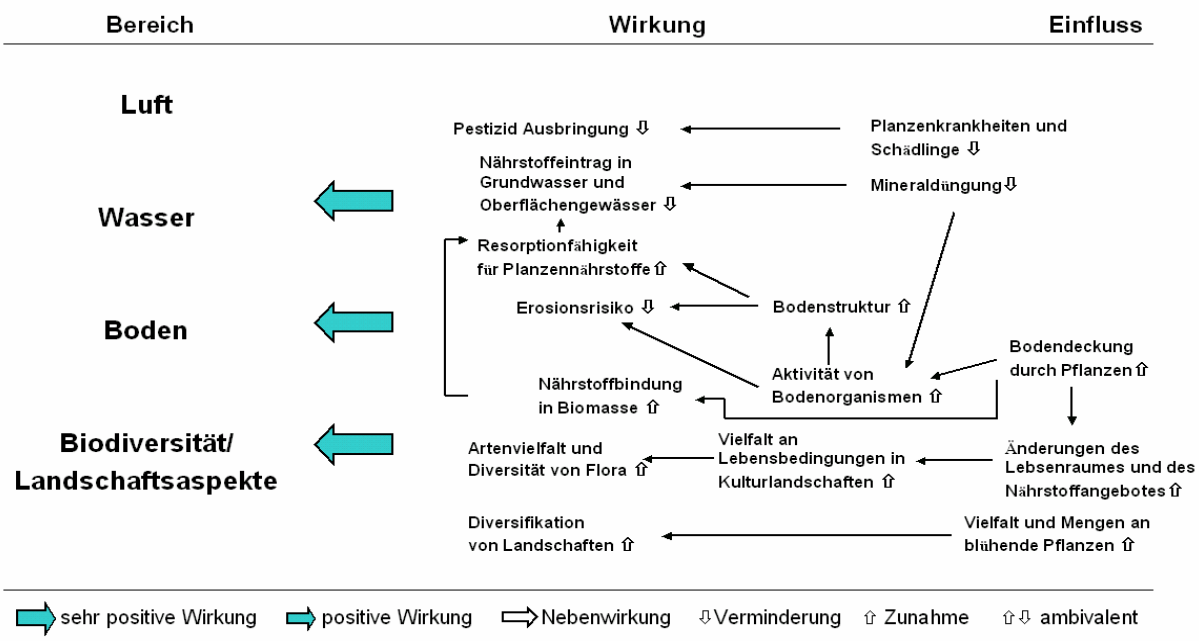
In Trinkwasserschutzgebieten wird im Rahmen von freiwilligen Vereinbarungen der Anbau so genannter Extensivfrüchte untersützt. Eine Fruchtfolgediversifizierung wird in NRW als AUM „vielfältige Fruchtfolge“ gefördert, in 2004 waren es knapp 25.000 ha (2,85 % der Ackerfläche in NRW). Voraussetzung ist der Anbau von mindestens fünf verschiedenen Hauptfruchtarten, darunter mindestens eine Leguminosenart (mindestens 7 % der Ackerfläche). Für den Wasserschutz kritisch ist die Pflicht des Leguminosenanbaus. In Niedersachsen wurde die Maisengsaat in einigen Demonstrations- und Feldversuchen untersucht und konnte in einigen Regionen auch in der Praxis etabliert werden.

c. Ökologische Auswirkungen

Eine erweiterte Fruchtfolge wirkt sich positiv auf Pflanzen- und Bodengesundheit aus. Der Anbau von Extensivfruchtarten verlangt insgesamt weniger Düngereinsatz und bietet somit ein geringeres potenzielles Auswaschungsrisiko.

Versuche von Maisengsaat bestätigen einen früheren Bestandesschluss, weniger Bodenerosion und geringere Wasserverdunstung. Eine Reduzierung der Maisreihenweiten führte bei Versuchen der LWK zu einem Anstieg der Ertragswirksamkeit der N-Düngung. Durch Maisengsaat konnten Extrema bei der Auswaschung bei hohem Düngungsniveau vermieden werden. Hier wirkt sich die gleichmäßigere Durchwurzelung des Bodens positiv aus. Rieckmann und Möbius (2003a) beschreiben Versuchsergebnisse von 2 verschiedenen Standorten, die bei Engsaat im Mittel um 6 bzw. 11 kg N/ha geringere Restnitratwerte im Boden enthielten als bei normalen Reihenweiten. Testreihen aus Thüringen zeigen Unterschiede in den N_{min}-Gehalten des Bodens nach der Silomaisernte in 0 – 60 cm Tiefe von 17 bis 44 kg N/ha, wobei hohe Werte aus einem besonders ungünstigen Witterungsverlauf resultieren (TLL, 1998). Maisengsaat trägt somit zur Risikominderung bei (LWK Niedersachsen, 2003).

Abbildung 3: Ziel-Wirkungsdiagramm - Fruchtfolgeanpassungen



Quelle: Reiter et al., 2005a, verändert.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Das Flächenpotenzial zur Fruchtfolgediversifizierung und extensiveren Getreidebauverfahren ist besonders in intensiven Ackerbauregionen sehr groß. Die technische Umsetzbarkeit stellt kein Problem dar, weil der notwendige Maschinenpark i. A. vorhanden ist. Jedoch sind die Erweiterung der Fruchtfolgen und der Anbau von Extensivkulturen oft mit Ertrags- und Gewinneinbußen verbunden, insbesondere wenn zusätzliche Kulturen angebaut werden, für deren Anbau zusätzliches Fachwissen erst noch erworben werden muss, so dass die Betriebe nur bei ausreichender Kompensation bereit sind, ihren Anbau entsprechend zu ändern.

e. Kontrollmöglichkeiten

Eine visuelle Vor-Ort-Kontrolle gewährleistet eine ordnungsgemäße Durchführung der Maßnahme.

4.2 Maßnahmen zur Reduzierung des N-Überschusses

Eine bedarfsgerechte Düngung mit dem Ziel eines nahezu ausgeglichenen Brutto-N-Saldos ist durch eine Reihe von Maßnahmen auf dem Acker, ergänzt durch Maßnahmen auf Grünland und im Stall erreichbar. Diese betreffen sowohl die Düngungspraktiken mit Mineraldünger als auch mit Wirtschaftsdünger. Bei Verwendung von organischem Dünger gilt es,

diesen so einzusetzen, dass eine hohe Düngewirkung erzielt wird. Durch einen hohen Ausnutzungsgrad des Wirtschaftsdüngers bei entsprechender Reduzierung des Mineraldüngereinsatzes lassen sich N-Überschüsse deutlich reduzieren, wenn auch nicht komplett vermeiden.

4.2.1 Zeitpunkt der Düngerausbringung (mineralisch, organisch)

a. Definition/kurze Beschreibung

Für eine gute Stickstoffverwertung muss die N-Verfügbarkeit optimal auf den Bedarf abgestimmt sein. Der Zeitpunkt der Düngergabe ist in Kombination von Applikationsmenge, Pflanzenstadium und Witterungsverlauf entscheidend für den Verbleib der Nährstoffe. Eine zeitliche Verschiebung der Düngung (Vermeidung einer Herbstdüngung oder durch Aufteilung in mehrere Einzelgaben) ermöglicht eine bedarfsgerechtere Düngung und erlaubt eine Reduzierung der ausgebrachten Düngemenge. Durch die Verkürzung des Zeitpunktes zwischen Nährstoffgabe und Aufnahme werden die Nährstoffausnutzung verbessert und die Umweltbelastung verringert. Die Ausbringung weit vor dem Bedarf, z. B. Gülledüngung im Spätherbst, kann dagegen zu großen Auswaschungsverlusten führen. Das Unterlassen einer Stickstoffgabe zur Strohrotte trägt ebenfalls zur Reduzierung des N-Überschusses bei.

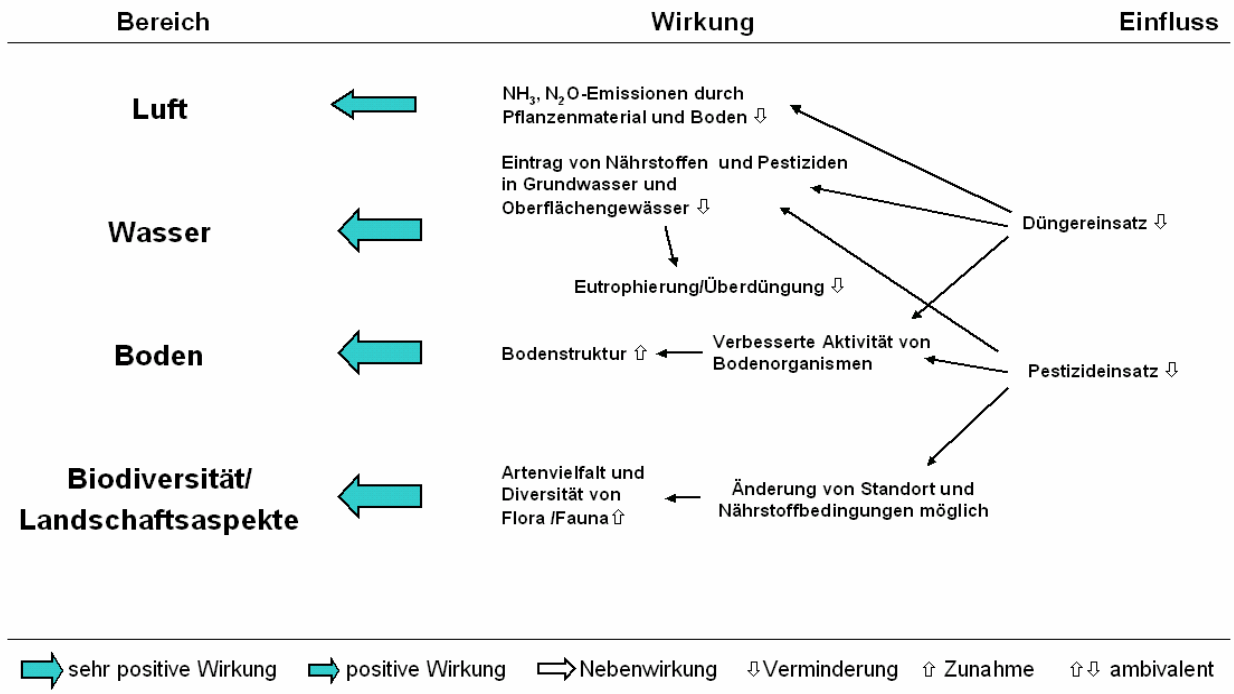
b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Die bekannten Maßnahmen schränken die Herbstdüngung mit Wirtschaftsdünger ein und fordern somit insbesondere ein verbessertes Güllemanagement mit einer bedarfsnahen Ausbringung während der Vegetationszeit, was ausreichende Lagerkapazitäten und entsprechende Techniken voraussetzt. Letztere wurden in der Vergangenheit in Niedersachsen u. a. im Rahmen der Investitionsförderung oder bei Stallneubauten gefördert.

c. Ökologische Wirkungen

Auf auswaschungsgefährdeten Standorten entscheiden der Zeitpunkt der Wirtschaftsdüngerausbringung und der Pflanzenbestand über die Höhe der Auswaschungsverluste (Chambers et al., 2000). Die Verluste sind im September und Oktober nahe 20 % des applizierten Gesamtstickstoffs von Gülle und Geflügeltrockenkot. Festmist liegt bei ca. 5-10 %. Die Auswaschungsverluste im Januar sind nahe Null. Bei Gülleausbringung auf Grünland im September kann noch ein Teil des verfügbaren N von den Pflanzen aufgenommen werden, dadurch ist die Auswaschungsgefahr bei einer Herbstdüngung auf Grünland geringer als auf Ackerland.

Abbildung 4: Ziel-Wirkungsdiagramm - Zeitpunkt der Ausbringung von Wirtschaftsdünger, Zeitpunkt der Mineraldüngung



Quelle: Eigene Darstellung.

In einem Feldversuch mit ^{15}N-markierter Rindergülle weisen Goerges et al. (1997) aus, dass große Teile der im Herbst ausgebrachten Gülle ausgewaschen werden (ca. 40 kg N/ha) und nur geringe Mengen nutzbar sind (ca. 10 %), während die Frühjahrsgülle zu knapp 40 % im ersten Jahr genutzt wird.

Analoge Ergebnisse wiesen Smith et al. (2002) im Grasanbau nach und zeigten eine Steigerung der N-Aufnahme von knapp 20 % bei Applikation im Juni bis zu über 30 % bei der Gülleausbringung im Januar.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Bei dieser Maßnahme wird die Teilnahmebereitschaft ganz entscheidend von der aktuellen Betriebssituation beeinflusst. Durch eine Verkürzung der Ausbringungszeit, insbesondere wenn darüber hinaus die Ausbringung von Wirtschaftsdünger bei bestimmten Fruchtfolgegliedern nicht mehr zulässig ist, wird die Ausbringungsmenge im Herbst deutlich eingeschränkt. Dies erfordert eine Anpassungsstrategie der Betriebe. Es werden zusätzliche Lagerkapazitäten über Winter benötigt, die teilweise nicht vorhanden sind. Dies macht entweder eine Verbringung in außerbetriebliche Lager oder die Schaffung eigener zusätzlicher innerbetrieblicher Lagerkapazität erforderlich. Die Schaffung von zusätzlichen Lagerkapazitäten erfordert Investitionen, die durch die Förderung ausgeglichen werden müssen, sofern die Anforderungen über die Gute fachliche Praxis hinausgehen. Bei Ausbrin-

gung im Frühjahr in wachsende Bestände wird darüber hinaus eine aufwendige Ausbringtechnik (Schleppschlauch, Schleppschuh, Schlitzinjektion) benötigt. Wenn im Herbst der Wirtschaftsdünger durch Mineraldünger substituiert wird, kann es zu einem betrieblichen Überschuss an Wirtschaftsdünger kommen, der Anpassungsreaktionen z. B. in Form von Zupacht neuer Flächen oder den Einsatz von RAM-Futter erforderlich machen kann (LWK Niedersachsen, 2006).

e. Kontrollmöglichkeiten

Die Kontrolle von Lagerkapazität und Ausbringtechnik gibt Auskunft über die Möglichkeiten, die ein Betriebsleiter beim Düngermanagement von Wirtschaftsdüngern hat. Rechnungen von Lohnunternehmern, Düngeplan und Aufzeichnungen (Schlagkartei) geben Auskunft über Ausbringungszeitpunkte.

4.2.2 Technik der Düngeausbringung

a. Definition/kurze Beschreibung

Sowohl die Ausbringungstechnik für mineralische als auch für organische Düngemittel hat sich hinsichtlich ihrer Präzision in den letzten Jahren deutlich verbessert. Bei den Mineraldüngern stehen bei der Weiterentwicklung der Streuer die Erreichung eines gleichmäßigen Streubildes auf der Fläche und die möglichst flächenscharfe Begrenzung der Ausbringung, z. B. entlang von Gewässern und Wegen, im Vordergrund. Gleichzeitig bietet die neue Technik immer größere Arbeitsbreiten bei gleich bleibend guter Ausbringungsqualität. Für Reihenkulturen bietet sich die Unterfußdüngung an. Dabei wird der Dünger direkt unter die Pflanzen gelegt (platziert), wodurch der Weg zur Aufnahme durch die Pflanzen verkürzt wird. Die Ausbringungstechnik für organische Düngemittel wurde ebenfalls dahingehend verbessert, dass die Nährstoffe gleichmäßiger auf der Fläche verteilt werden. Beim Festmist bieten die Exaktmiststreuer diesbezüglich eine hohe Sicherheit, da sie eine gesteuerte Zufuhr zum Verteiler erlauben. Die verbesserte Technik für die Ausbringung von Gülle und Jauche bietet ebenfalls die Möglichkeit einer bodennahen Ausbringung. Doch während bei der Gülleausbringung mit den bisher noch dominierenden Pralltellern (künftig ausschließlich mit Abstrahlung nach unten) eine breitflächige, möglichst gleichmäßige Verteilung auf der Fläche erreicht wird, dienen die Schlepp-, Schlitz- und Injektionstechnik dazu, die Nährstoffe punkt- bzw. bandgenau entweder direkt auf der Bodenoberfläche oder sogar in den Oberboden hinein auszubringen. Während die Schleppschlauchtechnik am weitesten verbreitet ist und v. a. im Ackerbau verwendet wird, findet die Schleppschuhtechnik insbesondere auf Grünland Anwendung. Bei der Schleppschuhtechnik treten pro Schlauch geringere Güllemengen aus, außerdem wird die Grünlandnarbe unmittelbar vor der Gülleablage mit Hilfe einer Kufe oder Scheibe flach angeritzt.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

In Niedersachsen wird über das Agrarumweltprogramm NAU A3 der Einsatz von Schleppschlauch-, Schleppschuh- und Schlitztechnik gefördert, sofern Fremdtechnik zum Einsatz kommt. Als Modulationsmaßnahme wurde die umweltfreundliche Gülletechnik erstmals in 2004 angeboten: Es wurden knapp 1.300 Betriebe mit 173.000 GVE gefördert. Fördergegenstand war die Ausbringung der Gülle von rund 5,6 % der in Niedersachsen gehaltenen GVE. Von den Teilnehmern waren 65 % Schweinehalter, rund ein Drittel der Betriebe halten Rinder (Reiter et al., 2005a). In 2006 wurde diese Maßnahme für weitere Teilnehmer angeboten. Dominierende Technik ist die Schleppschlauchtechnik. Daneben wurden sowohl die Technik selbst als auch die Ausbringung mit Exaktmiststreuer und verbesserter Gülletechnik im Rahmen der freiwilligen Trinkwasserschutzvereinbarungen gefördert.

In einem Praxisversuch wurde in Niedersachsen der Einsatz von Schleppschlauchtechnik für die Unterfußdüngung von Mais getestet. Dabei wird vor der Aussaat des Maises die Gülle mit Hilfe eines Schleppschlauchverteilers möglichst exakt in einem schmalen Band im Abstand der späteren Maisreihen von 75 cm abgelegt, hierfür werden jeweils mehrere Schleppschläuche zusammengebunden. Dieses Verfahren hat das Ziel, den Nährstoffbedarf der Maispflanzen möglichst komplett über Gülle abzudecken.

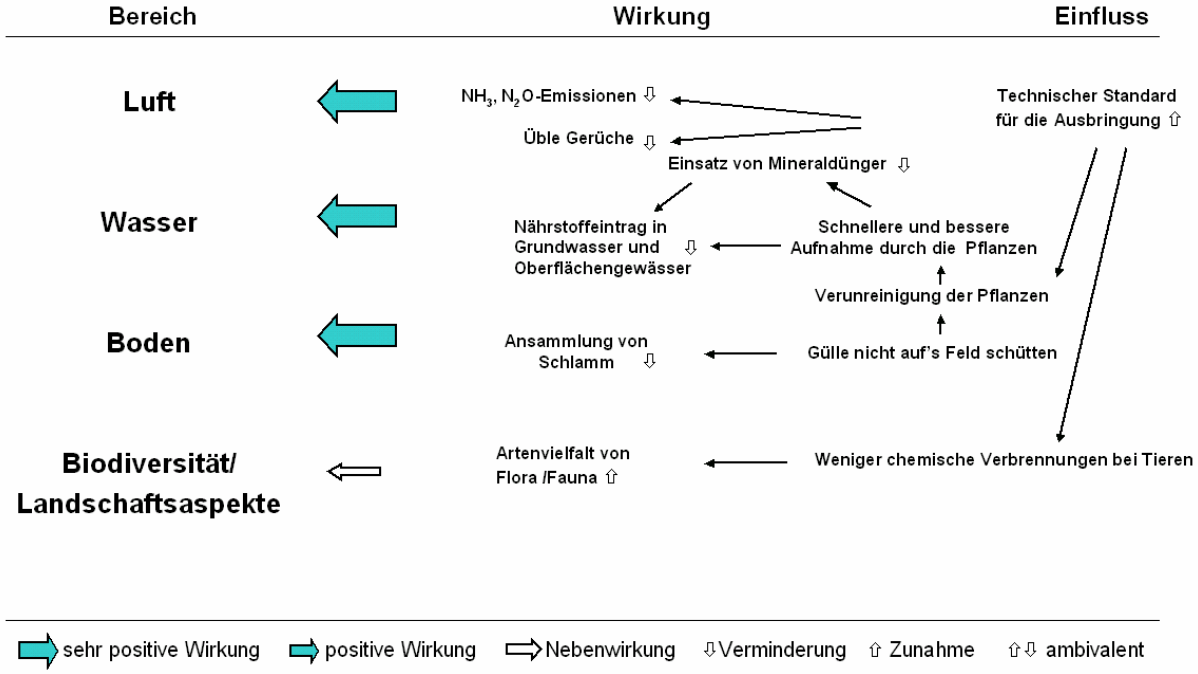
c. Ökologische Auswirkungen

Durch die verbesserte Technik bei der Düngerausbringung kann eine bessere N-Effizienz erreicht werden. Dies setzt jedoch voraus, dass bedarfsgerecht gedüngt wird und die bessere Düngewirkung bei gleichmäßiger/bodennaher Ausbringung berücksichtigt wird. Über- bzw. Unterversorgung innerhalb eines Schlages durch ungleichmäßige Düngeausbringung können vermieden werden. Gleichzeitig ermöglicht die neue Technik für Mineraldüngung eine genaue Steuerung der Düngemenge innerhalb heterogener Schläge (vgl. Kap. 4.5.2). Dem Schutz der Oberflächengewässer dient die Möglichkeit, das Streubild beim Grenzstreuen so zu verändern, dass anstelle einer trapez- bzw. keilförmigen Ausbringung mit gewünschtem Überlappungseffekt auf dem Feld, die Düngeausbringung einseitig flächenscharf begrenzt werden kann. Negativ wirkt sich die Verwendung von ungleichmäßig kalibriertem Dünger aus.

Die Mistausbringung mit Exaktmiststreuer verhindert, dass der Mist lokal zu dick ausgebracht wird, wodurch schlimmstenfalls Pflanzen vollständig abgedeckt werden und es zu Narbenschäden kommt. Die Nährstoffaufnahme unterbleibt bzw. ist gerade an den Stellen mit besonders hohem Angebot stark eingeschränkt. Insbesondere bei Mist mit hohen Nährstoffgehalten und einer schnellen Verfügbarkeit wie z. B. Geflügeltrockenkot können durch Ausbringung mit verbesserter Technik die Auswaschungsgefahr deutlich reduziert und die Nährstoffausnutzung verbessert werden.

Durch verbesserte Gülleausbringungstechnik lassen sich die Düngergaben zeitlich und räumlich dem Nährstoffbedarf der Pflanzen besser anpassen. Schleppschlauch-, Schleppschuh- und Schlitztechnik erlauben die Ausbringung von Gülle in wachsende Bestände, insbesondere bei Ackerkulturen kann auf diese Weise Mineraldünger eingespart werden (Kowalewsky, 2004b). Darüber hinaus wird die Verschmutzung der Pflanzen auf ein Minimum beschränkt und die Pflanzen werden in ihrem Wachstum nicht beeinträchtigt. Eine bodennahe Ausbringung, v. a. aber die direkte Einbringung in den Oberboden, hat zudem den Vorteil, dass die Nährstoffverluste über die Luft begrenzt werden. Dadurch kann indirekt die N-Deposition in anderen Ökosystemen und die damit einhergehende Bodenversauerung reduziert werden. Die höhere Düngewirksamkeit ist durch eine entsprechende Reduzierung der Ausbringungsmenge zu berücksichtigen, nur dann lassen sich durch verbesserte Technik N-Überschüsse reduzieren. Laut LUFA Oldenburg können auf Grünland Mineraldüngereinsparungen von 10 kg N/ha bei Einsatz von Schleppschuhtechnik realisiert werden (Kowalewsky und Müller, 1994).

Abbildung 5: Ziel-Wirkungsdiagramm - Verbesserte Techniken für organische Düngerausbringung



Quelle: Reiter et al., 2005a, verändert.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Die technischen Möglichkeiten für eine exakte Quer- und Längsverteilung des Mineraldüngers und die Vermeidung von Streuverlusten auf Feldrand und in Oberflächengewässer sind ausgereift. Eine gute Bedienung und Regelung der Düngezufuhr sind hierfür jedoch Voraussetzung. Insbesondere ist eine entsprechende Einstellung der Streuer bei Einsatz

unterschiedlicher Düngemittel sehr wichtig. Laut einer Untersuchung zu den unterschiedlichen Ausbringungstechniken (Bergschmidt, 2004) gibt es große Unterschiede innerhalb Niedersachsens hinsichtlich der verwendeten Technik. Während in 2004 im Kreis Osnabrück 37 % der Gülle mit emissionsmindernder Technik ausgebracht wurden, sind es im Kreis Ems lediglich 14 % bei einem deutlich höheren Anteil an Eigenmechanisierung.

Die Maßnahme kann entweder über die Güllemengen, die mit verbesserter Technik ausgebracht werden, oder über die Technikanschaffung selbst, gefördert werden. In den Wasserschutzgebieten wurde je nach gewählter Technik eine Prämie in Höhe von 1 bis 1,5 €/m³ (maximal 30 €/ha) ausgezahlt, bei der NAU A3-Maßnahme werden 15 €/StandardGVE gezahlt, wobei maximal zwei GVE pro Hektar angerechnet werden. Die Mehrkosten im Vergleich zum Breitverteiler liegen für den Schleppschlauchverteiler bei 0,5 €/m³ Gülle, für die Schleppschuhtechnik bei 1 €/m³ Gülle und für Injektoren bei 1,5 €/m³ (Kowalewsky, 2004a). Die Teilnahmebereitschaft der Betriebsleiter ist davon abhängig, ob die Prämie entweder die zusätzliche Arbeitszeit sowie die Kosten einer Anschaffung deckt (zumindest die Differenz zwischen Standardtechnik und der verbesserten), oder ob die Leistung zu einem Preis unterhalb der Prämie beim Lohnunternehmer eingekauft werden kann.

e. Kontrollmöglichkeiten

Beim Einsatz überbetrieblicher Technik lässt sich der Einsatz über Belege von Lohnunternehmern bzw. Maschinenringen dokumentieren. Bei Eigenmechanisierung gilt das Vorhandensein der Technik als Nachweis. Auch eine Kontrolle auf dem Feld/ Grünland ist im Frühjahr möglich.

4.2.3 Reduzierte N-Mineraldüngung, Acker

a. Definition/kurze Beschreibung

Diese Maßnahme fördert eine suboptimale Düngung von Kulturpflanzen, d. h. die Bemessung der Düngergaben liegt unterhalb der üblichen Düngung für das standörtliche Ertragsoptimum. Damit soll verhindert werden, dass bei Ertragsdepressionen wegen Krankheit oder Trockenheit zu viele Nährstoffe im Boden verbleiben. Auf Standorten mit einem hohen Nachlieferungspotenzial des Bodens ist auch eine suboptimale Düngung ohne Ertragseinbußen möglich. Für die Wirksamkeit einer Reduzierung der N-Düngung sind entscheidend, in welcher Höhe in der Ausgangssituation gedüngt wurde und welchen Wert der betriebliche N-Saldo aufweist. Als Referenz kann entweder die Höhe der N-Düngung auf Betriebsebene oder ein errechneter Wert für die einzelnen Kulturen dienen. Zu unterscheiden ist zwischen einer Reduzierung der N-Düngung auf Acker oder auf Grünland (siehe Grünlandextensivierung).

Bei einer Reduzierung der N-Düngung im Rahmen der freiwilligen AUM gelten beim handlungsorientierten Ansatz entweder auf Betriebsebene für alle Flächen oder für ausgewählte Kulturen bzw. Standorte Düngebeschränkungen. Daneben werden als mögliche politische Instrumente zur Reduzierung des Stickstoffeinsatzes die Stickstoffquote sowie die Besteuerung von stickstoffhaltigen Mineraldüngern diskutiert. Beide führen zu einer Verringerung des N-Einsatzes auf Betriebsebene.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

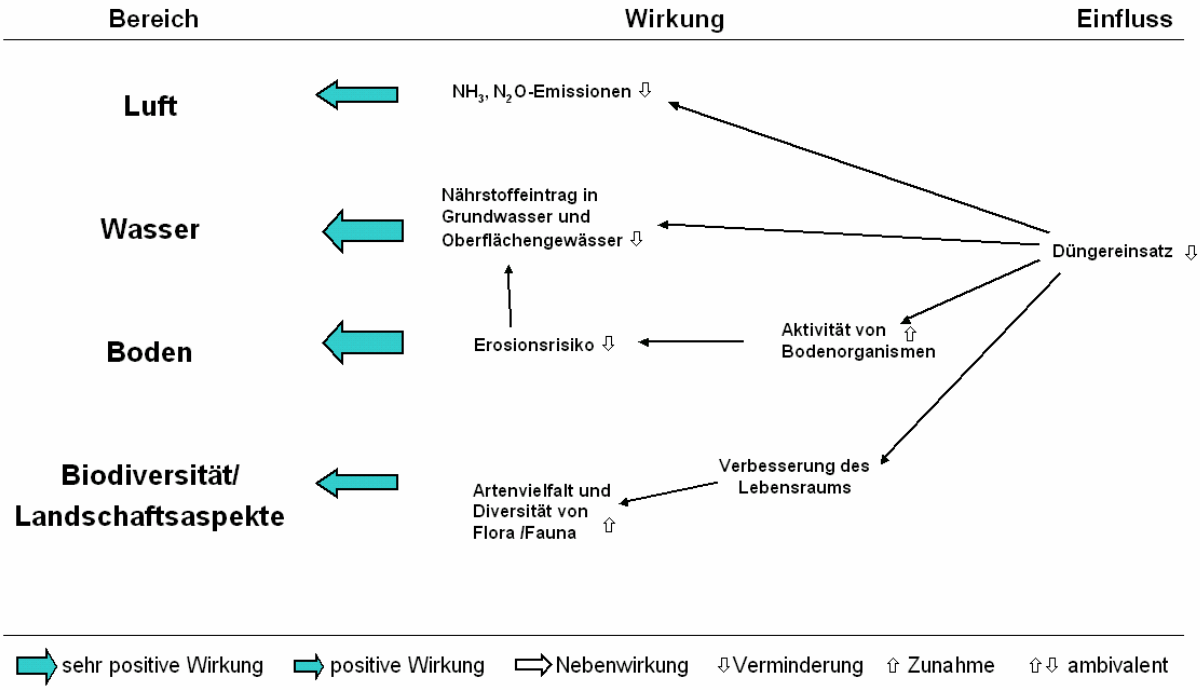
In einigen Wasserschutzgebieten wird eine prozentuale Reduzierung der N-Düngung als freiwillige Vereinbarung angeboten. Dabei gelten Düngeempfehlungen (Sollwert) auf Basis des Frühjahrs-N_{min} als Referenz. Zudem gab und gibt es Regelungen zu einer verminderten Düngung in Wasserschutzgebieten über die Schutzgebietsverordnungen. Daneben ist eine Reduzierung der Düngung bzw. die Festlegung einer maximal zulässigen Ausbringungsmenge bei einigen Maßnahmen eine Zusatzbedingung.

Das Sächsische Programm für Umweltgerechte Landwirtschaft förderte eine 5 bzw. 20 %-ige N-Reduzierung des Sollwertes nach Düngeempfehlung. In der aktuellen Richtlinie wird zusätzlich die extensive Grünlandbewirtschaftung mit reduziertem N-Einsatz gefördert (vgl. SMUL, 2005).

c. Ökologische Auswirkungen

Durch eine reduzierte Stickstoffdüngung lassen sich sowohl N-Überschüsse als auch Nitratauswaschung effektiv senken (Bechthold et al., 2006). Je nach Stickstoffbodenvorrat wirkt sich eine Reduzierung der N-Düngung unterhalb des Pflanzenbedarfs unterschiedlich stark aus. Düngungsbeschränkungen in Ackerbaubetrieben unterhalb des Pflanzenbedarfs führen z. T. zu sehr hohen Einkommensverlusten (Bokermann und Kern, 1988), insbesondere bei langjähriger suboptimaler Düngung. Bei Düngungsversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 2002; LfL, 2004) war der Effekt unterschiedlicher Düngungsvarianten auf Grünland weder im Sickerwasser noch in den Frühjahrs-N_{min}-Werten nachweisbar. Eine Ausnahme während der Versuchsjahre 1985/86 bewirkte der so genannte Priming-Effekt, der bei hoher Mineraldüngung die Entwicklung nitrifizierender Bakterien im Boden verstärkte, so dass die Nitratkonzentration im Sickerwasser stark anstieg.

Abbildung 6: Ziel-Wirkungsdiagramm - N-reduzierte Düngung und Einsatz von N-stabilisiertem Dünger



Quelle: Eigene Darstellung.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Als freiwillige Vereinbarung wurde beispielsweise eine reduzierte N-Düngung in Wasserschutzgebieten als Sollwertdüngung abzgl. 25 % inklusive Frühjahrs-N_{min} bei Anrechnung von organischem Dünger nach Kennwerttabelle angeboten. Je nach Kultur wurden 50 bis 254 €/ha ausgezahlt. Jahrelang war eine 20 %-ige Reduzierung der Düngung gegenüber dem Sollwert Bestandteil der Wasserschutzstrategie in Baden-Württemberg, hier wurde eine grundsätzliche Wirksamkeit festgestellt, aber auch eine starke Witterungs-, Fruchtfolge- und Kulturartabhängigkeit. Aufgrund der Gefahr von Ertragsdepressionen bei unzureichender Düngung und der Unmöglichkeit, den exakten Bedarf im Voraus abzuschätzen, findet diese Maßnahme nur sehr begrenzt Interesse bzw. es sind hohe Kompensationszahlungen notwendig, die einen Risikozuschlag beinhalten.

e. Kontrollmöglichkeiten

Eine Reduzierung der N-Düngung ist nur schwer kontrollierbar. Nur in Verbindung mit einer exakten Dokumentation (z. B. i. V. mit Precision Farming oder Einsatz der CULTAN-Technik) ist die Umsetzung einer reduzierten Düngung kontrollierbar. Bei verlässlichen Aufzeichnungen kann aus Veränderungen beim Bilanzüberschuss bei ansonsten unveränderten Betriebsstrukturen die Stickstoffreduzierung nachgewiesen werden. Aber ins-

besondere bei viehhaltenden Betrieben sowie bei Import von organischen Düngern ist auf Ebene des Einzelbetriebs eine direkte Kontrolle kaum möglich.

4.2.4 Anwendung von stabilisiertem N-Dünger/ Depotdüngung

a. Definition/kurze Beschreibung

N-stabilisierte Dünger verzögern die N-Freisetzung bzw. die verfügbare N-Bereitstellung für die Pflanze erfolgt in kontrollierter Form. Eingesetzt werden v. a. Urease-Inhibitoren und Nitrifikationsinhibitoren als Zusatzstoffe. Damit wird die Gefahr einer N-Auswaschung reduziert. Die Wirkung des Stickstoffs tritt verzögert ein, die N-Freisetzung ist jedoch stark witterungsabhängig, v. a. temperaturabhängig. Während hier die Pflanze den Stickstoff überwiegend in Form von Nitrat aufnimmt, wird der Stickstoff bei der Depotdüngung im CULTAN-Verfahren den Pflanzen überwiegend in Ammoniumform angeboten. Mit Inhibitoren versetzte mineralische Düngemittel können breitflächig und oberflächlich ausgebracht werden. Bei CULTAN (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) bedarf es einer speziellen (Injektions-)Technik, um eine Ausbringung in Wurzelnähe in den Boden hinein zu ermöglichen. Spezielle Schare und Techniken injizieren flüssige oder gasförmige Ammoniumdüngemittel punkt- oder linienförmig in den Wurzelraum als Depot. Aufgrund der chemischen Eigenschaften von Ammonium wird eine N-Auswaschung vermindert und die Pflanzen werden zwangsweise auf Ammoniumernährung umgestellt. Der bakterielle Denitrifizikationsprozess wird unterbunden und die Pflanzen bilden ein enges Wurzelgeflecht rund um das Düngedepot und stabilisieren es damit zusätzlich (Grüning, 2004). Bei den N-stabilisierten Mineraldüngern sorgt dagegen eine Ummantelung für eine langsamere Freisetzung des Stickstoffs und somit verzögerte Düngewirkung. Werden der Gülle Nitrifikationsinhibitoren zugegeben, vorzugsweise di-rekt am Ort der Entstehung, so werden zum einen die atmosphärischen N-Verluste reduziert, zum anderen werden auch nach der Ausbringung bei entsprechender Witterung die Nährstoffe langsamer freigesetzt.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

In der Praxis wird bei der CULTAN-Technik häufig anstelle einer reinen auf Ammonium basierenden Düngung Ammoniumnitrat-Harnstofflösung mit einem geringen Nitratanteil verwendet, um neben dem langsam wirkenden Ammoniumdünger auch schnell verfügbares N zu applizieren. In einer Reihe von Wasserschutzgebieten, u. a. im Vogelsberg, Hessen, wird das CULTAN-Verfahren erfolgreich praktiziert. Die Injektionstechnik erfordert einmalig hohe Anschaffungskosten. In 2003 wurde das CULTAN-Verfahren deutschlandweit auf über 28.000 ha eingesetzt (Schellbach, 2003).

c. Ökologische Auswirkungen

Das CULTAN-Verfahren basiert auf einer verzögerten Düngewirkung des applizierten Ammoniumdüngers. Trotz einmaliger N-Gabe zu Beginn der Vegetationsperiode ist der Stickstoff nur allmählich pflanzenverfügbar. Dies führt zu einer latenten N-Mangelsituation in den Pflanzen und bewirkt Wurzeldominanz. Durch die stabile Ammoniumform wird die Gefahr der Nitratauswaschung im Frühjahr verringert. Gleiches gilt auch bei Einsatz von N-stabilisierten Mineraldüngern. Durch Verlangsamung der Freisetzung um 4-10 Wochen wird der N-Verlust in Form von Nitrat und / oder Lachgas deutlich reduziert. Durch den Einsatz von CMP bei Gülledüngung im Herbst konnte eine Verminderung des N-Austrages um 54 % (von durchschnittlich 163,5 auf 75 kg N/ha) erreicht werden (Görlitz, 1989). Nach Düngung im Frühjahr ist insbesondere auf flachgründigen, leichten bzw. sandigen Böden eine positive Auswirkung des Nitrifizidzusatzes feststellbar. Durch die stabilisierte Düngung ist, auch bei einmaliger Gabe, für eine ausreichende Versorgung der Pflanzen gesorgt. Die gesteigerte N-Effizienz erlaubt eine Reduzierung der Düngemenge ohne Ertragseinbußen. Insbesondere bei Gemüse, wo hohe Nitratgehalte der Pflanze unerwünscht sind, können neben höheren Erträgen (Hahndel und Strohm, 2001) auch bessere Produktqualitäten durch die langsam wirkenden Dünger erreicht werden (Waldorf und Schweiger, 2004). Auch in den Wintermonaten kann die Auswaschung reduziert werden, sofern den Düngemitteln N-Stabilisatoren beigefügt werden. Dies ist insbesondere bei Ausbringung von Herbst-Gülle von Bedeutung. Bei Gaben ab Mitte September wird die Nitrifikation ausreichend gehemmt (Görlitz, 1983). Insbesondere auf leichten Standorten mit hoher Auswaschungsgefährdung führt der Einsatz von N-Stabilisatoren bzw. der CULTAN-Technik zu einer deutlichen Verbesserung der N-Effizienz und trägt somit zum Wasserschutz bei. In Deutschland bisher in der Praxis kaum angewendet, kann auch auf Grünland durch Einsatz von Nitrifikationshemmern bei Gülleausbringung im Herbst die N-Auswaschung deutlich reduziert werden (Klein et al., 1996). So wurde in Versuchen ein um 1 bis 1,5 Jahre verzögerter Transport von N in tiefere Bodenschichten mit dem Sickerwasser festgestellt (Owens, 1987).

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Die CULTAN-Technik hat ein großes Potenzial, die Akzeptanz ist aufgrund der hohen Technikkosten die durch die spezielle Injektionstechnik entstehen begrenzt. Wo die Technik verfügbar ist, wird sie auch in größerem Umfang nachgefragt, insbesondere da die Ammoniumdüngung zu einer verbesserten Ertragssicherheit führt (Kücke, 2003). Daneben konnten in Versuchen Ertragssteigerungen (um ca. 5 %) nachgewiesen werden. Negativ auf die Ammoniumaufnahme durch die Pflanzen wirkt sich ein hoher Anteil an aus organischem Material mineralisiertem Nitrat im Boden aus, so dass die CULTAN-Technik auf leichten, nährstoffärmeren Standorten eine bessere Wirkung zeigt (Grüning, 2004).

Es gibt eine Reihe von N-stabilisierten Mineraldüngern auf dem Markt (Waldorf und Schweiger, 2004), daneben gibt es Zusätze mit nitrifikationshemmender Wirkung, die aus unterschiedlichen Wirkstoffkomplexen bestehen (Nitrapyrin, Dicyandiamid). Bei den stabilisierten N-Mineraldüngern ist entscheidend, ob arbeitswirtschaftliche Vorteile überwiegen, um den höheren Preis zu kompensieren (ein- bis zweimalige Düngergabe anstatt einer zwei- bis dreimaligen). Da der Erfolg des Einsatzes von N-Stabilisatoren stark witterungsabhängig ist, sind die Erfahrungen aus der Praxis nicht immer überzeugend. So führte die verzögerte N-Freisetzung zum Teil zu Mangelsituationen bzw. es wurden hohe Reststickstoffmengen nach der Ernte im Boden festgestellt.

Für den Einsatz der CULTAN-Technik wurden 20-25 €/ha im Rahmen der freiwilligen Vereinbarungen im Trinkwasserschutz in Niedersachsen gezahlt. In gleicher Höhe wurde auch der Einsatz stabilisierter N-Dünger in Getreide honoriert. Der Kartoffel- und Zuckerrübenanbau wurde mit bis zu 60€ gefördert.

e. Kontrollmöglichkeiten

Bei Einsatz der CULTAN-Technik, die zumeist überbetrieblich erfolgt, erlaubt der Nachweis der eingesetzten Technik selbst eine ausreichende Kontrolle. Durch Einkaufsbelege bei stabilisierten Mineraldüngern bzw. den Zusatzstoffen für Gülle kann deren Verwendung dokumentiert werden. Bei reinen Marktfruchtbetrieben ist eine Effizienzkontrolle leicht möglich, da der gesamte Dünger zugekauft wird und somit Aufzeichnungen über den insgesamt verwendeten N-Dünger vorliegen. Bei Kombinationen von organischer Düngung mit stabilisierten N-Mineraldüngern ist für die Ermittlung der Effizienz die Gesamtmenge des ausgebrachten Stickstoffs von Bedeutung.

4.2.5 Weidemanagement

a. Definition/kurze Beschreibung

Weidemanagement beinhaltet die Steuerung der Weidenutzung sowohl hinsichtlich der Besatzdichte als auch der Nutzungsdauer, die Weidepflege und die Düngung. Im Hinblick auf den Nährstoff Stickstoff ist eine an den Entzug angepasste N-Zufuhr über die tierischen Ausscheidungen und die Düngung von entscheidender Bedeutung. Durch gutes Weidemanagement sollen ein gleichmäßiger Entzug der Grünmasse und eine an den Bedarf angepasste Nährstoffversorgung des Grünlands erzielt werden. Hierbei bietet sich die Möglichkeit der Flächenparzellierung an, wodurch nicht nur der Futterentzug sondern auch die Nährstoffrücklieferung über Exkremente gesteuert werden kann (Tonn et al., 2006). Es gibt deutliche Unterschiede hinsichtlich der Nutzungsintensität, die ihr Maximum beim Wirtschaftsgrünland mit reinen Weidelgrasbeständen und ihr Minimum auf extensiv genutzten Weiden, z. B. in Naturschutzgebieten, erreicht. Auch in der Nutzungsdauer unterscheiden sich verschiedene Weidesysteme erheblich und reichen von der täg-

lich wechselnden Portionsweide bis zur ganzjährig genutzten Standweide. In allen Systemen sind die Bereiche rund um die Futtertröge und Tränken, die Liegeflächen, die so genannten hot-spots (Kot- und Harnflecken), und, sofern vorhanden, die Flächen in Stallnähe kritisch zu sehen (Behrendt et al., 2003). Ein wesentlicher Aspekt des Weidemanagements ist die bedarfsgerechte Düngung der Weideflächen, denn auch wenn unter Grünland insgesamt relativ wenig N ausgetragen wird, so kann es durch Überdüngung oder durch nicht bedarfsgerechte Düngung im zeitigen Frühjahr bzw. späten Herbst auch unter Weide zur N-Auswaschung kommen.

Ein früher Weidebeginn und eine späte Weidenutzung im September/Oktober führen zu höheren Auswaschungsrisiken. Winterweideflächen sind besonders anspruchsvoll hinsichtlich Pflege und Nutzungsintensität. Nur ein Bereitstellen von Winterfutter in ausreichender Menge und Qualität "auf dem Halm" führt dazu, dass sich die Tiere die meiste Zeit über die Fläche verteilt aufhalten (Priebe, 1998) und somit unerwünschte lokale Nährstoffkonzentrationen vermieden werden.

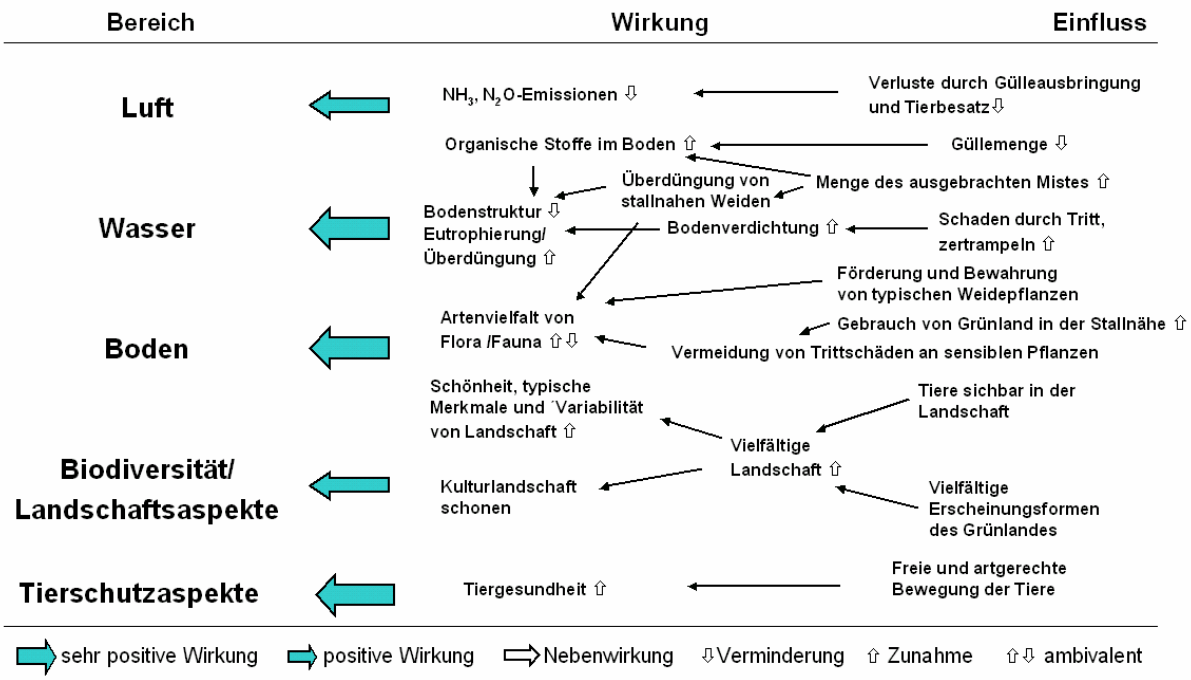
b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

In NRW wird die Weidehaltung von Milchvieh als Agrarumweltmaßnahme angeboten. Hier stehen nicht das Weidemanagement an sich im Blickpunkt, sondern Aspekte des Tierschutzes und eine positive Wirkung auf das Landschaftsbild durch weidende Kühe. Bisher gibt es in Deutschland nur für ausgewählte Schutzgebiete Vorgaben bezüglich der Beweidung, die sich zumeist auf die Besatzdichte und die Nutzungsdauer selbst beziehen. Aspekte des Wasserschutzes sind von untergeordneter Bedeutung, die Vorgaben richten sich gezielt auf Flora und Fauna. Lediglich durch das Abzäunungsgebot zum Schutz der oberflächigen Gewässer aus phytosanitären Gründen werden gleichzeitig auch Direkteinträge in Form von Exkrementen vermieden.

c. Ökologische Auswirkungen

Bei Weidenutzung kommt es lokal zu sehr hohen N-Einträgen durch Urin und Kot (Kühbauch et al., 1997), bei Narbenschäden durch Tritt besteht gegenüber reiner Schnittnutzung eine erhöhte Auswaschungsgefahr. Ein gewisser Weißkleeanteil ist aus Gründen der Ertragsverbesserung und -stabilisierung erwünscht. Gerade auf extensiver genutztem Grünland wird das Vermögen von Leguminosen Stickstoff aus der Luft zu fixieren gezielt für eine höhere Ertragsleistung ausgenutzt. Gleichzeitig besteht hierdurch die Gefahr erhöhter N-Austräge, insbesondere auf Wechselgrünland.

Abbildung 7: Ziel-Wirkungsdiagramm – Weidewirtschaft



Quelle: Eigene Darstellung.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Eine finanzielle Förderung für stickstoffauswaschungsarmes Weidemanagement gibt es nicht. Da ein gleichmäßiger Futteraufwuchs auch ökonomische Vorteile bringt, ist die Behebung von Managementfehlern relativ kostengünstig erreichbar bzw. führt sogar zu Einsparungen. Bei extensiver ganzjähriger Beweidung ist eine ungleichmäßige Verteilung von Kot- und Harnstellen über die Fläche und die damit verbundene ungleichmäßige Nährstoffversorgung bzw. kleinräumige Ertragsvariabilität nicht gänzlich vermeidbar.

e. Kontrollmöglichkeiten

Besatzdichte und Nutzungsdauer lassen sich, ebenso wie die Abzäunung von Oberflächengewässern, relativ leicht kontrollieren. Die Düngung von Weideflächen dagegen ist nur schwer kontrollierbar.

4.2.6 Wirtschaftsdüngermanagement im Betrieb (Stall, Lager)

a. Definition/kurze Beschreibung

Das Management auf der Hofstelle beeinflusst die Qualität des Wirtschaftsdüngers hinsichtlich Viskosität und Nährstoffgehalt. Insbesondere bauliche Maßnahmen führen auf der Hofstelle zu verminderten Emissionen.

Die Lagerzeit und die Ausstattung der Lager für Gülle (mit/ohne Abdeckung) und Festmist (mit/ohne befestigte Bodenplatte) beeinflussen die gasförmigen Emissionen und damit die potentielle Nährstoffmenge, die zur Pflanzenernährung zur Verfügung steht. Durch geeignete Maßnahmen kann verhindert werden, dass die leicht verfügbare N-Fraktion mit der höchsten Düngewirkung im Ausbringungsjahr gasförmig entweicht.

Das Milchanlagenspülwasser wird zumeist ins Güllesilo oder in die örtliche Abwasserkanalisation abgeleitet, sodass keine direkte Emissionsgefahr besteht. Wo dies nicht möglich ist, müssen Einzellösungen gefunden werden.

Zur Förderung der Bewegung und des Sozialverhaltens der Kühe werden Freigelände vor dem Stall angelegt, auf dem sich die Tiere tagsüber aufhalten. Diese Flächen sind befestigt oder unbefestigt bzw. überdacht oder offen. Die geringste Gefahr punktueller Extrembelastung durch Nährstoffeinträge ist bei wasserundurchlässigen Belägen, am besten in überdachter Form gewährleistet.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Die Güllelagerabdeckung wurde in der Vergangenheit vielerorts gefördert und ist heute in Deutschlands bereits Gute fachliche Praxis (KTBL und UBA, 2005). Ebenso ist die Behandlung von Oberflächenabfluss, sofern es sich um die Lauffläche von Tieren handelt, verbindlich vorgeschrieben. Der Abfluss von anderen Hofflächen, der durch Bröckelverluste und Exkremente z. T. hoch belastet ist, wird häufig noch direkt in die Vorfluter eingeleitet. Demonstrationsvorhaben zur Retention und Reinigung des Oberflächenabflusses wurden z. B. durch das Sächsische Programm für Umweltgerechte Landwirtschaft gefördert.

c. Ökologische Wirkungen

Die Abdeckung der Güllesilos zur Minderung von Ammoniakemissionen wirkt nur auf den Gesamtsaldo und mindert die Belastung der Atmosphäre. Für den Grund- und Oberflächenwasserschutz ist dies jedoch relativ unerheblich, außer wenn der Eintrag durch Deposition nicht oder nur teilweise in der N-Bilanzierung angerechnet wird.

Während hochkonzentrierte Silosickersäfte in die Güllesilos oder Jauchegruben abgeleitet werden, besteht vielerorts keine Behandlung von Oberflächenabfluss. Probleme können hier bei hofnahen Oberflächengewässern entstehen, die durch Starkregenereignisse hervorgerufene Einschwemmung von organischem Material eutrophieren.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Durch Abdeckung der Güllelager kann eine Minderung der Ammoniakverluste von bis zu 95 % erreicht werden.

e. Kontrollmöglichkeiten

Die Kontrolle wird durch Abnahme der Baumaßnahme gewährleistet.

4.2.7 N-reduzierte Fütterung

a. Definition/kurze Beschreibung

Der Stickstoffbedarf von Schweinen und Geflügel sinkt mit zunehmendem Alter der Tiere. Während bei jungen Tieren ein recht hoher Rohproteingehalt im Futter notwendig ist, um das Wachstumspotential der Tiere voll auszuschöpfen, nimmt dieser Bedarf bei fortschreitender Mast deutlich ab. Bei Mastschweinen kann der N-Gehalt im Futter statt durchgängig 17-18 % (25-115 kg) unter Zusatz von essentiellen Aminosäuren auf 16 % (25-40 kg), 14,5 % (40-70 kg) und 13,5 % (70-115 kg) vermindert werden, ohne dass die täglichen Zunahmen beeinträchtigt werden. So kann die N-Versorgung an den veränderten Bedarf der Tiere während des Wachstums angepasst und eine deutliche Minderung der N-Ausscheidungen realisiert werden.

Die Restriktionen für Futtermischungen im Rahmen der RAM-Verträge in Weser-Ems geben für Rohprotein für den Mastabschnitt bis ca. 60 kg einen maximalen Gehalt von 17 % vor, in der Endmast beträgt dieser Grenzwert 14 %. Der maximale Gehalt an Phosphor beträgt 0,55 bzw. 0,45 %.

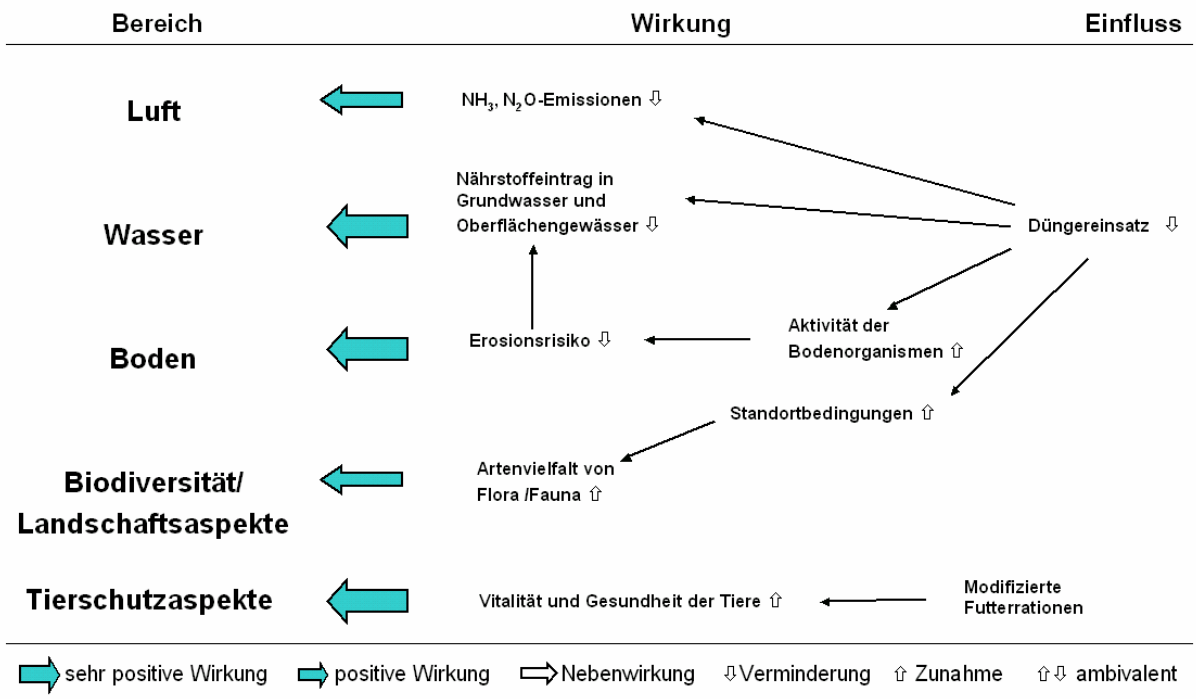
b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

In viehstarken Gebieten (z. B. Weser-Ems) wird die N-reduzierte Fütterung (RAM-Fütterung = ursprünglich Rohprotein angepasste Mast, heute: eiweiß- und phosphorreduziertes Phasenfutter) in großem Umfang durchgeführt, um die Vorgaben der Düngeverordnung einhalten zu können. So werden im Gebiet Weser-Ems ca. 70 % der Mastschweine mit RAM-Futter gefüttert (Bohnenkemper, 2007). In 2005 bestanden dort insgesamt 136 Verträge mit Futtermittelherstellern für RAM-Futter, davon 94 für Schweine- und 42 für Geflügelfutter. Zusätzlich bestanden insgesamt 430 Verträge mit Hofmischern, 408 für Schweine- und 22 für Geflügelfutter.

c. Ökologische Auswirkungen

Bei Schweinen ist eine Minderung der N-Ausscheidungen um 15 bis 25 % möglich (Bellof und Stadler, 1998; Lindermayer und Probstmeier, 1995; Spiekers et al., 1991; Walz und Pallauf, 2002), bei Geflügel beträgt das Minderungspotential ca. 5 bis 15 %.

Abbildung 8: Ziel-Wirkungsdiagramm - N-reduzierte Fütterung



Quelle: Eigene Darstellung.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

In Niedersachsen erfolgt die Fütterung der Tiere in Gebieten mit hoher Viehbesatzdichte (Weser-Ems) zum großen Teil mit N-reduziertem Futter, so dass hier das Potenzial schon weitgehend ausgeschöpft ist. Eine weitere Minderung der N-Gehalte im Futter wäre nicht ohne Leistungseinbußen möglich. In Gebieten mit geringeren Tierbesatzdichten ist diese Maßnahme anwendbar, hat aber aufgrund der geringeren Tierzahlen weniger starke Auswirkungen auf den Flächensaldo.

Die Umsetzbarkeit ist bei Futterzukauf sehr einfach, bei Eigenmischung auf dem Hof ist sie mit einem größeren Aufwand für den Landwirt verbunden.

Aufgrund der Notwendigkeit der Reduzierung des N-Anfalls aus Wirtschaftsdünger zur Einhaltung der Düngeverordnung im Raum Weser-Ems war die Akzeptanz der RAM-Fütterung dort bislang sehr gut. Zusätzlich hat die Preisgleichheit von RAM-Futter und konventionellem Futter zu hoher Umsetzung beigetragen. Dagegen war das RAM-Futter im Gebiet Hannover früher um 1 DM/dt teurer, die N-reduzierte Fütterung ist hier kaum verbreitet. In Abhängigkeit von der zukünftigen Preisentwicklung von Getreide und Soja können sich die Preisrelationen von konventionellem Mastfutter und RAM-Futter jederzeit ändern. Ein deutlicher Preisanstieg von Getreide kann zu einem vermehrten Einsatz von Soja in der konventionellen Futtermischung führen. Im RAM-Futter ist dies nur einge-

schränkt möglich, da sonst die Restriktion von einem Rohproteingehalt von 14 % im Endmastfutter nicht eingehalten werden könnte. Hier muss weiterhin Getreide eingesetzt werden, auch wenn dieses teurer wird. Diese zukünftigen Preisentwicklungen dürften auch einen großen Einfluss auf die Akzeptanz der Landwirte haben.

e. Kontrollmöglichkeiten

Durch Zahlungsbelege für Futtermittel lässt sich die Durchführung der N-reduzierten Fütterung anhand der Futterzusammensetzung gut kontrollieren. Bei hofeigener Herstellung von Futtermischungen müssten regelmäßig Futtermittelanalysen durchgeführt werden.

4.3 Maßnahmen zur N-Immobilisation und zur Verminderung der Mineralisation

Alle Maßnahmen die dazu beitragen, die Bodenruhe zu verlängern bzw. diese ermöglichen, reduzieren die potenzielle Stickstoffmineralisation. Auch eine intensive Durchwurzelung des Bodens trägt dazu bei, den Stickstoff im Oberboden festzulegen. Dies vermögen die Grasbestände extensiven Grünlands sehr viel besser als intensiv bewirtschaftete reine Weidelgrasbestände, die zum Teil als Wechselgrünland genutzt werden. Eine Rückführung zur ursprünglichen Nutzung birgt in allen Fällen die Gefahr von Mineralisierungsschüben. Das zusätzliche N-Angebot ist daher bei der Folgenutzung zu berücksichtigen, um hohe N-Auswaschungen zu vermeiden.

4.3.1 Aktive Begrünung von Stilllegungsflächen

a. Definition/kurze Beschreibung

Ziel der aktiven Begrünung ist die zeitnahe Etablierung eines geschlossenen Pflanzenbestandes auf temporär ungenutzten Agrarflächen anstelle einer Selbstbegrünung. Meist handelt es sich hierbei um obligatorische Stilllegungsflächen im Rahmen der GAP, die im Zeitraum vom 15. Januar bis 31. August nicht zur Nahrungsmittelproduktion genutzt werden dürfen. Der Aufwuchs muss zerkleinert und auf der Fläche verteilt werden, wobei neuerdings eine Sperrfrist vom 1. April bis 15. Juli besteht. Dadurch erhöht sich die Bedeutung der aktiven Begrünung, da bei Selbstbegrünung die Gefahr der eskalierenden Flächenverunkrautung steigt. Eine Nutzung des Aufwuchses ist nach dem 15. Juli durch die traditionelle Wandertierhaltung erlaubt und nach dem 1. September kann der Aufwuchs zur Futternutzung im eigenen Betrieb eingesetzt werden. Anstelle einer Neuansaat nach Ernte der Vorfrucht ist auch eine Begrünung durch Untersaaten möglich, diese haben zusätzlich den Vorteil, dass sie einen noch schneller geschlossenen Pflanzenbestand garantieren und sich die Saatbettbereitung für die Begrünung erübrigt. Auf den Stilllegungsflächen ist keine Düngung nach Ernte der Vorfrucht bis Umbruch zulässig.

Zur Ansaat eignen sich besonders Gras- und Kleegrasmischungen, z. B. Deutsches Weidelgras, Knaulgras, Rotschwingel und Weissklee. Die Beimengung von bis zu 10 % Kleeanteil verbessert die Wüchsigkeit der Ansaaten und erhöht den Vorfruchtwert, dies erhöht aber auch den N-Input in der Hoftorbilanz und muss in der Düngeplanung der Folgejahre angerechnet werden. Im Wasserschutz werden daher reine Graseinsaaten bevorzugt.

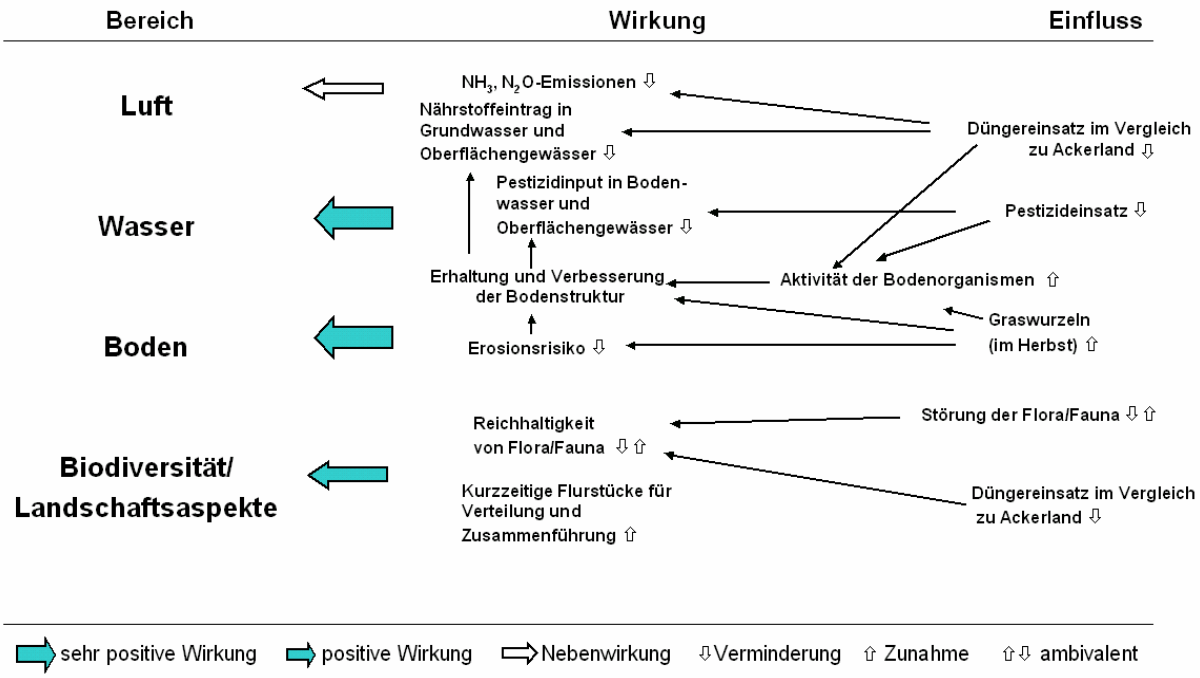
b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Im Rahmen des Trinkwasserschutzes von niedersächsischen Wassergewinnungsgebieten wurde die AUM ´Grundwasserschonende Bewirtschaftung von gem. VO (EG) Nr. 1251/1999 stillgelegten Ackerflächen´ von 2000 bis 2006 angeboten. Die Auflagen umfassten eine leguminosenfreie Begrünung, zeitliche Festlegung, begrenzte Pflegemaßnahmen und ein Verbot zum Anbau nachwachsender Rohstoffe. In Niedersachsen wurden damit 5.500 ha gefördert (Reiter et al., 2005a). Der *Beschluss der Europäischen Kommission vom 18.09.06 zur Staatlichen Beihilfe Nr. N 67/2006 – Deutschland (Niedersachsen) Trinkwasserschutz*, erlaubt weiterhin eine Förderung mit max. 150 €/ha, allerdings wird diese Maßnahme im aktuellen Programm nicht mehr angeboten. Im Rahmen von Trinkwasserkooperationen gibt es jedoch weiterhin die Möglichkeit einer Förderung von „Verdünnungsflächen“. Hier steht die Lenkung von Brache in für den Wasserschutz wichtige Bereiche im Vordergrund.

c. Ökologische Auswirkungen

Ein rasch geschlossener Pflanzenbestand verhindert größtenteils die Auswaschung des Reststickstoffs, der nach der Ernte im Boden verbleibt, daher sollte die aktive Begrünung bereits im Herbst erfolgen. Der in der Krume gespeicherte Stickstoff muss jedoch bei der Düngung der Folgekultur berücksichtigt werden, ansonsten kommt es durch einen Mineralisierungsschub bei Wiederaufnahme der Bewirtschaftung zu hohen N-Austrägen in den Folgejahren. Weitere positive Nebeneffekte sind die Unkrautunterdrückung und Nemathodenbekämpfung sowie die Steigerung der Biodiversität, insbesondere bei Einsaat von Blühpflanzen und die Reduzierung des Erosionsrisikos.

Abbildung 9: Ziel-Wirkungsdiagramm - Begrünung von stillgelegten Flächen und aktivem Brachland

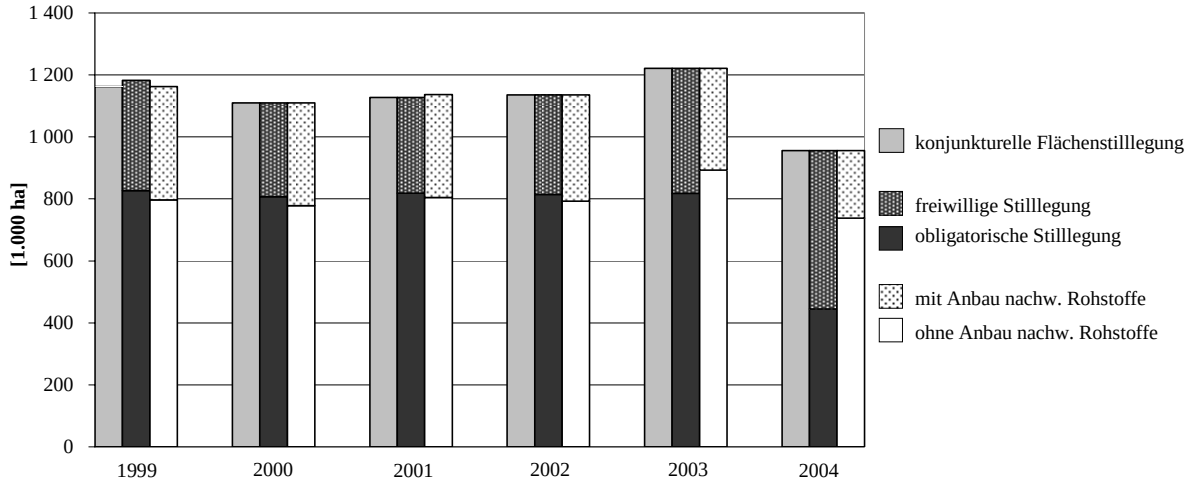


Quelle: Reiter et al., 2005a, verändert.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Das Potenzial einer aktiven Begrünung orientiert sich an der allgemeinen Stilllegungsfläche, abzüglich der Flächen mit Anbau nachwachsender Rohstoffe. Bundesweit handelt es sich hierbei um ca. 800.000 ha (vgl. Abbildung 10).

Abbildung 10: Flächenstilllegung nach Stilllegungsformen (in 1.000 ha)



Quelle: Statistisches Jahrbuch BMELV (div. Jgg.).

Die technische Umsetzung stellt, außer eventuellen Arbeitsspitzen zur Einsaatzeit, keine Probleme dar. Jedoch sind die Niederschlagsverhältnisse entscheidend für den Erfolg und die Akzeptanz der Maßnahme, da zu geringe Niederschläge die Entwicklung der Begrünung und vor allem der nachfolgenden Hauptfrucht behindern.

e. Kontrollmöglichkeiten

Bei einer Vor-Ort-Kontrolle können der geschlossene Pflanzenbestand und die Artenzusammensetzung geprüft werden.

4.3.2 Umwandlung von Ackerland in Grünland und Verzicht von Grünlandumbruch

a. Definition/kurze Beschreibung

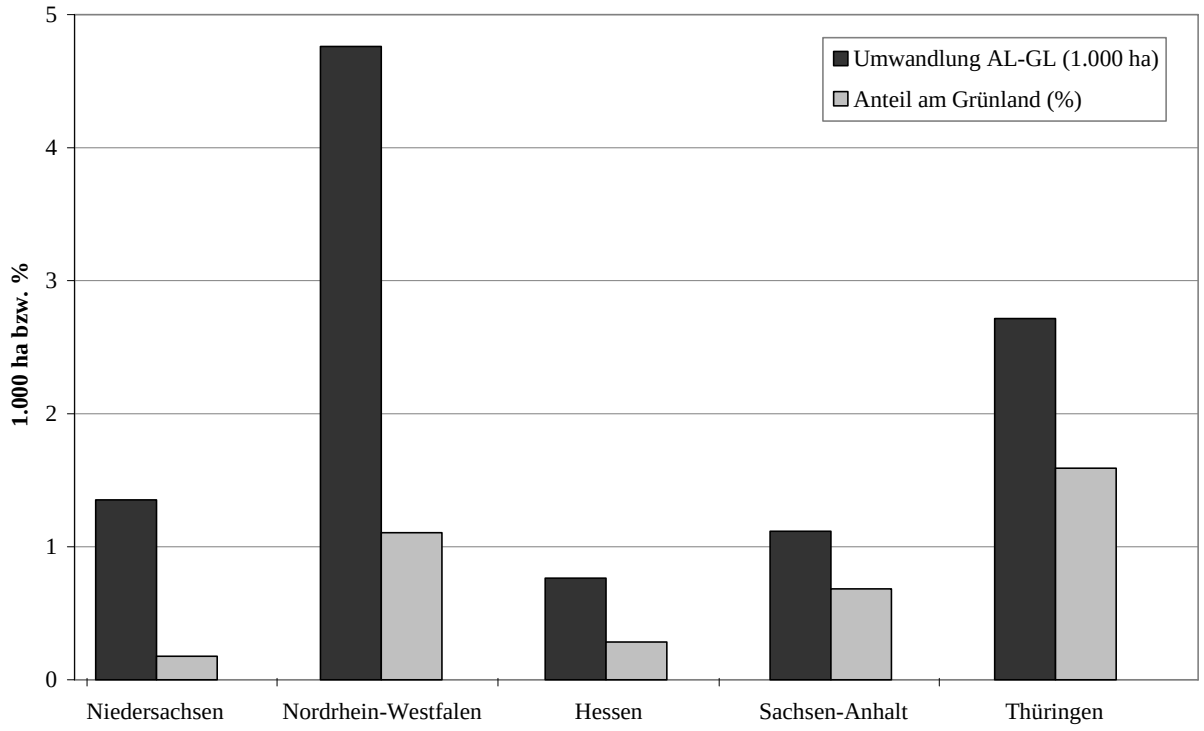
Die Höhe der Nitratauswaschung von landwirtschaftlich genutzten Flächen hängt in hohem Maße von der Nutzungsart ab. Der Einfluss der Nutzung resultiert aus Unterschieden in der Pflanzenart, der Dauer und Jahreszeit der Bodenbedeckung, der Wurzelraumtiefe sowie der Häufigkeit und Intensität der Bodenbearbeitung (Böttcher und Strebel, 1985; Scheffer und Schachtschabel, 2002; Strebel et al., 1984). Unter Grünland kommt es aufgrund der hohen Stickstoff- und Wasseraufnahme, der langen Vegetationsperiode, langer Bodenruhe ohne Bodenbearbeitung sowie auch höheren Denitrifikationsverlusten in der Regel zu deutlich niedrigeren Stickstoffauswaschungsverlusten (Dressel und Jung, 1983; Foerster, 1973; Kolenbrander, 1969). Bei Weidenutzung ist die N-Auswaschung wegen der zusätzlichen, örtlich beträchtlichen N-Zufuhr über Harn und Kot der Weidetiere größer als bei Schnittnutzung (Kolenbrander, 1981) und nimmt ab einer Düngung von 240 kg N/ha tendenziell zu (Benke, 1992). Andererseits kann durch extensive Beweidung eine Verminderung der N-Austräge erreicht werden, die das Niveau von geschnittenem Grünland erreichen (Anger et al., 2002).

Unter Dauergrünland können die im Humus gebundenen C- und N-Mengen im Mittel mehr als doppelt so hoch sein wie unter vergleichbaren Ackerflächen (Richter et al., 1988; Strebel et al., 1988). Beim Umbruch von Grünland mit anschließender Ackernutzung wird das stabile Bodengefüge, das während der langjährigen Bodenruhe entstanden ist, zerstört und es setzt verstärkt die Mineralisation von organisch gebundenem Stickstoff (u. a. auch Belüftungseffekte) ein. Der freiwerdende Stickstoff kann von den Folgefrüchten oft nicht in vollem Umfang aufgenommen werden, so dass ein hohes Risiko des Nitrataustrages besteht. Viele Untersuchungen ermittelten einen N-Austrag von ca. 100 kg N/ha nach dem Umbruch von Grünland mit Neuansaat oder anschließender Ackernutzung (Djurhuus und Olsen, 1997; Johnston et al., 1994; Scholefield et al., 1993; Shepherd et al., 2001), aber auch N-Austräge bis über 700 kg N/ha im ersten Jahr wurden festgestellt (Lloyd, A, 1992).

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Die Umwandlung von Ackerland in Grünland (Abbildung 11) wurde 2003 in Hessen auf 764 ha gefördert, in Thüringen 2002 auf 2.716 ha, 2004 in Niedersachsen auf 1.353 ha, in Nordrhein-Westfalen auf 4.761 ha und in Sachsen-Anhalt auf 1.117 ha (jeweils 2004), das entspricht einem Anteil am gesamten Grünland von 0,2 (Niedersachsen) bis 1,6 % (Thüringen).

Abbildung 11: Umwandlung von Ackerland in Grünland 2004 (Hessen: 2003, Thüringen: 2002) (in 1.000 ha), sowie der Anteil am gesamten Grünland (%) (Basis: 2004)

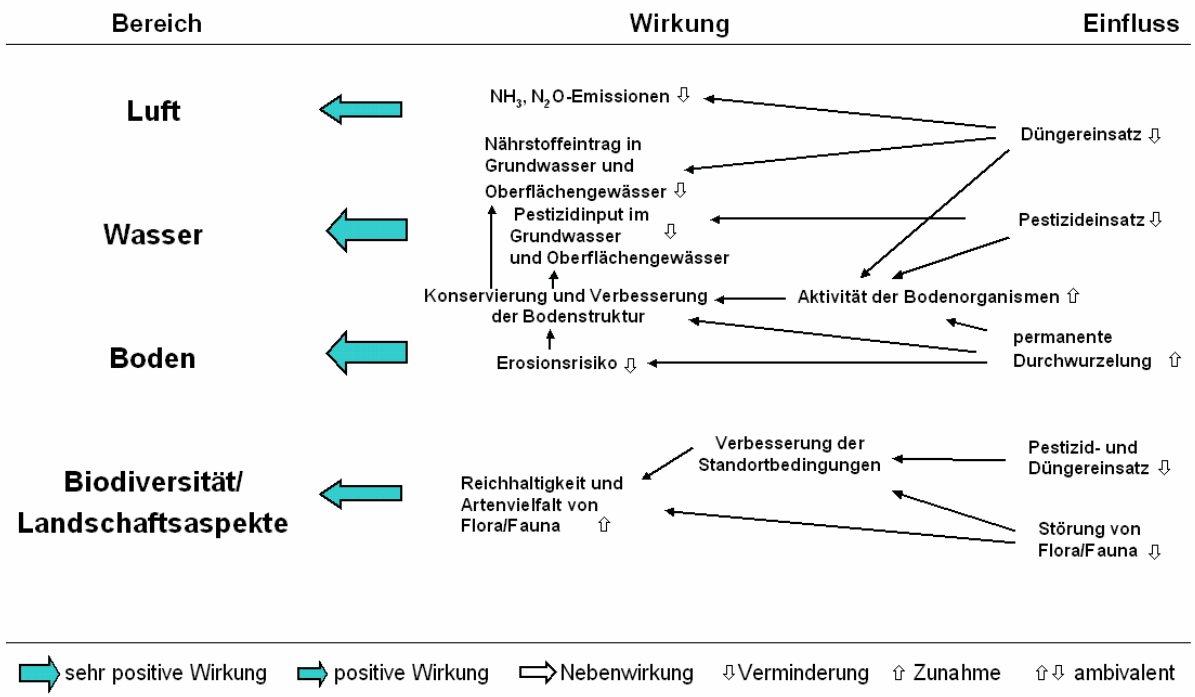


Quelle: Deimer et al., 2005; Hochberg et al., 2003; Reiter et al., 2005c; Reiter et al., 2005b; Reiter et al., 2005a.

c. Ökologische Auswirkungen

Die Umwandlung von Ackerland in Grünland führt durch die ganzjährige Bodenbedeckung und die fehlende Bodenbearbeitung zu einer verminderten Mineralisation und zu einem geringeren Gehalt an mineralischem Stickstoff im Boden. Die N_{min}-Werte im Herbst können um 20 bis 80 kg N/ha, der Nitrataustrag um 10 bis 60 kg N/ha vermindert werden (Diepolder et al., 2006; Rieß, 1993).

Abbildung 12: Ziel-Wirkungsdiagramm - Umwandlung von Ackerland in Grünland



Quelle: Reiter et al., 2005a, verändert.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

In intensiven Ackerbauregionen ohne Tierhaltung und in Veredelungsbetrieben ist die Umwandlung von Ackerland in Grünland nicht sinnvoll, da das anfallende Futter nicht verwertet werden kann. In Futterbaubetrieben besteht eher die Möglichkeit, anfallendes Grundfutter zu nutzen, allerdings ist eine Umwandlung von Ackerland in Grünland nur in begrenztem Umfang möglich. Aufgrund der flexibleren Nutzung von Ackerland (Anbau von Marktfrüchten oder auch Ackerfutterbau) ist die Akzeptanz der Umwandlung von Acker- in Grünland wenig ausgeprägt.

Auch der Verzicht auf Grünlandumbruch ist in reinen Ackerbau- oder Veredelungsbetrieben oder bei Aufgabe der Rinderhaltung nicht sehr attraktiv, da die Nutzungsmöglichkeiten des Grünlandes fehlen.

e. Kontrollmöglichkeiten

Die Durchführung der Umwandlung in Grünland und die Beibehaltung von Grünland kann aus den Flächenanträgen entnommen und mit Vor-Ort-Kontrollen abgeglichen werden.

4.3.3 Grünlandextensivierung

a. Definition/kurze Beschreibung

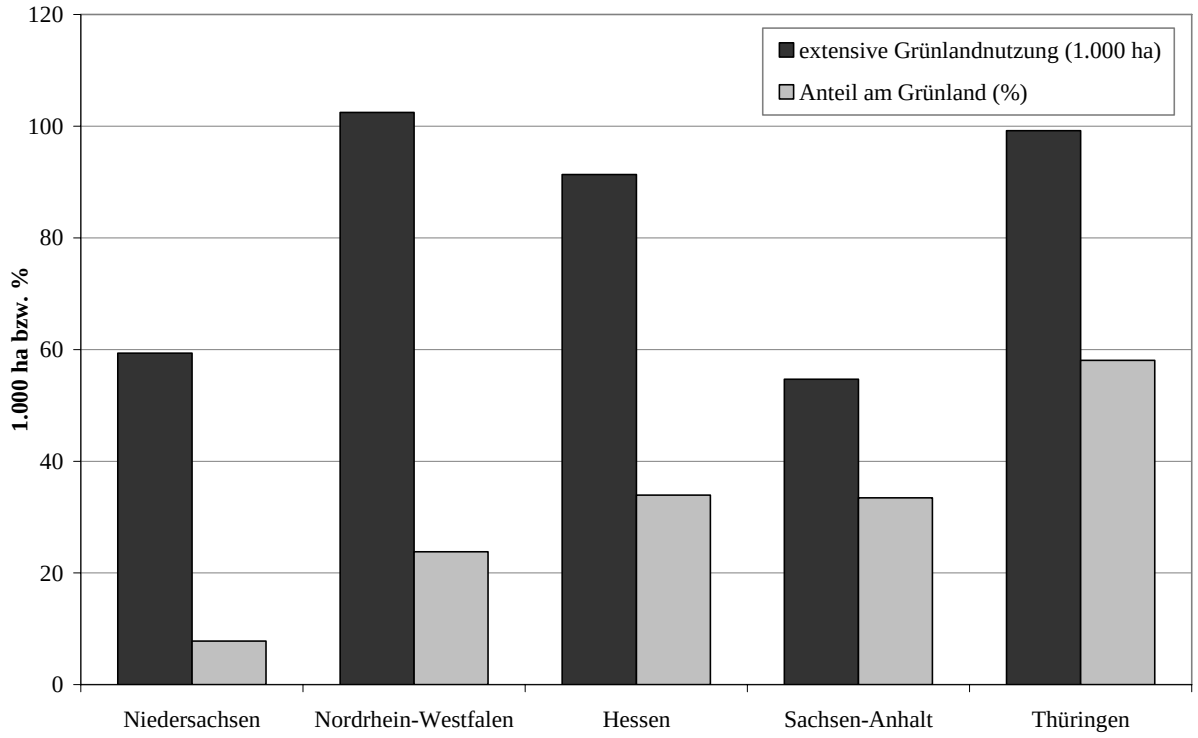
Unter Grünland mit Schnittnutzung sind die N-Austräge unabhängig von den Düngemengen aufgrund der hohen N-Erträge meist recht gering (Benke, 1992). Bei Weidenutzung wird ein Großteil des aufgenommenen Stickstoffs von den Weidetieren wieder ausgeschieden, bei Milchkühen sind es 70 bis 80 %, bei Nachzucht- und Mastrindern sind es bis zu 95 % des aufgenommen Stickstoffs (Ball und Ryden, 1984). Dabei kommt es zu einer starken räumlichen Konzentration des Stickstoffs auf Kot- und in erster Linie auf Harneintragsstellen. Eine Reduzierung der Viehbesatzdichte und der N-Düngungsintensität bei Beweidung kann aus diesen Gründen zu einer Verminderung der N-Austräge beitragen (Anger et al., 2002; Büchter, 2003).

Grünlandextensivierung umfasst eine Reihe von Einzelmaßnahmen, die in unterschiedlicher Kombination und unterschiedlichem Umfang (Einzelflächen bzw. gesamtes Grünland) auf den einzelnen Betrieben realisiert werden. Änderungen in der Bewirtschaftung betreffen: Reduzierung oder Weglassen mineralischer Düngung, Verändern von Nutzungsart, -häufigkeit und erstem Nutzungszeitpunkt (v. a. beim ersten Aufwuchs), Reduzierung der Besatzdichte/Beweidungsdauer, veränderte Pflege (Verminderung der Narbenverbesserung, -erneuerung), z. T. Änderungen im Wasserhaushalt. Grenzen der Grünlandextensivierung setzt die „noch“ Verwertbarkeit des Aufwuchses.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Der Umfang der im Rahmen der Agrarumweltprogramme geförderten extensiven Grünlandnutzung (Gesamtbetrieb) betrug 2004 in Niedersachsen 59.351 ha, in Nordrhein-Westfalen 102.467 ha, in Hessen 91.354 ha, in Sachsen-Anhalt 54.672 ha und 2002 in Thüringen 99.206 ha, das entspricht einem Anteil von 8 % am gesamten Grünland in Niedersachsen bis zu 58 % in Thüringen. Daneben wird die Extensivierung von Einzelflächen gefördert, hierbei steht aber die Biodiversität im Vordergrund.

Abbildung 13: Fläche der extensiven Grünlandnutzung (in 1.000 ha) und Anteil (%) der im Rahmen der Agrarumweltprogramme geförderten extensiven Grünlandnutzung am gesamten Grünland (2004) (Thüringen: 2002)



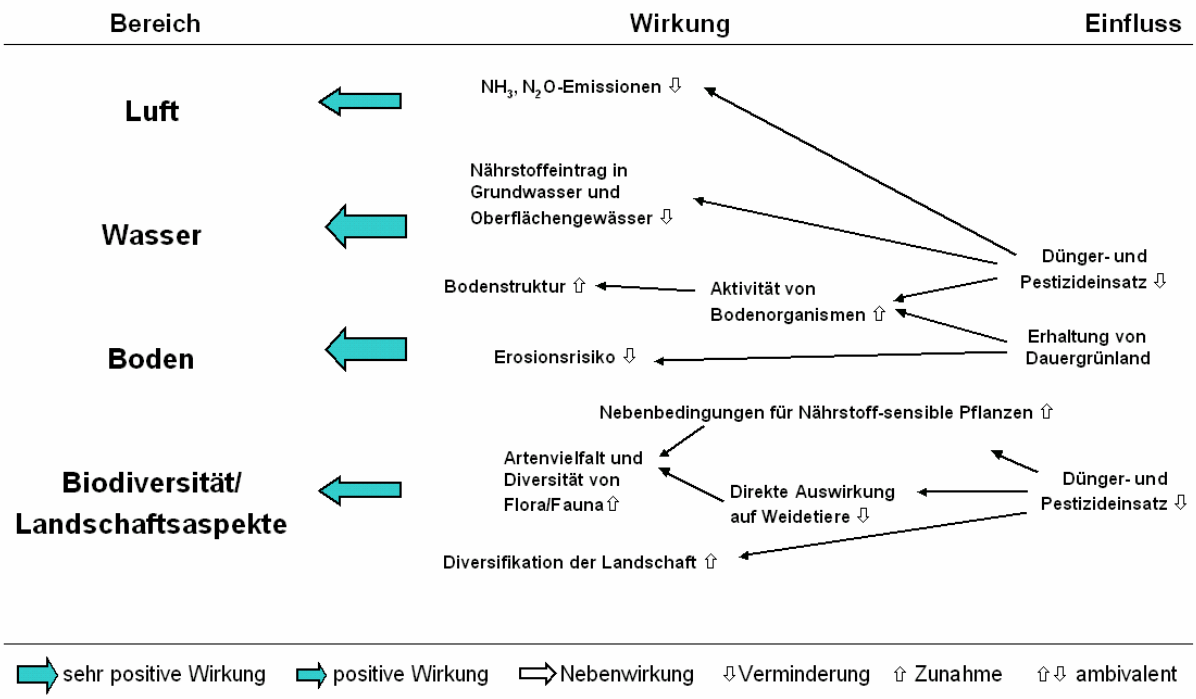
Quelle: Deimer et al., 2005; Hochberg et al., 2003; Reiter et al., 2005c; Reiter et al., 2005b; Reiter et al., 2005a.

c. Ökologische Auswirkungen

Die ökologischen Wirkungen sind stark von der Dauer der Extensivierung und dem Extensivierungsgrad abhängig. In Abhängigkeit von der Nutzungsintensität des Grünlandes vor der Extensivierung kann diese zu einer deutlichen Minderung des N-Saldos um zum Teil über 200 kg N/ha führen (Dyckmans und Weissbach, 1997; Ernst, 1995; Hoppe, 1995; Klempt, 1997; Pfeffer et al., 1995). Ein gänzlicher Verzicht auf mineralische Düngung des Grünlands, wie in NRW gefordert, führt zu einer besonders deutlichen Reduzierung des N-Saldos. Anger (1997) untersuchte konventionell und extensiv wirtschaftende Betriebe in drei unterschiedlichen Mittelgebirgsregionen Nordrhein-Westfalens und ermittelte einen um 90 kg/ha geringeren N-Saldo bei Extensivbetrieben gegenüber der konventionellen Vergleichsgruppe.

Außerdem führt die Extensivierung von Grünland zu Sicherung und Entwicklung von Pflanzen- und Tierarten mit den dazugehörigen Lebensgemeinschaften sowie zum Schutz und zur Entwicklung der landwirtschaftlichen Eigenart und Schönheit des Landschaftsbildes durch traditionelle Nutzungsweise.

Abbildung 14: Ziel-Wirkungsdiagramm - Extensive Grünlandnutzung



Quelle: Reiter et al., 2005a, verändert.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Bei der Extensivierung von Grünland ist es aufgrund der dann abnehmenden Erträge wichtig, den Futterbedarf der Tiere anderweitig sicherzustellen. Entweder müssen bei gleich bleibenden Tierzahlen Flächen dazugepachtet oder Futter zugekauft werden, oder es muss eine Anpassung über den Rückgang der Tierzahlen erfolgen. In jedem Fall ist die Umsetzung der gesamtbetrieblichen Extensivierung mit weit reichenden Veränderungen verbunden. Dementsprechend hängt die Akzeptanz der extensiven Grünlandnutzung in starkem Maße von der Intensität der Produktion an den verschiedenen Standorten ab. Zum Beispiel wird ein großer Teil des Grünlandes in Thüringen und Hessen extensiv bewirtschaftet, da die Standorte aufgrund der Bodeneigenschaften oder der Hanglage in vielen Fällen keine intensive Nutzung erlauben. Hingegen werden große Teile des Grünlandes in Niedersachsen intensiv für die Milchviehhaltung genutzt, eine Extensivierung würde hier starke Veränderungen in der Agrarstruktur erfordern.

e. Kontrollmöglichkeiten

Die durchschnittliche Viehbesatzdichte lässt sich einfach über die Viehbestände und die Betriebsfläche bzw. Grünlandfläche ermitteln. Eine Kontrolle für jede einzelne Grünlandfläche lässt sich jedoch schwieriger durchführen, da sich die Viehbesatzdichten durch Weideumtriebe jederzeit verändern lassen und auch nicht kontrolliert werden kann, welche

Düngermenge auf jede Fläche verbracht wurde. Zeigerpflanzen geben Hinweise auf die Nutzungs- und Düngungsintensität.

4.3.4 Zeitpunkt der Bodenbearbeitung

a. Definition/kurze Beschreibung

Bodenbearbeitung führt infolge Durchmischung und Durchlüftung des Bodens zu einer verstärkten Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs im Boden und aus Ernterückständen. Soll nach der Ernte einer Hauptfrucht eine Sommerung folgen, so würde bei einer Bodenbearbeitung im Herbst ein Großteil des mineralisierten Stickstoffs durch fehlendes Pflanzenwachstum vom Herbst bis zum Frühjahr nicht genutzt werden können und wäre potenziell auswaschungsgefährdet. Eine Verschiebung der Bodenbearbeitung ins Frühjahr hemmt den Mineralisationsschub und trägt so zu einer Reduzierung der N-Austräge bei. Die Bodenbearbeitung im Frühjahr sollte frühestens ab dem 1. Februar, bei Mais als Nachfrucht ab dem 15. März durchgeführt werden. Eine einmalige flache Bodenbearbeitung direkt nach der Ernte von Getreide oder Raps ist zulässig, um zügiges Auflaufen von Ausfallgetreide zu fördern.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

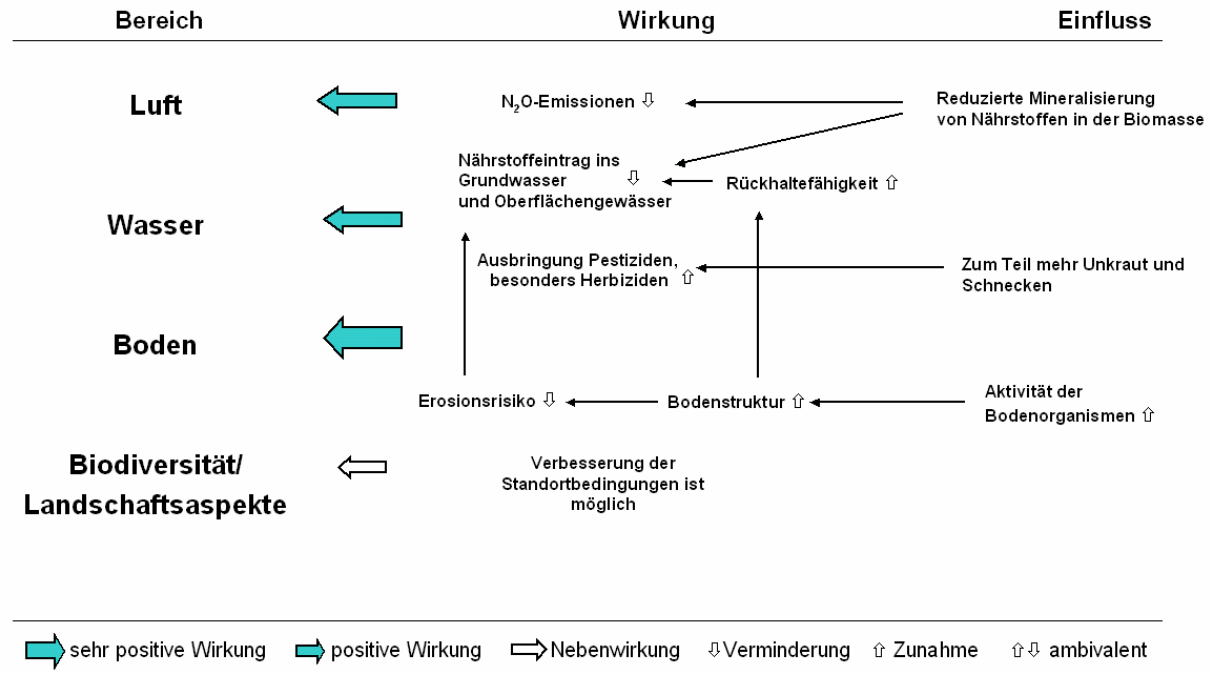
Die Verschiebung des Zeitpunktes der Bodenbearbeitung wurde bis jetzt im Rahmen der Agrarumweltprogramme noch nicht angeboten. Als ergänzende Auflage wird in einzelnen Maßnahmen der früheste Umbruchtermin definiert, z. B. bei der Anlage von Blühstreifen oder bei der Begrünung von Stilllegungsflächen.

c. Ökologische Auswirkungen

Durch die Verschiebung der Bodenbearbeitung vom Herbst ins Frühjahr kann eine Verminderung der N-Austräge um bis zu 20 kg N/ha erreicht werden (Garwood et al., 1999; Hansen und Djurhuus, 1997).

Durch die nicht zerstörten Grobporen und die verbleibenden Ernterückstände auf der Bodenoberfläche wird zudem die Infiltrationsleistung des Bodens erhöht und das Erosionsrisiko vermindert.

Abbildung 15: Ziel-Wirkungsdiagramm - Zeitpunkt der Bodenbearbeitung, konservierende Bearbeitung im Herbst



Quelle: Reiter et al., 2005a, verändert.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Grundsätzlich wäre eine Verschiebung der Bodenbearbeitung vom Herbst auf das Frühjahr auf allen Flächen möglich, auf denen im Folgejahr eine Sommerung angebaut wird. Bei schwereren Böden und nassen Standorten kann eine Bodenbearbeitung im Frühjahr problematisch sein, da nicht immer eine ausreichende Befahrbarkeit des Bodens gewährleistet ist. Zudem wird auf sehr schweren Standorten gezielt die Frostgare über Winter ausgenutzt, um im Frühjahr ein feinkrümeliges Saatbett herstellen zu können.

Das Unterlassen der intensiven Bodenbearbeitung im Herbst und somit das Belassen der Ernterückstände auf dem Acker über Herbst und Winter kann zu einem vermehrten Auftreten von Unkräutern und Schnecken führen, insbesondere in Kombination mit der Mulchsaat, wodurch die Akzeptanz seitens der Landwirte begrenzt ist.

e. Kontrollmöglichkeiten

Eine Kontrolle ist nur direkt durch die Überprüfung auf dem Feld möglich, daneben können Betriebsaufzeichnungen eingesehen werden.

4.4 Maßnahmen zur Verminderung des Oberflächenabflusses, mit Einfluss auf direkte Eintragspfade in Oberflächengewässer

Zu den Maßnahmen, die vorrangig auf den Oberflächenabfluss wirken, gehören die Erosionsschutzmaßnahmen, wie konservierende Bodenbearbeitung in Form von Mulch- und Direktsaat bzw. –pflanzverfahren, die Anlage von Ackerrand- und Grünstreifen sowie die Bewirtschaftung quer zum Hang, z. T. in Kombination mit Schlagteilungen. Ackerrand- und Grünstreifen haben den gleichen Wirkungsmechanismus wie Uferrandstreifen und werden daher nicht gesondert betrachtet. Schlagteilungen haben nur eine positive Wirkung, wenn die Teilflächen unterschiedlich bewirtschaftet werden. Ihre Wasserschutzwirkung ist somit abhängig von einer Änderung der Fruchtfolge. Die Kosten einer Bewirtschaftung quer zum Hang sowie die Schlagteilung sind stark abhängig von Schlaggröße und –form. Auch ihre Wirksamkeit ist abhängig von Hangneigung und Schlaglänge (vgl. auch Krimly, 2006).

4.4.1 Konservierende Bodenbearbeitung

a. Definition/kurze Beschreibung

Der Begriff konservierende Bodenbearbeitung wurde aus dem Amerikanischen übersetzt (conservation tillage). Hiermit werden Bodenbearbeitungsverfahren beschrieben, die im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung Boden- und Wasserverluste vermindern (Sommer et al., 1981). Hierzu zählen umbruchlose Grünlanderneuerung, Mulch-, Direktsaat und Mulchpflanzverfahren.

Grundsätzlich wird die konservierende Bodenbearbeitung durch zwei Aspekte gekennzeichnet. Zum einen soll die übliche Intensität der Bodenbearbeitung (Art, Tiefe und Häufigkeit des mechanischen Eingriffs) vermindert werden, mit dem Ziel, durch die längere Bodenruhe ein stabiles, tragfähiges Bodengefüge zum Schutz gegen Verdichtungen durch nachfolgendes Befahren zu erreichen. Zum zweiten sollen Pflanzenrückstände der Vor- bzw. Zwischenfrüchte nahe oder auf der Bodenoberfläche belassen werden, mit dem Ziel, eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung über einem intakten Bodengefüge als vorbeugenden Schutz vor Erosion und Verschlämmung zu erreichen (Sommer et al., 1995).

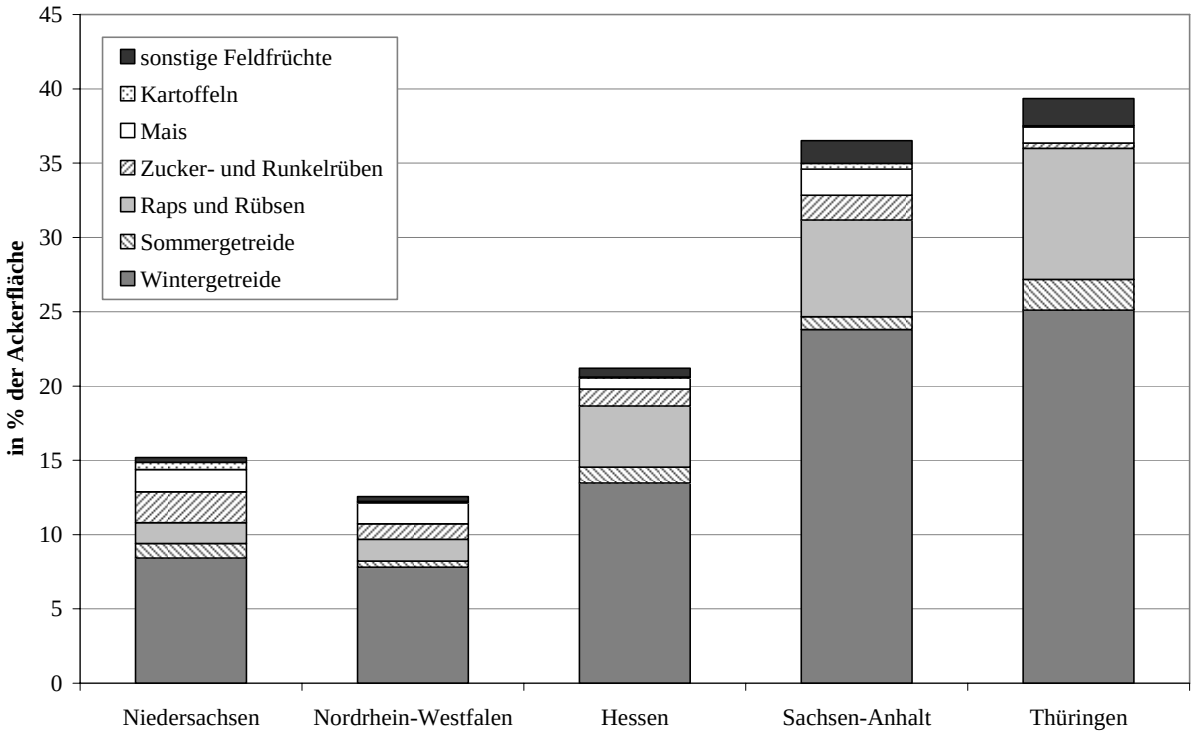
Zwei Varianten der Mulchsaat werden unterschieden: Bei der Mulchsaat mit Saatbettbereitung werden die Pflanzenrückstände vor oder während der Bestellung flach eingearbeitet, wohingegen bei der Mulchsaat ohne Saatbettbereitung die Hauptfrucht ohne jegliche Bearbeitung in die Zwischenfrucht bzw. –stoppel gesät wird, zu der in der Regel eine Grundbodenbearbeitung durchgeführt wurde (Sommer et al., 1995).

Die Direktsaat hingegen wird als ein Bestellverfahren ohne jegliche Bodenbearbeitung seit der vorangegangenen Ernte definiert. Mit Zinkensäscharen oder Scheibenmaschinen werden Säschlitze geöffnet, in die das Saatgut abgelegt wird (Sommer et al., 1995).

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Im Anbaujahr 2003/04 betrug der Flächenumfang der zur Hauptfrucht nicht gepflügten Ackerfläche bzw. der Anteil der nicht gepflügten Fläche an der gesamten Ackerfläche in Niedersachsen 280.264 ha (15,2 %), in Nordrhein-Westfalen 135.511 ha (12,6 %), in Hessen 101.243 ha (21,2 %), in Sachsen-Anhalt 365.449 ha (36,5 %) und in Thüringen 242.242 ha (39,3 %) (Abbildung 16).

Abbildung 16: Anteil der im Anbaujahr 2003/04 zur Hauptfrucht nicht gepflügte Fläche von der gesamten Ackerfläche (%)



Quelle: Statistisches Bundesamt, 2005.

c. Ökologische Auswirkungen

Im Vergleich zum Pflugeinsatz wird bei der Mulchsaat durch die fehlende starke Durchmischung und Belüftung des Bodens die Mineralisation gehemmt. Die geringeren Herbst-N_{min}-Werte und die im Winterhalbjahr verminderte Mineralisation tragen dazu bei, dass die N-Austräge um bis zu 25 kg/ha vermindert werden können (Goss et al., 1993; Hansen und Djurhuus, 1997; Zhao, 1993). Auch die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2002) wies in Feldversuchen der Jahre 2000 und 2001 die positive Wirkung konservie-

render Bodenbearbeitung nach, wobei allerdings die absoluten Werte wesentlich geringer waren. Dies bedeutet, dass das Minderungspotenzial sehr stark von der Witterung abhängt.

Bei Direktsaat kann es im Sommerhalbjahr bei intensiven Niederschlägen zu einer schnellen Versickerung des Wassers durch Makroporen (bypass-flow) kommen (Beisecker, 1994). Wenn kurz vor diesem Ereignis eine Düngung erfolgt, kann eine große Menge an Nährstoffen, sowohl N als auch P, in tiefere Bodenschichten versickern, ohne dass eine Nutzung durch die Pflanzen möglich wäre.

Neben der Verminderung der N-Auswaschung durch reduzierte Bodenbearbeitung trägt diese auch zum Erosionsschutz bei. Durch Direktsaat können der Sedimentverlust sowie der N-Austrag um 80 bis 100 % vermindert werden (Lütke Entrup et al., 2002; Rosner und Klik, 2001; Wegener, 2001; Wolfgarten et al., 1987).

Die Landwirtschaftskammer Hannover (ehem. Weser-Ems) weist auf einen erhöhten Düngebedarf bei Mulch- und Direktsaatverfahren von ca. 20 – 40 kg/ha hin und führt dies auf eine geringere Mineralisationsrate zurück (LWK Weser-Ems, 2005).

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Da die konservierende Bodenbearbeitung grundsätzlich auf allen Böden möglich ist, ist das Potenzial sehr groß. Weniger geeignet sind allerdings staunässebeeinflusste Böden und Böden in schlechtem Strukturzustand, z. B. durch Bodenverdichtungen.

Für die Mulch- oder Direktsaat ist die Anschaffung geeigneter Maschinen für die Bodenbearbeitung und Aussaat notwendig. Eine Möglichkeit wäre die überbetriebliche Nutzung dieser Maschinen, bei ausreichender Flächenausstattung lohnt sich die Anschaffung nach kurzer Zeit. Durch die reduzierte Zahl der Bearbeitungsgänge und die deutlich erhöhte Hektarleistung der Bodenbearbeitungs- und Sämaschinen ist es möglich, gegenüber der konventionellen Pflugtechnologie 30-50 % der Kosten einzusparen.

Grundsätzlich scheint die Akzeptanz für Erosionsschutzmaßnahmen bei den Landwirten nicht besonders ausgeprägt zu sein, da Bodenverluste und Offsiteschäden (z. B. Gewässereutrophierung) mikroökonomisch kaum bewertbar sind und daher der direkte Anreiz zur Umsetzung fehlt (KTBL, 1998).

e. Kontrollmöglichkeiten

Beim Einsatz überbetrieblicher Technik z. B. von Direktsaatmaschinen lässt sich dies über Belege von Lohnunternehmern bzw. Maschinenringen dokumentieren. Bei Eigenmechanisierung gilt das Vorhandensein der Technik als Nachweis. Auch eine Kontrolle auf dem Feld ist möglich.

4.4.2 Uferrandstreifen

a. Definition/kurze Beschreibung

Als Uferrandstreifen werden die Randbereiche entlang von Oberflächengewässern bezeichnet, die keiner landwirtschaftlichen Nutzung mehr unterliegen. Ziel ist es, einen naturnahen Gewässerrand wiederherzustellen und den Nährstoffeintrag und damit auch die Nährstoffbelastung des Oberflächenwassers zu vermindern. Die Pflegemaßnahmen werden, auch zur Förderung des Hochwasserschutzes, auf ein Minimum begrenzt. Die Randstreifen begleiten entweder künstliche Gewässer wie Gräben und Kanäle oder natürliche Fließ- und Stillgewässer. Es handelt sich dabei um Flächen in einer Breite von rund 10 bis 25 m, z. T. bis 50 m, die eine geschlossene Vegetationsdecke aufweisen. Einige Uferrandstreifen sind mit Baumbewuchs bestanden. Um ihren ökologischen Zweck zu erfüllen, ist es erforderlich, Randstreifen möglichst langfristig nicht mehr zu bewirtschaften.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Bereits seit Jahren bietet NRW im Rahmen seines Agrarumweltprogramms die Förderung von Uferrandstreifen entlang ausgewählter Gewässer an. In Niedersachsen erfolgt die Anlage von dauerhaften Uferrandstreifen häufig in Verbindung mit Baumaßnahmen als Ausgleichs- und Ersatzmaßnahme, z. B. werden auch im Rahmen von Flurbereinigungsverfahren Uferrandstreifen angelegt.

c. Ökologische Auswirkungen

Uferrandstreifen dienen dem Gewässerschutz und erfüllen vielfältige Funktionen: Sie sind Puffer gegen Nährstoffeinträge (insbesondere gegen Direktapplikation und Abdrift), dienen als Schutzstreifen gegen Uferschäden z. B. durch Viehtritt, erhöhen die Selbstreinigungskraft und Güte der Gewässer, sind wichtige Elemente der Biotopvernetzung und Lebensraum für Tiere und Pflanzen, bieten Deckungs- und Rückzugsraum für Wild und tragen außerdem zur Bereicherung des Landschaftsbildes bei. Die ökologische Wirksamkeit von Uferrandstreifen ist sowohl von deren Breite und deren Länge abhängig. Nur durchgängige, zumindest bedeutende Gewässerabschnitte begleitende Gewässerrandstreifen können sowohl ihre Funktion im Gewässerschutz als auch als lineare Verbindungselemente und Lebensräume für Flora und Fauna zufrieden stellend erfüllen. Jede Unterbrechung stört die Wirksamkeit erheblich, zumal die Uferrandstreifen nicht gleichmäßig durchströmt werden, sondern sich der Durchfluss auf einzelne Bereiche konzentriert. Daneben beeinflusst die konkrete räumliche Situation (Relief, Lage in Überschwemmungsgebiet, angrenzende Nutzung) die ökologische Wirksamkeit von Uferrandstreifen. Um eine Nährstoffakkumulation entlang der Gewässer zu vermeiden, bietet es sich an, zuvor ackerbaulich genutzte Flächen als Grünland einzusäen und einmal jährlich zu mähen sowie das Mahdgut abzufahren.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Nur rund 3 % der Fließgewässer in Niedersachsen befinden sich nach einer Abschätzung des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie (heute NLWKN) noch in einem naturnahen Zustand. Entsprechend hoch ist das Potenzial für die Anlage von Uferrandstreifen, selbst wenn diese aufgrund von Verbauung oder Verrohrung nicht immer mit vegetationsbestandenen Randstreifen versehen werden können. Da Uferrandstreifen möglichst langfristig oder gänzlich aus der landwirtschaftlichen Nutzung herausgenommen werden sollen, ist die Akzeptanz beschränkt. Vor allem ertragsreiche Ackerflächen werden nur ungern langfristig aus der Produktion genommen. In Niedersachsen wurde als NAU-Maßnahme die Anlage von Blühstreifen angeboten, diese können prinzipiell auch entlang von Gewässern angelegt werden, sind aber mit vorgegebenen Blühmischungen zu versehen. Entsprechend handelt es sich hierbei nicht um Uferrandstreifen im eigentlichen Sinn.

e. Kontrollmöglichkeiten

Die Anlage von Uferrandstreifen sowie die Produktionsaufgabe auf definierten Flächen entlang von Gewässern ist leicht zu kontrollieren. Bei bestimmten Auflagen wie Verbot des Befahrens, Verbot der Ausbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln ist eine Sichtkontrolle ebenfalls möglich, z. T. jedoch nur in zeitlicher Nähe zur Handlung.

4.5 Produktionssysteme mit positiver Wirkung auf die Wasserqualität

4.5.1 Ökologischer Landbau

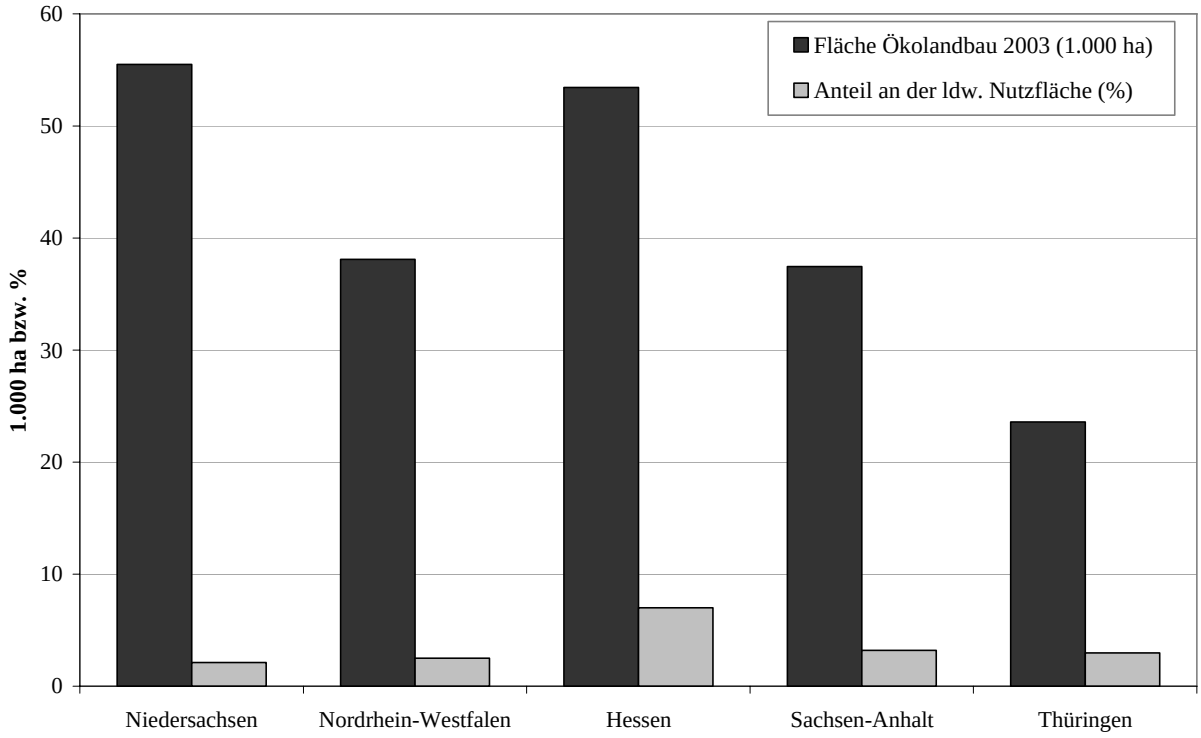
a. Definition/kurze Beschreibung

Die ökologischen Anbauverfahren müssen der VO (EWG) Nr. 2092/91 des Rates vom 24. Juni 1991 über den Ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel sowie des dazugehörigen EU-Folgerechts entsprechen. Die Mindestlaufzeit beträgt in der Regel fünf Jahre.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Im Jahr 2003 betrug der Anteil der ökologisch bewirtschafteten Flächen an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche in Niedersachsen 2,1 %, in Nordrhein-Westfalen 2,5 %, in Hessen 7,0 %, in Sachsen-Anhalt 3,2 % und in Thüringen 3,0 % (Abbildung 17).

Abbildung 17: Umfang des Ökologischen Landbaus (1.000 ha) bzw. Anteil der ökologisch bewirtschafteten Fläche an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (%) 2003



Quelle: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2002.

c. Ökologische Auswirkungen

Die Umstellung auf ökologische Wirtschaftsweise wird als mögliche Maßnahme gesehen, um negative Umweltwirkungen der Landwirtschaft zu vermindern (Berg et al., 1997; Frede und Dabbert, 1998; Haas, 2001; Köpke, 2002). Bezüglich der Wasserqualität betrifft dies die Austräge von Pflanzenschutzmitteln sowie N- und P-Austräge (Hansen et al., 2001). Die Verringerung der Nitratausträge ist in erster Linie auf die geringere Besatzdichte, den verminderten N-Input und den häufigeren Anbau von Zwischenfrüchten über Herbst und Winter zurückzuführen (Hansen et al., 2001). So ist eine deutliche Minderung des N-Saldos sowie der N_{min}-Werte im Herbst und der N-Austräge möglich (Berg et al., 1999; Dalgaard et al., 1998; Kurzer und Suntheim, 1999; Neve et al., 2003; Peters et al., 1990; Hege und Weigelt, 1991).

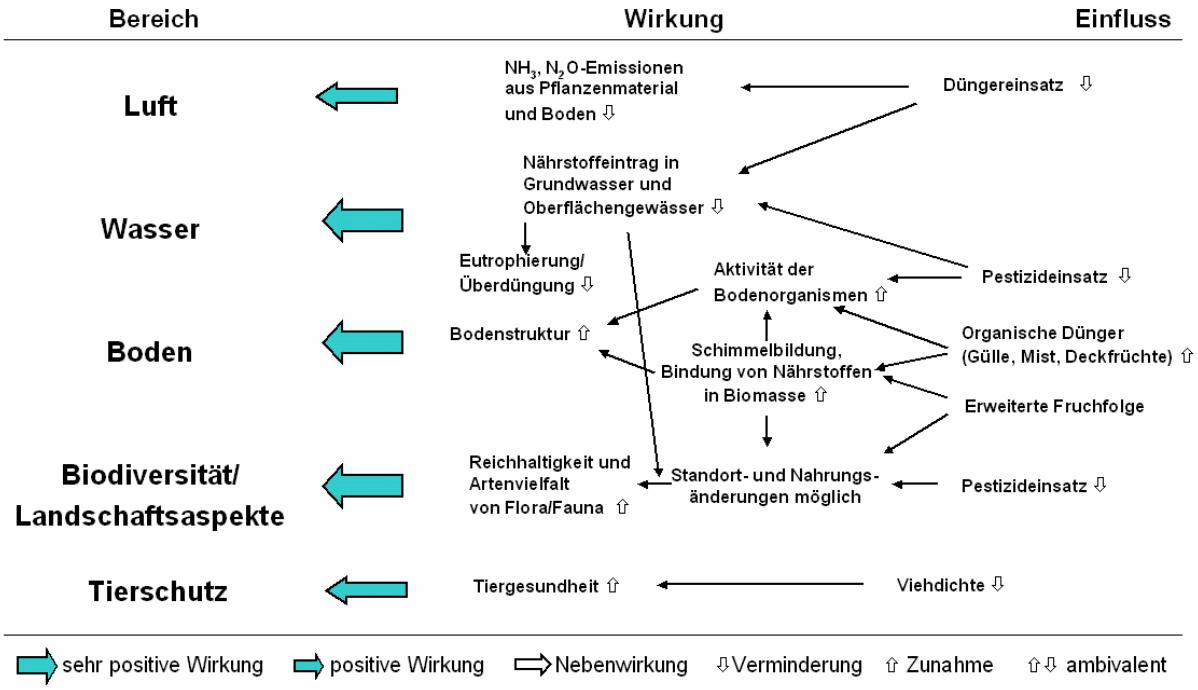
Eine Modellrechnung zur Umstellung auf Ökologischen Landbau ermittelte für Deutschland (Rheinland) ein Minderungspotential von durchschnittlich 100 kg N/ha auf ein Hoftorsaldo von durchschnittlich 21 kg N/ha. Die N-Effizienz stieg von 42-49 % auf 62-71 %, die Nitratrestmengen und somit das Nitrataustragspotential wurden um 55 % vermindert (Haas et al., 1998). Die Untersuchungen von Kern et al. (2006) auf ökologisch bewirt-

schafteten Flächen weisen darauf hin, dass die N-Auswaschung auf leichten Standorten sehr stark von den Niederschlagsverhältnissen abhängt. So wurde in dem extrem trockenen Jahr 2003 (< 300 mm) ein Austrag von 12 kg N/ha und ein Jahr später mit über 600 mm Niederschlag von 29 kg N/ha gemessen.

Außer der Bedeutung des Ökologischen Landbaus für die Gewässerqualität sind noch weitere positive Einflüsse auf die Umwelt von Bedeutung. So haben Versuche gezeigt, dass sich langjährige ökologische Bewirtschaftung positiv auf zahlreiche bodenmikrobiologische Parameter auswirkt. So ist der Gehalt an Biomasse im Boden höher als bei konventioneller Bewirtschaftung, Artenvielfalt und Dichte von Laufkäfern und Regenwürmern ist größer. Durch den geringeren Viehbesatz im Ökologischen Landbau sind die Ammoniakemissionen deutlich niedriger, vor allem im Vergleich zu Veredelungsbetrieben. Es sind flächen- und produktbezogene Einsparungen an Energie sowie Verminderungen von Kohlendioxidemissionen von bis zu 60 % möglich (Köpke und Haas, 1997).

Bezüglich des biotischen Ressourcenschutzes trägt der Ökologische Landbau zum Erhalt der biologischen Vielfalt bei. Auf Ackerland werden 1,2 bis 6 mal höhere Artenzahlen in ökologisch bewirtschafteten Äckern gefunden, Dauergrünland erhält bis zu 25 % höhere Artenzahlen (Köpke und Haas, 1997).

Abbildung 18: Ziel-Wirkungsdiagramm - Ökologischer Landbau



Quelle: Reiter et al., 2005a, verändert.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Die Einführung des Ökologischen Landbaus hängt in starkem Umfang von den Vermarktungsmöglichkeiten ab. Die niedrigeren Erträge müssen durch die Erzielung höherer Verkaufserlöse ausgeglichen werden.

Die Produktion nach den Richtlinien des Ökologischen Landbaus hat meist weit reichende Konsequenzen für die Betriebsstruktur, da in den meisten Fällen der gesamte Betrieb umgestellt werden muss. Oft ist es notwendig, im Bereich der Tierhaltung umfangreiche Umbauten vorzunehmen, da die Anforderungen in diesem Bereich, z. B. für den Platzbedarf im Stall oder das Angebot von Auslaufflächen, deutlich von den konventionellen Bedingungen abweichen. Die Umstellung muss darüber hinaus für mindestens fünf Jahre erfolgen.

e. Kontrollmöglichkeiten

Die Kontrolle erfolgt problemlos über die Einhaltung der VO (EWG) Nr. 2092/91.

4.5.2 Teilflächenspezifische Düngung bei Precision Farming

a. Definition/kurze Beschreibung

Precision Farming, zu deutsch "präziser Ackerbau", ist ein integriertes informations- und produktionsbasiertes Managementsystem. Ziel ist es, pflanzenbauliche Maßnahmen zur richtigen Zeit am richtigen Ort durchzuführen, hierdurch die Produktivität, Profitabilität und Effizienz zu erhöhen und gleichzeitig unerwünschte Effekte auf die natürlichen Ressourcen zu minimieren. Dabei dienen die Anwendung (neuer) Technologien und die Beachtung agrarökonomischer Prinzipien dazu, kleinräumige Unterschiede innerhalb landwirtschaftlicher Nutz- und Ackerflächen zu berücksichtigen. Neben der teilflächenspezifischen N-Düngung gehören die teilflächenspezifische Optimierung von Saatgut, Grunddünger sowie Pflanzenschutzmitteln zu den Bestandteilen eines erfolgreichen Precision Farmings. Bei der teilflächenspezifischen N-Düngung erfolgt die Düngung in Abhängigkeit vom Ertragspotenzial der Teilfläche. Dabei erhalten Bereiche innerhalb eines Schlages mit höherem Ertragspotenzial höhere N-Gaben als die Bereiche mit geringerem Ertragspotenzial, wobei die Differenzierung umso ausgeprägter ist, je größer die Heterogenität innerhalb eines Schlages ist. Bei der teilflächenspezifischen N-Düngung mit Mineraldünger finden unterschiedliche Verfahren Anwendung: Offlineverfahren (Kartenansatz, eher geeignet für Grunddüngung), Onlineverfahren (Sensoransatz, misst aktuelle Stickstoffversorgung der Kulturpflanze, hieraus wird N-Bedarf abgeleitet) und die Kombination von Offline- mit Online-Verfahren (Sensoransatz mit Kartenüberlagerung). Das größte Potenzial hat letzteres Verfahren beim Einsatz zum Wasserschutz, da nur dann flächenspezifisch Düngungsobergrenzen festgelegt werden können (z. B. entlang Oberflächengewäs-

ser, in WSG) und diese auch dann nicht überschritten werden, wenn z. B. durch Sensormesswerte eine höhere N-Gabe angezeigt wäre.

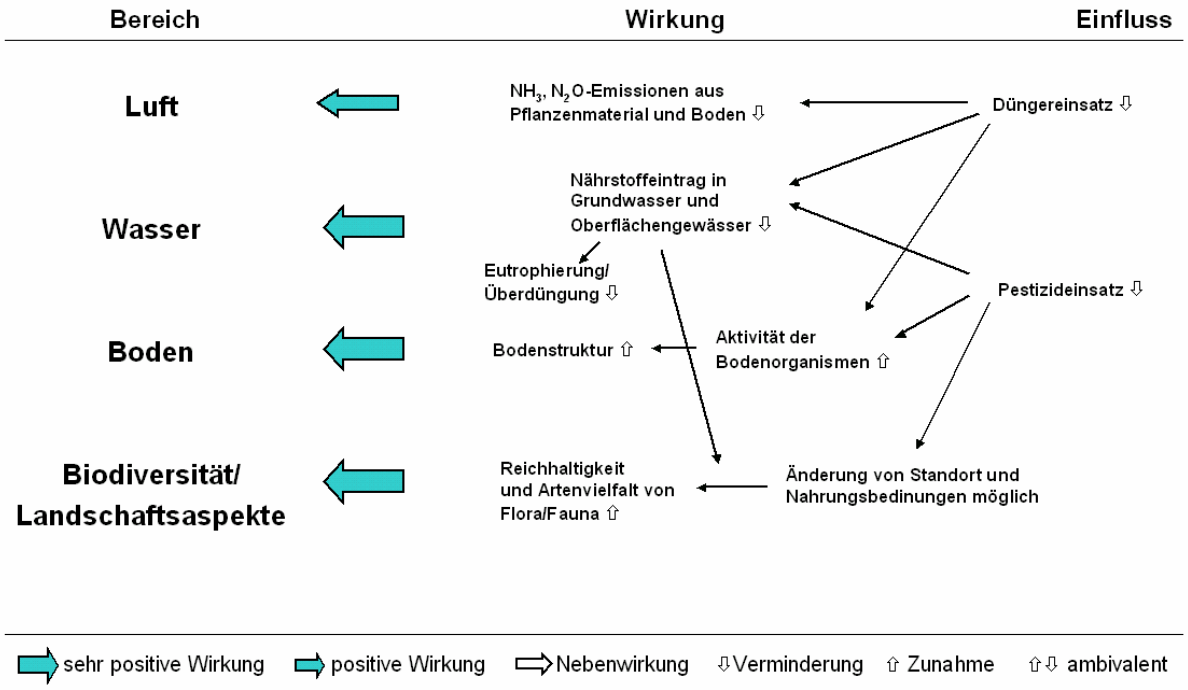
b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

In der Praxis dominieren noch die Verfahren, die der Informationsgewinnung dienen, wie Flächenvermessung mit GPS-Technik, Bodenbeprobung und Ertragskartierung. Diese Techniken sind Voraussetzung für eine erfolgreiche Umstellung auf die teilflächenspezifische Bewirtschaftung. Der Stickstoffsensor wird auf rund 400.000 ha (3,4 % der Ackerfläche) eingesetzt, hauptsächlich in den neuen Bundesländern, ansatzweise auch in Niedersachsen und Schleswig-Holstein (Rösch et al., 2005). Auf Betrieben mit viel Fläche und heterogenen Bodenverhältnissen ist Precision Farming besonders interessant (Schneider und Wagner, 2006), in 2005 lag die durchschnittliche Betriebsgröße der Anwender bei 904 ha (Rösch et al., 2005). Die größte Praxisrelevanz hat bisher die differenzierte Grund- und Stickstoffdüngung erlangt. In den meisten Fällen erfolgt jedoch noch eine intensive wissenschaftliche Begleitung. Die Betriebe stellen schrittweise auf die neue Technologie um und steigern Flächenumfang und Einsatzbereiche allmählich.

c. Ökologische Auswirkungen

Durch teilflächenspezifische Düngung kann Dünger eingespart werden, bei gleich bleibenden bis höheren Erträgen. Hierdurch lassen sich die N-Überschüsse und die N-Auswaschung reduzieren. Durch ein gezieltes Aussparen sensibler Bereiche (z. B. entlang von Oberflächengewässern) erbringt Precision Farming auch einen Beitrag zum Wasserschutz.

Abbildung 19: Ziel-Wirkungsdiagramm - Precision Farming



Quelle: Eigene Darstellung.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Die teilflächenspezifische N-Düngung erfordert hohe Investitionskosten. Bereits die Sensortechnik allein kostet rund 22.000 €, bei Nutzung in Verbindung mit Ertragskartierung und GIS liegen die Anschaffungskosten bereits bei 32.000 €. Erst bei Einsatz auf Flächen von mindestens 1.000 ha sinken die Kosten für Sensor mit Kartenüberlagerung auf unter 10 €/ha. Bei einem Düngepreis von 0,5 €/ kg N und einem Produktpreis von 10 €/dt lohnt sich der Einsatz der Sensorstrategie bei einem Mehrertrag von 2 dt/ha bzw. ab einer Düngereinsparung von 40 kg N/ha oder Kombinationen hiervon. Doch während die Kosten für Datenerfassung, Entscheidungsmodelle sowie die Applikations- und Navigationstechnik bekannt sind, lässt sich der Nutzen durch Düngereinsparung und Mehrertrag nur schwer abschätzen, da er von verschiedenen Faktoren abhängig ist, wie feldinterne Standortheterogenität, angebaute Kulturpflanze und Produktionsintensität, aber auch von nicht beeinflussbaren jährlich schwankenden Faktoren, wie Witterungsverlauf. Durch Einsatz von Technik durch Lohnunternehmen können Schwellenwerte weiter herabgesetzt werden. Noch gibt es großen Forschungsbedarf bei der Formulierung geeigneter Entscheidungsregeln für die optimale N-Düngung (z. B. mehr oder weniger N-Düngung auf wuchsschwachen Getreidebeständen). Diese sind zudem stark standortabhängig. Der Mineraldüngeraufwand kann durch eine teilflächenspezifische N-Düngung bei heterogenen Standortverhältnissen um 7 % bzw. 14 kg N/ha reduziert werden, bei bis zu 6 % höheren Erträgen (Rösch et al., 2005). Verfahren zur teilflächenspezifischen Ausbringung von Wirtschaftsdüngern sind erst in der Entwicklung und haben noch keine Praxisreife erlangt.

e. Kontrollmöglichkeiten

Die technische Ausstattung und Dokumentation des Einkaufs von Betriebsmitteln sowie deren schlagbezogene Anwendung belegen eine ordnungsgemäße Umsetzung.

4.6 Maßnahmen zur Erhöhung der Denitrifikation im Boden

Flächen, auf denen diese Maßnahmen umgesetzt werden, werden entweder vollständig aus der landwirtschaftlichen Nutzung herausgenommen oder sind in ihrer künftigen Nutzung stark eingeschränkt. Weder der Rückbau von Vorflutern als technische Maßnahme noch die aktive Flächenüberstauung (entweder in Folge von einem Rückbau von Vorflutern oder den Einbau spezieller Stauwehre) lassen sich auf einzelne Betriebsflächen begrenzen. Diese Maßnahmen erfolgen zumeist im Rahmen lokaler, z. T. auch regionaler Aktivitäten.

4.6.1 Rückbau von Vorflutern

a. Definition/kurze Beschreibung

Die Fließgewässer werden wieder an ihre natürlichen Überschwemmungsgebiete angeschlossen, Bsp. Renaturierung von Auen und Rückverlegung von Deichen. Dadurch werden temporär überstaute Flächen geschaffen.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Das Land Schleswig-Holstein hat im Rahmen der Maßnahme ´Naturnahe Entwicklung von Fließgewässern, Wiedervernässung von Niedermooren´ ca. 5 Mio. € verausgabt (Zeitraum 2000 bis 2004). Etwa ein Viertel dieser Summe wurde für Flächenkauf ausgegeben (Eberhardt et al., 2005).

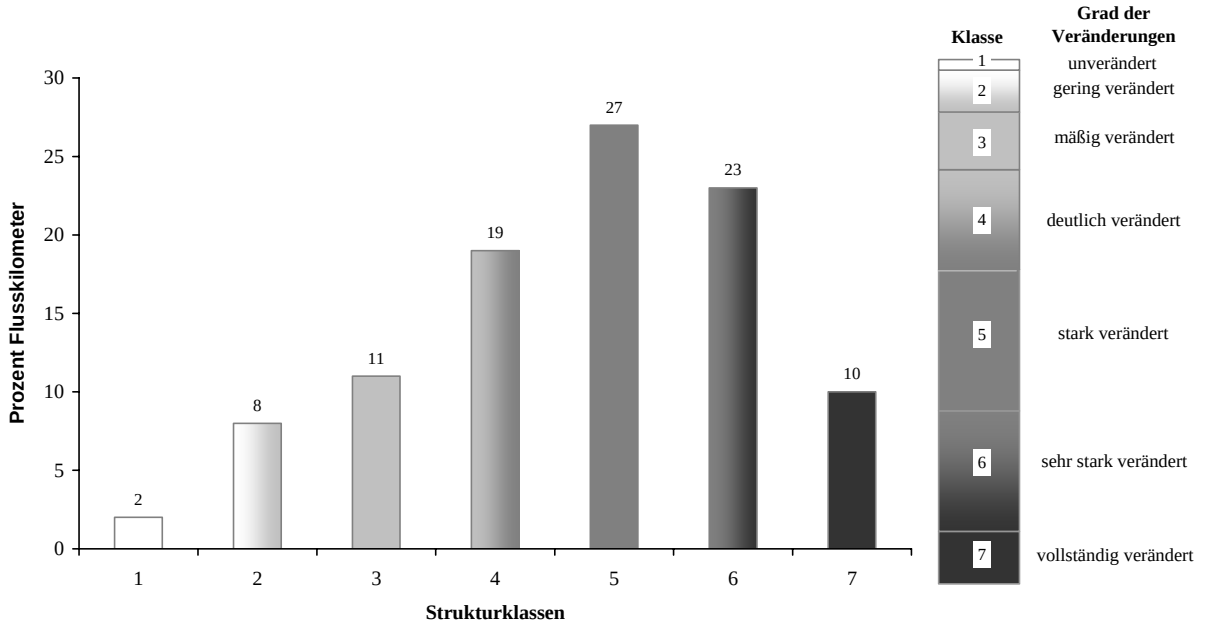
c. Ökologische Auswirkungen

Flora und Fauna passen sich an das veränderte Feuchteregime an. Die Sauerstoffverhältnisse im Boden verändern sich, so dass längere Phasen anaerober mikrobieller Aktivitäten zu erhöhter Denitrifikationsleistung führen. Gleichzeitig steigt jedoch auch die (klimaschädliche) Methanproduktion.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Ca. 60 % der Gewässerstrecken sind stark bis vollständig verändert (Abbildung 20). D. h. es besteht ein großes Potenzial zur Renaturierung von Fließgewässern (z. T. auch in nicht agrarischen Gebieten), wobei sich der Aufwand am Grad der Veränderung bemisst und die Akzeptanz an der alternativen Flächennutzung.

Abbildung 20: Verteilung der bewerteten Gewässerstrecken (ca. 33.000 km) auf Strukturklassen 2001



Quelle: Verändert nach: Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2002 – UBA/LAWA, Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland, Gewässerstruktur in der Bundesrepublik Deutschland 2001, Hannover 2002.

e. Kontrollmöglichkeiten

Kontrollmöglichkeiten sind durch visuelle Vor-Ort-Kontrolle (Bauabnahme) und schriftliche Dokumentation gegeben.

4.6.2 Aktive Flächenüberstauung

a. Definition/kurze Beschreibung

Diese Maßnahme bewirkt die Wiedervernässung von Niedermoorstandorten durch Anstau von Gewässern, die Errichtung von Abdämmungen und die Beseitigung von Entwässerungsanlagen.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

In Brandenburg werden Maßnahmen, wie Neubau von Stauanlagen und Schöpfwerken, an wasserwirtschaftlichen Anlagen in Gewässern II. Ordnung gefördert. Schleswig-Holstein finanziert die ´Wiedervernässung von Niedermooren´. In Niedersachsen werden zwei LI-

FE-Natur-Projekte zur ´Wiedervernässung der Dümmerniederung´ und ´Wiedervernässung des Hohen Moores´[1] gefördert.

c. Ökologische Auswirkungen

Eine Überstauung führt zu anaeroben Verhältnissen im Untergrund und verhindert somit eine weitere Mineralisation der organischen Substanz im Boden. Damit ist der vorhandene Stickstoff gebunden. Andererseits wird dadurch die Methanproduktion (CH_4) gesteigert.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

In Niedersachsen sind weitere Maßnahmen zur Wiedervernässung auf eigens erworbenen Naturschutzflächen geplant (Koch et al., 2003).

e. Kontrollmöglichkeiten

Wie alle baulichen Maßnahmen ist die aktive Flächenüberstauung sehr einfach visuell zu kontrollieren.

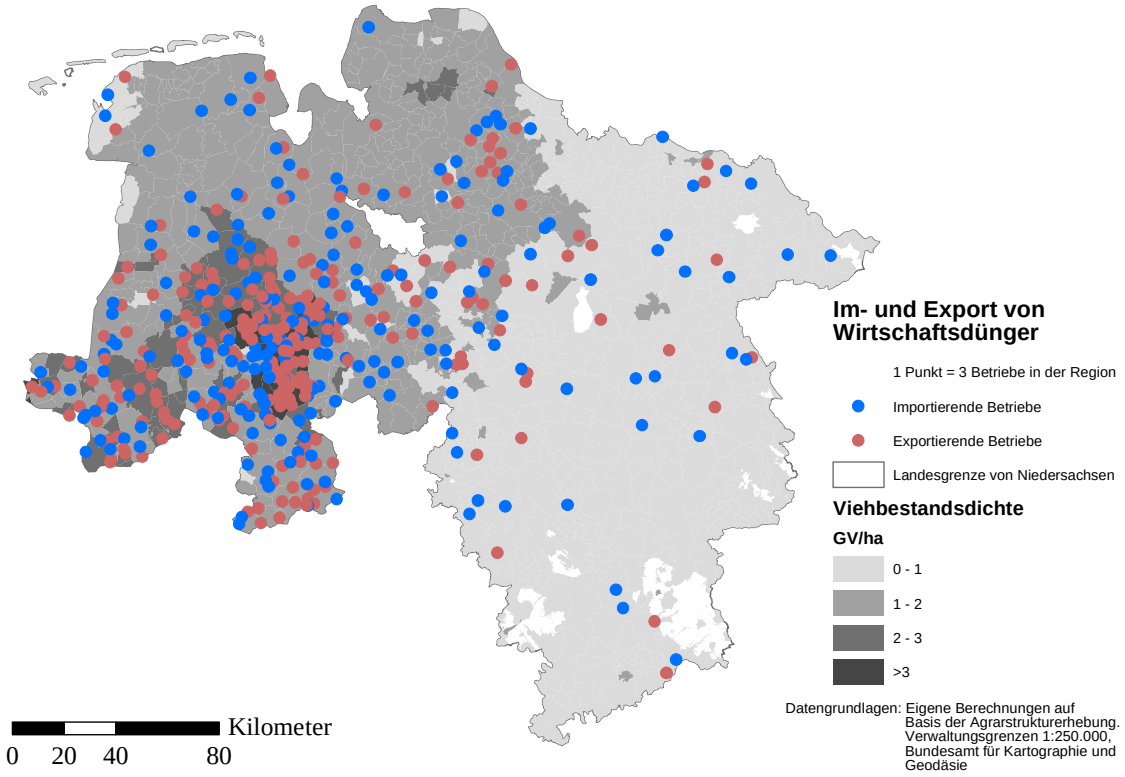
4.7 Überbetriebliches Wirtschaftsdüngermanagement

a. Definition/kurze Beschreibung

In Niedersachsen gaben bei der Agrarstrukturerhebung 2003 ca. 800 Betriebe (=1,5 %) an, organischen Dünger abzugeben, während ca. 700 Betriebe (=1,3 %) Gülle aufnahmen und auf betriebseigenen Flächen verwerteten (Abbildung 21). Die regionale Verteilung orientiert sich sehr stark an der Viehdichte, sowohl für die abgebenden als auch für die aufnehmenden Betriebe, d. h. ein überregionaler Transfer findet nur in geringem Umfang - hauptsächlich in Form von Trockenkot - statt.

[1] LIFE-Natur-Projekte des NLWKN (letzter Zugriff: 15.01.2007): http://www.nlwkn.niedersachsen.de/master/C13641495_N10539753_L20_D0_I5231158.html

Abbildung 21: Übernahme von Wirtschaftsdünger in Niedersachsen

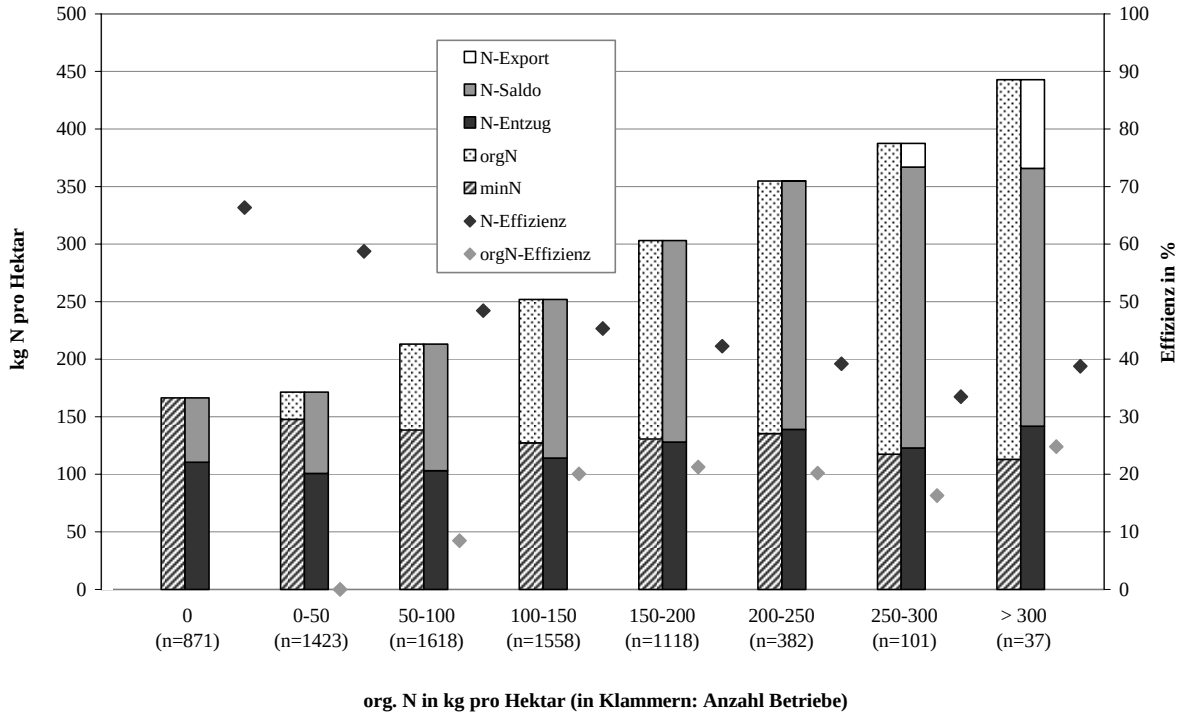


Quelle: Eigene Darstellung nach Agrarstatistik 2003.

Die Exporte sind vor allem der Düngeverordnung geschuldet, die den Einsatz von Wirtschaftsdünger im Allgemeinen auf 170 kg N/ha*a begrenzt, aber auch eine ausgeglichene Phosphorbilanz fordert.

Ein Lysimeterversuch mit Gülleanwendung aus den Jahren 1990 bis 1995 (Lorenz und Steffens, 1997) zeigt leicht abfallende Austragsraten im Winterroggen auch unterhalb der vorgeschriebenen Höchstmenge und nahezu gleich bleibend geringe Auswaschungsraten unter Mais. Insofern ist ein weitergehender Export von Wirtschaftsdünger, als ihn die Düngeverordnung vorschreibt, zumindest für Getreidebaubetriebe sinnvoll. Auf der anderen Seite ist zu bedenken, dass die Effizienz des Wirtschaftsdüngereinsatzes sehr stark variiert und es deshalb mehr auf das Management als auf die absolute Menge ankommt. Eine Betriebsdatenauswertung von Osterburg et al. (2004) zeigt einen sehr deutlichen Anstieg der organischen N-Effizienz bei steigendem Viehbesatz, während jedoch die Gesamt-N-Effizienz eher abnimmt.

Abbildung 22: Wirtschafts- und Mineraldüngereinsatz in landwirtschaftlichen Betrieben in Niedersachsen in Abhängigkeit vom N-Aufkommen aus tierischem Dung (Mittelwert der Jahre 1999/2000 und 2000/2001)



Quelle: Osterburg et al., 2004.

Der Gülleexport aus viehstarken Betrieben in viehschwache kann eine sinnvolle Maßnahme sein, wenn der Ausnutzungsgrad hoch angesetzt und günstige Ausbringzeiten beachtet werden.

b. Bereits erfolgter Einsatz der Maßnahme, wo und in welchem Umfang

Extensivierungsmaßnahmen mit Beschränkung der Wirtschaftsdüngeranwendung existieren bereits, während Maßnahmen zur Abgabe von Mist und Gülle bisher nicht bekannt sind.

c. Ökologische Wirkungen

Durch die Betriebsdatenauswertung lässt sich zwar keine Effizienzsteigerung belegen, jedoch kann man eine Effizienzsteigerung erwarten, wenn flankierende Maßnahmen, wie Beratung und Fortbildung, durchgeführt werden.

d. Potenzial, technische Umsetzbarkeit, Akzeptanz

Wie Abbildung 21 zeigt, ist das Potenzial in viehstarken Regionen sehr groß und wird aber auch durch die Düngeverordnung schon sehr stark reglementiert.

e. Kontrollmöglichkeiten

Bei Inanspruchnahme von Lohnunternehmern ist die Kontrollmöglichkeit durch Abrechnungsbelege sehr gut. Die Verbringung von Wirtschaftsdünger durch betriebseigene Fahrzeuge ist nur durch Dokumentenvergleich von abgebenden und aufnehmenden Betrieben möglich.

Literatur

Alvenäs, G. und Marstorp, H. (1993): Effect of a ryegrass catch crop on soil inorganic-N content and simulated nitrate leaching. Swedish Journal of Agricultural Research 23, S. 3-14.

Anger, M. (1997): Hoftorbilanzierung konventioneller und extensiver Grünlandbetriebe des Mittelgebirgsraumes. VDLUFA-Schriftenreihe 46. S. 347-350.

Anger, M., Hüging, H., Huth, C. und Kühbauch, W. (2002): Nitrat-Austräge auf intensiv und extensiv beweidetem Grünland, erfasst mittels Saugkerzen- und N_{min}-Beprobung. I. Einfluss der Beweidungsintensität. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 165 (5), S. 640-647.

Aronsson, H. und Torstensson, G. (1998): Measured and simulated availability and leaching of nitrogen associated with frequent use of catch crops. Soil Use and Management 14 (1), S. 6-13.

Askegaard, M., Olesen, J. E. und Kristensen, K. (2005): Nitrate leaching from organic arable crop rotations: effects of location, manure and catch crop. Soil Use and Management 21 (2), S. 181-188.

Ball, P. R. und Ryden, J. C. (1984): Nitrogen relationships in intensively managed temperate grasslands. Plant and Soil 76, S. 23-33.

Bechthold, K., Berger, E. und Übelhör, W. (2006): SchALVO-Nitrat-Bericht 2005. In: Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg und Stuttgart (Hrsg.): Ergebnisse der Nitratuntersuchungen von Böden aus Wasserschutzgebieten (WSG) im Rahmen der SchALVO-Kontrolle. S. 1-7.

Behrendt, A., Schalitz, G., Müller, L. und Schindler, U. (2003): Nährstoffdynamik auf extensiv genutzten Niedermoorweiden - Weide und Lysimeterversuch. 10. Grumpensteiner Lysimentertagung, 29.-30. April 2003. S. 129-132.

Beisecker, R. (1994): Einfluß langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf das Bodengefüge, die Wasserinfiltration und die Stoffverlagerung eines Löß- und eines Sandstandortes. Bodenökologie und Bodengenese 12.

Bellof, G. und Stadler, J. (1998): Stickstoff- und Phosphorausscheidungen senken. DGS Magazin 51/52, S. 18-20.

Benke, M. (1992): Untersuchungen zur Nitratauswaschung unter Grünland mittels der Saugkerzen-Methode in Abhängigkeit von der Nutzungsart (Schnitt/Weide), der Nutzungshäufigkeit, der Bestandeszusammensetzung (mit/ohne Weißklee) und der Stickstoffdüngung. Dissertation, Universität Kiel.

Berg, M., Haas, G. und Köpke, U. (1999): Flächen- und produktbezogener Nitrataustrag bei Integriertem und Organischem Landbau in einem Wasserschutzgebiet am Niederrhein. In: Hoffmann, H. und Müller, S. (Hrsg.): Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 23.-25. Februar 1999 Berlin. S. 239-242.

Berg, M., Haas, G. und Köpke, U. (1997): Water protection areas: comparison of nitrate leaching in organic, integrated and conventional farming systems. Schriftenreihe - Institut für Organischen Landbau 4, S. 28-34.

Bergschmidt, A. (2004): Entwicklung und Erprobung von Erhebungsmethoden zum Wirtschaftsdüngermanagement in landwirtschaftlichen Betrieben. Projektbericht "TAPAS 2003 Deutschland. Agrarumweltaspekte - Art und Umfang der Ausbringungstechniken für Wirtschaftsdünger in landwirtschaftlichen Betrieben". Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie. 07/2004.

Bergström, L. F. und Jokela, W. E. (2001): Ryegrass cover crop effects on nitrate leaching in spring barley fertilized witz $15NH_4 15NO_3$. Journal of Environmental Quality 30, S. 1659-1667.

Bohnenkemper, O. (2007): Persönliche Mitteilung, 10.01.2007.

Bokermann, R. und Kern, M. (1988): Einfluss einer begrenzten Stickstoff-Düngung auf Flächenerträge und landwirtschaftliche Einkommen. Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch. 65 [7], S. 777-787.

Böttcher, J. und Strebel, O. (1985): Die mittlere Nitratkonzentration des Grundwassers in Sandgebieten in Abhängigkeit von der Bodennutzungsverteilung. Wasser und Boden 8, S. 383-387.

Büchter, M. (2003): Nitratauswaschungen unter Grünland und Silomais in Monokultur auf sandigen Böden Norddeutschlands. Dissertation, Universität Kiel.

Catt, J. A., Howse, K. R., Christian, D. G., Lane, P. W., Harris, G. L. und Goss, M. J. (1998): Strategies to decrease nitrate leaching in the Brimstone Farm Experiment, Oxfordshire, UK, 1988-1993: the effects of winter cover crops and unfertilised grass leys. Plant and Soil 203, S. 57-69.

Chambers, B. J., Smith, K. A. und Pain, B. F. (2000): Strategies to encourage better use of nitrogen in animal manures. Soil Use and Management 16, S. 157-161.

Dalgaard, T., Halberg, N. und Kristensen, I. (1998): Can Organic Farming help to reduce N-losses? – Experiences from Denmark. Nutrient Cycling in Agroecosystems 52, S. 277-287.

Deimer, C., Heyer, W. und Lüdigk, R. (2005): Evaluation des Entwicklungsplanes für den ländlichen Raum für den Interventionsbereich der EAGFL-Garantie im Förderzeitraum 2000 bis 2006 des Landes Sachsen-Anhalt. Landgesellschaft Sachsen-Anhalt mbH; Institut für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung Halle-Leipzig e.V.; Institut für Nachhaltige Landwirtschaft.

Diepolder, M., Peretzki, F., Heigl, L. und Jakob, B. (2006): Nitrat- und Phosphorbelastung des Sickerwassers bei Acker- und Grünlandnutzung. Schule und Beratung 4/06, S. III 3-III 10.

Djurhuus, J. und Olsen, P. (1997): Nitrate leaching after cut grass/clover leys as affected by time of ploughing. Soil Use and Management 13, S. 61-67.

Dressel, J. und Jung, J. (1983): Nährstoffverlagerung in einem Sandboden in Abhängigkeit von der Bepflanzung und Stickstoffdüngung (Lysimeterversuche). Landwirtschaftliche Forschung 36, S. 363-372.

Dyckmans, A. und Weissbach, F. (1997): Untersuchungen zur Weidewirtschaft mit wachsenden Rindern und Schafen unter Verzicht auf Stickstoffdüngung. DLG Arbeitsunterlagen, Tagungsband der gemeinsamen Fachtagung der DLG-Ausschüsse "Grünland und Futterbau" und "Futterkonservierung", 1997. S. 51-57.

Eberhardt, W., Koch, B., Raue, P., Tietz, A., Bathke, M. und Dette, H.-H. (2005): Aktualisierung der Halbzeitbewertung des Programms ´Zukunft auf dem Land´, Kapitel 9. In: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Ländliche Räume (Hrsg.): Halbzeitbewertung des Programms ´Zukunft auf dem Land´ (ZAL) gem. Verordnung (EG) Nr. 1257/1999. Braunschweig, Hannover.

Eichler, B., Zachow, B., Bartsch, S., Köppen, D. und Schnug, E. (2004): Influence of catch cropping on nitrate contents in soil and soil solution. Landbauforschung Völkenrode 1/2004, S. 7-12.

Ernst, P. (1995): Futterproduktion, tierische Leistung und Nährstoffbilanz bei differenzierter Stickstoffdüngung und Beweidung auf Dauergrünland. VDLUFA-Schriftenreihe 40. S. 189-192.

Foerster, P. (1973): Einfluß hoher Güllegaben und üblicher Mineraldüngung auf die Stoffbelastung (NO_3, NH_4, P und SO_4). Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 137, S. 270-286.

Frede, H.-G. und Dabbert, S. (Hrsg.) (1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. ecomed. Landsberg.

Garwood, T. W. D., Davies, D. B. und Hartley, A. R. (1999): The effect of winter cover crops on yield of the following spring crops and nitrogen balance in a calcareous loam. Journal of Agricultural Science 132, S. 1-11.

Goerges, T., Dittert, K. und Sattelmacher, B. (1997): Verwertung und Umsetzung von 15N-markierter Rindergülle nach Herbst- und Frühjahrsapplikation. VDLUFA-Schriftenreihe 46. S. 619-622.

Görlitz, H. (1983): Untersuchungen zur Anwendung von Nitrifikationsinhibitoren bei der Gülledüngung - Ergebnisse von Feldversuchen. Archiv für Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde 27 (8), S. 525-534.

Görlitz, H. (1989): Verringerung der N-Verlagerung im Boden nach Gülledüngung durch Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren - Ergebnisse aus Lysimeteruntersuchungen. Archiv für Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde 33 (10), S. 567-572.

Goss, M. J., Howse, K. R., Lane, P. W., Christian, D. G. und Harris, G. L. (1993): Losses of nitrate-nitrogen in water draining from under autumn-sown crops established by direct drilling or mouldbourd ploughing. Journal of Soil Science 44, S. 35-48.

Grüning, K. (2004): Das Geheimnis des wurzelumhüllten Ammoniumdepots. Die Grüne, Schweizerische Landwirtschaftliche Zeitschrift 6, S. 30-33.

Haas, G. (2001): Organische Landbau in Grundwasserschutzgebieten: Leistungsfähigkeit und Optimierung des pflanzenbaulichen Stickstoffmanagements. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau Verlag Dr. Köster. Berlin.

Haas, G., Berg, M. und Köpke, U. (1998): Grundwasserschonende Landnutzung. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau 10. Verlag Dr. Köster. Berlin.

Hahndel, R. und Strohm, M. (2001): New stabilized N-fertilizers: further studies. Gemüse (München) 37 (6), S. 13-14.

Hansen, B., Alroe, H. und Kristensen, E. (2001): Approaches to assess the environmental impact of organic farming with particular regard to Denmark. Agriculture, Ecosystems & Environment 83 (1/2), S. 11-26.

Hansen, E. und Djurhuus, J. (1997): Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. Soil and Tillage Research 41 (3/4), S. 203-219.

Hege, U. und Weigelt, H. (1991): Nährstoffbilanzen alternativ bewirtschafteter Betriebe. Landwirtschaftliches Jahrbuch. 68 [4], S. 403-407.

Hochberg, H., Finke, C., Schwabe, M., Zopf, D. und Matthes, I. (2003): Halbzeitbewertung des Entwicklungsplanes für den ländlichen Raum Thüringen, 2000 - 2006. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.

Hoppe, T. (1995): Untersuchungen zur Weidewirtschaft mit Milchkühen bei Verzicht auf Stickstoffdüngung. Dissertation, Universität Kiel. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 161.

Hösch, J. und Dersch, G. (2003): Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den zeitlichen Verlauf von N-Verlusten. 10. Gumpensteiner Lysimetertagung, Irdning, Österreich, 29.und 30.April 2001. S. 67-70.

Johnston, A., McEwen, J., Lane, P., Hewitt, M., Poulton, P. und Yeoman, D. (1994): Effects of one to six year old ryegrass-clover leys on soil nitrogen and on the subsequent yields and fertilizer nitrogen requirements of the arable sequence winter wheat, potatoes, winter wheat, winter beans (Vicia faba) grown on a sandy loam soil. Journal of Agricultural Science 122, S. 73-89.

Jonczyk, K. (2004): The content of mineral nitrogen in soil in the ecological and conventional crop production systems. Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Sectio E, Agricultura. 59. S. 391-397.

Kern, J., Hellebrand, H.-J. und Kavdir, Y. (2006): Nitrogen Leaching in an Aquatical Terrestrial Transition Zone. In: Baba, A. (Hrsg.): Groundwater and Ecosystems. Springer. Netherlands. S. 195-204.

Klein, C., Logtestijn, R., Meer, H. und Geurink, J. (1996): Nitrogen losses due to denitrification from cattle slurry injected into grassland soil with and without a nitrification inhibitor. Plant and Soil 183 (2), S. 161-170.

Klempt, L. (1997): Ermittlungen zum Nitrataustrag aus Dauergrünland unter Weidenutzung auf Flußmarsch unter besonderer Berücksichtigung von Exkrementstellen. In: Universität - Gesamthochschule Kassel (Hrsg.): Ökologie und Umweltsicherung 13.

Koch, B., Eberhardt, W., Hartthaler, S., Tietz, A., Wollenweber, I., Bathke, M., Sourell, H. und Dette, H.-H. (2003): Halbzeitbewertung von PROLAND Niedersachsen - Programm zur Entwicklung der Landwirtschaft und des Ländlichen Raumes, Kapitel 9. In: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Ländliche Räume (Hrsg.): Halbzeitbewertung des Programms ´Zukunft auf dem Land´ (ZAL) gem. Verordnung (EG) Nr. 1257/1999. Braunschweig, Hannover.

Kolenbrander, G. J. (1981): Leaching of nitrogen in agriculture. In: Brogan, J. C. (Hrsg.): Nitrogen losses and surface run-off from landspreading of manures. Martinus Nijhoff / Dr. W. Junk. The Hague / Boston / London. S. 199-216.

Kolenbrander, G. J. (1969): Nitrate content and nitrogen loss in drainwater. Netherlands Journal of Agricultural Science 17, S. 246-255.

Köpke, U. (2002): Umweltleistungen des ökologischen Landbaus. Ökologie und Landbau 122, S. 6-18.

Köpke, U. und Haas, G. (1997): Umweltrelevanz des Ökologischen Landbaus. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 175, S. 119-146.

Kowalewsky, H.-H. (2004a): Luftnummer. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems 29, S. 14-16.

Kowalewsky, H.-H. (2004b): Geruchsarm. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems 4, S. 11-14.

Kowalewsky, H.-H. und Müller, J. (1994): Gülle auf Grünland: Schleppschuhe sind die Lösung. Wann sich die Schleppschuhe für Sie rechnen. Top agrar 5, S. 60-64.

Krimly, T. (2006): Vorschriften können Zielen zuwiderlaufen. Landwirtschaftliches Wochenblatt 47, S. 11-12.

KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.) (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz, Schlußfolgerungen für gute fachliche Praxis. Arbeitspapier 266. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL). Darmstadt.

KTBL und UBA (Hrsg.) (2005): Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft mindern. aid-KTBL Broschüre 1454. aid - Infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V. Bonn.

Kücke, M. (Hrsg.) (2003): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) - Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 245.

Kühbauch, W., Anger, M. und Roth, M. (1997): Wirkung von Exkrementstellen auf die Nitratverlagerung unter beweidetem Grünland in Abhängigkeit vom Nutzungstermin und Standort. Forschungsberichte des Lehr- und Forschungsschwerpunktes "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft" Universität Bonn.

Kurzer, J. und Suntheim, L. (1999): Nitratgehalte im Boden (Dauertestflächen) als Kriterium für die Erfolgskontrolle umweltentlastender Maßnahmen nach dem Förderprogramm "Umweltgerechte Landwirtschaft" (UL) in Sachsen. Infodienst Pflanzenproduktion. S. 56-60.

Lewan, E. (1994): Effects of a catch crop on leaching of nitrogen from a sandy soil: Simulations and measurements. Plant and Soil 166, S. 137-152.

LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2002): Berichte und Versuchsergebnisse, Spitalhof Kempten, 2. Ausgabe. Kapitel 5 - Nitratauswaschung. Kempten.

LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2004): Berichte und Versuchsergebnisse, Spitalhof Kempten, 3. Ausgabe. Kapitel 2.3 - Nitratauswaschung. Kempten.

Lindermayer, H. und Probstmeier, G. (1995): Schweinemast mit eiweißreduziertem Futter. Schule und Beratung 5, S. IV 23-IV 26.

Lloyd, A. (1992): Nitrate leaching following the break-up of grassland for arable cropping. Aspects of Applied Biology 30, S. 243-248.

Lorenz, F. und Steffens, G. (1997): Stickstoffauswaschung bei Mais und Winterroggen nach Gülledüngung in gestaffelten Gaben (Lysimeterversuch). Agribiological Reseach 50 (3), S. 193-203.

Lütke Entrup, N., Barth, H.-K., Gröblinghoff, F.-F. und Erlach, F. (2002): Boden- und Stoffabtrag von ackerbaulich genutzten Flächen - Ausmaß und Minderungsstrategien. Teilprojekt 2: Konservierende Bodenbearbeitung als ackerbauliche Maßnahme zur Verringerung des diffusen Eintrages von Pflanzenschutzmitteln (PSM) und Nährstoffen in Oberflächengewässer.

Lüttmann, G. und Müller, J. (1994): Viele Erfahrungen liegen vor. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems 12, S. 18-21.

LWK Niedersachsen - Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.) (2006): Ausgleichsleistungen in Wasserschutzgebieten gemäß § 51a NGW für das Erntejahr 2005.

LWK Niedersachsen - Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.) (2003): Einfluss unterschiedlicher Maisreihenweiten auf die Ertrags- und Qualitätsmerkmale von Silomais sowie die N-Dynamik im Boden.

LWK Weser-Ems - Landwirtschaftskammer Weser-Ems (Hrsg.) (2005): Versuche und Versuchsergebnisse zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung. Feldversuche in Wasserschutzgebieten in Weser-Ems im Rahmen der fachbehördlichen Aufgaben gemäß § 47h NWG. Oldenburg.

Martinez, J. und Guiraud, G. (1990): A lysimeter study of the effects of a ryegarss catch crop, during a winter wheat/maize rotation, on nitrate leaching and on the following crop. Journal of Soil Science 41, S. 5-16.

Miegel, K. und Zachow, B. (2002): Parzellenversuch an der Lysimeterstation Groß Lüsewitz zur Untersuchung des Einflusses von Zwischenfruchtanbau auf den N-Austrag in den Wintermonaten. Zusammenfassung der Versuchsergebnisse der Jahre 1999/2000, 2000/2001 und 2001/2002. S. 1-18.

Neve, S. d., Dieltjens, I., Moreels, E. und Hofman, G. (2003): Measured and simulated nitrate leaching on an organic and a conventional mixed farm. Biological Agriculture & Horticulture 21 (3), S. 217-229.

Osterburg, B., Schmidt, T. G. und Gay, S. H. (2004): Auswertung betrieblicher Daten zur Ermittlung des Stickstoffmineraldünger-Einsatzes [Endbericht für ein Forschungsvorhaben im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums] 387. Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie. 06/2004. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für ländliche Räume. Braunschweig.

Ott, H. und Taube, F. (1995): Untersaaten im Silomaisanbau in Schleswig-Holstein – eine Zwischenbilanz. Bauernblatt für Schleswig-Holstein und Hamburg 15, S. 2096-2098.

Owens, L. B. (1987): Nitrate leaching losses from monolith lysimeters as influenced by Nitrapyrin. Journal of Environmental Quality 16 (1), S. 34-38.

Peters, M., Blume, H.-P., Gömpel, H. und Sattelmacher, B. (1990): Nährstoffdynamik und -bilanz eines Podsols unter konventioneller und alternativer Ackernutzung. Journal of Agronomy and Crop Science 165, S. 289-296.

Pfeffer, E., Spieker, H., Ernst, P. und Hahner, I. (1995): Leistungen und N-Bilanzen in der Milchviehhaltung bei Verzicht auf mineralische N-Düngung des Grünlandes. Forschungsberichte des Lehr- und Forschungsschwerpunktes "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft" Universität Bonn.

Priebe, R. (1998): Vergleich der Weidehaltung von zwei Milchkuhherden auf extensiv und intensiv bewirtschafteten Grünland eines Gemischtbetriebes in Brandenburg. Extensivierung - Intensität contra Rentabilität?, Vorträge der Fachtagung des DLG- Ausschusses "Grünland und Futterbau", 23.6.1998. S. 37-42.

RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2005): VERORDNUNG (EG) Nr. 1698/2005 DES RATES vom 20. September 2005 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER). Amtsblatt der Europäischen Union L 277, Brüssel.

Reiter, K., Roggendorf, W., Runge, T., Schnaut, G., Horlitz, T. und Leiner, C. (2005a): Aktualisierung der Halbzeitbewertung von PROLAND NIEDERSACHSEN Programm zur Entwicklung der Landwirtschaft und des ländlichen Raums, Kapitel 6, Agrarumweltmaßnahmen - Kapitel VI der VO (EG) Nr. 1257/1999. In: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Ländliche Räume (Hrsg.): Aktualisierung der Halbzeitbewertung von PROLAND NIEDERSACHSEN Programm zur Entwicklung der Landwirtschaft und des ländlichen Raumes gem. Verordnung (EG) Nr. 1257/1999. Braunschweig, Hamburg, Hannover. S. 1-155.

Reiter, K., Roggendorf, W., Runge, T., Schnaut, G., Horlitz, T. und Leiner, C. (2005b): Aktualisierung der Halbzeitbewertung des NRW-Programms Ländlicher Raum, Kapitel 6, Agrarumweltmaßnahmen - Kapitel VI der VO (EG) Nr. 1257/1999. In: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Ländliche Räume (Hrsg.): Aktualisierung der Halbzeitbewertung des NRW-Programms Ländlicher Raum gem. Verordnung (EG) Nr. 1257/1999. Braunschweig.

Reiter, K., Roggendorf, W., Runge, T., Schnaut, G., Horlitz, T. und Leiner, C. (2005c): Aktualisierung der Halbzeitbewertung des Hessischen Entwicklungsplans für den ländlichen Raum, Kapitel 6, Agrarumweltmaßnahmen - Kapitel VI der VO (EG) Nr. 1257/1999. In: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Ländliche Räume (Hrsg.): Aktualisierung der Halbzeitbewertung des Hessischen Entwicklungsplans für den ländlichen Raum gem. Verordnung (EG) Nr. 1257/1999. Braunschweig. S. 1-124.

Richter, G., Hoffmann, A. und Richter, J. (1988): N-Mineralisation nach Krumenvertiefung und Grünlandumbruch in lehmigen Ackerböden. VDLUFA Schriftenreihe 28. S. 43-52.

Rieckmann, C. und Möbius, N. (2003): Wertvolle Tips zur Maisengsaat. Land und Forst 15, S. 18-24.

Rieß, F. (1993): Untersuchungen zur Nitratauswaschung nach mineralischer und organischer Düngung von Ackerlang und Grünland mittels Saugkerzen-Methode. Dissertation, Universität München.

Rösch, C., Dusseldorp, M. und Meyer, R. (2005): Precision Agriculture. 2. Bericht zum TA-Projekt "Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden - ökonomische und ökologische Potenziale. TAB-Arbeistbericht Nr. 106.

Rosner, J. und Klik, A. (2001): Wirtstoffabtrag bei konventionell, konservierend und direkt bewirtschafteten Ackerflächen. 9.Gumpensteiner Lysimetertagung, Irdning, Österreich 24.und 25.April 2001. 9, S. 219-210.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2002): Entwicklung von dauerhaft umweltgerechten Landbewirtschaftungsverfahren im sächsischen Einzugsgebiet der Elbe. Teilthema I: Begleitende Untersuchungen zur praktischen Anwendung und Verbreitung von konservierender Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau sowie Mulchsaat in den Ackerbaugebieten Sachsens zur Minderung von Wassererosion und Nährstoffaustrag im Elbeeinzugsgebiet. Leipzig.

Scheffer, F. und Schachtschabel, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin.

Schellbach, I. (2003): Im Getreide nur einmal Stickstoff düngen? Top agrar 3/2003, S. 66-68.

Schneider, M. und Wagner, P. (2006): Heterogene Böden und viel Fläche. Bauernzeitung 47. Woche, S. 15-17.

Scholefield, D., Tyson, K., Garwood, E., Armstrong, A., Hawkins, J. und Stone, A. (1993): Nitrate leaching from grazed grassland lysimeters: effects of fertilizer input, field drainage, age of sward and patterns of weather. Journal of Soil Science 44, S. 601-613.

Shepherd, M. A. (1999): The effectiveness of cover crops during eight years of a UK sandland rotation. Soil Use and Management 15, S. 41-48.

Shepherd, M. A. und Webb, J. (1999): Effects of overwinter cover on nitrate loss and drainage from a sandy soil: consequences for water management? Soil Use and Management 15, S. 109-116.

Shepherd, M., Hatch, D., Jarvis, S. und Bhogal, A. (2001): Nitrate leaching from reseeded pasture. Soil Use and Management 17, S. 97-105.

Sjödahl-Svensson, K., Lewan, E. und Clarholm, M. (1994): Effects of a ryegrass catch crop on microbial biomass and mineral nitrogen in an arable soil during winter. Swedish Journal of Agricultural Research 23, S. 31-38.

Smith, K., Beckwith, C., Chalmers, A. und Jackson, D. (2002): Nitrate leaching following autumn and winter application of animal manures to grassland. Soil Use and Management 18 (4), S. 428-434.

SMUL - Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.) (2005): Richtlinie des SMUL zur Förderung einer umweltgerechten Landwirtschaft im Freistaat Sachsen (UL). Dresden.

Sommer, C., Brunotte, J. und Ortmeier, B. (1995): Einführung von Verfahren der Konservierenden Bodenbearbeitung in die Praxis. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL). Darmstadt.

Sommer, C., Zach, M. und Dambroth, M. (1981): Bodenerosion erfordert alternative Formen der Bodenbearbeitung. Berichte über Landwirtschaft Sonderheft 197, S. 71-77.

Sörensen, J. N. (1992): Effect of catch crops on the content of soil mineral nitrogen before and after winter leaching. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 155, S. 61-66.

Spiekers, H., Grünewald, K.-H., Seiwert, C., Struth, R. und Niess, E. (1991): Reduction of N-excretion of piglets and fattening pigs by feeding synthetic amino acids. Agribiological Reseach 44 (2-3), S. 235-246.

Statistisches Bundesamt (2005): Ergebnisse einer Sondererhebung.

Statistisches Bundesamt (2003): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Fachserie 3, Reihe 3.1.8, Pflanzliche Erzeugung, 1977, 1991, 1995, 1999, 2003.

Statistisches Bundesamt (2004): Ökolandbau - Betriebswirtschaftliche Ausrichtung, Bodennutzung und Viehhaltung 2003.

Stauffer, W. und Spiess, E. (2001): Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgen und nachwachsender Rohstoffe auf die Nitratauswaschung. 9.Gumpensteiner Lysimetertagung, Irdning, Österreich 24.und 25.April 2001. S. 47-50.

Strebel, O., Böttcher, J., Eberle, M. und Aldag, R. (1988): Quantitative und qualitative Veränderungen im A-Horizont von Sandböden nach Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 151, S. 341-347.

Strebel, O., Böttcher, J. und Duynisveld, W. H. M. (1984): Einfluß von Standortbedingungen und Bodennutzung auf Nitratauswaschung und Nitratkonzentration des Grundwassers. Landwirtschaftliche Forschung 37, S. 34-44.

Thomsen, I. (2005): Nitrate leaching under spring barley is influenced by the presence of a ryegrass catch crop: results from a lysimeter experiment. Agriculture, Ecosystems & Environment 111 (1/4), S. 21-29.

Thomsen, I. und Christensen, B. (1999): Nitrogen conserving potential of successive ryegrass catch crops in continuous spring barley. Soil Use and Management 15 (3), S. 195-200.

Thorup-Kristensen, K. (2001): Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? Plant and Soil 230 (2), S. 185-195.

TLL - Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (1998): Förderprojekt Maisengreihenanbau. Abschlussbericht. Abschlussbericht. 27.06.640/1998. Jena.

Tonn, B., Weckherlin, P. und Thumm, U. (2006): Kotstellenverteilung auf einer Umtriebsweide - Beeinflussung durch das Weidemanagement. In: LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) (Hrsg.): Schriftenreihe 17. Die Zukunft von Praxis und Forschung in Grünland und Futterbau. 50. Jahrestagung der AGGF. S. 217-220.

Torstensson, G. und Aronsson, H. (2000): Nitrogen leaching and crop availability in manured catch crop systems in Sweden. Nutrient Cycling in Agroecosystems 56 (2), S. 139-152.

Vos, J. und Putten, P. (2004): Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. II. Effect of catch crops on nitrate leaching in autumn and winter. Nutrient Cycling in Agroecosystems 70 (1), S. 23-31.

Waldorf, N. und Schweiger, P. (2004): Wirkung des stabilisierten N-Düngers ENTEC® in Feldversuchen Baden-Württembergs 1998 - 2003. "ENTEC-Versuche". Informationen für die Pflanzenproduktion, Sonderheft 2. Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim.

Wallgren, B. und Linden, B. (1994): Effects of catch crops and ploughing times on soil mineral nitrogen. Swedish Journal of Agricultural Research 24, S. 67-75.

Walz, O. P. und Pallauf, J. (2002): Microbial phytase combined with amino acid supplementation reduces P and N excretion of growing and finishing pigs without loss of performance. International Journal of Food Science and Technology 37, S. 835-848.

Wegener, U. (2001): Dauerhafte Bodenbearbeitungsverfahren in Zuckerrübenfruchtfolgen - Ertragsbildung, Rentabilität, Energiebilanz und Bodenerosion im Vergleich. Dissertation, Universität Göttingen.

Wolfgarten, H. J., Franken, H. und Altendorf, W. (1987): Einfluß der Anbautechnik bei Zuckerrüben auf Bodenerosion und Ertrag. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 53, S. 343-348.

Zhao, B. (1993): Auswirkungen konservierender Bodenbearbeitung auf die Nährstoffverlagerung und einige bodenphysikalische Parameter. Dissertation, Universität Hohenheim.