



Niedersächsisches  
Landesamt für  
Ökologie



## **Vorläufige Empfehlungen zur Durchführung von Herbst-Nmin-Programmen**

*Optimierung von Herbst-Nmin-Programmen  
zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutz-  
Maßnahmen und Prognose der  
Sickerwasserqualität*

Herausgeber:  
Niedersächsisches Landesamt für Ökologie  
An der Scharlake 39  
31135 Hildesheim

Redaktion:  
Hubertus Schültken, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie  
Abt. 3: Wasserwirtschaft, Gewässerschutz

Projektbearbeitung:  
Dipl.-Ing. agr. Burkhard Gödecke,  
Ingenieurdienst Umweltsteuerung (INGUS) Hannover  
Dipl. Geogr. Katrin Hagemann,  
Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover

Titelphotos:  
Ingenieurdienst Umweltsteuerung (INGUS) Hannover

1. Auflage: Okt. 2003, 250 Ex.

Schutzgebühr:  
2,50,- EUR zuzügl. Versandkostenpauschale zz.2,50,- EUR

Bezug:  
Niedersächsisches Landesamt für Ökologie  
Postfach 101062  
31110 Hildesheim

e-mail: [heinrich.klaholt@nloe.niedersachsen.de](mailto:heinrich.klaholt@nloe.niedersachsen.de)

[www.nloe.de](http://www.nloe.de)

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Die Herbst-Nmin-Methode im Vergleich zu anderen Methoden der Erfolgskontrolle</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Herbst-Nmin-Planung für Gebiets- und Maßnahmen-Monitoring</b>	<b>5</b>
	3.1 Standörtliche Voraussetzungen für die Herbst-Nmin-Beprobung	7
	3.2 Berücksichtigung der Standort- und Anbauverhältnisse (Gebietsmonitoring)	11
	3.3 Besondere Planungskriterien für das Maßnahmen-Monitoring	11
<b>4</b>	<b>Durchführung der Herbst-Nmin-Methode</b>	<b>13</b>
	4.1 Optimaler Probenahmetermin bei geringen und mittleren Niederschlagsmengen	13
	4.2 Referenzflächennetz und Internet gestützter „Nmin-Infodienst“	14
	4.3 Vorgehen bei sehr hohen Herbst-Niederschlägen	15
	4.4 Probenahme und Analyse	16
<b>5</b>	<b>Auswertung und Darstellung der Ergebnisse</b>	<b>18</b>
	5.1 Digitale Archivierung der Einzelwerte	18
	5.2 Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser	19
	5.3 Aggregation und Systematisierung von Herbst-Nmin-Werten für das Gebiets- und Maßnahmenmonitoring	20
<b>6</b>	<b>Ausblick</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>24</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>25</b>
	<b>Ansprechpartner</b>	<b>26</b>

## 1 Einleitung

Zum verbesserten Einsatz der Nmin-Methode im Grundwasserschutz wird seit Oktober 2002 das NLÖ-Pilotprojekt „Landesweiter Informationsdienst zur Sickerwassergüte“ durchgeführt. Ziel dieses Projektes ist die Optimierung von Herbst-Nmin-Programmen zur jährlich wiederkehrenden, repräsentativen Erfolgskontrolle von Grundwasserschutz-Maßnahmen und Prognose der Sickerwasserqualität in Wassergewinnungsgebieten. Die vorliegende Broschüre fasst in einer frühen Phase dieses Projektes den aktuellen Kenntnisstand zusammen und gibt vorläufige Empfehlungen für die Durchführung von Nmin-Programmen, um zu aussagekräftigen, miteinander vergleichbaren Ergebnissen sowohl auf regionaler als auch auf landesweiter Ebene zu gelangen.

Herbst-Nmin-Programme werden zur Bewertung der landwirtschaftlichen Flächennutzung 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. Probengewinnung, -aufbereitung und -analyse sind in der Praxis identisch mit der Frühjahrs-Nmin-Methode, die für die Düngeplanung durchgeführt wird.

Die Eignung der Herbst-Nmin-Beprobung 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.

Es gibt landesweit umfangreiche Herbst-Nmin-Datenbestände, die allerdings nur eingeschränkt miteinander vergleichbar sind. Dies liegt u. a. an folgenden Ursachen:

- ? Keine systematische Auswahl der Beprobungsstandorte
- ? Unterschiedliche Probenahmetermine ohne ausreichende Berücksichtigung des Witterungsverlaufes und der Bodenverhältnisse
- ? Mängel bei der Stichprobenauswahl für Mittelwertbildungen [2]

Herbst-Nmin-Programme sind bisher nur eingeschränkt für eine gebietsweite Sickerwassergüte-Prognose zu nutzen [6]. Zusätzlich zum Wasserschutzgebiets-Management sind jedoch durch die EU-WRRL steigende Monitoring-Anforderungen zur Bewertung der landwirtschaftlichen Flächennutzung im Hinblick auf die Grundwassergüte zu erwarten. Auch durch neue Agrarumweltprogramme im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU werden erweiterte Controlling-Anforderungen für die Flächenbewirtschaftung gestellt.

Ungeachtet der genannten Defizite ist die Herbst-Nmin-Methode das derzeit einzige (kostengünstige) Verfahren der jährlich wiederkehrenden analytischen Bodenwasser-Untersuchung mit ausreichendem Stichprobenumfang. Die Methode ist in hohem Maße mobil und wird daher auch in den nächsten Jahren eine zentrale Rolle spielen.

## 2 Die Herbst-Nmin-Methode im Vergleich zu anderen Methoden der Erfolgskontrolle

Die Erfolgskontrolle einzelner Grundwasserschutz-Maßnahmen oder der Zusatzberatung als Ganzes basiert auf dem Vergleich von IST-Zuständen („mit-ohne“ bzw. „vorher-nachher“). Erfolgskontrolle und IST-Zustandserfassung werden deshalb im Hinblick auf die eingesetzten Methoden synonym verwendet.

Eine umfassende Darstellung der Methoden zur Erfolgskontrolle ist in dem „Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz“ (NLÖ 2001 [10]) enthalten. Die nachfolgende Tab. 1 gibt eine Kurz-Charakteristik der wichtigsten Verfahren entsprechend ihrer Stellung im „Zonenmodell“. Als Zonen der Erfolgskontrolle werden hiernach Bodenoberfläche (= Bilanzraum), Wurzelzone, Sickerwasser-Dränzone (ca. ab 120 cm Tiefe bis zur Grundwasseroberfläche) und Grundwasserzone unterschieden. Dabei nimmt die zeitliche Nähe zur Flächenbewirtschaftung von oben nach unten ab, d. h. die Reaktionszeit auf Änderungen der Landbewirtschaftung nimmt nach unten hin zu. In der Grundwasserzone ist außerdem die Grundwasserströmung zu berücksichtigen.

<b>Methode</b> + „Zone“	<b>Ergebnis</b>	<b>Eignung und Besonderheiten</b>
? Nährstoff-Schlagbilanzen  <i>Bodenoberfläche</i>	rechnerischer Nährstoffüberschuss, der ausgewaschen werden kann  N in kg/ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>– alle landwirtschaftlich genutzten Standorte</li> <li>– wichtig: Plausibilitätsprüfung der Datenbasis gegenüber Hoftorbilanz</li> </ul>
? Herbst-Nmin  <i>„Wurzelzone“</i>	auswaschungsgefährdete maximale Nitrat-Anreicherung im Herbst  NO <sub>3</sub> -N + NH <sub>4</sub> -N in kg/ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Einzeljahresbezogene Erfolgskontrolle</li> <li>– kostengünstiges bodenanalytisches Verfahren</li> <li>– Standort- und Witterungseinfluss müssen berücksichtigt werden</li> </ul>
? Tiefbohrung mit schichtweiser Probenahme  <i>„Sickerwasser-Dränzone“</i>	NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , in mg/l, (Bodenextraktion)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– tiefgründige Lockergesteine</li> <li>– hoher Aufwand, aber ggf. mehrere Sickerwasser-Jahrgänge</li> </ul>
? Saugkerzenmethode (Lysimeter)  <i>„Sickerwasser-Dränzone“</i>	NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> in mg/l im Sickerwasser (wird mit Saugkerzen gewonnen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hoher Aufwand für Installation</li> <li>– Zerstörungsfreie Mehrfach-Beprobung am selben Messpunkt möglich (reduzierte räumliche Variabilität)</li> <li>– Besonders zur Ermittlung von Zeitreihen geeignet (Monitoring)</li> </ul>
? Grundwasser-Beprobung  <i>„Grundwasser-Zone“</i>	NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , in mg/l im Grundwasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mit zunehmender Tiefe wird die räumliche Zuordnung zur Flächenbewirtschaftung unsicherer.</li> <li>– Wegen Verzögerung des Wirkungseintritts nur für langfristiges Monitoring geeignet</li> </ul>

**Tab. 1: Methoden zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutz-Maßnahmen im Vergleich (nach NLÖ 2001 [10])**

Die **Nährstoff-Schlagbilanz** basiert als rein rechnerisches Verfahren auf den Daten des Bewirtschafters (Ackerschlagkartei). Eine sorgfältige Prüfung der Datengrundlage (ggf. Abgleich mit Hoftorbilanzen) ist hierbei unerlässlich.

Für den Wurzelraum gibt es im Hinblick auf Stickstoff kaum Alternativen zur **Herbst-Nmin-Methode** als wesentliches Beratungsinstrument. Die Methode ist hoch mobil, sehr flexibel,

kostengünstig und kann verschiedene Fragestellungen der Erfolgskontrolle beantworten. Dies erfordert jedoch eine zielorientierte Planung, die Wahl des richtigen Probenahmetermins, eine korrekte Durchführung von Probenahme und Analyse, sowie die Berücksichtigung von Standort- und Witterungseinflüssen. Anhand der jeweils aktuellen Sickerwasserrate und der Feldkapazität kann die Herbst-Nmin-Methode auch zur Sickerwassergüte-Prognose eingesetzt werden (indirektes Verfahren).

Bodenkundliche **Tiefbohrungen** liefern die Stoffkonzentration in der Sickerwasser-Dränzone. Der nach Schüttel-Extraktion der Bodenprobe gewonnene Analysewert für nicht-sorbierbare Stoffe wie Nitrat entspricht weitgehend der Stoffkonzentration im Sickerwasser. Bei entsprechend mächtigen Sickerwasser-Dränzonen ermöglichen Tiefbohrungen zudem die Bewertung mehrerer zurückliegender Bewirtschaftungsjahre. Als Nachteile stehen dem ein deutlich höherer Aufwand für die Gewinnung statistisch abgesicherter Ergebnisse, sowie Unsicherheiten hinsichtlich der Berücksichtigung präferenzierter Fließwege des Sickerwassers 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.

**Saugkerzen bzw. Unterflur-Lysimeter** liefern über die direkte Gewinnung und Analyse von Sickerwasser die Stoffkonzentration im Sickerwasser als unmittelbares Ergebnis (direktes Verfahren).

Da bei den stationär in den Unterboden eingebauten Saugkerzen die wiederholte Probenahme immer am selben Ort erfolgt, fällt die bei allen anderen Methoden zu berücksichtigende räumliche Variabilität, die sich auch bei der Beprobung von stets gleichen Teilschlägen ergibt, nicht ins Gewicht. Die an einem Saugkerzenstandort ermittelten Stoffkonzentrationen sind direkt auf die zeitlichen Veränderungen zurückzuführen. Die Saugkerzenmethode ist daher besonders für ein langfristiges Monitoring zur Trendbeschreibung geeignet.

Die Gewinnung von Sickerwasser durch die Saugkerzen- bzw. Lysimeter-Methode ist allerdings wegen der erforderlichen baulichen Installationen und Mehrfach-Beprobung mit einem deutlich höheren Aufwand verbunden und empfiehlt sich daher nur für Sonderfragen /-standorte. Beispielsweise ist diese Methode zur Eichung der anderen Methoden der Erfolgskontrolle geeignet.

Unterhalb der **Grundwasser(GW)**-Oberfläche wird die räumliche Zuordnung der Messwerte zu einem Herkunftsbereich wegen der Grundwasserströmung zunehmend erschwert. Für die Einzelflächen-Beurteilung kommen praktisch nur mobile Verfahren mit einem sehr kurzen Beprobungsbereich unter der GW-Oberfläche (max. 30 cm) in Frage. Flache GW-Messstellen können evtl. zur Bewertung von Teilgebieten mit einheitlicher Bewirtschaftung genutzt werden. Grundwasserproben sind zwar als Vorab-Kontrolle für die Trinkwasser-Gewinnung unerlässlich, für die Erfolgskontrolle des Grundwasserschutzes aber nur langfristig und für größere, viele ha umfassende Teilgebiete geeignet.

### **Fazit**

Als Methode zur Bewertung der landwirtschaftlichen Flächennutzung im Hinblick auf Nitrat sollte die Herbst-Nmin-Methode insbesondere durch Nährstoff-Schlagbilanzen und Tiefboh-

rungen ergänzt werden. Für die stofflich-analytische Erfolgskontrolle mit Einzelschlag- und Einzeljahres-Bezug gibt es zur Herbst-Nmin-Methode auf den geeigneten Standorten keine sinnvolle Alternative (vgl. Kap. 3.1).

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.

### **3 Herbst-Nmin-Planung für Gebiets- und Maßnahmen-Monitoring**

Herbst-Nmin-Programme werden im Rahmen der Zusatzberatung Wasserschutz sowohl zum Gesamtgebiets-Monitoring, als auch zur Erfolgs- bzw. Wirkungskontrolle einzelner Grundwasserschutz-Maßnahmen und Anbausysteme eingesetzt. Haupt-Zielsetzung ist dabei die Erfassung des Bewirtschaftungseinflusses auf die Mineralstickstoff-Akkumulation vor Beginn der winterlichen Auswaschungsperiode. Für Vergleichsuntersuchungen und Zeitreihen sollten die übrigen Einflussfaktoren auf den Nmin-Wert weitgehend identisch sein. Dies muss bei der Flächenauswahl (Planung) und bei der Terminfestlegung und Durchführung der Beprobung (Kap. 4) berücksichtigt werden.

#### ***Gebiets-Monitoring***

Gebietsrepräsentative Herbst-Nmin-Programme dienen der Trendbeschreibung (Ausgangszustand und Zeitreihen) der Nitrat-Belastung der Wurzelzone für ein gesamtes Wassergewinnungsgebiet bzw. Teile davon. Sie können auf landwirtschaftliche Flächennutzungen beschränkt oder auf alle Flächennutzungen (Forst, Siedlungen, etc.) ausgedehnt werden. Je nach Flächenanteil und Gefährdungspotenzial reichen für die nicht-landwirtschaftlichen Flächennutzungen ggf. aber auch Schätzwerte aus [7, 8].

Gebietsrepräsentative Trendaussagen für die Landwirtschaft erfordern einen ausreichenden Stichprobenumfang für die Nmin-relevanten Einflussgrößen (vgl. Abb.1). Über Mittelwertbildungen der einzelnen Stichproben kann dann auf den Rest der nicht beprobten, aber gleichartig genutzten Flächen, die ähnliche Standortbedingungen aufweisen, extrapoliert werden.

Zur Ermittlung von aussagekräftigen Zeitreihen müssen die witterungsbedingten Einflussfaktoren berücksichtigt und die standörtlichen Faktoren möglichst konstant gehalten werden. Deshalb sollte beim Gebiets-Monitoring eine kleine Stichprobe auf stets denselben Schlägen (ortsfeste Referenzflächen, s. u.) beprobt werden.

Kriterien zur Flächenauswahl gebietsrepräsentativer Herbst-Nmin-Programme

Beispiel: Gesamt-Beprobungsumfang  $n = 60$

(Alle 60 Proben sind einem Standort und einer Anbaufrucht zugeordnet. Maßnahmen und Sonderfragen sind darin enthalten.)

Standorte			Anbaufrüchte			Maßnahmen			Sonderfragen	
Geol.	% LF	n	<u>Acker</u>			<u>einjährige</u>			<u>z.B.:</u>	
gf	40%	30	Getreide	40%	25	Zwi.Fru.	20%	15	Niedermoor-	
Lg	30%	10	Hackfr.	15%	15	Red.Bod.	10%	5	Renaturierung	
Hn	20%	15	sonstige	10%	5	sonstige	10%	7	Grünland	12
Hh	10%	5	Brache	10%	5					
			<u>Grünland</u>			<u>mehnjährige</u>				
			Wiese	20%	10	Grünl.-Ext.	12%	8		
			Weide	5%	0	Stillleg.	10%	0		
ges.	100%	60	ges.	100%	60	ges.	60%	35	ges.	12

hieraus Auswahl einer Klein-Stichprobe „Referenzflächen“  
(jährlich wiederkehrende Beprobung, u.a. für Nmin-Warndienst)

Gesamtgebiets-Monitoring als Resultierende

- ? Flächengewichteter Herbst-Nmin-Mittelwert
- ? Sickerwassergüte-Prognose

Abb. 1: Planung gebietsrepräsentativer Herbst-Nmin-Programme

Im Einzelnen müssen die folgenden Einflussgrößen berücksichtigt werden:

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

**Maßnahmen-Monitoring und Prioritätensetzung**

Die Zusatzberatung vor Ort und auch die Auftraggeber der Grundwasserschutz-Maßnahmen sind bevorzugt an einer Wirkungskontrolle einzelner Maßnahmen, sowie an Entscheidungshilfen für die Setzung von Beratungsprioritäten interessiert. Aus diesem Blickwinkel ist es meistens sinnvoll, Schläge mit Maßnahmenumsetzung (sowie ggf. zugeordnete Vergleichsflächen) und beispielsweise „Verdachts-Flächen“ für hohe N-Austräge bei der Beprobungsplanung stärker zu berücksichtigen, als die übrigen Flächen.

### **Referenzflächen-Messnetz**

Einige der für die gebietsrepräsentativen Probenahmen ausgewählten Flächen (kleine Stichprobe) sollten jährlich wiederkehrend zum Ernte- und Herbst-Nmin-Termin beprobt werden, um Startwerte für die Wasserhaushalts-Berechnung zur Termin-Festlegung zu ermitteln, und die Berechnungsergebnisse anhand der gemessenen Wassergehalte zum Herbst-Termin zu überprüfen (vgl. Kap. 4.1.). Außerdem können diese Flächen zur Prüfung des jährlichen Witterungseinflusses (Mineralisation und Auswaschungsverhalten) hilfreich sein.

Die auf den Referenzflächen gewonnenen Ergebnisse dienen der besseren Interpretation der Untersuchungen des Maßnahmen- und Gebietsmonitorings. Aus diesem Grunde wird die Durchführung der Wasserhaushalts-Berechnung für alle relevanten Standorttypen und Anbausituationen eines WSG empfohlen. Die Berater vor Ort sind daher aufgefordert, (weitere) Referenzflächen festzulegen, für die so genannte Boden-Leitprofile angegeben werden können. Inwieweit die Extrapolation der Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnung (z. B. Herbst-Nmin-Termin, Verlagerungstiefe des Sickerwassers, aktuelle Sickerwasserrate) von den Referenzflächen auf andere Flächen mit ähnlichen Standorteigenschaften möglich ist, wird innerhalb des Projektes überprüft.

Die Referenzflächen sollten in jedem Fall hinsichtlich der Standorteigenschaften und Bewirtschaftung besonders gut dokumentiert sein.

## **3.1 Standörtliche Voraussetzungen für die Herbst-Nmin-Beprobung**

Neben der Ausgrenzung ungeeigneter Standorte erfordert die Planung von Nmin-Programmen eine Bewertung der Böden hinsichtlich ihres Stickstoff-Haushaltes. Während für die Prüfung von Grundwasserschutz-Maßnahmen sowie allgemein zur Bewertung von Landbewirtschaftungsformen im Normalfall gezielt N-Gleichgewichts-Standorte („reguläre Standorte“, vgl. Abb. 2) ausgewählt werden, erfordert das Gebiets-Monitoring die flächenanteilige Berücksichtigung aller Standorttypen.

### ***N-Gleichgewichts-Standorte zur Maßnahmenbewertung***

Bei N-Gleichgewichtsstandorten 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 bodenbürtige N-Dynamik überlagert wird. Grundsätzlich sollte auf Standorten zur Maßnahmenbewertung möglichst eine Beprobung bis in 9 dm Tiefe (Nmin-Tiefenintervalle von 3, 6 und 9 dm) durchgeführt werden.

### ***Folgende Anforderungen werden an „reguläre Standorte“ gestellt (vgl. Abb. 2) :***

- ? Grundwasser ferne Standorte sollten eine Gründigkeit von = 9 dm aufweisen. Flachgründigere Standorte sind nur bedingt geeignet, da N-Dynamik und Wasserhaushalt des Festgesteinsbereiches die Interpretation der Nmin-Ergebnisse erschweren, und weil es sich dabei zugleich meistens um skelettreiche Böden handelt.
- ? Grundwasser beeinflusste Standorte sollten einen Mittleren Grundwasserstand > 9 dm u. GOF haben. Zusätzlich ist zu prüfen, ob die unterste Tiefe im Spätsommer und

Herbst bereits im Bereich des kapillaren Aufstiegs aus dem Grundwasser liegt, da hier Nitrat-Abbau durch Denitrifikation erfolgen kann.

- ? Der Grobbodenanteil sollte < 40 Vol% sein. Skelettreiche Böden sind mit dem Probenahme-Werkzeug (Pürckhauer oder Göttinger Bohrstock) nur schwer beprobbar. Zudem 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 kg pro dm<sup>3</sup> gerechnet wird.

Als erster Ansatz wird ab einem Grobbodenanteil von = 40 Vol% folgende Korrektur des Herbst-Nmin-Wertes vorgeschlagen:

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

Der Grobbodenanteil ist als Dezimalzahl anzugeben, also z.B. 0,4 für einen Grobbodenanteil von 40 %.

Grundsätzlich lassen Standorte mit einer geringen Feldkapazität bzw. bei erhöhten Sommer-Niederschlägen Nitrat-Austräge bereits in der Vegetationsperiode erwarten. Der Herbst-Nmin-Wert gibt dann nicht die vollständige Nitrat-Anreicherung in der Wurzelzone an. Im Einzelfall (z. B. zur IST-Zustandserfassung) ist eine Absicherung mit Nitrat-Tiefbohrungen zu empfehlen. Zur Überprüfung von Grundwasserschutz-Maßnahmen ist aber auch auf diesen Standorten eine Herbst-Nmin-Untersuchung unter Berücksichtigung der Nitrat-Vorabverluste sinnvoll (vgl. Kap. 4.3).

Auch auf flachgründigen Standorten, auf denen in der Regel ebenfalls Nitrat-Auswaschungsverluste schon vor der Probenahme zu erwarten sind, kann eine Herbst-Nmin-Untersuchung (bis in mindestens 6 dm Tiefe) sinnvoll sein – insbesondere wenn diese Standorte einen hohen Anteil in Wassergewinnungsgebieten ausmachen (z. B. im Südniedersächsischen Berg- und Hügelland).

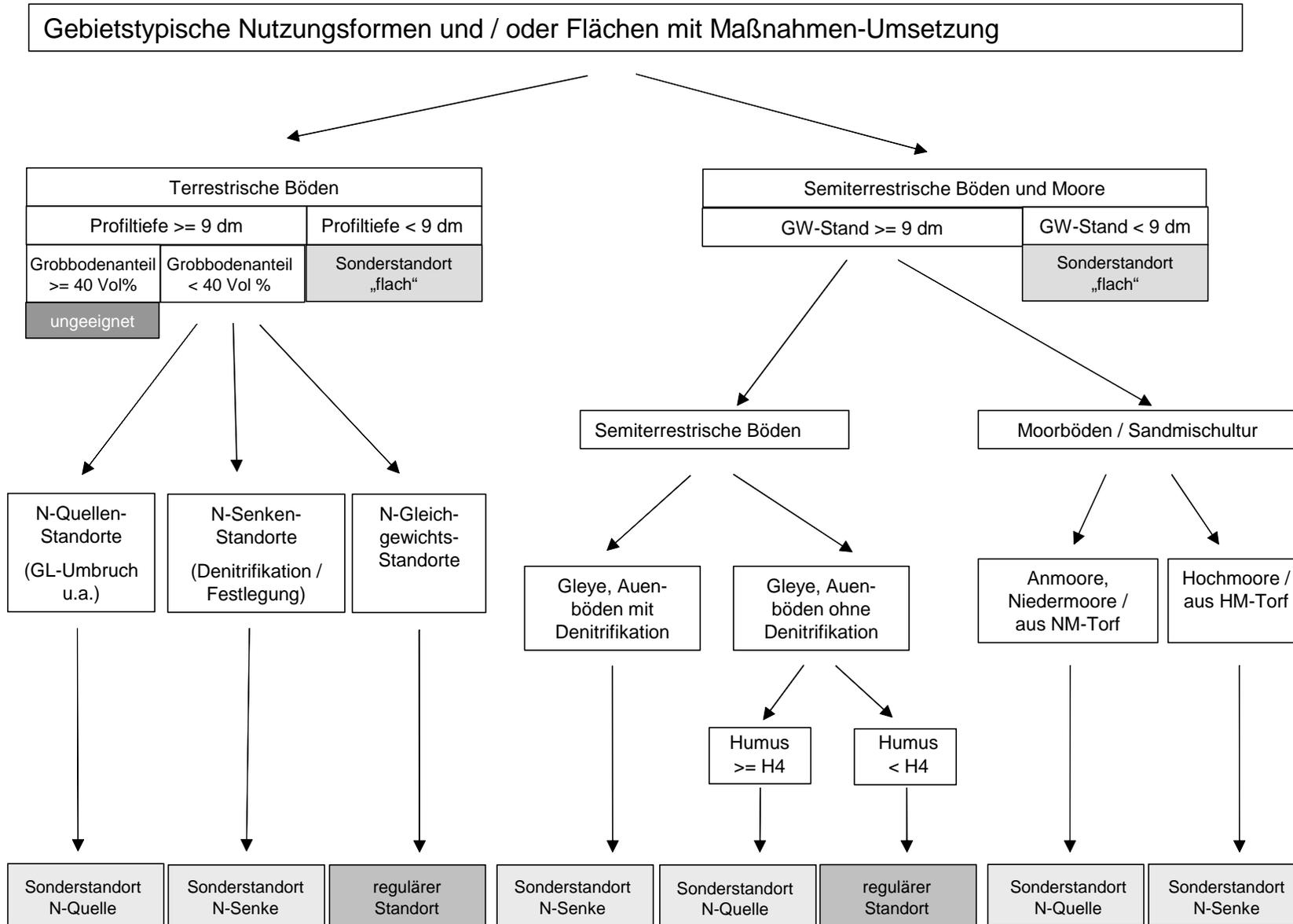


Abb. 2: Kriterien zur Flächenauswahl für Herbst-Nmin-Programme

**Standorte mit spezieller bodenbürtiger N-Dynamik**

Bei Sonderstandorten (N-Quellen- und N-Senkensysteme) haben Bodeneffekte einen hohen Einfluss auf den Nmin-Wert (vgl. Tab. 2). Grundwasserschutz-Maßnahmen, deren Ziel die Reduktion des Nmin-Wertes ist, können auf diesen Standorten nicht bewertet werden. Der Herbst-Nmin-Wert dient hier der Abschätzung bodenbedingter Gefährdungspotentiale wie beispielsweise in Niederungsgebieten (N-Quellensysteme wie z. B. Anmoore und Niedermoore). N-Senken-Systeme können zur Entschärfung der Nitrat-Belastung in einem Gebiet beitragen.

Grundwasser nahe Standorte (MGW = 9 dm 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 hierbei sinnvoll sein (semiterrestrischer Sonderstandort „flach“ in Abb. 2). Die Ergebnisse müssen jedoch gesondert ausgewertet werden. Sie dürfen keinesfalls mit Nmin-Werten grundwasserferner Standorte vermengt werden.

Stauwasserböden (Pseudogleye und Stagnogleye) mit einem oberflächennahen dichtgelagerten Sd-Horizont in = 4 dm Tiefe u. GOF können ähnliche Eigenschaften wie grundwassernahe Böden besitzen, und sind deshalb ggf. als Sonderstandorte zu bewerten.

<b>N-Systemtyp</b>	<b>Bodentyp / Ausgangssubstrat</b>	<b>Denitrifikationsbedingungen in der Wurzelzone</b>	<b>Nutzung / Bearbeitung</b>
<b>Senkensystem</b>	Grundwasser nahe Gleye und Auenböden mit Denitrifikation, flachgründige Stauwasserböden mit Denitrifikation, kultivierte Hochmoore	ab 6 Monaten Grund- bzw. Stauwasser-einfluss  Grundwasser direkt unterhalb oder im Torfkörper	Umwandlung von Acker in Grünland (stark), Grünland, Dauergrünbrache, Krümmenvertiefung, Rekultivierung, Hochmoor-Sandmischkultur (1.-20. Jahr)
<b>Gleichgewichtssystem</b>	Grundwasser ferne Sand-, Lehm- und Tonböden		Hochmoor-Sandmischkultur (ab dem 20. Jahr)
<b>Quellensystem</b>	Landwirtschaftlich genutzte Anmoore und Niedermoore mit Grundwasser-Absenkung, humusreiche Gleye, Auenböden und Kolluvien		Grünlandumbruch, Innutzungnahme von Grünbrachen, Niedermoor-Sandmischkultur

Tab. 2: Typische potenzielle N-Quellen- und N-Senkenstandorte (nach modifizierter Tabelle von HÖPER 2000 [7])

## 3.2 Berücksichtigung der Standort- und Anbauverhältnisse (Gebietsmonitoring)

Gebietsrepräsentative Herbst-Nmin-Untersuchungen müssen sowohl die Böden, als auch die Anbauverhältnisse eines Gebietes im richtigen Verhältnis berücksichtigen.

- ? Um einen unterschiedlichen Standorteinfluss (Mineralisationsverhalten und Wasserhaushalt) in Nmin-Zeitreihen auszuschließen, wäre eine jährlich wiederkehrende Beprobung der gleichen Schläge optimal.
- ? Das realisierbare Herbst-Nmin-Programm soll jedoch gleichzeitig die wechselnden Anbauverhältnisse (Früchte und Bewirtschaftungsweisen inklusive Grundwasserschutzmaßnahmen) in jedem Jahr nach Flächenanteilen korrekt widerspiegeln.

Außerdem muss aus dem jährlichen Herbst-Nmin-„Probenkontingent“ die Maßnahmenkontrolle und ggf. individuelle Sonderfragen bedient werden. Daher können meist nur einige Referenz-Flächen (s. o.) jährlich wiederkehrend beprobt werden.

***Folgende Vorgehensweise wird zur Planung gebietsrepräsentativer Herbst-Nmin-Programme vorgeschlagen (vgl. Abb. 2):***

1. Identifizierung der wichtigsten Böden und Anbaufrüchte im WSG.
2. Flächenanteile der gebietstypischen Boden-Flächennutzungs-Kombinationen (Ackerfrüchte und Grünland) ermitteln.
3. Flachgründige Standorte und Böden mit einem hohen Skelettanteil ausgrenzen. Falls diese Standorte einen hohen Gebietsanteil aufweisen, müssen hierfür ggf. andere Untersuchungsmethoden gefunden werden.
4. N-Quellen- und N-Senken-Standorte sollten im Beprobungsplan gesondert behandelt werden (Anbaufrüchte als untergeordnetes Kriterium).
5. Die übrigen Schläge („reguläre Standorte“) werden nach Bedeutung der Anbaufrüchte im Beprobungsplan berücksichtigt.
6. Weitere Kriterien für die Flächenauswahl sind u. a.
  - Grundwasserschutz-Priorität der Einzelschläge (NAG-Klasse oder gebietsspezifische Prioritäts-Einstufung)
  - Betriebstypen bzw. Beratungsprioritäten der Betriebe (z. B. nach Wirtschaftsdünger-Anfall)
  - Synergieeffekte mit Maßnahmenprüfung (vgl. Kap. 3.3)
  - Dokumentation der Anbauverhältnisse
  - Erreichbarkeit

## 3.3 Besondere Planungskriterien für das Maßnahmen-Monitoring

Grundwasserschutz-Maßnahmen können durch die Herbst-Nmin-Beprobung bewertet werden, sofern sie auf eine spürbare Reduzierung der winterlichen Nitratauswaschung im Jahr der Maßnahmendurchführung abzielen. Andere N-relevante Maßnahmen, wie z. B. die

Düngungsreduzierung, spiegeln sich erst nach einigen Jahren in reduzierten Herbst-Nmin-Werten wider, da der Humusvorrat des Bodens den Maßnahmeneffekt abpuffert. Die nachfolgende Tab. 3 gibt Auskunft über die Eignung der Nmin-Methode zur Bewertung schlagbezogener Maßnahmen.

Grundwasserschutz-Maßnahmen	Eignung der Herbst-Nmin-Untersuchung			
	im Jahr der Durchführung			langfristig
	gut	bedingt	ungeeignet	
Zwischenfrucht-Anbau / Untersaaten	X			X
Flächenstilllegung	X			X
reduzierte / unterlassene Bodenbearbeitung	X			X
Umwandlung von Acker zu Grünland		X		X
Grünland-Extensivierung		X	(X)	X
N-Düngungsreduzierung		X		X
Wirtschaftsdünger-Exakt-Ausbringung			X	X

**Tab. 3: Eignung der Herbst-Nmin-Methode zur Bewertung schlagbezogener Einzelmaßnahmen**

Dabei kann der Maßnahmeneffekt im Einzelfall durch andere Faktoren überlagert werden. Generell muss über mehrere Schläge gemittelt werden. Dabei gilt: Je höher der erwartete Maßnahmeneffekt ist, umso geringer ist der erforderliche Stichprobenumfang (vgl. [10]). Näheres hierzu ist Kap. 6 zu entnehmen.

Für die Maßnahmen-Prüfung kommen i. A. nur N-Gleichgewichts-Standorte in Frage, die bis 9 dm beprobbar sind („reguläre Standorte“ in Abb. 2).

- ? Meist erfolgt die Maßnahmenbewertung 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 Senken-Standorte handelt.
- ? Eine „**Vorher- / Nachher-“ Beprobung** des selben Schlages kommt v. a. für längerfristige Maßnahmen in Frage (z. B. Umwandlung von Acker zu Grünland, Aushagerung zur Flächenstilllegung). Vorteil ist hierbei der gleichbleibende Standorteinfluss (vgl. Kap. 3.2). Andererseits muss der unterschiedliche Witterungseinfluss berücksichtigt werden.

Neben den vertraglich vereinbarten Einzelmaßnahmen (z. B. Freiwillige Vereinbarungen, NAU-Maßnahmen) zielt die Zusatzberatung als Ganzes durch Düngungs- und Anbau-

beratung längerfristig auf eine Reduzierung der Nmin-Werte ab. Dies kann durch Zeitreihen gebietsrepräsentativer Herbst-Nmin-Mittelwerte überprüft werden.

## 4 Durchführung der Herbst-Nmin-Methode

Um aussagekräftige Herbst-Nmin-Werte zu erhalten, muss der aktuelle Witterungsverlauf ab den Sommermonaten vor der Probenahme berücksichtigt werden. Für den optimalen Probenahmetermin sind - neben den Bodeneigenschaften - vor allem die Niederschlagsmengen im Spätsommer und Herbst entscheidend.

### 4.1 Optimaler Probenahmetermin bei geringen und mittleren Niederschlagsmengen

Die Probenahme ist zu einem Zeitpunkt durchzuführen, an dem die Mineralisation aufgrund sinkender Temperaturen nur noch gering ist, aber noch kein Sickerwasser in der üblichen Beprobungstiefe von 9 dm aufgetreten ist (vgl. Abb. 3). Der „optimale“ Herbst-Nmin-Termin zwischen Anfang Oktober und Ende November kann selbst auf den Flächen innerhalb eines Wasserschutzgebietes z. T. um mehrere Wochen variieren!

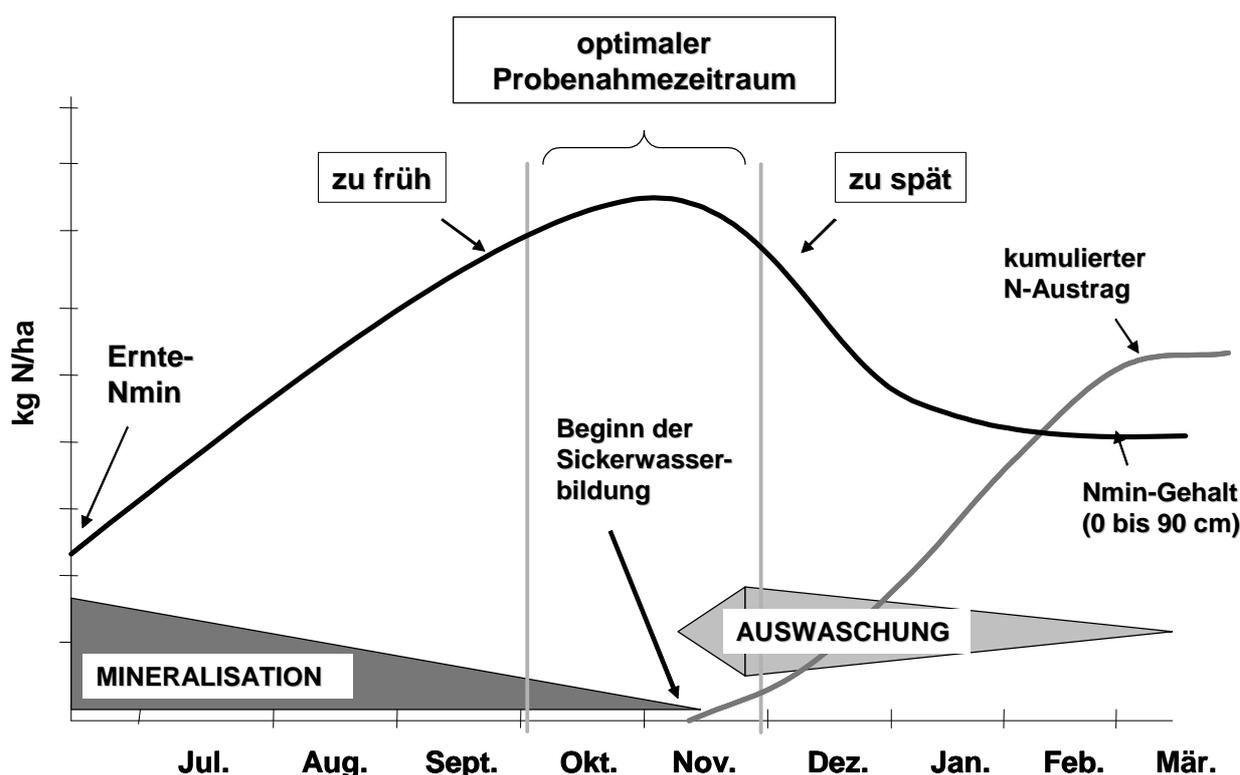


Abb. 3: Bestimmung des optimalen Probenahmezeitraums für die Herbst-Nmin-Beprobung [4]

Mit Hilfe eines vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLF) entwickelten Modells zur Wasserhaushaltsberechnung ist für jeden Standort jahresbezogen eine Voraussage des optimalen Probenahmezeitpunktes möglich. Als Kriterium hierfür wird die Auffüllung der Feldkapazität zugrundegelegt. In die Berechnung gehen bodenphysikalische Parameter, aktuelle Nutzungsdaten und tägliche Wetterdaten ein.

Bei geringen Winterniederschlägen und auf bindigen Böden wird die als Herbst-Nmin-Wert gemessene Mineralstickstoff-Menge ggf. nicht vollständig ausgewaschen. Dies ist dann der Fall, wenn die Sickerwassermenge im Winterhalbjahr geringer ist, als die Feldkapazität des Bodens bis 90 cm Tiefe (vgl. DIN 19732 [3]).

Die Wasserhaushaltsberechnung für das Winterhalbjahr beginnt mit der herbstlichen Wiederaufsättigung der Böden. Dazu ist eine Bestimmung des Bodenwassergehaltes als „Startwert“ notwendig (in der Regel Wassergehalt bei Ernte-Nmin). Das Modell berechnet in täglicher Auflösung für einen bestimmten Stichtag:

1. den aktuellen Bodenwasservorrat
2. die fehlende Wassermenge bis zum Erreichen der Feldkapazität
3. die ggf. bereits angefallene Sickerwassermenge sowie die Gesamt-Sickerwassermenge der Sickerwasserperiode
4. die Verlagerungstiefe des Sickerwassers und eine angepasste Beprobungstiefe (vgl. Kap. 4.1.2)
5. die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers

Die Berechnungen werden durch das NLFb u. a. im Rahmen des „Nmin-Infodienstes“ durchgeführt.

## 4.2 Referenzflächennetz und Internet gestützter „Nmin-Infodienst“

Mit dem Ziel, die Herbst-Nmin-Probenahme in der Beratungspraxis zu optimieren, werden seit 1999 Wasserhaushalts-Berechnungen für Referenzflächen in Wassergewinnungsgebieten durchgeführt. Ausgehend vom Wassergehalt des Bodens zum Erntetermin werden von Tag zu Tag die noch fehlende Niederschlagsmenge bis zum Beginn der Sickerwasserbildung bzw. der Anfangstermin der Sickerwasserbildung, sowie die Verlagerungstiefe des Sickerwassers ermittelt. Die Berechnungsergebnisse werden der Zusatzberatung bisher wöchentlich per Email zur Verfügung gestellt, um den Probenahmetermin festzulegen, bzw. bereits aufgetretene Vorabverluste abzuschätzen (vgl. Kap. 3). Im Winterhalbjahr 2002/03 wurden 80 Flächen in 41 Wasserschutzgebieten berechnet.

Im Laufe des Projektes wird das bestehende Referenzflächennetz noch erweitert. Außerdem werden die Standortdaten aller Flächen sowie die Zuordnung zu Wetterstationen überprüft bzw. neu erfasst. Auf diese Weise werden die Berechnungsergebnisse zukünftig flächendeckend und mit höherer Zuverlässigkeit bereit gestellt werden können.

Ein wesentliches Ziel des laufenden Projektes ist der Aufbau eines internetbasierten Informations-Dienstes, welcher – auch im Hinblick auf die Umsetzung der WRRL - flächendeckend Grundwasserschutz relevante Informationen für die WSG bereitstellen soll. Die Arbeiten hierzu haben begonnen. Nutzungsberechtigte Teilnehmer können in Zukunft via Internet Informationen z. B. zum Bodenwasserhaushalt erhalten, die neben der Herbst-Nmin-

Terminplanung auch für die Beregnungssteuerung und andere Fragestellungen von Interesse sein können.

### 4.3 Vorgehen bei sehr hohen Herbst-Niederschlägen

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. Abb. 3) beginnen. Die gemessenen Herbst-Nmin-Werte bis 9 dm 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 im Prinzip die folgenden Möglichkeiten in Frage:

**(1) Frühe Beprobung** (ab Auffüllung 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** (nach bereits erfolgter Sickerwasserbildung) **mit Anpassung der Probenahmetiefe (tiefererweiterte Probenahme):**

Die bereits erfolgte Verlagerung des Sickerwassers ab Auffüllung der Feldkapazität des Bodens bis 9 dm Tiefe wird für die Referenzflächen nach der folgenden Formel abgeschätzt:

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

Eine Verlagerungstiefe von beispielsweise 4 dm zum Zeitpunkt der Beprobung bedeutet eine Verlagerung der vor der Sickerwasserbildung in 5 bis 9 dm Tiefe vorhandenen Nitratvorräte in 9 bis 13 dm Tiefe. Um die über Winter auswaschbare Mineralstickstoffmenge vollständig zu erfassen, müsste die Beprobung also bis 13 dm erweitert werden. Die angepasste Probenahmetiefe ergibt sich dementsprechend nach der folgenden Formel:

$$\text{angepasste Probenahmetiefe [dm]} ? \text{Verlagerungstiefe [dm]} ? 9 \text{ dm}$$

Die Berechnung der Verlagerungstiefe gilt nur für Sandböden! Auf bindigen Böden ist sie nur als eine grobe Abschätzung zu verstehen.

Der Einsatz der Herbst-Nmin-Methode ist in der Praxis nur bis max. 15 dm (auf Lockergesteinen) realisierbar. Wegen des deutlich höheren Aufwandes wurde in den

letzten Jahren von der Möglichkeit einer tiefererweiterten Probenahme auch in „nassen“ Jahren nur wenig Gebrauch gemacht. Allerdings sollte in Zukunft zumindest auf den Referenzflächen die berechnete Probenahmetiefe berücksichtigt und ggf. eine Tiefbohrung durchgeführt werden.

**(3) Späte Beprobung bis 9 dm mit anschließender Korrektur der gemessenen Werte um den geschätzten N-Austrag mit dem Sickerwasser:**

Mögliche rechnerische Korrekturverfahren für Messwerte bis 9 dm werden im laufenden Projekt geprüft. Ansätze hierfür sind z. B.:

- ? Ableiten des Vorab-Verlustes aus dem Ernte-Nmin-Wert (sofern vorhanden): Ist beispielsweise eine Verlagerungstiefe von 3 dm berechnet worden, wird für den Tiefenbereich 9 bis 12 dm Tiefe der Ernte-Nmin-Wert der Tiefe 6 bis 9 dm angenommen und zu dem Nmin-Wert bis 9 dm addiert.
- ? Ableiten des Vorab-Verlustes aus dem Messwert bis 9 dm: Der Vorab-Verlust ergibt sich hiernach aus der Summe bis 9 dm mal der Verlagerungstiefe geteilt durch 9 dm (bei einem Messwert von 60 kg und einer Verlagerungstiefe von 3 dm ergibt das einen Vorab-Verlust von 20 kg)

Bei einer aufgetretenen Sickerwasserrate von bis zu 50 mm wird generell keine Tiefenerweiterung der Beprobung oder Korrektur der Messwerte bis 9 dm empfohlen. Die Methoden (2) und (3) basieren auf Wasserhaushalts-Berechnungen unter der Annahme einer gleichmäßigen Sickerwasser-Bewegung über den gesamten Profilquerschnitt nach dem Kolbenflussprinzip. Für Sandböden ist diese Annahme i. A. gerechtfertigt, bei bindigen Substraten können jedoch Abweichungen auftreten (präferenzialer Fluss).

## 4.4 Probenahme und Analyse

### ***Festlegung von Repräsentativ-Parzellen***

Auf der Ebene von Schlägen hat sich für die Herbst-Nmin-Beprobung die Festlegung von Repräsentativ-Parzellen von ca. 40-60 m \* 80-100 m Größe bewährt, auf die sich die Nmin-Beprobung beschränkt. Hierdurch kann der Einfluss der Streuung des Mineralstickstoffgehaltes im Boden aufgrund kleinräumiger Bodenvariabilitäten [6] reduziert werden. Die Beprobungsparzellen sollen quer zur Bearbeitungsrichtung und außerhalb des Vorgewendes liegen. Die Festlegung erfolgt zweckmäßigerweise bereits im Büro anhand der vorliegenden bodenkundlichen Planungskarten. Durch die Vor-Auswahl eines homogenen Schlag-Bereiches (gleiche Bodeneinheit) wird die Vergleichbarkeit von Herbst-Nmin-Werten eines Schlages in unterschiedlichen Jahren verbessert.

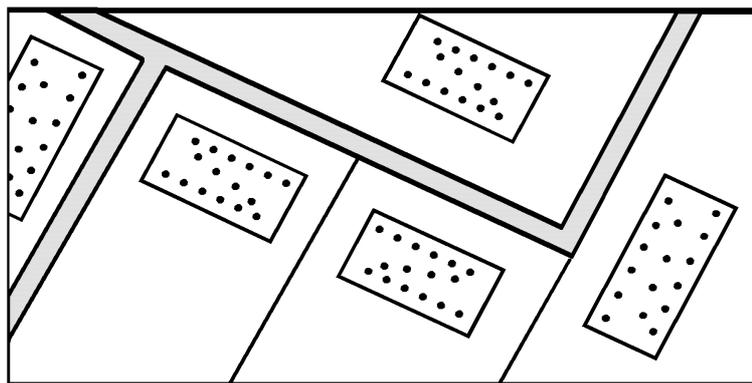


Abb. 4: Verteilung von Repräsentativ-Parzellen für die Nmin-Beprobung

### **Probenahme**

Die Probenahme erfolgt generell in den Tiefen-Abstufungen 0-30 / 30-60 / 60-90 und ggf. 90-120 bzw. 90-150 cm. Es werden Mischproben aus jeweils 16 Einstichen erstellt. Neben der Probenahme „von Hand“ werden heute verstärkt maschinelle, selbstfahrende Beprobungsgeräte (z. B. „Nitrat-Runner“) eingesetzt. Nur bei weit verstreut liegenden Einzelschlägen, eingeschränkter Befahrbarkeit, und bei dränierten Flächen ist die manuelle Beprobung vorteilhaft.

Zwei Probenahmegeräte sind für die manuelle Beprobung in der Praxis gebräuchlich:

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 erlaubt. Wegen des hohen Zeit- und Kraftaufwandes und der möglichen Verschleppung von Bodenmaterial zwischen den Einzeltiefen wird der Pürckhauer-Bohrstock in der Herbst-Nmin-Beprobung 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 den 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.

### Analyse

Die Untersuchung erfolgt im CaCl<sub>2</sub>-Extrakt auf die Analyseparameter Nitrat, Ammonium und Wassergehalt. Die Werte werden durch das Labor für die einzelnen Schichten auf kg NO<sub>3</sub>-N und NH<sub>4</sub>-N pro Hektar umgerechnet. Die hierfür ermittelten Wassergehalte sollten zur Plausibilitätskontrolle der Analysewerte und ggf. zur Prüfung der Wasserhaushalts-Berechnung grundsätzlich mit angegeben werden (in Gewichts-%).

Für die Trockenrohichte (TD) werden 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 (TD<sub>normiert</sub>) geeinigt:

0 - 30 cm:	1,4 g/cm <sup>3</sup>
> 30 cm:	1,5 g/cm <sup>3</sup>

Nmin-Werte, die vor dem Jahr 2000 ermittelt wurden (Nmin<sub>alt</sub>), sind zu prüfen und ggf. umzurechnen, bevor sie zum Vergleich mit Nmin-Werten, die nach den genannten TD-Werten ermittelt wurden, herangezogen werden. Die Umrechnungsformel lautet:

$$Nmin_{normiert} = Nmin_{alt} * \frac{TD_{normiert}}{TD_{alt}}$$

Für Moorböden kann die TD ggf. auf Grundlage des Wassergehaltes abgeschätzt werden, da dieser zum Zeitpunkt der Herbst-Nmin-Beprobung nahezu der Feldkapazität entspricht. Ein einheitliches Verfahren hierzu hat sich jedoch noch nicht durchgesetzt. Dies ist eine weitere Aufgabe des laufenden Projektes.

## 5 Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

### 5.1 Digitale Archivierung der Einzelwerte

Für die Auswertung umfangreicher Nmin-Datenbestände ist die digitale Archivierung der Einzelergebnisse unerlässlich. Datenbank-Anwendungen wie z. B. Access bieten gegenüber reinen Tabellenkalkulationen (z. B. Excel) den Vorteil, dass die einzelnen Werte je nach Fragestellung gefiltert und mit anderen Daten (Standorteigenschaften, Anbaufrüchte, Düngung, Grundwasserschutz-Maßnahmen etc) verknüpft werden können. Um die volle Auswertbarkeit zu erhalten, sollten die Daten als Einzelwerte archiviert werden.

Die institutionsübergreifende, landesweite Zusammenführung und Auswertung digitaler Daten erfordert ein standardisiertes Datenablageformat. Im Rahmen des NLÖ-Pilotvorhabens „EDV-Standardisierung in der Zusatzberatung Wasserschutz“ wurde daher die Datenbank-Anwendung „DIWA“ (Digitales Informationssystem Wasserschutz) erstellt. Durch den standardisierten Tabellenaufbau, vordefinierte Auswertungsverfahren und die Verwendung landesweit abgestimmter Faustzahlen, Abkürzungen etc. bietet DIWA optimale Voraussetzungen für die institutionsübergreifende Auswertung von Nmin-Daten,

beispielsweise zur Bewertung von Grundwasserschutz-Maßnahmen. Der Aufbau der Nmin-Datentabelle von DIWA (vgl. Tab. 4) wird daher auch für individuelle Anwendungen empfohlen.

DIWA verfügt über eine Import-/Export-Schnittstelle für einzelne Tabellen und Auswertungsergebnisse, sowie über eine eigene Schnittstelle zum Datenaustausch zwischen den unterschiedlichen Beratungsträgern und der Wasserwirtschaftsverwaltung. Das Programm ist mit einer GIS-Anbindung an ArcView 3.x ausgestattet und vollständig kompatibel mit MS-Access und Excel, lässt sich aber auch auf Rechnern ohne diese Programmanwendungen benutzen.

<b>Schlag-Kennnummer</b>	Eindeutige Kennnummer des Schlags (aus Gebietskürzel + gebietsinterner Schlagnummer, z. B. „TAN.00010“ für Schlag 10 in dem Wasserschutzgebiet Tankum)							
<b>Jahr + Nmin-Termin</b>	Probenahmetermin; Empfehlung: „2003-4“ für Herbst-Nmin 2003 („-1“ für Frühjahr, „-2“ für Spätfrühjahr, „-3“ für Ernte-Nmin)							
<b>Datum</b>	Datum der Probenahme							
<b>Labor</b>	Analyselabor (Name oder Kurzadresse, max. 100 Zeichen)							
<b>Probenkennung</b>	Bezeichnung, unter der die Proben bei dem Analyselabor verwaltet werden							
<b>Bemerkung</b>	Bemerkung (max. 100 Zeichen)							
<b>Auswahl</b>	„ja / nein“-Feld zur Aufnahme des Datensatzes in individuelle Auswertungen							
<b>NO3-N [kg N/ha]</b> <b>NH4-N [kg N/ha]</b> <b>Wassergehalt</b> [Gew% des trockenen Bodens]  + ggf. <b>SO4-S [kg S/ha]</b>	<table style="border: none; margin-left: 40px;"> <tr> <td rowspan="5" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="5" style="vertical-align: middle;">getrennt für die Einzeltiefen</td> <td>0 - 30 cm</td> </tr> <tr> <td>30 - 60 cm</td> </tr> <tr> <td>60 - 90 cm</td> </tr> <tr> <td>90 - 120 cm</td> </tr> <tr> <td>120 - 150 cm</td> </tr> </table>	}	getrennt für die Einzeltiefen	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm	90 - 120 cm	120 - 150 cm
}	getrennt für die Einzeltiefen			0 - 30 cm				
				30 - 60 cm				
				60 - 90 cm				
				90 - 120 cm				
		120 - 150 cm						

**Tab. 4: Aufbau der Nmin-Datentabelle in der Datenbank-Anwendung „DIWA“**

In die Nmin-Tabelle sollten nur Nmin-Werte aufgenommen werden, die voll auswertbar sind. Bei Verfügbarkeit eines noch zu entwickelnden allgemein anerkannten Korrekturverfahrens können dies für Feuchtjahre ggf. die korrigierten Werte sein. Die Original-Analysedaten sollten aber in jedem Fall parallel archiviert werden.

## 5.2 Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser

In Abhängigkeit von der Sickerwasserrate und der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers in der Wurzelzone lässt sich aus dem Herbst-Nmin-Wert eine zu erwartende Nitratkonzentration im Sickerwasser ableiten. Dies erlaubt u. a. auch die Aufstellung eines „maximal tolerierbaren Herbst-Nmin-Wertes“, der zur Einhaltung eines vorgegebenen Grenzwertes für die Nitratkonzentration im Sickerwasser unterschritten werden sollte.

Die zu erwartende NO<sub>3</sub>-Konzentration im Sickerwasser lässt sich auf Basis von Herbst-Nmin-Werten nach folgender Formel ableiten:

$$\text{NO}_3 \text{ - Konzentration im Sickerwasser [mg/l]} = \frac{\text{Herbst-Nmin [kg/ha]} * 443 * \text{AH}}{\text{Sickerwasserrate [mm/Jahr]}}$$

Falls für den Standort im betreffenden Jahr eine Sickerwassersimulation erfolgte (vgl. Kap. 4.1) kann die berechnete Sickerwasserrate eingesetzt werden (aktuelle SWR). Ansonsten ist die langjährige Sickerwasserrate nach der Methodenbank des NIBIS [9] zu berechnen. Für AH wird die Austauschhäufigkeit gemäß DIN 19732 [3] eingesetzt, sofern diese < 1 ist. Anderenfalls (Nitrataustragsgefährdung von „mittel“ bis „sehr hoch“) wird AH = 1 gesetzt.

Bei Vorgabe eines Grenzwertes für die NO<sub>3</sub>-Konzentration im Sickerwasser (SW) lässt sich ein maximal tolerierbarer Herbst-Nmin-Wert ableiten:

$$\text{max. tolerierb. Herbst-Nmin-Wert} = \frac{\text{SWR} * \text{max. zulässige NO}_3 \text{-Konzentration im SW}}{\text{AH} * 443}$$

Für den NO<sub>3</sub>-Grenzwert der TVO ergibt sich folgende vereinfachte Formel:

$$\text{max. tolerierb. Herbst-Nmin-Wert zur Einhaltung von 50 mg NO}_3\text{/l im Sickerwasser} = \frac{\text{SWR} * 0,113}{\text{AH}}$$

Die rechnerischen Ergebnisse der obigen Formeln sind nur als grobe Orientierungswerte für die Wasserschutzberatung zu verstehen! Eine eindeutige Beziehung zwischen den berechneten NO<sub>3</sub>-Konzentrationen und tatsächlicher Sickerwasserbelastung ist nur auf N-Gleichgewichtsstandorten möglich. Die berechneten Sickerwasserkonzentrationen können evtl. durch Tiefbohrungen überprüft werden.

Dabei stimmt die Qualität des Sickerwassers jedoch nicht immer mit der Qualität des Grund- bzw. Rohwassers überein - bedingt durch die in der Regel langen Fließzeiten (mehrere Jahre bzw. Jahrzehnte) und der mangelnden Übereinstimmung zwischen dem tatsächlichen hydraulischen Einzugsgebiet und dem Ort der Probenahme. Die Herbst-Nmin-Beprobung ist daher v. a. als Instrument zur Beurteilung der aktuellen Flächenbewirtschaftung zu sehen, das im Unterschied zur Beprobung von Grundwasser-Messstellen die Möglichkeit zum frühzeitigen Reagieren eröffnet.

### 5.3 Aggregierung und Systematisierung von Herbst-Nmin-Werten für das Gebiets- und Maßnahmenmonitoring

Um aus Herbst-Nmin-Programmen belastbare Aussagen abzuleiten, werden die Nmin-Summen je nach Fragestellung aggregiert. Als Haupt-Fragestellungen sind dabei die Bewertung von Anbauverfahren und Grundwasserschutz-Maßnahmen und die gebietsbezogene Ist-Zustandserfassung bzw. Fortschrittsbewertung der Zusatzberatung zu unterscheiden.

### **Statistische Parameter**

Geeignete statistische Parameter hierfür sind

- ? Median
- ? arithmetischer Mittelwert
- ? flächengewichteter Mittelwert

Der **Median** gibt den Wert an, der in der Mitte der Einzelwerte liegt, d. h. 50% der Einzelwerte sind größer und 50% sind kleiner oder gleich dem Medianwert. Der Vorteil des Medians liegt darin, dass er nicht von Ausreißer-Werten beeinflusst wird. Er kommt v. a. für die Maßnahmenprüfung oder allgemein für die Gegenüberstellung von Nmin-Werten unterschiedlicher Anbaufrüchte in Frage. In der Praxis wird der Medianwert bisher jedoch wenig verwendet. Da der Median bei großen Stichproben in der Regel unter dem arithmetischen Mittelwert liegt [12], dürfen Medianwerte nicht mit Mittelwerten verglichen werden.

Der **arithmetische Mittelwert** ist für die gleichen Fragestellungen wie der Medianwert geeignet, wird jedoch durch „Ausreißer-Werte“ beeinflusst. Das ist dann erwünscht, wenn diese nicht als zufällige Fehler betrachtet werden, sondern als bewirtschaftungs- oder standortbedingt.

**Flächengewichtete Mittelwerte** berücksichtigen die Größe der beprobten Schläge. Sie sind daher im Vergleich zu den beiden zuvor genannten Parametern besser für flächenbezogene Aussagen geeignet (z. B. mittlerer Nmin-Wert eines Wassergewinnungsgebietes). Das setzt jedoch voraus, dass die Einzelwerte jeweils den gesamten Schlag repräsentativ beschreiben. Zusätzlich zur Anzahl Einzelwerte sollte mit dem flächengewichteten Mittelwert auch die Flächensumme angegeben werden.

### **Aggregierungsebenen**

Das Wassergewinnungsgebiet ist i. A. die oberste Aggregierungsebene für gebietsbezogene Fragestellungen auf der Ebene der einzelnen Beratungsinstitutionen. Dieses kann nach innergebietlichen Prioritäten-Festlegungen (NAG-Klassen, WSG-Zonen oder individuelle Einteilungen), Landschaftsräumen oder Betrieben bzw. Betriebstypen weiter untergliedert sein. Auf diese Weise ermöglichen Nmin-Programme eine fortlaufende Überprüfung und ggf. Neu-Festlegung von Beratungsprioritäten.

Bewirtschaftungsbezogene Fragestellungen erfordern meist eine Aggregierung nach Anbaufrüchten oder Frucht-Kategorien und zusätzlich nach Anbauverfahren bzw. den durchgeführten Grundwasserschutz-Maßnahmen. Im Einzelfall muss geprüft werden, ob zusätzlich nach Standort-Typen unterschieden werden muss.

Die verschiedenen Aggregierungsebenen können auf vielfältige Weise miteinander verschnitten (z. B. Mittelwerte nach Betriebstypen für jede WSG-Zone getrennt) oder parallel

geführt (Mittelwerte für Betriebe und Mittelwerte für WSG-Zonen) werden. Welches Aggregierungsniveau noch sinnvoll ist, hängt wesentlich vom Stichprobenumfang ab.

Tab. 5 fasst die Eignung der statistischen Parameter zur Aggregierung von Nmin-Werten zusammen.

Fragestellung	Aggregierungsebene	Parameter	Eignung
Maßnahmen-Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anbaufrucht</li> <li>- mit / ohne Maßnahme</li> <li>- Standorttyp, falls relevant</li> </ul>	Median	Sehr Gut
		arithmetischer Mittelwert	Gut
		flächengewichteter Mittelwert	Nicht sinnvoll
Gebiets-Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wassergewinnungsgebiet</li> <li>- ggf. Teilgebiete (Schutzzone, Prioritäten-Raum)</li> </ul>	Median	Nur für Zeitreihen von Standort- und Fruchtbezogenen Repräsentativ-Programmen geeignet
		arithmetischer Mittelwert	
		flächengewichteter Mittelwert	Bei Berücksichtigung von Frucht- und Standort-Flächenanteilen sehr gut geeignet, insbesondere für wechselnde Anbauverhältnisse

**Tab. 5: Eignung statistischer Parameter für die Aggregierung von Nmin-Werten im Maßnahmen- und Gebietsmonitoring**

## 6 **Ausblick**

Vor dem Hintergrund der eingangs genannten Bedeutung der Nmin-Methode gilt es, die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Nmin-Wertes für die Bewertung der aktuellen Flächenbewirtschaftung zu optimieren.

Ein wesentliches Projektziel ist daher, den Einfluss der folgenden Faktoren besser zu berücksichtigen:

- ? Jahr der Probenahme (Höhe und Verteilung der Niederschläge vor dem Probenahmetermin)
- ? bodenkundliche Faktoren
- ? historische Flächenbewirtschaftung

In diesem Zusammenhang bietet der 1999 begonnene Nmin-Infodienst eine wichtige Hilfestellung zur Ermittlung z. B. von optimierten Probenahmeterminen, die den Zusatzberater bei der Planung von Herbst-Nmin-Programmen unterstützen. Dieser Nmin-Infodienst wird im Rahmen des Projektes weiter ausgebaut. Hierzu wird das bestehende Referenz-Messnetz erweitert, um eine größere Repräsentativität zu erreichen. Die bisherigen Inhalte des Infodienstes werden überprüft und ggf. noch erweitert, beispielsweise um Korrekturverfahren für Nmin-Werte, die außerhalb des optimalen Probenahmezeitraumes gezogen wurden.

Zudem soll die Nutzbarmachung der Nmin-Daten als Grundlage für regionale und landesweite Auswertungen verbessert werden. Dies gilt sowohl für die Wasserschutzberatung, als auch für Fragestellungen der EU-WRRL.

Die Ergebnisse zu den vorgenannten Projektzielen werden nach Abschluss des Projektes in einer überarbeiteten Fassung dieser Broschüre publiziert.

## 7 Literatur

[1]: **AG BODEN (1994)**: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage. Hannover

[2] **ANTONY, F. (2001)**: Praxiseinsatz der Herbst-N<sub>min</sub>-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 N<sub>min</sub>-Methode im Rahmen der Erfolgskontrolle in der Zusatzberatung Wasserschutz“. Referatesammlung. Unveröff.

[3] **DIN 19732 (1997)**: Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nicht-sorbierbaren Stoffen.

[4] **HILLEBRAND, S. (2002)**: Verbesserung der Aussagekraft von Herbst-N<sub>min</sub>-Werten durch die Optimierung des Probenahmetermins. Arbeitshefte Boden 3. S. 122 – 129.

[5] **ILSEMAN, J, S. GOEB, & J. BACHMANN (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

[6] **KETELSEN, H. & U. MÜLLER (2001)**: Der N<sub>min</sub>-Herbstwert als Instrument der Erfolgskontrolle in der Zusatzberatung „Wasserschutz“ – Ergebnisse aktueller Untersuchungen zur Aussagefähigkeit von N<sub>min</sub>-Daten. Studie im Auftrag der Bezirksregierung. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung. Hannover. 44 S.

[7]: **KLIEBSCH, K. (1995)**: Grundwasserneubildung und Nitrataustrag einer Siedlungsfläche in einem Trinkwassergewinnungsgebiet. Dipl.-Arbeit, Univ. Hannover

[8]: **KLIEBSCH, K., U. MÜLLER & R.R. VAN DER PLOEG (1998)**: Nitrataustrag aus einer ländlichen Siedlungsfläche in Nordwestdeutschland. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 161, S. 571-576

[9] **MÜLLER, U. (1997)**: Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). 6. Aufl, NLFb Hannover

[10] **NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE, Hrsg. (2001)**: Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz. Grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft und Methoden zu ihrer Erfolgskontrolle. Hildesheim, 267 S.

[11]: **SCHEFFER, B. & J. BLANKENBURG (1993)**: Die Bestimmung der Rohdichte von Moorböden. Agribiological Research, Band 46, Heft 1, 1993 - J.D. Sauerländer's Verlag.

[12]: **WALTHER, M. & W. ÜBELHÖR (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)

## Abkürzungsverzeichnis

AH	Austauschhäufigkeit
DIWA	Digitales Informationssystem Wasserschutz
EU-WRRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie
GOF	Geländeoberfläche
GW	Grundwasser
MGW	Mittlerer Grundwasserstand
NAG	Nitrataustragsgefährdung
NIBIS	Niedersächsisches Bodeninformationssystem
NLfB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
Sd-Horizont	verdichteter Bodenhorizont bei Stauwasserböden (z. B. Pseudogleye)
SW	Sickerwasser
SWR	Sickerwasserrate [mm/Jahr]
TD	Trockenrohdichte [ $\text{g/cm}^3$ ]
WSG	Wasserschutzgebiet

# **Ansprechpartner**

## **Dipl.-Ing. agr. Hubertus Schültken**

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie  
An der Scharlake 39  
D-31135 Hildesheim  
Tel.: 05121 / 509-798  
Fax: 05121 / 509-794  
Email: [hubertus.schueltken@nloe.niedersachsen.de](mailto:hubertus.schueltken@nloe.niedersachsen.de)

## **Dipl.-Ing. agr. Burkhard Gödecke**

INGUS - Ingenieurdienst UmweltSteuerung  
Hubertusstr. 2  
30163 Hannover  
Tel.: 0511 / 39479-20  
Fax: 0511 / 39479-50  
Email: [b.goedecke@ingus-net.de](mailto:b.goedecke@ingus-net.de)

## **Dipl. Geogr. Katrin Hagemann**

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung  
Stilleweg 2  
30655 Hannover  
Tel.: 0511/643-3586  
Fax: 0511/643-3667  
Email: [k.hagemann@bgr.de](mailto:k.hagemann@bgr.de)