



Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden

Empfehlungen zur Nutzung der
Herbst-Nmin-Methode für die
Erfolgskontrolle und zur
Prognose der Sickerwassergüte



Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden

Empfehlungen zur Nutzung der
Herbst-Nmin-Methode für die
Erfolgskontrolle und zur
Prognose der Sickerwassergüte



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

Projektkoordination und Redaktionsleitung:
NLWKN Betriebsstelle Hannover-Hildesheim
Raimund Esch
Petra Hannig
Hans-Christian von Korn
Hubertus Schültken

Projektbearbeitung und Redaktion:
Dr. Franz Antony, Ingenieurdienst Umweltsteuerung
(INGUS), Hannover
Burkhard Gödecke, Ingenieurdienst Umweltsteuerung
(INGUS), Hannover
Katrin Hagemann, Landesamt für Bergbau, Energie und
Geologie (LBEG)

Bearbeitung Titelseite:
Peter Schader, NLWKN Naturschutz
Titelphotos: Ingenieurdienst Umweltsteuerung (INGUS),
Hannover

Stand 2010
1. Auflage: 2012, 350 Ex.

Schutzgebühr: 5 € zzgl. Versandkostenpauschale

Bezug: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,
Küsten- und Naturschutz (NLWKN) – Naturschutz-
information –
Postfach 91 07 13, 30427 Hannover
E-Mail: naturschutzinformation@nlwkn-h.niedersachsen.de
fon: 0511/3034-3305
fax: 0511/3034-3501
www.nlwkn.de > Service > Veröffentlichungen/Webshop

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Formelverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
Vorwort	9
Einleitung	10
Das Wichtigste in Kürze: Kapitelübersicht	11
Teil A Die Grundlagen müssen stimmen - Herbst-Nmin-Wert, Wasserhaushalt und Nitrat-Konzentration	14
A 1 Anforderungen an den Einsatz der Nmin-Methode	14
1.1 Standörtliche Voraussetzungen für die Nmin-Beprobung	14
1.1.1 N-Gleichgewichts-Standorte mit Eignung zur Maßnahmen-Bewertung	14
1.1.2 Standorte mit ausgeprägter bodenbürtiger N-Dynamik.....	15
1.2 Festlegung des optimalen Probenahmezeitraumes	16
1.3 Probenahme	17
1.4 Laboranalyse und Einfluss der Trockendichte.....	19
1.4.1 Trockendichte von Mineralböden	19
1.4.2 Trockendichte von organischen Böden	20
1.5 Einschränkende Randbedingungen für die Herbst-Nmin-Methode.....	21
1.5.1 Schlagbezogene Faktoren	22
1.5.2 Jahresbezogene (Witterungs-)Faktoren.....	23
A 2 Auf den Faktor kommt es an – Umrechnung von Herbst-Nmin-Werten	26
2.1 Umrechnung von Nitrat- und Ammonium-Konzentrationen zu Nmin-Werten und umgekehrt.....	26
2.1.1 Eingangsgrößen und Umrechnungsfaktoren.....	26
2.1.2 Berechnung des Nmin-Wertes aus Nitrat- und Ammonium-Konzentrationen	27
2.1.3 Berechnung der Konzentrationen aus Nitrat-N- bzw. Ammonium-N-Wert	27
2.2 Umrechnung von Wassergehalts-Angaben.....	28
2.2.1 Umrechnung vom Trockenmasse-Anteil zum Wassergehalt.....	28
2.2.2 Umrechnung vom Wassergehalt zum Trockenmasse-Anteil.....	28
A 3 Wasser und Boden im Internet - Der Infodienst Grundwasserschutz	29
3.1 Der Infodienst als Werkzeug für den Grundwasserschutz	29
3.2 Die ersten Schritte im Infodienst	29
3.3 Festlegung des Nmin-Probenahme-Zeitraumes im Infodienst	31
3.3.1 Eingabe der Referenzflächendaten.....	31
3.3.2 Eingabe der Wetterdaten	33
3.3.3 Abruf der Berechnungsergebnisse für das aktuelle Datum	33
3.4 Weitere Themen im Infodienst.....	35
3.5 Referenzflächen- und Wetterstations-Messnetz	37
3.6 Ausblick.....	37

Inhaltsverzeichnis

Teil B Herbst-Nmin als Monitoring- und Prognoseinstrument	38
B 1 Anwendung der Herbst-Nmin-Methode beim Maßnahmen-Monitoring	38
1.1 Eignung der Methode zum Maßnahmen-Monitoring	38
1.2 Auswertung der Ergebnisse	40
B 2 Anwendung beim Gebiets-Monitoring	41
2.1 Kriterien bei der Planung von Herbst-Nmin-Programmen zum Gebiets-Monitoring.....	41
2.1.1 Flächenanteile der wichtigsten Einflussfaktor-Kombinationen als Grundlage.....	41
2.1.2 Fallbeispiel (nach realen Daten des WSG Liebenau)	42
2.1.3 Planungsergebnis zur Monitoring-geeigneten Herbst-Nmin-Beprobung für das Fallbeispiel.....	43
2.2 Flächengewichtete Mittelung von Nmin-Werten.....	44
2.2.1 Erster Schritt: Arithmetische Mittelung nach Einflussfaktoren (Berechnung von Gruppen-Mittelwerten).....	44
2.2.2 Zweiter Schritt: Flächengewichtete Zusammenfassung der Gruppen-Mittelwerte	45
2.3 Nmin-Datenerfassung im DIWA-Shuttle	46
2.4 Flächengewichtete Mittelung von Nitrat-Frachten und Sickerwassergüte-Daten.....	47
B 3 Möglichkeiten und Grenzen – Prognose der Sickerwasser-Güte nach der Herbst-Nmin-Methode	48
3.1 Berechnungsverfahren für Sickerwasser-Güte und Nitrat-Frachten	48
3.1.1 Berechnung zur Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser	48
3.1.2 Berechnung von Nitrat-Frachten	50
3.2 Validierung der Nmin-Methode durch Nitrat-Tiefbohrungen in vier Modellgebieten in Niedersachsen.....	50
3.2.1 Untersuchungs- und Berechnungsschritte	51
3.2.2 Vergleich prognostizierter und gemessener Nitrat-Konzentrationen	51
3.2.3 Fazit zur Herbst-Nmin-gestützten Sickerwassergüte-Prognose.....	54
3.3 Sickerwasser-Güte-Prognose im DIWA-Shuttle	57
B 4 Verfahren des Sickerwassergüte-Monitorings - Vergleich mit der Herbst-Nmin-Methode	58
4.1 Übersicht der Untersuchungsmethoden für Einzelflächen	58
4.2 Klassifizierung Einzelschlag-bezogener Untersuchungsmethoden für das Sickerwassergüte-Monitoring und die Ermittlung von N-Austragsfrachten	59
4.3 Kurzcharakteristik der Untersuchungsmethoden	60
4.3.1 Nährstoff-Schlagbilanz	60
4.3.2 Herbst-Nmin	61
4.3.3 Monitoring-Box-Verfahren	62
4.3.4 Saugkerzen und Unterflur-Lysimeter.....	62
4.3.5 Tiefenprofile.....	63
4.3.6 Einbeziehung von GW-Untersuchungen und Fazit	63
B 5 Monitoring und Maßnahmenbewertung in der Zielkulisse der EG-WRRL - Einsatz der Herbst-Nmin-Methode	63
5.1 Emissions-Monitoring für die EG-WRRL	63
5.2 Anforderungen an eine überregionale Herbst-Nmin-Einzeldatenerfassung.....	64
Literatur	66
Anhang	68

Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Standort-Kriterien für die Anwendbarkeit der Herbst-Nmin-Methode.....	15
Abb. 2:	Bestimmung des optimalen Probenahme-Zeitraumes für die Herbst-Nmin-Beprobung [13].....	17
Abb. 3:	Festlegung und Beprobungsmuster von Repräsentativ-Parzellen für die Nmin-Beprobung auf Einzelschlägen.....	17
Abb. 4:	Die gebräuchlichsten Nmin-Probenahmegeräte: Göttinger Bohrstock, Pürckhauer und Nitrat-Runner	18
Abb. 5:	Entleeren des Göttinger Bohrstockes (Tiefe 30-60 cm).....	19
Abb. 6:	Gegenüberstellung von Herbst-Nmin-Prognosewerten (nach Regressionsansatz [30]) und gemessenen Herbst-Nmin-Werten der 30 Projektflächen im Pilotgebiet Liebenau	23
Abb. 7:	Mittlere Herbst-Nmin-Werte von jeweils 30 Schlägen in den vier Pilotgebieten mit Sommertrockenheits-Effekt 2003.....	24
Abb. 8:	Schätzverfahren zur Berücksichtigung vorzeitiger N-Austräge anhand des Ernte-Nmin-Wertes (bei 50 cm Verlagerungsstrecke anhand des Beispiels).....	25
Abb. 9:	Schätzverfahren zur Berücksichtigung vorzeitiger N-Austräge ohne Ernte-Nmin-Wert (bezogen auf das Beispiel der Formel 7 für 50 cm Verlagerung).....	25
Abb. 10:	Auszüge aus einem Berechnungsergebnis für die Referenzfläche „344“ im WSG Liebenau.....	34
Abb. 11:	Gesamt-N-Gehalt der Krume und mittlerer Herbst-Nmin-Wert 2003 bis 2005 von 30 Flächen in vier niedersächsischen Wasserschutzgebieten	39
Abb. 12:	Rechenschema zur Berechnung flächengewichteter mittlerer Herbst-Nmin-Werte der LF	46
Abb. 13:	Die Lage der Pilotgebiete.....	50
Abb. 14:	Tiefenverlauf der Nitrat-Konzentration [mg/l] unter 9 Flächen im Pilotgebiet Poppenburg	55
Abb. 15:	N-Schlagbilanz-Salden und Herbst-Nmin-Werten für die Pilotgebiete Thülsfelde und Lüneburg	60
Abb. 16:	N-Schlagbilanz-Salden und Herbst-Nmin-Werten für das Pilotgebiet Poppenburg	61
Abb. 17:	Gegenüberstellung von N-Schlagbilanz-Salden (Mittelwerte ab 2001 bzw. 2003 bis 2005) und gemessenen Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser (Tiefenprofil-Ergebnisse 2005/06 alle Gebiete)...	61

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Typische potenzielle N-Quellen- und N-Senkenstandorte (nach modifizierter Tabelle von GÄTH et al. 1997 [11])	16
Tab. 2:	Eignung der Herbst-Nmin-Methode zur Bewertung einzelner, schlagbezogener Grundwasserschutz-Maßnahmen (EU-notifizierter Katalog Niedersachsen)	40
Tab. 3:	Flächenanteile der Haupt-Standorttypen	42
Tab. 4:	Flächenanteile der Anbaufrucht-Kategorien 2005.....	43
Tab. 5:	Anzahl Herbst-Nmin-Proben nach Anbaufrüchten, Standort-Kategorien und Nmin-reduzierenden Freiwilligen Vereinbarungen als Planungsergebnis (WSG Liebenau, 2005).....	43
Tab. 6:	Nmin-Mittelwerte nach Anbaufrüchten, Standort-Kategorien und Nmin-reduzierenden Freiwilligen Vereinbarungen (WSG Liebenau, 2005)	45
Tab. 7:	Grundlagendaten der Pilotgebiete	50
Tab. 8:	Mittelwerte der Wasserhaushaltsdaten der Referenzflächen.....	51
Tab. 9:	Herbst-Nmin-Werte, Nitrat-Konzentrations-Prognosen und Messwerte für die einzelnen Sickerwasser-Jahrgänge	52
Tab. 10:	Mittlere Stoffkonzentrationen in der Sickerwasser-Dränzone	53
Tab. 11:	Übersicht der Verfahren zur Ermittlung der Sickerwassergüte [24]	58
Tab. 12:	Bewertung der direkten und indirekten Verfahren zur Sickerwassergüte- und N-Frachten-Ermittlung.....	59
Tab. 13:	Anforderungen an Dateninhalte einer landesweiten Herbst-Nmin-Datenzusammenführung	65

Formelverzeichnis

Formel 1: Umrechnung von N_{min} -Werten (N_{minalt}), die mit abweichenden Trockendichte-Annahmen (TD_{alt}) berechnet wurden.	20
Formel 2: Ableitung der Trockendichte für Moorböden aus der Trockenmasse (nach SCHEFFER & BLANKENBURG (1993) [28]).....	20
Formel 3: Ableitung der Trockendichte für Moorböden aus dem Wassergehalt (nach SCHEFFER & BLANKENBURG (1993) [28]).....	20
Formel 4: Ableitung der Trockendichte für Moorböden aus der Trockenmasse (empirisches Verfahren Labor Dr. Janssen, Gillersheim, für Proben mit $TM < 67\%$).....	20
Formel 5: Ableitung der Trockendichte für Moorböden aus dem Wassergehalt (empirisches Verfahren Labor Dr. Janssen, Gillersheim, für Proben mit $WG \geq 50\%$).....	21
Formel 6: „Hochrechnung“ von N_{min} -Werten bei abweichender Beprobungstiefe	22
Formel 7: Rechnerische Korrektur des Herbst- N_{min} -Wertes bei frühzeitiger Sickerwasserbildung anhand der Sickerwasser-Verlagerungstiefe (ohne Ernte- N_{min} -Wert)	25
Formel 8: Berechnung der Verlagerungstiefe	26
Formel 9: Berechnung des Nitrat-N-Gehaltes [$kg\ NO_3-N / ha$] aus der NO_3 -Konzentration im Bodenwasser, dem Wassergehalt und der Trockendichte des Bodens	27
Formel 10: Vereinfachte Schreibweise der Formel 9	27
Formel 11: Berechnung des Ammonium-N-Gehaltes (vereinfachte Schreibweise)	27
Formel 12: Berechnung des N_{min} -Wertes	27
Formel 13: Berechnung der Nitratkonzentration aus dem Nitrat-N-Gehalt [$kg\ NO_3-N / ha$]	28
Formel 14: Berechnung der Ammonium-N-Konzentration aus dem Ammonium-N-Gehalt [$kg\ NH_4-N / ha$].....	28
Formel 15: Bestimmung des gravimetrischen Wassergehaltes aus dem Probengewicht vor und nach Trocknung.....	28
Formel 16: Berechnung des gravimetrischen Wassergehaltes aus dem Trockenmasse-Anteil	28
Formel 17: Berechnung des Trockenmasse-Wertes aus dem gravimetrischen Wassergehalt.....	28
Formel 18: Berechnung flächengewichteter Gesamt-Mittelwerte aus Mittelwerten von Frucht-Maßnahme-Standort-Kombinationen	45
Formel 19: Bisheriges Verfahren zur Prognose der Nitratkonzentration im Sickerwasser (mit Fallunterscheidung nach Austauschhäufigkeit AH).....	48
Formel 20: Korrigiertes und vereinfachtes Verfahren zur Prognose der Nitratkonzentration im Sickerwasser (ohne Berechnung der Austauschhäufigkeit AH).....	49
Formel 21: Berechnung der potenziellen Nitratkonzentration aus dem N-BilanzSaldo.....	61

Abkürzungsverzeichnis

Allgemeine Abkürzungen

ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BÜK 50	Bodenübersichtskarte 1: 50.000
DIWA	Digitales Informationssystem Wasserschutz
DWD	Deutscher Wetterdienst
EG-WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
FV	Freiwillige Vereinbarungen
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
NLÖ	Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
POLARIS	Produktionsorientiertes Landwirtschaftliches Rauminformationssystem
TGG	Trinkwassergewinnungsgebiet
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
WAgriCo	EU-Life Projekt Nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen in Kooperation mit der Landwirtschaft
WSG	Wasserschutzgebiet

Fachspezifische Abkürzungen

AH	Austauschhäufigkeit
BDF	Boden-Dauerbeobachtungsfläche
FK	Feldkapazität [mm]
FK90	bis 90 cm Tiefe aufsummierte Feldkapazität [mm]
FKWe	bis zur effektiven Durchwurzelungstiefe aufsummierte Feldkapazität [mm]
GOF	Geländeoberfläche
MGW	Mittlerer Grundwasserstand
NAG	Nitrataustragsgefährdung
nFK	nutzbare Feldkapazität [mm]
Nmin	mineralischer Stickstoff im Boden
PWP	Permanenter Welkepunkt
SW	Sickerwasser
SWR	Sickerwasserrate
TD	Trockendichte
TM	gravimetrischer Trockenmassegehalt [g Boden trocken / 100 g Boden feld-feucht]
WG	gravimetrischer Wassergehalt [g Wasser / 100 g Boden]

Vorwort

Im Rahmen des Niedersächsischen Kooperationsmodells zum Trinkwasserschutz werden in den niedersächsischen Trinkwassergewinnungsgebieten seit vielen Jahren Grundwasserschutz-Maßnahmen gemeinsam mit der Landwirtschaft durchgeführt. Hauptziel dieser vom Land Niedersachsen aus Mitteln der Wasserentnahmegebühr und der EU geförderten Projekte ist die Verringerung der winterlichen Nitratauswaschung in das Grundwasser. Ein Indikator für die grundwasserverträgliche Flächenbewirtschaftung ist der möglichst niedrige Stickstoffgehalt im Boden kurz vor Beginn der winterlichen Sickerwasserperiode.

In den meisten Trinkwassergewinnungsgebieten Niedersachsens ist die von Fachleuten und Praktikern so genannte „Herbst-Nmin-Methode“ das am häufigsten angewandte Verfahren zum Monitoring der Nährstoffeinträge und zur zeitnahen Erfolgskontrolle flächenbezogener vertraglich vereinbarter freiwilliger Maßnahmen (so genannter Vertragsgrundwasserschutz) sowie der begleitenden Beratung landwirtschaftlicher Betriebe (so genannte Wasserschutzzusatzberatung).

Ab 2010 sind im Rahmen der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie ergänzende Maßnahmen zur Nitratreduktion in den belasteten Landesteilen (so genannte Zielkulisse „Nitratreduktion“) vorgesehen. Auch hier wird die Herbst-Nmin-Methode das Grundwassergüte-Monitoring unterstützen.

Die vorliegende Broschüre fasst die Ergebnisse des niedersächsischen Pilotvorhabens „Landesweiter Informationsdienst zur Sickerwassergüte“ (2002 bis 2006) zusammen. Die Inhalte der zu Projektbeginn publizierten „Vorläufigen Empfehlungen zur Durchführung von Herbst-Nmin-Programmen“ (NLÖ 2003) wurden im Laufe des Projektes anhand des gewonnenen Erkenntniszuwachses überarbeitet und an die fachlichen Erkenntnisse angepasst. Außerdem wurden die aktuellen Erfahrungen aus der Beratungspraxis in die Broschüre eingebracht.

Ziel des Pilotvorhabens war es, die Aussagekraft der Herbst-Nmin-Methode zur Erfolgskontrolle von Maßnahmen und für weitere Zwecke des Nährstoffmonitorings zu verbessern. Der NLWKN möchte mit der vorliegenden Publikation die neuen Erkenntnisse allen Akteuren des Niedersächsischen Kooperationsmodells zugänglich machen. Die Broschüre wendet sich insbesondere an landwirtschaftliche Berater, Wasserversorgungsunternehmen, Landwirte und Vertreter der Wasserwirtschaftsverwaltung.

Die Finanzierung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln der Wasserentnahmegebühr des Landes Niedersachsen.

Siegfried Popp

Direktor des Niedersächsischen Landesbetriebes
für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Einleitung

Herbst-Nmin-Programme werden zur Bewertung der landwirtschaftlichen Flächennutzung und von Grundwasserschutz-Maßnahmen im Hinblick auf mögliche Nitrateinträge in das Grundwasser durchgeführt. Dabei wird der mineralische Stickstoff im Boden (in kg N/ha) vor Beginn der winterlichen Auswaschungsperiode ermittelt. Die Eignung der Herbst-Nmin-Untersuchung zur Abschätzung möglicher Stickstoff-Austräge basiert auf folgenden Zusammenhängen:

- Im Winter nimmt die Vegetation nur wenig Stickstoff auf, und die Mineralisierung von Ernterückständen ist gering (wenige Kilogramm pro Hektar).
- Mineralischer Stickstoff in Form von Nitrat wird praktisch nicht durch den Boden zurückgehalten, d. h. er wird vollständig mit dem Sickerwasser verlagert.
- Die Grundwasser-Neubildung erfolgt überwiegend im Winterhalbjahr.

Rahmenbedingungen für ein langfristiges Gebiets- und Maßnahmen-Monitoring auf der Grundlage von Herbst-Nmin-Werten sind:

- Die Eignungsprüfung der Herbst-Nmin-Methode für das jeweilige Untersuchungsgebiet.
- Eine systematische Auswahl der Beprobungsstandorte unter Berücksichtigung der Monitoring-Fragestellung.
- Die Festlegung des Probenahme-Zeitraumes anhand aktueller standort- und witterungsbezogener Wasserhaushalts-Berechnungen einschließlich der Berücksichtigung des aktuellen Witterungsverlaufes im Herbst sowie ggf. die Berücksichtigung von Feldeberegnung.
- Eine korrekte Durchführung von Probenahme und Analyse sowie eine ausreichende Stichprobengröße.
- Eine standardisierte EDV-technische Archivierung der Einzelwerte mit eindeutiger Zuordnung zu Schlag- und Bewirtschaftungsdaten (möglichst mit GIS-Anbindung).
- Unterschiedliche Mittelwert-Berechnungen je nach Fragestellung und unter Berücksichtigung der Anbau- und Standortverhältnisse.

Unter Hinzuziehung standortbezogener Daten zum Bodenwasserhaushalt lässt sich aus dem Herbst-Nmin-Wert die Nitrat-Konzentration im Sickerwasser prognostizieren. Das Verfahren wurde im Rahmen des Projektes in vier Pilotgebieten in Niedersachsen validiert.

Auch für die Zielgebiete der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) kann die Herbst-Nmin-Methode aufbauend auf den Erfahrungen in den Trinkwassergewinnungsgebieten zukünftig ein effizientes Monitoring im Hinblick auf die Sickerwasser- und Grundwassergüte unterstützen.

Das Wichtigste in Kürze: Kapitelübersicht

A 1 Anforderungen an den Einsatz der Herbst-Nmin-Methode

Standorteignung

- Zur Bewertung der Effekte von Anbaumaßnahmen Beschränkung auf N-Gleichgewichtsstandorte.
- Standardmäßig ist eine technische Beprobbarkeit bis 90 cm Tiefe sicherzustellen (flachgründige Standorte in Abhängigkeit vom Wasserhaushalt auf Eignung prüfen).
- Eine bodenkundliche Kartengrundlage ist erforderlich.
- Die Ausweisung von Repräsentativ-Beprobungsparzellen (sog. Nmin-Parzellen) zur Verminderung des Einflusses heterogener Standortverhältnisse wird empfohlen.

Probenahme-Termin

- Beprobung vor Einsetzen der herbstlichen Sickerwasserbildung, aber nach Abschluss der Haupt-Mineralisationsphase – standardmäßig nicht vor Mitte Oktober.
- Bei früher einsetzender Sickerwasserbildung ist ggf. eine tieferweiterte Beprobung oder ein „Hochrechnen“ der Analysewerte möglich.
- Eine fortlaufend aktualisierte Wasserhaushaltsberechnung im Herbst und eine damit verbundene Flexibilität bei der Terminfestlegung sind erforderlich.

Probenahme und Analyse

- 16 Einstiche je Fläche, verschleppungsfreie Beprobung der Tiefenschichten 0-30/30-60/60-90 cm durch geeignete Bohrtechnik und geschultes Personal.
- Probenahmeprotokoll mit Schlagkennung, Datum und Anbaufrucht; Abgleich mit den Planungsdaten.
- Ununterbrochene Kühlkette bis zur Analyse.
- Separate Ausweisung von Nitrat und Ammonium und Angabe des Wassergehaltes; Angaben in kg N/ha; Berechnung anhand vorgegebener Trockendichte (TD) bzw. bei organischen Böden Ausweisung der angenommenen TD.

A 2 Umrechnung von Herbst-Nmin-Werten

Das Kapitel erläutert die Formeln zur Umrechnung von Konzentrations-Angaben in die Mengenangabe Kilogramm N je Hektar und umgekehrt, sowie zur Umrechnung von Trockenmasse-Angaben in Wassergehalte und umgekehrt.

Hinweis: Die Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser und der Austragsfrachten nach Herbst-Nmin wird in Kap. B 3 beschrieben!

A 3 Der Infodienst Grundwasserschutz

Der internetgestützte niedersächsische Infodienst Grundwasserschutz als interaktive Fachanwendung steht vor allem zu den Themen Klima, Boden und Wasser für die landwirtschaftliche Beratung in Trinkwassergewinnungsgebieten (TGG) zur Verfügung. Das Kapitel enthält eine detaillierte Anleitung zur Nutzung des Infodienstes Grundwasserschutz für die Herbst-Nmin-Planung und -Auswertung.

Der Nutzer kann u.a. niedersachsenweite Wasserhaushaltsberechnungen abrufen und standortbezogene Berechnungen für die eigenen Boden-, Wetter- und Anbaudaten durchführen. Auf diese Weise ermöglicht der Infodienst Grundwasserschutz die präzise Festlegung des optimalen Probenahmetermines. Er liefert außerdem die aktuellen Sickerwasserraten, die für die jahresbezogene Sickerwassergüte-Prognose nach Herbst-Nmin benötigt werden.

B 1 Anwendung beim Maßnahmenmonitoring

Herbst-Nmin-Untersuchungen können prinzipiell für alle Maßnahmen, die auf eine Verminderung der winterlichen Nitratausträge ausgerichtet sind, genutzt werden. Inwieweit von den verschiedenen Maßnahmen des EU-notifizierten Maßnahmenkataloges für Niedersachsen bereits im Jahr der Durchführung ein messbarer Erfolg erwartet werden kann, wird in diesem Kapitel erläutert.

Zur Auswertung von Vergleichsuntersuchungen „mit“ und „ohne“ Grundwasserschutz-Maßnahmen wird der Medianvergleich empfohlen. Median-Werte dürfen jedoch nicht mit arithmetischen Mittelwerten (die in der Praxis häufiger berechnet werden und für das Gebietsmonitoring auch berechtigt sind) verglichen werden.

B 2 Anwendung beim Gebiets-Monitoring

Herbst-Nmin-Programme für das Gebiets-Monitoring (hier: Monitoring für die landwirtschaftlich genutzte Fläche) sollen die Standort- und Anbauverhältnisse sowie die Durchführung von Grundwasserschutz-Maßnahmen annähernd repräsentativ abbilden. Die entsprechenden Grundlagedaten müssen hierzu flächenhaft vorliegen.

Die Mittelung der Ergebnisse erfolgt flächengewichtet nach den Flächenanteilen der verschiedenen Anbaufrüchte und mit Differenzierung nach „mit“ und „ohne“ Maßnahmendurchführung. Im Unterschied zum Maßnahmen-Monitoring soll hierbei von arithmetischen Mittelwerten ausgegangen werden.

Die Empfehlungen für das Gebiets-Monitoring werden von der Planung bis zur Auswertung anhand eines Fallbeispiels veranschaulicht.

B 3 Prognose der Sickerwasser-Güte nach der Herbst-Nmin-Methode

Für die Sickerwassergüte-Prognose wird der Herbst-Nmin-Wert mit Daten zum Wasserhaushalt kombiniert, um einen fundierten Anhaltswert für die Nitrat-Konzentration im zukünftigen Grundwasser zu berechnen. Seinen besonderen Wert erhält das Berechnungsverfahren aus den geringeren Kosten und der höheren Repräsentativität im Vergleich zur direkten Sickerwassergüte-Analyse.

Das Berechnungsverfahren zur Prognose der Sickerwasser-Güte nach Herbst-Nmin wurde inhaltlich verbessert und gleichzeitig vereinfacht. Im Pilotprojekt ist eine umfassende Validierung der Sickerwassergüte-Prognose durch vergleichende Nitrat-Tiefenprofil-Untersuchungen in drei Pilotgebieten in der Niedersächsischen Geest und einem Pilotgebiet im Löss-Bergland durchgeführt worden. Dabei zeigte sich in den Geest-Gebieten im Mittel eine gute Übereinstimmung der prognostizierten mit den gemessenen Nitrat-Konzentrationen. Im Löss-

Gebiet ergaben sich hingegen größere Unterschiede zwischen Prognose- und Messwerten. Als Ursache hierfür kommen Schwächen der Tiefenprofil-Methode für die Sickerwasseruntersuchung auf den untersuchten Löss-Standorten in Frage, d.h. das Ergebnis spricht nicht zwangsläufig gegen die Sickerwassergüte-Prognose für Löss-Standorte.

Die im DIWA-Shuttle 2009 implementierte Sickerwassergüte-Prognose wird ergänzend kurz dargestellt.

B 4 Weitere Verfahren des Sickerwassergüte-Monitorings

Die in der Praxis angewandten Untersuchungsmethoden zur Prognose, Messung oder Ableitung der Sickerwassergüte werden verglichen und nach verschiedenen Kriterien klassifiziert und bewertet. Zusätzlich zum Sickerwassergüte-Monitoring wird die Eignung zur Abschätzung der N-Austrags-Frachten in die Bewertung einbezogen.

Dabei wird deutlich, dass die Herbst-Nmin-Methode als „Allround-Verfahren“ nicht zu ersetzen ist. Für manche Fragestellungen kann sie aber durch andere Methoden sinnvoll ergänzt werden. Zu nennen sind hierbei Tiefenprofile, auf flachgründigen Standorten ggf. auch Kleinlysimeter. Saugkerzen sind schwieriger in der Handhabung und Bewertung der Ergebnisse, und die Nitrat-Monitoring-Box hat keinen Eingang in die Praxis gefunden. Die Methode der N-Flächenbilanzierung wird als wichtiges Beratungsinstrument eingestuft, eine Beziehung zu Herbst-Nmin-Werten kann im Einzelfall aber nicht festgestellt werden und ihre Eignung für die Sickerwassergüte-Prognose wird kritisch gesehen.

B 5 Monitoring und Maßnahmenbewertung in der Zielkulisse der EG-WRRL - Einsatz der Herbst-Nmin-Methode

Das Emissionsmonitoring zur EG-WRRL basiert vorwiegend auf einem flächenübergreifenden Nährstoffbilanz-Ansatz. Eine flächenhafte Einbeziehung von Herbst-Nmin-Werten in das Emissionsmonitoring erscheint aus Kostengründen nicht praktikabel. Die Nutzung bereits vorhandener Herbst-Nmin-Daten aus Wasserschutz-Gebieten ist ebenfalls kaum möglich, da diese Werte bereits durch Beratung und Freiwillige Vereinbarungen beeinflusst sind.

Denkbar ist aber die Nutzung von Herbst-Nmin-Untersuchungen bei der Umsetzung der EG-WRRL vorwiegend zur gezielten Bewertung von Grundwasserschutz-Maßnahmen in der Zielkulisse der EG-WRRL, zur Validierung von Modellergebnissen und als didaktisches Instrument.

Für die gebiets- und institutionsübergreifende Zusammenführung von Herbst-Nmin-Einzeldaten zur statistischen Auswertung wird ein konkreter Tabellenentwurf vorgelegt, der die relevanten Einflussgrößen berücksichtigt (vgl. Tab. 13).

Teil A Die Grundlagen müssen stimmen - Herbst-Nmin-Wert, Wasserhaushalt und Nitrat- Konzentration

A 1 Anforderungen an den Einsatz der Nmin-Methode

1.1 Standörtliche Voraussetzungen für die Nmin-Beprobung

Die Auswahl geeigneter Standorte erfordert eine Bewertung der Böden hinsichtlich ihres Stickstoff-Haushaltes. Während bei der Untersuchung der einzelflächenbezogenen Anbaufrüchte vorrangig N-Gleichgewichts-Standorte („reguläre Standorte“, vgl. Abb. 1) ausgewählt werden, erfordert das Gebiets-Monitoring die flächenanteilige Berücksichtigung aller Standorttypen (d. h. auch N-Quellen- und N-Senken-Standorte; vgl. Kapitel B1 und B2).

1.1.1 N-Gleichgewichts-Standorte mit Eignung zur Maßnahmen-Bewertung

Bei N-Gleichgewichts-Standorten wird davon ausgegangen, dass in der Regel die bewirtschaftungsbedingten Auswirkungen auf die Höhe des Herbst-Nmin-Wertes überwiegen und somit die Wirksamkeit von Grundwasserschutz-Maßnahmen nicht durch eine bodenspezifische N-Dynamik überlagert wird. Grundsätzlich sollte auf Standorten zur Maßnahmen-Bewertung möglichst eine Beprobung bis in 90 cm Tiefe (Nmin-Tiefenintervalle von 30, 60 und 90 cm) durchgeführt werden.

Folgende Anforderungen werden an „reguläre Standorte“ gestellt (vgl. Abb. 1):

- Grundwasserferne Standorte sollten eine **Gründigkeit von ≥ 90 cm** aufweisen. Flachgründigere Standorte sind nur bedingt geeignet, da Nitrat aufgrund der Bodeneigenschaften schneller aus dem beprobaren Tiefenbereich verlagert wird. Es handelt sich hierbei in der Regel um skelettreiche Böden. Trotzdem kann eine Herbst-Nmin-Untersuchung (bis in mindestens 60 cm Tiefe) sinnvoll sein – insbesondere wenn diese Standorte einen hohen Anteil in Wassergewinnungsgebieten ausmachen (z.B. im Südniedersächsischen Berg- und Hügelland) (vgl. Kapitel A1.5.1, Abschnitt „Eingeschränkte Beprobungsmöglichkeit“).
- Grundwasser beeinflusste Standorte sollten einen **Mittleren Grundwasserstand ≥ 90 cm** u. GOF haben. Zusätzlich ist zu prüfen, ob die unterste Probenahmetiefe im Spätsommer und Herbst bereits im Bereich des Grundwasser-Kapillarsaums liegt, da bei zeitweise erhöhten Grundwasserständen < 90 cm ein erhöhter Nitrat-Abbau durch Denitrifikation sehr wahrscheinlich ist. Die Eignung des Standortes für eine Nmin-Untersuchung zur Maßnahmenbewertung ist dann nicht gegeben.
- Der **Grobbodenanteil sollte < 40 Vol%** sein. Skelettreiche Böden sind mit dem Probenahme-Werkzeug (Pürckhauer oder Göttinger Bohrstock) nur schwer beprobbar. Zu-dem wird nur der Feinboden extrahiert. Die Umrechnung der Labor-Messwerte auf kg N/ha liefert dann überhöhte Werte, wenn mit der Standard-Lagerungsdichte von 1,4 bzw. 1,5 g/cm³ gerechnet wird. Zur Korrektur der Nmin-Ergebnisse wird daher ab einem Grobbodenanteil von ≥ 40 Vol% folgendes Verfahren vorgeschlagen:

$$Nmin_{\text{korrigiert}} = Nmin_{\text{gemessen}} \times (1 - \text{Grobbodenanteil})$$

Der Grobbodenanteil ist als Dezimalzahl anzugeben. (Beispiel: 0,4 für einen Grobbodenanteil von 40 %) (vgl. Abb. 1).

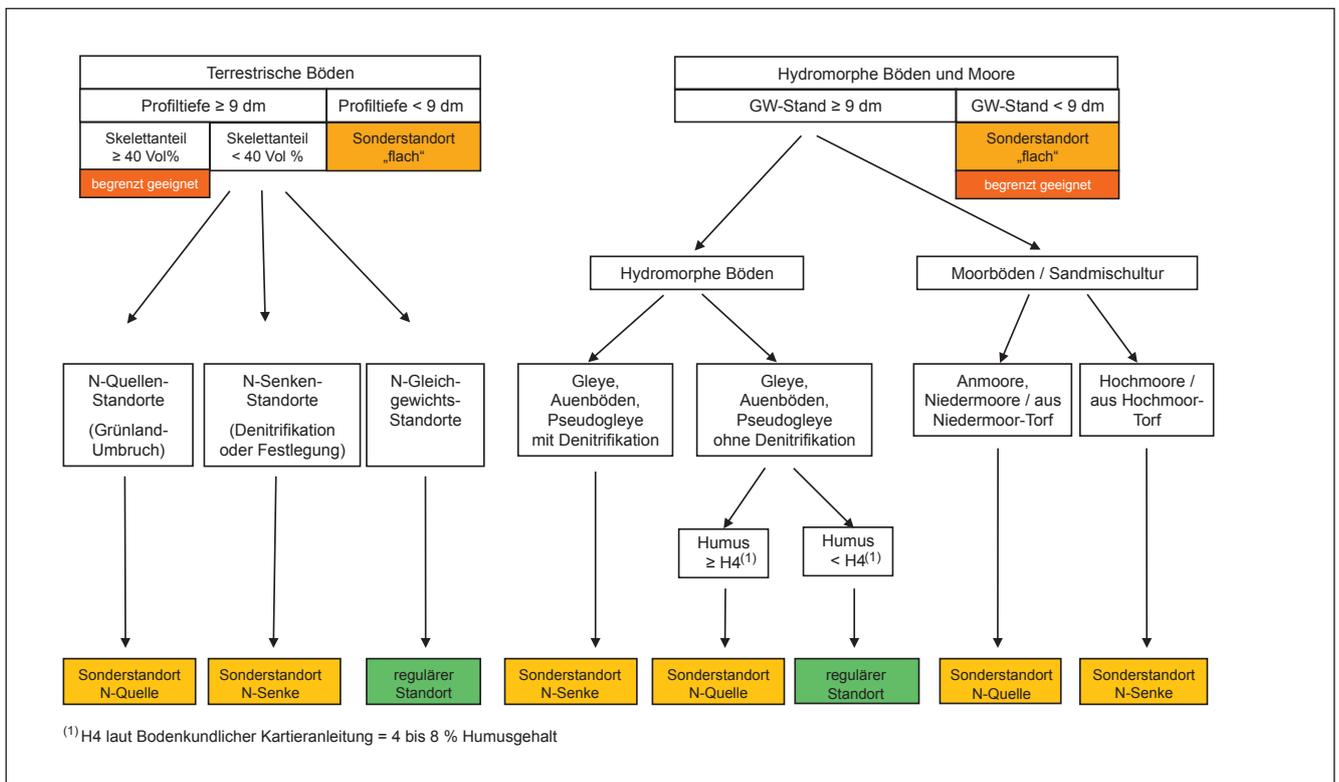


Abb. 1: Standort-Kriterien für die Anwendbarkeit der Herbst-Nmin-Methode

1.1.2 Standorte mit ausgeprägter bodenbürtiger N-Dynamik

Bei **Sonderstandorten (N-Quellen- und N-Senkensysteme)** haben Bodeneffekte einen hohen Einfluss auf den Nmin-Wert (vgl. Tab. 1). Wirkungseffekte von Grundwasserschutz-Maßnahmen, deren Ziel die Reduktion des Nmin-Wertes ist, können auf diesen Standorten nur eingeschränkt bewertet werden. Der Herbst-Nmin-Wert dient hier hauptsächlich der Abschätzung bodenbedingter Gefährdungspotentiale, z.B. bei Niederungsgebieten (entwässerte Anmoore und Niedermoore als N-Quellensysteme). N-Senken-Systeme (z.B. grundwassernahe Gleyböden) können dagegen aufgrund ihres Stickstoffabbaupotenzials (Denitrifikation) zur Entschärfung der Nitrat-Belastung in einem Gebiet beitragen.

Grundwassernahe Standorte (MGW ≤ 90 cm u. GOF) können sowohl N-Senken (Denitrifikation) als auch - bei erfolgter Grundwasser-Absenkung - N-Quellen sein, die aus Sicht des Grundwasserschutzes einen erhöhten Beobachtungsbedarf aufweisen. Eine Probenahme gemäß Nmin-Methode kann sinnvoll sein (vgl. Sonderstandort „flach“ in Abb. 1). Die Ergebnisse müssen jedoch gesondert ausgewertet werden. Eine gemeinsame Auswertung mit Nmin-Werten grundwasserferner Standorte ist nicht zielführend.

Stauwasserböden (Pseudogleye und Stagnogleye) mit einem oberflächennahen, dichtgelagerten Sd-Horizont in ≤ 90 cm Tiefe u. GOF können ähnliche Eigenschaften wie grundwassernahe Böden besitzen, und sind deshalb ggf. als Sonderstandorte zu bewerten.

Tab 1: Typische potenzielle N-Quellen- und N-Senkenstandorte (nach modifizierter Tabelle von GÄTH et al. 1997 [11])

N-Systemtyp	typische Standort- und Nutzungsbedingungen		
	Bodentyp / Ausgangssubstrat	Denitrifikationsbedingungen in der Wurzelzone	Nutzung / Bearbeitung
Senkensystem	Grundwassernahe Gleye und Auenböden mit Denitrifikation, flachgründige Stauwasserböden mit Denitrifikation, kultivierte Hochmoore	mehr als 6 Monate/Jahr Grund- bzw. Stauwasserreinfluss Grundwasser direkt unterhalb oder im Torfkörper Krumenverdichtung	Grünland (insbesondere Neuanlage), Dauergrünbrache, Krumenvertiefung, Hochmoor-Sandmischkultur (1. bis 20. Jahr)
Gleichgewichts-System	Grundwasserferne Sand-, Lehm- und Tonböden	keine bedeutende Denitrifikation	langjährige Ackernutzung
Quellensystem	Anmoore und Niedermoore mit Grundwasser-Absenkung, humusreiche Gleye, Auenböden und Kolluvien	keine bedeutende Denitrifikation	Grünlandumbruch (bis zum 20. Jahr), Umbruch von Grünbrachen, Niedermoor-Sandmischkultur

1.2 Festlegung des optimalen Probenahmezeitraumes

Um aussagekräftige Herbst-N_{min}-Werte für ein Bewirtschaftungs- bzw. Maßnahmenjahr zu erhalten, muss der aktuelle Witterungsverlauf ab den Sommermonaten vor der Probenahme berücksichtigt werden. Für den optimalen Probenahmezeitraum sind neben den **Bodeneigenschaften vor allem die Niederschlagsmengen im Spätsommer und Herbst** entscheidend.

Die Probenahme ist zu einem Zeitpunkt durchzuführen, an dem die Mineralisation aufgrund sinkender Temperaturen nur noch gering ist, aber noch kein Sickerwasser in der Beprobungstiefe von 90 cm aufgetreten ist (vgl. Abb. 2). Der „**optimale**“ **Herbst-N_{min}-Termin** liegt in der Regel zwischen Mitte Oktober und Ende November, kann aber von Jahr zu Jahr, und in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften und regionalen Niederschlagsmengen auch räumlich stark variieren.

Mit Hilfe eines vom LBEG (ehemals NLFb) entwickelten Modells zur Wasserhaushaltsberechnung ist für jeden Standort jahresbezogen eine Voraussage des optimalen Probenahme-Zeitraumes möglich (vgl. Kap. A 3.3). Als Kriterium hierfür wird der Auffüllungsgrad der Feldkapazität zugrunde gelegt. In die Berechnung gehen bodenphysikalische Parameter, aktuelle Nutzungsdaten und regionale tägliche Wetterdaten ein.

Eine vollständige Auswaschung des als Herbst-N_{min} gemessenen Mineralstickstoffgehaltes ist nur zu erwarten, wenn die Sickerwassermenge im Winterhalbjahr die Feldkapazität des Bodens bis 90 cm Tiefe übersteigt [7], was bei bindigen Böden und geringen Winterniederschlägen häufig nicht der Fall ist.

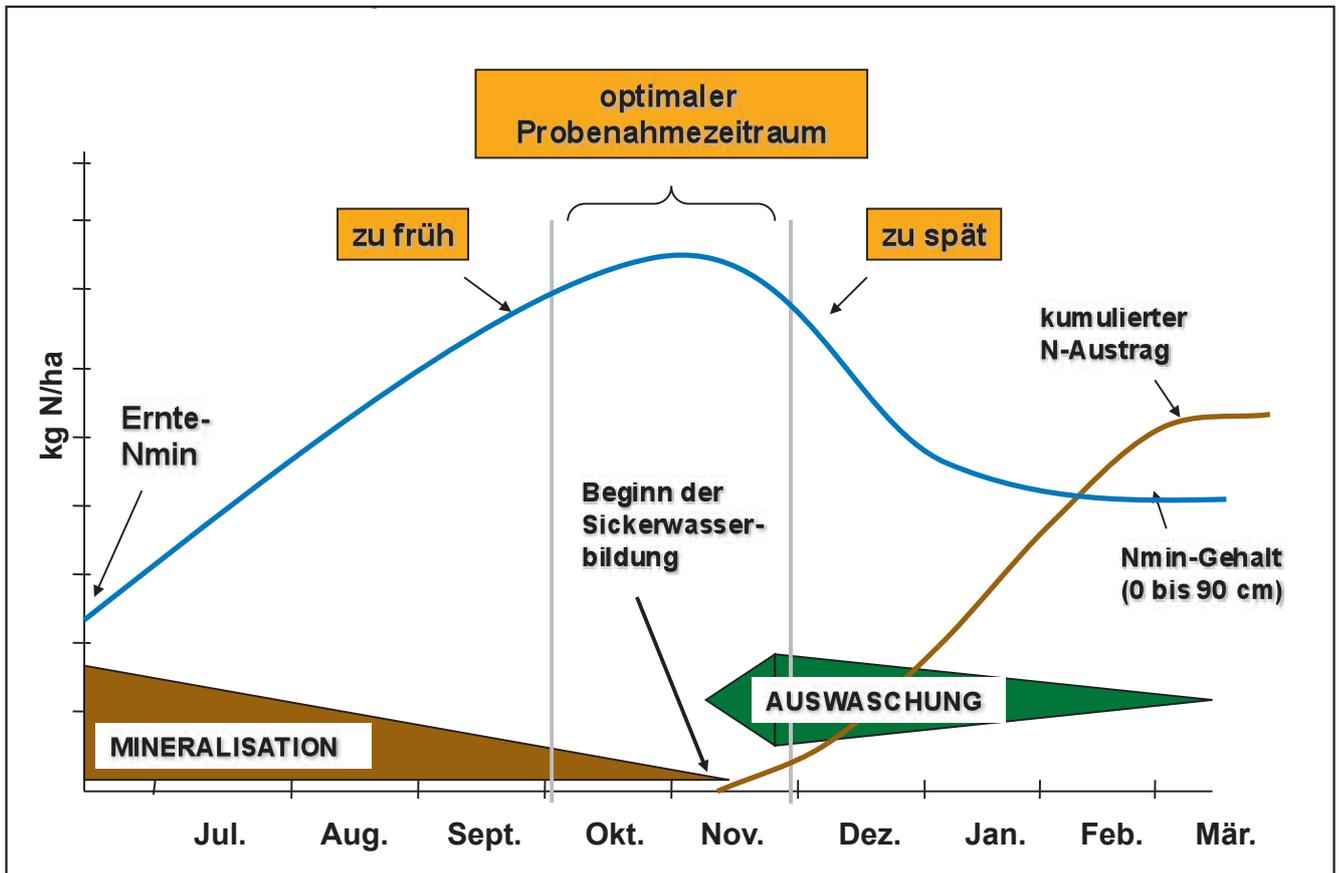


Abb. 2: Bestimmung des optimalen Probenahme-Zeitraumes für die Herbst-Nmin-Beprobung [13]

1.3 Probenahme

Festlegung von Nmin-Repräsentativ-Parzellen

Auf der Ebene von Schlägen hat sich für die Herbst-Nmin-Beprobung die Festlegung von Repräsentativ-Parzellen mit einer Größe von ca. 40 bis 60 m x 80 bis 100 m bewährt. Hierdurch kann der **Einfluss** eines ungleichmäßigen Mineralstickstoffgehaltes im Boden aufgrund **kleinräumiger Bodenvariabilitäten reduziert** werden, so dass Bewirtschaftungs- bzw. Maßnahmeneffekte sicherer erfasst werden können [16]. Die Beprobungsparzellen sollen quer zur Bearbeitungsrichtung und außerhalb des Vorgewendes liegen. Die Festlegung der Parzellen sollte vorab anhand der vorliegenden bodenkundlichen Planungskarten erfolgen. Durch die Vor-Auswahl einer bodenkundlich homogenen Parzelle (gleiche Bodeneinheit) wird die Vergleichbarkeit von jährlichen Herbst-Nmin-Werten dieses Schlages und der Vergleich von Herbst-Nmin-Werten zwischen gleichen Standorttypen verbessert.

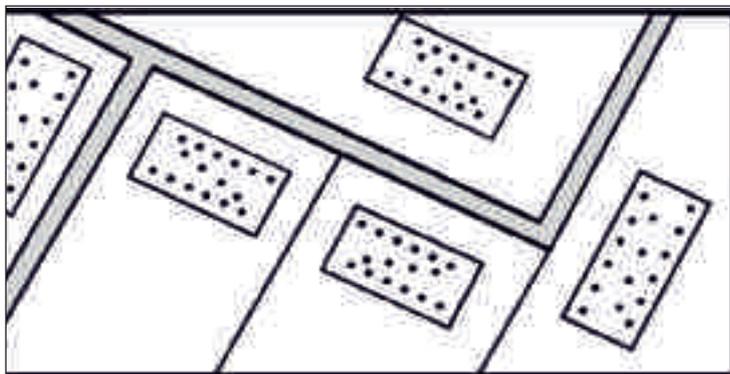


Abb. 3: Festlegung und Beprobungsmuster von Repräsentativ-Parzellen für die Nmin-Beprobung auf Einzelschlägen

Probenahmegeräte

Neben der Probenahme „von Hand“ werden heute verstärkt maschinelle, selbstfahrende Beprobungsgeräte (z. B. „Nitrat-Runner“) eingesetzt. Bei voneinander entfernt liegenden Einzelschlägen, eingeschränkter Befahrbarkeit und bei dränierten Flächen ist die manuelle Beprobung vorteilhaft.



Abb. 4: Die gebräuchlichsten Nmin-Probenahmegeräte: Göttinger Bohrstock, Pürckhauer und Nitrat-Runner (Foto des Pürckhauers: Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt)

Zur manuellen Beprobung wird in der Praxis am häufigsten der Pürckhauer-Bohrstock oder der dreiteilige Göttinger Bohrstock eingesetzt.

Der **Pürckhauer-Bohrstock** wird in 30 cm-Schritten benutzt, d.h. er wird bis 30 cm Tiefe eingeschlagen, entleert und erneut in das Bohrloch eingesetzt, dann bis 60 cm eingeschlagen und entleert etc. Beim Entleeren werden jeweils die oberen 3 bis 5 cm des Bohrstock-Inhaltes verworfen. Ein einmaliges Durchschlagen des Bohrers bis 90 cm ist aufgrund erheblicher Bodenverschleppungen nicht zulässig.

Wegen des hohen Zeit- und Kraftaufwandes und der möglichen Verschleppung von Bodenmaterial zwischen den Einzeltiefen wird der Pürckhauer-Bohrstock in der Herbst-Nmin-Beprobung meist nur dann eingesetzt, wenn die Bodenverhältnisse andere Beprobungsverfahren unpraktikabel machen.

Mit dem **Göttinger Bohrstock** wird für jede Tiefe ein eigener Bohrstock verwendet. Dadurch wird die Verschleppung von Bodenmaterial zwischen den einzelnen Tiefen nahezu ausgeschlossen. Mit einem Durchmesser unter 1,5 cm lassen sich die Bohrstöcke im Idealfall ohne Hammer in den Boden drücken, was auf geeigneten Standorten eine besonders schnelle Probenahme erlaubt. Nur auf Böden mit hohem Skelettanteil bzw. bei starker Austrocknung (v. a. Ernte-Nmin) ist der Pürckhauer-Bohrstock vorzuziehen.

Der ebenfalls dreiteilige **Wehrmann-Bohrer** vereinigt den Vorteil geringer Bodenverschleppung mit der Robustheit des Pürckhauer-Bohrstockes. Wegen des hohen Gewichts der Bohrausrüstung wird der Wehrmann-Bohrer jedoch kaum in der Beratungspraxis verwendet.

Probenahme

Die Probenahme erfolgt in den **Tiefen-Abstufungen 0-30 / 30-60 / 60-90** und ggf. 90-120 bzw. 90-150 cm. Für jede Tiefe wird eine Mischprobe aus 16 Einstichen erstellt. Bei den verschiedenen Probenahmegeräten erhält man je nach Durchmesser des Bohrstockes unterschiedliche Probemengen. Die für die Analyse optimale Menge an Bodenmaterial sollte vorher mit dem Labor abgestimmt werden. Falls die vollständige Substratmenge aus 16 Einstichen zu groß ist, sollte die Menge bereits bei der Entnahme aus dem Bohrstock begrenzt werden. Hierzu wird der Bohrstock auf ganzer Länge besonders großzügig (tief) mit dem Messer abgestrichen. Der Rest kann dann vollständig abgefüllt werden kann. Von dem entnommenen Probenmaterial soll nichts mehr verworfen werden, da das Homogenisieren des Bodenmaterials im Gelände nur ungenügend gelingt.



Abb. 5: Entleeren des Göttinger Bohrstockes (Tiefe 30-60 cm)

Probenahmeprotokoll und Transport

Neben dem Probenahmedatum werden bei der Probenahme sichtbare Einflussfaktoren auf den Nmin-Wert protokolliert, z.B. die Aufwuchshöhe einer Zwischenfrucht oder Winterung, Düngerreste, Nässe etc.. Abweichungen von den Planungsdaten (Anbaufrucht, Maßnahmenumsetzung, Standort) sind zu notieren und in der Datenhaltung zu korrigieren.

Als Transportbehälter der Nmin-Proben dienen Gefrierbeutel ab 2 Liter, Styroporboxen oder Plastik- bzw. Glasflaschen. Sie sollten möglichst wasserdicht verschlossen und wasserfest beschriftet werden. Die Proben müssen in einem Kühlbehälter (mit Kühlakku / Kleinkühlschrank) bis spätestens zum nächsten Tag im Labor abgegeben oder in einen Kühlschrank überführt werden. Die lückenlose Kühlkette bis zur Analyse muss eingehalten werden.

1.4 Laboranalyse und Einfluss der Trockendichte

Die Untersuchung der Nmin-Proben erfolgt im CaCl_2 -Extrakt auf die Analyseparameter Nitrat, Ammonium und den Wassergehalt (WG). Die Werte werden durch das Labor für die einzelnen Schichten auf $\text{kg NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ pro Hektar umgerechnet. Die ermittelten Wassergehalte bzw. die Trockenmassen (in Gewichts-%) sollten zur Plausibilitätskontrolle der Analysewerte und ggf. für die Bodenwasserhaushalts-Berechnung grundsätzlich vom Labor mit angegeben werden.

1.4.1 Trockendichte von Mineralböden

Für die Trockendichte (TD) in Gramm Boden pro Kubikzentimeter werden für mineralische Böden Faustzahlen eingesetzt. Eine einheitliche Wahl der TD ist Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Für Mineralböden haben sich die niedersächsischen Labore unter Mitwirkung von Beratungsträgern und Auftraggebern im September 2000 auf die folgenden Faustzahlen ($\text{TD}_{\text{normiert}}$) geeinigt:

0 - 30 cm: 1,4 g/cm³
> 30 cm: 1,5 g/cm³

Nmin-Werte, die vor dem Jahr 2000 ermittelt wurden (N_{minalt}), sind zu prüfen und ggf. umzurechnen, bevor sie zum Vergleich mit Nmin-Werten, die nach den genannten TD-Werten ermittelt wurden, herangezogen werden. Die umgerechneten Nmin-Werte werden als Nmin-normiert bezeichnet. Die Umrechnungsformel lautet:

Formel 1: Umrechnung von Nmin-Werten (N_{minalt}), die mit abweichenden Trockendichte-Annahmen (TD_{alt}) berechnet wurden.

$$N_{\text{min}_{\text{normiert}}} = N_{\text{min}_{\text{alt}}} \times \frac{TD_{\text{normiert}}}{TD_{\text{alt}}}$$

1.4.2 Trockendichte von organischen Böden

Die TD von Anmoor- und Moorböden ist deutlich geringer als die TD mineralischer Böden. Sie weist eine große Streubreite auf und muss daher individuell ermittelt werden. Das Standard-Verfahren einer volumengenauen Stechzylinder-Probennahme zur Ermittlung der Trockenmasse (TM) ist im Rahmen der Nmin-Untersuchung jedoch zu aufwändig. Ein einheitliches Verfahren zur Bestimmung der TD bei Moor- und Anmoorböden hat sich bisher nicht durchgesetzt. Auch im Rahmen des Projektes konnte keine zufriedenstellende Lösung gefunden werden. Hier besteht weiterhin Klärungsbedarf.

Bei der LUFÄ Nordwest wird die TD von Anmoorböden mit der VDLUFA-Methode A 13.2.1 („**Standardisiertes Einrütteln**“) im Labor bestimmt.

Alternativ kann die TD für organische Böden **auf Grundlage des Wassergehaltes (WG)** zum Zeitpunkt der Herbst-Nmin-Beprobung (=Feldkapazität) abgeschätzt werden. Hierzu sind zwei Verfahren gebräuchlich, die jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen führen:

1) Verfahren Scheffer & Blankenburg

Für Moorböden mit einer TM von ≤ 60 Gew% bzw. einem WG von ≥ 67 Gew% wurde von SCHEFFER & BLANKENBURG (1993) [28] die folgende Regressionsformel empirisch ermittelt:

Formel 2: Ableitung der Trockendichte für Moorböden aus der Trockenmasse (nach SCHEFFER & BLANKENBURG (1993) [28]).

$$TD = \frac{TM}{100} - 0,0072 \quad (TM \text{ in \% Frischmasse})$$

bzw.

Formel 3: Ableitung der Trockendichte für Moorböden aus dem Wassergehalt (nach SCHEFFER & BLANKENBURG (1993) [28].)

$$TD = \frac{100}{WG + 100} - 0,0072 \quad (WG \text{ in \% bezogen auf TM})$$

2) Landwirtschaftliches Labor Dr. Janssen (Gillersheim)

Das Labor verwendet für Anmoor- und Moorböden empirische Erfahrungswerte, die der folgenden Formel entsprechen:

Formel 4: Ableitung der Trockendichte für Moorböden aus der Trockenmasse (empirisches Verfahren Labor Dr. Janssen, Gillersheim, für Proben mit $TM < 67$ %).

$$TD = \frac{2,276 \times TM}{TM} - 0,21 \quad (TM \text{ in \% Frischmasse})$$

Formel 5: Ableitung der Trockendichte für Moorböden aus dem Wassergehalt (empirisches Verfahren Labor Dr. Janssen, Gillersheim, für Proben mit WG ≥ 50 %).

$$TD = \frac{2,276}{WG + 100} - 0,21 \quad (WG \text{ in \% bezogen auf TM})$$

Dieses Verfahren wird für TM < 67 % bzw. WG ≥ 50 % angewendet.

Im Bereich der Moorböden führt dieses Verfahren zu niedrigeren TD-Werten als die Formel nach [28]. Bei der Umrechnung der Nitrat-Messwerte zu Nmin-Gehalten führt ein geringerer TD-Wert zu niedrigeren Nmin-Gehalten.

Zur Herstellung der Vergleichbarkeit der Nmin-Analysewerte verschiedener Labore sollte die zugrunde gelegte TD (und das Verfahren der TD-Ermittlung) daher immer durch das Labor angegeben werden, vor allem wenn die TD von den oben genannten Faustzahlen für mineralische Böden abweicht.

1.5 Einschränkende Randbedingungen für die Herbst-Nmin-Methode

Neben den unveränderlichen standörtlichen Gegebenheiten können die aktuellen Witterungsverhältnisse und die Flächenbewirtschaftung die Eignung und die Aussagekraft der Herbst-Nmin-Methode für Monitoring-Zwecke einschränken. Folgende „Störgrößen“ sind zu berücksichtigen:

1.5.1 Schlagbezogene Faktoren

Feldberechnung

Feldberechnung wird schwerpunktmäßig auf Standorten mit einem geringen Wasserspeichervermögen (nFKWe < 100 mm) eingesetzt. Als Grenzwert für die Durchführung der Berechnung gilt die Unterschreitung eines Bodenwassergehaltes von 40 bis 50 % der nFKWe ([22], [26]).

- Durch Feldberechnung wird die Nährstoffaufnahme der Pflanzen optimiert. Für die gleiche Anbaufrucht können daher in trockenen Jahren unter Feldberechnung geringere Herbst-Nmin-Werte erwartet werden („realer“ Berechnungseffekt) [10].
- Wegen der geringeren sommerlichen Austrocknung setzt die Sickerwasserbildung auf Berechnungsstandorten jedoch tendenziell früher ein als auf unberechneten Flächen. Dies sollte bei der Herbst-Nmin-Terminplanung berücksichtigt werden, indem auch Berechnungsflächen als Referenzflächen zum Erntetermin (Start-Wassergehalt) beprobt und für den Infodienst Grundwasserschutz (vgl. Kapitel A3) registriert werden.
- Bei hohen Niederschlägen nach einer Berechnungsperiode kann es auf Berechnungsflächen eher zu Sickerwasserbildung auch während der Vegetationsperiode kommen, als auf nicht berechneten Flächen [34]. In diesem Fall erfasst der Herbst-Nmin-Wert den auswaschbaren Mineralstickstoff auch bei „optimalem“ Probenahmetermin nicht vollständig.
- Die Sickerwasserrate wird durch Berechnung erhöht. Gleichzeitig verlängert sich hierdurch die jährliche Verlagerungstrecke des Sickerwassers. So wurde für Flächen mit Feldberechnung im WSG Fuhrberger Feld eine Erhöhung der Sickerwasserrate entsprechend 30% der Berechnungsgabe ermittelt ([27], [34]). Dies muss bei der Sickerwassergüte-Prognose berücksichtigt werden.

Die Herbst-Nmin-Beprobung auf Berechnungsflächen ist für das Nitrat-Monitoring nur eingeschränkt geeignet. Die Eignung zur Sickerwassergüte-Prognose sollte im Einzelfall stichprobenhaft in Ergänzung mit anderen Methoden der Sickerwassergüte-Bestimmung (vgl. Kapitel B4) geprüft werden.

Eingeschränkte Beprobungstiefe

Wenn eine Beprobung bis 9 dm nicht möglich ist, muss im Einzelfall geprüft werden, ob die Herbst-Nmin-Methode für die Erfolgskontrolle sinnvoll eingesetzt werden kann. Bei der Darstellung und Weitergabe solcher Herbst-Nmin-Werte muss die Beprobungstiefe auf jeden Fall angegeben werden. Im „DIWA-Shuttle“ (vgl. Kapitel B3.3) werden Herbst-Nmin-Werte bei einer von 9 dm abweichenden Beprobungstiefe „hochgerechnet“, um sie in der weiteren Auswertung (z.B. zur Berechnung des Gesamtgebietlichen Mittelwertes) mit Nmin-Werten verrechnen zu können, die aus Beprobungen bis 9 dm stammen. Die Umrechnung erfolgt nach der folgenden Formel.

Formel 6: „Hochrechnung“ von Nmin-Werten bei abweichender Beprobungstiefe

$$Nmin_{90} = Nmin_{\text{Messwert}} \times \frac{9 \text{ dm}}{\text{Beprobungstiefe}}$$

In jedem Fall muss aber vor Ort entschieden werden, ob Herbst-Nmin-Werte mit eingeschränkter Beprobungstiefe für überregionale Monitoringzwecke genutzt werden können. Entscheidend für die Eignung der Herbst-Nmin-Beprobung zur Erfassung der Nitratanreicherung vor Beginn der Auswaschung ist die Höhe der bis zur Beprobungstiefe aufsummierten Feldkapazität. Wenn diese eine erhebliche Versickerung bereits im Sommer erwarten lässt, ist die Herbst-Nmin-Methode nicht für Monitoringfragen geeignet.

Im Wesentlichen gibt es zwei Gründe für eine mögliche Beschränkung der Probenahmetiefe:

(1) Tiefenbeschränkung der Probenahme bei flachgründigen Standorten

Bei einer Beschränkung der Beprobungstiefe durch flach anstehendes Festgestein, Grund- oder Stauwasser sollte neben der Feldkapazität auch geprüft werden, inwieweit ein Teil der Sickerwasserbewegung durch Makroporen (Regenwurmgänge, Bodenrisse etc.) erfolgt. Hinzu kommt bei hydromorphen Böden die mögliche N-Quellen- oder N-Senken-Eigenschaft.

(2) Tiefenbeschränkung der Probenahme durch Drainagen

Bei der Nmin-Beprobung auftretende Drainagebeschädigungen müssen dem Bewirtschafter mitgeteilt und durch den Probenehmer repariert werden. Das ist mit erheblichem Aufwand verbunden.

Das Risiko der Drainagebeschädigung ist

- bei maschineller Beprobung bzw. Probenahme mit dem Pürckhauer-Bohrstock oder dem dreiteiligen Wehrmann-Bohrer am höchsten;
- bei Probenahme mit dem Göttinger Bohrstock deutlich geringer;
- bei Beschränkung der Probenahmetiefe auf ca. 10 cm oberhalb der Drainagetiefe am geringsten. Teilweise wird dies durch den Bewirtschafter gefordert.

Ergänzend zu der Herbst-Nmin-Beprobung oder auch als Ersatz kommt die Beprobung des Drainagewassers in Frage (mehrmals jährlich, Termine in Abhängigkeit vom Niederschlagsverlauf im Winter [24]).

1.5.2 Jahresbezogene (Witterungs-) Faktoren

Der Witterungseinfluss auf den Herbst-Nmin-Wert ist unbestritten. Er erschwert generell die Vergleichbarkeit der Herbst-Nmin-Werte einzelner Jahre, aber auch den Vergleich zwischen den unterschiedlichen Klimaregionen in Niedersachsen.

Für die Bewertung von Herbst-Nmin-Ergebnissen sollten nach Möglichkeit lokale Niederschlags-Monatssummen sowie Monatsmittel der Temperatur für den Sommer und Herbst bis zur Probenahme zur Verfügung stehen. Hilfreich zum Verständnis des Witterungseinflusses ist ferner die Einbeziehung von Ernte-Nmin-Untersuchungen.

Die Auswirkungen von Temperatur und Wasserhaushalt auf Stoffumsetzungen im Boden, auf die Nährstoffaufnahme der Pflanzen und auf Verlagerungsvorgänge sind von der Tendenz her bekannt. Ein „Herausrechnen“ des Witterungseinflusses auf den Herbst-Nmin-Wert ([29], [30]) erscheint jedoch nicht praktikabel. Der Regressionsansatz von SCHWEIGERT et al. [30], der aus Daten der Jahre 1992 bis 2002 für das WSG Liebenau abgeleitet worden ist, führte bei Anwendung auf die Witterungsdaten von 2003 bis 2005 nicht zu realistischen Prognosewerten für den Herbst-Nmin-Wert (vgl. Abb. 6).

Daher muss der Witterungsverlauf jedes einzelnen Jahres gesondert beurteilt werden. Insbesondere im Hinblick

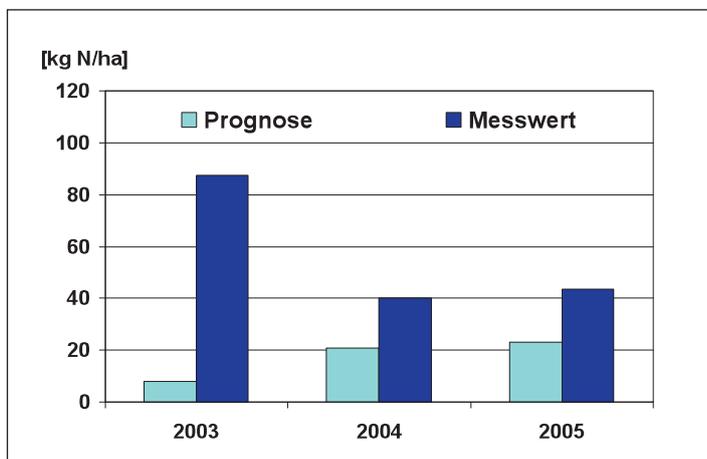


Abb. 6: Gegenüberstellung von Herbst-Nmin-Prognosewerten (nach Regressionsansatz [30]) und gemessenen Herbst-Nmin-Werten der 30 Projektflächen im Pilotgebiet Liebenau

auf die Sommerniederschläge sollte dies auf Einzelgebietsebene erfolgen.

Extreme Sommer-Trockenheit

In Jahren mit ausgeprägter Sommer-Trockenheit – wie 2003 – werden häufig **erhöhte Herbst-Nmin-Werte** festgestellt (vgl. Abb. 7), weil

- die Nährstoffaufnahme der Pflanzen bei Trockenheit vermindert ist. Soweit der trockene Sommer nicht durch einen wüchsigen Herbst ausgeglichen wird, bleibt der überschüssige Mineral-N im Boden und ist bei der Herbst-Nmin-Beprobung messbar, wenn kein Anbau einer Zwischenfrucht oder einer aufnahmestarken Winterfrucht erfolgt.
- sommerliche Nitrat-Austräge in trockenen Jahren unwahrscheinlich sind (Ausnahme: Böden mit Neigung zur Rissbildung oder Benetzungshemmung);
- nach extremer Austrocknung des Bodens (z.B. 2003) möglicherweise (!) bodenbürtige N-Vorräte mobilisiert werden, die sonst nicht aktiv an den N-Umsetzungen teilnehmen (sorbiertes Ammonium-N, umsetzungsträge Fraktionen der organischen Substanz);
- der in Mikroorganismen enthaltene Stickstoff bei einem möglichen Zusammenbruch der Population durch Trockenheit kurzzeitig freigesetzt werden kann.

Die genannten Effekte schränken die **Vergleichbarkeit** der Herbst-Nmin-Werte aus Trockenjahren mit den Ergebnissen anderer Jahre stark ein.

- Da die gemessenen Werte aber „real“ sind, müssen sie im Gebiets-Monitoring berücksichtigt werden. Gleichzeitig kann der Vergleich der Herbst-Nmin-Werte untereinander Aufschluss über „versteckte“ N-Pools geben, die für die Wasserschutzberatung wichtig sind.
- Flächen mit Feldberegnung sind nicht von den genannten Effekten betroffen!

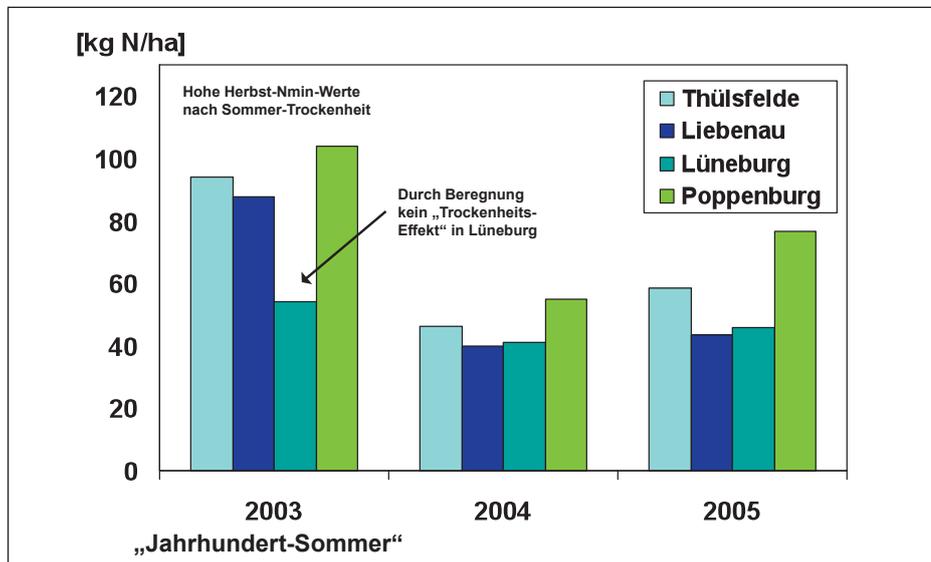


Abb. 7: Mittlere Herbst-Nmin-Werte von jeweils 30 Schlägen in den vier Pilotgebieten mit Sommertrockenheits-Effekt 2003

Hohe Sommer-Niederschläge

Bei hohen Niederschlägen kann es besonders auf leichten Standorten bereits im Sommer zu Sickerwasserbildung und damit zur **Nitratverlagerung vor der Herbst-Nmin-Beprobung** kommen (sog. „Vorabverluste“), die zu einer Unterschätzung des Nitratbelastungsdrucks auf das Sickerwasser führen.

- Sommerniederschläge zeichnen sich durch hohe Niederschlagsintensitäten aus, d.h. wenige Regengüsse können eine hohe Niederschlagssumme bringen sowie eine hohe **kleinräumige Variabilität der Niederschlagsmengen**. Die tatsächlich auftretende Nitratauswaschung durch sommerliche Sickerwasserbildung kann daher nur auf Einzelgebiets-Ebene (durch die Wasserversorgungsunternehmen bzw. Beratungsträger vor Ort) beurteilt werden.
- Überregionale Daten geben nur einen Hinweis auf die Wahrscheinlichkeit sommerlicher „Vorab“-Nitratausträge in den Einzelgebieten.
- Bei Auftreten hoher Sommerniederschläge in einem Einzeljahr muss die Eignungsprüfung der Herbst-Nmin-Methode daher auf Einzelgebietsebene erfolgen.

Hohe Herbst-Niederschläge

Unter den langjährigen mittleren Witterungsbedingungen ist erst im Verlauf des Oktobers mit dem Beginn der Sickerwasserperiode zu rechnen. Dies gilt insbesondere für das östliche Niedersachsen. Bei ungewöhnlich hohen Sommer- bzw. Herbstniederschlägen und bei geringer nutzbarer Feldkapazität kann die Sickerwasserbildung und damit die N-Auswaschung jedoch schon weit vor dem Ende der Mineralisationsphase (vgl. Kapitel A1.2) beginnen. Die gemessenen Herbst-Nmin-Werte bis 90 cm Tiefe sind in diesen Fällen tendenziell zu niedrig, weil

- bei **früher Beprobung** die Mineralisation der Ernterückstände noch nicht abgeschlossen ist, und
- bei **später Probenahme** bereits Nitrat-Vorab-Verluste mit dem Sickerwasser aufgetreten sind.

Hohe Niederschläge vor dem Beprobungstermin machen daher ein besonderes Vorgehen erforderlich, um aussagekräftige Nmin-Werte zu ermitteln. Hierfür kommen die folgenden Möglichkeiten in Frage:

(1) Frühe Beprobung (ab Erreichen der Feldkapazität bis 90 cm) **und Korrektur der Werte um die noch zu erwartende Mineralisation:**

Diese Möglichkeit ist bisher nicht praxisrelevant, da die herbstliche N-Mineralisation nicht mit den bei der bodenkundlichen Gebietskartierung erfassten Bodeneigenschaften modelliert werden kann.

(2) Späte Beprobung bis 90 cm mit anschließender Korrektur der gemessenen Werte um den geschätzten „Vorab“-N-Austrag mit dem Sickerwasser:

Folgende Korrekturverfahren zur Schätzung des Vorab-Verlustes stehen zur Verfügung:

- Ableiten des herbstlichen Vorab-Verlustes aus dem **Ernte-Nmin-Wert** (sofern vorhanden): Ist beispielsweise eine Verlagerungstiefe von 50cm über die 90cm-Linie hinaus berechnet worden, wird zu dem bis 90cm ermittelten Herbst-Nmin-Wert der Ernte-Nmin-Wert der Tiefe 60 bis 90cm plus 2/3 des Ernte-Nmin-Wertes der Tiefe 30 bis 60cm addiert. Dieser Ansatz geht davon aus, dass der Mineralstickstoff des Erntetermins schichtgenau nach unten verlagert wird (vgl. Abb.8)

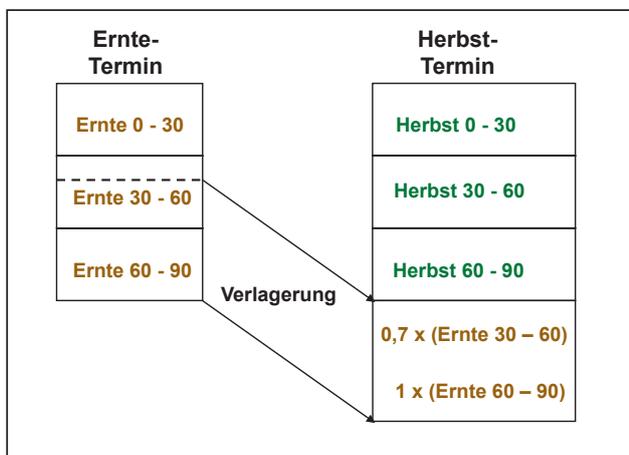


Abb. 8: Schätzverfahren zur Berücksichtigung vorzeitiger N-Austräge anhand des Ernte-Nmin-Wertes (bei 50 cm Verlagerungstrecke anhand des Beispiels)

- Ableiten des „Vorab-Verlustes“ aus dem Messwert bis 90 cm (**ohne Ernte-Nmin-Wert**): Für die Verlagerungstiefe wird die mittlere gemessene Mineral-N-Menge pro dm mit der Verlagerungstrecke in dm (z. B. 5 dm) multipliziert und zum Messwert addiert (vgl. Formel 7 und Abb. 9).

Herbst 0 - 30
Herbst 30 - 60
Herbst 60 - 90
5 x $\frac{\text{Herbst 0 - 90}}{9}$

Formel 7: Rechnerische Korrektur des Herbst-Nmin-Wertes bei frühzeitiger Sickerwasserbildung anhand der Sickerwasser-Verlagerungstiefe (ohne Ernte-Nmin-Wert)

$$\text{korrigierter Herbst-Nmin - Wert} = \text{Herbst - Nmin}(0 - 90)_{\text{gemessen}} \times \left(\frac{9 \text{ dm} + \text{Verlagerung}}{9 \text{ dm}} \right)$$

Abb. 9: Schätzverfahren zur Berücksichtigung vorzeitiger N-Austräge ohne Ernte-Nmin-Wert (bezogen auf das Beispiel der Formel 7 für 50 cm Verlagerung)

(3) Späte Beprobung (nach bereits erfolgter Sickerwasserbildung) **mit Anpassung der Probenahmetiefe**
(sog. „**tiefenerweiterte Probenahme**“):

Nach dem Infodienst Grundwasserschutz wird die bis zum Berechnungsdatum bereits erfolgte Verlagerung des Sickerwassers nach der folgenden Formel abgeschätzt:

Formel 8: Berechnung der Verlagerungstiefe

$$\text{Verlagerungstiefe [dm]} = \frac{\text{Sickerwasser - Menge [mm]}}{\text{mittlere Feldkapazität [mm/dm]}}$$

Bei einer Verlagerungstiefe von beispielsweise 50 cm zum Zeitpunkt der Beprobung müsste die Beprobung also bis 140 cm (angepasste Probenahmetiefe) erweitert werden.

Die tiefenerweiterte Herbst-Nmin-Beprobung ist mit einem deutlich erhöhten Aufwand verbunden und in der Praxis nur bis max. 150 cm (auf Lockergesteinen) realisierbar. Als Alternative zur tiefenerweiterten Nmin-Beprobung ist neben der Abschätzung des Vorab-Verlustes die Möglichkeit der Durchführung „flacher Tiefbohrungen“ (z.B. bis 200 cm) zu prüfen.

Bei einer aufgetretenen Sickerwasserrate bis 50 mm wird generell keine Tiefenerweiterung der Beprobung oder Korrektur der Messwerte bis 90 cm empfohlen.

Die Methoden (2) und (3) basieren auf Wasserhaushalts-Berechnungen unter der Annahme einer gleichmäßigen Sickerwasser-Bewegung über den gesamten Profilquerschnitt. Für Sandböden ist diese Annahme im Allgemeinen gerechtfertigt, bei bindigen Substraten können jedoch Abweichungen auftreten (präferenzierter Fluss).

A 2 Auf den Faktor kommt es an – Umrechnung von Herbst-Nmin-Werten

2.1 Umrechnung von Nitrat- und Ammonium-Konzentrationen zu Nmin-Werten und umgekehrt

Um Nmin-Werte [kg NO₃-N/ha und kg NH₄-N/ha] mit Analysewerten zu vergleichen, die als Konzentration angegeben wurden [mg NO₃/l und mg NH₄/l], müssen Mengen in Konzentrationen oder Konzentrationen in Mengen umgerechnet werden. Dabei sind jedoch die Stoffkonzentrationen im Bodenwasser (Wurzelraum, d.h. von der Bodenoberfläche bis zur hydraulischen Wasserscheide bei ca. 120 – 150cm Tiefe) nicht mit denen im Sickerwasser (unterhalb der hydraulischen Wasserscheide) gleich zu setzen, da sie noch durch Niederschläge, Verdunstung und pflanzliche Nährstoffaufnahme beeinflusst werden können. Die Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser wird in Kapitel B 3.1 dargestellt.

Für die Umrechnung [kg N/ha] ↔ [mg NO₃/l] wird der **Wassergehalt** der Bodenproben, der bei der Nmin-Analyse im Labor bestimmt wird, benötigt. Die Umrechnung der Wassergehalts-Angaben ist in Kapitel A 2.2 ausgeführt.

2.1.1 Eingangsgrößen und Umrechnungsfaktoren

Zur Umrechnung von „Nitrat-N zu Nitrat“ bzw. von „Ammonium-N zu Ammonium“ werden folgende Umrechnungsfaktoren eingesetzt:

Nitrat-N x 4,43 = **Nitrat**

Ammonium-N x 1,29 = **Ammonium**

Der Wassergehalt wird bei der Probenanalyse gravimetrisch ermittelt. Um den Volumenbezug herzustellen, wird er in den Berechnungsformeln mit der Trockendichte TD multipliziert. Folgende Einheiten und Faustzahlen werden verwendet:

- WG** Prozentualer Wassergehalt (Gramm Wasser pro 100 Gramm Boden-Trockensubstanz)
TD Trockendichte (Gramm Boden pro Kubikzentimeter); bei Mineralböden werden folgende Faustzahlen eingesetzt:
Tiefe 0 – 30 cm: 1,4 g/cm³
Tiefe > 30 cm: 1,5 g/cm³

Organische Böden haben deutlich geringere Trockendichten. Zur Ermittlung der Trockendichte organischer Böden siehe Kapitel A 1.4.

2.1.2 Berechnung des Nmin-Wertes aus Nitrat- und Ammonium-Konzentrationen

Die vollständige Formel zur Berechnung der Nitrat-N-Menge in einer Bodenschicht aus der gemessenen Nitrat-Konzentration im Bodenwasser, dem Wassergehalt, der Trockendichte und der Schichtmächtigkeit (d) lautet:

Formel 9: Berechnung des Nitrat-N-Gehaltes [kg NO₃-N / ha] aus der NO₃-Konzentration im Bodenwasser, dem Wassergehalt und der Trockendichte des Bodens

Nitrat-N [kg / ha] =

$$\frac{\text{NO}_3 - \text{Konz.} \left[\frac{\text{mg NO}_3}{\text{l Wasser}} \right] \times \text{WG} \left[\frac{\text{l Wasser}}{100 \text{ kg Boden}} \right] \times \text{TD} \left[\frac{\text{kg Boden}}{10^{-3} \text{ m}^3 \text{ Boden}} \right] \times \frac{d [\text{dm}]}{10 \text{ dm/m}} \times 10^4 \text{ m}^2}{4,43 \left[\frac{\text{kg NO}_3}{\text{kg N}} \right]}$$

Durch Kürzen ergibt sich die folgende **vereinfachte Schreibweise**:

Formel 10: Vereinfachte Schreibweise der Formel 9

$$\text{Nitrat-N [kg / ha]} = \frac{\text{NO}_3 - \text{Konz.} \times \text{WG} \times \text{TD} \times d}{443}$$

Die vereinfachte Formel zur Berechnung des Ammonium-N aus der Ammonium-Konzentration lautet:

Formel 11: Berechnung des Ammonium-N-Gehaltes (vereinfachte Schreibweise)

$$\text{Ammonium-N [kg / ha]} = \frac{\text{NH}_4 - \text{Konz.} \times \text{WG} \times \text{TD} \times d}{129}$$

Für Nitrat und Ammonium zusammen ergibt sich also folgende Formel zur Berechnung des Nmin-Wertes:

*Formel 12: Berechnung des Nmin-Wertes
(Zusammenfassung von Formel 10 und Formel 11)*

$$\text{Nmin-Wert [kg / ha]} = \left(\frac{\text{NO}_3 - \text{Konz.}}{443} + \frac{\text{NH}_4 - \text{Konz.}}{129} \right) \times \text{WG} \times \text{TD} \times d$$

Die Schichtmächtigkeit d beträgt bei der Nmin-Beprobung normalerweise 3 dm.

2.1.3 Berechnung der Konzentrationen aus Nitrat-N- bzw. Ammonium-N-Wert

Durch Umstellen der obigen Formeln ergeben sich folgende Berechnungsvorschriften:

Formel 13: Berechnung der Nitrat-Konzentration aus dem Nitrat-N-Gehalt [kg NO₃-N / ha]

$$\text{NO}_3\text{-Konzentration [mg/l]} = \frac{\text{NO}_3\text{-N [kg/ha]} \times 443}{\text{WG} \times \text{TD} \times \text{d [dm]}}$$

Formel 14: Berechnung der Ammonium-N-Konzentration aus dem Ammonium-N-Gehalt [kg NH₄-N / ha]

$$\text{NH}_4\text{-Konzentration [mg/l]} = \frac{\text{NH}_4\text{-N [kg/ha]} \times 129}{\text{WG} \times \text{TD} \times \text{d [dm]}}$$

2.2 Umrechnung von Wassergehalts-Angaben

Die Umrechnung von Nitrat- und Ammonium-Mengen je Hektar zu Konzentrationen im Bodenwasser (und umgekehrt) ist nur möglich, wenn gleichzeitig der Wassergehalt des Bodens bekannt ist. Dieser wird bei der Analyse der Nmin-Proben als gewichtsbezogener (gravimetrischer) Wassergehalt (WG) ermittelt. Er sollte durch das Labor grundsätzlich zusammen mit den Analysedaten angegeben werden.

Der **gravimetrische Wassergehalt** wird mit **Bezug zur Trockensubstanz** angegeben. Die Berechnungsformel lautet:

Formel 15: Bestimmung des gravimetrischen Wassergehaltes aus dem Probengewicht vor und nach Trocknung

$$\text{WG} = 100\% \times \frac{(\text{Gewicht vor Trocknung}) - (\text{Gewicht nach Trocknung})}{(\text{Gewicht nach Trocknung})}$$

Bei Substraten mit geringer Trockendichte (Moorböden) kann der WG > 100% sein.

2.2.1 Umrechnung vom Trockenmasse-Anteil zum Wassergehalt

Alternativ zum Wassergehalt geben einige Labore den **Trockenmasse-Anteil TM** (in Gramm Boden-Trockensubstanz pro 100 g Boden-Frischsubstanz) an. Für die Formeln in dieser Broschüre wird in der Regel der Wassergehalt benötigt:

Formel 16: Berechnung des gravimetrischen Wassergehaltes aus dem Trockenmasse-Anteil

$$\text{WG} = \frac{10.000}{\text{TM}} - 100$$

2.2.2 Umrechnung vom Wassergehalt zum Trockenmasse-Anteil

Manche Auswertungs-„Werkzeuge“ erfordern statt des Wassergehaltes die Eingabe des Trockenmasse-Anteils TM:

Formel 17: Berechnung des Trockenmasse-Wertes aus dem gravimetrischen Wassergehalt

$$\text{TM} = \frac{10.000}{\text{WG} + 100}$$

A 3 Wasser und Boden im Internet - Der Infodienst Grundwasserschutz

3.1 Der Infodienst als Werkzeug für den Grundwasserschutz

Im internetgestützten „Infodienst Grundwasserschutz“ wird für landwirtschaftliche Referenzflächen in Niedersachsen der tagesaktuelle Bodenwasserhaushalt in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf und von der Nutzung dargestellt (vgl. Kapitel A 3.5).

Hauptzweck des Infodienstes ist die Festlegung witterungs- und bodenabhängig optimaler Beprobungszeitpunkte für die Herbst-Nmin-Untersuchungen, die von den Beratungsträgern für die TGG jederzeit abgefragt werden können. Außerdem wird der Beginn des Sickerwasserflusses (Nitratverlagerung) standortgenau prognostiziert und es können weitere grundwasserschutzrelevante Informationen abgeleitet werden (z.B. einzeljahresbezogene Sickerwasser-Raten).

Der Infodienst ist interaktiv, d.h. die Nutzer können im Internet u.a. die Standort- und Bodendaten der Referenzflächen und die Wetterdaten der Wetterstationen selbst eingeben.

3.2 Die ersten Schritte im Infodienst

Start des Infodienstes im Internet

Sie rufen den Infodienst Grundwasserschutz entweder direkt über die Internet-Adresse <http://memas01.lbeg.de/Lucidamap/igw/> auf oder Sie erreichen ihn über die Homepage des LBEG www.lbeg.niedersachsen.de. Um die volle Funktionalität des Infodienstes nutzen zu können, benötigen Sie eine persönliche Zugangskennung. Diese erhalten Sie kostenlos per Mail an GWS-Infodienst@lbeg.niedersachsen.de.

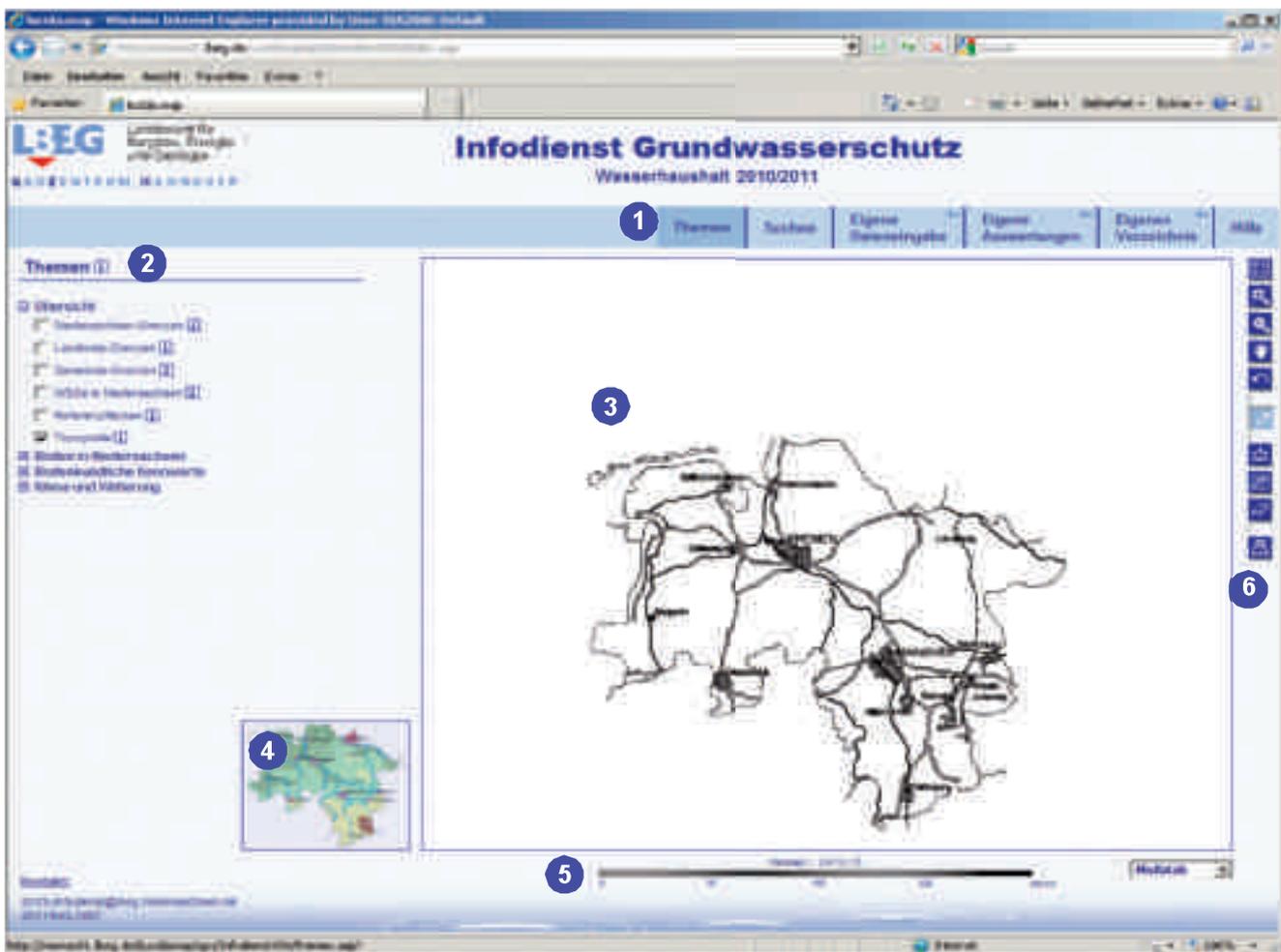
In den folgenden Kapiteln finden Sie einen Leitfaden für den Einstieg in den Infodienst. Die vollständige Benutzerhilfe erhalten Sie im Internet zum Herunterladen und Ausdrucken unter dem Menüpunkt Hilfe. Dieses Handbuch wird bei Änderungen bzw. Erweiterungen des Infodienstes durch das LBEG sofort aktualisiert.

Aufbau des Infodienstes

Der Infodienst Grundwasserschutz bietet einerseits landesweite allgemeine Informationen, die durch jeden Besucher ausgewählt und kartografisch dargestellt werden können. Diese beinhalten die weitgehend gleich bleibenden Standortdaten, topographische Informationen, Wassergewinnungsgebietsgrenzen und Standorte von Klimastationen. Diese Kartendarstellungen werden als „Themen“ auf der Startseite des Infodienstes zum Abruf angeboten.

Andererseits bietet der Infodienst die Möglichkeit, selbst Referenzflächen und Wetterdaten einzugeben, um benutzereigene Wasserhaushalts-Berechnungen durchführen zu lassen.

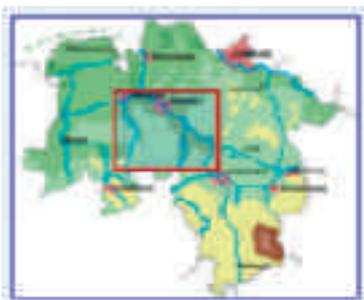
Im Folgenden werden die einzelnen Funktionen der Startseite des Infodienstes beschrieben:



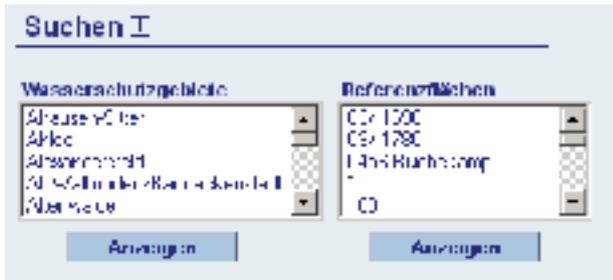
- 1 Die **Menüleiste** gliedert die verschiedenen Funktionen des Infodienstes.
- 2 Im **Inhaltsverzeichnis** werden die Inhalte der einzelnen Menüpunkte angezeigt (hier Menüpunkt **Themen**, d.h. Karten-Darstellungen). Wenn Sie oben einen anderen Menüpunkt anwählen, ändert sich auch der Inhalt im Inhaltsverzeichnis.
- 3 In der **Karte** werden die einzelnen Themen bzw. Layer angezeigt.
- 4 Im **Übersichtsfenster** können Sie mit einem verschiebbaren Rahmen den gewünschten Ausschnitt wählen.
- 5 Die **Maßstabsleiste** zeigt den aktuellen Kartenmaßstab. Im Auswahlfeld rechts daneben können Sie einen Standard-Maßstab wählen.
- 6 In der **Werkzeuggeste** stehen Zoom- und Zeichenfunktionen zur Verfügung. Mit dem Maptip  können die Kennwerte (z.B. FKWe) der Flächen in der Karte angezeigt werden.

Navigation im Infodienst

- ▶ In der Werkzeuggeste gibt es Knöpfe zum Vergrößern , Verkleinern  und Verschieben  der Karte.
- ▶ Im Übersichtsfenster können Sie sich mit gedrückter STRG-Taste direkt in den gewünschten Bereich zoomen:



- ▶ Wenn Sie ein bestimmtes WSG bzw. eine bestimmte Referenzfläche in der Karte anzeigen lassen möchten, gehen Sie auf den Menüpunkt **Suchen** und wählen in den Auswahlkatalogen **Wasserschutzgebiete** und **Referenzflächen** das gewünschte WSG bzw. die gewünschte Fläche aus:

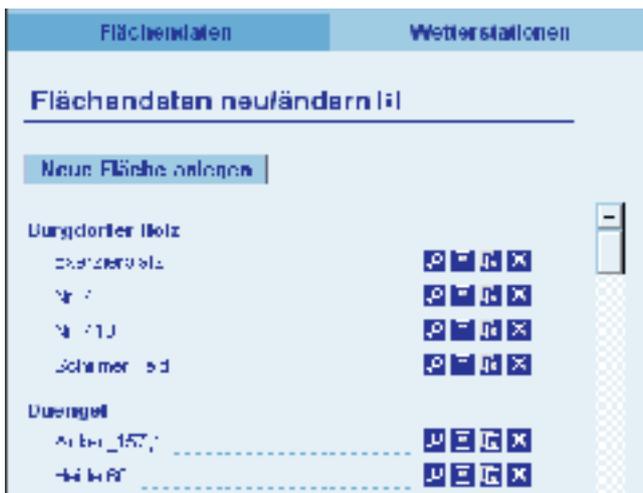


Nach Auswahl eines Wasserschutzgebietes wird die Auswahlliste der Referenzflächen entsprechend ausgefüllt.

3.3 Festlegung des Nmin-Probenahme-Zeitraumes im Infodienst

3.3.1 Eingabe der Referenzflächendaten

Unter dem Menüpunkt **Eigene Dateneingabe** gibt es einmal den Reiter **Flächendaten** zur Eingabe bzw. Änderung der Standortdaten und einmal den Reiter **Wetterstationen** zur Erfassung der Wetterdaten:



- Unter **Flächendaten** sind Ihre Referenzflächen wasserschutzgebietsweise sortiert.
- Rechts neben jeder Referenzfläche finden Sie 4 Aktionen:
 - automatisch auf die Fläche zoomen
 - Daten der Fläche bearbeiten
 - Fläche kopieren
 - Fläche löschen
- Mit dem Knopf **Neue Fläche anlegen** legen Sie eine neue Referenzfläche an.



- Für jede Fläche können Sie **Titeldaten, Bodendaten, Labordaten und Kulturdaten** bearbeiten.

Unter **Titeldaten** tragen Sie den Flächen- und WSG-Namen ein und legen den Lagepunkt der Fläche sowie die Wetterstation fest (= Primärstation, s. Kap. A 3.5).

Titeldaten
 Bodendaten
 Labordaten
 Kulturdaten

Horizontnummer	1	2	3
Oberfläche [cm]	0	30	55
Untere Tiefe [cm]	30	55	80
Luftmoist. Benennung <input type="checkbox"/>	Ap	Bw	Sw
Hauptbodenart <input type="checkbox"/>	mSfs	mSfs	S12
Skalarwert <input type="checkbox"/>	kein	kein	kein
Lagerungsdichte <input type="checkbox"/>	h3	h0	h0
Lagerungsdichte <input type="checkbox"/>	Ld2	Ld3	Ld3

- Unter **Bodendaten** erfassen Sie die Horizontdaten des Boden-Leitprofils bis in mind. 90 cm Tiefe. Folgende Horizonteigenschaften werden benötigt:

Titeldaten
 Bodendaten
 Labordaten
 Kulturdaten

* Bitte wählen Sie die folgende Tabelle für den Tag, wie viele Datensätze aus. (Die erste 00 = 50 cm ist optional)

Tag der Probenahme:	30.07.2005		
Tiefe [cm]	1-1	11-11	11-11
Trockenmasse [Gew.%] <input type="checkbox"/>	93.3	93.4	93.6
Wassergehalt [Gcw.%] <input type="checkbox"/>	7.2	7.1	6.0
Porosität [g/cm ³] <input type="checkbox"/>	1.3	1.4	1.4

- Unter **Labordaten** tragen Sie den Wassergehalt der Ernte-Nmin-Probenahme für die drei Nmin-Tiefen 30, 60 und 90 cm als Startwassergehalt sowie die Rohdichte ein. Zur Ableitung der Rohdichte anhand der Lagerungsdichte und Bodenart gibt es eine Hilfe im Infodienst. Zur Eichung der Wasserhaushaltssimulation können Sie hier zusätzlich weitere gemessene Wassergehalte (z.B. Wassergehalte der Frühjahrs-Nmin- bzw. Herbst-Nmin-Beprobung) erfassen (neuer Datensatz). Bei flachgründigen Böden reicht die Angabe des Wassergehaltes und der Rohdichte bis zur Tiefe 60 bzw. 30 cm aus.

Die Wasserhaushaltsberechnungen für die im System integrierten Referenzflächen können im aktuellen Jahr nur durchgeführt werden, wenn ein gemessener Startwassergehalt im Infodienst eingetragen wird. Der Startwassergehalt kann nicht simuliert bzw. nachberechnet werden!

Titeldaten
 Bodendaten
 Labordaten
 Kulturdaten

	Fruchtname	Fruchtbeginn	Fruchtbereich
Hauptfrucht	Winterweizen	15.10.2004	13.09.2005
Zwischenfrucht	js	11.05.2005	31.03.2006
Nachfrucht	Spelthaltweizen	13.04.2006	01.10.2006

- Unter **Kulturdaten** geben Sie die Anbaufrüchte (Haupt-, Zwischen- und Nachfrucht) des aktuellen Jahres an. Die Angabe der Zwischen- bzw. Nachfrucht ist optional bzw. die Nachfrucht kann, sobald sie bekannt ist, für das jeweilige Jahr nachgetragen werden.

3.3.2 Eingabe der Wetterdaten

Unter dem Menüpunkt **Eigene Dateneingabe, Wetterstationen** können Sie die Wetterdaten Ihrer Wetterstation(en) erfassen und ändern:



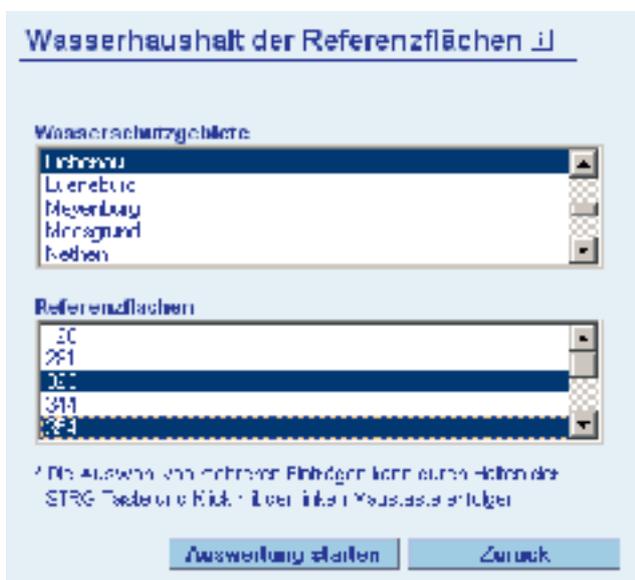
Jeder Wetterstation sind 3 Aktionen zugeordnet:

- automatisch auf die Wetterstation zoomen
- Sie können in einer Tabelle die Wetterdaten **tägliche Niederschlagsmenge (Ni), Lufttemperatur 14 Uhr (T 14:00) und Luftfeuchte 14 Uhr (Lf 14:00)** erfassen bzw. die Wetterdaten aus einer Excel-Tabelle übernehmen. Die Eingabe aus einer Excel-Datei ist ausführlich in der Benutzerhilfe beschrieben.
- Anzeige einer Liste der Referenzflächen, die der ausgewählten Wetterstation zugeordnet sind.



3.3.3 Abruf der Berechnungsergebnisse für das aktuelle Datum

Sie können die Ergebnisse der Wasserhaushaltssimulation für die im Infodienst angebotenen landwirtschaftlichen Referenzflächen für das aktuelle Datum abrufen. Die berechneten Kennwerte zum Wasserhaushalt dienen v.a. zur Terminierung der Herbst-Nmin-Probenahme im Rahmen der Erfolgskontrolle.



- Unter dem Menüpunkt **Eigene Auswertungen** wählen Sie die Auswertungsmethode „Wasserhaushalt der Referenzflächen“ aus.
- Anschließend wählen Sie in den Klapplisten **Wasserschutzgebiete** und **Referenzflächen** die gewünschte Referenzfläche aus und drücken auf **Auswertung starten**:

- Es wird eine PDF-Datei mit verschiedenen Kennwerten zum Bodenwasserhaushalt erstellt. Sie können die Datei unter dem Menüpunkt **Eigenes Verzeichnis** herunterladen.

Die Berechnung kann mehrere Minuten dauern. Sie können den Infodienst bzw. das Internet verlassen und die Datei später aus Ihrem Verzeichnis abholen!

Beispiel für die Ableitung des Probenahme-Zeitraumes aus dem Berechnungsergebnis:

WSG Liebenau		vom 18-Aug-2005 bis 18-Okt-2005	
344			
Aktueller Bodenwasservorrat in der Bodenschicht (9 dm)			
Anfangswassergehalt:		135 mm	
Bodenwassergehalt zum Stichtag:		148 mm	
Wassergehalt in % zur Feldkapazität:		91 %	
Wassergehalt in % zur nutzbaren FK:		87 %	
Fehlende Wassermenge bis zur FK:		15 mm	
Aktuelle Sickerwassermenge an der Untergrenze Bodenschicht			
Sickerwassermenge:		0 mm	
Verlagerungstiefe:		0 dm	
Empfohlene Nmin-Probenahmetiefe:		9 dm	
Witterung und Klima			
Niederschlag (Korr.):	94 mm	Primärstation:	Gliessen
Pot. Verdunstung (Haude):	126 mm	Ersatzstation:	Gliessen
Aktuelle Verdunstung:	81 mm	Masterstation:	Achim-Liesen
Klimatische Wasserbilanz:	-32 mm		
Nutzung und Boden			
Hauptfrucht:	Wintergerste	Bodentyp:	S-B3
Zwischenfrucht:	Senf	Bodenart(en):	mStu/mStu/mStu
Nachfrucht:	Sommergerste	FK 9 dm:	164 mm
		PWP 9 dm:	42 mm
		nFK 9 dm:	122 mm

Abb. 10: Auszüge aus einem Berechnungsergebnis (PDF-Datei) für die Referenzfläche „344“ im WSG Liebenau (18. Aug. 2005 = Ernte-Nmin-Beprobung mit Bestimmung des Startwassergehaltes = Start-Datum der Berechnung; 18. Okt. 2005 = Berechnungstichtag für den aktuellen Bodenwassergehalt und die aktuelle Sickerwassermenge)

Die Ergebnisse zum Bodenwasserhaushalt können wie folgt interpretiert werden:

- Der Berechnungszeitraum reicht vom 18.8.05 bis zum 18.10.05.
- Am 18.08.05 wurde der Anfangswassergehalt von 135 mm gemessen (Wassergehalt der Ernte-Nmin-Proben bis 90 cm aufsummiert).
- Die Berechnung bezieht sich auf die Bodenschicht bis 90 cm Tiefe.
- Der berechnete Bodenwassergehalt beträgt am 18.10.2005 148 mm.
- Die Bodenschicht bis 90 cm ist zu 91 %, bezogen auf die Feldkapazität von 164 mm, mit Wasser gefüllt.
- Es fehlt eine Wassermenge von 16 mm im Bodenprofil bis zum Erreichen der Feldkapazität bzw. bis zum Versickerungsbeginn. Nach dem nächsten Niederschlagsereignis von mind. 15 mm (zuzüglich der bis dahin erneut verdunsteten Wassermenge) wird die Feldkapazität erreicht sein.
- Die Sickerwasserbildung hat noch nicht begonnen (Sickerwassermenge = 0 mm).
- Die Nmin-Probenahme auf der Fläche 344 in Liebenau sollte bald möglichst durchgeführt werden!

Folgende Faustregeln sind zur Festlegung des Nmin-Probenahme-Zeitraumes zu beachten:

- Die Herbst-Nmin-Beprobung sollte generell im Zeitraum zwischen dem **20.10. bis 30.11.** stattfinden (vgl. Abb. 2).
- Bis zum 20.10. sind noch nennenswerte N-Mineralisationsraten zu erwarten. Bei früherer Beprobung wird die

herbstliche N-Mineralisation daher nur unvollständig erfasst. Mögliche Korrekturverfahren für Jahre mit früh einsetzender Sickerwasserbildung sind in Kap. A 1.5.2 beschrieben. Bei hoher Sickerwasserbildung vor dem 20.10. (Anhaltspunkt: > 100 mm) ist die Sinnhaftigkeit der Herbst-Nmin-Methode für das betreffende Jahr insgesamt zu hinterfragen und in der Regel von einer Beprobung abzuraten.

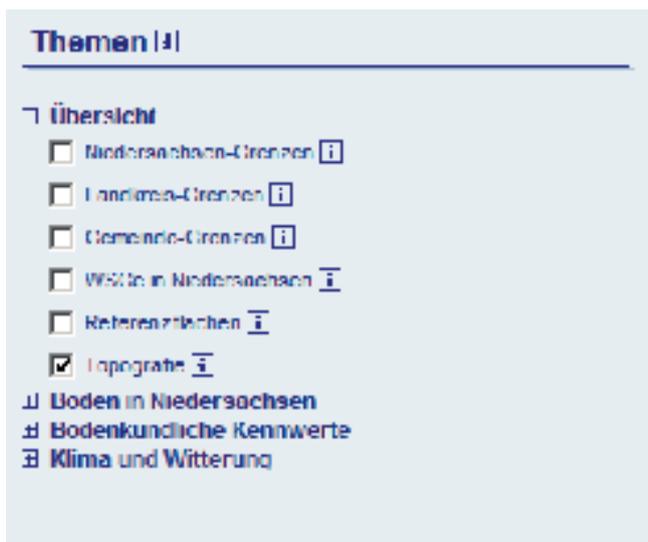
- In den meisten Fällen tritt spätestens Ende November das erste Sickerwasser auf. Eine Herbst-Nmin-Beprobung im Dezember würde daher die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit Werten aus anderen Jahren bzw. Gebieten erschweren, weil sie bereits die winterliche N-Mineralisation mit erfasst.
- Innerhalb des Ziel-Zeitraumes sollte mit der Probenahme begonnen werden, sobald die „**fehlende Wassermenge bis zur FK**“ ≤ 50 mm beträgt, da Regenfälle dann innerhalb weniger Tage zum Einsetzen der Versickerung führen können.
- Bei einer aufgetretenen **Sickerwasserrate von bis zu 50 mm ist eine Beprobung bis zur regulären Tiefe (meist 90 cm) noch sinnvoll**, da die Nmin-Werte bei dieser Sickerwassermenge erfahrungsgemäß noch nicht korrigiert werden müssen. Bei höheren Sickerwassermengen sollte eine erweiterte Probenahmetiefe bzw. Korrektur der Herbst-Nmin-Werte erfolgen (vgl. Kapitel A1.5.2).

3.4 Weitere Themen im Infodienst

Wasser und Boden niedersachsenweit

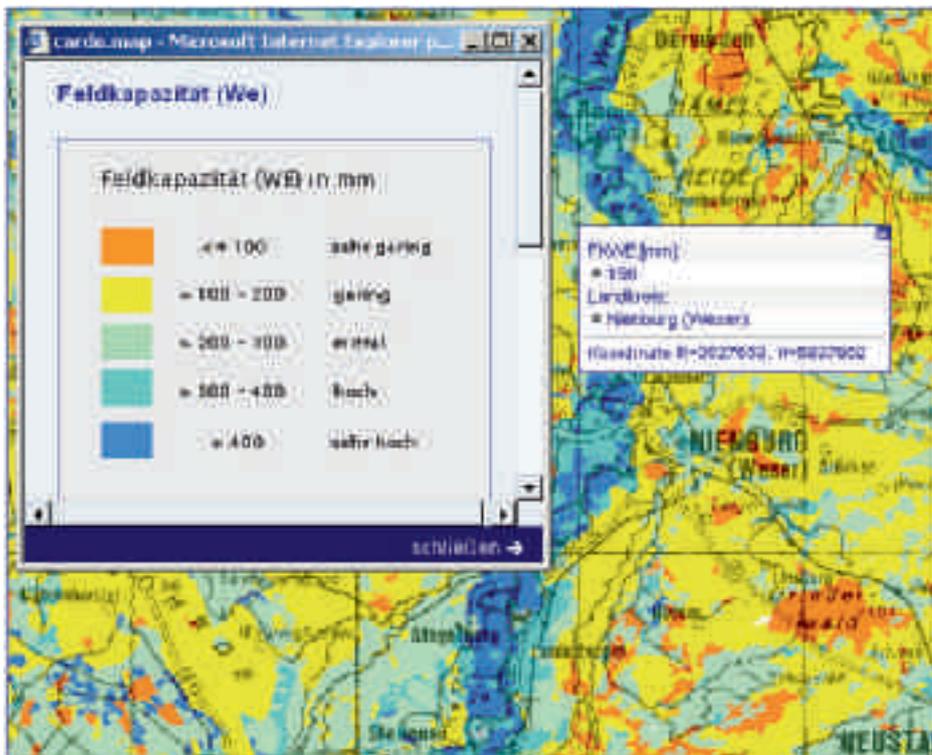
Unter dem Menüpunkt **Themen** sind Karten zu den Themen verfügbar:

Böden in Niedersachsen, Bodenkundliche Kennwerte sowie, **Klima und Witterung** Weitere Informationen sind die Verwaltungsgrenzen Niedersachsens, die Lage der TGG und die Lage der von den Wasserschutzberatern gemeldeten Referenzflächen.



- ▶ In der Themenliste können Sie die einzelnen Themen mit dem  aufklappen und mit dem  wieder zuklappen. Die Karten-Layer sind durch das Setzen eines Häkchens sichtbar zu schalten.
- ▶ Zu jedem Layer gibt es eine Legende, die Sie über den -Button aufrufen können. Mit dem Maptip  in der Werkzeugleiste erhalten Sie den Kennwert für eine bestimmte Fläche in der Karte. Sie müssen vorher die gewünschte Fläche in der Karte anklicken.

Beispiel Thema „Bodenkundliche Kennwerte“, Layer „Feldkapazität der effektiven Durchwurzelungstiefe (We)“:



Abruf von aktuellen Wetterdaten

Sie können die Wetterdaten für das aktuelle Jahr für alle im System integrierten Wetterstationen abrufen.

- ▶ Unter dem Menüpunkt **Eigene Auswertungen** wählen Sie die Auswertungsmethode **Aktuelle Wetterdaten** abfragen aus.
- ▶ In der Klappliste markieren Sie die gewünschte Wetterstation und geben darunter an, ob Sie Tages- oder Monatswerte ausgegeben haben möchten. Bei den Monatswerten wird zusätzlich ein Vergleich zum langjährigen Mittel erstellt. Anschließend drücken Sie auf **Auswertung starten**:

The screenshot shows a dialog box titled 'Wetterstation'. It contains a dropdown menu with 'Glissen' selected. Below the dropdown, there is a section titled 'Gewünschte Daten:' with three radio button options:

- Tageswerte
- Monatswerte
- Tages- und Monatswerte

- ▶ Nach Beendigung der Berechnung wird eine PDF-Datei unter dem Menüpunkt **Eigenes Verzeichnis** abgelegt.

Die Berechnung kann mehrere Minuten dauern. Sie können den Infodienst bzw. das Internet verlassen und die Datei später aus Ihrem Verzeichnis abholen!

3.5 Referenzflächen- und Wetterstations-Messnetz

Die Wasserhaushaltssimulationen werden für landwirtschaftlich genutzte Referenzflächen zur Optimierung der Herbst-Nmin-Probenahme beim LBEG seit 1999 durchgeführt. In jedem Folgejahr wurden weitere Flächen von den Beratungsträgern angemeldet, so dass das immer dichter werdende **Referenzflächen-Messnetz** mittlerweile aus mehr als 150 Schlägen in ca. 90 Wassergewinnungsgebieten besteht. Mit einem Startwassergehalt, Boden- und Nutzungsdaten sowie Wetterparametern wird mit Hilfe des Wasserhaushaltsmodells nach WENDLING et al. (1991) [33] der tägliche Bodenwasserhaushalt [8] für die Flächen berechnet (vgl. Anhang).

Das Wetterstations-Messnetz setzt sich zusammen aus den 13 LBEG-Wetterstationen (= Masterstationen) und aus weiteren externen Wetterstationen (= Primärstationen). Bei allen LBEG-Stationen werden die drei Wetterparameter Niederschlag, Luftfeuchte und Tagestemperatur mit Hilfe von Data Loggern stündlich aufgezeichnet.

Die externen Wetterstationen liefern tägliche Niederschlags- und z.T. Temperatur- und Luftfeuchtedaten und werden von Wasserwerksbetreibern, von Ingenieurbüros, Landwirten, von der Landwirtschaftskammer usw. automatisch oder manuell aufgezeichnet. Der Datenfluss und die Datenqualität sind dementsprechend unterschiedlich.

Jeder Referenzfläche muss im Infodienst eine Primärstation zugeordnet werden. Die lokal stark variierenden Niederschläge sollten möglichst dicht bei der Fläche liegen und der Niederschlag sollte mindestens täglich aufgezeichnet werden. Außerdem wird jeder Referenzfläche automatisch datenbankseitig eine Masterstation zugeordnet, um gegebenenfalls fehlende Wetterdaten der Primärstation bis zum Stichtag ergänzen zu können. Zeichnet die Primärstation nur den Niederschlag auf, werden die Parameter Lufttemperatur und Luftfeuchte komplett von der zugeordneten Masterstation übernommen.

Die Durchführung der Wasserhaushalts-Berechnung wird für alle relevanten Standorttypen und möglichst auch für die wichtigsten Anbausituationen eines TGG empfohlen. Die Berater vor Ort sind daher aufgefordert, weitere Referenzflächen festzulegen, für die Boden-Leitprofile angegeben werden können.

Die Referenzflächen sollten vor allem hinsichtlich der Standorteigenschaften und Bewirtschaftung genau dokumentiert werden.

3.6 Ausblick

Zur Zeit sind über 150 Referenzflächen in 90 TGG angeschlossen und es werden ca. 90 Berater aus Landwirtschaftskammern, Landbauberatung, Ingenieurbüros und NLWKN informiert. Der Infodienst ist somit ein wesentliches Werkzeug zur Steuerung von Maßnahmen im Grundwasserschutz. Es ist geplant, den Internetdienst für weitere Fragestellungen und Standorte zu erweitern. Dies betrifft neben einer Erweiterung des Bodenwasserhaushaltsmodells beispielsweise die Prognose von Sickerwasseranfall außerhalb der winterlichen Neubildungsperiode.

Teil B Herbst-Nmin als Monitoring- und Prognoseinstrument

Im Rahmen von Untersuchungsprogrammen wird die Herbst-Nmin-Methode sowohl zur Bewertung einzelner Maßnahmen bzw. Anbausysteme, als auch für das Gebiets-Monitoring eingesetzt. Die nachfolgenden Kapitel geben konkrete Empfehlungen zur Planung und Auswertung von Untersuchungsprogrammen, um eine **maximale Repräsentativität und Aussagekraft bei gleichzeitig (meist kostenbedingt) begrenztem Untersuchungsumfang** zu erzielen.

Primäre Zielsetzung der Nmin-Programme ist die repräsentative Erfassung des Bewirtschaftungseinflusses auf die **Mineralstickstoff-Akkumulation im Boden (Wurzelzone) vor Beginn der winterlichen Nitrat-Auswaschung**.

Stickstoff-bezogene Grundwasserschutz-Maßnahmen zielen auf eine Minderung der jährlichen Nitrat-Auswaschung ab. Nicht von jeder einzelnen Maßnahme ist jedoch bereits im Jahr der Durchführung eine Minderung des Herbst-Nmin-Wertes zu erwarten. In **Kapitel B 1** werden die Möglichkeiten zur Nutzung der Herbst-Nmin-Methode für das **Maßnahmen-Monitoring** detailliert beschrieben.

Der Einsatz der Herbst-Nmin-Methode für das fortlaufende **Gebiets-Monitoring** in TGG und anderen Gebiets-einheiten wird in **Kapitel B 2** dargestellt. Die Beprobungsplanung setzt ausreichende Kenntnisse der Standort- und Nutzungsverhältnisse, sowie die Erfassung der Herbst-Nmin-relevanten Grundwasserschutz-Maßnahmen voraus. Das konkrete Vorgehen wird in **Kapitel B 2.1** an einem Fallbeispiel erläutert. Anhand der Flächenanteile der klassifizierten Standort-/Frucht-/Maßnahmen-Kombinationen kann aus den zugeordneten Nmin-Ergebnissen der **gebietsrepräsentative Herbst-Nmin-Mittelwert** berechnet werden (**Kapitel B 2.2**). Besonderheiten bei der gebietsbezogenen Aggregation der **Nitrat-Konzentrationen und -frachten im Sickerwasser** werden in **Kapitel B 2.4** erläutert.

Sickerwasser ist das Wasser in der ungesättigten Tiefenzone, das für Pflanzenwurzeln nicht mehr erreichbar ist, d. h. es ist die Vorstufe zum Grundwasser. Möglichkeiten und Grenzen der **Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser** werden in **Kapitel B 3** dargestellt.

Kapitel B 3.1 enthält hierzu ein gegenüber der vorläufigen Fassung [25] dieser Anwenderbroschüre verbessertes Berechnungsverfahren. In **Kapitel B 3.2** werden die Ergebnisse der umfassenden Validierung der Berechnungsmethode in vier Pilotgebieten in Niedersachsen dargestellt. Die Eignung der Nmin-Methode insbesondere zur mehrjährigen Sickerwassergüte-Prognose in Geestgebieten wird hierdurch bestätigt.

Mögliche **Alternativen zur Herbst-Nmin-Methode** als Werkzeug zum Sickerwassergüte-Monitoring und die Entscheidungskriterien zu ihrem Einsatz werden in **Kapitel B 4** dargestellt. Abschließend wird in **Kapitel B 5** der mögliche Einsatz der Herbst-Nmin-Methode als Monitoring-Instrument zur Umsetzung der **EG-WRRL** erörtert. Dies beinhaltet eine Empfehlung zur erforderlichen **Datenerfassung**, die eine langfristige, universelle Auswertbarkeit von Herbst-Nmin-Daten gewährleistet.

B 1 Anwendung der Herbst-Nmin-Methode beim Maßnahmen-Monitoring

1.1 Eignung der Methode zum Maßnahmen-Monitoring

Maßnahmen, die speziell eine Verminderung des Mineralstickstoffgehaltes im Herbst anstreben, können durch die Herbst-Nmin-Untersuchung unmittelbar überprüft werden. Andere Maßnahmen können z.T. langfristig durch Herbst-Nmin-Untersuchungen überprüft werden. Nur Maßnahmen, die speziell auf eine Verminderung von N-Austrägen im Frühjahr und Sommer abzielen, können durch Herbst-Nmin-Untersuchungen nicht bewertet werden.

Der im Herbst über Nmin messbare Mineralstickstoffgehalt macht nur einen geringen Teil des Gesamt-Stickstoffgehaltes der Ackerböden aus – ein Vielfaches ist in der organischen Substanz (Humus) gebunden, siehe Abb. 11.

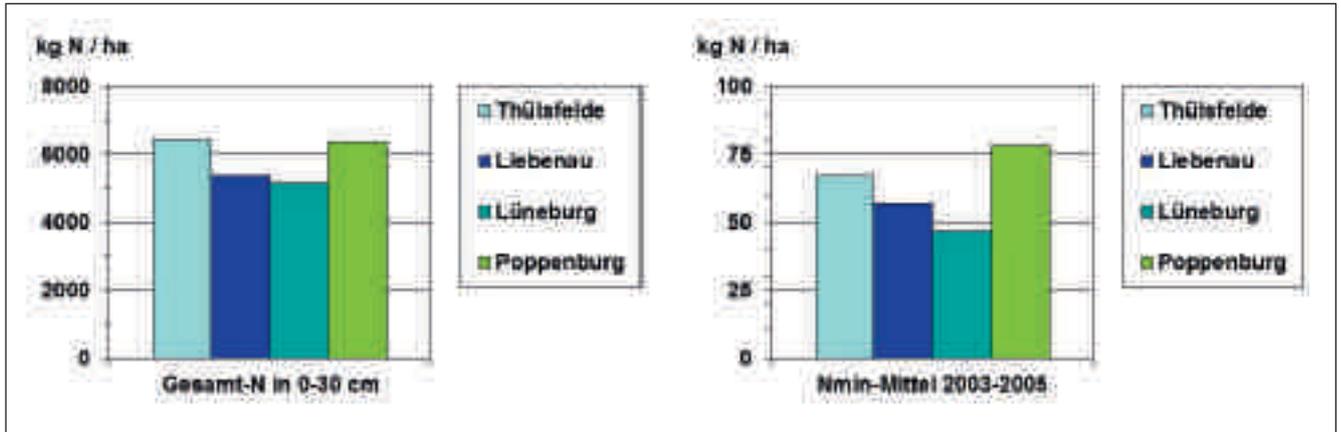


Abb. 11: Gesamt-N-Gehalt der Krume und mittlerer Herbst-Nmin-Wert 2003 bis 2005 von 30 Flächen in vier niedersächsischen Wasserschutzgebieten

Dabei hat jeder Standort einen eigenen Gleichgewichts-N-Gehalt, der z.B. durch Eingriffe wie Krumenvertiefung oder Umwandlung von Acker in Grünland erhöht, durch Grünlandumbruch dagegen erniedrigt wird. Das ist mit längerfristig niedrigen oder höheren Nmin-Werten verbunden. Solche Ungleichgewichts-Standorte müssen im Maßnahmen-Monitoring und im Gebiets-Monitoring gesondert berücksichtigt werden.

Weniger tief greifende Bewirtschaftungs-Änderungen werden **teilweise** ebenfalls durch die organische Substanz (d.h. durch eine praktisch nicht messbare Zu- oder Abnahme des in ihr gespeicherten Stickstoffes) abgepuffert. Dazu gehört z.B. ein verändertes Düngeverhalten. Die Herbst-Nmin-Methode ist daher nicht zur Erfolgskontrolle aller Grundwasserschutz-Maßnahmen geeignet.

Im Gebiets-Monitoring werden daher Freiwillige Vereinbarungen zum Grundwasserschutz von vornherein in solche **„mit“ bzw. „ohne“ eine zu erwartende Auswirkung auf den Herbst-Nmin-Wert** unterschieden. Im Maßnahmen-Monitoring sollte der mögliche Maßnahmen-Effekt genauer (quantitativ) erfasst werden.

Tab. 2 gibt einen Überblick über die Eignung der Herbst-Nmin-Methode zur Bewertung schlagbezogener Maßnahmen im Jahr der Durchführung.

Tab. 2: Eignung der Herbst-Nmin-Methode zur Bewertung einzelner, schlagbezogener Grundwasserschutz-Maßnahmen (vgl. EU-notifizierter Maßnahmenkatalog Niedersachsen)

Grundwasserschutz-Maßnahmen	Eignung der Herbst-Nmin-Untersuchung		
	gut	bedingt	ungeeignet
Zeitliche Beschränkung der Aufbringung tierischer Wirtschaftsdünger (A) Spätsommer/Herbst (B) Frühjahr	X (A)		X (B)
Verzicht auf den Einsatz tierischer Wirtschaftsdünger		X	
Gewässerschonende Aufbringung von Wirtschaftsdüngern		X	
Wirtschaftsdünger- und Bodenuntersuchungen			X
Aktive Begrünung (Zwischenfrucht, Untersaat, Brache)	X		
Gewässerschonende Fruchtfolgegestaltung	X		
Extensive Bewirtschaftung von Grünland		X	
Umbruchlose Grünlanderneuerung	X		
Reduzierte N-Düngung			X
Reduzierte Bodenbearbeitung (im Herbst)	X		
Maisensaat		X	
Unterfußdüngung			X
Einsatz stabilerer N-Dünger			X
Reduzierter Herbizideinsatz			X
Umwandlung von Acker in extensives Grünland/extensives Feldgras	X		
Erosionsschutz Forst			X
Waldumbau			X

Dabei kann der Maßnahmeneffekt im Einzelfall durch andere Faktoren überlagert werden. Generell sollten die Untersuchungsergebnisse für mehrere Schläge gemittelt werden. Dabei gilt: Je höher der erwartete Maßnahmeneffekt ist, umso geringer ist der erforderliche Stichprobenumfang (vgl. [14], [24]).

- Meist erfolgt die Maßnahmen-Bewertung durch Vergleich von Nmin-Werten, die **im selben Jahr** auf Schlägen „mit“ und „ohne“ **Maßnahme** gewonnen wurden. Dies erfordert annähernd gleiche Standortbedingungen in beiden Stichproben, da verschiedene Böden ein unterschiedliches Mineralisationsverhalten aufweisen, auch wenn es sich nicht um N-Quellen- oder N-Senken-Standorte handelt.
- Eine „Vorher- / Nachher-“ **Beprobung** des gleichen Schlages kommt v. a. für längerfristige Maßnahmen mit erhöhter Eingriffsintensität bzw. Erfolgserwartung in Frage (z. B. Umwandlung von Acker zu Grünland, Auslagerung zur Flächenstilllegung). Vorteil ist hierbei der gleichbleibende Standorteinfluss (vgl. Kapitel B 2.1). Andererseits muss der unterschiedliche Witterungseinfluss berücksichtigt werden.

Neben den vertraglich vereinbarten Einzelmaßnahmen (z. B. Freiwillige Vereinbarungen, Agrar-Umwelt-Maßnahmen) zielt die Zusatzberatung Wasserschutz als Ganzes durch Düngungs- und Anbauberatung längerfristig auf eine Reduzierung der Herbst-Nmin-Werte ab. Dies kann durch Zeitreihen gebietsrepräsentativer Herbst-Nmin-Mittelwerte für mehrere Jahre überprüft werden.

1.2 Auswertung der Ergebnisse

Für den Maßnahmenvergleich werden meist Beprobungen auf mehreren Schlägen durchgeführt. Die Ergebnisse werden nach Anbaufrüchten getrennt für die Flächen „mit“ und „ohne“ Maßnahme gemittelt und z. B. in Form von Säulendiagrammen dargestellt.

- Zur Mittelung hat sich der **arithmetische Mittelwert** durchgesetzt (Summe aller Einzelwerte geteilt durch Anzahl der Werte). Dieser kann aber durch besonders hohe Einzelwerte stark beeinflusst werden, deren Ursache oft nicht in der Maßnahmen-Teilnahme oder Nicht-Teilnahme liegt, sondern z. B. standortbedingt

ist. Ergänzend zum Mittelwert sollte daher die Spannweite (größter und kleinster Wert) oder ggf. der Median angegeben werden.

- Der **Median - Wert** gibt den Wert an, der bei aufsteigender Sortierung der Einzelwerte genau in der Mitte liegt. Bei 15 Einzelwerten entspricht also der 8. Wert dem Median, bei 16 Einzelwerten ist es der Mittelwert zwischen dem 8. und dem 9. Wert. Der Median ist der „wahrscheinlichste Wert“ bzw. der „Erwartungswert“ für die jeweilige Kombination von Einflussfaktoren und insofern ein geeignetes Kriterium für die Maßnahmenbewertung. Er wird im Unterschied zum arithmetischen Mittelwert nicht durch die Extremwerte beeinflusst, und liegt **meistens unter dem arithmetischen Mittelwert**.
Median-Werte können somit nicht mit Mittelwert-Angaben verglichen werden. Der arithmetische Mittelwert als gängigerer Bewertungsparameter sollte daher ergänzend angegeben werden.
- Für Vergleichsuntersuchungen (z.B. Angabe des Nmin-Minderungspotenzials für eine Grundwasserschutz-Maßnahme) ist die **Differenz der Median-Werte** ein sehr **aussagekräftiger Parameter**. Das insgesamt niedrigere Niveau der Median-Werte gegenüber arithmetischen Mittelwerten kommt hierbei nicht zum Tragen.

B 2 Anwendung beim Gebiets-Monitoring

Herbst-Nmin-Programme werden in der Praxis meistens gleichzeitig zum Gebiets- und Maßnahmen-Monitoring genutzt. In erster Linie wird der Beprobungsumfang an das Maßnahmen-Monitoring angepasst. Für das Gebiets-Monitoring sollte eine möglichst breite Datenbasis erstellt werden, da hier die gewichtete Mittelung der Nmin-Werte (Kapitel B2.2) eine besondere Bedeutung hat.

Die jährlich ausgewaschene Mineral-N-Fracht und die mittlere Sickerwassergüte lassen sich aus dem mittleren Herbst-Nmin-Wert eines Gebietes nur bedingt ableiten. Die Mittelung der Nitrat-Frachten und der Sickerwassergüte wird daher gesondert dargestellt (Kapitel B2.3).

2.1 Kriterien bei der Planung von Herbst-Nmin-Programmen zum Gebiets-Monitoring

2.1.1 Flächenanteile der wichtigsten Einflussfaktor-Kombinationen als Grundlage

Herbst-Nmin-Programme zum Gebiets-Monitoring sollen die Trendbeschreibung (Ausgangszustand und Zeitreihen) der Nitrat-Belastung in der Wurzelzone z. B. für ein Wassergewinnungsgebiet ermöglichen. Sie können auf landwirtschaftliche Flächennutzungen beschränkt werden oder andere Flächennutzungen (Forst, Kleingärten, etc.) einschließen. Je nach Flächenanteil und Gefährdungspotenzial können für die nicht-landwirtschaftlichen Flächennutzungen ggf. Schätzwerte genutzt werden ([18], [19]).

Gebietsrepräsentative Trendaussagen für die landwirtschaftlich genutzte Fläche erfordern einen ausreichenden Stichprobenumfang für die Nmin-relevanten Einflussgrößen (vgl. Abb. 12). Im Einzelnen müssen die folgenden drei Haupt-Einflussfaktoren berücksichtigt werden:

- (1) **Standorttyp** (N-Gleichgewichts-, Senken- oder Quellen-Eigenschaften, sowie Ausgangssubstrat, z. B. Sand- / Lehm- / Ton- Standorte)
- (2) **Anbausituation** (Anbaufrüchte/-systeme der Ackernutzung, Nutzungstypen des Grünlandes, sowie Viehbesatz der Betriebe)
- (3) **Grundwasserschutz-Maßnahmen** (Einbeziehung aller Maßnahmen, für deren Erfolgsprüfung die Herbst-Nmin-Methode geeignet ist)

Aus diesen drei Haupt-Einflussfaktoren ergibt sich eine Vielzahl unterschiedlicher Kombinationen, die jedoch nicht alle bei der Aufteilung eines verfügbaren Herbst-Nmin-Beprobungs-umfanges von z.B. 60 Einzelproben berücksichtigt werden können. Vielmehr müssen in einem ersten Schritt **die wichtigsten Standort-Anbau-Kombinationen (Faktorkombinationen)** ermittelt werden. Für die Flächenauswahl zur Nmin-Beprobung ist

jedoch nicht nur der Flächenanteil der jeweiligen Faktorkombination in dem Gebiet, sondern auch die potenzielle Nitratbelastung, die von ihr ausgeht, von Bedeutung.

Die Planung für das Gebiets-Monitoring setzt die Auswertung einer bodenkundlichen Gebietskartierung, insbesondere die Ermittlung potenzieller N-Quellenstandorte (entwässerte Niedermoor- und Anmoorböden, aber auch Grünlandumbruchflächen) und N-Senken-standorten (z. B. ehemalige Hochmoorflächen oder junge Krumenvertiefungen) voraus. Auf diesen Flächen wird der landwirtschaftliche Bewirtschaftungseffekt stark durch den Standorteinfluss auf den N_{min}-Wert überlagert.

Nach diesen Vorarbeiten wird der insgesamt verfügbare Beprobungsumfang (jährlich beauftragte Anzahl Herbst-N_{min}-Beprobungen) annähernd repräsentativ auf die ausgewählten Faktorkombinationen aufgeteilt.

2.1.2 Fallbeispiel (nach realen Daten des WSG Liebenau)

(1) Charakterisierung der Standortverhältnisse

Da keine bodenkundliche Gebietskartierung vorliegt, wurden anhand von Daten der Substrattypen der Bodenkundlichen Übersichtskarte 1:50.000¹ folgende Flächensummen der Haupt-Standorttypen (nach Substrat) abgeleitet:

Tab. 3: Flächenanteile der Haupt-Standorttypen

Standorttyp	Fläche [ha]	Flächenanteil [%]
Schmelzwassersande über Geschiebelehm	1367	56%
Schmelzwassersande	700	29%
Talsande, GW-nah	182	7%
Moor	179	7%
ohne Angabe	20	1%

Der Substrattyp „Moor“ beinhaltet überwiegend Niedermoor-Standorte (potenzielle N Quellenstandorte), und einige Hochmoor-Standorte (N-Senken). Die Moorstandorte wurden in einem Sonderprogramm bereits untersucht. Sie weisen zwar zum Teil hohe N-Mineralisationsraten auf, diese werden aber in der Regel durch Denitrifikation in den unteren, wassergesättigten Schichten wieder ausgeglichen. Die Talsand-Standorte besitzen zwar ebenfalls N-Quellen-Eigenschaften, werden aber noch stärker durch die Anbaufrucht geprägt. Der Geschiebelehm steht auf den mit „Schmelzwassersand über Geschiebelehm“ charakterisierten Standorten überwiegend erst unterhalb von 90 cm Tiefe an. Diese beiden Standorttypen weisen daher keine bedeutenden N_{min}-relevanten Unterschiede auf.

Grünlandumbruch und Krumenvertiefung spielten in den vergangenen 20 Jahren keine bedeutende Rolle.

- 92% der Standorte können somit als N-Gleichgewichtsstandorte angesprochen werden. Für diese Flächen ist eine weitere Differenzierung nach Anbaufrüchten sinnvoll. Der mögliche Standorteinfluss sollte hierbei beachtet werden, muss aber voraussichtlich nicht explizit in die Gesamtgebiets-Auswertung einfließen.
- Die 7% Moorböden sind stärker durch die bodenbürtige N-Dynamik geprägt. Der Anbaufrucht-Einfluss wird hier durch den Einfluss des Standortes bzw. durch den Entwässerungszustand der Böden überlagert.

¹ Digitale nutzungsdifferenzierte Bodenkundliche Übersichtskarte 1:50.000 (BÜK50n) von Niedersachsen (erhältlich beim LBEG)

(2) Auswertung der Fruchtartenverteilung nach Standorttypen

Die Anbaufrüchte werden nach Frucht-Kategorien zusammengefasst, die je nach Anbaustatistik von Gebiet zu Gebiet unterschiedlich „eng“ oder „weit“ festgelegt werden können. Tab. 4 zeigt die Anbauflächen der wichtigsten Fruchtarten des WSG Liebenau und den prozentualen Anteil an der Gesamt-LF nach Bodenkategorien.

Tab. 4: Flächenanteile der Anbaufrucht-Kategorien 2005

Anbaufrucht-Kategorie	Fläche [ha]	%	Substrattyp				
			Schmelzwasser-sande über Ge-schiebelehm	Schmelz-wasser-sande	Talsande	Moor	unbekannt
Sommergetreide	278	11%	8%	3%	0,3%	0,0%	0,1%
Wintergetreide	805	33%	22%	9%	1%	0,2%	0,2%
Mais	298	12%	8%	4%	0,1%	0,2%	0,0%
Raps	128	5%	3%	2%	0,0%	0,0%	0,0%
Grünland	531	22%	6%	4%	5%	6,4%	0,4%
Feldgras	71	3%	1%	1%	1%	0,1%	0,0%
Brache	259	11%	6%	4%	1%	0,4%	0,1%
Sonstige	78	3%	1%	2%	0,1%	0,0%	0,0%

Der Auswertung ist zu entnehmen, dass die potenziellen N-Quellenstandorte nahezu vollständig als Grünland genutzt werden. Die Verteilung der Ackerfrüchte sowie Bracheflächen auf die mineralischen Böden zeigt demgegenüber keinen klaren systematischen Zusammenhang.

- Die Planung der Herbst-Nmin-Beprobung der Ackerflächen kann aus Sicht des Gebiets-Monitorings daher vorwiegend nach Flächenanteil und N-Belastungspotenzial der Anbaufrüchte erfolgen. Die unterschiedlichen Substrattypen sind von untergeordneter Bedeutung.
- Moorstandorte werden nicht im allgemeinen Gebietsmonitoring berücksichtigt, d.h. die Herbst-Nmin-Beprobung beschränkt sich auf die Standorte, auf denen der Bewirtschaftungseinfluss überwiegt.

(3) Zusammenfassung Freiwilliger Vereinbarungen nach ihrer Bedeutung für den Herbst-Nmin-Wert

Nicht alle Grundwasserschutz-Maßnahmen lassen eine Reduktion des Herbst-Nmin-Wertes im Jahr der Maßnahmendurchführung erwarten (vgl. Kapitel B1). Im Rahmen des **Gebiets-Monitorings** werden nur die Maßnahmen gesondert ausgewertet, von denen eine Reduktion des Herbst-Nmin-Wertes erwartet wird.

2.1.3 Planungsergebnis zur Monitoring-geeigneten Herbst-Nmin-Beprobung für das Fallbeispiel

Tab. 5 zeigt die tatsächliche Aufteilung des Beprobungskontingentes von 119 Herbst-Nmin-Proben des WSG Liebenau auf die **Faktorkombinationen aus Frucht-kategorie, Standorttyp und Nmin-relevanten Freiwilligen Vereinbarungen (FV)**. Für die Kombinationen aus Anbaufrüchten und Maßnahmen ist zusätzlich die jeweilige Anbaufläche angegeben.

Tab. 5: Anzahl Herbst-Nmin-Proben nach Anbaufrüchten, Standort-Kategorien und Nmin-reduzierenden Freiwilligen Vereinbarungen als Planungsergebnis (WSG Liebenau, 2005)

Anbaufrucht-Kategorie	FV mit Nmin-Reduzierung	Anbaufläche [ha]	Probenanzahl		
			Schmelzwassersand über Geschiebelehm	Schmelzwassersande	Talsande
So.-Getreide	ohne	240	6	2	
So.-Getreide	mit	38	2	1	
Wi.-Getreide	ohne	392	16	5	1
Wi.-Getreide	mit	413	17	8	
Mais	ohne	298	14	6	
Raps	ohne	62	3	2	
Raps	mit	66	2	1	
Grünland		531	3	3	5
Feldgras		71	4	3	3
Brache		259	7	4	1

Die Aufteilung auf die Anbaufrüchte entspricht weitgehend ihren jeweiligen Flächenanteilen. Flächen mit Nmin-reduzierenden Freiwilligen Vereinbarungen werden jedoch anteilig häufiger beprobt als es ihrem Flächenanteil entspricht. Das ist eine Folge des Maßnahmen-Monitorings, das mit dem gleichen Beprobungskontingent abgedeckt werden soll. Weitere Planungsdetails sind:

- Mais und Raps werden wegen ihres erhöhten Belastungspotenzials überrepräsentativ berücksichtigt.
- Feldgras, Grünland und Brachen gelten als Entlastungsflächen, von denen niedrige Herbst-Nmin-Werte zu erwarten sind. Sie sind z.T. ebenfalls mit FV belegt und werden aus Gründen des Maßnahmen-Monitorings beprobt. Für das Gebiets-Monitoring allein könnte man hier ggf. auch mit Schätzwerten rechnen.
- Bei Grünland werden nur die mineralischen Standorte beprobt, siehe oben. Der Schwerpunkt liegt hierbei jedoch auf den mineralisationsstarken Talsandböden.

Die Abweichungen von einer vollständig flächenrepräsentativen Beprobung werden durch die flächengewichtete Auswertung der Nmin-Werte wieder „herausgerechnet“, siehe Folgekapitel.

Die Faktorkombinationen können teilweise nur mit 1 bis 2 Herbst-Nmin-Proben je Gruppe belegt werden. Bei einem jährlich wiederkehrenden Gebiets-Monitorings ist eine Reduzierung der Gruppen-Anzahl in Betracht zu ziehen. Bei der Auswertung sollte geprüft werden, ob auf die Differenzierung einzelner Standorte evtl. verzichtet werden kann.

2.2 Flächengewichtete Mittelung von Nmin-Werten

2.2.1 Erster Schritt: Arithmetische Mittelung nach Einflussfaktoren (Berechnung von Gruppen-Mittelwerten)

Die einzelnen Nmin-Werte werden zunächst **innerhalb der Gruppen** (Faktorkombinationen aus Standort + Anbaufrucht + Freiwillige Vereinbarungen) **arithmetisch gemittelt**, d.h. jeder Wert geht mit einfacher Wertung in den Gruppen-Mittelwert ein. Eine Wichtung nach der Größe der beprobten Schläge innerhalb der Gruppen wäre nur sinnvoll, wenn der überwiegende Teil der Flächen beprobt wird. Anderenfalls ist die stärkere Gewichtung der Nmin-Werte großer Schläge nicht gerechtfertigt, da diese nicht besser abgesichert oder genauer sind, als die Nmin-Werte kleinerer Schläge.

An dieser Stelle muss betont werden, dass der **Median (vgl. Kapitel B 1.2) für das Gebiets-Monitoring keine Alternative zum arithmetischen Mittelwert darstellt**, weil er hohe und niedrige Einzelwerte bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Im Allgemeinen liegt der Median meistens unter dem arithmetischen Mittelwert, weil der tatsächliche Nmin-Wertebereich nach oben hin weitgehend offen ist, nach unten aber durch 0 begrenzt wird. Die hohen Herbst-Nmin-Werte dürfen aber im Gebiets-Monitoring nicht als „Ausreißer“ vernachlässigt werden, weil sie fachlich begründbar sind und zur tatsächlichen Nitrat-Belastungssituation gehören.

Ein weiterer Nachteil von Medianwerten ist, dass sie nicht weiter aggregiert werden können, wie das nachfolgend für die Gruppen-Mittelwerte beschrieben wird. Tab. 6 zeigt die arithmetischen Mittelwerte der beprobten Schläge des Fallbeispiels.

Tab. 6: Nmin-Mittelwerte nach Anbaufrüchten, Standort-Kategorien und Nmin-reduzierenden Freiwilligen Vereinbarungen (WSG Liebenau, 2005)

Anbaufrucht-Kategorie	FV mit Nmin-Reduzierung	Gesamt-Probenanzahl	Nmin- Mittelwerte [kg/ha]			
			Gesamt-Mittel	Schmelzwasser-sand über Geschiebelehm	Schmelzwassersande	Talsande
Sommergetreide	ohne	8	72	84	37	
Sommergetreide	mit	3	22	15	37	
Wintergetreide	ohne	22	50	48	52	59
Wintergetreide	mit	25	35	37	31	
Mais	ohne	20	61	69	42	
Raps	ohne	5	72	76	66	
Raps	mit	3	22	23	21	
Grünland		11	21	23	11	26
Feldgras		10	26	12	55	16
Brache		12	15	17	13	11

- Ein systematischer (gleichförmiger) Standorteinfluss ist nicht zu erkennen. Für das Gebiets-Monitoring werden daher nur die Gesamt-Mittelwerte der Anbaufrucht-Maßnahmen-Kombinationen verwendet.

2.2.2 Zweiter Schritt: Flächengewichtete Zusammenfassung der Gruppen-Mittelwerte

Der **flächengewichtete Mittelwert** wird nach der folgenden Formel berechnet:

Formel 18: Berechnung flächengewichteter Gesamt-Mittelwerte aus Mittelwerten von Frucht-Maßnahme-Standort-Kombinationen

$$\text{Gesamt - Mittelwert} = \frac{\sum (\text{Gruppen - Mittelwert} \times \text{Fläche der Faktorkombination})}{\sum (\text{Fläche der Faktorkombinationen})}$$

Für jede Faktorkombination wird die absolute Nmin-Menge berechnet, die sich aus dem Gruppen-Mittelwert und der Fläche ergibt, also z.B. die Mineralstickstoff-Menge in kg, die sich im Boden aller Wintergetreideschläge ohne Maßnahmendurchführung befindet. Diese Nmin-Mengen der unterschiedlichen Faktorkombinationen werden aufsummiert und auf die Gesamtfläche bezogen. Dabei darf als Gesamtfläche aber nur die Flächensumme derjenigen Gruppen zugrunde gelegt werden, für die auch Nmin-Mittelwerte berechnet wurden!

Abb. 12 zeigt ein Rechenschema, in dem die Frucht-bezogenen Mittelwerte zunächst zu flächenrepräsentativen Nmin-Mittelwerten für Ackerflächen „mit“ und „ohne“ Herbst-Nmin-reduzierender Maßnahmen und für die Entlastungsflächen verrechnet werden.

	ohne Nmin-reduzierende Maßnahme				mit Nmin-reduzierender Maßnahme			
Hauptfrucht 2005	Anzahl	Ø Nmin (kg/ha)	Fläche (ha)	Nmin [kg]	Anzahl	Ø Nmin (kg/ha)	Fläche	Nmin [kg]
So-Getreide	8	72	240	17.280	3	22	38	836
Wi-Getreide	22	50	392	19.600	25	35	413	14.455
Mais	20	61	298	18.178	0		(12)	
Raps	5	72	62	4.464	3	22	66	1.452
sonstige	0		(78)					
Auswertungs-Grundlage	55		992	59.522	31		517	16.743
flächengew. Mittelwerte		60				32		

Verdünnungsflächen mit Nmin-reduzierender Wirkung	Anzahl	Ø Nmin (kg/ha)	Fläche	Nmin [kg]
Grünland	11	21	531	11.151
Feldgras	10	26	71	1.846
Brache	12	15	259	3.885
	33		861	16.882
flächengew. Mittelwert Verdünnungsflächen		20		
gesamtgeb. flächengew. Mittelwert			39 kg N/ha	

Abb. 12: Rechenschema zur Berechnung flächengewichteter mittlerer Herbst-Nmin-Werte der LF

Die drei flächengewichteten Mittelwerte können wiederum flächengewichtet gemittelt werden und ergeben dann den Gesamt-Gebietsmittelwert von 39 kg N / ha für die LF. Man kann aber auch gleich von den N-Summen und Flächensummen ausgehen. Der Berechnungsgang für das Fallbeispiel gemäß Formel 18 lautet:

$$\text{Gebietsmittel} = \frac{59.522 \text{ kg N} + 16.743 \text{ kg N} + 16.882 \text{ kg N}}{992 \text{ ha} + 517 \text{ ha} + 861 \text{ ha}} = \frac{93.147 \text{ kg N}}{2.370 \text{ ha}} = 39 \text{ kg N / ha}$$

Die Ausweisung der fruchtübergreifenden Nmin-Mittelwerte „mit“ und „ohne“ Herbst-Nmin-wirksame FV hat sich in der Praxis z.T. als problematisch erwiesen, da der Herbst-Nmin-Wert stark von der Frucht abhängt. Wenn z.B. eine Frucht mit hohen Herbst-Nmin-Werten zu einem hohen Flächenanteil mit Herbst-Nmin-wirksamen FV belegt ist, kann dies den fruchtübergreifenden Mittelwert „mit FV“ nach oben treiben. Dies resultiert in einer verringerten Differenz zum Mittelwert „ohne FV“.

Die fruchtübergreifenden Mittelwerte „mit“ und „ohne“ FV sind in solchen Fällen eingeschränkt für die Beurteilung des Gesamt-Maßnahmenerfolgs geeignet.

2.3 Nmin-Datenerfassung im DIWA-Shuttle

Der DIWA-Shuttle ist das Datenerfassungssystem des NLWKN zur jährlich wiederkehrenden Erfassung von Indikatoren zum Gebiets-Monitoring in den niedersächsischen Trinkwassergewinnungsgebieten.

Ab 2009 werden die Herbst-Nmin-Daten als **Kulturbezogene Mittelwerte** erfasst. Die Datenerhebung erfolgt getrennt für Ackerflächen „mit“ und „ohne“ **Nmin-wirksame Freiwillige Vereinbarungen**. Als Ackerkulturen werden hierbei Sommergetreide, Wintergetreide, Zuckerrüben, Mais, Raps, Kartoffeln und Sonderkulturen unterschieden. Brachen und Grünland bzw. Feldgras werden als „Verdünnungsflächen“ ohne Differenzierung nach Freiwilligen Vereinbarungen berücksichtigt.

Zu allen Nmin-Werten wird die Anzahl Einzelwerte und die Gesamtfläche der zugehörigen Kultur anzugeben. Um aussagekräftige Herbst-Nmin-Gebietsmittelwerte zu erhalten, wird die flächengewichtete Mittelung der Eingabewerte in dem Programm nur unter den folgenden Bedingungen durchgeführt:

- Die Berechnung des Gebietsmittelwertes erfolgt nur, wenn für alle Kulturen bzw. Verdünnungsflächen, die mehr als 5% der Gesamt-LF des Gebietes ausmachen, ein gültiger Nmin-Wert vorliegt.
- Nmin-Werte für Ackerkulturen werden nicht als gültig anerkannt, wenn die Anzahl der Einzelwerte < 4 ist. Für Grünland und Brachen können dagegen auch Faustzahlen eingetragen werden (als Anzahl wird dann 0 angegeben).

Da diese Bedingungen für TGG mit geringem Herbst-Nmin-Probenkontingent häufig nicht erfüllbar sind, können TGG mit ähnlichen Standortverhältnissen für die Herbst-Nmin-Datenerfassung im DIWA-Shuttle zu Untersuchungsräumen zusammen gefasst werden.

Neben den Gebietsmittelwerten werden auch die Kultur-bezogenen Herbst-Nmin-Mittelwerte durch den DIWA-Shuttle einer landesweiten Auswertung zugeführt.

2.4 Flächengewichtete Mittelung von Nitrat-Frachten und Sickerwassergüte-Daten

Die Prognose der Sickerwasser-Güte und die Abschätzung der ausgewaschenen Nitrat-Frachten auf Einzelschlagbasis wird in Kapitel B3.1 kurz beschrieben. Die Berechnungen berücksichtigen neben dem Herbst-Nmin-Wert die Schlagspezifische Sickerwasserrate und die Feldkapazität des Bodens bis 90 cm Tiefe. Die Standort-Differenzierung hat daher für die gebietsrepräsentative Mittelung von Nitratfrachten und Sickerwassergüte-Daten eine wesentlich höhere Bedeutung, als für die Mittelung der Nmin-Werte.

Die Mittelung von Nitrat-Frachten erfolgt ansonsten nach dem gleichen Schema wie die Mittelung der Nmin-Werte. Häufig wird aber nur die Gesamtfracht (als Summe) benötigt.

Die Frachten müssen zunächst für alle Nmin-Werte einzeln berechnet werden. Es darf nicht der mittlere Nmin-Wert zusammen mit den Mittelwerten der Sickerwasserrate und der Feldkapazität verrechnet werden, weil die Berechnung eine Fallunterscheidung zur Höhe der Sickerwasserrate in Bezug zur Feldkapazität bis 90 cm voraussetzt.

Das gleiche gilt für die Berechnung eines Gebietsmittelwertes der **Sickerwassergüte**. Die **mittlere prognostizierte Sickerwasser-Güte** kann z. B. durch Aufsummierung der Nitrat-Frachten und Herstellung des Bezuges zur Sickerwassermenge für die jeweilige Gebietseinheit berechnet werden.

Sowohl für die Berechnung der Nitrat-Frachten, als auch für die Mittelung der Sickerwasser-Güte sind Berechnungen der jährlichen Sickerwasserrate erforderlich. Dies ist im Kapitel A3 (Infodienst Grundwasserschutz) näher beschrieben.

B 3 Möglichkeiten und Grenzen – Prognose der Sickerwasser-Güte nach der Herbst-Nmin-Methode

Sickerwasser ist das Wasser in der ungesättigten Bodenzone, das überwiegend im Winterhalbjahr und weitgehend unumkehrbar dem Grundwasser zuströmt, also **nicht mehr für die Pflanzenwurzeln erreichbar** ist. Das ist in dem ungesättigten Tiefenbereich unterhalb der **tiefsten Lage der hydraulischen Wasserscheide** des Bodens, d. h. bei Sandböden ca. ab 120 cm, bei Lehm- und Tonböden ca. ab 160 cm Tiefe der Fall. Diese Tiefenzone (bis zur Grundwasseroberfläche) wird daher als „Sickerwasser-Dränzone“ bezeichnet. Sie schließt nach unten direkt an die „Wurzelzone“ an, die bei der Nmin-Beprobung (standardmäßig allerdings nur bis 90 cm) untersucht wird.

3.1 Berechnungsverfahren für Sickerwasser-Güte und Nitrat-Frachten

Die Nitrat-Konzentration im Sickerwasser (= Nitrat-bezogene Sickerwasser-Güte) ergibt sich aus der jährlichen Nitratfracht und der Sickerwasserrate. Die Nitratfracht ist die Nitrat-Menge, die mit dem Sickerwasser aus der Wurzelzone ausgewaschen wird. Die Sickerwasser-Rate wird anhand von Witterungs-, Standort- und Nutzungsdaten mit einem Wasserhaushaltsmodell berechnet ([21]).

3.1.1 Berechnung zur Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser

Der Herbst-Nmin-Wert eignet sich zur Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser (SW), wenn der Ammonium-N-Anteil von untergeordneter Bedeutung ist. Anderenfalls sollte ggf. nur der Nitrat-N-Anteil für die folgende Berechnung verwendet werden.²

Gegenüber dem bisher gebräuchlichen Verfahren, wie es in der „Vorläufigen Anwenderbro-schüre“ [25] beschrieben ist (Formel 19), wurde die Berechnungsvorschrift neu formuliert (Formel 20). Die Formel-Bestandteile werden unten erläutert.

Formel 19: Bisheriges Verfahren zur Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser (mit Fallunterscheidung nach Austauschhäufigkeit AH)

$$\text{falls } AH \leq 1: \text{ Nitratkonzentration im SW [mg/l]} = \frac{N_{min} \times 443 \times AH}{SWR}$$

$$\text{falls } AH > 1: \text{ Nitratkonzentration im SW [mg/l]} = \frac{N_{min} \times 443}{SWR}$$

² Dauerhaft hohe Ammonium-N-Gehalte treten in Böden nur bei einer gehemmt mikrobiellen Umwandlung (Nitrifikation) von Ammonium zu Nitrat auf. Neben dem gezielten Einsatz von Nitrifikations-Hemmstoffen (z.B. Dicyandiamid) kann diese durch Versauerung oder Vernässung verursacht werden. In diesen Fällen sollte nur der Nitrat-N-Gehalt im Herbst für die Prognose der Nitratkonzentration im Sickerwasser herangezogen werden. Ohne Nitrifikationshemmung treten hohe Ammonium-N-Gehalte im Herbst nur nach einer späten Düngung (häufig Wirtschaftsdünger) auf. Bei Bodentemperaturen über 5° C ist eine Nitrifikation noch innerhalb der Versickerungsperiode möglich, so dass der Ammonium-N-Anteil für die Nitrat-Prognose angerechnet werden sollte, wenn keine Hinweise auf eine Nitrifikationshemmung vorliegen.

Formel 20: Korrigiertes und vereinfachtes Verfahren zur Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser (ohne Berechnung der Austauschhäufigkeit AH)

$$\text{falls } FK90 > SWR: \text{ Nitratkonzentration im SW [mg/l]} = \frac{N_{min} \times 443}{FK90}$$

$$\text{falls } SWR > FK90: \text{ Nitratkonzentration im SW [mg/l]} = \frac{N_{min} \times 443}{SWR}$$

Anstelle des Terms AH in Formel 19, in dessen Berechnung nach DIN 19732 die Feldkapazität im effektiven Wurzelraum einfließt (vgl. [7], [21]) wird in Formel 20 die Feldkapazität über die Herbst-N_{min}-Beprobungstiefe, standardmäßig also bis 90 cm Tiefe, berücksichtigt. Dieser inhaltliche Unterschied zwischen den beiden Formeln ist fachlich begründet (s. u.) und kann zu anderen Prognosewerten für die Nitrat-Konzentration im Sickerwasser im Vergleich zu Formel 19 führen.

Die Neufassung (Formel 20) ist EDV-technisch leichter umzusetzen, als die Formel 19. Sie lässt z.B. in MS Excel und Access in der Form $\text{Nitratkonz.} = N_{min} \times 443 / \max(FK90, SWR)$ realisieren.

Erläuterung der Formel-Bestandteile:

N_{min} Nitrat-N + Ammonium-N in kg N / ha für die Tiefe 0 bis 90 cm

443 Umrechnungsfaktor von N zu Nitrat (4,43) kombiniert mit dem Faktor 100 zur Einheiten-Umrechnung (Millimeter zu Liter Sickerwasser je ha und kg zu mg Nitrat)

AH Austauschhäufigkeit nach DIN 19732 [7] (AH = SWR/FKWe)

SWR jährliche Sickerwasserrate in mm – im Optimalfall einzeljahresbezogen (vgl. Kapitel A3.3.3), ansonsten langjähriges Mittel [21]

FK90 (nur Formel (2)):

Feldkapazität aller Bodenschichten in mm ([1], [21]) bis 90 cm aufsummiert

Erläuterung der Berechnung:

Die Berechnung geht vereinfachend von dem Idealfall einer gleichförmig abwärts gerichteten Wasserverlagerung aus, d.h. das gelöste Nitrat wird mit dem Bodenwasser entsprechend der Sickerwasserrate vollständig nach unten verlagert. Diese Annahme liegt auch der Berechnung der Nitratstragsgefährdung nach DIN 19732 zugrunde.

Die Nitrat-Verlagerung erfolgt hierbei erst nach Auffüllung der Feldkapazität. Da der Mineralstickstoff unabhängig von der bodenspezifischen effektiven Durchwurzelungstiefe bei der N_{min}-Beprobung bis 90 cm Tiefe ermittelt wird, sollte auch die Feldkapazität generell bis 90 cm Tiefe aufsummiert werden, wie in Formel (2) vorgesehen.

- Zu Beginn der Versickerung ist der verlagerbare Mineralstickstoff (Herbst-N_{min}-Wert) in einer Wassermenge, die der Feldkapazität entspricht, gelöst.
- Solange die Sickerwasserrate kleiner als die Feldkapazität ist, entspricht diese Nitrat-Konzentration der mittleren Konzentration im Sickerwasser:
 $\max(FK90, SWR) = FK90 \rightarrow \text{NO}_3\text{-Konz.} = (N_{min} \times 443) / FK90$
- Wenn die Sickerwasserrate größer als die Feldkapazität ist, wird die Nitrat-Konzentration entsprechend der Höhe der Sickerwassermenge verringert:
 $\max(FK90, SWR) = SWR \rightarrow \text{NO}_3\text{-Konz.} = (N_{min} \times 443) / SWR$

3.1.2 Berechnung von Nitrat-Frachten

Nitrat-Frachten, die mit dem Sickerwasser verlagert werden, sind in erster Linie Eingangsgröße für hydrogeologische Prognosemodelle. Zur Berechnung wird, in Anlehnung an die Formel (2) zur Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser, die Feldkapazität bis 90 cm Tiefe und die Sickerwasserrate benötigt.

- wenn die Sickerwasserrate größer als die Feldkapazität bis 90 cm Tiefe ist, wird der Mineralstickstoff vollständig ausgewaschen, d.h. **wenn $SWR \geq FK90 \rightarrow \text{Nitrat-Fracht} = N_{min}$**
- wenn die Sickerwasserrate kleiner als die Feldkapazität ist, wird nur ein Teil des Mineralstickstoffs ausgewaschen, d.h.: **wenn $SWR < FK90 \rightarrow \text{Nitrat-Fracht} = N_{min} \times SWR / FK90$**

3.2 Validierung der Nmin-Methode durch Nitrat-Tiefbohrungen in vier Modellgebieten in Niedersachsen

Mit Modelluntersuchungen in vier Pilotgebieten wurde schwerpunktmäßig die Nutzung der Herbst-Nmin-Methode zur Prognose der Sickerwasser-Güte validiert. Die Pilotgebiete spiegeln die wichtigsten Boden- und Klimaverhältnisse in Niedersachsen wieder. Tab. 7 gibt einen Überblick zu den ausgewählten Wassergewinnungsgebieten. Die Lage der Gebiete ist der Abb. 13 zu entnehmen.

Tab. 7: Grundlagendaten der Pilotgebiete

Pilotgebiet	Region Boden / Klima	Wasserversorgungsunternehmen	Beratungsträger
WSG Thülsfelde	Nordwest Sand / maritim	Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband, Oldenburg	LWK Niedersachsen, Landwirtschaftsamt Oldenburg-Süd
WSG Liebenau	Mitte Sand / maritim-kontinental	Harzwasserwerke GmbH, Hildesheim	LWK Niedersachsen, Bezirksstelle Nienburg
WSG Lüneburg	Nordost Sand / kontinental	Purena GmbH, Lüneburg	Landberatung Niedersachsen GmbH, Lüneburg
WSG Poppenburg	Süd Löss / kontinental-maritim	EVI Energieversorgung Hildesheim GmbH & Co KG, Hildesheim	INGUS, Hannover

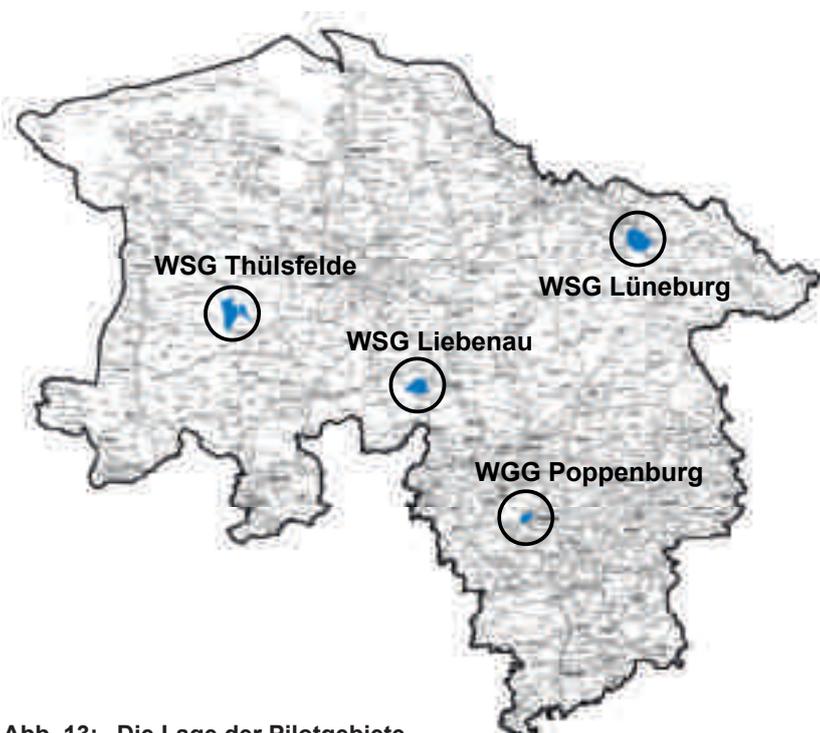


Abb. 13: Die Lage der Pilotgebiete

3.2.1 Untersuchungs- und Berechnungsschritte

Für die Herbst-Nmin-Beprobungen 2003, 2004 und 2005 wurden pro Gebiet 30 hinsichtlich Standort- und Anbauverhältnissen repräsentative Schläge ausgewählt. Für jeweils 10 Schläge erfolgte gleichzeitig eine Wasserhaushalts-Berechnung durch den Infodienst Grundwasserschutz.

Ab Herbst 2005 wurden auf **34 „Referenzflächen“** der insgesamt 120 Herbst-Nmin-Schläge Nitrat-Tiefenprofile in 3- bis 5-facher Wiederholung abgeteuft. Für die Beprobungsplanung wurden die Ergebnisse der Herbst-Nmin-Beprobungen und die Wasserhaushaltsberechnungen zugrunde gelegt. Ziel war es, die Ergebnisse der „Sickerwassergüte-Prognose nach Herbst-Nmin“ durch Analyseergebnisse des Sickerwassers zu validieren.

Tab. 8 zeigt die Mittelwerte der Wasserhaushaltsdaten. Alle Berechnungen erfolgten zunächst auf Einzelschlag-Ebene. Anschließend wurden die Einzelschlag-Ergebnisse gemittelt.

Tab. 8: Mittelwerte der Wasserhaushaltsdaten der Referenzflächen

Gebiet	Anzahl Schläge / Bohrungen	Mittlere Feldkap. bis 90 cm [mm]	Mittlere Sickerwasserrate [mm]			Mittlere Verlagerungsstrecke in der ungesättigten Zone [m]			
			2003 / 2004	2004 / 2005	2005 / 2006	2003 / 2004	2004 / 2005	2005 / 2006	2003 - 2005
Thülsfelde	7 / 29	204	221	238	98	1,0	1,1	0,4	2,5
Liebenau	10 / 30	188	233	271	206	1,1	1,3	1,0	3,4
Lüneburg	8 / 29	193	127	229	96	0,7	1,2	0,5	2,4
Poppenburg	9 / 29	338	41	132	0	0,1	0,4	0	0,5

Die drei **Geestgebiete Thülsfelde, Liebenau und Lüneburg** sind mit Sickerwasser-Verlagerungsstrecken von 240 bis 340 cm im 3-jährigen Projektzeitraum für die Validierung der Sickerwassergüte-Prognose gut geeignet. Das **Lössgebiet Poppenburg** weist demgegenüber eine hohe mittlere Feldkapazität und niedrige Sickerwasserraten auf. Beides führt zu jährlichen Verlagerungsstrecken des Sickerwassers von nur 50 cm innerhalb des Projekt-Zeitraumes, was für Lössböden nicht ungewöhnlich ist. Eine unmittelbare Validierung der Sickerwassergüte-Prognose nach Herbst-Nmin für Lössgebiete ist mit den Daten aus dem Projekt-Zeitraum daher nur bedingt möglich.

Dem trockenen Sommer **2003** folgten nur in Poppenburg (Lössgebiet) und Lüneburg (Sandgebiet mit kontinentaler Lage) niedrige winterliche Sickerwasserraten. In den beiden westlicher gelegenen Gebieten (Sandgebiete mit zunehmend maritimem Einfluss) lag die Sickerwasserbildung im Winter 2003/04 dagegen im normalen Bereich. Das Winterhalbjahr 2004/05 weist in allen Gebieten die höchsten Sickerwasserraten auf, das Winterhalbjahr **2005/06** die niedrigsten. In Poppenburg reichten die Winterniederschläge **2005/06** nicht zur Auffüllung der Feldkapazität aus, so dass dort im Winterhalbjahr kein Sickerwasser auftrat.

3.2.2 Vergleich prognostizierter und gemessener Nitrat-Konzentrationen

In Tab. 9 werden die „**Einzeltjahres-Nitrat-Prognosewerte nach Herbst-Nmin**“ den tatsächlich gemessenen „**Einzeltjahres-Nitrat-Konzentrationen der Tiefenprofile**“ für den Tiefenbereich ab 90 cm Tiefe gegenüber gestellt, der sich aus den berechneten jährlichen Verlagerungsstrecken des Sickerwassers ergibt.

Tab. 9: Herbst-Nmin-Werte, Nitrat-Konzentrations-Prognosen und Messwerte für die einzelnen Sickerwasser-Jahrgänge (Erläuterung der Datenblöcke im Text)

Gebiet	(1) Herbst-Nmin [kg/ha]				(2) Nitrat-Konz.-Prognosewert [mg NO ₃ /l]				(3) Messwert für die Verlagerungstiefe [mg NO ₃ /l]			
	2003	2004	2005	03 - 05	2003	2004	2005	03 - 05 ^{x)}	2003	2004	2005	03 - 05 ^{x)}
Thülsfelde	99	29	52	60	185	50	114	109	114	110	79	106
Liebenau	90	30	47	56	169	50	86	102	102	98	75	96
Lüneburg	54	21	48	41	125	38	119	74	112	100	96	107
Poppenburg	140	62	54	85	184	81		112	27	42	^{y)}	34

x) Die Mittelwerte der Prognose- und Messwerte für den Zeitraum 2003 - 2005 berücksichtigen die unterschiedlichen Sickerwassermengen bzw. Verlagerungstrecken (gewichtete Mittelung). Sie ergeben sich daher nicht unmittelbar aus den Mittelwerten der Einzeljahre.

y) in Poppenburg 2005 keine Sickerwasserbildung, deshalb keine Konzentrationsangabe!

Tab. 9 enthält drei Datenblöcke:

- 1) die **arithmetisch gemittelten Herbst-Nmin-Werte** der 7 bis 10 Referenzflächen pro Gebiet für jedes Jahr und zusätzlich für den 3-jährigen Gesamtzeitraum.
- 2) **Prognosewerte der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser nach Herbst-Nmin** für jedes Jahr und für den 3-jährigen Gesamtzeitraum. Der Prognosewert für den Gesamtzeitraum ergibt sich aus der Summe der Auswaschungsfrachten (nicht dargestellt) und der Sickerwasser-Summe der Einzeljahre.
- 3) **Mittelwert der Nitrat-Konzentration der Tiefenprofil-Proben** aus dem Tiefenbereich, der sich für jedes Jahr aus der Verlagerungstrecke des Sickerwassers ergibt (sog. „**Sickerwasser-Jahrgänge**“). Dabei wurden die schichtbezogenen Analysewerte berücksichtigt, die überwiegend innerhalb des Verlagerungsbereiches liegen. Abweichend von der sonst üblichen Mittelung nur für die Sickerwasser-Dränzone (ab 120 cm bei Sandböden, ab 150 cm bei Lehm- und Tonböden) wurde hierbei ab 90 cm Tiefe gemittelt.

Gebietsvergleich der Ergebnisse aus Tab. 9:

- **Hohe Übereinstimmung** wurde zwischen der nach Herbst-Nmin prognostizierten Sickerwasser-Güte und den gemessenen Nitrat-Konzentrationen der Nitrat-Tiefenprofilen für die beiden maritim beeinflussten **Sandgebiete Thülsfelde und Liebenau (ohne Feldberegung)** ermittelt. Die Prognose-Genauigkeit für den Gesamt-Zeitraum ist im Mittel der Referenzflächen gut.
- Eine etwas **schwächere Übereinstimmung** wurde zwischen Prognose- und Messwerten für das **Sandgebiet Lüneburg (mit Feldberegung)** festgestellt. Die gemessene Nitrat-Konzentration liegt um ca. 30 % über dem Prognosewert nach Herbst-Nmin. Von Thülsfelde und Liebenau unterscheidet sich dieses Gebiet durch weit verbreitete Feldberegung und heterogenere Standortverhältnisse, sowie einen hohen Anteil von Kartoffeln (z.T. auch Gemüse) in den Fruchtfolgen. Dies erschwert zum einen die Wasserhaushaltsberechnungen und führt andererseits zu schwer vorhersagbaren Nitrat-Austrägen. Die Herbst Nmin-Werte sind im Mittel niedriger als in den anderen Gebieten, was z.T. auf den beregnungsbedingt weniger ausgeprägten Trockenheitseffekt 2003 zurückgeführt werden kann, s. Kapitel A 1.5.1.
- **Keine Übereinstimmung** wurde zwischen Prognose- und Messwerten für das **Lössgebiet Poppenburg** festgestellt. Dieses weist zwar die höchsten Herbst-Nmin-Werte auf, gleichzeitig aber die niedrigsten gemessenen Nitrat-Konzentrationen im zugeordneten Verlagerungs-Tiefenbereich. Die möglichen Gründe hierfür werden im Folgekapitel B 3.2.4 genauer erläutert.

Jahresvergleich der Ergebnisse aus Tab. 9:

- Es zeigt sich ein hoher **Jahreseffekt** bei den Herbst-Nmin-Werten (Datenblock (1) und bei den Nitrat-Konzentrations-Prognosewerten (2), aber nicht bei den Messwerten der Nitrat-Konzentration nach Sickerwasser-Jahrgängen (3).
- Der „**Jahrhundersommer**“ 2003 führte zu überdurchschnittlich hohen Herbst-Nmin-Werten in allen vier Gebieten. Dies kann auf eine verminderte N-Aufnahme der Anbaufrüchte während der Sommertrockenheit, und evtl. auf eine erhöhte Mobilisierung bodenbürtiger N-Vorräte im Herbst zurückgeführt werden. Die ebenfalls sehr hohen Prognosewerte der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser werden in dem Tiefenbereich der Sickerwasser-Dränzone, der dem Sickerwasser des Winters 2003/04 rechnerisch zugeordnet ist, nicht gefunden. Die gemessenen Nitrat-Konzentrationen sind in diesem Tiefenabschnitt aber in allen vier Gebieten am höchsten.
- **2004** wurden relativ niedrige Herbst-Nmin-Werte bei gleichzeitig höheren Sickerwasserraten ermittelt. Für Thülsfelde, Liebenau und Lüneburg sorgt das für ausgesprochen günstige Prognosewerte, die jedoch von den gemessenen Nitrat-Konzentrationen um über 100% überschritten werden. Dies deutet stark auf eine Abweichung von der gleichmäßigen Tiefenverlagerung des Nitrats mit dem winterlichen Sickerwasser hin, die in der Modellvorstellung angenommen wird. Die gemessenen Nitrat-Konzentrationen in dem Tiefenabschnitt, der rechnerisch dem Sickerwasser-Jahrgang 2004 zugeordnet wurde, werden wahrscheinlich z.T. durch relativ „langsames“ Sickerwasser von 2003 und „schnelles“ Sickerwasser von 2005 beeinflusst.
- **2005** liegen die Prognosewerte wieder auf einem höheren Niveau; die gemessenen Werte sind 10 bis 20% niedriger.
- In der Summe zeichnet die Nitrat-Konzentration in den rechnerischen „Sickerwasser-Jahrgängen“ den Jahreseffekt der Herbst-Nmin-Werte stark abgeschwächt nach.

Die in Tab. 9 angegebenen Mittelwerte der Nitrat-Konzentration geben nicht exakt die Konzentration in der Sickerwasser-Dränzone an, da diese erst bei ca. 120 cm (Sandböden) bzw. 150 cm (Lehmböden) beginnt. Zum besseren Vergleich zeigt Tab. 10 daher die ab 120 cm (Thülsfelde, Liebenau und Lüneburg) bzw. 150 cm (Poppenburg) über die gesamte Bohrtiefe gemittelten Nitrat-Konzentrationen im Vergleich zu den nach Herbst-Nmin prognostizierten Nitrat-Konzentrationen aus Tab. 9.

Tab. 10: Mittlere Stoffkonzentrationen in der Sickerwasser-Dränzone

Gebiet	Sickerwasser-Dränzone (gesamte Bohrtiefe)			zum Vergleich: Daten aus Tab. 9			
	Mittlung ab	mittl. Bohr- tiefe	Nitrat [mg/l]	Mittlung ab	Verlager- ung bis	Nitrat [mg/l]	Nitrat-Pro- gnose aus Nmin [mg/l]
Thülsfelde	1,2 m	4,8 m	124	0,9 m	3,6 m	106	109
Liebenau	1,2 m	4,6 m	102	0,9 m	4,5 m	96	102
Lüneburg	1,2 m	4,4 m	102	0,9 m	3,4 m	107	74
Poppenburg	1,5 m	4,0 m	44	0,9 m	1,5 m	34	112

Die ausgewerteten Tiefenbereiche weisen für die Sandgebiete der Geest einen großen Überschneidungsbereich auf:

- In **Thülsfelde** weist das tiefere (3,6 bis 4,8 m), rechnerisch ältere Sickerwasser eine höhere Nitrat-Konzentration auf, als das dem Zeitraum 2003-2005 zugeordnete. Erwartungsgemäß stimmt die Nitrat-Prognose aus den Herbst-Nmin-Werten besser mit dem Messwert für das dem Untersuchungszeitraum zugeordnete Sickerwasser überein.

- Für **Liebenau** ist die Verlagerungstiefe nahezu gleich der Bohrtiefe, so dass die beiden gemessenen Nitrat-Mittelwerte fast identisch sind. Sie stimmen gut mit dem Nitrat-Prognosewert nach Herbst-Nmin überein.
- Im WSG **Lüneburg** weist das Sickerwasser im untersten Bohrmeter eine geringere Nitrat-Konzentration als das dem Untersuchungszeitraum zugeordnete Sickerwasser auf. Die Nitrat-Prognose nach Herbst-Nmin ist hier deutlich schlechter als in den Gebieten Thülsfelde und Liebenau. In diesem Zusammenhang muss noch einmal auf die größere Unsicherheit der Wasserhaushaltsberechnungen für das Gebiet Lüneburg hingewiesen werden.
- Bei **Poppenburg** gibt es keine Überschneidung zwischen den ausgewerteten Tiefenbereichen. Die Nitrat-Konzentration ist in der Sickerwasser-Dränzone höher als unmittelbar unterhalb des Nmin-Beprobungsbereiches.

An den Aussagen zum Gebiets- und Jahresvergleich der Daten aus Tab. 9 ändert sich im Prinzip nichts. Für die Sandgebiete der Niedersächsischen Geest lässt sich bereits ein Fazit ziehen. Die Ergebnisse des Pilotgebietes Poppenburg müssen noch eingehender ausgewertet werden (vgl. Kapitel B 3.2.4).

3.2.3 Fazit zur Herbst-Nmin-gestützten Sickerwassergüte-Prognose

(1) Fazit für Sandgebiete der Geest

- In Sandgebieten der Geest mit einer ausreichend mächtigen ungesättigten Zone (ab 3 bis 4 m) ist die Herbst-Nmin-Methode insgesamt **gut zur mehrjährigen Prognose** der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser geeignet. In Gebieten mit Feldberegung sind die Herbst-Nmin-Werte nur eingeschränkt für eine Prognose zu nutzen.
- Dagegen ist die Zuordnung von Tiefenbereichen der Sickerwasser-Dränzone zu „Sickerwasser-Jahrgängen“ **nicht jahresscharf** möglich. Die Nitrat-Frachten einzelner Auswaschungsjahre überlagern sich stark und sind nur bei großen Jahreseffekten (z.B. 2003 mit sehr hohen Herbst-Nmin-Werten) ansatzweise zu erkennen.

(2) Fazit für ein Parabraunerde-Lössgebiet

Das Pilotgebiet Poppenburg ist durch tiefgründige Lössböden mit hoher Feldkapazität (> 300 mm bis 90 cm Tiefe) bei vergleichsweise niedrigen Sickerwasserraten (um 150 mm) geprägt. Die nach Herbst-Nmin prognostizierte Nitrat-Konzentration im Sickerwasser ist daher von der aktuellen Sickerwasserrate praktisch unabhängig (vgl. Kapitel B3.2.2).

Im 3-jährigen Projektzeitraum waren die rechnerischen jährlichen Verlagerungstrecken mit zusammen 46 cm sehr gering. Der Einzeljahres-Vergleich der prognostizierten Nitrat-Konzentrationen mit Analyseergebnissen der Tiefbohrungen (Tab. 9) berücksichtigt daher nur den Tiefenbereich von 90 bis 150 cm Tiefe, der bei diesen Böden in der Regel noch nicht zur Sickerwasser-Dränzone gezählt wird. **Die große Abweichung zwischen prognostizierten und gemessenen Werten** muss dennoch geklärt werden, da auch bei Berücksichtigung der gesamten Dränzone keine gute Prognosegenauigkeit zu verzeichnen ist, vgl. Tab. 10.

Abb. 14 zeigt die aus den Analysewerten von 3 bzw. 5 Wiederholungsbohrungen pro Fläche gemittelten Tiefenverläufe der Nitrat-Konzentration der untersuchten Löss-Standorte in Poppenburg, die insgesamt sehr uneinheitlich sind. Dabei fällt auf, dass 8 von 9 Standorten im Tiefenbereich um 150 cm Nitrat-Konzentrationen unter 30 mg/l aufweisen. Dieser typische Tiefenverlauf wurde auch bei einer früheren Beprobung (13 Bohrungen 1996) festgestellt.

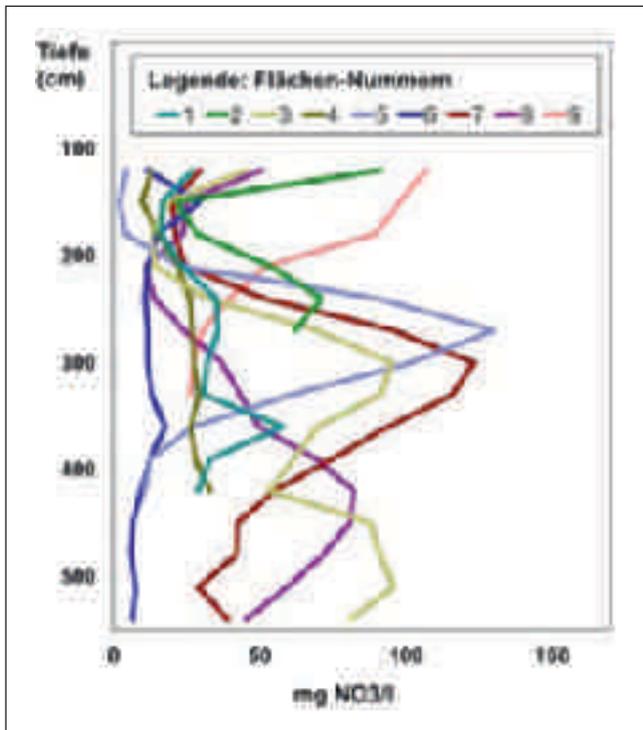


Abb. 14: Tiefenverlauf der Nitrat-Konzentration [mg/l] unter 9 Flächen im Pilotgebiet Poppenburg (pro Verlaufskurve gemittelte Werte von jeweils 3 bzw. 5 Wiederholungsbohrungen)

Bei den Flächen 3, 5, 7 und 8 sind in Tiefen ab 250 cm deutliche Konzentrations-Maxima zu verzeichnen, die sich über eine vertikale Strecke von > 1 m Länge ausdehnen. Das entspricht rein rechnerisch der Verlagerungsstrecke mehrerer Jahre. Mit Werten um 70 bis 130 mg NO₃/l sind die Nitrat-Konzentrationen in diesem Bereich jedoch für Ackerstandorte nicht ungewöhnlich hoch.

Bei den beiden Flächen 4 und 6 sind mit zunehmender Tiefe weder Konzentrations-Maxima noch -Minima zu erkennen, und bei der Fläche 9 nimmt die Konzentration mit der Tiefe (bis 3,3 m) kontinuierlich ab.

Die Nitrat-Tiefenverläufe der Einzelbohrungen zeigten naturgemäß noch größere Spannweiten, verliefen jedoch insgesamt jeweils relativ ähnlich (homogene Standortverhältnisse).

Ableich der Nitrat-Tiefenverläufe mit der Bewirtschaftungshistorie:

- Die untersuchten Flächen wurden bisher durchgängig mit Wintergetreide-Zuckerrüben-Fruchtfolgen bewirtschaftet. Bewirtschaftungsmaßnahmen mit mehrjährig besonders hohen oder niedrigen N-Austrägen wurden nicht durchgeführt. Bei gleichmäßiger Sickerwasserverlagerung und ohne Nitrat-Abbau wäre daher ein sehr gleichförmiger mehrjähriger Nitratkonzentrations-Tiefenverlauf ohne ausgeprägte Maxima / Minima zu erwarten.
- Das fast durchgängig vorhandene Nitrat-Konzentrations-Minimum im Bereich von ca. 1,5 m bis 2,0 m Tiefe und die lang gezogenen Konzentrations-Maxima bei einigen Flächen in größerer Tiefe können daher nicht auf Bewirtschaftungseffekte oder andere äußere Einflüsse zurückgeführt werden.

Ungleichmäßige Sickerwasser-Verlagerung als mögliche Ursache für die Variabilität der Nitrat-Tiefenverläufe:

- Bei gleichmäßiger Sickerwasser-Verlagerung wäre eine Zunahme der Nitrat-Konzentration unterhalb von 200 cm nicht zu erklären. Anscheinend wird das Sickerwasser nicht gleichmäßig abwärts verlagert.
- Auf den Parabraunerde-Lössböden im Pilotgebiet Poppenburg sind vermutlich zwei Vorgänge von besonderer Bedeutung für die Wasserbewegung: Hydrodynamische Dispersion und Makroporenfluss.

- Bei der **hydrodynamischen Dispersion** (= vermischte Verdrängung) werden die Stoff-konzentrationen auf Grund von unterschiedlichen Weglängen bzw. Fließgeschwindigkeiten durch die einzelnen Poren „auseinander gezogen“ und damit verdünnt, so dass Nitrat-Auswaschungspeaks – beispielsweise aus dem Jahr 2003 – nicht mehr deutlich im Kurvenverlauf zu erkennen sind bzw. keiner bestimmten Tiefe zugeordnet werden können.
- **Makroporenfluss** bezeichnet eine schnelle Sickerwasserverlagerung in großen Poren (Regenwurmgänge, Wurzelröhren, Aggregatzwischenräume). Dieser wurde für Lössböden mehrfach beschrieben ([20], [31]). Makroporenfluss bewirkt, dass die Nitrat-Verlagerung nicht in Form klar abgrenzbarer Auswaschungsjahrgänge stattfindet und die in bestimmten Tiefen vorgefundenen Nitrat-Konzentrationen nicht bestimmten Bewirtschaftungsjahren zugeordnet werden können (vgl. Kapitel B 4.3). Die hohen Nitrat-Konzentrationen bei den Flächen 3, 5 und 7 unterhalb von 2,0 m Tiefe (siehe Abb. 14) könnten daher auf wiederkehrende Nitratdurchbrüche in die Tiefe durch Makroporenfluss zurückzuführen sein.
- Die relativ geringen Nitrat-Konzentrationen direkt unterhalb der Wurzelzone können **möglicherweise** auf **Denitrifikationsprozesse** im Inneren der Aggregate zurückgeführt werden. Auch bei geringen Denitrifikationsraten kann hierdurch die Nitrat-Konzentration in diesem Tiefenbereich deutlich verringert werden, wenn das Wasser der Bodenmatrix mit dem in den Grobporen versickernden Wasser nur begrenzt im Austausch steht.

Mögliche Erklärungen für die Unterschiede zwischen prognostizierten und gemessenen Nitrat-Konzentrationen im untersuchten Lössgebiet:

- Die in Tab. 8 angegebenen und für Tab. 9 zugrunde gelegten Verlagerungsstrecken basieren auf der Grundannahme einer gleichmäßigen Verlagerung des Sickerwassers („downward displacement“). Dieser Ansatz ist allerdings nur als eine grobe Annäherung an die wirklichen Verhältnisse zu sehen, die zwar ansatzweise auf sandige Böden zutrifft, nicht aber auf Lössböden. Die Verdünnung durch Dispersion auf der Fließstrecke, sowie ein möglicherweise auftretender schneller Fluss in Makroporen muss hier berücksichtigt werden.
- Das bedeutet, dass bei den Lössböden das Nitrat (über Makroporenfluss) viel schneller in tiefere Schichten der Sickerwasser-Dränzone gelangt sein kann, als es die berechnete Verlagerungstiefe angibt.
- Durch Dispersion wird die Nitrat-Tiefenkurve gestreckt, d.h. die hohen Werte aus der Wurzelzone verteilen sich in der Tiefe auf einen größeren Raum und es wird nicht mehr das Konzentrations-Maximum in der oberen Bodenzone erreicht.
- Der Vollständigkeit halber soll hier erwähnt werden, dass sich auch bei Sandböden, die in der Regel sehr homogen sind, präferenzielle Fließwege ausbilden und den Stofftransport stark beeinflussen können [5].

Ergebnis der Validierung der Herbst-Nmin-Methode zur Sickerwassergüte-Prognose für Parabraunerde-Lössgebiete Süd-Niedersachsens

- Die Herbst-Nmin-Methode ist auf tiefgründigen Lössböden grundsätzlich gut zur Erfassung der maximalen Nitratanreicherung im Wurzelraum geeignet. Vorab-Verluste mit dem Sickerwasser sind praktisch nicht zu erwarten.
- Dagegen ist die Tiefenprofil-Methode zur Validierung der Nitrat-Prognose aus Herbst-Nmin-Werten nur bedingt geeignet, da die Verlagerung des Sickerwassers bei Lössböden in der Regel nicht nach dem Prinzip der gleichmäßigen Verdrängung sondern stark dispersiv und zum Teil auf bevorzugten Fließwegen erfolgt.
- Eine Tiefen-Zuordnung des Sickerwassers zu Auswaschungs-Jahrgängen ist bei Lössböden praktisch nicht möglich.
- Für die Tiefenprofil-Methode als analytische Methode zur Sickerwassergüte-Erfassung ist zu folgern, dass für die Mittelwert-Berechnung bei Löss-Parabraunerde-Standorten mit mächtigem Bt-Horizont ggf. nur die Analysewerte des C-Horizontes herangezogen werden sollten, d.h. Mittelung z.B. erst ab 2,4 m Tiefe und nicht, wie üblich, ab 1,5 m Tiefe.

3.3 Sickerwasser-Güte-Prognose im DIWA-Shuttle

Der DIWA-Shuttle beinhaltet eine Funktion zur Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser auf Grundlage der eingegebenen Nmin-Werte. Hierzu enthält das Programm flächengewichtete **Mittelwerte der FK90 und der mittleren Sickerwasserraten für Acker- und Grünland-Standorte in den niedersächsischen TGG**. Im Unterschied zu dem Infosystem Grundwasserschutz beruhen die Sickerwasserraten im DIWA-Shuttle auf langjährigen **klimatischen Mittelwerten**, d.h. im Einzeljahr kann die tatsächliche Sickerwasserrate größer oder kleiner sein. Dies ist beim Vergleich der Prognosewerte mit Messwerten (z.B. Nitrat-Tiefenprofile) zu berücksichtigen! Andererseits bietet die einheitliche Datengrundlage der Shuttle-Daten die Gewähr für eine gute Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse aus verschiedenen Regionen oder Jahren.

Da Acker- und Grünlandflächen sich in ihren Wasserhaushaltsdaten z.T. stark unterscheiden, werden im DIWA-Shuttle zunächst die mittleren Nmin-Werte aller Ackerkulturen zuzüglich Brachen zusammengefasst, und parallel zu dem Wert für Grünland / Feldgras mit den Wasserhaushaltsdaten für Acker und Grünland verrechnet. Die resultierenden Nitrat-Konzentrationen werden anschließend mit Wichtung nach der Sickerwassermenge (SWR x Fläche) gemittelt. Der resultierende Gesamt-Mittelwert für die LF wird im Shuttle gespeichert.

B 4 Verfahren des Sickerwassergüte-Monitorings - Vergleich mit der Herbst-Nmin-Methode

4.1 Übersicht der Untersuchungsmethoden für Einzelflächen

Die Sickerwassergüte ist das entscheidende Kriterium zur Grundwasserschutzbezogenen Beurteilung der landwirtschaftlichen Flächennutzung - sowohl mit Bezug zur Einzelfläche, als auch für ein Gebiet. Alle Monitoringverfahren mit Ausnahme von Grundwasseruntersuchungen dienen daher direkt oder indirekt der Sickerwassergüte-Bestimmung oder Prognose. Eine umfassende Darstellung der verschiedenen Methoden ist in dem „Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz“ [24] enthalten.

Die nachfolgende Tab. 11 zeigt eine Kurz-Charakteristik der wichtigsten Einzelflächenbezogenen Verfahren. Für ein Gebiets-Monitoring können diese durch Aggregation der Einzelflächen-Ergebnisse genutzt werden. Auf schlagübergreifende Verfahren zum Gebiets-Monitoring (z.B. Nährstoff-Betriebsbilanzen) wird in Kapitel B 5 eingegangen. Die Ableitung bzw. Prognose der Sickerwasser-Güte aus Bilanzdaten und anderen Ergebniswerten wird in Kapitel B 4.3 beschrieben.

Tab. 11: Übersicht der Verfahren zur Ermittlung der Sickerwassergüte [24]

Methode + „Zone“	Ergebnis	Eignung und Besonderheiten
(1) Nährstoff-Schlagbilanzen „Bodenoberfläche“	jährlicher rechnerischer Nährstoff-Überschuss N in kg/ha	<ul style="list-style-type: none"> – alle landwirtschaftlich genutzten Standorte – wichtig: Plausibilitätsprüfung der Datenbasis gegenüber Hoftorbilanz notwendig – nur für N-Gleichgewichts-Standorte geeignet
(2) Herbst-Nmin „Wurzelzone“	auswaschungsgefährdeter maximaler Nitratgehalt im Herbst NO ₃ -N + NH ₄ -N in kg/ha	<ul style="list-style-type: none"> – einzeljahresbezogene Erfolgskontrolle – kostengünstiges bodenanalytisches Verfahren – hohe Mobilität – Standort- und Witterungseinfluss müssen berücksichtigt werden
(3) Nitrat-Monitoring-Box Untergrenze der „Wurzelzone“	NO ₃ -N in kg/ha/Jahr	<ul style="list-style-type: none"> – sandige Ackerstandorte – direkte Bestimmung der Sickerwassergüte – geringerer Installationsaufwand als bei Lysimetern – „halbstationäres“ Verfahren
(4) Saugkerzen und Lysimeter „Sickerwasser-Dränzone“	NO ₃ , NH ₄ in mg/l im Sickerwasser	<ul style="list-style-type: none"> – hoher Installationsaufwand – stationäres Verfahren – zerstörungsfreie Mehrfach-Beprobung am selben Messpunkt möglich (reduzierte räumliche Variabilität) – besonders zur Ermittlung von Zeitreihen geeignet – auch für flachgründige Standorte geeignet
(5) Tiefenprofil mit schichtweiser Probenahme „Sickerwasser-Dränzone“	NO ₃ , NH ₄ in mg/l, (Bodenextraktion)	<ul style="list-style-type: none"> – tiefgründige Lockergesteine – hoher Aufwand, aber es können ggf. mehrere Sickerwasser-Jahrgänge mit einer Probenahme erfasst werden – hohe Mobilität

Die Prüfung der Beziehung zwischen Sickerwassergüte nach Herbst-Nmin (2) und analytisch ermittelter Sickerwassergüte nach Tiefenprofil (5) war Projektinhalt!

4.2 Klassifizierung Einzelschlag-bezogener Untersuchungsmethoden für das Sickerwassergüte-Monitoring und die Ermittlung von N-Austragsfrachten

Neben der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser ist insbesondere im Gebiets-Monitoring die Stickstoff-Austragsfracht von Bedeutung. Sie wird u. a. für die **Berechnung von Gebietszenarien** benötigt. Die Nitrat-Fracht entspricht dem Produkt aus der mittleren Nitrat-N-Konzentration im Sickerwasser und der Sickerwasserrate. Andere Stickstoff-Formen als Nitrat sind relativ unbedeutend, da sie kaum ausgewaschen werden.

Die in Kap B 4.1 genannten Untersuchungsmethoden lassen sich sowohl hinsichtlich der Sickerwassergüte, als auch hinsichtlich der Stickstoff-Austragsfrachten in direkte und indirekte Bestimmungs- bzw. Prognosemethoden unterscheiden. Zusätzlich werden sie in Tab. 12 nach der Art der Untersuchung (analytisch / rechnerisch) klassifiziert.

Tab. 12: Bewertung der direkten und indirekten Verfahren zur Sickerwassergüte- und N-Frachten-Ermittlung

Methode	Verfahrens-Art	Sickerwasser- Güte (Konz. in mg NO ₃ /l)		N-Fracht (jährlicher Aus- trag in kg N/ha)		Praktische Verbrei- tung im GW-Schutz
		direkt	indirekt	direkt	indirekt	
Nährstoff- Bilanz	rechnerisch		X		X	hoch
Herbst-Nmin	analytisch / rechnerisch		X	(X)	X	hoch
Monitoring- Box	analytisch / rechnerisch		X	X		unbedeutend
Lysimeter	analytisch	X		X		gering (Kleinlysimeter)
Saugkerzen	analytisch	X			X	unbedeutend
Tiefenprofil	analytisch	X			X	mittel

Die **analytischen** Verfahren basieren auf einer laboranalytischen Messung der Nitrat- und Ammonium-Konzentrationen bzw. des Gehaltes im Sickerwasser, Boden oder einem anderen Medium. Die Herbst-Nmin-Methode und die Nitrat-Monitoring-Box werden als „**analytisch / rechnerische**“ Verfahren eingestuft, weil sich die Stoffkonzentration im Sickerwasser erst nach Umrechnung der Laboranalysen unter Hinzuziehung der Sickerwasserrate und ggf. der Feldkapazität ergibt (Kapitel B 3.1.1). Die Nährstoff-Bilanzierung ist demgegenüber das einzige rein **rechnerische** Verfahren.

Die rein analytischen Verfahren mit Anwendung in der Sickerwasser-Dränzone werden gleichzeitig als „**direkte**“ **Methoden der Sickerwassergüte-Bestimmung** klassifiziert, da der Messwert für Nitrat unmittelbar mit der Sickerwassergüte gleichzusetzen ist. Das bedeutet aber nicht, dass der einzelne Messwert auch repräsentativ für die Stoffkonzentration z.B. im Winterhalbjahr ist. Bei Tiefenprofilen erfolgt die Mittelwert-Bildung über einen Tiefenbereich, der einem Zeitintervall zugeordnet werden kann. Bei Lysimetern und Saugkerzen erfolgt die Mittelung über einen bestimmten Zeitraum und unter Berücksichtigung der aufgefangenen Sickerwasser-Mengen. Alle genannten direkten Verfahren setzen eine repräsentative Erfassung des Sickerwassers voraus. Bei Tiefenprofilen und Saugkerzen kann dies durch Makroporenfluss erschwert werden, bei Lysimetern kommt es vor allem auf einen korrekten Einbau des Lysimeters an.

Als „**indirekte**“ **Verfahren zur Sickerwassergüte-Ermittlung** werden neben der Herbst-Nmin-Methode (vgl. Kapitel B 3) vor allem Nährstoff-Schlagbilanzen genutzt. Als weiteres Verfahren kann die Nitrat-Monitoring-Box angewandt werden. Bei der Auswertung von Nährstoff-Bilanzen muss zusätzlich die Pufferfähigkeit des Bodens berücksichtigt werden, die ein Vielfaches der jährlichen Bilanzsalden ausmacht (Kapitel B 1.1, Abb. 11). Die aus den N-Bilanzen abgeleitete Nitrat-Konzentration wird daher als „potenzielle“ Nitrat-Konzentration im Sickerwasser bezeichnet.

Als „direkte“ Verfahren zur Ermittlung der **Nitrat-Austragsfracht** werden Lysimeter und die Nitrat-Monitoring-Box eingestuft, da sich die Fracht unmittelbar aus den gemessenen Werten ergibt. Bei Sickerwasserraten > FK90 ist auch eine Gleichsetzung des Herbst-Nmin-Wertes mit der N-Fracht realistisch (Kapitel B 3.1.2). Die Herbst-Nmin-Methode kann daher bedingt ebenfalls als direktes Verfahren bezeichnet werden.

Tiefenprofile und Saugkerzen sind im Hinblick auf die Ermittlung der Nitrat-Austragsfracht als **indirekte Verfahren** anzusprechen, da zusätzlich zu den gemessenen Konzentrationen die Sickerwasserrate bekannt sein muss. Bei Herbst-Nmin-Werten ist demgegenüber nur das Verhältnis zwischen Sickerwasserrate und der Feldkapazität bis 90 cm zu berücksichtigen, siehe oben. Zur Ableitung der N-Frachten aus Nährstoffbilanzen muss zusätzlich die N-Festlegung im Bodenumus berücksichtigt werden.

Die direkten Verfahren liefern in der Regel sicherere Aussagen zur Sickerwasser-Güte und zur N-Frachtenermittlung als die indirekten Verfahren, sie sind aber aufgrund des erhöhten Aufwandes für flächenrepräsentative Auswertungen nur eingeschränkt einzusetzen.

4.3 Kurzcharakteristik der Untersuchungsmethoden

4.3.1 Nährstoff-Schlagbilanz

Mit der **Nährstoff-Schlagbilanz** wird die Nährstoff-Zufuhr einer Fläche der Nährstoff-Abfuhr mit dem Erntegut gegenübergestellt, so dass eine Aussage über mögliche Nährstoff-Überhänge getroffen werden kann. Die Schlagbilanz basiert als rein rechnerisches Verfahren auf den Daten des Bewirtschafters (Ackerschlagkartei). Eine sorgfältige Prüfung der Datengrundlage (ggf. Abgleich mit Hoftorbilanzen) ist hierbei unerlässlich.

- Positive oder negative N-Salden können über längere Zeit weitgehend durch die bodenbürtige N-Dynamik abgepuffert werden, d.h. der Rückschluss auf N-Austräge (Frachten) ist nicht mit Einzeljahresbezug möglich. **Zwischen N-Salden und Herbst-Nmin-Werten besteht daher kein Zusammenhang, vgl. Abb. 15 + 16.**

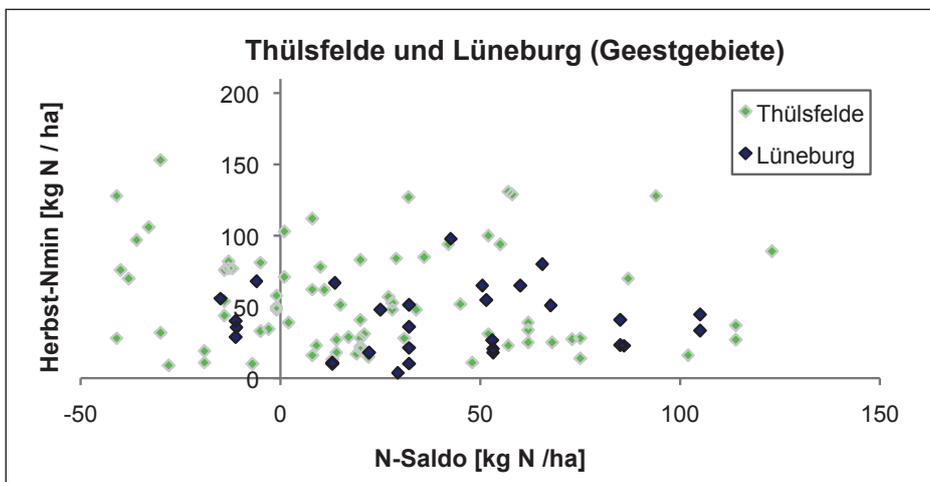


Abb. 15: N-Schlagbilanz-Salden und Herbst-Nmin-Werten für die Pilotgebiete Thülsfelde und Lüneburg

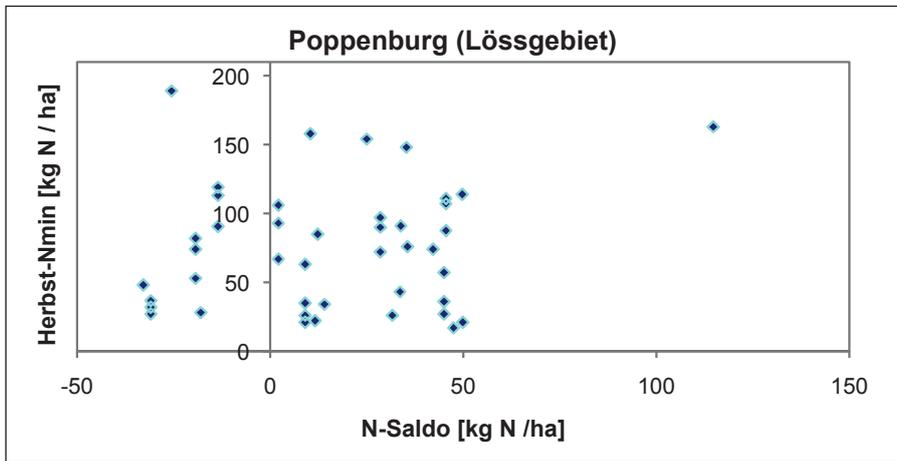


Abb. 16: N-Schlagbilanz-Salden und Herbst-Nmin-Werten für das Pilotgebiet Poppenburg

- Bei positiven Salden berechnet sich die potenzielle Nitrat-Konzentration im Sickerwasser nach Formel 21:

Formel 21: Berechnung der potenziellen Nitrat-Konzentration aus dem N-Bilanzsaldo

$$\text{pot. NO}_3\text{-Konz. [mg/l]} = \text{N-Saldo [kg / ha]} \times 443 / \text{Sickerwasserrate [mm]}.$$

Im Unterschied zu der Sickerwassergüte-Prognose aus Herbst-Nmin-Werten (vgl. Kapitel B 3.1) wird die Feldkapazität des Bodens hierbei (außer in der Ermittlung der Sickerwasserrate) nicht berücksichtigt.

- Die gemessene Nitrat-Konzentration im Sickerwasser zeigt keine unmittelbare Beziehung zu den Bilanzsalden, vgl. Abb. 17.

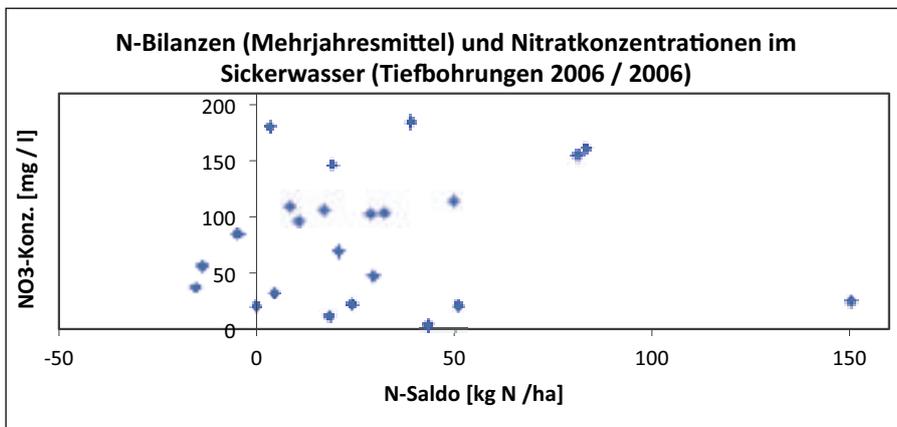


Abb. 17: Gegenüberstellung von N-Schlagbilanz-Salden (Mittelwerte ab 2001 bzw. 2003 bis 2005) und gemessenen Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser (Tiefenprofil-Ergebnisse 2005/06 alle Gebiete)

4.3.2 Herbst-Nmin

Mit dem **Herbst-Nmin-Wert** wird der mineralische Stickstoff-Gehalt in der Wurzelzone vor Beginn der winterlichen Versickerungsperiode gemessen. Für den Wurzelraum gibt es im Hinblick auf Stickstoff kaum Alternativen zur Herbst-Nmin-Methode als zentrales Monitoring-instrument. Die Methode ist hoch mobil, sehr flexibel, kostengünstig und kann verschiedene Fragestellungen des Maßnahmen- und Gebiets-Monitorings beantworten. Dies erfordert jedoch eine zielorientierte Planung, die Wahl des richtigen Probenahmeterrains, eine korrekte Durchführung von Probenahme und Analyse, sowie die Berücksichtigung von Standort- und Witterungseinflüssen.

- Im Unterschied zu dem N-Bilanzsaldo wird in der Regel die mit dem Herbst-Nmin-Wert gemessene N-Menge unmittelbar ausgewaschen.
- Für Sandböden mit ausreichend mächtiger Dränzone entspricht die über mehrjährige Herbst-Nmin-Werte prognostizierte weitgehend der tatsächlich gemessenen Sickerwassergüte (Kapitel B3).
- Die eingeschränkte Nutzung bei flachgründigen Standorten ist zu berücksichtigen.

4.3.3 Monitoring-Box-Verfahren

Eine weitere, noch relativ unbekannt Methode zur Sickerwassergüte-Bestimmung unter sandigen Ackerböden ist das so genannte **Monitoring-Box-Verfahren**, das auf dem Prinzip des Ionenaustausches basiert [15]. Bei diesem Verfahren werden 16 cm lange Plastikröhren, die ein mit Sand vermischtes Austauschharz enthalten, unter ungestörtem Boden in vorgegebener Tiefe (je nach Gründigkeit des Bodens) eingebaut. Das durchströmende Nitrat wird durch den Austauscher quantitativ aus der Bodenlösung entfernt. Das auf dem Austauscher akkumulierte Nitrat kann durch Rücktausch desorbiert und laboranalytisch bestimmt werden. Als Ergebnis erhält man die Nitrat-Auswaschung für den Zeitraum, über den die Nitrat-Monitoring-Box im Boden eingebaut war. Anhand der Querschnittsfläche der Box wird die Nitrat Auswaschung pro ha berechnet.

- Die Methode ist bisher nur auf sandigen Substraten eingesetzt worden.
- Pro Fläche werden – je nach Variabilität des Standortes - mehrere Nitrat-Monitoring-Boxen eingebaut. Im Gegensatz zu Lysimetern oder Saugkerzen ist die Monitoring-Box als instationäres Verfahren anzusprechen, da die Box zur Analyse ausgegraben wird.
- Im Unterschied zu der Herbst-Nmin-Methode werden die tatsächlichen Auswaschungsfrachten „direkt“ ermittelt.
- Erfahrungswerte zum Einsatz des Verfahrens im Grundwasserschutz liegen nicht vor, deshalb kann an dieser Stelle auch keine abschließende Beurteilung erfolgen.

4.3.4 Saugkerzen und Unterflur-Lysimeter

Saugkerzen und Unterflur-Lysimeter liefern über die direkte Gewinnung und Analyse von Sickerwasser die Stoffkonzentration im Sickerwasser als unmittelbares Ergebnis. Als stationäre Anlagen liefern sie Zeitreihen von Messwerten, die frei von der räumlichen Variabilität sind, die bei mobilen Verfahren (auch bei einer Wiederholung der Beprobung auf der gleichen Parzelle) die Interpretation der Ergebnisse erschwert.

Die an einem Saugkerzen- bzw. Lysimeterstandort ermittelten Stoffkonzentrationen sind somit vollständig auf die zeitlichen Veränderungen zurückzuführen. Diese Methoden sind daher besonders für ein langfristiges Monitoring zur Trendbeschreibung geeignet.

Die bauliche Installation und die Mehrfach-Beprobung der Anlagen sind allerdings mit einem deutlich höheren Aufwand verbunden. Diese Verfahren empfehlen sich daher für **Sonderfragen und –standorte** bzw. dort wo aufgrund der Bodenverhältnisse eine Herbst-Nmin-Probenahme nicht möglich ist, aber auch zur Eichung der anderen, kostengünstigeren und instationären Methoden des Maßnahmen- und Gebiets-Monitorings (Herbst-Nmin, Tiefbohrungen etc.).

- Die Nitrat-Konzentration im Sickerwasser wird direkt gemessen. Zusätzlich kann auch die Verlagerung sorbierbarer Stoffe wie Ammonium zuverlässig erfasst werden.
- In der Ausführung als Unterdruck-Lysimeter ermöglichen Lysimeter durch Umrechnung über die Querschnittsfläche eine quantitative Sickerwasser-Erfassung und Frachtenberechnung.
- Die Saugkerzen-Methode setzt zur Frachtenberechnung eine regelmäßige Beprobung und Umrechnung über die Sickerwasserrate voraus.

4.3.5 Tiefenprofile

Bodenkundliche **Tiefenprofile** liefern die Stoffkonzentration in der Sickerwasser-Dränzone. Bei entsprechend mächtigen Sickerwasser-Dränzonen ermöglichen Tiefenprofile zudem die Bewertung mehrerer zurückliegender Bewirtschaftungsjahre. Als Nachteile stehen ein erhöhter Aufwand für die Gewinnung statistisch abgesicherter Ergebnisse, sowie Unsicherheiten hinsichtlich der Berücksichtigung präferenzierter Fließwege des Sickerwassers (insbesondere bei Lössböden, s. Kapitel B 3.2) gegenüber. Für eine flächenhafte Bewertung der Sickerwasserqualität in einem Gebiet kommt diese Methode nur bei ausreichender repräsentativer Stichprobe in Frage. Ein typisches Einsatzgebiet ist die Erfolgskontrolle mehrjähriger Maßnahmen, die einen erhöhten Maßnahmeneffekt (Nitrat-Minderung) erwarten lassen. Für flachgründige Standorte ist die Methode ungeeignet.

- Die Nitrat-Konzentration wird im Schüttel-Extrakt (nach CaCl_2 -Methode) gemessen. Hieraus kann die Nitrat-Konzentration im Sickerwasser mit großer Sicherheit abgeleitet werden, da Nitrat im Boden kaum sorbiert, und vollständig mit dem Sickerwasser verlagert wird. Vorsicht ist bei der Interpretation der Ergebnisse bei Substraten mit einem hohen Anteil von relativ unbeweglichem Wasser (Staunässe) bzw. bei Makroporenfluss geboten, vgl. Kapitel B 3.2.

Wenn die Sickerwasserrate bekannt ist, können bei gleichmäßiger Tiefenverlagerung des Sickerwassers die Konzentrationen zu Frachten umgerechnet werden.

4.3.6 Einbeziehung von GW-Untersuchungen und Fazit

Unterhalb der Grundwasser-Oberfläche wird die räumliche Zuordnung der Messwerte zu einem Herkunftsbereich wegen der **Grundwasserströmung** zunehmend erschwert. Für die Einzelflächen-Beurteilung eignen sich mobile Verfahren mit einem sehr kurzen Beprobungsbereich unter der Grundwasser-Oberfläche (max. 30 cm) besser. Flache Grundwasser-Messstellen können evtl. zur Bewertung von Teilgebieten mit einheitlicher Bewirtschaftung genutzt werden. Grundwasseruntersuchungen sind zwar als **Vorab-Kontrolle für die Trinkwassergewinnung** unerlässlich, für die Erfolgskontrolle des Grundwasserschutzes aber nur langfristig und mit Kenntnis des Grundwasseralters geeignet.

Als Methode zur Bewertung der landwirtschaftlichen Flächennutzung im Hinblick auf Nitrat **sollte die Herbst-Nmin-Methode insbesondere durch Nährstoff-Schlagbilanzen und Tiefenprofile ergänzt werden**. Für das stofflich-analytische Grundwasserschutz-Monitoring mit Einzelschlag- und Einzeljahres-Bezug gibt es zur Herbst-Nmin-Methode auf den geeigneten Standorten derzeit keine sinnvolle Alternative (vgl. Kapitel A 1.1). Das Ziel einer gesamtgebietlichen analytischen Erfolgskontrolle von Grundwasserschutz-Maßnahmen zwingt in Gebieten mit vorwiegend flachgründigen bzw. grundwassernahen Standorten ggf. zum Ausweichen auf aufwändigere Methoden (Unterflur-Lysimeter, Saugkerzen-Anlagen). Diese können jedoch nur stichprobenartig eingesetzt werden.

B 5 Monitoring und Maßnahmenbewertung in der Zielkulisse der EG-WRRL - Einsatz der Herbst-Nmin-Methode

5.1 Emissions-Monitoring für die EG-WRRL

Im Monitoring zur EG-WRRL wird zwischen einem Emissions- und einem Immissions-Monitoring unterschieden. Die Überwachung der Grundwasser-Beschaffenheit wird dabei als Immissions-Monitoring bezeichnet. Das Emissions-Monitoring umfasst demgegenüber die Überwachung von Stickstoff-Freisetzungen, die in das Grundwasser und die Oberflächengewässer gelangen **können**. Hierbei geht es schwerpunktmäßig um diffuse N-Freisetzungen aus der Landwirtschaft, sowie aus geogenen Quellen.

Zum Monitoring diffuser N-Emissionen aus der Landwirtschaft werden bei der Umsetzung der EG-WRRL vorwiegend flächenübergreifende Nährstoffbilanz-Ansätze genutzt. In Niedersachsen werden hierzu Daten der Agrarstatistik ausgewertet, die um Faustzahlen zur atmosphärischen N-Deposition ergänzt werden (sog. Top

Down-Ansatz, nach [9]). Zur Validierung der Bilanzglieder werden einzelbetriebliche Nährstoffbilanzen hinzugezogen. Diese werden u. a. aufgrund der Aufzeichnungspflicht der landwirtschaftlichen Betriebe gemäß Düngerverordnung [6] erstellt.

Nährstoffbilanzen auf Grundlage von statistischen Daten sind derzeit das einzige Instrument, das mit vertretbarem Aufwand für ein **flächendeckendes Emissions-Monitoring** genutzt werden kann. Eine Ergänzung um die Herbst-Nmin-Methode ist aktuell hauptsächlich für Validierungszwecke (Gegenüberstellung der gemessenen Emissionswerte mit den rein rechnerischen Bilanzsalden) denkbar.

Die umfangreiche Herbst-Nmin-Datengrundlage aus Wassergewinnungsgebieten kann hierfür nur begrenzt genutzt werden, da diese wegen intensiver Beratungstätigkeit und Maßnahmendurchführung nicht repräsentativ für die übrigen landwirtschaftlichen Flächen sind.

Folgende Haupt-**Einsatzbereiche für die Herbst-Nmin-Untersuchungen** bei der Umsetzung der EG-WRRL bieten sich an:

- die Erfolgskontrolle von Grundwasserschutz-Maßnahmen in der Zielkulisse der EG-WRRL.
- der Einsatz bei einer ergebnisorientierten Maßnahmenumsetzung. Dies würde aber eine sorgfältige Berücksichtigung der Wirkung von Rahmenbedingungen (v.a. Witterungsverlauf und Standorteinfluss) auf den Herbst-Nmin-Wert erfordern, die nicht im Verantwortungsbereich des landwirtschaftlichen Betriebes liegen.
- die langfristige Validierung der Aussagefähigkeit der Nährstoffbilanz-Daten für die tatsächlichen Nitrat-Austräge (Frachten) und für die Sickerwassergüte.
- die Nutzung als didaktisches Instrument zum Aufzeigen von Bewirtschaftungseffekten für den Nitrat-Austrag über Winter (Demoversuche).

5.2 Anforderungen an eine überregionale Herbst-Nmin-Einzeldatenerfassung

Die überregionale Nutzung und Auswertung von Herbst-Nmin-Daten setzt ein **einheitliches Tabellen- und Dateiformat** voraus. Um Doppelangaben der erforderlichen Zusatzinformationen (Anbaufrüchte, Standortdaten, Grundwasserschutz-Maßnahmen etc.) zu vermeiden, ist die Verwendung eines relationalen Datenbank-Systems (z.B. MS Access) unerlässlich. Empfohlen wird die Verwendung einer landesweit einheitlichen Anwendung, wie z.B. DIWA oder POLARIS.

Die im DIWA-Shuttle (ab 2009) realisierte Erfassung kulturbezogener Mittelwerte dient vorwiegend dem Gebiets-Monitoring, der Bewertung der eingesetzten Maßnahmenpakete hinsichtlich einzelner Kulturen, und der Quantifizierung der Belastungssituation für unterschiedliche Anbausituationen. Für eine detaillierte massenstatistische Bewertung einzelner Gewässerschutz-Maßnahmen ist jedoch die Erfassung der Einzeldaten mit den erforderlichen Zusatzinformationen unerlässlich. Die nachfolgende Übersicht (Tab. 13) wurde im Rahmen des WAgriCo-Projektes erstellt. Sie enthält die wichtigsten, quantitativ oder nach vorgegebenen Klassifizierungen erfassbaren Einflussfaktoren auf den Herbst-Nmin-Wert.

Bei der Auswertung wird im Einzelfall nur ein Teil der Datenfelder (=Tabellenspalten) berücksichtigt bzw. es erfolgt eine mehr oder weniger starke Zusammenfassung der Einzelfaktoren, um eine zu starke Disaggregation (zu kleine Stichproben) zu vermeiden.

Die **Dateninhalte der Tab. 13** sollten möglichst bei zukünftigen Herbst-Nmin-Beprobungen genutzt werden, um die Herbst-Nmin-Untersuchungsergebnisse optimal zu nutzen und möglichst **umfassende Auswertungsoptionen** zu gewährleisten.

Tab. 13: Anforderungen an Dateninhalte einer landesweiten Herbst-Nmin-Datenzusammenführung

Haupt-Datenfeld	zugeordnete Datenfelder	Erläuterung
Jahr		Zentrales Filterkriterium (Jahres-/ Witterungseffekt, Trendermittlung)
Landkreis- oder Gemeinde-Code	Klima- oder Witterungsdaten atmosphärische N-Deposition	Klassifizierung nach Klima-/ Witterungsdaten
Standort	NAG-Klasse (1 bis 5)	Wichtiges Differenzierungskriterium!
	N-Quellen/Senken-Eigenschaften (+ / - / 0)	Eignungskriterium für Maßnahmen-Bewertung!
Betriebstyp	Betriebskategorie (Marktfrucht / Veredlung / Futterbau / ...)	als „Ersatz“-Parameter für Norg-Anfall je ha, da dieser häufig nicht angegeben werden kann
Norg-Zufuhr je ha	Klasseneinteilung, z. B. <40 / 40-80 / 80-120 / >120 kg/ha	Höhe der langjährigen organischen N-Zufuhr (Hinweis auf ggf. erhöhte Dynamik)
Anbaufrucht	Frucht-Gruppe (Hackfrüchte nach Fruchtart, sonst allg. übliche Frucht-kategorien)	Wichtiges Differenzierungskriterium!
Zwischenfrucht		Auswertung ggf. nur zusammenfassend nach „mit / ohne nachfolgende Zwischenfrucht oder Winterraps“
Nachfolgende Hauptfrucht	Frucht-Gruppe aus Grundwasser-schutz-Sicht	
Maßnahme (Code)	Maßnahmenbeschreibung	Ziel-Kriterium für Maßnahmen-Monitoring
	fachliche Maßnahmen-Kategorie	
	Maßnahmen-Kategorie aus GW-schutz-Sicht	Differenzierungs-Kriterium für flächengewichtete Mittelung im Gebiets-Monitoring
Bodenbearbeitung	Auswahlfeld: Pflügen / Grubbern / Mulchen / Direktsaat / ...	Bodenbearbeitung nach Ernte der Hauptfrucht
Referenzfläche	Wasserhaushalts-Berechnungen (Info-dienst Grundwasserschutz LBEG)	Zur Evaluierung des Beprobungstermins und für die Sickerwassergüte-Prognose erforderlich
Probenahme-Datum		Prüf-Kriterium f. mögliche Vorab-Verluste bzw. Mineralisierung nach Probenahme
Beprobungstiefe		<> 90 cm nur bedingt bzw. gesondert auswertbar
Labor		Hinweis auf unterschiedliche Analyseverfahren, Trockendichte-Faustzahlen (bis 2001), etc.
Substrattyp	Auswahlfeld: mineralisch / anmoorig / organisch	Prüfkriterium: nicht rein mineralische Substrate wg. N-Freisetzung / Festlegung und uneinheitlicher Trockendichte-Ermittlung gesondert auswerten
Nmin-Wert (NO ₃ -N + NH ₄ -N)		Ergebniswert!
davon NH ₄ -N		Plausibilitäts-Prüfung des Nmin-Wertes / Hinweis auf Wirtschaftsdünger etc.
Datenherkunft		Für Rückfragen etc.
Bemerkungen		

Literatur

- [1] **AG BODEN (2006):** Bodenkundliche Kartieranleitung. 5., verbesserte und erweiterte Auflage. Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden: Eckelmann, W.; Red.: Sponagel, H.; Grottenthaler, W.; Hartmann, K.-J. u.a. 5. Auflage. Hannover
- [2] **ANTONY, F. (2001):** Praxiseinsatz der Herbst-Nmin-Methode in der Erfolgskontrolle – Anforderungen, Möglichkeiten und Grenzen -. Gemeinsame Veranstaltung der NLÖ und des NLfB am 26.04.01 in Hannover: „Aspekte und Kriterien der Nmin-Methode im Rahmen der Erfolgskontrolle in der Zusatzberatung Wasserschutz“. Referatesammlung. Unveröff.
- [3] **BISCHOFF, W.-A., KÖHLER, S., KAUPENJOHANN, M. (2001):** Variabilität flächenhafter Austräge von Nitrat unter landwirtschaftlicher Nutzung. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 96 (Heft 1), S. 61 – 62
- [4]: **BOESS, J., GEHRT, E., MÜLLER, U., OSTMANN, U., SBRESNY, J., STEININGER, A. (2004):** Erläuterungsheft zur digitalen nutzungsdifferenzierten Bodenkundlichen Übersichtskarte 1:50.000 (BÜK50n) von Niedersachsen. Arbeitshefte Boden 3. 61 S.
- [5] **BÖTTCHER, J., DUIJNISVELD, W. H. M. (1996):** Variabilität von Bromid- und Nitrat-Konzentrationen bei der Stoffverlagerung in einem Sandboden unter Standortbedingungen. Z. f. Kulturtechnik und Landesentwicklung 37, 207-213
- [6] **Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, BMELV (2007):** Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenschutzmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV), Neufassung vom 27.02.2007. Bundesgesetzblatt 2007 Teil I Nr. 7 (S. 222-240)
- [7] **DIN 19732 (1997):** Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nichtsorbierbaren Stoffen.
- [8] **DVWK (1996):** Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. DVWK-Fachausschuss „Verdunstung“, Band 238, Bonn (DVWK). 135 S.
- [9] **EISELE, M., SCHÄFER, W., GOENS, J. (Red., 2006):** Integriertes Monitoring des chemischen Zustandes des Grundwassers. Projektbericht, unveröffentlicht (LBEG, Hannover).
- [10] **FRICKE, E. (2006):** Beregnung senkt Stickstoff-Verluste. Land und Forst 17, 30-32
- [11] **GÄTH, S., ANTONY, F., BECKER, K.-W., GERIES, H., HÖPER, H., KERSEBAUM, C., NIEDER, R. (1997):** Bewertung des standörtlichen Denitrifikations- und Mineralisations-/ Immobilisations-Potentials von Böden. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 85 (3), S. 1373-1376
- [12] **HAGEMANN, K., MÜLLER, U., SCHÄFER, W., BARTSCH, H.-U. (2005):** Der internetgestützte Infodienst Grundwasserschutz des NLfB. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 107, Heft 1
- [13] **HILLEBRAND, S. (2002):** Verbesserung der Aussagekraft von Herbst-Nmin-Werten durch die Optimierung des Probenahmetermins. Arbeitshefte Boden 3. S. 122 – 129.
- [14] **ILSEMANN, J., GOEB, H.-U., BACHMANN, J. (2001):** How many soil samples are necessary to obtain a reliable estimate of mean nitrate concentrations in an agricultural field? Journal of plant nutrition and soil science 164. S. 585 – 590
- [15] **KAUPENJOHANN, M., KUKOWSKI, H. (1996):** Quantifizierung der Nitratausträge aus landwirtschaftlichen Flächen mit Hilfe der Ionenaustauschertechnik. Fachliche Berichte HWW, 15. Jg., Nr. 1, S. 33 – 41
- [16] **KETELSEN, H., MÜLLER, U. (2001):** Der Nmin-Herbstwert als Instrument der Erfolgskontrolle in der Zusatzberatung „Wasserschutz“ – Ergebnisse aktueller Untersuchungen zur Aussagefähigkeit von Nmin-Daten. Studie im Auftrag der Bezirksregierung. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung. Hannover. 44 S.
- [17] **KETELSEN, H., MÜLLER, U., SEITZ, D., HORSTKÖTTER, M., HARTUNG, T. (2003):** Zur Aussagekraft des Nmin-Herbstwertes als Instrument der Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz. Wasser & Boden 50, 18-21
- [18] **KLIEBSCH, K. (1995):** Grundwasserneubildung und Nitrataustrag einer Siedlungsfläche in einem Trinkwassergewinnungsgebiet. Dipl.-Arbeit, Univ. Hannover
- [19] **KLIEBSCH, K., MÜLLER, U., VAN DER PLOEG, R. R. (1998):** Nitrataustrag aus einer ländlichen Siedlungsfläche in: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 161, S. 309-318

- [20]: **KNOBLAUCH, S. (1996):** Wasser- und Stofftransport über präferentielle Fließbahnen in Böden – eine Literaturübersicht –. *Wasserwirtschaft* 86, 11. S. 598 – 602.
- [21] **MÜLLER, U. (2004):** Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). 7. Aufl, NLFb Hannover
- [22] **LÜTTGER, A., DITTMANN, B., SOURELL, H. (2005):** Leitfaden zur Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen. Hrsg.: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (MLUVV), Potsdam
- [23] **NIEDER, R., DAUCK, H.-P., PACHOLSKI, A. (2001):** Neubewertung der N-Mineralisationskapazität niedersächsischer Löss-Ackerböden. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 96 (2), S. 437 – 438.
- [24] **NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE, Hrsg. (2001):** Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz. Grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft und Methoden zu ihrer Erfolgskontrolle. Hildesheim, 267 S.
- [25] **NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE, Hrsg. (2003):** Vorläufige Empfehlungen zur Durchführung von Herbst-Nmin-Programmen. *Grundwasser*, Bd. 3, Hildesheim, 15 S.
- [26] **RENGER, M., STREBEL, O. (1982):** Beregnungsbedürftigkeit der landwirtschaftlichen Nutzflächen in Niedersachsen. *Geolog. Jahrbuch* F13, Hannover
- [27] **RENGER, M., STREBEL, O., WESSOLEK, G., FACKLAM, H. (1984):** Grundwasseranreicherung Fuhrberger Feld als Modell für die optimale Nutzung von Grundwasservorkommen im norddeutschen Flachland. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, F + E – Vorhaben Wasser 102 02 305. Stadtwerke Hannover AG
- [28] **SCHEFFER, B., BLANKENBURG, J. (1993):** Die Bestimmung der Rohdichte von Moorböden. *Agribiological Research*, Band 46, Heft 1, 1993 - J.D. Sauerländer's Verlag.
- [29]: **SCHWEIGERT, P., VAN DER PLOEG, R. R. (1998):** Erfolgskontrolle bei grundwasserschonender Landwirtschaft durch den Nachweis witterungsunabhängiger Nmin-Trends. *Wasser & Boden* 50, 18-21
- [30]: **P. SCHWEIGERT, PINTER, N., VAN DER PLOEG, R. R. (2004):** Regression analyses of weather effects on the annual concentrations of nitrate in soil and groundwater. in: *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde / J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167, S. 309-318
- [31] **SIEBNER, C. (2000):** Wasserbewegung und Stofftransport in Pelosolen am Beispiel des Südniedersächsischen Röt (Oberer Bundsandstein). Dissertation an der Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen, 115 S.
- [32]: **WALTHER, M., ÜBELHÖR, W. (1999):** Statistische Auswertungsmöglichkeiten der Bodennitratgehalte vor dem Winter. Im Internet unter <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lufa> (erstellt am 29.10.2002)
- [33]: **WENDLING, U., SCHELLIN, H.-G., THOMÄ, M. (1991):** Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für die Zwecke der agrarmeteorologischen Beratung. *Zeitschrift für Meteorologie*, Band 41, 6, S. 468 - 475
- [34]: **WESSOLEK, G., RENGER, M., STREBEL, O. (1987):** Einfluss der Beregnung auf den regionalen Wasserhaushalt. *Wasser und Boden* 3, 1987.

Anhang

Methodik der Wasserhaushalts-Simulation im Infodienst

Die Berechnung für das Winterhalbjahr beginnt mit der herbstlichen Wiederaufsättigung der Böden. Dazu ist eine Bestimmung des Bodenwassergehaltes bzw. der Trockenmasse als „Startwert“ notwendig. Ab dem Start-Tag wird dann schrittweise für jeden Tag der Bodenwasservorrat simuliert. Nach Aufsättigung der Böden bis zur Feldkapazität wird die jeweils angefallene kumulierte Sickerwassermenge und die Verlagerungstiefe des Sickerwassers berechnet.

Grundlage für die Bodenwasserhaushaltssimulation ist ein für die agrarmeteorologische Beratung entwickeltes Verfahren nach WENDLING et al. 1991 (DVWK 1996). Dies basiert auf folgendem Zusammenhang:

$$SWR_i = P_i - ETa_i + KR_i + \Delta W_i$$

SWR_i : Sickerwasserrate des aktuellen Tages [mm/d]

P_i : Niederschlag des aktuellen Tages [mm/d] (nach Korrektur systematischer Messfehler)

ETa_i : reale Evapotranspiration des aktuellen Tages [mm/d]

KR_i : kapillare Aufstiegsrate aus dem Boden [mm/d]

ΔW_i : Bodenwasservorratsänderung des aktuellen Tages [mm/d]

Aus dieser vereinfachten Wasserhaushaltsgleichung werden die Kennwerte im Infodienst nach folgenden Formeln abgeleitet:

Kumulierte Sickerwasserrate

Die tägliche Sickerwassermenge an der Untergrenze der Bodenschicht (in der Regel 9 dm) wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$SWR_i = W_i - FK_{90}$$

SWR_i = Sickerwasserrate des aktuellen Tages [mm]

W_i = Bodenwasservorrat des aktuellen Tages [mm/9dm]

FK_{90} = Feldkapazität bis 90 cm Tiefe [mm/9dm]

$SWR_i = 0$ bei $W_i \leq FK_{90}$

$SWR_i = W_i - FK_{90}$ bei $W_i > FK_{90}$

Dabei setzt die Sickerwasserbildung ein, wenn „ $W_i > FK_{90}$ “ erstmalig im Winterhalbjahr auftritt.

Als Ergebnis wird die tägliche Sickerwasserrate SWR_i kumuliert angegeben:

$$Swr_{kum} = SWR_{i-1} + SWR_i$$

SWR_{i-1} = Sickerwasserrate des Vortages [mm]

SWR_i = Sickerwasserrate des aktuellen Tages [mm]

Bodenwasservorrat

Der Anfangswert des Bodenwasservorrates zu Beginn des Berechnungszeitraumes wird zunächst im Feld durch eine Wassergehaltsbestimmung ermittelt und für eine Bodenschicht berechnet. Danach beginnt die schrittweise tägliche Berechnung des Bodenwasservorrates in einer Bodenschicht (in der Regel bis 9 dm Tiefe) nach der Gleichung:

$$W_i = W_{i-1} + P_{i-1} - Eta_{i-1} - SWR_{i-1} + KR_{i-1}$$

W_i = Bodenwasservorrat des aktuellen Tages [mm/9dm]

W_{i-1} = Bodenwasservorrat des Vortages [mm/9dm]

P_{i-1} = korrigierter Niederschlag des Vortages [mm] (Korrektur nach DVWK-Merkblatt 1996)

$E_{a,i-1}$ = reale Verdunstung des Vortages [mm]

SWR_{i-1} = Sickerwasserrate des Vortages [mm]

KR_{i-1} = kapillarer Aufstieg des Vortages [mm]

$KR_i = 0$ (bei tiefen Grundwasserständen)

Berechnung der realen Verdunstung

Um die potentielle Verdunstung über Grünland in eine pflanzen- bzw. kulturspezifische reale Verdunstung umzurechnen werden monatsbezogene Bestandeskoeffizienten eingesetzt:

$$E_{a,i} = P_i - (P_i - (ETP_{Haude} * kc)) * R_i$$

$E_{a,i}$ = reale Verdunstung [mm]

P_i = korrigierter Niederschlag [mm]

ETP_{Haude} = Potentielle Verdunstung nach Haude [mm]

kc = monatsbezogener Bestandeskoeffizient (berücksichtigt den Bodenbedeckungsgrad in Abhängigkeit von der Fruchtart und dem Monat) (nach DOMMERMUTH & TRAMPF 1991 und DVWK 1996)

R_i = Reduktionsfaktor (Reduktion der Verdunstung in Abhängigkeit von Bodenfeuchte und Niederschlag nach DVWK 1996)

Berechnung der potentiellen Verdunstung nach Haude

In die Verdunstungsberechnung nach Haude geht ein monatsspezifischer Haude-Faktor und das Sättigungsdefizit der Luft ein (MÜLLER 1997). Die potentielle Verdunstung nach Haude ist bezogen auf niedrigen Grasbewuchs.

$$ETP_{Haude} = f(m) * (e_s - e) \leq 7 \text{ mm/d}$$

ETP_{Haude} = potentielle Verdunstung nach Haude [mm/d]

$f(m)$ = Monatsfaktor [mm*mbar⁻¹*d⁻¹]

e = Aktueller Dampfdruck [hPa]

e_s = Sättigungsdampfdruck [hPa]

Für die Berechnung des aktuellen Dampfdrucks und des Sättigungsdampfdrucks wird die Lufttemperatur und die Luftfeuchte um 14 Uhr benötigt!

Verlagerungstiefe

Nach Beginn der Sickerwasserbildung wird die Verlagerungstiefe des Sickerwassers nach folgender Gleichung berechnet:

$$\text{Verlagerungstiefe [dm]} = \frac{\text{Sickerwasser - Menge [mm]}}{\text{mittlere Feldkapazität [mm/dm]}}$$

