



Optimierung N-Management

Schriftenreihe, Heft 25/2010



Analysen des Stickstoff-Managements von Praxisbetrieben in Sachsen auf Grundlage von Nährstoffbilanzierungen

Franziska Heinitz, Dr. habil. Erhard Albert
Frank Reinicke, Bernhard Wagner

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Zielstellung	9
3	Methodische Grundlagen	9
3.1	Datenquellen und -aufbereitung	10
3.2	Nährstoffbilanzierung mit BEFU	11
3.3	Das Modell REPRO	12
3.3.1	Humusbilanzierung in REPRO	13
3.3.2	N-Bilanzierung in REPRO	14
3.3.3	Berechnung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser	16
3.3.4	Optimierung mit REPRO: Szenariorechnungen zur Verbesserung der N-Effizienz	18
4	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse (horizontaler Betriebsvergleich)	18
4.1	Standorteigenschaften und Betriebsstrukturen	18
4.2	Ergebnisse der Humusbilanzierung	20
4.3	Ergebnisse der Stickstoffbilanzierung	23
4.4	Potenzieller Nitrataustrag mit dem Sickerwasser	26
4.5	Optimierung mit REPRO: Szenariorechnungen zur Verbesserung der N-Effizienz	28
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	32
6	Literaturverzeichnis	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einhaltung der Umweltqualitätsnormen für Nitrat in Oberflächenwasserkörpern (LFULG 2009 b)	7
Abbildung 2:	Chemischer Zustand der Grundwasserkörper hinsichtlich Nitrat (LFULG 2009 b)	8
Abbildung 3:	Schema zur Erstellung einer Flächenbilanz nach DüV (LfL, 2007)	12
Abbildung 4:	Aufbau des Programms REPRO	13
Abbildung 5:	Berücksichtigte N-Flüsse zur Berechnung des flächenbezogenen N-Saldos im Programm REPRO	15
Abbildung 6:	N-Pools und N-Flüsse im REPRO-Modul „N-Umsatz im Boden“	16
Abbildung 7:	Mittlere standortspezifische Sickerwassermengen und Verlagerungsgeschwindigkeit löslichen Stickstoffs der Untersuchungsbetriebe im Zeitraum 2006 - 2008 (*2007 - 2009)	19
Abbildung 8:	Aufteilung der Betriebe nach dem Grünlandanteil an der Gesamtfläche	19
Abbildung 9:	Standortabhängige Ertragsunterschiede der Hauptfruchtarten (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008)	20
Abbildung 10:	Humusbedarf der Untersuchungsbetriebe nach REPRO auf Grundlage der Humusbilanzen im erweiterten Modus (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)	21
Abbildung 11:	Humusersatzleistung der organischen Dünger in den Untersuchungsbetrieben nach REPRO auf Grundlage der Humusbilanzen im erweiterten Modus (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)	21
Abbildung 12:	Humussalden der Untersuchungsbetriebe nach REPRO auf Grundlage der Humusbilanz im erweiterten Modus (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)	22
Abbildung 13:	N-Zufuhr und N-Entzug in den Untersuchungsbetrieben (Ergebnisse REPRO, 3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)	23
Abbildung 14:	Organischer und mineralischer Stickstoffeinsatz in den Betrieben (Ergebnisse REPRO, organischer Dünger ohne Stroh- und Gründüngung, 3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)	23
Abbildung 15:	N-Saldo der Untersuchungsbetriebe nach BEFU und REPRO (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)	24
Abbildung 16:	N-Saldo der Fruchtarten nach BEFU und REPRO (3-jähriger Mittelwert)	24
Abbildung 17:	Bilanzglieder N-Saldo für einzelne Fruchtarten (nach REPRO, 3-jähriger Mittelwert)	25
Abbildung 18:	Nitrataustrag, Ammoniak- und Denitrifikationsverluste der Untersuchungsbetriebe nach REPRO (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)	26
Abbildung 19:	Nitrataustrag und Nitratkonzentration im Sickerwasser der Untersuchungsbetriebe nach REPRO (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)	26
Abbildung 20:	Beziehung zwischen (A) Nitrataustrag und Nitratkonzentration sowie zwischen (B) N-Saldo und Nitrataustrag (Berechnungen mit REPRO)	27
Abbildung 21:	N-Saldo, Nitratkonzentration im Sickerwasser und Sickerwassermenge der Untersuchungsbetriebe nach REPRO (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)	27
Abbildung 22:	Beziehung zwischen (A) Mineraldüngung und Ertrag der Untersuchungsbetriebe des Riesaer-Torgauer-Elbtals sowie (B) zwischen N-Effizienz und Nitratkonzentration bei Winterweizen im Betrieb D-1	28
Abbildung 23:	Beziehung zwischen (A) Düngung und Ertrag der Untersuchungsbetriebe des Riesaer-Torgauer-Elbtals sowie (B) zwischen N-Effizienz und Nitratkonzentration bei Silomais im Betrieb D-1	28
Abbildung 24:	Reduktionspotenziale im Nitrataustrag bei Zwischenfruchtanbau und optimierter Stickstoffdüngung (Ergebnisse Szenarierechnung mit REPRO)	30
Abbildung 25:	Betriebliche Nitratkonzentrationen der Szenarierechnung im Vergleich zur Ausgangssituation (Berechnungen mit REPRO)	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Standorteigenschaften und Betriebsstrukturen der Praxisbetriebe	10
Tabelle 2:	Datenabfrage zur Bewirtschaftung aus Ackerschlagkartei	11
Tabelle 3:	Datenabfrage zur Tierhaltung, Fütterung, zum Dünger sowie Verkauf Produkte	11
Tabelle 4:	Anbauumfang der dominierenden Fruchtarten in den Untersuchungsbetrieben	20
Tabelle 5:	Humussalden der Untersuchungsbetriebe nach verschiedenen Bilanzierungsverfahren (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)	22
Tabelle 6:	Optimierung der N-Düngung in der Szenariorechnung mit REPRO, Betrieb D-1.....	29
Tabelle 7:	Optimierung der N-Düngung in der Szenariorechnung mit REPRO (n=9 Betriebe).....	29
Tabelle 8:	Auswirkungen der Szenariorechnung mit REPRO auf wichtige Parameter; Betriebsübersicht (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)	30

Abkürzungsverzeichnis

AL	Ackerland
DüV	Düngeverordnung
ELER	Entwicklung des ländlichen Raumes
FM	Frischmasse
GE	Getreideeinheiten
GL	Grünland
GV	Großvieheinheit
GWK	Grundwasserkörper
HE	Humuseinheiten
KM	Körnermais
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
LfL	Landesanstalt für Landwirtschaft
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
MDÄ	Mineraldüngeräquivalent
N _{min}	Mineralischer Stickstoff
OBS	Organische Bodensubstanz
OWK	Oberflächenwasserkörper
SBG	Sommerbraugerste
SM	Silomais
TM	Trockenmasse
TRI	Triticale
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
WG	Wintergerste
WRa	Winterraps
WRo	Winterroggen
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WW	Winterweizen
ZR	Zuckerrübe

1 Einleitung

Das wichtigste Ziel der seit 2000 geltenden Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist das Erhalten bzw. Erreichen eines guten Zustands des Grund- und Oberflächenwassers. Bis Ende 2015 ist nach Artikel 4 WRRL bei oberirdischen Gewässern ein guter ökologischer und chemischer Zustand und bezogen auf das Grundwasser ein guter quantitativer sowie chemischer Zustand herzustellen.

Die Umsetzung der Richtlinie erfolgt in mehreren Schritten: Nach der Bestandsaufnahme 2004 und der Einrichtung der Überwachungsprogramme 2006 waren bis Ende 2009 die Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme zu erstellen. Der nächste Schritt besteht in der Umsetzung der Maßnahmenprogramme bis Ende 2012.

In Sachsen gibt es 651 Oberflächenwasserkörper¹ (617 Fließgewässer und 34 Standgewässer) sowie 70 Grundwasserkörper¹. Die Bewertungsergebnisse des chemischen Zustands auf Grundlage von Untersuchungen aus den Jahren 2006 bis 2008 zeigen, dass 79 % der Oberflächenwasserkörper (OWK) und 53 % der Grundwasserkörper (GWK) sich in einem guten Zustand befinden (LfULG 2009 a). Für das Grundwasser stellen vor allem diffuse Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen eine Hauptbelastungsursache dar. So erfüllen 32 OWK (Abbildung 1) und 17 GWK (Abbildung 2) aufgrund zu hoher Nitratgehalte die Vorgaben der WRRL nicht, d. h. 24 % der sächsischen GWK weisen Gehalte von über 50 mg NO₃/l auf.

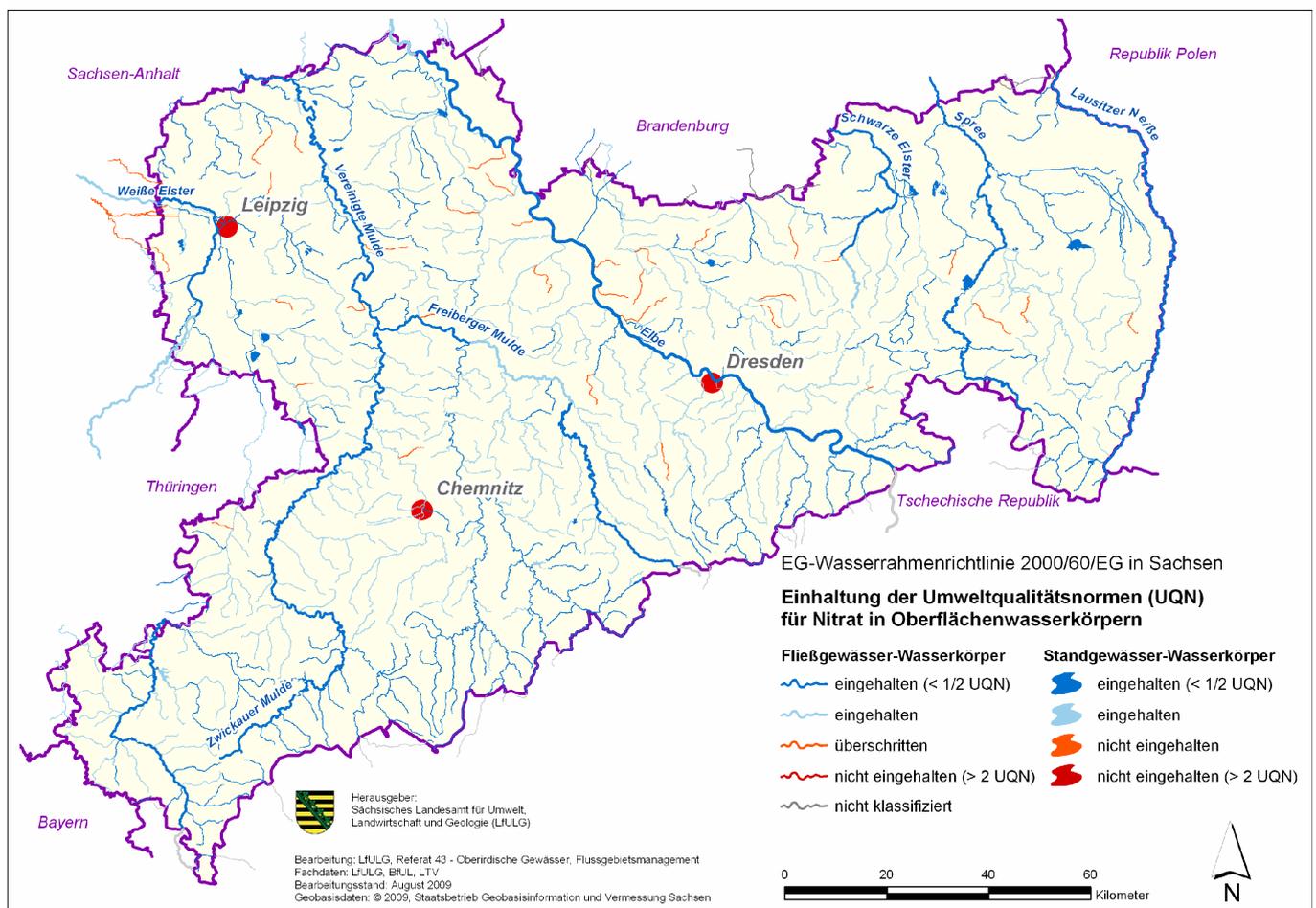


Abbildung 1: Einhaltung der Umweltqualitätsnormen für Nitrat in Oberflächenwasserkörpern (LfULG 2009 b)

¹ Einzugsgebietsfläche zu mehr als 50 % in Sachsen

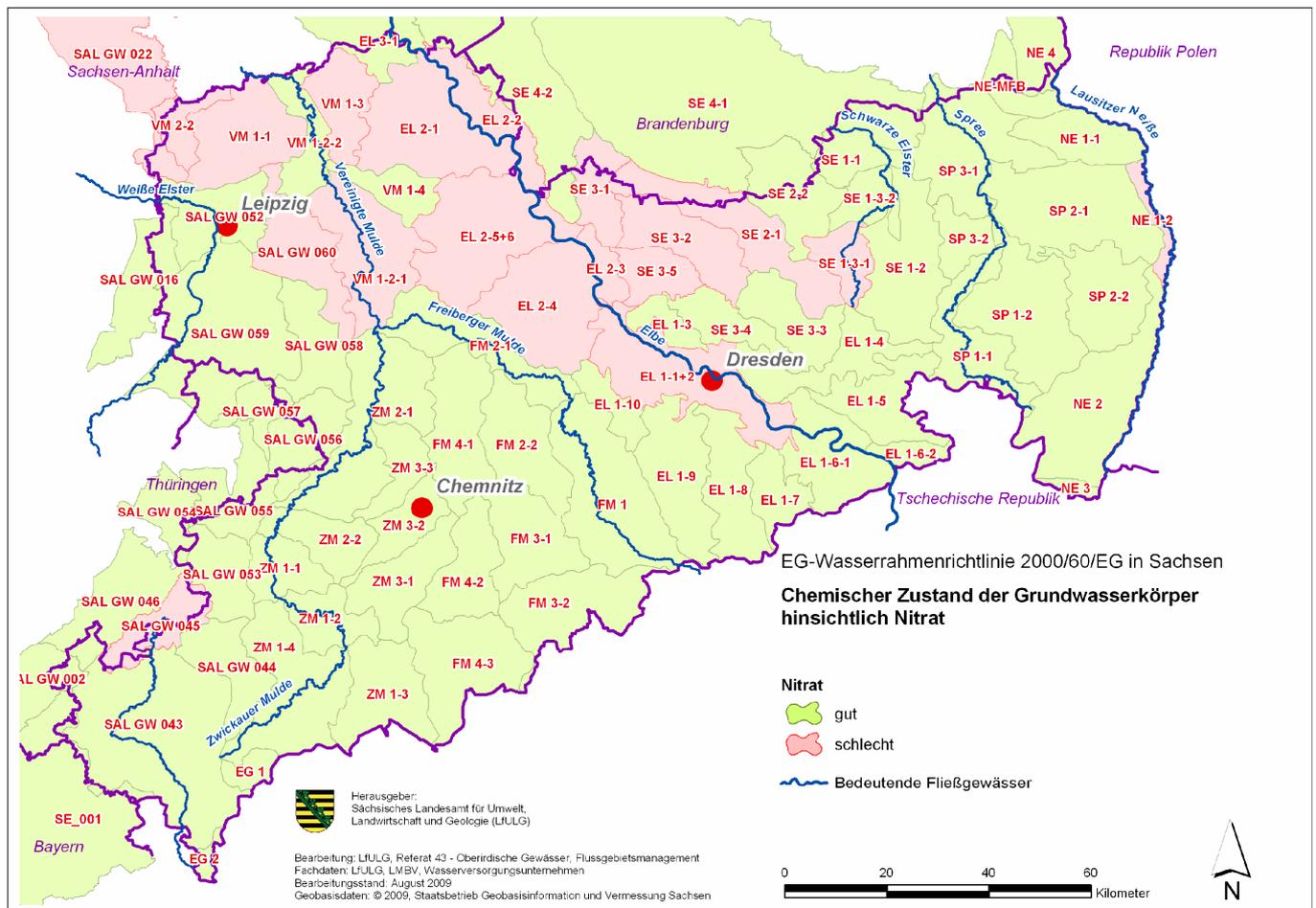


Abbildung 2: Chemischer Zustand der Grundwasserkörper hinsichtlich Nitrat (LfULG 2009 b)

Zu hohe Nitratgehalte stellen eine Beeinträchtigung der Umweltqualität dar. In Zusammenhang mit erhöhten Phosphorgehalten führen sie zu Eutrophierungserscheinungen und damit zu negativen Auswirkungen auf die Gewässerökologie. Ein nicht unerheblicher Teil des Stickstoffs gelangt dabei als Nitrat aus dem Grundwasser in die Flüsse und schließlich in die Küstengewässer an Nord- und Ostsee. Des Weiteren stellt das Grundwasser in Deutschland die wichtigste Quelle für die Trinkwasserversorgung dar.

In Sachsen werden etwa 40 % der Landesfläche als Ackerflächen genutzt. Das Modell STOFFBILANZ, mit dessen Hilfe der Eintrag von Phosphor und Stickstoff in die sächsischen Wasserkörper abgeschätzt wird, berechnete für das Jahr 2005 einen Gesamt-N-Eintrag von 37.694 t/a in die Oberflächengewässer. Davon wurde der größte Anteil (33.202 t Stickstoff) diffus in die Gewässer eingetragen, 48 % entstammen aus den Ackerflächen Sachsens (LfULG 2009 c).

Zur wirksamen Verringerung der Nährstoffeinträge in die Gewässer soll in Sachsen als grundlegende Maßnahme nach WRRL die Einhaltung der „guten fachlichen Praxis“ nach Düngeverordnung sowie weiterer rechtlicher Vorgaben dienen. Als ergänzende Maßnahmen werden auf Grundlage des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER) Agrarumweltmaßnahmen zur stoffeintragsminimierenden Bewirtschaftung (u. a. Ansaat von Zwischenfrüchten, Untersaaten, dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung) gefördert. Des Weiteren werden Schulungen für Landwirte durchgeführt und Arbeitskreise zum Wissens- und Erfahrungstransfer eingerichtet. Berechnungen mit STOFFBILANZ ergaben, dass durch die Umsetzung der grundlegenden sowie ergänzenden Maßnahmen eine Reduzierung der N-Fracht von etwa 2.740 t bis zum Jahr 2015 zu erwarten ist. Dies entspricht einem Rückgang von 10-11 % gegenüber dem Vergleichsniveau von 2006 (FGG ELBE 2009).

Bezogen auf das Grundwasser ist darauf hinzuweisen, dass unterschiedlich lange Fließzeiten aufgrund spezifischer hydraulischer und geochemischer Standorteigenschaften sowie historische Belastungen des Bodens es verhindern, dass man Auswirkungen der getroffenen Maßnahmen schnell nachweisen kann. Für diese Grundwasserkörper ist eine Fristverlängerung bis 2021/2027 wahrscheinlich.

2 Zielstellung

Ein Hauptverursacher für die Nitrateinträge in Gewässer ist die landwirtschaftliche Flächennutzung, bei der als Folge der Düngepraxis hohe Stickstoffüberschüsse zu unkontrollierten Austrägen mit dem Sickerwasser führen. Zur wirksamen Verminderung dieser Nährstoffverluste muss das Stickstoffmanagement betriebsindividuell mit geeigneten Werkzeugen auf den Prüfstand gestellt und Optimierungsmöglichkeiten identifiziert werden.

Stickstoff ist ein wesentlicher Ertragsfaktor. Zugleich beeinflussen alle ertragsrelevanten Maßnahmen die N-Entzüge der Kulturpflanzen. Fehler im N-Management schlagen sich früher oder später auch im N-Saldo nieder. Besonders stark wird er von der Betriebsstruktur (Tierbesatz, Fruchtfolge) und der Bewirtschaftungsintensität beeinflusst. Bei letzterer spielt vor allem die mineralische und organische N-Düngung eine entscheidende Rolle.

Der flächenbezogene N-Saldo beschreibt das Gesamtverlustpotenzial an reaktiven N-Verbindungen. Der Verlustpfad, ob gasförmig oder sickerwassergebunden, kann hierbei nicht angegeben werden. Doch je höher der N-Saldo ist, umso größer ist auch die Gefahr umweltrelevanter N-Emissionen, die in verschiedenen Bereichen (Gewässer, Atmosphäre, naturnahe Biotope) wirksam werden. Somit stellt die N-Bilanzierung ein geeignetes Instrument zur Beurteilung des nutzungsbedingten Verlagerungsrisikos von Nitrat ins Grundwasser dar.

Um die Ziele der WRRL zu erreichen, sind die diffusen N-Einträge aus der landwirtschaftlichen Nutzung deutlich zu reduzieren. Im Projekt „Analyse der N-Managements von Praxisbetrieben in Sachsen“ wurde der Ansatz gewählt, über eine Verminderung der grundwasserbelastenden N-Bilanzüberschüsse einen Beitrag zur Umsetzung der WRRL zu leisten. Mit Hilfe verschiedener Methoden der Nährstoffbilanzierung sollte das N-Management von Praxisbetrieben umfassend analysiert werden, um auf dieser Grundlage Optimierungspotenziale für den jeweiligen Betrieb abzuleiten. Des Weiteren sollten die Nitrat austräge ins Grundwasser durch die aktuelle Flächenbewirtschaftung der ausgewählten Praxisbetriebe abgeschätzt werden und mit Hilfe von Szenariorechnungen Reduktionspotenziale beschrieben werden.

3 Methodische Grundlagen

In Zusammenarbeit mit den LfULG-Außenstellen erfolgte 2008 die Auswahl der an dem Projekt teilnehmenden Praxisbetriebe. Die Betriebe sollten sich möglichst im Gebiet mit einer hohen Nitratbelastung des Grundwassers (siehe Abbildung 2) befinden. Die Projektteilnahme erfolgte freiwillig und ohne einen finanziellen Ausgleich. Zunächst bekundeten 19 Betriebe Interesse an einer Mitarbeit. Von diesen nahmen drei Betriebe im Laufe der Projektbearbeitung ihre Zusage zurück. Begründet wurde dies mit einem als zu hoch empfundenen Aufwand für die Bereitstellung der benötigten Betriebsdaten.

Von den 16 Betrieben bewirtschaften neun Betriebe Diluvialstandorte (Betrieb D-1 bis D-9) mit vorwiegend lehmigen und anlehmigen Sandböden und sieben Betriebe Lössstandorte (Betrieb Lö-1 bis Lö-7), bei denen die Bodenarten Lehm und sandiger Lehm dominieren. Fünf Betriebe bewirtschaften weniger als 500 ha, die restlichen verfügen über mehr als 1.500 ha, teilweise sogar mehr als 2.500 ha. Bis auf D-5, Lö-3 und Lö-4 sind alles Gemischtbetriebe mit Futterbau und entsprechenden Grünlandanteilen. Den höchsten Tierbesatz mit über einer GV/ha weisen die Betriebe D-4, D-5 sowie Lö-6 auf. Eine ausführlichere Darstellung der Standorte und Betriebsstrukturen zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Standorteigenschaften und Betriebsstrukturen der Praxisbetriebe

Betrieb	STANDORTEIGENSCHAFTEN						BETRIEBSSTRUKTUR					
	Boden-Klimaregion	Haupt- bodenarten	Ent- stehung	AZ	NS	T	LN	AL	GL	Getreide	Tierbestand	Gülle
Sachsen					[mm]	[°C]	[ha]	[% LN]	[% LN]	[% AL]	[GV/ha LN]	[%]
D-1	Riesaer-Torgauer Elbtal	SI-sL	Diluvial	53	542	9,0	> 2500	94	6	53	0,44	62,5
D-2	Sächsisches Heidegebiet	IS	Diluvial	36	544	8,6	> 1500	81	19	63	0,40	0,0
D-3	Mittelsächs. Lössgebiet	SI-IS	Diluvial	46	542	9,0	> 2500	88	12	56	0,29	64,0
D-4	Sächsisches Heidegebiet	SI-IS	Diluvial	37	544	8,6	> 500	74	26	50	1,32	94,1
D-5	Sächsisches Heidegebiet	IS	Diluvial	37	544	8,6	> 500	97	3	60	1,05	100,0
D-6	Riesaer-Torgauer Elbtal	S-L	Diluvial	45	547	8,8	> 2000	93	7	58	0,19	0,0
D-7	Sächsisches Heidegebiet	SI-SL	Diluvial	47	542	9,0	> 2000	100	0	65	-	-
D-8	Riesaer-Torgauer Elbtal	SI-sL	Diluvial	46	542	9,0	> 1500	95	5	49	0,62	84,4
D-9	Sächsisches Heidegebiet	SI	Diluvial	34	544	8,6	> 1500	91	9	57	0,30	0,0
Lö-1	Mittelsächs. Lössgebiet	sL-L	Löss	53	693	8,4	< 500	88	12	60	0,40	90,3
Lö-2	Mittelsächs. Lössgebiet	sL	Löss	61	667	8,9	< 500	89	11	59	0,11	0,0
Lö-3	Mittelsächs. Lössgebiet	L	Löss	73	643	8,1	< 500	100	0	66	-	-
Lö-4	Mittelsächs. Lössgebiet	SL-sL	Löss	58	643	8,1	> 1500	100	0	57	-	-
Lö-5	Mittelsächs. Lössgebiet	sL-L	Löss	71	590	8,1	> 2000	100	0	51	0,52	5,3
Lö-6	Mittelsächs. Lössgebiet	sL	Löss	49	693	8,4	> 1500	88	12	57	1,01	85,7
Lö-7	Mittelsächs. Lössgebiet	sL	Löss	57	693	8,4	> 2000	92	8	53	0,46	8,3

Die Nährstoffbilanzierungen erfolgten für jeden Betrieb für jeweils drei Erntejahre. In den meisten Fällen waren dies die Jahre 2006 bis 2008; bei zwei Betrieben (D-5 und D-9) aufgrund einfacherer Datenverfügbarkeit die Jahre 2007 bis 2009.

Durchgeführt wurden die Berechnungen mit den Programmen BEFU und REPRO. Das vom LfULG entwickelte BEFU dient der Düngebedarfsermittlung und dem Erstellen von Nährstoffvergleichen unter sächsischen Bedingungen. Im Rahmen des Projektes wurde es genutzt, um Nährstoffbilanzen nach Vorgaben der Düngeverordnung zu erstellen.

Das Umwelt- und Betriebsmanagementsystem REPRO bildet landwirtschaftliche Betriebssysteme anhand vernetzter Stoff- und Energieflüsse ab und ermöglicht die Analyse und Bewertung von Umweltwirkungen. Neben der Analyse des IST-Zustandes anhand verschiedener Bilanzierungsformen (v. a. Humus- und N-Bilanzierung) auf unterschiedlichen Ebenen (von der Teilschlagenebene bis zum Gesamtbetrieb) erlaubt REPRO die Durchführung von Szenariorechnungen. So lassen sich Änderungen in der Bewirtschaftung hinsichtlich ihrer Umweltwirkung beurteilen und Betriebssysteme schrittweise optimieren. Als wichtigen Umweltindikator berechnet REPRO die potenzielle Konzentration von Nitrat im Sickerwasser unterhalb der effektiv durchwurzelten Bodenzone und charakterisiert somit die mögliche Gefährdung des Grundwassers durch die aktuelle Bewirtschaftung.

3.1 Datenquellen und -aufbereitung

Grundlage für die Betrachtungen waren die von den Betrieben zur Verfügung gestellten Daten aus den jeweiligen drei Untersuchungsjahren. Diese umfassten vor allem Abfragen aus den Ackerschlagkarteien zur Bewirtschaftung der Schläge hinsichtlich angebaute Fruchtart, Düngung, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutzmaßnahmen sowie Ernte (Tabelle 2). REPRO ermöglicht es, über spezielle Schnittstellen (z. B. bei Agrowin) alle notwendigen Daten aus Ackerschlagkarteien relativ einfach und komfortabel einzulesen. Auch mit Excel im CSV-Format erfasste Daten sind komfortabel zu übernehmen; eine Form des Datenexports, die durch die meisten derzeit verwendeten Ackerschlagprogrammen angeboten wird.

Tabelle 2: Datenabfrage zur Bewirtschaftung aus Ackerschlagkartei

Angaben Schlag	Angaben Verfahren	Angaben Ernte
Schlagnummer / -bezeichnung	Schlagnummer	Schlagnummer
Teilschlagnummer/ -bezeichnung	Teilschlagnummer	Teilschlagnummer
Größe (ha)	Datum	Datum
Ackerzahl	Maschine	Erntenr.
Bodenart	Mittelname	Ertrag Hauptprodukt
N _{min} -Gehalte	Mittelart (z. B. Herbizid, Mineraldünger)	Ertrag Nebenprodukt
Ergebnisse Makronährstoffe	Mittelmenge	bearbeitete Fläche (ha)
Hauptfrucht	Mittleinheit	
Zwischenfrucht	bearbeitete Fläche (ha)	

Um den Stoffkreislauf möglichst umfassend abzubilden, wurden des Weiteren Angaben zur Tierhaltung, Fütterung sowie zum Verkauf der pflanzlichen und tierischen Produkte von den Betrieben benötigt (**Tabelle 3**).

Tabelle 3: Datenabfrage zur Tierhaltung, Fütterung, zum Dünger sowie Verkauf Produkte

Angaben Tierhaltung	Angaben Fütterung	Angaben Dünger	Angaben Verkauf Produkte
Tierart/Jahresdurchschnittsbestand	Futtermittel ¹⁾	Zukauf/Verkauf	pflanzliche Produkte ²⁾
Haltung (Fest-/Flüssigmist)	Protein-/Eiweißgehalt	Wirtschaftsdünger ¹⁾	tierische Produkte ²⁾
Stall-/Weidetage pro Jahr		Zukauf Mineraldünger ¹⁾	
Nachkommen pro Jahr			
Milchleistung bzw. Endgewicht			
Zukauf/Verkauf/Verluste (Stück)			

¹⁾Menge u. Bezeichnung

²⁾ Produkt u. Menge

Zusätzliche Angaben zu Bodensubstraten und Wetterdaten dienten der Ermittlung des N-Umsatzes im Boden und der Berechnung der Nitratkonzentration im Sickerwasser, diese Daten wurden vom LfULG zur Verfügung gestellt. GIS-Daten der Praxisbetriebe zur Schlagkulisse ermöglichten in REPRO die Abbildung von Ergebnissen in Form thematischer Karten (nicht im Bericht enthalten).

Die Grundlage für die Ergebnisse bilden vor allem die Daten aus den betrieblichen Schlagaufzeichnungen (Ackerschlagkartei), dem Stallbuch sowie aus Unterlagen der Buchführung. Die Angaben wurden einer Plausibilitätskontrolle unterzogen. Soweit erkennbar, wurden etwaige Fehler, wie sie z. B. bei der Führung der Ackerschlagprogramme durch falsche Dateneingabe entstehen können, nach Absprache mit dem jeweiligen Betrieb korrigiert.

3.2 Nährstoffbilanzierung mit BEFU

BEFU ermöglicht die Bilanzierung für die Nährstoffe N, P und K in Form von Einzelschlagbilanzen oder als Flächenbilanz für den Gesamtbetrieb. Speziell für den ökologischen Landbau wird auch die Möglichkeit der Erstellung einer Hoftor-Bilanz angeboten. Die Berechnungen und die dabei verwendeten Parameter (bspw. Nährstoffgehalte der pflanzlichen Erzeugnisse) richten sich nach den Vorgaben der Düngeverordnung (LFV 2007).

Bei einer Flächenbilanz wird der Nährstoffzufuhr die Nährstoffabfuhr bezogen auf die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche eines Betriebes gegenübergestellt. Die dabei berücksichtigten Bilanzglieder zeigt **Abbildung 3**.

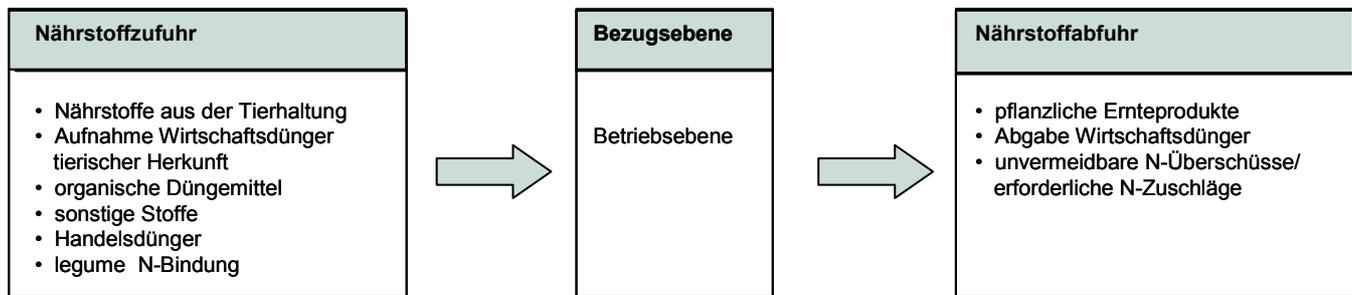


Abbildung 3: Schema zur Erstellung einer Flächenbilanz nach DüV (LfL 2007)

Auf Seiten der Nährstoffzufuhr stehen neben dem Nährstoffanfall aus der Tierhaltung die zugekauften mineralischen und organischen Düngemittel sowie die legume N-Bindung. Bei der Ermittlung des N-Anfalls aus der Tierhaltung werden auftretende Stall-, Lagerungs- sowie Ausbringungsverluste je nach Tierart und Haltungsform (Gülle, Festmist) berücksichtigt. Die Nährstoffabfuhr besteht aus dem Nährstoffentzug mit den Ernteprodukten, der Abgabe von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft sowie aus unvermeidbaren N-Überschüssen bzw. erforderlichen N-Zuschlägen (Gemüsebau).

Nährstoffbilanzen sind ein geeignetes Instrument zur Überprüfung des Nährstoffeinsatzes und zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit eines Landnutzungssystems. Die DüV gibt vor, dass der betriebliche Nährstoffüberschuss ab 2011 im Mittel von drei Jahren 60 kg N pro ha und Jahr nicht überschreiten darf (DüV 2007). Bei Einhaltung dieses Wertes wird davon ausgegangen, dass entsprechend des Fachrechts sach- und umweltgerecht gedüngt wurde (gute fachliche Praxis).

3.3 Das Modell REPRO

Die Berechnungen mit REPRO für die 16 Praxisbetriebe wurden im Auftrag des LfULG durch das Institut für nachhaltige Landwirtschaft (INL) e.V. durchgeführt (INL 2010).

REPRO ist modular aufgebaut (Abbildung 4). Die Dokumentation der Betriebsstruktur, der Bewirtschaftungsintensität und der Produktionsverfahren des Landwirtschaftsbetriebs stellt die zentrale Modellkomponente für eine Bewertung der Nachhaltigkeit und für die Realisierung eines Betriebsmanagements dar. In Verbindung mit der Schlagverwaltung und detaillierten Standortdaten bauen alle Bilanzrechnungen und Auswertungsverfahren darauf auf. Diese Betriebsdaten werden somit grundsätzlich nur einmal erfasst und dann so vom Programm verwaltet, dass sämtliche Module auf den gleichen Bestand zugreifen. Ermöglicht werden Analyserechnungen, Bewertungen und der Aufbau von Betriebsvarianten durch Stammdaten mit umfangreichem Expertenwissen in Form naturwissenschaftlich-ökologischer Modellparameter und ausgewählter Gleichungssysteme. Die einzelnen Module beinhalten die zugehörigen Indikatoren, anhand derer der Nachhaltigkeitsstatus ermittelt wird. Neben dem Humus-, Nährstoff- und Energiehaushalt sind das auch Angaben zur Pflanzenschutzintensität, Erosionsgefährdung und Biodiversität. Für die Analyse und Optimierung von diffusen Stoffausträgen ins Grundwasser auf landwirtschaftlich genutzten Flächen besitzen aus dem Gesamtindikatorensatz die Humusbilanz, Stickstoffbilanz und der Nitrataustrag aus der Wurzelzone entsprechende Relevanz.

Die Datenerfassung erfolgt im Programm auf der Ebene des Teilschlags. Die für den Untersuchungszeitraum 2006 bis 2008 bzw. 2007 bis 2009 erfassten Daten der Untersuchungsbetriebe bilden die Grundlage aller durch REPRO vorgenommenen Bewertungen und Szenariorechnungen.

Die dem Modell zugrunde liegenden Stoff- und Energie-Bilanzierungsmethoden beruhen auf langjährigen Untersuchungen in Feldexperimenten.

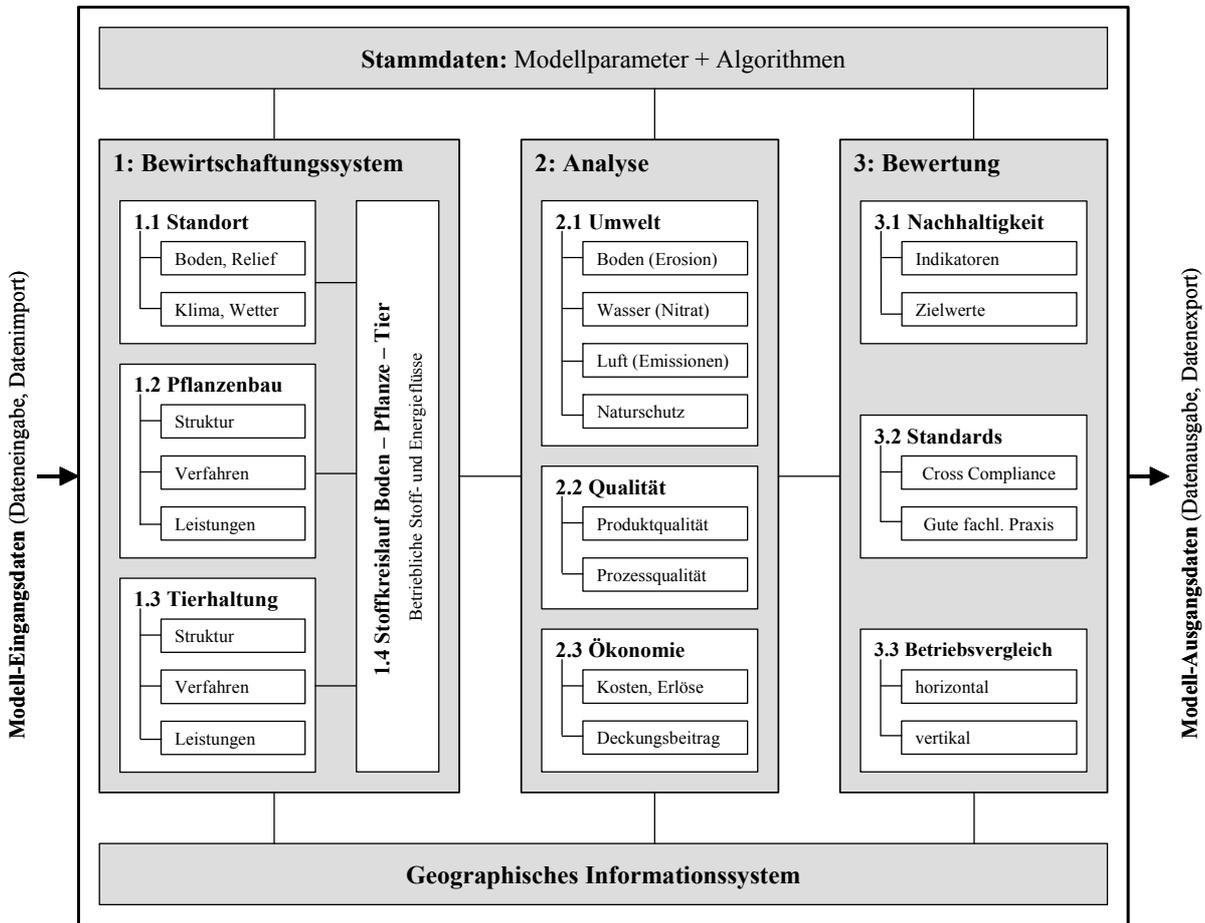


Abbildung 4: Aufbau des Programms REPRO

3.3.1 Humusbilanzierung in REPRO

Humus erfüllt im Boden vielfältige ökologische Funktionen (u. a. Speicherung und Umwandlung von Nährstoffen, Förderung der biologischen Aktivität) und stellt eine wesentliche Grundlage für die Sicherung einer nachhaltigen pflanzlichen Produktion dar. Durch die Steuerung des C- und N-Umsatzes übt die Humusversorgung aber auch eine ökologische Relevanz aus (HÜLSBERGEN 2003). Ebenso negativ wie eine mangelnde Zufuhr ist die Überversorgung mit organischer Substanz, die zu unkontrollierter Mineralisation und zu erhöhten Nährstoffverlusten führen kann.

Langfristig stellt sich, abhängig von der Art und Intensität der Bodennutzung, ein Gleichgewicht zwischen Mineralisierung und Humifizierung ein und ein standorttypischer Humusgehalt bildet sich heraus. Mithilfe der Verfahren zur Humusbilanzierung können Veränderungen des Humusgehaltes über einen bestimmten Zeitraum festgestellt werden. Eine Beurteilung des aktuellen Humusversorgungszustandes des Bodens ist dagegen nicht möglich. Eine genaue Bestimmung des Humusgehaltes kann nur durch eine Analyse des Gehaltes an organischer Substanz des Bodens erfolgen.

Geht man davon aus, dass zu Beginn der Humusbilanzierung der Humusgehalt im Boden standorttypisch war, besteht das Ziel in dem Erreichen der Humusklasse C (-75 bis 100 kg C/ha AL). Zu beachten ist, dass die Bilanzierung über einen längeren Zeitraum die Aussagekraft des Humussaldos verbessert. Generell gilt, dass ein mit organischer Substanz gut versorgter Boden Nährstoffe besser binden und Verlustpotenziale reduzieren kann. Gehalte über 300 kg C/ha entsprechen dagegen einer Luxusversorgung, verbunden mit einem erhöhten Mineralisierungspotenzial und dementsprechender Gefährdung durch N-Verluste. Aufgrund der vielfältigen Wirkungen ist eine standortangepasste Humusersatzwirtschaft in landwirtschaftlichen Betrieben eine wesentliche Grundlage für die Sicherung einer nachhaltigen pflanzlichen Produktion.

Die Funktion der organischen Substanz im Boden bedarf vor allem in Hinblick auf Nährstoffspeicherung und -vermittlung einer Bilanzierungsmethode, welche über die Ansätze nach Cross Compliance hinausgeht. Standorteigenschaften und Ertragsleistung üben einen starken Einfluss auf den Humushaushalt aus und führen zu differenzierten Ergebnissen.

Die Humusbilanzierung kann in REPRO nach vier in ihrer Aussagequalität verschiedenen Ansätzen erfolgen:

- im erweiterten Modus mit dynamischen Koeffizienten nach HÜLSBERGEN et al. (2003) für höchste Aussagegenauigkeit,
- im Standardmodus mit festen Koeffizienten nach LEITHOLD et al. (1997),
- im LUFA-Modus nach dem VDLUFA-Standpunkt (2004) zur Humusbilanzierung,
- mit den Koeffizienten im Rahmen der Cross Compliance-Richtlinien.

Für die Praxisbetriebe erfolgt die Humusbilanzierung mit der HE-Methode in der dynamischen Betrachtungsweise (Ansatz 1). Eine Humuseinheit ist als 1 t Humus mit 50 kg N und 580 kg C definiert. Der Humusbedarf der Ackerfläche als Kenngröße für die Mineralisierung der organischen Bodensubstanz resultiert aus dem Fruchtartenspektrum und dem Anbauverhältnis. Dabei wird der fruchtartenspezifische Koeffizient von der Niederschlagshöhe und Bodenart am Standort, der Ertragshöhe und der mineralischen Stickstoffdüngung bestimmt. Aus der Differenz von Humusbedarf und Humusersatzleistung (Humusmehrleistung und Zufuhr organischer Dünger) errechnet sich der Humussaldo.

Folgende Bilanzglieder werden bei der Humusbilanzierung mit REPRO berücksichtigt:

$$S_H = H_{BB} + H_{HM} + H_{SD} + H_{OD}$$

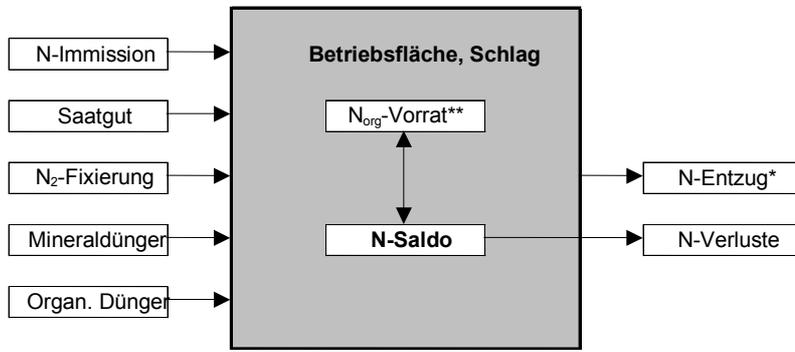
Symbol	Maßeinheit	Bezeichnung
S_H	HE ha ⁻¹ AF	Humus-Bilanzsaldo
H_{BB}	HE ha ⁻¹ AF	Humusbruttobedarf
H_{HM}	HE ha ⁻¹ AF	Humusersatzleistung humusmehrender Fruchtarten
H_{SD}	HE ha ⁻¹ AF	Humusersatzleistung durch Stroh- und Gründüngung
H_{OD}	HE ha ⁻¹ AF	Humusersatzleistung durch organische Dünger

Die Grundthese lautet: Stimmen Humusbedarf und -aufkommen überein, so werden sich langfristig optimale Humusgehalte einstellen, was je nach Ausgangssituation und Vorbewirtschaftung eine An- oder Abreicherung bedeuten kann. Je mehr die Humuszufuhr vom standort- und bewirtschaftungsabhängigen Bedarf positiv oder negativ abweicht, umso ungünstiger wird die Situation bewertet. Grundlage für die Bewertung bilden die Bilanzstufen nach VDLUFA. Der Zielbereich (Optimum) ist bei Umrechnung der Humuseinheit in Kohlenstoff mit einem Intervall von -75 bis 100 kg C/ha festgelegt.

Der Humusbilanz-Saldo wird für jeden Ackerschlag des Betriebes jahresbezogen ermittelt. Für die Ermittlung des Betriebswertes wird das gewichtete arithmetische Mittel über die Ackerschläge gebildet. Grünland wird nicht bilanziert, da sich durch ständige Bodenbedeckung, starke Durchwurzelung und fehlende Bodenbearbeitung optimale Humusspiegel einstellen.

3.3.2 N-Bilanzierung in REPRO

Zur Berechnung des flächenbezogenen N-Saldos werden in REPRO die in **Abbildung 5** dargestellten N-Flüsse und N-Pools berücksichtigt.



* N-Entzug der geernteten Haupt- und Nebenprodukte
 ** Veränderung der Boden-N-Vorräte (Netto-Mineralisation/-Immobilisation)

Abbildung 5: Berücksichtigte N-Flüsse zur Berechnung des flächenbezogenen N-Saldos im Programm REPRO

Abweichend von vereinfachten Stickstoffbilanzen werden bei REPRO die N-Immissionen bei der Bilanzierung berücksichtigt, da es sich um ertragswirksame und umweltrelevante N-Zufuhren handelt. Blieben die Immissionen unberücksichtigt, würden die N-Verluste um diesen Betrag unterschätzt. Systeme mit geringen N-Zufuhren wie z. B. ökologischer Landbau könnten infolge dessen negative Stickstoffsalden aufweisen. Für die atmogene N-Deposition wurde in Sachsen durchschnittlich 20 kg N/ha pro Jahr veranschlagt.

Aufgrund der Kopplung mit dem REPRO-Modul „N-Umsatz“ sowie der Humusbilanz geht die als Stroh- und Gründüngung verwendete Biomasse in den N-Entzug der N-Bilanz ein. Andererseits wird sie gleichzeitig als N-Zufuhr berücksichtigt, sodass insgesamt gilt: N-Entzug (Stroh- und Gründüngung) + N-Zufuhr (Stroh- und Gründüngung) = 0.

Als weiterer wichtiger Unterschied zu anderen Bilanzierungsformen werden Veränderungen der Boden-N_{org}-Vorräte im Bilanzzeitraum (Netto-Mineralisation/-Immobilisation) durch die Kopplung mit der Humusbilanz mit in die Betrachtung einbezogen. Dadurch kann das N-Verlustpotenzial genauer bestimmt werden. In vereinfachten Bilanzen wird dagegen davon ausgegangen, dass sich diese Größe im untersuchten Zeitraum nicht ändert.

Folgende Bilanzglieder werden bei der N-Bilanzierung mit REPRO berücksichtigt:

$$S_N = N_I + N_{SYM} + N_{SG} + N_{SD} + N_{OD} + N_{MD} - \Delta N_t - N_E$$

Symbol	Maßeinheit	Bezeichnung
S _N	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	N-Saldo
N _I	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	N-Immissionen
N _{SYM}	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Symbiotische N-Fixierung
N _{SG}	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	N-Zufuhr mit Saatgut
N _{SD}	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	N-Zufuhr mit Stroh- und Gründüngung
N _{OD}	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	N-Zufuhr mit organischen Düngern der Tierhaltung
N _{MD}	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Mineral-N-Einsatz
ΔN _t	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Änderung des Boden-N-Vorrates
N _E	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	N-Entzug

Die N-Ausscheidungen werden bei REPRO durch Bilanzierung der N-Zufuhr im Futter, der Änderung der N-Menge in der Lebendmasse sowie des Stickstoffs in tierischen Produkten unter Berücksichtigung der Verdaulichkeit des Rohproteins ermittelt. Die Berechnung des Anfalls organischer Dünger erfolgt unter Berücksichtigung der Stickstoffverluste, die im Stall sowie bei der Rotte und Lagerung entstehen. Im Modell erfasste Einflussfaktoren sind unter anderem die Tierart, der Weidegang, das Haltungssystem, die Lagerungsart, -dauer und -bedingungen (z. B. Homogenisierung, Belüftung, Zwischenlager am Feld).

Der Zielbereich beim Stickstoffsaldo liegt zwischen 0 und 50 kg N/ha. Es wird davon ausgegangen, dass Verluste nie vollständig zu vermeiden sind und bis zu einer Höhe von 50 kg N/ha keine gravierenden ökologischen Schäden auftreten. In der

Literatur werden als einzuhaltende N-Salden 25 bis 50 kg N/ha*a angegeben (ISERMANN, K. & ISERMANN, R. 1997; FREDE & DABBERT 1998), wobei dies nur Anhaltspunkte sein können, da die N-Bilanzmethoden vom REPRO-Ansatz abweichen. Bei langjährig negativen N-Salden ist eine Abreicherung der Boden-N-Vorräte zu erwarten, was letztlich zur Verminderung der Ertragsfähigkeit der Böden führen würde. Mit steigenden N-Salden steigt die Gefahr von N-Verlusten (NO_3^- , NH_4^+ , N_2O , NH_3).

3.3.3 Berechnung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser

REPRO ermöglicht die Berechnung der potenziellen Konzentration von Nitrat im Sickerwasser unterhalb des effektiv durchwurzelten Bereichs. Der Indikator charakterisiert die Gefährdung des Grundwassers bzw. von Grund- oder Drainagewasser gespeisten Oberflächengewässern. Als Verlust wird angesehen, wenn das Nitrat die Durchwurzelungszone vertikal verlassen hat. Innerhalb des durchwurzelten Bodenhorizonts können die Pflanzen den Stickstoff wieder aufnehmen.

Die Ableitung des Indikators verlangt eine Verknüpfung von landwirtschaftlichen Produktionsdaten (Stickstoffbilanz) mit Standortdaten (Boden und Wetter). Er kann somit auch als ein Kennwert für eine standortangepasste Flächennutzung angesehen werden.

In einfachen Ansätzen stellen die N-Überschüsse (flächenbezogener N-Saldo) auch die Menge des auswaschungsgefährdeten Stickstoffs dar. Realitätsnäher sind Methoden einzuschätzen, die Verluste infolge von Denitrifikation und Ammoniakvergasung einbeziehen. Im Modell REPRO wird zusätzlich versucht, anhand der ausgebrachten Dünger und der Humusbilanz den Stickstoffumsatz im Boden abzuschätzen. Verlagerungsgefährdet ist ausschließlich nur Stickstoff in löslicher Form. Dadurch wird gewährleistet, dass hohe Stickstoffinputs, z. B. im Rahmen einer Stallmistgabe oder nach Umbruch von Leguminosen, erst über einen Zeitraum von mehreren Jahren mineralisiert und evtl. auswaschungsgefährdet sind. Die Berechnung des verlagerungsgefährdeten Stickstoffs erfolgt einzelschlagbezogen. Voraussetzung ist jedoch eine mehrjährige Datengrundlage.

In REPRO werden drei N-Pools (Abbildung 6) unterschieden, die u. a. aus der organischen und mineralischen Düngung sowie dem Stickstoff der Ernte- und Wurzelrückstände gespeist werden:

- In den „Mineralischen-N-Pool“ gehen die in den Düngern enthaltenen Anteile löslichen (mineralischen) N direkt ein.
- Der zugeführte organisch gebundene N verbleibt im „Organischen-Dünger-N-Pool“ und wird in Abhängigkeit von den Standortbedingungen zeitlich differenziert mineralisiert. Der freigesetzte Stickstoff fließt in den Mineralischen-N-Pool.
- Im „Humus-N-Pool“ ist die N-Menge enthalten, die langfristig in der organischen Bodensubstanz (OBS) gespeichert wird (Kopplung mit der Humusbilanz). Bei Substraten mit weitem C/N-Verhältnis (Stroh) wird in der OBS temporär mehr N gebunden als insgesamt zugeführt; die entsprechende N-Menge stammt aus dem „Mineralischen-N-Pool“. Der Umsatz organischer Bodensubstanz wird ebenfalls über die Humusbilanz realisiert; die N-Freisetzung aus dem Humus-N-Pool wird über den Humusbedarf der angebauten Fruchtarten berechnet.

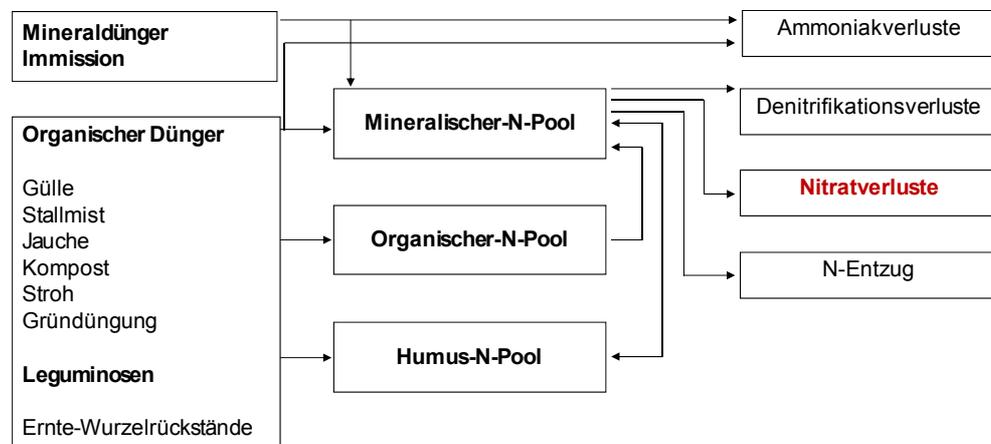


Abbildung 6: N-Pools und N-Flüsse im REPRO-Modul „N-Umsatz im Boden“

Voraussetzung für die Berechnung der Nitratkonzentration des Sickerwassers ist die Kenntnis der Sickerwasserrate und des von der Austauschhäufigkeit abgeleiteten Auswaschungsfaktors. Die Berechnung der Sickerwasserrate erfolgt nach einer für Landnutzungsformen differenzierten Methode (RENGER & STREBEL 1980; RENGER et al. 1990). Die potenzielle Evapotranspiration wird auf der Grundlage meteorologischer Daten nach WENDLING (1993) berechnet.

$$SW = 0,92 (NIED_{WI}) + 0,61 (NIED_V) - 153 (\log W_{pfl}) - 0,12 (ETP_{WENDL}) + 109$$

$$ETP_{WENDL} = (RG + 90) \cdot (T + 22) \cdot (150 \cdot (T + 123))^{-1}$$

$$AF = SW \cdot FK_{We}^{-1} \quad (\text{für } AF > 1 \text{ gilt } AF = 1)$$

Symbol	Maßeinheit	Bezeichnung
SW	mm a ⁻¹	Sickerwasserrate
ETP _{WENDL}	mm a ⁻¹	potenzielle Evapotranspiration
NIED _{WI}	mm a ⁻¹	Niederschlag in der Winterperiode (Oktober bis März)
NIED _V	mm a ⁻¹	Niederschlag in der Vegetationsperiode (April bis September)
W _{pfl}	mm	pflanzenverfügbares Bodenwasser
RG	J cm ⁻²	Globalstrahlung
T	°C	Temperatur
AF		Auswaschungsfaktor
FK _{We}	Mm	Feldkapazität im effektiv durchwurzelten Raum

Im Modell REPRO wird der N-Haushalt jahresbezogen abgebildet; auch die Schätzung der potenziellen Nitratausträge erfolgt summarisch für jeweils ein Untersuchungsjahr. Nitratverluste werden nur ausgewiesen, wenn unter Berücksichtigung der N-Nachlieferung aus den N-Pools die Differenz zwischen sämtlichen N-Zufuhren und dem N-Entzug im Ernteertrag positiv ist. Für negative N-Salden ist kein Nitrataustrag definiert.

$$n_{konz} = \frac{N_Z + N_{min_OD} + N_{min_P} + M_{OD} + M_{OD_P} - N_{NH3V} - N_{DV(akt)} - N_E}{SW} \cdot AF \cdot 443$$

Symbol	Maßeinheit	Bezeichnung
<i>n_{konz}</i>	mg NO ₃ l ⁻¹	Nitratkonzentration des Sickerwassers
N _Z	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	N-Zufuhr (Bilanzglieder der flächenbezogenen N-Bilanz)
N _{min_OD}	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	Mineralischer (löslicher) Stickstoff in organischen Düngern
N _{min_P}	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	Mineral.-N-Pool (nicht ausgewaschener N _{min} aus den Vorjahren)
M _{OD}	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	N-Mineralisierung aus organ. Düngern und Leguminosen-EWR
M _{OD_P}	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	N-Mineralisierung aus Org.-Dünger-N-Pool (N aus Vorjahren)
N _{NH3V}	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	Ammoniakverluste (organischer und mineralischer N-Dünger)
N _{DV(akt)}	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	Denitrifikationsverluste
N _E	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	N-Entzug
SW	mm a ⁻¹	Sickerwasserrate
AF		Auswaschungsfaktor

Die Ausweisung tolerabler N-Salden stellt im Prinzip einen umgekehrten Rechengang dar. Ausgehend von einer Konzentration von 50 mg NO₃/l können bei bekannten Sickerwassermengen und gasförmigen Verlusten die Gesamtverluste berechnet werden. Diese Salden stellen aber nur Orientierungswerte dar und garantieren nicht die Zielerreichung.

3.3.4 Optimierung mit REPRO: Szenariorechnungen zur Verbesserung der N-Effizienz

Auf Grundlage der Ist-Analysen ausgewählter Agrarumweltindikatoren der Untersuchungsbetriebe sollten Möglichkeiten zur Reduzierung von N-Einträgen in das Grundwasser über Szenarien abgeschätzt und bewertet werden. Dazu wurden neun Betriebe aus den drei Agrarregionen ausgewählt (D-1, D-2, D-3, D-4, D-5, D-7, D-8, Lö-6, Lö-7). Schwerpunkte bei der Optimierung waren die Konservierung freien Stickstoffs in der vegetationsfreien Zeit sowie die Verringerung verlustgefährdeter N-Überschüsse.

Als eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung diffuser Stoffeinträge ins Grundwasser während der Wintermonate wird in Sachsen der Zwischenfruchtanbau gefördert. Daher wurde in die bestehenden Anbaustrukturen der Betriebe zu allen Sommerfrüchten im Herbst eine Begrünung integriert. Die Erträge und somit die Stickstoffaufnahmen der Zwischenfrüchte wurden mit 100 dt FM/ha eher verhalten angesetzt.

Weiterhin erfolgte auf Basis der Anbaudaten eine Analyse des N-Düngemanagements. Aus der fruchtartenspezifischen Gegenüberstellung von N-Aufwand und Ertragshöhe aus allen Einzelwerten der Betriebe gleicher Agrarregion lassen sich maximale Düngermengen ableiten. Zudem wurde die jahres- und schlagspezifische Effizienz des eingesetzten Mineralstickstoffs je dt Ertrag ermittelt. Im Gegensatz zu den Druschfrüchten wurde bei Silomais der Stickstoff aus mineralischer und organischer Düngung betrachtet. Wirtschaftsdünger werden gewöhnlich im großen Umfang zu Silomais ausgebracht. Eine alleinige Betrachtung der Mineraldüngung würde keine ausreichenden Rückschlüsse erlauben.

In Beziehung zu den prognostizierten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser lassen sich betriebsspezifisch spezielle Düngungsintensitäten für die Einhaltung des Zielwertes identifizieren. Die optimalen Aufwandmengen wurden zu den dominierenden Fruchtarten im Szenario umgesetzt. Im Resultat stand die Ausweisung der Reduktionspotenziale für die Nitratkonzentration im Sickerwasser.

4 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse (horizontaler Betriebsvergleich)

4.1 Standorteigenschaften und Betriebsstrukturen

Die Betriebe der Diluvialstandorte bewirtschaften Flächen mit vorwiegend hohem Sandanteil sowie zum Teil schluff- und tonreiche Auensubstrate. Die Feldkapazität in der oberen Schicht liegt dementsprechend zwischen 10 und 40 Vol.-%. Bei den Betrieben der Lössstandorte dominieren Parabraunerden mit einem hohen Schluffanteil von 70 bis 80 %; die Feldkapazität liegt hier bei etwa 35 Vol.-%.

Die Untersuchungsgebiete sind durch geringe Niederschlagsmengen gekennzeichnet. Je nach Lage des Betriebes fallen zwischen 540 und 700 mm Niederschlag im langjährigen Jahresmittel. Innerhalb des Untersuchungszeitraumes fiel bei den meisten Standorten das Jahr 2006 zu trocken aus. Dagegen wurden 2007 einheitlich überdurchschnittlich hohe Niederschlagsmengen gemessen, teilweise trifft dies auch für das Jahr 2008 zu.

Die flächenspezifische Sickerwassermenge wird vor allen durch die Bodeneigenschaften und Niederschlagshöhe bestimmt. Im Mittel der Untersuchungsjahre und Betriebsflächen schwankten die berechneten Mengen zwischen 100 und 250 mm (**Abbildung 7**). Beispielsweise waren für Betrieb D-5 vergleichsweise hohe Niederschläge (Jahre 2007 bis 2009) mit geringem Wasserhaltevermögen der bewirtschafteten Böden kombiniert. Daraus resultierten entsprechend hohe Sickerwassermengen. Dagegen berechneten sich für den Standort des Betriebes D-6 wesentlich geringere Sickerwassermengen. Dieser Betrieb

bewirtschaftet zum großen Teil auch lehmige Auenböden mit einem hohen Bodenwasserspeichervermögen. Gleichzeitig fielen an diesem Standort im betrachteten Zeitraum (Jahre 2006 bis 2008) deutlich geringere Niederschlagsmengen.

Boden und Sickerwassermenge bestimmen wiederum die Verlagerungsgeschwindigkeit des Nitrats. Diese ist auf den schluffreichen Lössböden geringer als auf sandigem Substrat. In der Region Riesa-Torgauer-Elbtal nahm die Verlagerungsgeschwindigkeit mit steigendem Anteil der Auenböden an den Gesamtflächen ab.

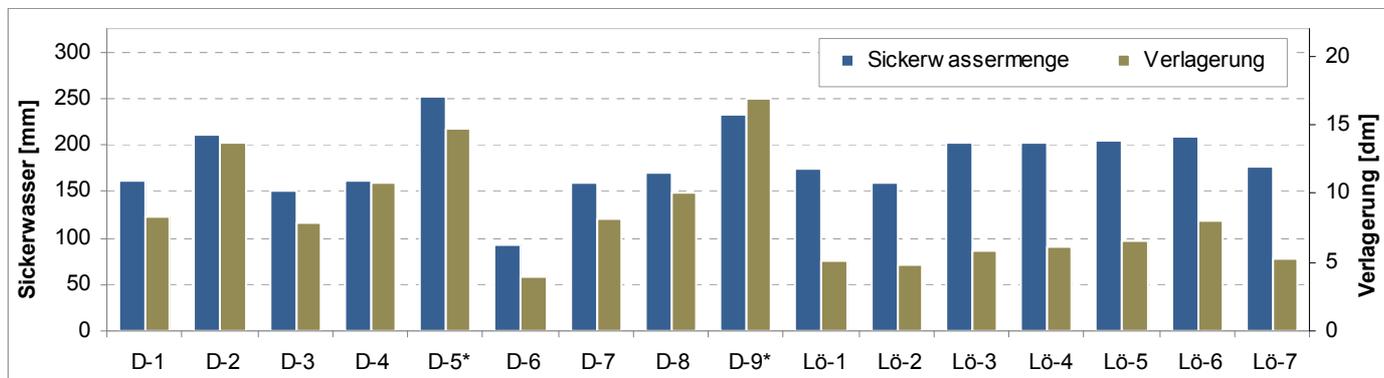


Abbildung 7: Mittlere standortspezifische Sickerwassermengen und Verlagerungsgeschwindigkeit löslichen Stickstoffs der Untersuchungsbetriebe im Zeitraum 2006 - 2008 (*2007 - 2009)

Die ausgewählten Betriebe unterscheiden sich in ihrer Flächenausstattung. Nur drei Betriebe bewirtschaften weniger als 500 ha. Dagegen verfügen 12 Betriebe über mehr als 1.000 ha und die Hälfte davon sogar über 2.000 ha. Derartige Großbetriebe sind typisch für die untersuchten Agrarregionen Sachsens. Insgesamt wurden 26.200 ha in diese Studie einbezogen.

Die Flächennutzung steht im engen Zusammenhang mit der betrieblichen Tierhaltung. Die Betriebe D-7, Löss-3 und Löss-4 verfügen als reine Marktfruchtbetriebe über keine bzw. nur geringe Anteile an Grünlandflächen. Auch Mais wurde in diesen Betrieben im Untersuchungszeitraum nicht angebaut.

Bei den Gemischtbetrieben dominiert die Milchkuhhaltung. Dazu nimmt in einigen Betrieben Schweinemast eine bedeutende Rolle ein. Vereinzelt findet Mutterkuh- und Schafhaltung statt. Der Tierbesatz je Betrieb liegt zwischen 0,1 bis 1,3 GV/ha, wobei nur drei Betriebe (D-4, D-5, Löss-6) eine GV/ha überschreiten. Von den tierhaltenden Betrieben verfügt nur Betrieb Löss-5 über keine Grünlandflächen. Bei mehr als der Hälfte der ausgewählten Betriebe nehmen Wiesen und Weiden einen Anteil von über 5 % der Gesamtfläche ein (**Abbildung 8**). Im Betrieb D-4 ist sogar 1/4 der bewirtschafteten Flächen Grünland.

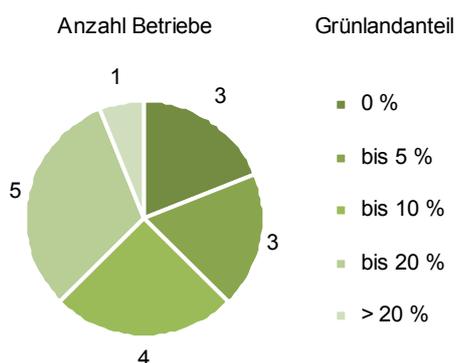


Abbildung 8: Aufteilung der Betriebe nach dem Grünlandanteil an der Gesamtfläche

Bei den Ackerkulturen waren nur geringfügige Unterschiede im Spektrum der dominierenden Fruchtarten festzustellen. Am häufigsten bauten die Betriebe Winterweizen an, dieser stand im Durchschnitt auf 28 % des Ackerlandes. Wintergerste und Raps stellten mit 15 % bzw. 18 % ebenfalls bedeutende Marktfrüchte dar. Der Anbau von Winterroggen konzentrierte sich auf die Sandstandorte, wohingegen Zuckerrüben auf den Lössböden zu finden waren (**Tabelle 4**). Mais wurde hauptsächlich zur

Futterbereitstellung für die betriebseigene Tierhaltung angebaut. Dabei wurde der Anbauumfang durch den Futterbedarf geprägt. Im Betrieb D-4 erreichte der Maisanteil mit 35 % seinen Maximalwert.

Innerhalb des Betrachtungszeitraumes wurden in den Betrieben D-3, Lö-5 und Lö-6 Biogasanlagen in Betrieb genommen. Als Substrate werden Wirtschaftsdünger und Silagen eingesetzt.

Tabelle 4: Anbauumfang der dominierenden Fruchtarten in den Untersuchungsbetrieben

Parameter	Mittel	Anteil am Ackerland [%]	
		Min	Max
Winterweizen	28	5	62
Wintergerste	15	0	23
Winterroggen	9	0	35
Winterraps	18	10	27
Mais	11	0	35
Zuckerrüben	4	0	14

Zwischen den Untersuchungsbetrieben waren standortabhängig Ertragsunterschiede festzustellen (**Abbildung 9**). Das Ertragsniveau der Löss-Betriebe lag infolge besserer Bodenverhältnisse sowie höherer Niederschläge deutlich über dem der Diluvial-Betriebe.

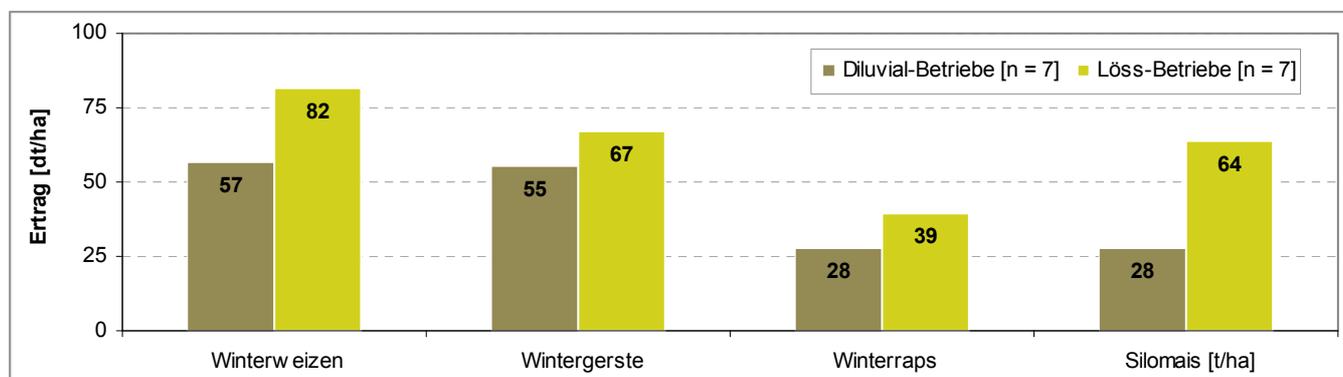


Abbildung 9: Standortabhängige Ertragsunterschiede der Hauptfruchtarten (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008)

4.2 Ergebnisse der Humusbilanzierung

Der Humusbedarf, resultierend aus dem Fruchtartenspektrum und dem Anbauverhältnis, wird im Wesentlichen von den Standortverhältnissen (Bodenart und Niederschlag), der Ertragshöhe sowie der mineralischen Düngung beeinflusst. Die Berechnungen für die Untersuchungsbetriebe mit REPRO zeigten einen Standortbezug (**Abbildung 10**): Für die Betriebe der D-Standorte ergab sich ein Humusabbau von 407 kg C/ha AL im Mittel und für die Lö-Standorte von 530 kg C/ha AL. Da auf den Lössstandorten insgesamt das Ertragsniveau der Ackerkulturen höher war als auf den leichten Böden der D-Betriebe, wurde mehr organische Bodensubstanz umgesetzt. Eine Ausnahme stellt der Betrieb D-4 dar, bei dem vor allem der hohe Maisanteil von 35 % zu einem erheblichen Humusbedarf führte.



Abbildung 10: Humusbedarf der Untersuchungsbetriebe nach REPRO auf Grundlage der Humusbilanzen im erweiterten Modus (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)

Die Humusersatzleistung wird durch den Anbau humusmehrender Fruchtarten (Leguminosen, Feldgras ...) sowie durch die Rückführung organischer Dünger (Stroh, Stallmist, Gülle ...) bestimmt. In fast allen Betrieben stellte die Strohdüngung den Hauptanteil bei der Versorgung der Flächen mit organischer Substanz dar. Fehlende Tierhaltung (D-7, Löss-3, Löss-4) oder überwiegende Aufstallung mit Flüssigmistanfall (D-1, D-3, D-4, D-5, D-8, Löss-1, Löss-6) erübrigten eine Strohernte (**Abbildung 11**). Die anfallende Gülle ergänzte wiederum die organische Düngung. Im Vergleich zu anderen Untersuchungsbetrieben war D-4 mit 1,3 GV/ha der Betrieb mit dem höchsten Tierbestand und dementsprechend der höchsten Einsatzmenge an Gülle. Die Betriebe D-2, D-9 und Löss-7 ernteten das Getreidestroh zur Nutzung als Einstreu. Demzufolge fand in diesen Betrieben eine bedeutende Reproduktionsleistung über die Rückführung von Stallmist statt. Eine eher untergeordnete Rolle spielten Gründüngung und andere organische Dünger wie z. B. Klärschlamm.

Wie auch der Humusbedarf war auf den Lössstandorten die Reproduktion höher als auf den Sandstandorten. Bei hohen Hauptproduktserträgen fielen entsprechend hohe Nebenprodukte an.

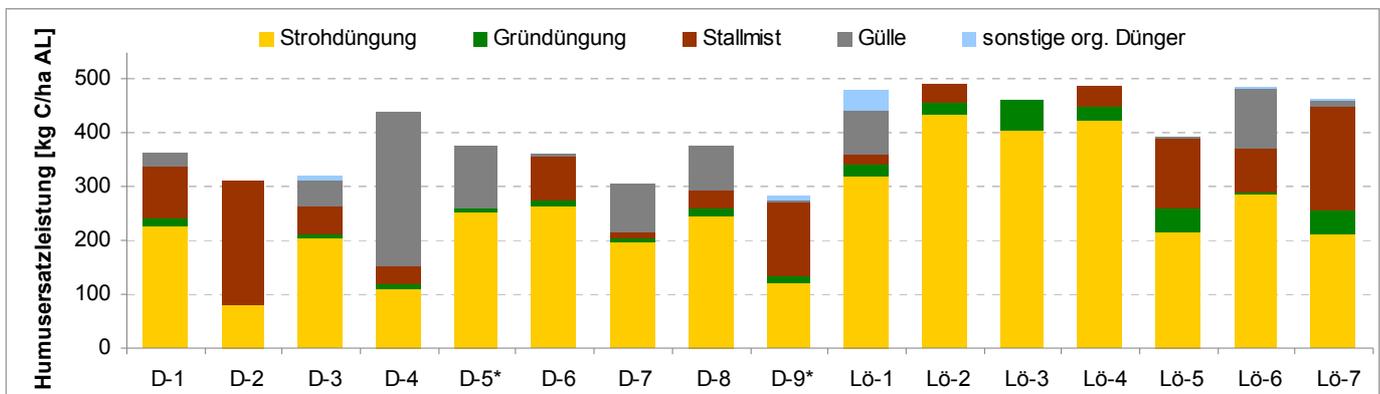


Abbildung 11: Humusersatzleistung der organischen Dünger in den Untersuchungsbetrieben nach REPRO auf Grundlage der Humusbilanzen im erweiterten Modus (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)

Aus der Gegenüberstellung des Humusbedarfs und der Humusersatzleistung ergeben sich die betriebspezifischen Humusbilanzsalden. Nach den Berechnungen mit REPRO im erweiterten Modus (dynamische Betrachtungsweise: Ertrags-, standort- und bewirtschaftungsabhängige Ableitung der Koeffizienten) wies der Großteil der Untersuchungsbetriebe Salden im bzw. nahe dem Optimalbereich auf (**Abbildung 12**). Allerdings lagen die Werte vornehmlich um den unteren Grenzwert des Optimums von -75 kg C/ha AL. Einen Sonderfall stellte der Betrieb Löss-4 dar, in dem umfangreich Grassaatgut produziert wurde. Die humusmehrenden Eigenschaften des Ackergrases führten zu einem deutlich positiven Humussaldo. Dagegen wiesen die Betriebe Löss-5 und Löss-7 ein relativ hohes Humusdefizit aus.

Auf Schlagebene zeigte sich für alle Untersuchungsbetriebe eine sehr große Schwankungsbreite in den Humussalden. Eine Verbesserung des innerbetrieblichen Düngungsmanagements in Bezug auf die Verteilung der organischen Dünger ist für alle Betriebe mit entsprechendem Düngeinsatz möglich. Grundlage dafür können die im Rahmen der einzelbetrieblichen Auswertung entstandenen Schlagübersichten zur Humusbilanz darstellen (im vorliegendem Bericht nicht enthalten).

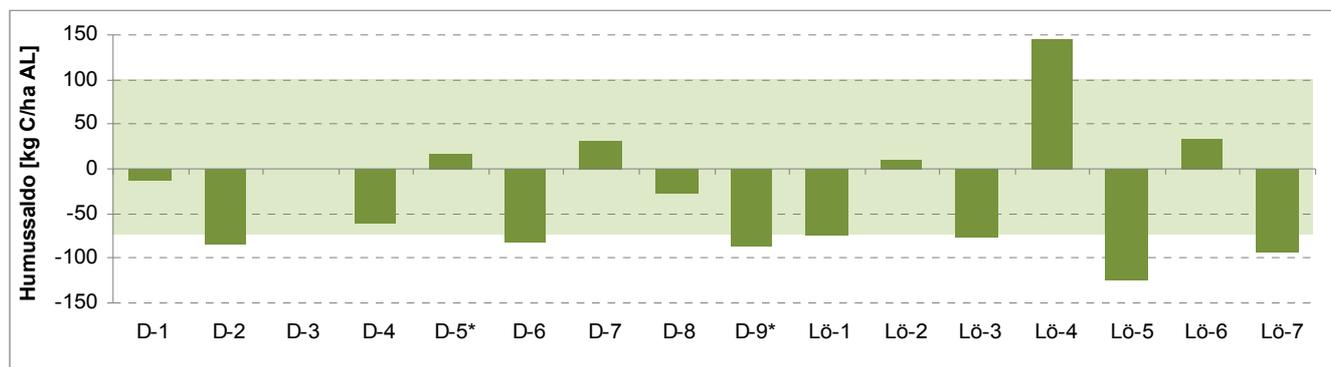


Abbildung 12: Humussalden der Untersuchungsbetriebe nach REPRO auf Grundlage der Humusbilanz im erweiterten Modus (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)

Bei der Humusbilanzierung existieren verschiedene Verfahren (siehe auch Kapitel 3.3.1). In **Tabelle 5** sind die mit REPRO im erweiterten Modus ermittelten Werte denen der VDLUFA-Methode gegenübergestellt. Im Gegensatz zur dynamischen Methode werden bei der Bilanzierung nach VDLUFA-Standpunkt feste Koeffizienten zur Berechnung des Humussaldos verwendet. Es wird zwischen unteren und oberen Richtwerten unterschieden. Untere Richtwerte sollten vorzugsweise bei Böden in gutem Kulturzustand und mit optimaler mineralischer N-Düngung angewendet werden, die oberen Richtwerte für bereits längere Zeit mit Humus unterversorgte Böden.

Nach VDLUFA ergaben sich höhere Humussalden, die sich vorwiegend in die Gehaltsklassen C und D einordnen. Gehaltsklasse C entspricht dabei einer optimalen Bewirtschaftung mit Salden zwischen -75 und 100 kg /ha. In die Gehaltsklasse D sind Salden zwischen 101 und 300 kg C/ha einzustufen. Auf mit Humus verarmten Böden werden diese als mittelfristig tolerierbar angesehen. Betrieb LÖ-4 wies nach VDLUFA einen deutlich überhöhten Saldo der Gehaltsklasse E auf, wonach ein erhöhtes Risiko für Stickstoff-Verluste bestehen würde.

Tabelle 5: Humussalden der Untersuchungsbetriebe nach verschiedenen Bilanzierungsverfahren (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)

Betrieb	REPRO erweitert		VDLUFA obere Werte		VDLUFA untere Werte	
	kg C/ha AL	Humusgruppe	kg C/ha AL	Humusgruppe	kg C/ha AL	Humusgruppe
D-1	-13	C	57	C	108	D
D-2	-84	B	-49	C	44	C
D-3	1	C	88	C	115	D
D-4	-61	C	27	C	115	D
D-5*	17	C	211	D	216	D
D-6	-82	B	177	D	183	D
D-7	33	C	167	D	172	D
D-8	-28	C	185	D	200	D
D-9*	-86	B	15	C	78	C
LÖ-1	-74	C	226	D	228	D
LÖ-2	11	C	243	D	283	D
LÖ-3	-76	B	188	D	198	D
LÖ-4	145	D	336	E	410	E
LÖ-5	-125	B	113	D	162	D
LÖ-6	35	C	253	D	253	D
LÖ-7	-92	B	195	D	242	D

4.3 Ergebnisse der Stickstoffbilanzierung

Die berechneten N-Entzüge (Haupt- und Nebenprodukt) zeigen deutlich die standortbedingten Ertragsunterschiede der untersuchten Praxisbetriebe (**Abbildung 13**). Auf den leichten Sandstandorten wurden im Mittel der Untersuchungsjahre etwa 116 kg N/ha von den Pflanzen aufgenommen. Im Vergleich dazu lagen die Entzüge auf den Lössböden mit 185 kg N/ha um etwa 60 % höher.

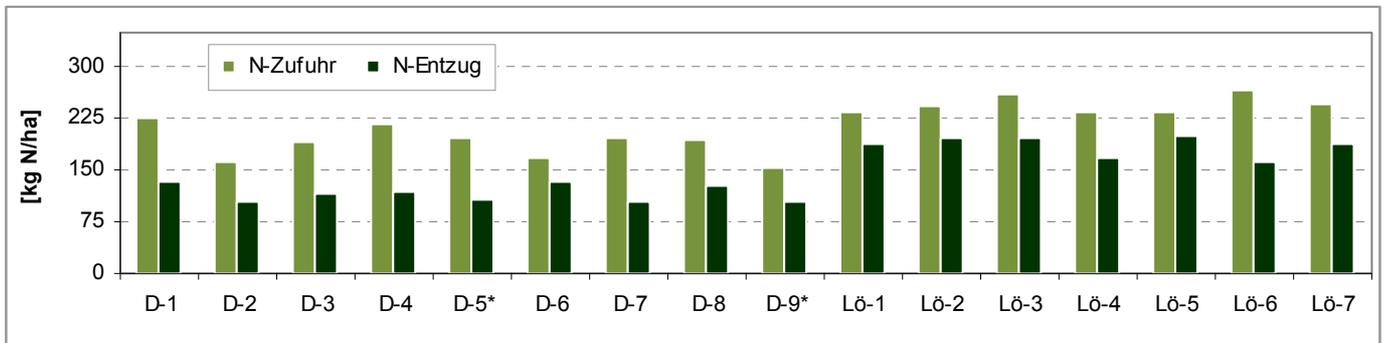


Abbildung 13: N-Zufuhr und N-Entzug in den Untersuchungsbetrieben (Ergebnisse REPRO, 3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)

Geringere Unterschiede zwischen den Agrarregionen bestanden dagegen im mittleren Stickstoffeinsatz mit organischen und mineralischen Düngern (**Abbildung 14**). Bei den Untersuchungsbetrieben des Lössgebietes lag das Düngungsniveau auf einem relativ gleichmäßigen Niveau von 180 kg N/ha im Mittel. Lediglich der Betrieb Löss-6 lag über diesem Wert, Betrieb Löss-4 deutlich darunter. Differenzierter erfolgte die Düngung auf den Sandstandorten. Mit weniger als 120 kg N/ha versorgten die Betriebe D-6 und D-9 ihre Pflanzenbestände. Dagegen erreichte der N-Input bei den Betrieben D-1 und D-4 das Niveau der Lössstandorte.

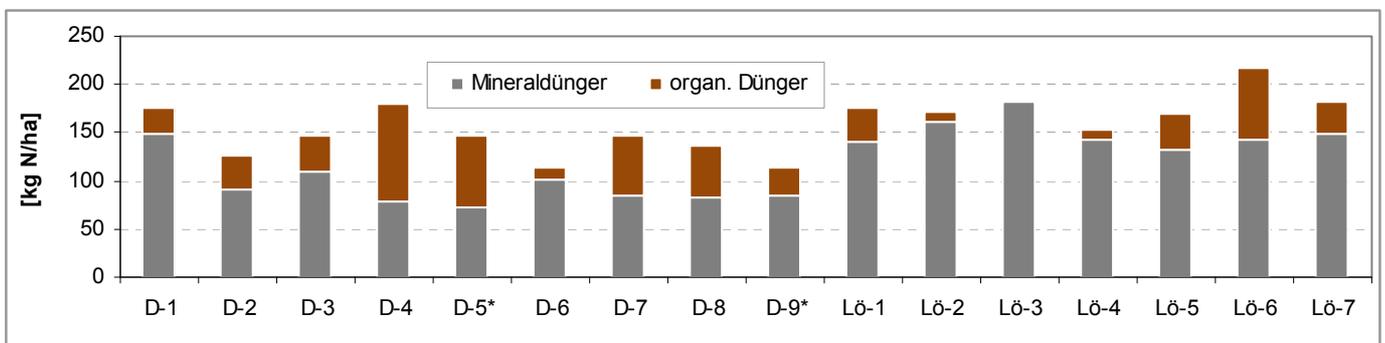


Abbildung 14: Organischer und mineralischer Stickstoffeinsatz in den Betrieben (Ergebnisse REPRO, organischer Dünger ohne Stroh- und Gründüngung, 3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)

Die N-Salden unterscheiden sich je nach angewandten Bilanzierungsverfahren deutlich voneinander (**Abbildung 15**). Ursache hierfür sind die unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen von REPRO und BEFU (siehe Kapitel 3.2 und 3.3.2), weshalb beide Werte nur bedingt miteinander vergleichbar sind.

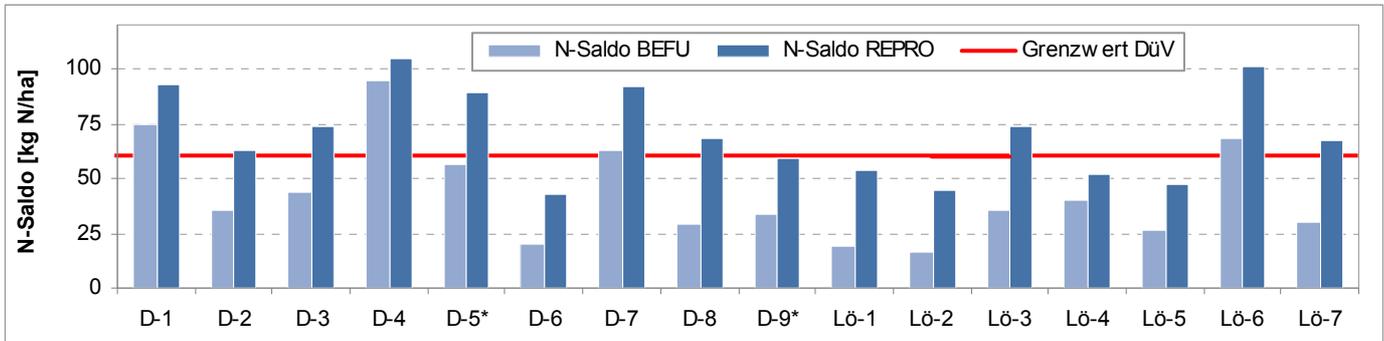


Abbildung 15: N-Saldo der Untersuchungsbetriebe nach BEFU und REPRO (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)

Die Bilanzierungen nach Vorgaben der Düngeverordnung (BEFU) ergaben die geringeren N-Überschüsse. Im Durchschnitt der betrachteten Betriebe lag hier der Wert bei 43 kg N/ha mit einer Schwankungsbreite zwischen 17 und 93 kg N/ha. Vier der Praxisbetriebe (D-1, D-4, D-7, Lö-6) überschritten im betrachteten Zeitraum den ab dem Jahr 2011 geltenden Grenzwert der Düngeverordnung von 60 kg/ha. Mit N-Salden von 30 kg/ha und weniger lagen sechs Betriebe (D-6, D-8, Lö-1, Lö-2, Lö-5, Lö-7) weit unterhalb dieser Grenze.

Aufgrund der einfließenden N-Immissionen in Höhe von 20 kg N/ha sowie durch die Berücksichtigung der Veränderungen der Boden-N-Vorräte fallen die nach REPRO berechneten N-Salden höher aus. Im Mittel von drei Jahren sowie der betrachteten Betriebe ergab sich ein N-Überschuss von 70 kg/ha. Die Werte lagen dabei in einem Bereich zwischen 43 und 105 kg N/ha. Ein Zusammenhang zwischen Standort und N-Überschuss war nicht festzustellen. Die Mehrzahl der Betriebe wies einen teilweise deutlich überhöhten Saldo auf. Für fünf Betriebe berechnete sich ein Stickstoffüberhang von über 80 kg/ha (D-1, D-4, D-5, D-7, Lö-6). Demnach entsprachen die realisierten Erträge nicht dem Zielertrag, nachdem die Düngung kalkuliert wurde. Es ist davon auszugehen, dass der Stickstoff aus organischen Düngern bei der Berechnung des mineralischen Düngebedarfs zu wenig berücksichtigt wurde. Vor allem bei den Betrieben D-4 und D-5 zeigten sich Probleme resultierend aus dem hohen Anfall an Güllestickstoff. Die Betriebe D-6, Lö-2, Lö-4 und Lö-5 praktizierten ein optimales N-Management, bei dem die Ausbringung von zusätzlichem mineralischem Stickstoff in Abhängigkeit des Inputs an organischem Stickstoff erfolgte.

Besonders kritisch zeigten sich die N-Salden bei Betrachtung der Schläge. Hier traten teilweise Überschüsse von über 100 kg N/ha auf, sodass punktuell mit hohen Nitratausträgen zu rechnen ist.

Zwischen den Bilanzsalden der angebauten Fruchtarten traten zum Teil deutliche Unterschiede auf (**Abbildung 16**). Auch hier differenzierten die Ergebnisse abhängig vom verwendeten Bilanzierungsverfahren zum Teil gravierend voneinander.

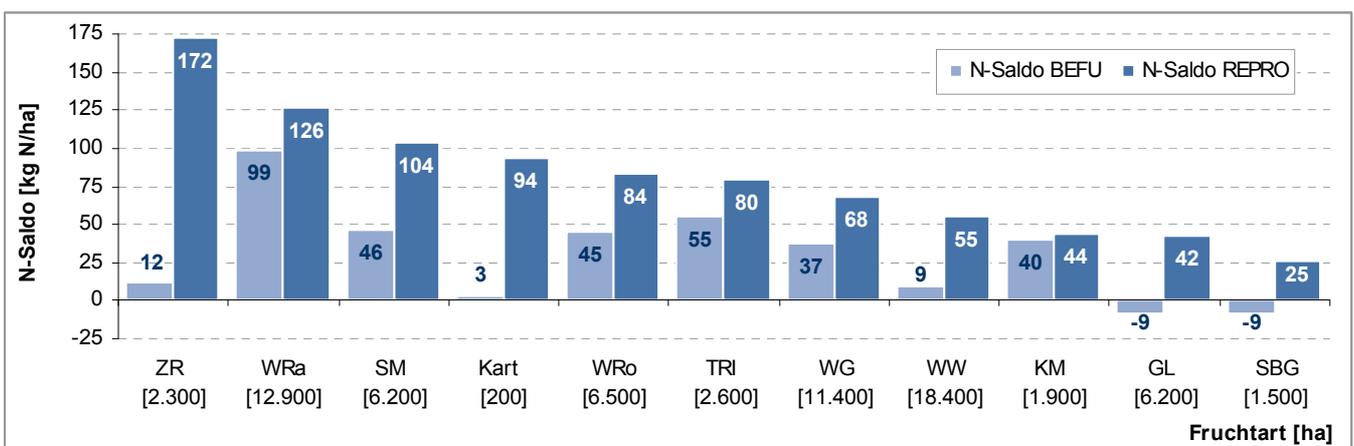


Abbildung 16: N-Saldo der Fruchtarten nach BEFU und REPRO (3-jähriger Mittelwert)

Mit im Durchschnitt annähernd 100 kg/ha ergab sich nach BEFU der mit Abstand höchste N-Saldo bei Winterraps, wobei bei dieser Fruchtart generell mit erhöhten N-Überschüssen zu rechnen ist. Ursachen hierfür sind zum einen der hohe N-Bedarf der Kultur und zum anderen die relativ umfangreichen Mengen an N-reichen Ernterückständen, die nach der Ernte auf den Flächen verbleiben. Niedrige Überschüsse berechneten sich dagegen für Winterweizen, Zuckerrüben sowie Kartoffeln, wobei bei Winterweizen aufgrund fehlender Angaben nicht zwischen Qualitäten unterschieden werden konnte. Für Grünland sowie Sommerbraugersten fielen die Salden sogar negativ aus.

Bei REPRO indessen ergaben sich sehr hohe mittlere N-Salden von über 100 kg N/ha bei Zuckerrübe, Winterraps sowie Silomais, wobei der höchste Wert mit 172 kg N/ha für Zuckerrübe berechnet wurde. Auch nach REPRO ergaben sich für Sommerbraugerste sowie Grünland relativ niedrige N-Salden, allerdings lagen diese im Vergleich zu den Ergebnissen von BEFU in einem deutlich höheren Bereich.

Abbildung 17 zeigt die wichtigsten Bilanzglieder des N-Saldos nach REPRO getrennt für einzelne Fruchtarten (Mittel der betrachteten Jahre sowie Untersuchungsbetriebe). Bei Winterraps stand im Mittel einer hohen N-Zufuhr von 266 kg/ha nur ein geringer N-Entzug von 140 kg/ha gegenüber. Bei den humuszehrenden Fruchtarten Zuckerrüben, Silomais sowie Kartoffeln führten vor allem beträchtliche N-Freisetzungen aus dem Boden zu hohen N-Überschüssen.

Der Einsatz an Wirtschaftsdüngern erfolgte vorrangig zu Silo- und Körnermais.

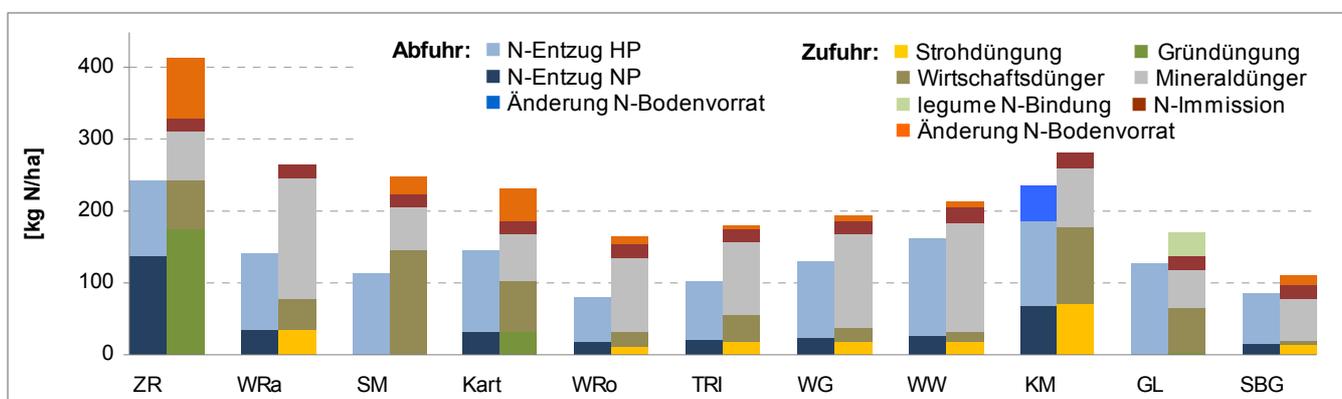


Abbildung 17: Bilanzglieder N-Saldo für einzelne Fruchtarten (nach REPRO, 3-jähriger Mittelwert)

4.4 Potenzieller Nitrataustrag mit dem Sickerwasser

Bei den nach REPRO berechneten Ammoniak- und Denitrifikationsverlusten waren keine Standortunterschiede festzustellen (**Abbildung 18**). Infolge von Denitrifikationsvorgängen gingen zwischen 11 und 16 kg Stickstoff pro ha verloren. Größere Unterschiede traten bei den Ammoniakverlusten auf. Je nach Einsatz an Wirtschaftsdüngern sowie verwendeten Mineraldüngern lagen diese zwischen 4 und 20 kg N/ha.

Die Nitratverluste mit dem Sickerwasser schwankten im Mittel zwischen 29 und 67 kg N/ha. Damit kann von eher geringen Verlustmengen ausgegangen werden.

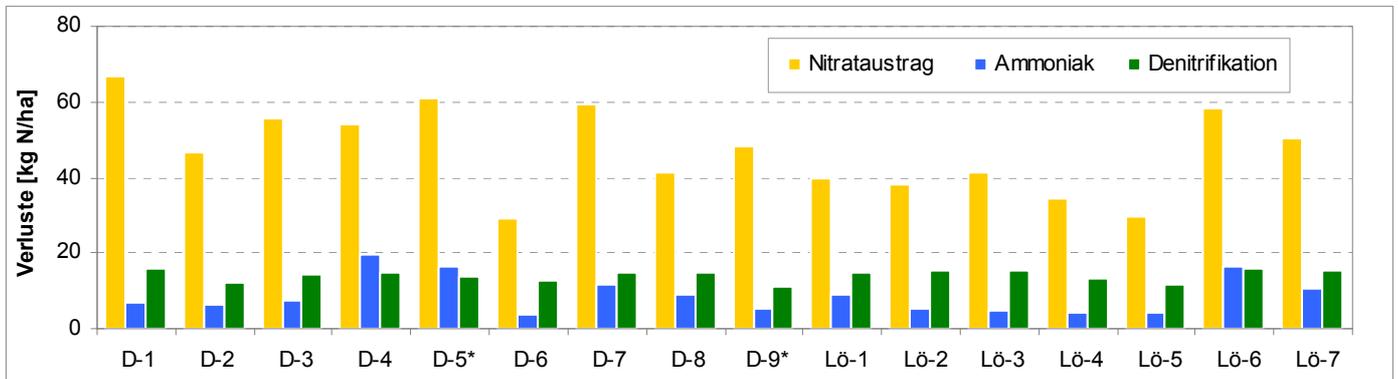


Abbildung 18: Nitrataustrag, Ammoniak- und Denitrifikationsverluste der Untersuchungsbetriebe nach REPRO (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)

Die relativ niedrigen Nitratausträge führten jedoch aufgrund der geringen Sickerwassermengen und eines damit gleichzeitig nur geringen Verdünnungseffektes zu sehr hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (**Abbildung 19**). Festzustellen war auch, dass zu fast jeder Zeit ausreichende Stickstoffmengen im mineralischen N-Pool des Bodens vorlagen. Diese werden, sobald geringe Sickerwassermengen entstehen, mit hoher Konzentration aus der Wurzelzone ausgewaschen.

Die im Untersuchungszeitraum berechneten Nitratkonzentrationen wiesen für alle Untersuchungsbetriebe Werte deutlich über dem für das Grundwasser geltenden Zielwert von 50 mg NO₃/l auf (**Abbildung 19**). Lediglich Betrieb LÖ-5 überschritt mit 64 mg NO₃/l den Grenzwert nur geringfügig. Im Mittel lagen die Konzentrationen auf den Sandstandorten mit 134 mg NO₃/l etwas höher als auf den Lössstandorten mit 98 mg NO₃/l. Auf den leichten Böden wurden teilweise Konzentrationen von über 150 mg NO₃/l ermittelt. Bei ähnlichen Sickerwassermengen zwischen den untersuchten Standorten ist das Haltevermögen von Stickstoff in Böden mit hohem Sandanteil geringer und Nitrat wird deutlich schneller nach unten verlagert.

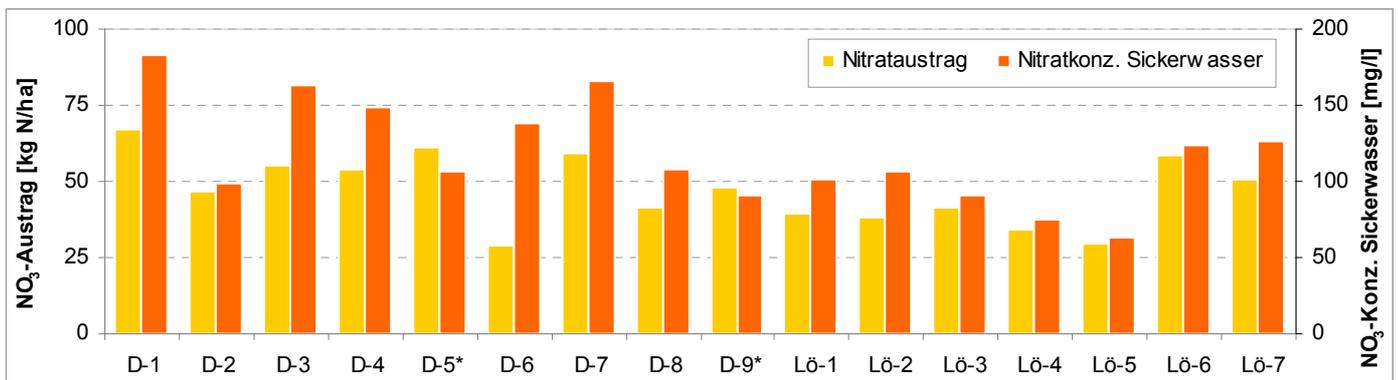


Abbildung 19: Nitrataustrag und Nitratkonzentration im Sickerwasser der Untersuchungsbetriebe nach REPRO (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)

Werden die absoluten Verluste mit den Konzentrationen in Beziehung gebracht, zeigt sich ein enger Zusammenhang (**Abbildung 20 A**). Je mehr Stickstoff ausgetragen wurde, umso höher waren die Konzentrationen, da die Sickerwassermengen zwischen den Standorten nur wenig differenzierten. Dabei waren die Lösstandorte im unteren Bereich zu finden. Aus dieser Abhängigkeit kann eine maximale Verlustmenge für die Einhaltung eines Grenzwertes von 50 mg NO₃/l abgeleitet werden. Dieser wird unter den gegebenen Standortbedingungen eingehalten, wenn nicht mehr als 23 kg N/ha ausgewaschen werden. Der Betrieb D-6 wurde als Ausreißer nicht mit in die Betrachtung einbezogen.

Ergänzend dazu konnte eine Abhängigkeit der absoluten Verluste vom berechneten N-Saldo festgestellt werden (**Abbildung 20 B**). Mit steigendem Saldo nahmen auch die Nitratausträge mit dem Sickerwasser zu. Unterstellt man eine maximale tolerable Auswaschung von 23 kg N/ha, so ergibt sich nach REPRO ein Orientierungswert für den N-Bilanzüberschuss von 22 kg/ha.

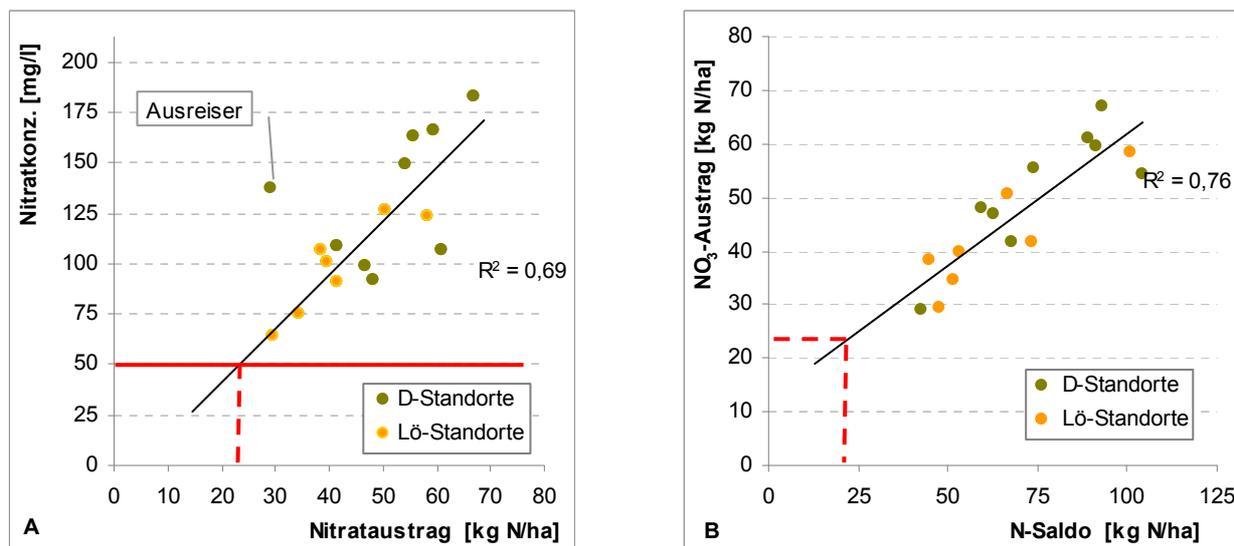


Abbildung 20: Beziehung zwischen (A) Nitrataustrag und Nitratkonzentration sowie zwischen (B) N-Saldo und Nitrataustrag (Berechnungen mit REPRO)

Somit kann über die Stickstoffbilanz und dem berechneten Saldo bereits auf die Nitratverluste geschlossen werden. Der Stickstoffsaldo zeigte sich als geeigneter indirekter Indikator mit enger Beziehung zur Nitratkonzentration im Sickerwasser (Abbildung 20 und Abbildung 21).

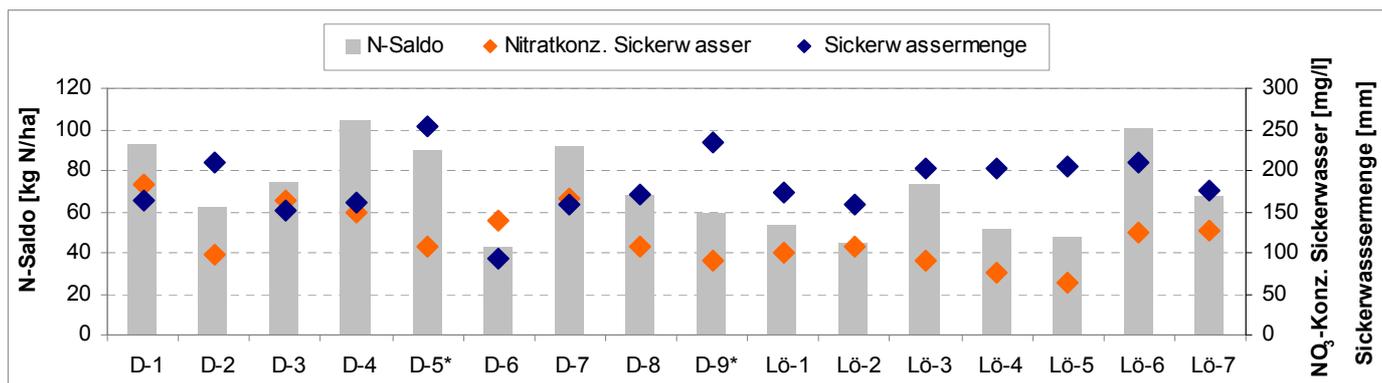


Abbildung 21: N-Saldo, Nitratkonzentration im Sickerwasser und Sickerwassermenge der Untersuchungsbetriebe nach REPRO (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)

4.5 Optimierung mit REPRO: Szenariorechnungen zur Verbesserung der N-Effizienz

Insgesamt wurden für neun Untersuchungsbetriebe Szenariorechnungen zur Reduzierung der berechneten Nitratausträge durchgeführt. Vier dieser Betriebe bauten im betrachteten Zeitraum keine Zwischenfrüchte an; bei den anderen lag der Anteil an der Ackerfläche bei maximal 13 %. Abhängig von dem Umfang an angebauten Sommerfrüchten konnte im Rahmen der Szenariorechnungen der Zwischenfruchtanbau auf bis zu 34 % ausgedehnt werden. Das entspricht im Mittel der Betriebe einer Steigerung um 16 %.

Für die Ermittlung der speziellen Düngungsintensität wurde zu den dominierenden Fruchtarten die Ertragsleistung und N-Düngung aller Einzelschläge der jeweiligen Untersuchungsbetriebe der unterschiedlichen Standorte (Riesaer-Torgauer-Elbtal, Sächsisches Heidegebiet, Mittelsächsisches Lössgebiet) in Beziehung gesetzt. Des Weiteren wurde die betriebsspezifische Nitratkonzentration anhand der Gegenüberstellung der berechneten Nitratkonzentration im Sickerwasser und der N-Effizienz dargestellt. Auf dieser Grundlage ließen sich betriebsspezifisch spezielle Düngungsintensitäten für die Einhaltung des Zielwertes identifizieren. Das Vorgehen zeigen beispielhaft für den Betrieb D-1 die **Abbildung 22** für Winterweizen und die **Abbildung 23** für Silomais.

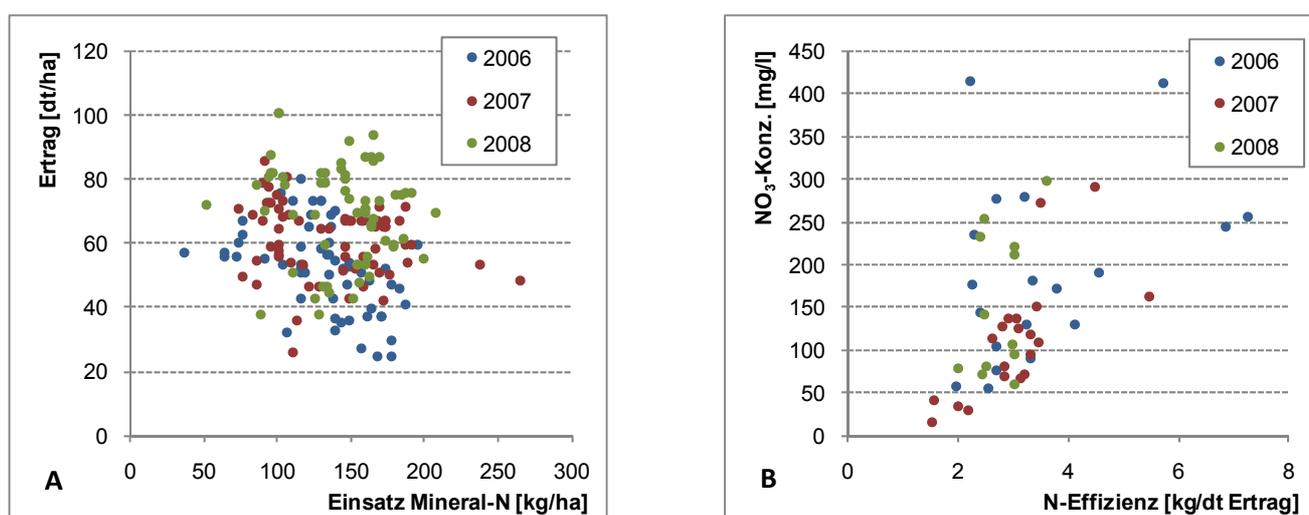


Abbildung 22: Beziehung zwischen (A) Mineraldüngung und Ertrag der Untersuchungsbetriebe des Riesaer-Torgauer-Elbtals sowie (B) zwischen N-Effizienz und Nitratkonzentration bei Winterweizen im Betrieb D-1

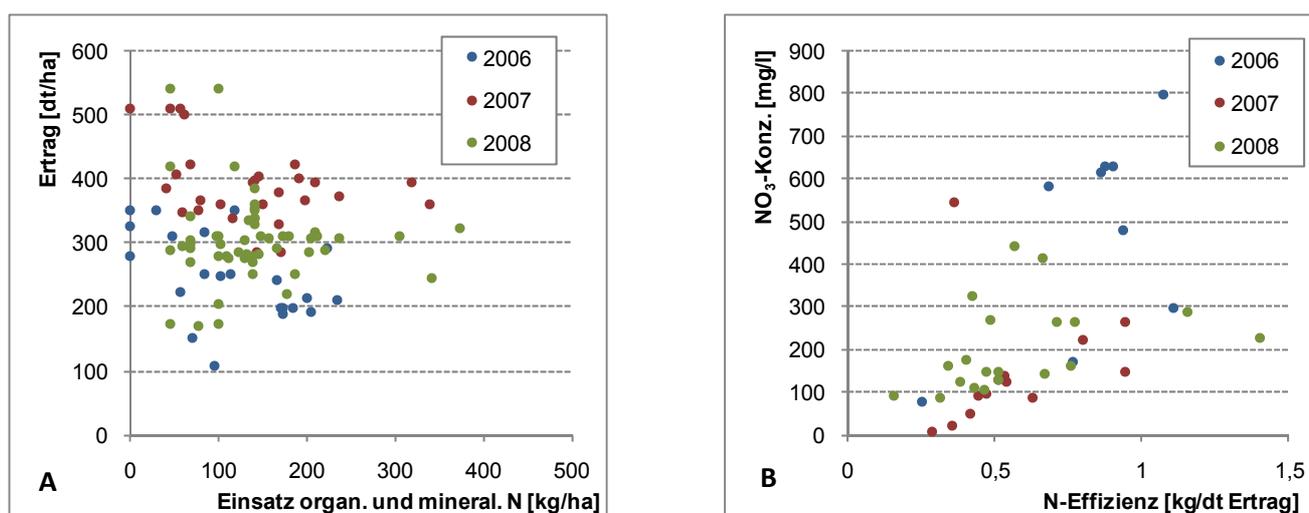


Abbildung 23: Beziehung zwischen (A) Düngung und Ertrag der Untersuchungsbetriebe des Riesaer-Torgauer-Elbtals sowie (B) zwischen N-Effizienz und Nitratkonzentration bei Silomais im Betrieb D-1

Um den angestrebten Zielwert von 50 mg NO₃/l im Sickerwasser annähernd einzuhalten, sollten bei dem Betrieb D-1 unter den gegebenen Bodenverhältnissen zu Winterweizen etwa 2,3 kg N je dt Ertrag aufgewendet werden. Bei Silomais sind insgesamt 0,3 kg N je dt Ertrag ausreichend. Mit etwa 35 kg/ha anzurechnendem Stickstoff aus organischem Dünger (MDÄ) werden Aufwandmengen an mineralischen N von 65 kg/ha angenommen. Aus der Aufstellung aller Einzeldaten aus den Untersuchungsbetrieben der Agrarregion (**Abbildung 22 A** bzw. **Abbildung 23 A**) wird ersichtlich, dass mit den berechneten Mineraldüngermengen von 125 kg/ha zu Winterweizen bzw. 100 kg/ha aus mineralischem und organischem N zu Silomais der zu kalkulierende Zielertrag zu realisieren ist.

In **Tabelle 6** sind die mit Hilfe der speziellen Düngungsintensität abgeleiteten optimierten N-Düngungsmengen für die dominierenden Fruchtarten des Betriebes D-1 aufgeführt. Die sich daraus ergebenden Reduktionspotenziale liegen je nach Fruchtart zwischen 18 kg N/ha bei Winterroggen und 79 kg N/ha bei Silomais.

Tabelle 6: Optimierung der N-Düngung in der Szenariorechnung mit REPRO, Betrieb D-1

Fruchtart	Zielertrag	optimierte N-Düngung	Differenz IST-Zustand
	[dt/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]
Winterweizen	55	125	49,5
Wintergerste	67	120	25,1
Winterroggen	32	100	17,7
Winterraps	35	170	37,0
Silomais ¹	300	100	78,7

¹ mineralischer und organischer Stickstoff (MDÄ)

Die optimalen Aufwandmengen wurden zu den dominierenden Fruchtarten im Szenario umgesetzt. Für die D-Betriebe ergaben sich die größten Einsparungen im Mineraldüngereinsatz bei den Fruchtarten Silomais und Winterraps, gefolgt von Winterweizen. Für die Lö-Betriebe wurde dagegen für Wintergerste das höchste Einsparpotenzial abgeleitet (**Tabelle 7**).

In Bezug auf den Rohproteingehalt im Winterweizen muss die Aufwandmenge betriebsspezifisch geprüft werden, eine verhaltene Frühjahrsgabe und eine betonte späte Gabe wären aber denkbar, um die Qualitätsziele zu erreichen.

Tabelle 7: Optimierung der N-Düngung in der Szenariorechnung mit REPRO (n = 9 Betriebe)

Fruchtart	D-Betriebe (n=7)			Lö-Betriebe (n=2)		
	Zielertrag	optimierte N-Düngung	Differenz IST-Zustand	Zielertrag	optimierte N-Düngung	Differenz IST-Zustand
	[dt/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]	[dt/ha]	[kg N/ha]	[kg N/ha]
Winterweizen	45...67	55...135	7...50	80	175	9...20
Wintergerste	45...67	80...120	0...29	70...75	135...150	22...53
Winterroggen	30...50	50...120	5...29			
Winterraps	25...35	100...170	1...55	40	160...180	9...23
Silomais ¹	300...350	100...105	0...79	450...580	120	5...43

¹ mineralischer und organischer Stickstoff (MDÄ)

Im Resultat der Szenariorechnungen stand die Ausweisung von Reduktionspotenzialen für die Nitratkonzentration im Sickerwasser: In der Szenariorechnung verringerte sich die Nitratkonzentration durch den Anbau von Zwischenfrüchten lediglich geringfügig (**Abbildung 24**). Die Minderung betrug im Durchschnitt nur 6 % und basiert einzig auf der Festlegung des freien Stickstoffs im Humuspool. Als Nebeneffekt zeigte sich daher in den Szenarien eine leichte Erhöhung des Humusbilanzsaldos (**Tabelle 8**). Die Mehrwirkung von Zwischenfrüchten ist jedoch als begrenzt anzusehen. Die eigentliche Aufgabe von Zwischenfrüchten besteht in der Konservierung des freien Stickstoffs in den Wintermonaten und dessen Transfer in die Vegetationszeit. Allerdings verbleibt für die Gesamtbilanz der gebundene Stickstoff auf den Flächen und wird zum größten Teil schnell wieder mineralisiert und ist damit verlustgefährdet. Nutzen bringt diese Maßnahme, wenn der Stickstoff aus der Zwischenfrucht bei der Düngeplanung der Hauptfrucht berücksichtigt wird. Der dadurch zu erwartende verminderte Einsatz an

Mineraldüngern würde sich weiter positiv auf den N-Saldo auswirken. Dieser Zusammenhang konnte durch REPRO in den Szenariorechnungen aber nicht abgebildet werden.

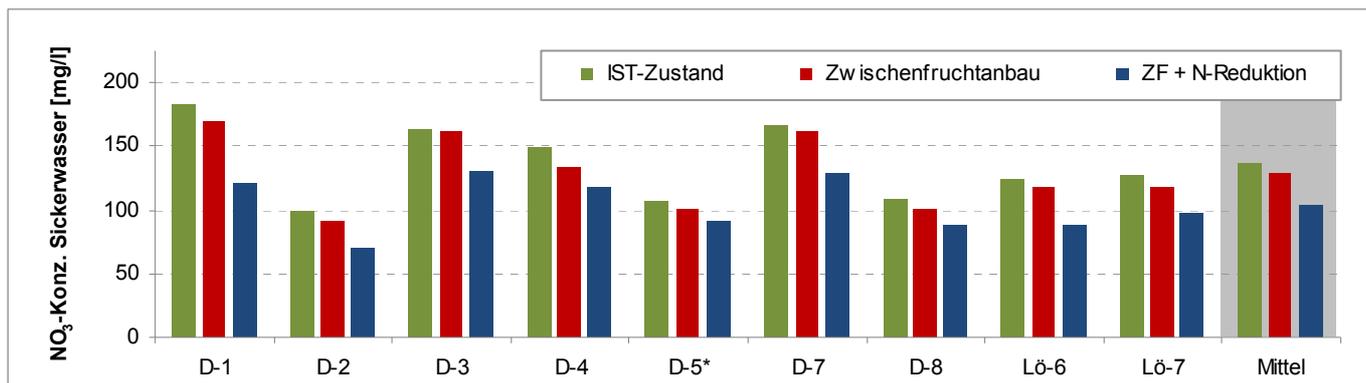


Abbildung 24: Reduktionspotenziale im Nitrataustrag bei Zwischenfruchtanbau und optimierter Stickstoffdüngung (Ergebnisse Szenariorechnung mit REPRO)

Im Ergebnis der Optimierung des Stickstoffeinsatzes stand eine Minderung der Nitratkonzentration im Mittel um rund 24 %. Je höher die berechnete Ausgangskonzentration, umso höher waren i. d. R. auch die Möglichkeiten zur Reduktion. So war im Betrieb D-1 im Szenario eine Konzentration von 121 mg NO₃/l das Ergebnis. Das bedeutete eine Senkung um 34 %. Im Betrieb D-5 dagegen, wo der berechnete IST-Wert nur knapp über 100 mg NO₃/l lag, wurde eine Minderung von nur 15 % prognostiziert (Tabelle 8).

Da nur die im Anbau am stärksten vertretenen Fruchtarten betrachtet wurden, kann von noch höheren Reduktionsmöglichkeiten ausgegangen werden.

Tabelle 8: Auswirkungen der Szenariorechnung mit REPRO auf wichtige Parameter; Betriebsübersicht (3-jähriger Mittelwert 2006 bis 2008; * 2007 bis 2009)

Betrieb	Humussaldo [kg C/ha]		N-Saldo [kg N/ha]			NO ₃ -Austrag [kg N/ha]		NO ₃ -Konz. Sickerwasser [mg/l]		
	IST	Szenario	IST	Szenario	Differenz [%]	IST	Szenario	IST	Szenario	Differenz [%]
D-1	-13	-6	93	65	-30	67	44	183	121	-34
D-2	-84	-77	63	49	-22	47	33	99	69	-30
D-3	1	6	74	60	-19	56	45	163	131	-20
D-4	-61	-23	105	93	-11	54	43	149	118	-21
D-5*	17	29	89	81	-9	61	52	107	91	-15
D-7	33	17	92	74	-20	59	46	166	129	-22
D-8	-28	-12	68	59	-13	42	34	108	89	-18
L6-6	35	46	101	83	-18	58	42	124	89	-28
L6-7	-92	-64	67	52	-22	50	39	127	98	-23

In allen Szenariorechnungen konnte die Nitratkonzentration lediglich auf das Niveau der Ausgangssituationen der nicht optimierten Vergleichsbetriebe reduziert werden (Abbildung 25). Der angestrebte Grenzwert von 50 mg NO₃/l im Sickerwasser wird im Ergebnis der Szenariorechnungen immer noch deutlich überschritten. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass bei Umsetzung der Maßnahmen aufgrund der bestehenden Einschränkungen des Modells REPRO (Berücksichtigung des gebundenen Stickstoffs der Zwischenfrüchte bei der Düngung; Optimierung des Stickstoffeinsatzes bei allen angebauten Fruchtarten) weitere Verminderungspotenziale hinsichtlich der Nitratkonzentration im Sickerwasser bestehen.

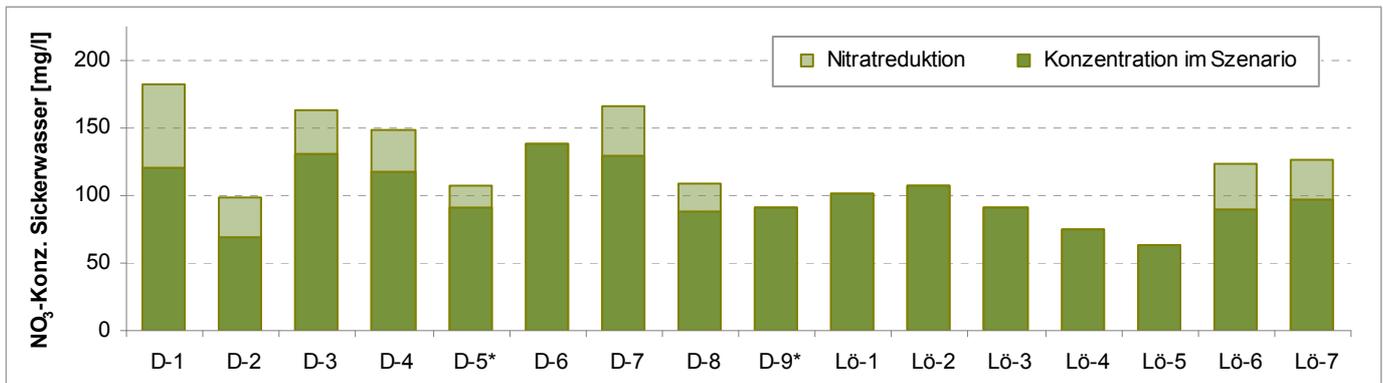


Abbildung 25: Betriebliche Nitratkonzentrationen der Szenariorechnung im Vergleich zur Ausgangssituation (Berechnungen mit REPRO)

Die Ergebnisse der Szenariorechnungen mit REPRO wurden mit den Betrieben, bei denen eine Optimierung durchgeführt wurde, ausgewertet. Insgesamt zeigten sich die Untersuchungsbetriebe an den Resultaten interessiert. Betriebsabhängig wurden einige Ansatzpunkte des Projektes als realisierbar angesehen, bei anderen bestanden Zweifel an der praktischen Umsetzbarkeit. Als ein wesentlicher Problembereich wurde vor allem die Verwertung der organischen Dünger erkannt. Die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern erfolgt in der Praxis oftmals in Abhängigkeit von der Entfernung zur Lagerstätte. Das führt dazu, dass bestimmte Flächen eine Überversorgung aufweisen. Andere Flächen werden dagegen überhaupt nicht oder nur sehr unregelmäßig in die Verteilung der Wirtschaftsdünger einbezogen. Als Grundlage für die Planung der Ausbringung können hier die Ergebnisse der Humusbilanzierung auf Einzelschlagenebene durch die Betriebe genutzt werden. Des Weiteren erfolgt oft die Ausbringung größerer Mengen im Herbst zu Winterraps, Getreide und auf Grünlandflächen. Eine Verbesserung des Gülle-managements mit einer bedarfsnahen Ausbringung während der Vegetationszeit setzt jedoch ausreichende Lagerkapazitäten und entsprechende Ausbringungstechniken (Schleppschlauch, Injektion) voraus. Hier wird auch von den Betrieben noch Potenzial gesehen, gleichzeitig aber auf die damit verbundenen Kosten verwiesen.

Als wirksame Maßnahme zur Reduzierung der N-Auswaschung wird der Zwischenfruchtanbau von den Betrieben wahrgenommen und teilweise auch bereits praktiziert. Probleme sehen die Betriebe vor allem bei der Auswahl einer geeigneten Zwischenfrucht sowie einer ausreichenden Wasserversorgung. Aufgrund eines oftmals hohen Anteils von Winterraps in der Fruchtfolge sind Kreuzblütler wie Gelbsenf oder Örettich eher ungeeignete Zwischenfrüchte. Hier kann bspw. Buchweizen oder Phacelia als Alternative empfohlen werden. Für eine erfolgreiche Etablierung von Zwischenfrüchten sowie eine ausreichende Wasserversorgung der nachfolgenden Hauptfrucht spielen die Niederschlagsverteilung über das Jahr und der Anbaustandort eine entscheidende Rolle. Zwischenfrüchte können ihre positive Wirkung nur bei einer guten Anfangsentwicklung entfalten. Keine größeren Einschränkungen gelten für den Zwischenfruchtanbau auf Standorten mit einem Jahresniederschlag über 600 mm. Auf trockenen Standorten ist auf den Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte zu achten. Hier wird z. B. Buchweizen als Zwischenfrucht empfohlen. Dieser gilt als wenig anspruchsvoll und bildet in relativ kurzer Zeit einen dichten Bestand aus. Auch Phacelia gilt als gut trockenheitsverträglich und verbraucht verhältnismäßig wenig Wasser. Generell sichert ein frühestmöglicher Aussaatzeitpunkt der Zwischenfrucht nach Ernte der Hauptfrucht einen optimalen Aufwuchs unter Ausnutzung der Bodenfeuchte. Dennoch muss festgestellt werden, dass der Anbau von Zwischenfrüchten in regenarmen Gebieten stets mit einem gewissen Anbaurisiko verbunden ist.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

„Innerhalb eines Betriebes zeigen die Ergebnisse einer Nährstoffbilanzierung Schwachstellen in der Düngung auf und liefern Ansatzpunkte zu deren Optimierung. Nach außen hin dienen die Salden zum Nachweis umweltverträglichen Verhaltens gegenüber Öffentlichkeit, Wasserwirtschaft und Naturschutz, zur Positionierung in der Agrarumweltdiskussion sowie agrarpolitisch zur Umweltberichterstattung, Bewertung förderpolitischer Maßnahmen und administrativen Einflussnahme“ (VDLUFA 2006).

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurden 16 sächsische Praxisbetriebe hinsichtlich ihres N-Managements auf Grundlage von Nährstoffbilanzen analysiert. Dabei kamen verschiedene Bilanzierungsverfahren zur Anwendung: Zum einen erfolgte die Berechnung des Flächenbilanzsaldos nach Vorgaben der Düngeverordnung mit Hilfe des Programms BEFU, zum anderen wurden Bilanzierungen mit Hilfe des Modells REPRO durchgeführt.

Das Hauptziel des Projektes bestand in einer deutlichen Verminderung von N-Bilanzüberschüssen, die ein hohes Gefährdungspotenzial für eine Grundwasserbelastung aufweisen. Dazu wurden mit REPRO auf Basis teilflächenspezifischer Auswertungen Nitrataustragsmengen im Untersuchungszeitraum quantifiziert und anhand von Szenariorechnungen Reduktionspotenziale ackerbaulicher Maßnahmen geprüft.

Anwendung fand in REPRO die Berechnung des Humussaldos im erweiterten Modus mit dynamischen Koeffizienten nach HÜLSBERGEN et al. (2000). Allgemein war eine ausreichende Humusersatzwirtschaft in den sächsischen Untersuchungsbetrieben festzustellen. Jedoch lagen die Werte vornehmlich im unteren Optimalbereich. In einigen Betrieben war aufgrund der Bewirtschaftung ein problematisches Defizit im Humushaushalt ausgewiesen. In anderen Betrieben zeichnete sich teilweise eine zunehmende Verschlechterung des Humussaldos ab. Es wäre empfehlenswert, weiterhin auf einen ausreichenden Humusersatz bei der Gestaltung des Produktionssystems zu achten. Zudem bestand in allen Betrieben bei der innerbetrieblichen Anbaugestaltung und der Verteilung organischer Dünger Optimierungsbedarf. Düngung und Jahreseffekte führten zu differenzierten Salden zwischen den Ackerschlägen. Um langfristig alle Flächen mit einem ausgeglichenen Humussaldo zu bewirtschaften, sollten bei der Produktionsgestaltung teilflächenspezifische Bilanzen zu Hilfe genommen werden.

Die Stickstoffsalden präsentierten sich mit deutlichen Unterschieden zwischen den Betrieben und dem verwendeten Bilanzierungsverfahren. Die mit REPRO ermittelte Stickstoffbilanz bezieht Bilanzglieder ein, die in vereinfachten N-Bilanzen (z. B. nach DüV) fehlen. Durch die Berücksichtigung aller wesentlichen N-Flüsse wird zwar die Aussagekraft der Bilanz erhöht, gleichzeitig steigen aber auch die Ansprüche an die Datengrundlage.

Nach Berechnungen mit BEFU überschritten nur vier Betriebe den ab 2011 geltenden Grenzwert der Düngeverordnung für den dreijährigen N-Saldo in Höhe von 60 kg/ha. Die REPRO-Salden lagen insgesamt auf einem deutlich höheren Niveau. Ursache hierfür sind die unterschiedlichen Berechnungsverfahren der Programme, weshalb beide Werte nur begrenzt miteinander zu vergleichen sind. Nach REPRO wiesen nur sechs der Praxisbetriebe N-Salden unter 60 kg/ha auf, fünf Betriebe überschritten den Wert von 80 kg N/ha.

Hauptgrund für die zum Teil erheblichen N-Überschüsse waren die hohen Einsatzmengen wirtschaftseigener Dünger, insbesondere der Gülleeinsatz. Bei vielen Betrieben fand eine Gülleausbringung im Herbst statt, zu einem Zeitpunkt, in dem die Bestände wenig Stickstoff aufnehmen. Gleichzeitig wurden die damit verbundenen N-Mengen nicht ausreichend bei der Bemessung der Mineraldüngergaben berücksichtigt. Die Kalkulierung zu hoher Ertragsziele war ein weiterer Grund für einen zu hohen N-Einsatz.

Teilflächenspezifische Bilanzierungen zeigen fast in jedem Untersuchungsbetrieb Salden mit über 100 kg N/ha. Hier kann es punktuell zu sehr hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser kommen.

In Verbindung mit detaillierten Standortdaten zu Niederschlag und Substrataufbau wurde mit REPRO der Stickstoffhaushalt in Hinblick auf Verlustpotenziale ausgewertet. Im Unterschied zur N-Bilanz werden hierbei tiefgreifendere Analysen zu den N-Umsetzungen im Boden und Abschätzungen von Verlusten vorgenommen. Die aus der Niederschlagshöhe im Untersuchungszeitraum und dem Wasserhaltevermögen des Bodens berechneten Sickerwassermengen wiesen zwischen den Betrieben nur geringe Unterschiede aus. Für die Mehrzahl der Betriebe (Untersuchungszeitraum 2006 bis 2008) berechneten sich Sickerwassermengen zwischen 150 und 200 mm. Nur die zwei Betriebe mit dem Untersuchungszeitraum 2007 bis 2009 – ohne das trockene Jahr 2006 – überschritten geringfügig diesen Bereich. Insgesamt ist die Höhe der Sickerwassermengen in den Untersuchungsgebieten als gering zu bezeichnen.

Die nach Abzug der gasförmigen Verluste ausgewiesenen Nitratverluste bewegen sich in einem Bereich von 30 bis 65 kg N/ha. Damit sind die absoluten Verluste als vergleichsweise gering einzuschätzen. Problematisch werden sie erst in Verbindung mit den geringen Sickerwassermengen und den dadurch entstehenden hohen Konzentrationen. Für die Lössregion wurde ein mittlerer Gehalt von 100 mg NO₃/l Sickerwasser berechnet. Der Durchschnittswert für die Sandstandorte lag bei etwa 130 mg NO₃/l. Der für das Grundwasser geltende Grenzwert von 50 mg NO₃/l wurde bei allen Betrieben überschritten. Zu beachten ist dabei, dass bei den Berechnungen mit REPRO die Nitratkonzentration beim Verlassen des Durchwurzelungsraumes angegeben wird. Wie hoch die Konzentration im Grundwasser tatsächlich ist und welche Prozesse in den dazwischenliegenden Schichten auf den Eintrag wirken, wird durch das Programm REPRO nicht abgebildet; auch nicht der Betrag, der durch kapillaren Aufstieg wieder in den Wurzelraum zurückgeführt wird.

Die einzelschlagspezifischen Nitratkonzentrationen schwankten in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung und den Bodenverhältnissen in den jeweiligen Betrieben deutlich.

Auf Basis der 16 Betriebswerte konnte ein enger Zusammenhang zwischen Nitratverlust und Stickstoffsaldo festgestellt werden. Mit steigendem Saldo erhöhten sich die Nitratverluste. Der N-Saldo ist ein geeigneter indirekter Indikator für die Abschätzung von Nitratverlusthöhen. Bei ähnlich hohen Sickerwassermengen gibt der leicht zu ermittelnde Parameter, ohne aufwendige Zusatzauswertungen, Hinweise auf die Nitratbelastung im Sickerwasser. Auf Grundlage der Ergebnisse können Zielwerte definiert werden, die Betriebe mit problematischen Salden mindestens erreichen sollten, um die Gesamtsituation der mit nitratbelasteten Grundwassergebiete zu verbessern. Um den Zielwert von 50 mg NO₃/l Sickerwasser einzuhalten, darf der Nitratbeitrag unter den gegebenen Standortbedingungen nicht mehr als 23 kg N/ha betragen. Dies setzt einen abgeleiteten N-Saldo von höchstens 22 kg N/ha voraus.

Da zu fast jeder Jahreszeit im Boden lösliche Stickstoffmengen vorliegen, werden diese, sobald Sickerwasser gebildet wird, auch mit diesem transportiert. Durch die unter den gegebenen Standortbedingungen der Untersuchungsgebiete eher geringen Sickerwassermengen können sich die Nitratmengen nur wenig verdünnen und erzeugen zwangsläufig hohe bis sehr hohe Konzentrationen. Ziel muss demzufolge sein, einen möglichst geringen mineralischen N-Pool im Boden zu realisieren. Daraus könnte sich ein Zielkonflikt für die untersuchten Standorte ergeben: Die Bewirtschaftung erfolgt dann auf Kosten der Bodenfruchtbarkeit. Bei hohem N-Bedarf müssten die Pflanzenbestände auf den Stickstoff im Humuspool zugreifen. Es kann zu Veränderungen im C/N-Verhältnis bzw. zu verstärktem Humusabbau kommen. Probleme bereitet dann beispielsweise auch die Initialisierung der Strohhotte, bei der große Mengen an löslichem Stickstoff benötigt werden. Ist dieser nicht vorhanden, wird das Stroh nicht oder nur sehr langsam abgebaut.

Neben der IST-Analyse fand mit Hilfe von REPRO in neun Betrieben eine Szenariorechnung zur Einschätzung von Minderungspotenzialen durch Zwischenfruchtanbau und Düngungsoptimierung statt. Dabei erwiesen sich beide Maßnahmen als wirkungsvoll zur Reduzierung der Nitratkonzentration.

Als ein Mittel zur Verminderung diffuser Stoffeinträge ins Grundwasser während der Wintermonate wird in Sachsen der Zwischenfruchtanbau gefördert. Daher wurde in die bestehenden Anbaustrukturen der Betriebe zu allen Sommerfrüchten im Herbst eine Begrünung integriert. Dies entsprach einem Anteil von 10 bis 20 % des Ackerlandes. Die Auswahl geeigneter Fruchtarten sollte entsprechend der Fruchtfolge und Ökonomie betriebsindividuell erfolgen.

Der Zwischenfruchtanbau schützt vor allem in den Wintermonaten den Stickstoffpool im Boden vor Verlusten. Durch die Festlegung des freien Stickstoffs im Humuspool konnte die Nitratkonzentration im Sickerwasser im Durchschnitt um 6 % vermindert

werden. Weitere Wirkung erzielt der Zwischenfruchtanbau mit Berücksichtigung der Gründüngung bei der nachfolgenden Hauptfrucht. Dadurch lässt sich der N-Input reduzieren. Dieser Zusammenhang kann im Modell REPRO allerdings nicht abgebildet werden. In der Realität ist somit von einer noch weitaus positiveren Wirkung des Zwischenfruchtanbaus auf die Verminderung von Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auszugehen.

Anhand überbetrieblicher Vergleiche lassen sich aus den Einzeldaten standort- und fruchtartenspezifische N-Einsatzmengen ableiten. In den Szenarien ergaben sich daraus Einsparpotenziale bei der mineralischen Düngung. Im Ergebnis konnten die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser aber nur auf das Niveau der Vergleichsbetriebe reduziert werden. Damit war zwar eine Verbesserung der Gesamtsituation zu verzeichnen, aber immer noch lagen die Konzentrationen im Sickerwasser über dem angestrebten Grenzwert von 50 mg NO₃/l.

Probleme bereitet hauptsächlich der Einsatz größerer Mengen an Gülle. Die Ausbringung zu bedarfsarmer Zeit führt zu hohen N-Verlusten. Eine höhere Mineraldüngung ist die Folge. Im Herbst sollte kein Einsatz zu Getreide erfolgen, da zu dieser Zeit die N-Aufnahme sehr gering ist. Raps ist dagegen eine Fruchtart, die den Güllestickstoff im Herbst noch gut verwerten kann. Auch Zwischenfrüchte nehmen vor dem Winter große Mengen Stickstoff auf. Dadurch entsteht ein weiterer Vorteil für den Zwischenfruchtanbau, da für die im Herbst aufgrund begrenzter Lagerkapazität auszubringende Gülle die Rapsbestände oftmals nicht ausreichen.

Allgemeine Maßnahmen zur Optimierung des N-Managements

- realistische Einschätzung des Ertragspotenzials des Einzelschlages in Abhängigkeit von spezifischen Boden- und Standortbedingungen
- Anpassung der Ertragserwartung an Bewirtschaftungsfaktoren (z. B. Saattermin, Vorfrucht) im aktuellen Anbaujahr
- schlagbezogene N-Düngebedarfsermittlung auf Grundlage der N_{min}-Gehalte des Bodens im Frühjahr sowie der N-Nachlieferung während der Vegetationszeit
- Optimierung der N-Bedarfsermittlung durch Nutzung von Pflanzenanalysen, Sensortechnik und Verfahren, wie der masseabhängigen N-Düngung zu Winterraps
- bedarfsgerechte P-, K-, Mg- und Kalkdüngung sowie Optimierung aller anderen acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen: Die Beseitigung von Ertragsbegrenzungen wie Mangel an anderen Nährstoffen, Krankheiten, Schädlingen, Bodenverdichtung und Trockenstress erhöht die N-Aufnahme durch die Pflanzen.
- teilflächenspezifische Düngung in Abhängigkeit vom Ertragspotenzial des Standortes (besonders auf großen Schlägen mit hoher Heterogenität der Böden)
- Berücksichtigung des düngewirksamen Stickstoffs aus der organischen Düngung (Mineraldüngeräquivalent) bei der Bemessung des mineralischen N-Bedarfs
- regelmäßige Ermittlung und Berücksichtigung des N-Gehaltes von flüssigen organischen Düngern
- Zwischenfruchtanbau: sorgt für eine gute Verwertung des Reststickstoffs und der herbstlichen N-Freisetzung, Stickstoffverluste und damit verbundene Grundwasserbelastungen werden vermindert. Die Stickstoffbindungsleistung der in Sachsen häufig angebauten Zwischenfrüchte Gelbsenf, Ölrettich und Phacelia liegt zwischen 50 und 200 kg N/ha (SCHLIEPHAKE et al., 2003). Die Verwendung von Zwischenfruchtgemischen verbessert die Anpassung an spezifische Jahresbedingungen.
- Berücksichtigung der N-Bindungsleistung bei der Düngebedarfsermittlung der nachfolgenden Hauptfrucht: Bei optimierter Stickstoffversorgung und guten Stickstoffumsetzungsbedingungen finden sich bis zu 50 % der durch Zwischenfrüchte gebundenen N-Menge im Ertrag der nachfolgenden Kultur wieder.
- Verteilung der Wirtschaftsdünger unter Beachtung von mehrjährigen, schlagspezifischen Humusbilanzen
- keine Wirtschaftsdüngerausbringung nach Ernte: dient der Vermeidung hoher Herbst-N_{min}-Werte, da die meisten Fruchtarten den zugeführten N nur noch unzureichend verwerten können (Ausnahmen gelten bei Ausbringung zu Zwischenfrüchten, Grünland und Raps)
- Einschränkung der N-Düngung zur Strohrotte im Herbst

- Anwendung von stabilisiertem N-Dünger/Depotdüngung (ENTEC, CULTAN) insbesondere unter bestimmten Bedingungen wie flachgründige Böden und bei Früchten mit spätem Vegetationsbeginn und längerer Kulturdauer: Verminderung der Gefahr von Nitratverlusten
- Anwendung von Nitrifikationshemmern in Gülle zu Früchten mit spätem Vegetationsbeginn und ohne Möglichkeit der Gülleausbringung in wachsenden Beständen (z. B. Mais, Kartoffel, Rüben)
- Erhöhung der Lagerkapazitäten für Wirtschaftsdünger: ermöglicht pflanzenbaulich sinnvollen und damit umwelt- und gewässerschonenden Einsatz der Wirtschaftsdünger (zu Zeiten des höchsten Nährstoffsbedarfs der Kulturen und günstigen Witterungsbedingungen)
- Anwendung bodenschonender und emissionsarmer Ausbringungstechnik (Schlepp-, Schlitz- und Injektionstechnik) mit guter Verteilgenauigkeit für Wirtschaftsdünger
- konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat oder Direktsaatverfahren: Je intensiver der Boden bearbeitet wird, desto höher ist die N-Mineralisierung und demzufolge die Auswaschungsgefährdung. Der Verzicht bzw. die Beschränkung der Bearbeitungsintensität zwischen Ernte und dem Beginn des Winters ist eine wirksame Maßnahme zur Vermeidung von Nitrat- auswaschung (insbesondere nach Rapsanbau).
- Auch auf Grünlandflächen ist auf eine den Erträgen und Nutzungen angepasste Düngung zu achten: Intensive Weidenutzung erfordert gegenüber der Schnittnutzung eine deutlich geringere N-Düngung. Im Herbst beweidete Flächen sollten keine Herbstgaben mit Wirtschaftsdünger mehr erhalten.

Fazit

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die N-Bilanzierung ein geeignetes Instrument zur Erfolgskontrolle des Düngemiteleinsatzes darstellt. Der N-Saldo gibt dabei die Summe der potenziell umweltgefährdenden N-Verbindungen wieder und dient der Beurteilung der Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit eines Betriebes.

Die Standorte der untersuchten Betriebe weisen insgesamt auf Grund der Standortbedingungen eine hohe Auswaschungsgefahr für N-Überschüsse auf. Gerade in Gebieten mit geringem Sickerwasseranfall ist der nach DüV geltende Grenzwert für den N-Saldo in Höhe von 60 kg/ha kein Garant für niedrige Nitratkonzentrationen im Sickerwasser.

In den Szenariorechnungen mit REPRO zeigte sich, dass durch den Anbau von Zwischenfrüchten und dem reduzierten N-Einsatz die N-Salden und die potenzielle Nitrat- auswaschung deutlich reduziert werden können. Auch wenn der angestrebte Grenzwert durch die ausgewählten Maßnahmen nicht erreicht wurde, besteht insgesamt ein erhebliches Potenzial zur Belastungsminderung.

Hohe Anpassungspotenziale werden insbesondere in der Effizienzsteigerung des N-Einsatzes gesehen. Dazu gehört die bessere Anpassung der N-Düngung an jahresspezifische Bedingungen. Ein Problemschwerpunkt stellt die Anwendung der Wirtschaftsdünger dar. Hier sind vor allem durch die korrekte Anrechnung des düngewirksamen Stickstoffs bei der Bemessung der mineralischen Düngung sowie der Wirtschaftsdüngerverteilung auf den Betriebsflächen noch Verbesserungen zu erzielen. Auf Grundlage schlagspezifischer Humusbilanzierung sollten alle Ackerflächen mit der Zielstellung eines ausgeglichenen Saldos bewirtschaftet werden. Das sichert nicht nur die Ertragsfähigkeit, die Nährstoffbindung und das Wasserhaltevermögen des Bodens, sondern reduziert auch die Gefahr der Nitratverluste.

Der in Sachsen geförderte Zwischenfruchtanbau ist ein geeignetes Mittel, Nitratverluste über den Winter zu minimieren. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass der in der Zwischenfrucht gebundene Stickstoff auf den Flächen verbleibt und nach und nach mineralisiert wird. Dies ist bei der Düngplanung zu beachten.

6 Literaturverzeichnis

- DÜV (2007): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV). In der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S.221).
- FGG ELBE (2009): Hintergrundpapier zur Ableitung der überregionalen Bewirtschaftungsziele für die Oberflächengewässer im deutschen Teil der Flussgebietseinheit Elbe für den Belastungsschwerpunkt Nährstoffe. Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe).
- FREDE H.-G. UND S. DABBERT (1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Berichte aus der Agrarwissenschaft, Shaker Verlag, Aachen.
- INL (2010): Analyse und Optimierung des N-Managements in Praxisbetrieben unter Verwendung des Betriebs- und Umweltmanagementsystems „REPRO“. Unveröffentlichter Abschlussbericht, Auftraggeber: LfULG, Halle.
- ISERMANN, K. UND R. ISERMANN (1997): Globale, territoriale, regionale und betriebliche Nährstoffbilanzierung als Grundlage ursachenorientierter und hinreichender Lösungsansätze zur Umsetzung einer nachhaltigen Landnutzung. In: Stoffbilanzierung in der Landwirtschaft. Ein Instrument für den Umweltschutz?. Hrsg.: Umweltbundesamt, Tagungsberichte 20, Umweltbundesamt, Wien, S. 241-313.
- LEITHOLD, G.; K.-J. HÜLSBERGEN; D. MICHEL UND H. SCHÖNMEIER (1997): Humusbilanzierung – Methoden und Anwendung als Agrar-Indikator. In: Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen, Hrsg.: DBU, Zeller Verlag Osnabrück, S. 43-55.
- LFL (2007): Umsetzung der Düngeverordnung: Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, September 2007.
- LFULG (2009 a): Neue Impulse für Sachsen – Bericht über die sächsischen Beiträge zu den Bewirtschaftungsplänen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder. Hintergrunddokument, Textteil, Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Dezember 2009.
- LFULG (2009 b): Neue Impulse für Sachsen – Bericht über die sächsischen Beiträge zu den Bewirtschaftungsplänen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder. Hintergrunddokument, Anlage II Thematische Karten, Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Dezember 2009.
- LFULG (2009 c): Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer. Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Dezember 2009.
- RENGER, M. UND O. STREBEL (1980): Jährliche Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von Bodennutzung und Bodeneigenschaften. Boden und Wasser 32, S. 362-366.
- RENGER, M.; F. WESSOLEK; F. KÖNIG; S. SWARTJES; B. FAHRENHORST UND B. KASCHANIAN (1990): Modelle zur Ermittlung und Bewertung von Wasserhaushalt, Stoffdynamik und Schadstoffbelastbarkeit in Abhängigkeit von Klima, Bodeneigenschaften und Nutzung. Endbericht zum BMBF-Projekt 03 74 34 3, Bonn.
- SCHLIEPHAKE, W. UND E. ALBERT (2003): Vermeidung von Stickstoffverlusten. Bericht zum Projekt „Verminderung von Nährstoffverlusten durch effiziente Nährstoffverwertung bei differenzierter Bewirtschaftung“. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 9, 8. Jahrgang, Dresden.
- VDLUF (2004): Standpunkt „Humusbilanzierung – Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland“. Hrsg.: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, www.vdlufa.de, August 2010.
- VDLUF (2006): Standpunkt „Nährstoffbilanzierung im Landwirtschaftsbetrieb“. Hrsg.: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, www.vdlufa.de, August 2010.
- WENDLING, U. (1993): Zur Vereinfachten Berechnung der schwer messbaren, agrarmeteorologischen Größen Strahlungsbilanz, Verdunstung und Bodenfeuchteänderung. Vortrag auf der 2. Fachtagung BIOMET vom 20.-22.10.1993 in Weihenstephan.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Franziska Heinitz, Dr. habil. Erhard Albert
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Pflanzliche Erzeugung
Referat Pflanzenbau, Nachwachsende Rohstoffe
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Telefon: + 49 341 9174-182
Telefax: + 49 341 9174-111
E-Mail: erhard.albert@smul.sachsen.de

Frank Reinicke, Bernhard Wagner
Privates Institut für nachhaltige Landbewirtschaftung e.V.
Reilstr. 128, 06114 Halle/Saale
Telefon: + 49 345 2799130
Telefax: + 49 345 2799132
E-Mail: info@nachhaltige-landbewirtschaftung.de

Redaktionsschluss:

05.11.2010

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.