



## Stickstoff-Nachlieferung humusreicher Acker- und Grünlandstandorte in Niedersachsen

Herleitung, Ermittlung und praktische  
Anwendungsbereiche



Niedersachsen





**Grundwasser**

**Band 37**

Niedersächsischer Landesbetrieb für  
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

## **Stickstoff-Nachlieferung humusreicher Acker- und Grünlandstandorte in Niedersachsen**

**Herleitung, Ermittlung und praktische  
Anwendungsbereiche**



**Niedersachsen**

## **Herausgeber:**

Niedersächsischer Landesbetrieb  
für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz  
Direktion  
Am Sportplatz 23  
26506 Norden

## **Autoren:**

Dr. Fabian Köslin-Findeklee, INGUS Ingenieurdienst Umweltsteuerung GmbH  
Dr. Franz Antony, INGUS Ingenieurdienst Umweltsteuerung GmbH

## **Mit Unterstützung durch:**

Werner Raue, enercity AG  
Andreas Rausch, enercity AG  
Dr. Christina Aue, Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband  
Dr. Heinrich Höper, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)

## **Koordination:**

Hans-Christian von Korn  
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz  
Betriebsstelle Hannover-Hildesheim

## **Bildnachweise:**

INGUS Ingenieurdienst Umweltsteuerung GmbH  
Ing.-Büro Dr. Günther Springob

1. Auflage Dezember 2019, 250 Stück  
Schutzgebühr: 5,00 € zzgl. Versandkosten

## **Bezug:**

Niedersächsischer Landesbetrieb  
für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz  
– Veröffentlichungen –  
Göttinger Chaussee 76 A  
30453 Hannover

[www.nlwkn.niedersachsen.de](http://www.nlwkn.niedersachsen.de) → Service →  
Veröffentlichungen/Webshop

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	4	<b>4 Erfassung und Beschreibung</b>	<b>30</b>
Tabellenverzeichnis .....	5	<b>humusreicher Böden.....</b>	<b>30</b>
Abkürzungsverzeichnis .....	6	4.1 Identifikation humoser Böden mit erhöhter	
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>7</b>	N-Nachlieferung in der Landschaft .....	31
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>9</b>	4.1.1 Eingrenzung der Suchräume	
<b>2 Relevante Aspekte des</b>		humusreicher Böden .....	32
<b>Humushaushalts von Böden.....</b>	<b>10</b>	4.2 Untersuchung der Humuseigenschaften .....	34
2.1 Kenngrößen des N-Mineralisations-		4.2.1 Analyse des Humusgehaltes .....	37
potentials von Böden.....	10	<b>5 Anwendung des N<sub>t</sub>-Konzeptes bei</b>	
2.2 Ermittlung von regionalen N <sub>t</sub> -Bezugswerten		<b>der Beurteilung von</b>	
zur Berechnung von N <sub>t</sub> -Überhängen.....	14	<b>Grünlandumbrüchen .....</b>	<b>37</b>
2.3 Identifikation praxisrelevanter N <sub>t</sub> -		5.1 Das N <sub>fair</sub> -Konzept als Entscheidungshilfe	
Überhänge für Acker- und Grünland .....	15	für Genehmigungsbehörden .....	38
2.4 Zeitbedarf für Abbau von Humus und von		<b>6 Anwendung des N<sub>t</sub>-Konzeptes in</b>	
N <sub>t</sub> -Überhängen .....	17	<b>der Düngeberatung.....</b>	<b>40</b>
2.5 Nachweis erhöhter N-Mineralisation aus		6.1 N-Düngeabschläge zu Silomais nach dem	
N <sub>t</sub> -Überhängen .....	19	N <sub>t</sub> -Konzept .....	41
<b>3 N<sub>t</sub>-Konzepte auf Basis des</b>		6.2 Praktische Umsetzung des N <sub>t</sub> -Konzeptes in	
<b>N<sub>t</sub>-Überhangs.....</b>	<b>20</b>	Düngeplanungsprogrammen .....	41
3.1 Anwendungsbereiche für N <sub>t</sub> -Konzepte.....	20	6.3 Vegetationsbegleitende Methoden zur	
3.2 Herleitung von N-Düngeabschlägen zu		Ermittlung des tatsächlichen	
Silomais aus dem N <sub>t</sub> -Überhang .....	20	N-Düngebedarfes .....	42
3.2.1 Anrechenbare N-Freisetzung aus		<b>7 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>43</b>
N <sub>t</sub> -Überhängen über regional		<b>8 Weiterführende Literatur .....</b>	<b>43</b>
anwendbare Verfahren .....	21		
3.2.2 Anrechenbare N-Freisetzung aus			
N <sub>t</sub> -Überhängen über landesweit			
anwendbare Verfahren .....	23		
3.2.3 Übersicht zu den entwickelten			
N <sub>t</sub> -Konzepten auf regionaler und			
landesweiter Ebene .....	25		
3.3 Verbesserung der Sickerwasserqualität			
durch N <sub>t</sub> -Konzepte am Beispiel des TGG			
Thülsfelde .....	28		

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Schematische Darstellung und beispielhafte Ermittlung des effektiven Gesamtstickstoffs  $N_{\text{eff}}$  für einen Humuskörper
- Abb. 2:** Humusreicher Grünlandumbruch-Standort mit reliktschen Wurzelresten unterhalb der Ackerkrume im TGG Fuhrberger Feld (links) und mit stark humosem Unterboden im TGG Thülsfelde (rechts) (Fotos: SPRINGOB)
- Abb. 3:** Schematische Darstellung Humus-Gleichgewicht
- Abb. 4:** Schematische Darstellung und beispielhafte Ermittlung des  $N_t$ -Überhangs für einen humusreichen Standort
- Abb. 5:** Schematische Darstellung und beispielhafte Ermittlung des effektiven  $N_t$ -Überhangs für einen humusreichen Standort
- Abb. 6:** Lage der Pilotgebiete TGG Fuhrberger Feld, Thülsfelde und Sandelermöns (INGUS)
- Abb. 7:**  $N_t$ -Gehalt von Dauergrünland (grün) und Acker (schwarz) aufsteigend sortiert für das TGG Fuhrberger Feld ( $n = 891$ ) (SPRINGOB, verändert)
- Abb. 8:** C/N-Verhältnis von Dauergrünland (grün) und Acker (schwarz) aufsteigend nach dem  $N_t$ -Gehalt sortiert für das TGG Fuhrberger Feld ( $n = 891$ ) (SPRINGOB, verändert)
- Abb. 9:**  $N_t$ -Überhang von Dauergrünland (grün) und Acker (schwarz) aufsteigend nach dem  $N_t$ -Gehalt sortiert für das TGG Fuhrberger Feld ( $n = 891$ ) (SPRINGOB, verändert)
- Abb. 10:**  $N_t$ -Überhang von Acker (schwarz) aufsteigend nach dem  $N_t$ -Gehalt sortiert für das TGG Thülsfelde ( $n = 191$ ) (SPRINGOB, verändert)
- Abb. 11:**  $N_t$ -Überhang-Abbau bezogen auf das Humus-Gleichgewicht über die Zeit bei einer jährlichen Humus-Abbaurrate von 3% (SPRINGOB, verändert)
- Abb. 12:** Humusreicher Standort im TGG Fuhrberger Feld mit einem  $N_t$ -Überhang von ca. 5.000 kg N/ha (Foto: SPRINGOB)
- Abb. 13:** Mittlere N-Tagesmineralisation im Oberboden (0 bis 30 cm) von Sandstandorten in Abhängigkeit des  $N_t$ -Überhangs im TGG Fuhrberger Feld (SPRINGOB, verändert)
- Abb. 14:** N-Freisetzung aus  $N_t$ -Überhängen in Abhängigkeit des  $N_t$ -Gehalts im Oberboden (0 bis 30 cm) für das TGG Thülsfelde und dem daraus abgeleiteten Regionalverfahren R1 (SPRINGOB, verändert)
- Abb. 15:** N-Freisetzung aus  $N_t$ -Überhängen in Abhängigkeit des  $N_t$ -Gehalts im Oberboden (0 bis 30 cm) für das TGG Fuhrberger Feld und dem daraus abgeleiteten Regionalverfahren R2 (SPRINGOB, verändert)
- Abb. 16:** N-Freisetzung aus  $N_t$ -Überhängen in Abhängigkeit des  $N_t$ -Gehalts im Oberboden (0 bis 30 cm) und den daraus abgeleiteten landesweiten Verfahren L2 und L5 (SPRINGOB, verändert)
- Abb. 17:** Berechnete mittlere Nitrat-Konzentrationen über 8 Jahre im Sickerwasser in Abhängigkeit der N-Mineraldüngung zu Silomais für drei Standorte im TGG Thülsfelde mit unterschiedlichem  $N_t$ -Überhang (SPRINGOB, verändert) sowie die Wirkung der möglichen Reduktion der N-Düngung (R- und L-Verfahren)
- Abb. 18:** Gewässergefährdender Stoffhaushalt geringmächtiger, entwässerter und degradierter Niedermoor-Torfdecken unter Acker- oder Grünlandnutzung (ANTONY & REINERT in TELMA 2003, verändert)
- Abb. 19:** Schematischer Ablauf zur schlaggenauen Identifikation von humusreichen Böden in einer Gebietskulisse (INGUS)
- Abb. 20:** Naturräumliche Gliederung des TGG Fuhrberger Feld (INGUS)
- Abb. 21:** Bodenverbreitung im TGG Fuhrberger Feld nach offiziellen Bodenkarten (BÜK 50 oder besser BK 50) mit allen Bodentypen (oben) und mit humusreichen Böden (unten) (INGUS)
- Abb. 22:** Schlag bezogene Verbreitung humusreicher Böden auf Basis von Bodenschätzungsdaten im TGG Fuhrberger Feld (INGUS)
- Abb. 23:** Beispiel für eine Fehleinschätzung des Humusgehalts nach Humusfarbe (Fotos: INGUS)
- Abb. 24:** Verteilung der Einstiche für eine repräsentative Humusprobenahme auf Schlägen mit homogenen und unterschiedlich heterogenen Bodenverhältnissen (Bodeneinheiten 50:50; >75; <50) (INGUS)
- Abb. 25:** Effektiver  $N_t$ -Überhang von Dauergrünlandflächen im TGG Fuhrberger Feld und Verteilung nach Risikoklassen des  $N_{\text{fair}}$ -Konzeptes (SPRINGOB, verändert)

## Tabellenverzeichnis

- Tab. 1:**  $C_{org}$ ,  $N_t$ - und  $N_{eff}$ -Bezugswerte für „Altacker“-Standorte im Humusgleichgewicht der drei Pilotgebiete (SPRINGOB, verändert)
- Tab. 2:** Beispielhafte Berechnung des  $N_t$ -Überhangs im Oberboden (0 bis 30 cm) für einen humusreichen Ackerstandort im TGG Fuhrberger Feld (SPRINGOB, verändert)
- Tab. 3:** Übersicht zu den entwickelten  $N_t$ -Konzepten zur Ermittlung der anrechenbaren N-Freisetzung aus  $N_t$ -Überhängen auf regionaler Ebene (R1- und R2-Verfahren) für den Silomaisanbau
- Tab. 4:** Übersicht zu den entwickelten  $N_t$ -Konzepten zur Ermittlung der anrechenbaren N-Freisetzung aus  $N_t$ -Überhängen auf landesweiter Ebene (L2- und L5-Verfahren) für den Silomaisanbau
- Tab. 5:** Ausgewählte Standorte des TGG Thülsfelde mit unterschiedlichen  $N_t$ -Überhängen zur Prognose der Verbesserung der Sickerwasserqualität (SPRINGOB, verändert)
- Tab. 6:** Risikoklassen verstärkter, nachhaltiger N-Freisetzung für den Fall eines Umbruches von Dauergrünland auf Basis des effektiven  $N_t$ -Überhangs (0 bis 30 cm) (SPRINGOB 2010)
- Tab. 7:** Weitergehende N-Düngeabschläge vom N-Bedarfswert für Silomais in Abhängigkeit des Gesamt-N-Gehalts ( $N_t$ ) des Bodens (0 bis 30 cm) (SPRINGOB, verändert)
- Tab. 8:** Einzelschlagbezogene N-Düngebedarfsermittlung zu Silomais nach der N-Bedarfswert-Methode für einen Standort mit einem Humusgehalt von 14% und einem  $N_t$ -Gehalt von 0,42% im Oberboden (0 bis 30 cm) (INGUS)

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abb.</b>	Abbildung	<b>In</b>	natürlicher Logarithmus zur Basis e
<b>BGR</b>	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe	<b>M+P</b>	Modell- und Pilotvorhaben
<b>BK 50</b>	Bodenkarte im Maßstab 1:50.000	<b>n</b>	Stickprobenumfang
<b>BÜK 50</b>	Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:50.000	<b>N</b>	Stickstoff
<b>C</b>	Kohlenstoff	<b>N<sub>2</sub></b>	molekularer Stickstoff
<b>C<sub>org</sub></b>	organisch gebundener Kohlenstoff	<b>N<sub>eff</sub></b>	effektiver Gesamtstickstoff. Die Humus-N-Fraktion, die am aktuellen Humus-Gleichgewicht aus dem laufenden Eintrag und Abbau organischen Materials beteiligt ist
<b>C/N</b>	Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis	<b>N<sub>fair-Konzept</sub></b>	Konzept zur differenzierten Abschätzung der Höhe der zu erwartenden N-Freisetzung nach einem Grünlandumbruch auf Basis des effektiven Nt-Überhanges
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxid	<b>N<sub>inert</sub></b>	inertester Gesamtstickstoff. Die Humus-N-Fraktion, die sehr stabil ist und nicht mehr am aktuellen Humus-Gleichgewicht beteiligt ist.
<b>d<sub>B</sub></b>	Lagerungsdichte	<b>N<sub>min</sub></b>	mineralischer Stickstoffgehalt im Boden
<b>DOC</b>	gelöster organisch gebundener Kohlenstoff	<b>N<sub>t</sub></b>	Gesamtstickstoffgehalt
<b>DüV</b>	Düngeverordnung	<b>N<sub>t</sub>-Überhang</b>	Gesamtstickstoffgehalt-Überhang
<b>e</b>	Eulersche Zahl. Die Zahl e ist Basis des natürlichen Logarithmus und liegt vielen Wachstums- bzw. Zerfallsprozessen in der Natur zugrunde	<b>NLWKN</b>	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
<b>EU</b>	Europäische Union	<b>NWG</b>	Niedersächsisches Wassergesetz
<b>GW</b>	Grundwasser	<b>PE</b>	Polyethylen
<b>HERMES</b>	Modell zur Beschreibung von Pflanzenwachstum und Wasser- und Stickstoffdynamik im System Boden-Pflanze von landwirtschaftlich genutzten Böden	<b>R</b>	Regionalverfahren
<b>INGUS</b>	Ingenieurdienst Umweltsteuerung GmbH	<b>Tab.</b>	Tabelle
<b>KA</b>	Kartieranleitung	<b>TGG</b>	Trinkwassergewinnungsgebiet
<b>L</b>	landesweites Verfahren	<b>WSG</b>	Wasserschutzgebiet
<b>LBEG</b>	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie		

# Zusammenfassung

## Zielsetzung

Für eine Grundwasserschutz orientierte landwirtschaftliche Bewirtschaftung humusreicher Acker- und Grünlandstandorte in Trinkwassergewinnungsgebieten (TGG) in Niedersachsen wurden in den Jahren 2005 bis 2012 verschiedene aufeinander aufbauende Modell- und Pilotvorhaben (M+P) zur Stickstoff (N)-Nachlieferung humusreicher Standorte durchgeführt. Den M+P-Vorhaben gingen wissenschaftliche Untersuchungen zur N-Nachlieferung humusreicher Standorte in TGG voraus. Die M+P-Vorhaben sollten eine einfache Bestimmbarkeit der tatsächlichen umwelt- und düngerelevanten N-Freisetzungspotentiale humusreicher Acker- und Grünlandstandorte ermöglichen. Die Finanzierung der Projekte erfolgte aus Mitteln der Wasserentnahmegebühr des Landes Niedersachsen, der enercity AG, des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) und der Europäischen Union. Die Konzeptionierung, Durchführung und Auswertung der M+P-Vorhaben erfolgte maßgeblich durch Herrn Dr. Günther Springob.

In vielen TGG stellt die inzwischen großflächige ackerbauliche Nutzung humusreicher Standorte aufgrund der üblichen hohen N-Freisetzungsraten (N-Quellenstandorte) ein großes Nitrat-Gefährdungspotential für die Qualität des Sicker- und Grundwassers dar. Dieses Gefährdungspotential wird verstärkt, wenn ein TGG großflächig und/oder brunnennah solche N-Quellenstandorte aufweist.

## Auswahl der TGG

Als Pilotgebiete für die Durchführung der M+P-Vorhaben wurden die TGG Thülsfelde, Sandelermöns und Fuhrberger Feld ausgewählt. In den TGG Thülsfelde und Sandelermöns sind humusreiche Böden weit verbreitet. Auch das TGG Fuhrberger Feld ist aufgrund seiner überwiegenden Lage in einer Geest-Niederung durch einen sehr hohen Anteil humusreicher Böden geprägt.

Zudem lagen für die drei ausgewählten TGG bereits flächendeckende Bodenuntersuchungsergebnisse und Humusanalysen vor. Außerdem decken die drei TGG aufgrund ihrer geographischen Lage die klimatisch relevante Spanne Niedersachsens von Nordwesten nach Südosten ab. Dies ist insofern von Bedeutung, da innerhalb Niedersachsens die Humusvorräte der Oberböden nach Nordwesten hin ansteigen. Ursache hierfür ist u. a. die zunehmende Humidität.

## Art der Untersuchungen

Das Untersuchungsprogramm umfasste zahlreiche Feldversuche zur Ermittlung der relevanten Humus-Kenngrößen sowie der tatsächlichen mengenmäßigen N-Freisetzung. Darauf aufbauend erfolgte die Herleitung von regionalspezifischen und landesweiten Verfahren zur Beurteilung des

langfristigen und/ oder kurzfristigen N-Freisetzungspotentials als humusreicher Acker- und Grünlandstandorte.

## Ergebnisse

Die M+P-Vorhaben ergaben, dass der Gesamtstickstoff-Überhang ( $N_t$ -Überhang) eines humusreichen Standortes die zentrale Kenngröße zur Beschreibung des langfristigen standörtlichen N-Freisetzungspotentials ist. Der  $N_t$ -Überhang ist die Differenz zwischen dem  $N_t$ -Vorrat des Standortes und dem für diesen Standort typischen  $N_t$ -Vorrat unter Humus-Gleichgewichtsbedingungen. Daher wurden die entwickelten Konzepte zur Bestimmung der Stickstoff-Nachlieferung auf dem  $N_t$ -Gehalt [%] bzw.  $N_t$ -Vorrat [kg/ha] aufgebaut.

## Anwendungsbereiche für $N_t$ -Konzepte

Bisher finden sich drei Anwendungsbereiche für  $N_t$ -Konzepte. Der erste Anwendungsbereich umfasst die Kennzeichnung des langfristigen standörtlichen N-Freisetzungspotentials, d. h. die Identifikation von Flächen mit erhöhtem Mineralisationspotenzial und damit auch einem erhöhten N-Auswaschungsrisiko. Das entwickelte  $N_{fair}$ -Konzept ermöglicht eine differenzierte Abschätzung der Höhe der zu erwartenden N-Freisetzung nach einem Grünlandumbruch auf Basis des effektiven  $N_t$ -Überhanges. Aufgrund des objektiv messbaren effektiven  $N_t$ -Überhanges kann das  $N_{fair}$ -Konzept die Entscheidungen der zuständigen Genehmigungsbehörde bei der Erteilung von Bewirtschaftungsauflagen im Falle einer Genehmigung oder im Falle eines Umbruchverbotes einfacher und nachvollziehbarer für den Antragssteller begründen.

Der zweite Anwendungsbereich ist die Erstellung von  $N_t$ -Düngekonzepten, damit in der Düngeberatung weitergehende N-Düngeabschläge für die erhöhte N-Mineralisation humusreicher Böden berücksichtigt werden können. Im Rahmen der M+P-Vorhaben wurden regionale und landesweite  $N_t$ -Konzepte auf Basis des  $N_t$ -Überhanges für N-Düngeabschläge bei Silomais entwickelt. Silomais ist im Vergleich zu anderen Feldfrüchten sehr gut in der Lage, den aus dem Boden im Laufe der Vegetationsperiode pflanzenverfügbar werdenden Stickstoff ertragsbildend auszunutzen.

Ein dritter Anwendungsbereich von  $N_t$ -Konzepten in TGG ist die Prioritätensetzung von Grundwasserschutz-Maßnahmen mit einem hohen Kostenaufwand, wie z. B. die Umwandlung von Ackerflächen mit z. B. sehr hohen  $N_t$ -Überhängen (> 8.000 kg N/ha) in extensives Grünland bzw. extensives Feldgras.

## Fazit

In der vorliegenden Broschüre wird ein Weg aufgezeigt, wie bei humusreichen Böden der Prozess der N-Mineralisation nachgewiesen und bewertet werden kann. Dies gelingt, wenn zwischen den beiden Bereichen grundsätzliche Standortkennzeichnung (langfristig, Potentiale, Umbruch von Dauergrünland in Acker) auf der einen und konkret anrechenbare, saisonale Nachlieferungsraten (kurzfristig, Düngungskonzepte) auf der anderen Seite differenziert wird und spezielle Anwendungsbereiche (z. B. N-Düngeabschläge zu Silomais) definiert werden.

Mit den entwickelten N-Konzepten lassen sich Düngemittel einsparen und deutliche Verbesserungen bei der

Sickerwasserqualität erreichen. Die N-Konzepte sind ein Planungsinstrument, dass für die Ermittlung weitergehender N-Düngeabschläge humusreicher Standorte ganz bewusst „nicht bis auf das letzte Kilogramm Stickstoff optimiert ist“, um mit einer hohen Sicherheit negative Ertragseffekte aufgrund einer unzureichenden N-Düngung von vornherein auszuschließen. Diese Herangehensweise wird im Folgenden als konservativer Ansatz bezeichnet. Trotz dieses Ansatzes ist eine vegetationsbegleitende Düngeberatung empfehlenswert, um den tatsächlich während der Vegetation pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden zu bestimmen.

# 1 Einleitung

Zur Erforschung einer besonders auf den Grundwasserschutz ausgerichteten Land- und Fortwirtschaft in Trinkwassergewinnungsgebieten (TGG) können Modell- und Pilotvorhaben (M+P) gem. § 28 (3) Ziff.5 Niedersächsisches Wassergesetz (NWG) aus der Wasserentnahmegebühr des Landes Niedersachsen gefördert werden. Der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) hat von 2005 bis 2012 verschiedene aufeinander aufbauende M+P-Vorhaben zur Stickstoff (N)-Nachlieferung humusreicher Acker- und Grünlandstandorte in Niedersachsen durchführen lassen, deren Ergebnisse in der vorliegenden Broschüre zusammengefasst sind. Die Finanzierung dieser Projekte erfolgte nicht nur aus der Wasserentnahmegebühr des Landes Niedersachsen, sondern auch aus Mitteln der enerCity AG, des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) sowie der Europäischen Union. Die Konzeptionierung, Durchführung und Auswertung der M+P-Vorhaben erfolgte maßgeblich durch Herrn Dr. Günther Springob.

Die erste wichtige Fragestellung dabei war, welche Humus- bzw. Gesamtstickstoffgehalte ( $N_t$ ) als außergewöhnlich hoch anzusehen sind. Hierfür wurden Kriterien und Skalen in den M+P-Vorhaben erarbeitet (**siehe Kapitel 2 und 3**). Dabei wurde auch geprüft, welche Kenngrößen wirklich entscheidend sind (Humus,  $N_t$ ,  $N_t$ -Überhang, Humusqualität etc.). Auf dieser Grundlage sind dann z. B. Priorisierungen der Flächen in TGG möglich, d.h. potentielle N-Quellenstandorte werden identifizierbar und können gezielt in Monitoring- und Schutzprogramme einbezogen

werden. Ferner lassen sich z. B. in Genehmigungsverfahren Entscheidungen über die Genehmigung oder das Versagen von Grünlandumbrüchen in Acker besser begründen und Bewirtschaftungsauflagen transparenter und einvernehmlich festlegen. Ehemaliges Feuchtgrünland mineralisiert i. d. R. mehrere Tonnen Stickstoff pro Hektar über einen Zeitraum von oftmals mehreren Jahrzehnten. Ziel der M+P-Vorhaben war es, die einfache Bestimmbarkeit der tatsächlichen umwelt- und düngerelevanten N-Freisetzungspotentiale zu ermöglichen.

Die zweite wichtige Fragestellung befasste sich mit den zeitabhängigen, tatsächlichen N-Freisetzungsraten, mit denen in der Praxis tatsächlich aus Sicht des Wasserschutzes zu rechnen ist bzw. aus landwirtschaftlicher Sicht gerechnet werden kann.

Die **Kapitel 2 und 3** befassen sich mit der systematischen Ermittlung wichtiger Kenngrößen des Boden-Humushaushalts und der darauf aufbauenden systematischen Herleitung von regionalisierten und landesweiten  $N_t$ -Konzepten zur mengenmäßigen Erfassungen der N-Nachlieferung humusreicher Acker- und Grünlandstandorte in Niedersachsen. In den **Kapiteln 4 bis 6** steht die praktische Umsetzung im Vordergrund. Hierbei wird zunächst die Identifikation humusreicher Böden mit erhöhter N-Nachlieferung sowie die repräsentative Humusprobenahme und -analytik ausführlich erläutert, bevor die Anwendung der entwickelten  $N_t$ -Konzepte in Genehmigungsverfahren von Grünlandumbrüchen und in der Düngegeratung für Silomais ausführlich dargestellt werden.

## 2 Relevante Aspekte des Humushaushalts von Böden

### 2.1 Kenngrößen des N-Mineralisationspotentials von Böden

Definitionsgemäß ist Humus die Gesamtheit der abgestorbenen organischen Substanz in Böden. Humus lässt sich nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft in zahlreiche Fraktionen, Pools, Qualitätsstufen, Funktionalitäten etc. einteilen und bis in Details analysieren. Im Hinblick auf praktische Anliegen in der Landwirtschaft und im Wasserschutz ist dies nicht zielführend. Die Praxis benötigt daher Verfahren, die auf wenigen, aussagekräftigen Kenngrößen beruhen, die von landwirtschaftlichen Laboren routinemäßig, d. h. sicher, schnell und möglichst kostengünstig, bestimmt werden können. Derzeit erfolgt in der landwirtschaftlichen Praxis die Bestimmung der Humusquantität und -qualität in der Krume anhand der Messgrößen organischer Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) und Gesamt-N ( $N_t$ ). Aus  $C_{org}$  ergibt sich mit dem Faktor 1,72 der Humusgehalt. Mit  $N_t$  ist i. d. R. der im Humus organisch gebundene Stickstoff gemeint. Der Labormesswert  $N_t$  kann aber, je nach Bestimmungsverfahren, auch geringe Mengen Mi-

neralstickstoff enthalten. Dessen Anteile sind aber meist so gering, dass  $N_t$  in den meisten Fällen mit organisch gebundenem N gleichzusetzen ist. Aus den Messwerten  $C_{org}$  und  $N_t$  lässt sich zudem das C/N-Verhältnis berechnen, das eine wichtige Kenngröße für die Humusqualität ist. Je enger das C/N-Verhältnis ist, desto leichter kann der Humus durch die Mikroorganismen abgebaut (mineralisiert) werden und der im Humus enthaltene Stickstoff freigesetzt werden.

Neben den bereits bekannten Kenngrößen ( $C_{org}$ ,  $N_t$ , Humus, C/N) werden im vorliegenden Text die weiteren Kenngrößen effektiver Gesamtstickstoff ( $N_{eff}$ ) (siehe Infokasten 1),  $N_t$ -Bezugswert (siehe Infokasten 4),  $N_t$ -Überhang (siehe Infokasten 5) und effektiver  $N_t$ -Überhang (siehe Infokasten 6) verwendet. Eine genaue Definition dieser weiteren Kenngrößen wird in den folgenden gelben Infokästen gegeben.

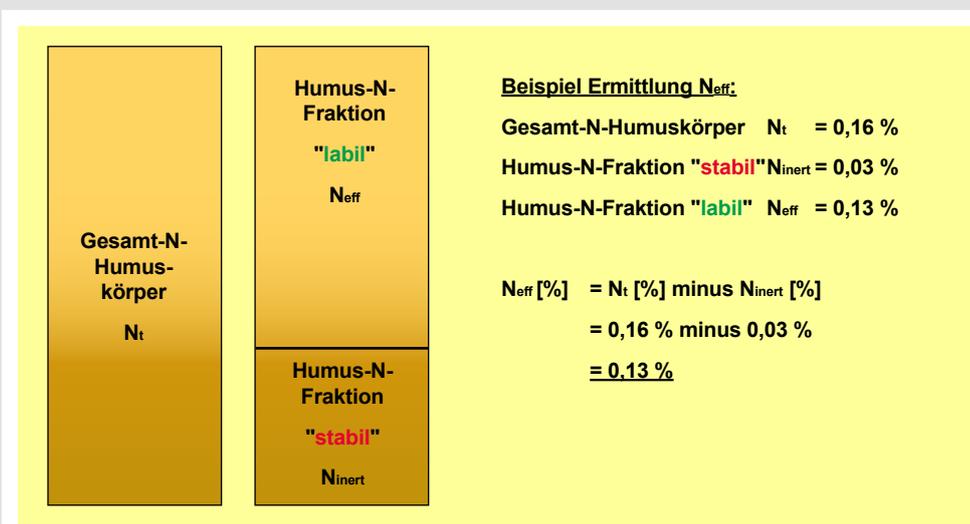
#### **Infokasten 1 – Definition effektiver Gesamtstickstoff ( $N_{eff}$ ):**

Der effektive Gesamtstickstoff ( $N_{eff}$ ) ist eine Aufteilung des gesamten Humuskörpers eines Standortes in zwei Humus-N-Fractionen:

1. Die Humus-N-Fraktion „**labil**“ ( $N_{eff}$ ), die am aktuellen Humus-Gleichgewicht aus dem laufenden Eintrag und Abbau der organischen Substanz beteiligt ist.
2. Die Humus-N-Fraktion „**stabil**“ ( $N_{inert}$ ), die sehr stabil und nicht mehr am aktuellen Humus-Gleichgewicht beteiligt ist.

Der  **$N_{eff}$ -Wert** ist somit eine Kenngröße, um das N-Mineralisationspotential eines Standortes genauer bewerten zu können. Die stabile Humus-N-Fraktion ist die Folge einer speziellen, historischen Nutzungsgeschichte, die durch die vorherrschenden klimatischen Bedingungen, das Ausgangsmaterial, die Bodenbildung und die Nutzung gekennzeichnet war. Speziell für Nordwestdeutschland war dies in der Vergangenheit mit Nässe, Heide, Podsolierung und/oder Plaggendüngung prägend und führte zur Anreicherung der (Sand-)Böden mit zusätzlicher stabiler organischer Substanz, erkennbar an weiten C/N-Verhältnissen (bei Hochmoor haben die weiten C/N-Verhältnisse eine andere Ursache).

Der  $N_{eff}$  ist keine spezifisch leicht abbaubare, schnell mineralisierende N-Fraktion, sondern Teil eines kompletten Humuskörpers mit der gesamten Spanne von sehr leicht bis sehr schwer abbaubaren N-Fractionen, allerdings ohne den sehr spezifischen Anteil, der nicht am aktuellen Humus-Gleichgewicht beteiligt ist. Daher ist  $N_{eff}$  häufig kleiner als  $N_t$ , aber oft auch gleich groß, wenn der Standort keine „stabile“ Humus-N-Fraktion ( $N_{inert}$ ) aufweist.



**Abb. 1: Schematische Darstellung und beispielhafte Ermittlung des effektiven Gesamtstickstoffs  $N_{eff}$  für einen Humuskörper**

Alle Humus-Kenngrößen ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ,  $N_t$ -Überhang,  $N_{eff}$  etc.) beziehen sich für Acker- und Grünland auf die Bodenschicht 0 bis 30 cm. Tiefergehende Messungen über 30 cm hinaus, z. B. für die Bodenschichten 30 bis 60 cm und 60 bis 90 cm, wie bei Bodenuntersuchungen auf  $N_{min}$  üblich sind, sind nicht notwendig, denn die Horizonte unterhalb der üblichen Krumentiefe liefern i. d. R. nur einen relativ geringen Beitrag zum N-Vorrat bzw. -Umsatz. Gut zu sehen ist dies z. B. an dem Bodenprofil im TGG

Fuhrberger Feld in **Abb. 2, links**. Unterhalb der heutigen Ackerkrume sind dort nur noch reliktsche Wurzelreste als Humus erkennbar. Das Bodenprofil im TGG Thülsfelde in **Abb. 2, rechts** hat im Gegensatz dazu in tieferen Bodenhorizonten (d. h. unterhalb von 30 cm Bodentiefe) erhebliche Humusmengen, die jedoch aufgrund der stark erhöhten N-Freisetzungspotentiale in der Ackerkrume mengenanteilig nicht mehr relevant sind.



**Abb. 2: Humusreicher Grünlandumbruch-Standort mit reliktschen Wurzelresten unterhalb der Ackerkrume im TGG Fuhrberger Feld (links) und mit stark humosem Unterboden im TGG Thülsfelde (rechts) (Fotos: SPRINGOB)**

Das Hauptziel der aufeinander aufbauenden M+P-Vorhaben zum Thema **Humus** bestand in der Ermittlung und Bewertung von stark erhöhten N-Mineralisationspotentialen in Oberböden (0 bis 30 cm). Damit konnte eine Grundlage geschaffen werden, das N-Nachlieferungsvermögen der Böden bei der Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen zu berücksichtigen. Dazu ist nur die Bestimmung der  $C_{org}$  und  $N_t$ -Gehalte der Oberböden nötig und dies auch nur alle 5 bis 8 Jahre.

Zur Darstellung der langfristig freisetzbaren N-Mengen auf humusreichen Standorten lassen sich anschaulich die  $N_t$ -Vorräte in Kilogramm Stickstoff pro Hektar (bis 30

cm Tiefe) verwenden. Dazu wird neben den Messwerten  $N_t$  und  $C_{org}$  die Lagerungsdichte des Oberbodens [ $d_B$ ] benötigt. Für humusreiche Standorte ist die Verwendung der korrekten Lagerungsdichte von hoher Wichtigkeit, da sonst der  $N_t$ -Vorrat pro Hektar i. d. R. deutlich überschätzt wird. Die Lagerungsdichte sinkt mit steigendem Humusgehalt signifikant von über  $1,4 \text{ g/cm}^3$  (Trockenboden) auf unter  $1,0 \text{ g/cm}^3$  (Trockenboden) ab. Bei den Sandböden, um die es bei den Überhangstandorten in Niedersachsen i.d.R. geht, können zur Festlegung des Faktors  $d_B$  folgende Näherungsgleichungen verwendet werden (**siehe Infokasten 2**).

**Infokasten 2 – Näherungsgleichungen zur Ermittlung der Lagerungsdichte  $d_B$  des Oberbodens humoser Sandstandorte:**

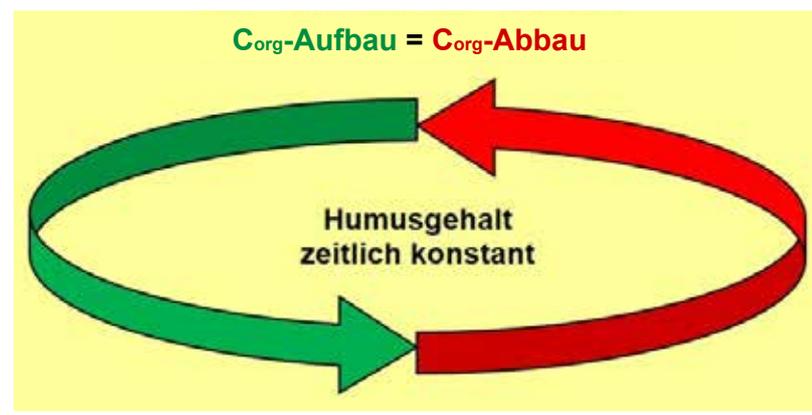
Acker:  $d_B \text{ [g/cm}^3\text{]} = 1,52 \text{ minus } 0,213 \ln C_{org} \text{ [%]}$   
 Grünland:  $d_B \text{ [g/cm}^3\text{]} = 1,70 \text{ minus } 0,344 \ln C_{org} \text{ [%]}$

$d_B$  = Lagerungsdichte  
 $C_{org}$  = Organischer Kohlenstoffgehalt im Boden  
 $\ln$  = Natürlicher Logarithmus zur Basis e (Eulersche Zahl)

Bei fortdauernder Ackernutzung stellt sich regional- (u. a. Standort, Bewirtschaftung etc.) und klimaabhängig ein relativ konstanter Humusgehalt im Oberboden als Ausdruck eines Fließgleichgewichts zwischen jährlichem  $C_{org}$ -Ein-

trag und  $C_{org}$ -Abbau ein (**siehe Infokasten 3**). Dies gilt auch für den im Humus gebundenen Stickstoff, wobei die Gleichgewichtslage aber grundsätzlich durch den übergeordneten  $C_{org}$ -Haushalt vorgegeben wird.

**Infokasten 3 – Näherungsgleichungen zur Ermittlung der Lagerungsdichte dB des Oberbodens humoser Sandstandorte:**



Ein Oberboden befindet sich im Humus-Gleichgewicht, wenn sich zwischen jährlichem  $C_{org}$ -Aufbau und  $C_{org}$ -Abbau ein Fließgleichgewicht eingestellt hat, so dass der Humusgehalt zeitlich konstant bleibt. Die Höhe des Humusgehaltes im Humus-Gleichgewicht ist dabei regional- (u. a. Standort, Bewirtschaftung etc.) und klimaabhängig.

**Abb. 3: Schematische Darstellung Humus-Gleichgewicht**

Der  $C_{org}$ - und der  $N_t$ -Gehalt der Oberböden (0 bis 30 cm) im Gleichgewicht und die daraus berechneten  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Vorräte werden im Folgenden als Bezugswerte bezeichnet (**siehe Infokasten 4**). Die Bezugswerte bilden

die Basis für die Berechnung der  $N_t$ -Überhänge, d.h. der Mineralisationspotentiale oberhalb der üblichen  $N$ -Freisetzung.

**Infokasten 4 – Definitionen Bezugswert und „Altacker“:**

Der Bezugswert wird als Wert definiert, in dem der  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalt bzw. der  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Vorrat des Oberbodens im Humus-Gleichgewichtszustand ist.

Die  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Bezugswerte werden üblicherweise auf „Altacker“-Flächen ermittelt, da sich diese im ortsüblichen Humus-Gleichgewichtszustand befinden. Als „Altacker“-Flächen werden Ackerflächen definiert, die seit vielen Jahrzehnten unter Ackernutzung waren und ortsüblich bewirtschaftet werden.

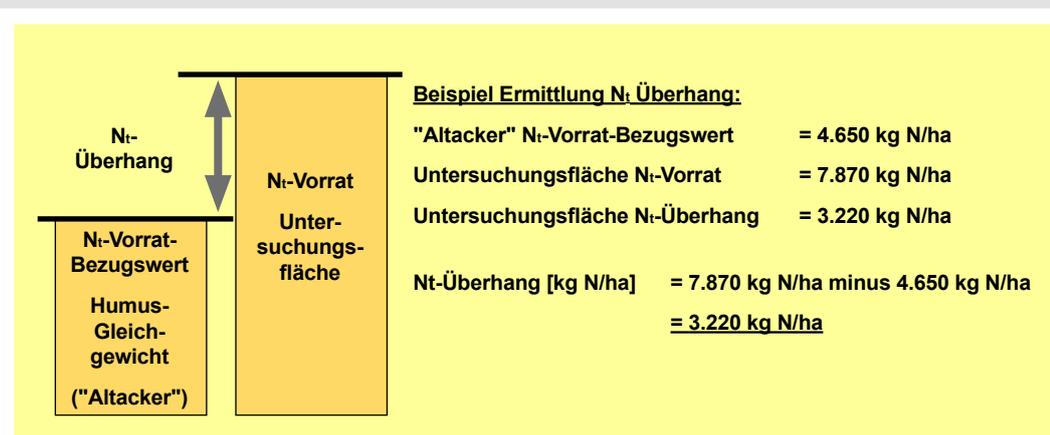
Sind die  $N_t$ -Vorräte eines Standortes bekannt, dann lässt sich nach Abzug des ortsüblichen  $N_t$ -Vorrats unter Gleichgewichtsbedingungen ( $N_t$ -Bezugswert) der  $N_t$ -Überhang (**siehe Infokasten 5**) berechnen, der das langfristi-

ge  $N$ -Freisetzungspotential des Standortes angibt. Die  $N$ -Freisetzung aus solchen Überhängen findet immer parallel zur üblichen Mineralisation statt.

**Infokasten 5 – Definition langfristiges N-Freisetzungspotential über  $N_t$  ( $N_t$ -Überhang):**

Der  **$N_t$ -Überhang** beschreibt das langfristige  $N$ -Freisetzungspotentials eines Standortes. Der  **$N_t$ -Überhang** eines Standortes ist die Differenz zwischen dem  **$N_t$ -Vorrat** des Standortes und dem für diesen Standort typischen  **$N_t$ -Vorrat-Bezugswert** unter Humus-Gleichgewichtsbedingungen.

$$N_t\text{-Überhang [kg N/ha]} = N_t\text{-Vorrat [kg N/ha]} \text{ minus } N_t\text{-Vorrat-Bezugswert [kg N/ha]}$$



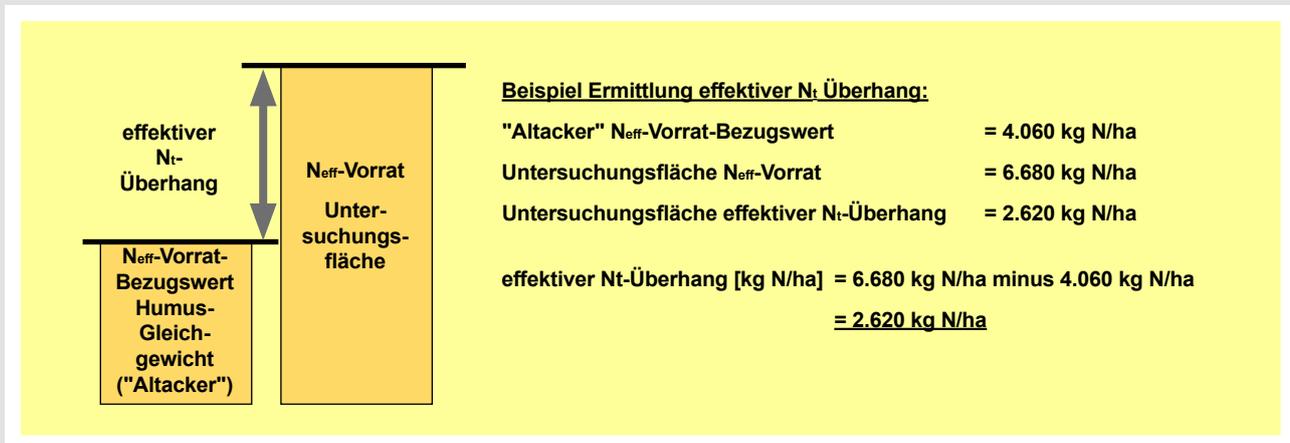
**Abb. 4: Schematische Darstellung und beispielhafte Ermittlung des  $N_t$ -Überhangs für einen humusreichen Standort**

Die Berechnung des langfristigen N-Freisetzungspotential eines Standortes kann neben dem  $N_t$  auch über den

$N_{eff}$  eines Standortes erfolgen. In diesem Fall wird dieser Vorrat als effektiver  $N_t$ -Überhang bezeichnet.

### Infokasten 6 – Definition langfristiges N-Freisetzungspotential über $N_{eff}$ (effektiver $N_t$ -Überhang):

effektiver  $N_t$ -Überhang [kg N/ha] =  $N_{eff}$ -Vorrat [kg N/ha] minus  $N_{eff}$ -Vorrat-Bezugswert [kg N/ha]



**Abb. 5: Schematische Darstellung und beispielhafte Ermittlung des effektiven  $N_t$ -Überhangs für einen humusreichen Standort**

Der  $N_t$ -Überhang bzw. der effektive  $N_t$ -Überhang ist daher im Folgenden die zentrale Kenngröße für das standörtliche N-Mineralisationspotential. Es sind zwar weitere Methoden vorhanden, die Abbaubarkeit des Humus und damit die N-Mineralisationsleistung eines Standortes zu erfassen. Diese Methoden beschränken sich bisher aber nur auf den wissenschaftlichen Bereich, da sie für den routinemäßigen Einsatz in landwirtschaftlichen Laboren

nicht geeignet sind. Hierzu gehören u. a. diverse Extraktionsverfahren eine "leichter mineralisierbare Fraktion" zu bestimmen, z. B. heißwasserlöslicher N oder vereinfachte Brutversuche. Zur Bewertung der Humusqualität lässt sich in der Praxis derzeit nur das C/N-Verhältnis verwenden. Die folgenden Ausführungen beschreiben die Möglichkeit einer präziseren Charakterisierung über die Parameter  $N_{eff}$  bzw. den effektiven  $N_t$ -Überhang.

### Zusammenfassung 1 – Ermittlung der Humusquantität und -qualität:

- Humus ist die Gesamtheit der abgestorbenen organischen Substanz im Boden.
- Die Humusquantität und -qualität wird anhand der Messgrößen organischer Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) und Gesamtstickstoff ( $N_t$ ) bestimmt.
- Aus  $C_{org}$  und  $N_t$  lässt sich das C/N-Verhältnis berechnen, das eine wichtige Kenngröße für die Humusqualität ist.
- Je enger das C/N-Verhältnis ist, desto leichter kann der Humus durch die Mikroorganismen mineralisiert werden.
- Aus  $C_{org}$  berechnet sich mit dem Faktor 1,72 der Humusgehalt.
- Im Humus-Gleichgewicht ist der Humus-Gehalt konstant, da sich ein Fließgleichgewicht zwischen jährlichem  $C_{org}$ -Aufbau und  $C_{org}$ -Abbau eingestellt hat.
- $C_{org}$  und  $N_t$ -Werte im Humusgleichgewicht werden als Bezugswerte bezeichnet.
- „Altacker“-Flächen befinden sich im ortsüblichen Humus-Gleichgewichtszustand und eignen sich daher zur Ermittlung der  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Bezugswerte.
- Der  $N_t$ -Überhang eines humusreichen Standortes ist die zentrale Kenngröße zur Beschreibung des langfristigen standörtlichen N-Freisetzungspotentials.
- Der  $N_t$ -Überhang bzw. der effektive  $N_t$ -Überhang ist die Differenz zwischen dem  $N_t$ -Vorrat des Standortes und dem für diesen Standort typischen  $N_t$ -Vorrat-Bezugswert unter Humus-Gleichgewichtsbedingungen.  $N_{eff}$  ist häufig kleiner als  $N_t$ , aber oft auch gleich groß, wenn der Standort keine „stabile“ Humus-N-Fraktion ( $N_{inert}$ ) aufweist.

## 2.2 Ermittlung von regionalen $N_t$ -Bezugswerten zur Berechnung von $N_t$ -Überhängen

Humus-Gleichgewichte wurden in der Vergangenheit z. B. wissenschaftlich für Einzelstandorte aus statischen Dauerefeldversuchen abgeleitet, die mindestens über mehrere Jahrzehnte liefen oder noch laufen. Die  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte der Oberböden stellen sich unter solchen Bedingungen sehr exakt und reproduzierbar ein. In Niedersachsen gibt es solche statischen Dauerversuche nicht. Daher wurden im Rahmen der M+P-Vorhaben die notwendigen Daten über eine systematische Beprobung von „Altacker“-Flächen (siehe Infokasten 4) ermittelt, die seit vielen Jahrzehnten unter Ackernutzung waren und ortsüblich bewirtschaftet wurden. Da der Begriff „ortsüblich“ nicht exakt definiert ist, streuen die so ermittelten  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte stärker als in den exakten Dauerversuchen. Deshalb wurde diese höhere Variabilität in den M+P-Vorhaben durch Mittelwertbildung aus sehr vielen Praxisstandorten mit der

genauen Recherche der Nutzungsgeschichte ausgeglichen.

Innerhalb Niedersachsens steigen die Humusvorräte der Oberböden im Humus-Gleichgewicht und damit die Bezugswerte (siehe Infokästen 4 bis 6) nach Nordwesten hin an. Ursache ist u. a. die zunehmende Humidität. Tabelle 1 zeigt die Spanne der humusgebundenen N-Vorräte für die drei hier untersuchten Pilotgebiete, die TGG Fuhrberger Feld, Thülsfelde und Sandelermöns (Abb. 6). Obwohl sich der  $N_t$ -Bezugswert in Prozent für die drei Pilotgebiete auf den ersten Blick nur minimal unterscheidet, ergeben sich hieraus beachtliche Unterschiede im  $N_t$ -Vorrat von mehr als 1.000 kg N/ha. Der  $N_t$ -Vorrat im Humus-Gleichgewicht beträgt zwischen 4.905 kg N/ha für das Fuhrberger Feld und 6.360 kg N/ha für Sandelermöns (Tab. 1).

Tab. 1:  $C_{org}$ -,  $N_t$ - und  $N_{eff}$ -Bezugswerte für „Altacker“-Standorte im Humusgleichgewicht der drei Pilotgebiete (SPRINGOB, verändert)

TGG	Bezugswerte					
	Humus	$C_{org}$	$N_t$	C/N	$N_t$	$N_{eff}$
	Gehalt [%]			[%/‰]	Vorrat [kg/ha]	
Fuhrberger Feld	3,07	3,07	0,117	15,2	4.905	4.050
Thülsfelde	3,82	3,82	0,137	16,2	5.550	4.350
Sandelermöns	4,29	4,29	0,160	15,6	6.360	5.150



Abb. 6: Lage der Pilotgebiete TGG Fuhrberger Feld, Thülsfelde und Sandelermöns (INGUS)

Für einen humusreichen Standort im TGG Fuhrberger Feld mit einem  $N_t$ -Gehalt von 0,360 % bzw.  $N_t$ -Vorrat von 12.204 kg N/ha im Oberboden (0 bis 30cm) berechnet sich unter Berücksichtigung des gebietsspezifischen  $N_t$ -Be-

zugswertes von 0,117 % bzw. 4.905 kg N/ha ein  $N_t$ -Überhang für diesen Standort von 7.299 kg N/ha im Oberboden (0 bis 30 cm) (Tab. 2).

Tab. 2: Beispielhafte Berechnung des N<sub>t</sub>-Überhangs im Oberboden (0 bis 30 cm) für einen humusreichen Ackerstandort im TGG Fuhrberger Feld (SPRINGOB, verändert)

Pilotgebiet TGG Fuhrberger Feld						
Bezugswerte Humusgleichgewicht			Humusreicher Ackerstandort			
N <sub>t</sub> -Gehalt [%]	N <sub>t</sub> -Vorrat [kg N/ha]	d <sub>B</sub> [g/cm <sup>3</sup> ]	N <sub>t</sub> -Gehalt [%]	N <sub>t</sub> -Vorrat [kg N/ha]	d <sub>B</sub> [g/cm <sup>3</sup> ]	N <sub>t</sub> -Überhang [kg N/ha]
0,117	4.905	1,40	0,360	12.204	1,13	7.299

### Zusammenfassung 2 – Ermittlung von N<sub>t</sub>-Überhängen auf Basis von N<sub>t</sub>-Bezugswerten:

- Über eine systematische Beprobung (0 bis 30 cm) von ortsüblichen „Altacker“-Flächen lassen sich regionalisierte N<sub>t</sub>-Bezugswerte ermitteln.
- Die N<sub>t</sub>-Bezugswerte der drei Pilotgebiete variieren zwischen von 0,117 % bis 0,160 %.
- Obwohl sich die N<sub>t</sub>-Bezugswerte nur minimal unterscheiden, ergeben sich beachtliche Unterschiede im N<sub>t</sub>-Vorrat von mehr als 1.000 kg N/ha.
- Die Differenz zwischen dem N<sub>t</sub>-Vorrat der Untersuchungsfläche und dem ortsüblichen N<sub>t</sub>-Vorrat-Bezugswert ergibt den N<sub>t</sub>-Überhang der Untersuchungsfläche.
- Der N<sub>t</sub>-Überhang von humusreichen Ackerstandorten beträgt i.d.R. mehrere tausend Kilogramm Stickstoff pro Hektar.

## 2.3 Identifikation praxisrelevanter N<sub>t</sub>-Überhänge für Acker- und Grünland

Um die Relevanz von N<sub>t</sub>-Überhängen für die Praxis einfach beurteilen zu können, wurden für die TGG Fuhrberger Feld und Thülsfelde die verfügbaren N<sub>t</sub>-Gehalte in Oberböden mit den dazu gehörenden C/N-Verhältnissen ausgewertet. Mit 891 Messwerten konnte der größte Datensatz für das TGG Fuhrberger Feld zusammengestellt werden (**Abb. 7 und 8**). Etwa die Hälfte der N<sub>t</sub>-Gehalte im TGG Fuhrberger Feld lagen über dem ermittelten Bezugswert von 0,117 % und wiesen damit einen N<sub>t</sub>-Überhang auf (**Abb. 7**). Da der Bezugswert selbst ein Mittelwert aus „Altacker“-Flächen (**siehe Infokasten 4**) ist und damit eine Streuung beinhaltet, muss in einem zweiten Schritt

bewertet werden, ob die festgestellten N<sub>t</sub>-Überhänge tatsächlich relevant sind und eine erhöhte N-Freisetzung im Oberboden bedingen. Die Auswertung der C/N-Verhältnisse (**Abb. 8**), die den entsprechenden N<sub>t</sub>-Gehalten zugeordnet wurden, zeigt eindeutig, dass kein Zusammenhang zwischen diesen beiden Humus-Kenngrößen gegeben ist. Daher ist neben dem N<sub>t</sub>-Gehalt auch immer das C/N-Verhältnis eines humusreichen Standortes zu bestimmen, um sicherzugehen, dass es sich bei der untersuchten Fläche auch tatsächlich um einen N-Quellstandort mit erhöhter N-Freisetzung handelt.

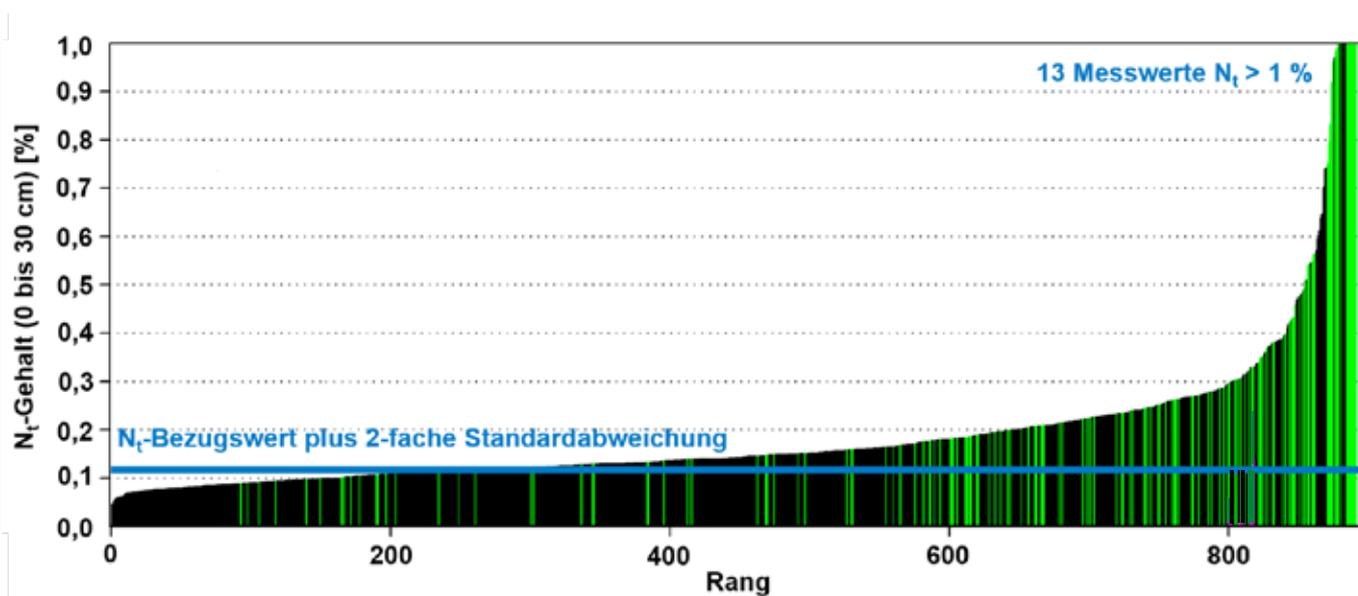


Abb. 7: N<sub>t</sub>-Gehalt von Dauergrünland (grün) und Acker (schwarz) aufsteigend sortiert für das TGG Fuhrberger Feld (n = 891) (SPRINGOB, verändert)

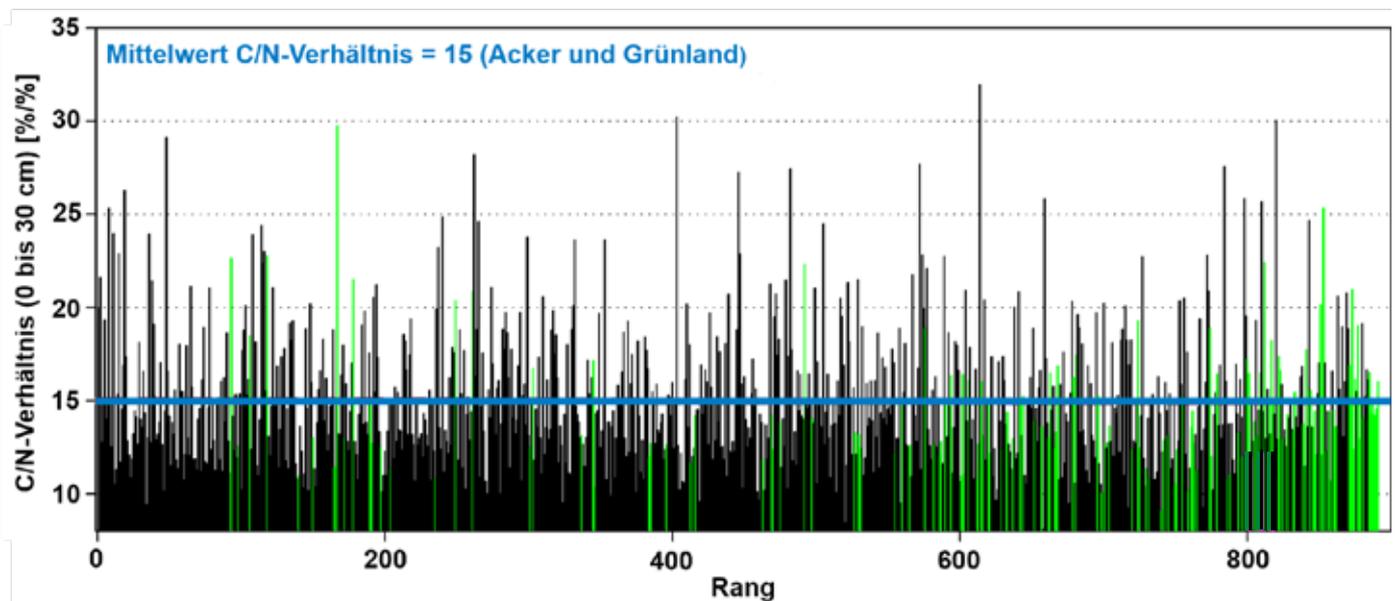


Abb. 8: C/N-Verhältnis von Dauergrünland (grün) und Acker (schwarz) aufsteigend nach dem  $N_t$ -Gehalt sortiert für das TGG Fuhrberger Feld (n = 891) (SPRINGOB, verändert)

Es hat sich gezeigt, dass ein relevanter  $N_t$ -Überhang im Oberboden gegeben ist, wenn der für einen Standort gemessene  $N_t$ -Wert den dazugehörigen Bezugswert plus die doppelte Standardabweichung überschreitet. Zur Beurteilung der praktischen Bedeutung des  $N_t$ -Überhanges wird die Standardabweichung herangezogen, da diese in der Statistik ein Maß dafür ist, wie weit die Stichprobe um den Mittelwert streut.

Sowohl im TGG Fuhrberger Feld als auch im TGG Thülsfelde überschreiten etwa ein Drittel der gemessenen  $N_t$ -Werte den Bezugswert plus die doppelte Standardabweichung, sodass für die untersuchten Standorte relevante  $N_t$ -Überhänge häufig auftraten (Abb. 9 und 10). Für Grünland ist jedoch zu beachten, dass es erst zu einer erhöhten N-Freisetzung im Falle eines Umbruches kommt.

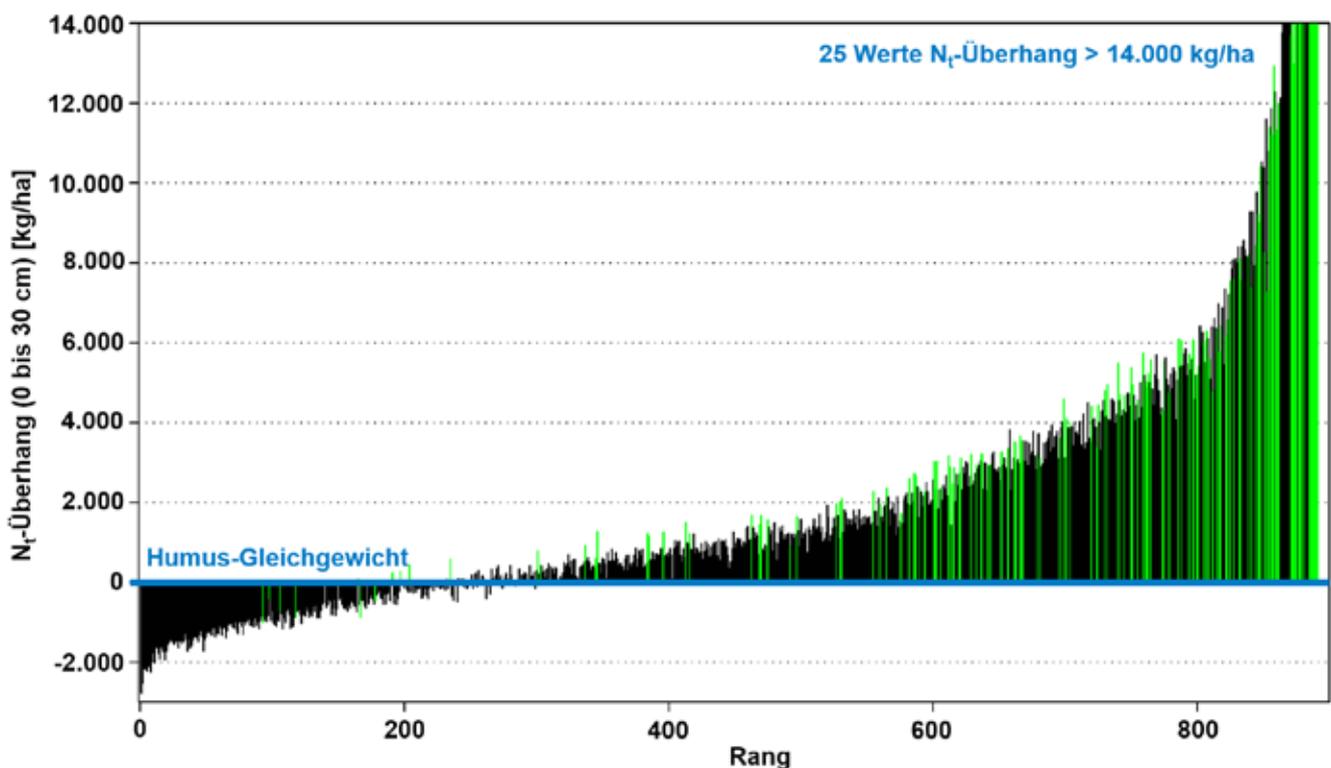


Abb. 9:  $N_t$ -Überhang von Dauergrünland (grün) und Acker (schwarz) aufsteigend nach dem  $N_t$ -Gehalt sortiert für das TGG Fuhrberger Feld (n = 891) (SPRINGOB, verändert)

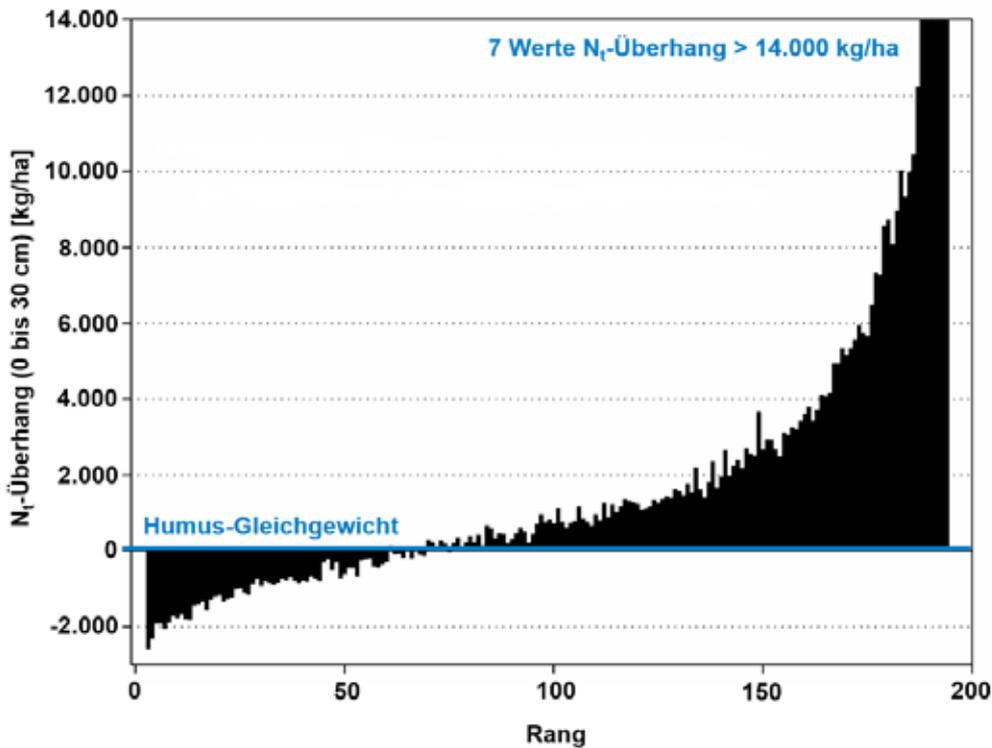


Abb. 10:  $N_t$ -Überhang von Acker (schwarz) aufsteigend nach dem  $N_t$ -Gehalt sortiert für das TGG Thülsfelde (n =191) (SPRINGOB, verändert)

### Zusammenfassung 3 – Ermittlung von relevanten $N_t$ -Überhängen:

- Ein relevanter  $N_t$ -Überhang ist gegeben, wenn der für einen Standort gemessene  $N_t$ -Wert den ortsüblichen  $N_t$ -Bezugswert plus die doppelte Standardabweichung überschreitet.
- In den TGG Fuhrberger Feld und Thülsfelde sind humusreiche Standorte mit einem relevanten  $N_t$ -Überhang zwischen 4.000 und 10.000 kg N/ha häufig vorhanden.
- Der  $N_t$ -Überhang verdeutlicht, welches langfristige zusätzliche N-Freisetzungs-potential und damit eine potentielle Grundwassergefährdung von humusreichen Standorten ausgeht, die ackerbaulich genutzt werden.
- Auf Grünlandflächen kommt es jedoch erst im Falle eines Umbruches und der folgenden Ackernutzung zu einer erhöhten N-Freisetzungsung.
- Aufgrund der relevanten  $N_t$ -Überhänge von Dauergrünland sind Anträge auf Genehmigung für diesen Umbruch insbesondere im Zusammenhang mit dem angestrebten Grundwasserschutz sorgfältig zu prüfen.

## 2.4 Zeitbedarf für Abbau von Humus und von $N_t$ -Überhängen

Eine starke Anreicherung von Humus in Böden und dem darin gebundenen Stickstoff ist meist eine Folge der Hemmung der biologischen Aktivität, z.B. durch Sauerstoffmangel aufgrund von häufiger Wassersättigung. Relevante  $N_t$ -Überhänge reichern sich daher speziell in feuchten Böden in einem humiden Klima an, da der Abbau von organischer Substanz dann deutlich stärker gehemmt ist als deren Produktion. Für einen Netto-Abbau solcher Vorräte, ggf. mit starker N-Freisetzungsung, ist eine verstärkte Durchlüftung, also meist auch Entwässerung, die Ursache. Insbesondere die häufige Durchmischung im Ackerbau (Bodenbearbeitung) in Kombination mit der auf diesen Standorten üblichen pH-Erhöhung (Kalkung) verstärken den Prozess. Die Einstellung des neuen, niedrigeren Humus-Gleichgewichtes dauert i. d. R. Jahrzehnte. Zahlreiche Felduntersuchungen v. a. in den 1920er bis 1950er Jahren und moderne, komplexe Modellrechnungen ab den 1980er Jahren belegen dies. Aus den umfangreichen Felduntersuchungen ging die bekannte Faustzahl hervor, dass etwa 3% der organischen Substanz jährlich abgebaut (mineralisiert) werden.

Auf Basis dieser „3%-Regel“ lässt sich der Zeitraum der Gleichgewichtseinstellung unter gleichbleibenden Bedingungen veranschaulichen (Abb. 11). Die Abbaukurve zeigt, dass ein  $N_t$ -Überhang erst nach ca. 100 Jahren bis auf einen kleinen Rest abgebaut ist. Die Hälfte des Abbaus ist allerdings schon nach etwas mehr als 20 Jahren erreicht (Halbwertszeit), denn der Abbau erfolgt immer exponentiell, d.h. am Anfang schneller und zum Ende hin immer langsamer. In der Realität werden die tatsächlichen Abbauraten natürlich durch die jeweils aktuellen Umsatzbedingungen wie Bodentemperatur, Feuchtigkeit etc. bestimmt.

Auch in diesem M+P Vorhaben zum Thema Humus wird von einem Zeitbedarf von 100 Jahren für den Abbau von  $N_t$ -Überhängen, d.h. der endgültigen Einstellung eines neuen Humus-Gleichgewichtes, ausgegangen. Dies ist eine konservative Annahme, daher wird das neue Humus-Gleichgewicht in der Realität wahrscheinlich in etwas weniger als 100 Jahren erreicht.

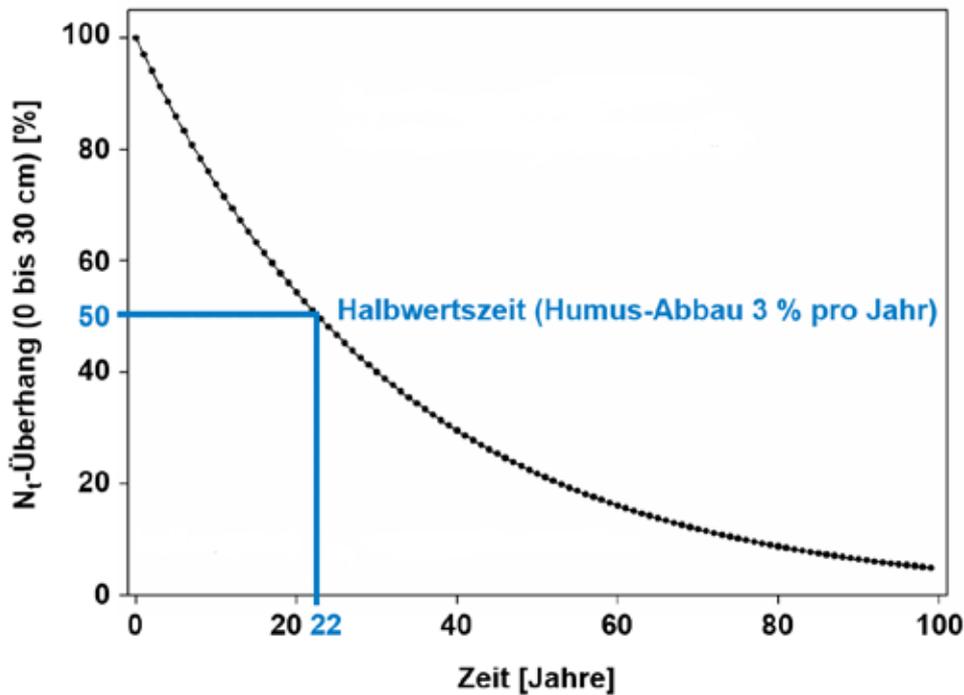


Abb. 11:  $N_t$ -Überhang-Abbau bezogen auf das Humus-Gleichgewicht über die Zeit bei einer jährlichen Humus-Abbaurrate von 3 % (SPRINGOB, verändert)

Aufgrund des langen Zeitraums der Gleichgewichtseinstellung weisen Praxisflächen häufig auch nach Jahren oder Jahrzehnten relevante  $N_t$ -Überhänge auf, obwohl der Grünlandumbruch bzw. die den Humusabbau einleitende Grundwasserabsenkung oft schon viele Jahre oder Jahrzehnte zurückliegt. Ein Beispiel ist der in **Abb. 12** gezeigte ehemalige Feuchtgrünlandstandort. Dieser lag zum Zeitpunkt der Aufnahme bereits seit ca. 20 Jahren unter Acker und befand sich somit etwa im Bereich der Halbwertszeit. Der Standort weist nach ca. 20 Jahren immer noch 0,27%  $N_t$  in der Krume auf. Dies entspricht einem  $N_t$ -Überhang von ca. 5.000 kg N/ha. Daher sind solche Standorte i.d.R. auch noch nach 20 Jahren in Wasserschutzkonzepten zu berücksichtigen, da die fortdauernde hohe N-Freisetzung in der Krume ein erhöhtes N-Auswaschungspotential für das Grundwasser darstellt.



Abb. 12: Humusreicher Standort im TGG Fuhrberger Feld mit einem  $N_t$ -Überhang von ca. 5.000 kg N/ha (Foto: SPRINGOB)

#### Zusammenfassung 4 – Faktoren des Humusabbaus und der Zeitdauer:

- Humusreiche Böden sind meist eine Folge der Hemmung der biologischen Aktivität, z. B. durch Sauerstoffmangel aufgrund von regelmäßiger Wassersättigung.
- Humus-Abbau ist häufig die Folge einer verstärkten Durchlüftung humusreicher Böden durch Entwässerung (Drainage und/oder Grundwasserentnahme).
- Insbesondere die ackerbauliche Bodenbearbeitung (Durchlüftung) und Kalkung (pH-Wert) verstärken den Prozess des Humus-Abbaus.
- Die Einstellung des neuen, niedrigeren Humus-Gleichgewichts dauert i.d.R. Jahrzehnte.
- Der Humus-Abbau erfolgt immer exponentiell, d.h. am Anfang schneller und zum Ende hin immer langsamer.
- Aus zahlreichen Felduntersuchungen wurde die Faustzahl abgeleitet, dass etwa 3 % der organischen Substanz jährlich abgebaut (mineralisiert) wird.
- Nach etwas mehr als 20 Jahren ist i.d.R. die Hälfte des Humus-Abbaus erreicht (Halbwertszeit).
- Auch lange nach Erreichung der Halbwertszeit stellen ehemalige Feuchtgrünlandstandorte oftmals eine relevante Nitrat-Belastungsquelle für das Grundwasser dar, da weiterhin über Jahrzehnte jährlich beachtliche N-Mengen aus dem Humus-Abbau mineralisiert werden können.
- Ehemalige Feuchtgrünlandstandorte sind daher bei der Prioritätenfestlegung innerhalb eines TGG grundsätzlich zu berücksichtigen, unabhängig davon wie viele Jahrzehnte der Umbruch bereits zurückliegt.

## 2.5 Nachweis erhöhter N-Mineralisation aus Nt-Überhängen

Die N-Mineralisation hängt von vielen Faktoren ab. Das langfristige N-Mineralisationspotential (Nt-Überhang) ist nur einer davon. Wenn der Einfluss des langfristigen Mineralisationspotentials separat dargestellt werden soll, muss entweder die Streuung bei den übrigen Faktoren, wie z.B. Wetter, Bodeneigenschaften etc. minimiert werden oder die Spanne in den Nt-Überhängen breit angelegt sein, sodass der Einfluss dieses Einzelfaktors dominant wird und durchschlägt. Hinzu kommt noch die Herausforderung, die kurzfristig variablen Mineralisationsraten direkt zu messen und das auch ohne Veränderung der Bedingungen, also möglichst in situ, unter Bewirtschaftung

und auf ausreichend vielen Flächen. Dieser Aufwand ist i.d.R. zu hoch. Daher wird in den M+P-Vorhaben zur Bestimmung von Mineralisationsraten unter Praxisbedingungen vor allem auf die Modellierung mit dem Modell HERMES (KERSEBAUM 1989) gesetzt. HERMES war das erste in Deutschland entwickelte Simulationsmodell für die ganzjährige Abbildung der N-Dynamik von Ackerstandorten (**siehe Kapitel 3.2**). Zusätzlich wurden frühere Untersuchungen neu ausgewertet, z.B. die Messungen der Netto-N-Mineralisation im Boden über die „buried bag“ (vergrabener Beutel)-Inkubationsmethode (**siehe Infokasten 7**) nach ENO (1960) im TGG Fuhrberger Feld.

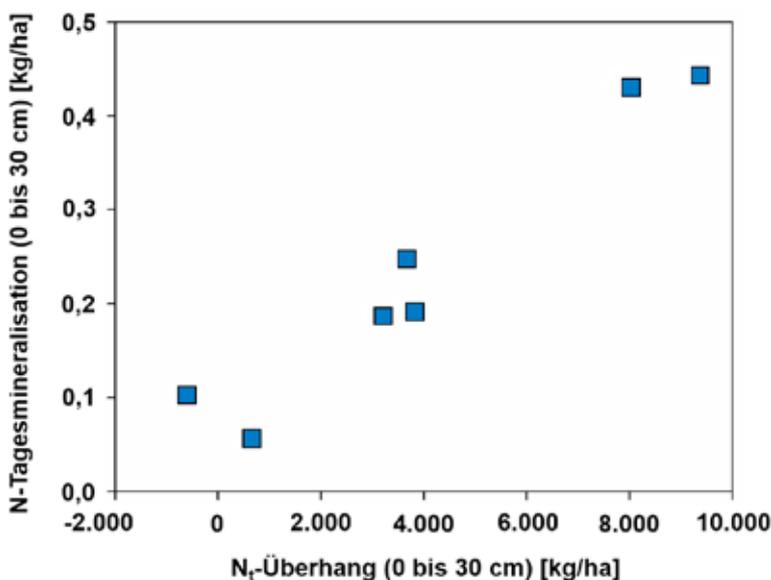
### **Infokasten 7 – „buried bag“-Inkubationsmethode nach ENO (1960):**

Bei der „buried bag“-Inkubationsmethode zur Bestimmung der Netto-N-Mineralisation im Feld wird ein mit Boden des Standortes gefüllter Polyethylen(PE)-Beutel vergraben und für einen definierten Zeitraum inkubiert. Der PE-Beutel wird dabei in die Bodenschicht eingegraben, für die die Netto-N-Mineralisation bestimmt werden soll, z.B. für die Bestimmung der Netto-N-Mineralisation in der Ackerkrume häufig in einer Tiefe von 10 cm. Nach einer Inkubationszeit von i.d.R. einer Woche bis zu mehreren Monaten wird der PE-Beutel wieder ausgegraben und der Ammonium-N- und Nitrat-N-Gehalt im Labor gemessen.

Diese Technik erlaubt es, u.a. die standortspezifischen Veränderungen in der Bodentemperatur bei der Untersuchung mikrobakterieller Prozesse und damit Netto-N-Mineralisation zu berücksichtigen.

Mit der „buried bag“-Technik wurde die N-Freisetzung direkt im Gelände während des Winterhalbjahres in Oberböden mit unterschiedlichen Nt-Überhängen gemessen. Die Messungen wurden im Winter durchgeführt, da der in diesem Zeitraum mineralisierte Stickstoff von den Pflanzen praktisch nicht aufgenommen wird.

Die ermittelten N-Mineralisationsraten lagen im Durchschnitt der Messperiode z.T. über 0,4 kg N/ha je Tag im Winter 1993/1994 (17.12. bis 02.03.1994). Die N-Mineralisationsraten stiegen eindeutig mit den Nt-Überhängen an (**Abb. 13**).



**Abb. 13: Mittlere N-Tagesmineralisation im Oberboden (0 bis 30 cm) von Sandstandorten in Abhängigkeit des Nt-Überhangs im TGG Fuhrberger Feld (SPRINGOB, verändert)**

### **Zusammenfassung 5 – Erhöhte N-Mineralisation aus Nt-Überhängen:**

- Nt-Überhänge humusreicher Ackerstandorte führen zu einer erhöhten N-Mineralisation.
- N-Mineralisationsraten steigen mit zunehmenden Nt-Überhängen an.
- Selbst im Winter bei schlechten Mineralisationsbedingungen (kalttrocken bzw. kaltfeucht) konnten Tages-N-Mineralisationsraten von über 0,4 kg N/ha und Tag gemessen werden.

## 3 N<sub>t</sub>-Konzepte auf Basis des N<sub>t</sub>-Überhangs

### 3.1 Anwendungsbereiche für N<sub>t</sub>-Konzepte

Bisher finden N<sub>t</sub>-Konzepte in drei Bereichen Anwendung. Der erste Anwendungsbereich umfasst die Kennzeichnung des langfristigen standörtlichen N-Freisetzungspotentials, d.h. die Identifikation von Flächen mit erhöhtem Mineralisationspotential und damit erhöhtem N-Auswaschungsrisiko. Dies kann u.a. bei der Prioritätensetzung in TGG und bei der Risikobewertung im Rahmen des Umbruchs von Dauergrünland sehr sinnvoll sein. Das sogenannte N<sub>fair</sub>-Konzept ermöglicht eine differenzierte Abschätzung der Höhe der zu erwartenden N-Freisetzung nach einem Grünlandumbruch auf Basis des effektiven N<sub>t</sub>-Überhangs (SPRINGOB 2010). Das N<sub>fair</sub>-Konzept wurde für das TGG Fuhrberger Feld entwickelt und wird ausführlich in **Kapitel 5.1** erläutert.

Der zweite Anwendungsbereich ist die Erstellung von N-Düngekonzepten, damit in der Düngeberatung weitergehende N-Düngeabschläge für die erhöhte N-Mineralisation humusreicher Böden berücksichtigt werden können. Für die Anwendung von N<sub>t</sub>-Konzepten in der Düngeberatung ist jedoch neben dem langfristigen standörtlichen

N-Freisetzungspotential, die tatsächliche, zusätzliche N-Mineralisation humusreicher Böden aus dem laufenden Abbau der N<sub>t</sub>-Überhänge erforderlich. N<sub>t</sub>-Konzepte für die Düngeberatung sind daher deutlich komplexer in ihrer Herleitung. Aus diesem Grund wird im folgenden **Kapitel 3.2** die Entwicklung regionaler und landesweiter N<sub>t</sub>-Konzepte unter Berücksichtigung des N<sub>t</sub>-Überhangs für N-Düngeabschläge bei Silomais dargestellt, bevor die praktische Anwendung in der Düngeberatung in **Kapitel 6.1** ausführlich erläutert wird.

Ein dritter sinnvoller Anwendungsbereich von N<sub>t</sub>-Konzepten in TGG ist die Prioritätensetzung von Grundwasserschutz-Maßnahmen, die mit hohen Kosten verbunden sind, wie z.B. die Umwandlung von Ackerflächen mit z.B. sehr hohen N<sub>t</sub>-Überhängen (> 8.000 kg N/ha) in extensives Grünland bzw. extensives Feldgras. Ausführliche Informationen zu wirkungsvollen Maßnahmen für den Grundwasserschutz auf humusreichen Standorte finden sich im „Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Waserschutz“ (NLWKN 2015).

### 3.2 Herleitung von N-Düngeabschlägen zu Silomais aus dem N<sub>t</sub>-Überhang

Ziel ist die Quantifizierung der zusätzlichen N-Mineralisation aus dem laufenden Abbau der N<sub>t</sub>-Überhänge humusreicher Böden, um für diese Böden für Silomais N-Düngeabschläge zu ermitteln. Die Düngeabschläge werden dabei so bemessen, dass diese mit einer hohen Wahrscheinlichkeit keine negativen Ertragseffekte aufgrund einer unzureichenden N-Düngung zur Folge haben. Es wird bewusst dieser konservative Ansatz gewählt, der „nicht bis auf das letzte kg N optimiert“ ist. Letztlich geht es darum, einen möglichst großen Teil der sicher zu erwartenden zusätzlichen N-Mineralisation aus den N<sub>t</sub>-Überhängen zu der im Humusgleichgewicht ohnehin ablaufenden Mineralisation in die Düngeplanung einzubeziehen. Das Verfahren wurde für Silomais entwickelt, da dieser im Vergleich zu anderen Ackerkulturen besser in der Lage ist, den aus dem Boden im Laufe der Vegetationsperiode pflanzenverfügbar werdenden Stickstoff auszunutzen. Dies ist darin begründet, dass der Mais im Juli und August (bis zur Teigreife) den Hauptstickstoffbedarf hat. Diese verhältnismäßig späte N-Aufnahme im Jahr fällt zeitlich i.d.R. sehr gut mit der höchsten N-Mineralisation im Boden zusammen, da diese mit steigender Bodenerwärmung zunimmt.

Für die Herleitung von N-Düngeabschlägen zu Silomais aus dem N<sub>t</sub>-Überhang wurde das Modell HERMES (KERSEBAUM 1989) verwendet. Mit HERMES können gleichzeitig die im System Boden-Pflanze vorherrschenden Prozesse des Wasserhaushalts, des Stickstofftransports,

der Mineralisation, die Denitrifikation, die N-Aufnahme durch die Pflanze und der Bodenwasserhaushalt sowie der mineralische N-Gehalt einer definierten Bodentiefe berechnet werden.

Um der praktischen Anwendung in der Düngeberatung Rechnung zu tragen, wurden die Konzepte zur Ermittlung der N-Düngeabschläge zu Silomais auf den N<sub>t</sub>-Gehalten in Prozent des Oberbodens (0 bis 30 cm) aufgebaut. Die N<sub>t</sub>-Überhänge als langfristige Mineralisationspotentiale und die Fragen der Humusqualität gingen vorher in den Herleitungsprozess ein.

Bei den entwickelten N<sub>t</sub>-Konzepten handelt es sich trotz des ganz bewusst gewählten konservativen Ansatzes (siehe Infokasten 8) um ein Planungsinstrument, das es ermöglicht, bei der Düngeplanung die erhöhte N-Mineralisation humusreicher Ackerstandorte genauer berücksichtigen zu können. Es empfiehlt sich daher, humusreiche Ackerstandorte mit weitergehenden N-Düngeabschlägen auf Grundlage des N<sub>t</sub>-Überhangs mit einer vegetationsbegleitenden Düngeberatung z.B. Spätfrühjahrs-N<sub>min</sub>-Methode etc. (siehe Kapitel 6.3) zu begleiten. Über die vegetationsbegleitende Düngeberatung kann die Düngeplanung überprüft und der tatsächlich während der Vegetation pflanzenverfügbare Stickstoff im Boden bestimmt werden.

### 3.2.1 Anrechenbare N-Freisetzung aus N<sub>t</sub>-Überhängen über regional anwendbare Verfahren

Für die TGG Thülsfelde (**Abb. 14**) und Fuhrberger Feld (**Abb. 15**) wurden aus den vorhandenen Datensätzen Regionalverfahren (**kurz: R**) für die anrechenbare N-Freisetzung aus den N<sub>t</sub>-Überhängen abgeleitet (siehe Kapitel 2.2). Das Regionalverfahren für das TGG Thülsfelde wird im Weiteren als **R1** bezeichnet und das Regionalverfahren für das TGG Fuhrberger Feld als **R2**. Um die Maßgabe zu erfüllen, dass es sich bei der anrechenbaren N-Freisetzung aus dem N<sub>t</sub>-Überhang um weitergehende

N-Düngeabschläge handelt, die mit einer hohen Sicherheit keine negative Wirkung auf den Ertrag haben, wurde für die Regionalverfahren ein „Worst-Case-Szenario“ (**siehe Infokasten 8**) gewählt. Diese Herangehensweise spiegelt den ganz bewusst gewählten konservativen Ansatz wider. Aus diesem Grund verlaufen die Graphen (blaue Linien) der Funktionsgleichungen der Regionalverfahren **R1** (TGG Thülsfelde) und **R2** (TGG Fuhrberger Feld) im untersten Bereich der Messreihen (**Abb. 14 und 15**).

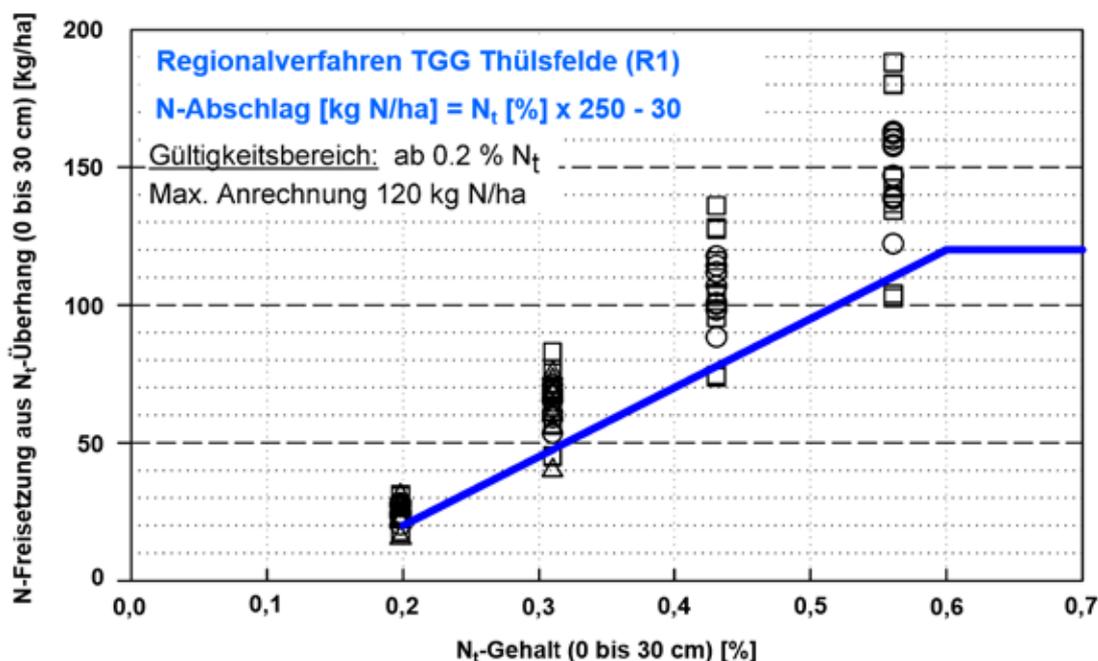
#### **Infokasten 8 – „Worst-Case-Szenario“ - Regionalverfahren R1 und R2 nach SPRINGOB (2013):**

Für das „Worst-Case-Szenario“ zur Bestimmung der anrechenbaren N-Freisetzung aus N<sub>t</sub>-Überhängen wurden folgende ungünstige (suboptimale) Bedingungen für die N-Mineralisation im Boden (0 bis 30 cm) angenommen:

- Sehr ungünstige Witterungsbedingungen für die N-Mineralisation, d.h. kalt-feuchte und warm-trockene Witterung.
- Begrenzung der N-Mineralisation auf den kurzen Zeitraum von Anfang April bis Ende Juli.
- Auswahl der geringsten jährlichen Mineralisationsrate aus verschiedenen 8-jährigen Wetterreihen.
- Berücksichtigung, dass die Mineralisationsraten mit dem fortschreitenden Abbau der N<sub>t</sub>-Überhänge tendenziell von Jahr zu Jahr sinken.
- Beschränkung auf eine 8-jährige Gültigkeitsdauer nach einer Bodenuntersuchung auf N<sub>t</sub>, d.h. der N<sub>t</sub> ist alle 8 Jahr neu zu messen und die anrechenbare N-Freisetzung folglich neu zu berechnen.

Aufgrund des „Worst-Case-Szenarios“ ist davon auszugehen, dass die tatsächliche N-Mineralisation i.d.R. wesentlich höher ist, da z.B. die Witterungsbedingungen im Regelfall günstiger sind und eine wesentliche N-Mineralisation auch nach Ende Juli stattfindet und zur Versorgung des Bestandes beiträgt. Zudem sind beide Regionalverfahren auf einen sinnvollen Anwendungsbereich begrenzt. Es wurden nur Standorte mit einem N<sub>t</sub>-Gehalt  $\geq 0,15$  % (TGG Fuhrberger Feld) bzw.  $\geq 0,20$  % (TGG Thülsfelde) ausgewählt, bei denen auch eine sicher an-

rechenbare N-Freisetzung aus dem N<sub>t</sub>-Überhang zu erwarten ist. Außerdem wurde die maximal anrechenbare N-Freisetzung auf 100 kg N/ha (TGG Fuhrberger Feld) bzw. 120 kg N/ha (TGG Thülsfelde) begrenzt (**Abb. 10 und 11**), um immer eine ergänzende N-Düngung zu ermöglichen. Aufgrund der gewählten Rahmenbedingungen für die Regionalverfahren **R1** (TGG Thülsfelde) und **R2** (TGG Fuhrberger Feld) sollten diese auch über den engeren Bereich der genannten Gebiete hinaus Gültigkeit besitzen.



**Abb. 14:** N-Freisetzung aus N<sub>t</sub>-Überhängen im Abhängigkeit des N<sub>t</sub>-Gehalts im Oberboden (0 bis 30 cm) für das TGG Thülsfelde und dem daraus abgeleiteten Regionalverfahren R1 (SPRINGOB, verändert)

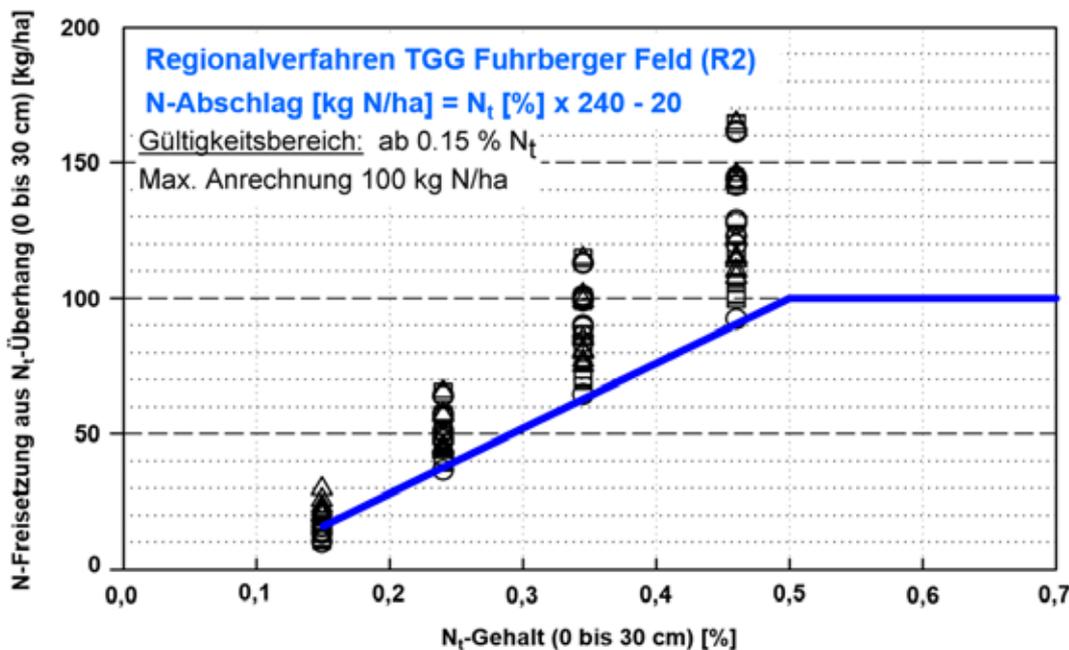


Abb. 15: N-Freisetzung aus  $N_t$ -Überhängen in Abhängigkeit des  $N_t$ -Gehalts im Oberboden (0 bis 30 cm) für das TGG Fuhrberger Feld und dem daraus abgeleiteten Regionalverfahren R2 (SPRINGOB, verändert)

### Infokasten 9 – Regionalverfahren R1 (TGG Thülsfelde) und R2 (TGG Fuhrberger Feld) nach SPRINGOB (2013):

#### **Regionalverfahren R1 - TGG Thülsfelde:**

Anrechenbare N-Freisetzung aus  $N_t$ -Überhängen [kg N/ha] =  $N_t$  [%] mal 250 minus 30  
 250 = Steigung der Geraden  
 30 = Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse

Beispiel:  $0,3 \% N_t \times 250$  minus 30 = 45 kg N/ha Abschlag

#### **Regionalverfahren R2 - TGG Fuhrberger Feld:**

Anrechenbare N-Freisetzung aus  $N_t$ -Überhängen [kg N/ha] =  $N_t$  [%] mal 240 minus 20  
 240 = Steigung der Geraden  
 20 = Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse

Beispiel:  $0,3 \% N_t \times 240$  minus 20 = 52 kg N/ha Abschlag

### Zusammenfassung 6 – Herleitung regionalisierter N-Düngeabschläge für Silomais:

- Für die Herleitung der Regionalverfahren wurde ein „Worst-Case-Szenario“ gewählt, um eine negative Ertragswirkung der weitergehenden N-Düngeabschläge mit einer hohen Wahrscheinlichkeit auszuschließen.
- Zur Erhöhung der Ertragssicherheit wurde die Anwendbarkeit der entwickelten Regionalverfahren auf einen jeweils regionalisierten Anwendungsbereich begrenzt.
- Gilt nur für Standorte mit einem  $N_t$ -Gehalt  $\geq 0,15 \%$  (TGG Fuhrberger Feld) bzw.  $\geq 0,20 \%$  (TGG Thülsfelde), bei denen auch eine sicher anrechenbare N-Freisetzung aus dem  $N_t$ -Überhang zu erwarten ist.
- Begrenzung der maximal anrechenbaren N-Freisetzung auf 100 kg N/ha (TGG Fuhrberger Feld) bzw. 120 kg N/ha (TGG Thülsfelde).

### 3.2.2 Anrechenbare N-Freisetzung aus N<sub>t</sub>-Überhängen über landesweit anwendbare Verfahren

Aufgrund des hohen Aufwands (z.B. die Ermittlung von regionalen N<sub>t</sub>-Bezugswerten, **siehe Kapitel 2.2**) wird die Erstellung weiterer regionalspezifischer R-Verfahren über die M+P-Vorhaben hinaus nicht möglich sein. Deshalb wurden aus den vorhandenen Daten der beiden zuvor beschriebenen Regionalverfahren **R1** (TGG Thülsfelde) und **R2** (TGG Fuhrberger Feld) unterschiedliche überregionale, landesweite (**kurz: L**) Verfahren abgeleitet (SPRINGOB 2013). Dies war möglich, da die Pilotgebiete TGG Thülsfelde und TGG Fuhrberger Feld die klimatisch relevante Spanne Niedersachsens in etwa abdecken. Auch bei den landesweiten L-Verfahren wurde das gleiche „Worst-Case-Szenario“ (**siehe Infokasten 8**) gewählt, wie schon bei den Regionalverfahren **R1** und **R2**, sodass moderate weitergehende N-Düngeabschläge berechnet wurden, die mit einer hohen Wahrscheinlichkeit keine negativen Ertragseffekte aufgrund einer unzureichenden N-Düngung zur Folge haben. Aufgrund des gewählten „Worst-Case-Szenarios“ (**siehe Infokasten 8**) ist davon auszugehen, dass die tatsächliche N-Mineralisation i.d.R. wesentlich höher ist, da z. B. die Witterungsbedingungen im Regelfall günstiger sind und eine wesentliche N-Mineralisation auch nach Ende Juli stattfindet und zur Versorgung des Bestandes beiträgt.

Bei den ursprünglich entwickelten **L-Verfahren** handelt es sich zum einen um landesweite Verfahren, denen unterschiedliche lineare Funktionsgleichungen zugrunde liegen, um so unterschiedliche, kontinuierlich zunehmende N-Düngeabschläge zu ermitteln. Zum anderen handelt es sich um landesweite Verfahren, die auf unterschiedlichen festen Klassengrößen und -anzahlen beruhen, über die unterschiedlich gestaffelte N-Düngeabschläge ermittelt werden (SPRINGOB 2013). Alle **L-Verfahren** haben nach der Bestimmung des N<sub>t</sub>-Gehalts im Boden eine 8-jährige Gültigkeitsdauer gemeinsam.

Ursprünglich wurden mehrere **L-Verfahren** entwickelt, wobei sich die Verfahren **L2** (lineare Funktionsgleichung) und **L5** (5 feste N<sub>t</sub>-Klassen für Düngeabschläge) als landesweiter Ansatz als geeignet erwiesen haben (Abb. 16) (**siehe Infokasten 10**). Diese beiden **L-Verfahren** sind auf einen landesweit verwendbaren Anwendungsbereich begrenzt. Die weitergehenden N-Düngeabschläge haben mit einer hohen Sicherheit trotz gleichzeitig nennenswerten N-Düngeabschlägen von bis zu 60 kg N/ha (**L5**) bzw. 90 kg N/ha (**L2**) keine negative Wirkung auf den Ertrag.

Mit dem landesweiten Verfahren **L2** (**siehe Infokasten 10**) können weitergehende N-Düngeabschläge nur für Standorte mit einem N<sub>t</sub>-Gehalt  $\geq 0,2$  % berechnet werden, bei denen auch eine sicher anrechenbare N-Freisetzung aus dem N<sub>t</sub>-Überhang zu erwarten ist und die maximal anrechenbare N-Freisetzung von 90 kg N/ha aus dem N<sub>t</sub>-Überhang bereits bei einem N<sub>t</sub>-Gehalt von 0,6 % erreicht wird. Es hat sich gezeigt, dass die beim **L2-Verfahren** gewählte untere ( $\geq 0,2$  % N<sub>t</sub>) und obere Grenze (0,6 % N<sub>t</sub>) landesweit N-Düngeabschläge von bis zu 90 kg N/ha zulässt, verbunden mit einer hohen Ertragssicherheit. Aufgrund dieser Rahmenbedingungen, die den konserva-

tiven Ansatz widerspiegeln, verläuft der Graph (schwarze Linie) der Funktionsgleichung des landesweiten Verfahrens **L2** unterhalb der Messreihen (**Abb. 16**).

Für die praktische Düngeberatung stellt das **L5-Verfahren** mit 5 festen N<sub>t</sub>-Klassen bzw. 5 Klassen für die N-Düngeabschläge eine Vereinfachung dar. Die Klassenbildung führt zu einer weiteren Verringerung der N-Düngeabschläge, da gerade an den oberen Klassengrenzen mögliche weitere N-Düngeabschläge nicht berücksichtigt werden. Trotzdem ergeben die fünf definierten Klassen nach dem landesweiten Verfahren **L5** immer noch anrechenbare N-Düngeabschläge von bis zu 60 kg N/ha (Abb. 16). Das **L5-Verfahren** ist bei Böden mit einem N<sub>t</sub>-Gehalt ab 0,25 % anwendbar. Humusreiche Standorte mit moderaten N<sub>t</sub>-Überhängen von  $< 0,25$  % werden bei den N-Düngeabschlägen nicht berücksichtigt. Das in Abb. 12 (**siehe Kapitel 2.4**) dargestellte Bodenprofil mit einem N<sub>t</sub>-Überhang von ca. 5.000 kg N/ha und einem N<sub>t</sub> von 0,27 % wird bereits von dem landesweiten **L5-Verfahren** erfasst, sodass der Düngeabschlag entsprechend der ersten Klassen lediglich 20 kg N/ha beträgt. Insbesondere im unteren N<sub>t</sub>-Bereich des **L5-Verfahrens** besteht die Gefahr, dass Flächen, die aufgrund des N<sub>t</sub>-Gehaltes bereits erhöhte Stickstoffmengen nachliefern, durch dieses Verfahren nicht erfasst werden, wenn der Messwert wegen der üblichen Probenahme- und Laborstreuung geringfügig nach unten streut.

Für die praktische Düngeberatung wird das Verfahren **L5** mit festen N<sub>t</sub>-Klassen als landesweiter Ansatz bevorzugt empfohlen (**siehe Kapitel 6.1**), da es für humusreiche Standorte weitergehende N-Düngeabschläge, die über die Düngeverordnung (DüV) vom 26.05.2017 (BMEL 2017) hinausgehen, zulässt. Damit einhergehend kann niedersachsenweit eine hohe Ertragssicherheit gewährleistet werden. Zudem ist das Verfahren **L5** leicht verständlich und einfach in der praktischen Umsetzung.

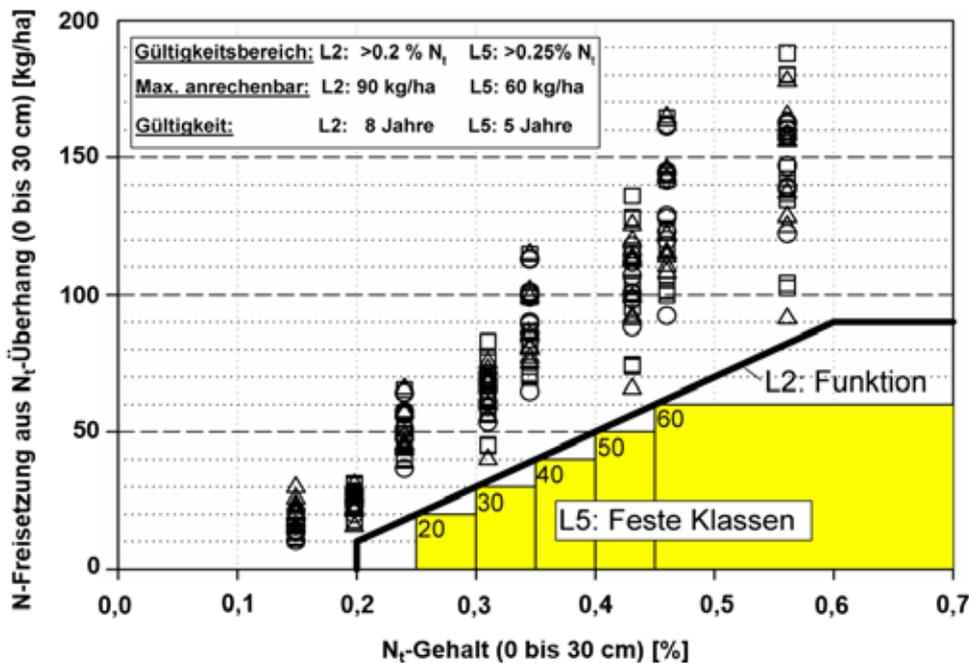


Abb. 16: N-Freisetzung aus N<sub>t</sub>-Überhängen in Abhängigkeit des N<sub>t</sub>-Gehalts im Oberboden (0 bis 30 cm) und den daraus abgeleiteten landesweiten Verfahren L2 und L5 (SPRINGOB, verändert)

### Infokasten 10 – Landesweite Verfahren L2 und L5 für Niedersachsen nach SPRINGOB (2013):

#### **Landesweites Verfahren L2 – kontinuierliche N-Düngeabschläge:**

Anrechenbare N-Freisetzung aus N<sub>t</sub>-Überhängen [kg N/ha] = N<sub>t</sub> [%] x 200 minus 30

200 = Steigung der Geraden

30 = Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse

#### **Landesweites Verfahren L5 – gestaffelte N-Düngeabschläge:**

Anrechenbare N-Freisetzung aus N<sub>t</sub>-Überhängen [kg N/ha] = 20 kg N/ha bei N<sub>t</sub> ≥ 0,25 %  
 = 30 kg N/ha bei N<sub>t</sub> ≥ 0,30 %  
 = 40 kg N/ha bei N<sub>t</sub> ≥ 0,35 %  
 = 50 kg N/ha bei N<sub>t</sub> ≥ 0,40 %  
 = 60 kg N/ha bei N<sub>t</sub> ≥ 0,45 %

### Zusammenfassung 7 – Herleitung landesweiter N-Düngeabschläge für Silomais:

- Die entwickelten landesweiten Verfahren basieren auf der Datengrundlage der Regionalverfahren R1 (TGG Thülsfelde) und R2 (TGG Fuhrberger Feld).
- Für die Herleitung der landesweiten Verfahren wurde das gleiche „Worst-Case-Szenario“ angenommen, wie zuvor für die Regionalverfahren.
- Von den entwickelten L-Verfahren haben sich als landesweiter Ansatz die Verfahren L2 und L5 als geeignet erwiesen.
- Zur Erhöhung der Ertragssicherheit wurde zudem die Anwendbarkeit der Verfahren L2 und L5 auf einen jeweils landesweiten Anwendungsbereich begrenzt.
- Gilt nur für Standorte mit einem N<sub>t</sub>-Gehalt ≥ 0,20 % (L2) bzw. ≥ 0,25 % (L5), bei denen auch eine sicher anrechenbare N-Freisetzung aus dem N<sub>t</sub>-Überhang zu erwarten ist.
- Begrenzung der maximal anrechenbaren N-Freisetzung auf 60 kg N/ha (L5) bzw. 90 kg N/ha (L2).
- Für die praktische Düngeberatung wird als landesweiter Ansatz das Verfahren L5 bevorzugt empfohlen, da es für humusreiche Standorte noch nennenswerte N-Düngeabschläge über die DüV hinaus ermöglicht, bei gleichzeitig hoher Ertragssicherheit.
- Zudem ist das Verfahren L5 leicht verständlich und sehr einfach in der praktischen Umsetzung.

### 3.2.3 Übersicht zu den entwickelten N<sub>t</sub>-Konzepten auf regionaler und landesweiter Ebene

Die **Tab. 3 und 4** geben eine vergleichende Übersicht über die maßgeblichen charakteristischen Kennwerte der bereits beschriebenen regional und landesweit anwendbaren vier N<sub>t</sub>-Konzepte (**R**-Verfahren bzw. **L**-Verfahren). Daraus geht hervor, dass zur Ermittlung der anrechenbaren N-Freisetzung aus dem N<sub>t</sub>-Überhang eines humusreichen Standortes sowohl für die Anwendung der Regionalverfahren **R1** (TGG Thülsfelde) und **R2** (TGG Fuhrberger Feld) als auch für die landesweiten Verfahren **L2** und **L5** eine laboranalytische Bestimmung des N<sub>t</sub>-Gehalts [%] im Oberboden (0 bis 30 cm) erforderlich ist. Die vier Verfahren (**R bzw. L**) haben jeweils eine Gültigkeitsdauer von 8 Jahren nach Bestimmung des N<sub>t</sub>-Gehalts im Oberboden (0 bis 30 cm). Nach diesem 8-jährigen Zeitraum ist aufgrund der i.d.R. wesentlichen Abnahme des N-Gehalts eine erneute Bestimmung des N<sub>t</sub>-Gehalts im Oberboden erforderlich. Bei der Verwendung von N<sub>t</sub>-Gehalten, die älter als 8 Jahre sind, wird der aktuelle N<sub>t</sub>-Gehalt deutlich überschätzt und zu hohe weitergehende N-Düngeabschläge ermittelt.

Der Vergleich der R- und L-Verfahren zeigt, dass aufgrund der stärkeren Berücksichtigung der regionalspezifischen Gegebenheiten, insbesondere der klimatischen Bedingungen, die weitergehenden N-Düngeabschläge der **R-Verfahren** grundsätzlich höher sind, als bei den **L-Verfahren**. Für einen humusreichen Standort mit einem N<sub>t</sub>-Gehalt im Oberboden (0 bis 30 cm) von 0,28 % berechnet sich im TGG Thülsfelde gem. **R1** ein N-Düngeabschlag von 40 kg N/ha, im TGG Fuhrberger Feld gem. **R2** von 47 kg N/ha und niedersachsenweit gem. **L2** von 26 kg N/ha und **L5** von 20 kg N/ha (**Tab. 4 und 5**). Der Anwendungsbereich der R-Verfahren ist grundsätzlich größer und/oder die maximal anrechenbare N-Freisetzung höher. Beispielsweise haben die Verfahren **R1** (TGG Thülsfelde) und **L2** einen identischen Anwendungsbereich (N<sub>t</sub> ≥ 0,20 % und ≤ 0,60 %). Jedoch ist die maximal anrechenbare N-Freisetzung beim Verfahren **R1** mit 120 kg N/ha um 30 kg N/ha höher, als bei dem Verfahren **L2** mit 90 kg N/ha (Tab. 3 und 4). Die Anwendung des jeweiligen N<sub>t</sub>-Konzeptes (R- bzw. L-Verfahren), d.h. die ermittelten weitergehenden N-Düngeabschläge haben mit hoher Wahrscheinlichkeit keine negativen Ertragseffekte, sofern sie für humusreiche Standorte mit einem N<sub>t</sub>-Gehalt innerhalb der unteren und oberen N<sub>t</sub>-Grenze des jeweiligen R- bzw. L-Verfahrens (Tab. 3 und 4) umgesetzt werden.

Bei Anwendung eines R- bzw. L-Verfahrens unterhalb der jeweiligen unteren N<sub>t</sub>-Grenze ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die geringen weitergehenden N-Düngeabschläge zu gewissen Ertragseinbußen führen. Auf Standorten mit einem N<sub>t</sub>-Gehalt kleiner als die jeweilige untere N<sub>t</sub>-Grenze der R- bzw. L-Verfahren sind die N<sub>t</sub>-Überhänge häufig so niedrig, dass die zusätzliche N-Freisetzung aus dem N<sub>t</sub>-Überhang zu gering ist, um weitergehende N-Düngeabschläge ohne negative Ertragseffekte vornehmen zu können. Auch auf humusreichen Standorten mit einem N<sub>t</sub>-Gehalt deutlich größer als die jeweilige obere N<sub>t</sub>-Grenze der R- bzw. L-Verfahren ist eine höhere Wahrscheinlichkeit gegeben, dass aufgrund zu hoher N-Dün-

geabschläge negative Ertragseffekte auftreten. Dies ist möglich, obwohl die maximal anrechenbare N-Freisetzung aus dem N<sub>t</sub>-Überhang bereits erreicht und damit nach oben hin vorher begrenzt ist.

Grundsätzlich gilt, dass je höher der N<sub>t</sub>-Gehalt, desto höher ist auch der N<sub>t</sub>-Überhang. Jedoch ist zu beachten, dass die N-Mineralisation humusreicher Standorte spätestens bei einem N<sub>t</sub>-Gehalt ≥ 0,7 % (Übergang zum Dauergrünland) vergleichsweise empfindlicher auf die herrschenden Witterungsbedingungen im Frühjahr reagiert. Aufgrund der höheren Wassersättigung setzt auf stark humosen Standorten in einem nassen bzw. sogar kaltnassen Frühjahr die N-Mineralisation im Oberboden stark verzögert ein, häufig begleitet von Denitrifikation in einem beachtlichen Umfang. Sind die Witterungsbedingungen im Frühjahr hingegen optimal, d.h. warmfeucht, so ist die tatsächliche N-Mineralisation im Oberboden stark humoser Standorte beachtlich. Es sind deutlich höhere N-Düngeabschläge als mit den R- und L-Verfahren ermittelt werden können, möglich.

Deshalb sollte bei der Anwendung eines N<sub>t</sub>-Konzeptes auf einem humusreichen Standort außerhalb der jeweiligen unteren und insbesondere oberen N<sub>t</sub>-Grenze des angewendeten N<sub>t</sub>-Konzeptes immer eine vegetationsbegleitende N-Düngeberatung erfolgen (**siehe Kapitel 6.3**), um den tatsächlich in der Vegetation pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden zu bestimmen. Auch bei der Anwendung von N<sub>t</sub>-Konzepten auf humusreichen Standorten innerhalb des jeweiligen Anwendungsbereichs wird eine vegetationsbegleitende N-Düngeberatung grundsätzlich empfohlen.

Tab. 3: Übersicht zu den entwickelten N<sub>t</sub>-Konzepten zur Ermittlung der anrechenbaren N-Freisetzung aus N<sub>t</sub>-Überhängen auf regionaler Ebene (R1- und R2-Verfahren) für den Silomaisanbau

Räumliche Anwendung	Verfahren / Kürzel	Funktionsgleichung bzw. Klassen	Erforderliche Messgröße	Gültigkeitsdauer	Anwendungsbereich		Empfohlene Anwendung	Begleitende Maßnahmen	Bemerkungen
					Untere N <sub>t</sub> -Grenze	Obere N <sub>t</sub> -Grenze			
<b>TGG</b> <b>Thülsfelde</b> (s. Kapitel 3.2.1)	Regionalverfahren <b>R1</b>	Anrechenbare N-Freisetzung aus N <sub>t</sub> -Überhang [kg N/ha] ist <b>gleich N<sub>t</sub> [%] mal 250 minus 30</b>	<b>N<sub>t</sub>-Gehalt [%]</b> im Oberboden (0 bis 30 cm)	<b>8 Jahre</b> nach <b>Bestimmung</b> des <b>N<sub>t</sub>-Gehalts</b> im <b>Oberboden</b> . Nach 8 Jahren ist die Abnahme des N <sub>t</sub> -Gehalts im	<b>N<sub>t</sub> ≥ 0,20 %</b> , da unter den u. a. gegebenen klimatischen Bedingungen eine mit hoher Wahrscheinlichkeit anrechenbare N-Freisetzung aus dem N <sub>t</sub> -Überhang zu erwarten ist.	<b>N<sub>t</sub> ≥ 0,60 %</b> , da die max. anrechenbare N-Freisetzung aus dem N <sub>t</sub> -Überhang von <b>120 kg N/ha</b> erreicht ist, um eine gewisse N-Düngung in jedem Fall zu gewährleisten.	Für humusreiche Standorte im TGG Thülsfelde mit <b>N<sub>t</sub> ≥ 0,20 %</b> und <b>N<sub>t</sub> ≤ 0,60 %</b> ist eine relativ sichere regionalspezifische Ermittlung der N-Freisetzung möglich.	<b>Vegetationsbegleitende Düngemaßnahme</b> , z. B.	Hoher Aufwand für <b>R1</b> , da die Ermittlung eines regionalspezifischen <b>N<sub>t</sub>-Bezugswerts (N<sub>t</sub> = 0,137 %)</b> für das TGG Thülsfelde über die systematische Beprobung von ortstüblichen „Altacker“-Flächen im ortstüblichen Humusgleichgewicht erforderlich ist.
<b>TGG</b> <b>Fuhrberger Feld</b> (s. Kapitel 3.2.1)	Regionalverfahren <b>R2</b>	Anrechenbare N-Freisetzung aus N <sub>t</sub> -Überhang [kg N/ha] ist <b>gleich N<sub>t</sub> [%] mal 240 minus 20</b>	<b>N<sub>t</sub>-Gehalt [%]</b> im Oberboden (0 bis 30 cm)	<b>8 Jahre</b> nach <b>Bestimmung</b> des <b>N<sub>t</sub>-Gehalts</b> im <b>Oberboden</b> . Nach 8 Jahren ist die Abnahme des N <sub>t</sub> -Gehalts im	<b>N<sub>t</sub> ≥ 0,15 %</b> , da unter den u. a. gegebenen klimatischen Bedingungen eine mit hoher Wahrscheinlichkeit anrechenbare N-Freisetzung aus dem N <sub>t</sub> -Überhang zu erwarten ist.	<b>N<sub>t</sub> ≥ 0,50 %</b> , da die max. anrechenbare N-Freisetzung aus dem N <sub>t</sub> -Überhang von <b>100 kg N/ha</b> erreicht ist, um eine gewisse N-Düngung in jedem Fall zu gewährleisten.	Für humusreiche Standorte im TGG Fuhrberger Feld mit <b>N<sub>t</sub> ≥ 0,20 %</b> und <b>N<sub>t</sub> ≤ 0,60 %</b> ist eine relativ sichere regionalspezifische Ermittlung der N-Freisetzung möglich.	Spätfrühjahrs-Nmin etc. (s. <b>Kapitel 6.3</b> )	Hoher Aufwand für <b>R2</b> , da die Ermittlung eines regionalspezifischen <b>N<sub>t</sub>-Bezugswerts (N<sub>t</sub> = 0,117 %)</b> für das TGG Fuhrberger Feld über systematische Beprobung von ortstüblichen „Altacker“-Flächen im ortstüblichen Humusgleichgewicht erforderlich ist.

**Tab. 4: Übersicht zu den entwickelten N<sub>t</sub>-Konzepten zur Ermittlung der anrechenbaren N-Freisetzung aus N<sub>t</sub>-Überhängen auf landesweiter Ebene (L2- und L5-Verfahren) für den Silomaisanbau**

Räumliche Anwendung	Verfahren / Kürzel	Funktionsgleichung bzw. Klassen	Erforderliche Messgröße	Gültigkeitsdauer	Anwendungsbereich		Empfohlene Anwendung	Begleitende Maßnahmen	Bemerkungen
					Untere N <sub>t</sub> -Grenze	Obere N <sub>t</sub> -Grenze			
<b>TGG mit humusreichen Standorten in Niedersachsen (s. Kapitel 3.2.2)</b>	Landesweites Verfahren <b>L2</b>	Anrechenbare N-Freisetzung aus N <sub>t</sub> -Überhang [kg N/ha] <b>ist gleich N<sub>t</sub> [%] mal 200 minus 30</b>	<b>N<sub>t</sub>-Gehalt [%]</b> im Oberboden (0 bis 30 cm)	<b>8 Jahre nach Bestimmung des N<sub>t</sub>-Gehalts im Oberboden.</b> Nach 8 Jahren ist die Abnahme des N <sub>t</sub> -Gehalts im Oberboden i. d. R. so wesentlich, dass eine erneute Bestimmung des N <sub>t</sub> -Gehalts erforderlich ist.	<b>N<sub>t</sub> ≥ 0,20 %</b> , da unter den u. a. gegebenen klimatischen Bedingungen in Niedersachsen eine <b>sehr wahrscheinlich</b> anrechenbare N-Freisetzung aus dem N <sub>t</sub> -Überhang zu erwarten ist.	<b>N<sub>t</sub> ≥ 0,60 %</b> , da die max. anrechenbare N-Freisetzung aus dem N <sub>t</sub> -Überhang von <b>90 kg N/ha</b> erreicht ist, um eine gewisse N-Düngung in jedem Fall zu gewährleisten.	Für humusreiche Standorte in Niedersachsen mit <b>N<sub>t</sub> ≥ 0,20 %</b> und <b>N<sub>t</sub> ≤ 0,60 %</b> ist eine relativ sichere landesweite Ermittlung der N-Freisetzung möglich.	<b>Vegetationsbegleitende Düngungsberatung</b> , z. B. Spätrührens-N <sub>min</sub> etc. (s. <b>Kapitel 6.3</b> )	Die landesweiten Verfahren <b>L2</b> und <b>L5</b> ermöglichen die <b>niedersachsenweite</b> Ermittlung von N-Düngeabschlägen für humusreiche Standorte, ohne die aufwendige Herleitung von R-Verfahren für jedes TGG. Über <b>L2</b> können <b>kontinuierliche N-Düngeabschläge von bis zu 90 kg N/ha</b> ermittelt werden, über <b>L5</b> gestaffelte <b>N-Düngeabschläge von bis zu 60 kg N/ha</b>
	Landesweites Verfahren <b>L5</b>	Anrechenbare N-Freisetzung aus N <sub>t</sub> -Überhang [kg N/ha]: <b>N<sub>t</sub> ≥ 0,25 % = 20 kg N/ha</b> <b>N<sub>t</sub> ≥ 0,30 % = 30 kg N/ha</b> <b>N<sub>t</sub> ≥ 0,35 % = 40 kg N/ha</b> <b>N<sub>t</sub> ≥ 0,40 % = 50 kg N/ha</b> <b>N<sub>t</sub> ≥ 0,45 % = 60 kg N/ha</b>			<b>N<sub>t</sub> ≥ 0,25 %</b> , da unter den u. a. gegebenen klimatischen Bedingungen in Niedersachsen eine <b>höchstwahrscheinlich</b> anrechenbare N-Freisetzung aus dem N <sub>t</sub> -Überhang zu erwarten ist.	<b>N<sub>t</sub> ≥ 0,45 %</b> , da die max. anrechenbare N-Freisetzung aus dem N <sub>t</sub> -Überhang von <b>60 kg N/ha</b> erreicht ist, um eine gewisse N-Düngung in jedem Fall zu gewährleisten.	Für humusreiche Standorte in Niedersachsen mit <b>N<sub>t</sub> ≥ 0,20 %</b> und <b>N<sub>t</sub> ≤ 0,45 %</b> ist eine relativ sichere landesweite Ermittlung der N-Freisetzung möglich.		

### 3.3 Verbesserung der Sickerwasserqualität durch N<sub>i</sub>-Konzepte am Beispiel des TGG Thülsfelde

Aus Sicht des Wasserschutzes ist es von hoher Bedeutung, die erreichbare Verbesserung der Nitratbelastung im Sickerwasser aufgrund der Berücksichtigung der anrechenbaren N-Freisetzung aus N<sub>i</sub>-Überhängen bei der N-Düngung abschätzen zu können. Mit dem Modell HERMES (siehe Kapitel 3.2) wurde eine Prognose der Sickerwasserqualität für drei Standorte des TGG Thülsfelde mit unterschiedlichen N<sub>i</sub>-Überhängen durchgeführt (Tab. 5). Es ist zu beachten, dass für die Berechnung der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser die Ermittlung des N-Düngebedarfes auf Basis der N-Sollwert-Methode gem. der Düngeverordnung (DüV) vom 24. Februar 2012 (BMEL 2012) erfolgte, da diese zum Zeitpunkt der Modellrechnungen galt. Die teilweise abweichenden nun geltenden verpflichtenden Vorgaben zur Düngebedarfsermittlung gem. der novellierten DüV vom 26. Mai 2017 (BMEL 2017), wie ein ertragsabhängiger N-Bedarfswert, Humusabschlag, Anrechnung der Organik aus dem Vorjahr, haben keinen Einfluss auf die grundsätzlichen Aussagen der durchgeführten Sickerwasser-Prognosen.

**Tab. 5: Ausgewählte Standorte des TGG Thülsfelde mit unterschiedlichen N<sub>i</sub>-Überhängen zur Prognose der Verbesserung der Sickerwasserqualität (SPRINGOB, verändert)**

Standort	Nt [%]	Nt-Überhang [kg N/ha]	Bewertung Nt-Überhang
1	0,20	1.800	Gering
2	0,32	5.000	Mittel
3	0,56	11.000	Sehr hoch

In Abb. 17 ist für die drei Standorte im TGG Thülsfelde mit unterschiedlichen N<sub>i</sub>-Überhängen (Tab 5) die mittlere Nitrat-Konzentration über 8 Jahre im Sickerwasser (Gültigkeitsdauer der Verfahren, siehe Kapitel 3.2.1 und 3.2.2) in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung dargestellt. Die obere Grenze der N-Düngung von 150 kg N/ha ergab sich dabei aus dem N-Sollwert für Silomais von 180 kg N/ha gem. der DüV vom 24. Februar 2012 (BMEL 2012) abzüglich eines Frühjahrs-Nmin-Werts von 30 kg N/ha. Die untere Grenze wurde ohne N-Düngung definiert.

Mit zunehmendem N<sub>i</sub>-Überhang nahm das Gesamtniveau der Nitrat-Konzentration des Sickerwassers erwartungsgemäß zu. Eine reduzierte N-Düngung gegenüber dem nach der Sollwert-Methode gem. der DüV vom 24. Februar 2012 (BMEL 2012) ermittelten N-Düngebedarf von 150 kg N/ha, unter Berücksichtigung der N-Freisetzung aus den N<sub>i</sub>-Überhängen bei der Düngung entsprechend der Verfahren L5 bzw. R1, führte zu einer geringeren Nitrat-Konzentration im Sickerwasser und damit zur Verbesserung der Sickerwasserqualität (Abb. 17).

Die Nitrat-Konzentration im Sickerwasser reduzierte sich für den Standort 3 (N<sub>i</sub>-Überhang – „sehr hoch“) mit einem sehr hohen N<sub>i</sub>-Überhang von 11.000 kg N/ha mit 422 mg Nitrat/L auf 355 mg Nitrat/L (L5) bzw. 298 mg Nitrat/L (R1). Für den Standort 2 (N<sub>i</sub>-Überhang – „mittel“) mit

einem N<sub>i</sub>-Überhang von 5.000 kg N/ha berechnete sich ein Rückgang der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser von 233 mg Nitrat/L auf 197 mg Nitrat/L (L5) bzw. 175 mg Nitrat/L (R1). Selbst beim geringsten N<sub>i</sub>-Überhang von 1.800 kg N/ha des Standortes 1 (N<sub>i</sub>-Überhang – „gering“) reduzierte sich die Sickerwasserbelastung bei R1 noch um ca. 20 mg Nitrat/L auf 120 mg Nitrat/L.

Die Berechnungen zeigen aber auch eindeutig, dass das Erreichen von Zielkonzentrationen im Bereich kleiner 50 mg Nitrat/L unter Acker mit solchen N-Düngeabschlägen auf diesen humusreichen Standorten allein noch nicht möglich ist. Selbst eine Nitrat-Konzentration im Sickerwasser kleiner 100 mg Nitrat/L ist bei nennenswerten N<sub>i</sub>-Überhängen und/oder Erhaltung des normalen Ertragsniveaus von 100 % nicht erreichbar. Für den Standort 3 (N<sub>i</sub>-Überhang – „sehr hoch“) mit dem höchsten N<sub>i</sub>-Überhang (11.000 kg N/ha) wäre es möglich, ohne N-Düngung einen Relativertrag von 100 % zu erzielen. Auch für den Standort 1 (N<sub>i</sub>-Überhang – „gering“) (N<sub>i</sub>-Überhang 1.800 kg N/ha) und den Standort 2 (N<sub>i</sub>-Überhang – „mittel“) (5.000 kg N/ha) wäre eine N-Düngung von ca. 75 kg N/ha bzw. ca. 20 kg N/ha bereits ausreichend, um 99 % des Ertrags zu erreichen.

Insgesamt besteht bei erhöhtem N-Mineralisationsniveau im Boden zweifelsfrei ein erhebliches Potential zur ertragsneutralen Reduktion der N-Zufuhr. Mit den entwickelten R- bzw. L-Verfahren lassen sich Düngemittel einsparen und deutliche Verbesserungen bei der Sickerwasserqualität erreichen. Trotzdem veranschaulichen die durchgeführten Modellrechnungen eindeutig, dass eine Zielkonzentration im Sickerwasser von kleiner 50 mg Nitrat/L auf den drei hier beispielhaft gewählten humusreichen Standorten mit Ackernutzung im TGG Thülsfelde ohne wesentliche Denitrifikation nicht erreicht werden kann.

Es ist jedoch zu beachten, dass es sich bei der in Abb. 17 gezeigten standort- und düngungsabhängigen Entwicklung der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser im TGG Thülsfelde um Prognosen handelt. Diese Prognosen beruhen auf Rechenmodellen und bieten einen guten Anhaltspunkt, können jedoch nur sehr begrenzt Auskunft über die tatsächliche Nitrat-Konzentration im Sickerwasser geben.

Um für einen Standort mit einem bestimmten N<sub>i</sub>-Überhang die positive Wirkung der Anwendung eines N<sub>i</sub>-Konzeptes bei der N-Düngebedarfsermittlung auf die Nitrat-Konzentration im Sickerwasser genau messen zu können, haben sich Nitrat-Tiefenprofile als geeignet erwiesen. Über Nitrat-Tiefenprofile kann die Nitrat-Konzentration im Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone (unterhalb der hydraulischen Wasserscheide) in der Sickerwasser-Dränzone gemessen werden. Unterhalb der hydraulischen Wasserscheide ist die Wasserbewegung ausschließlich abwärts gerichtet und nicht mehr durch die pflanzliche Aufnahme beeinflusst. Ausführliche Informationen zur Methode der Nitrat-Tiefenprofile finden sich im „Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz“ (NLWKN 2015).

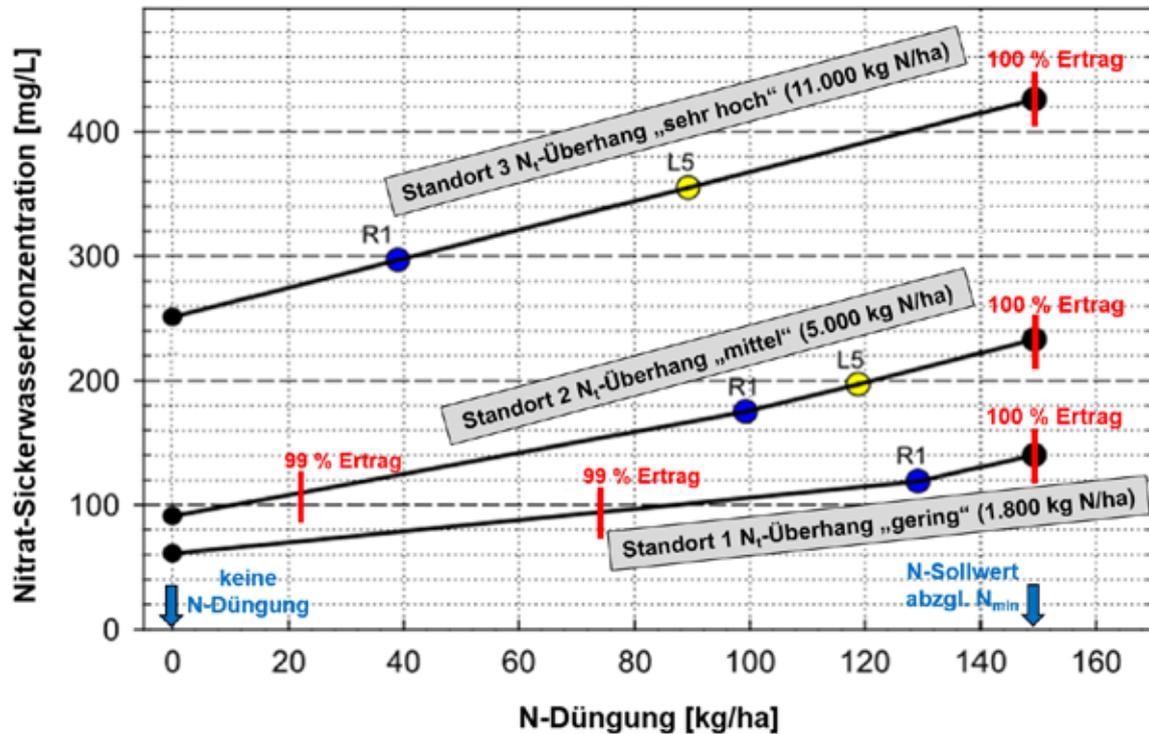


Abb. 17: Berechnete mittlere Nitrat-Konzentrationen über 8 Jahre im Sickerwasser in Abhängigkeit der N-Mineraldüngung zu Silomais für drei Standorte im TGG Thülsfelde mit unterschiedlichem  $N_i$ -Überhang (SPRINGOB, verändert) sowie die Wirkung der möglichen Reduktion der N-Düngung (R- und L-Verfahren)

#### Zusammenfassung 8 – Effekt der $N_i$ -Konzepte auf die Sickerwasserqualität:

- Mit den  $N_i$ -Konzepten lassen sich Düngemittel einsparen und deutliche Verbesserungen bei der Sickerwasserqualität erreichen.
- Trotzdem zeigen die Modellrechnungen, dass auf humusreichen Standorten mit Ackernutzung eine Zielkonzentration im Sickerwasser von kleiner 50 mg Nitrat/L ohne wesentliche Denitrifikation nicht erreicht werden kann.
- Um die tatsächliche Nitrat-Konzentration im Sickerwasser messen zu können, haben sich auf Ackerflächen mit einem hohen Nitrat-Austragspotential Nitrat-Tiefenprofile etabliert.

## 4 Erfassung und Beschreibung humusreicher Böden

Im eiszeitlich geprägten Norddeutschen Tiefland sind unter dem Einfluss geringer Grundwasserflurabstände humusreiche Böden weit verbreitet. Dies gilt auch für große Teile Nordwest-Niedersachsens sowie die in grundwasserfernen Landschaften Mittel- und Ost-Niedersachsens eingebetteten Geest-Niederungen und Flussauen. Viele dieser Böden wurden nach dem 2. Weltkrieg durch umfangreiche Entwässerung und Melioration in agrarische Nutzung überführt. Das flächenhaft bedeutendste Vorhaben zur Ackernutzung humusreicher Böden in Niedersachsen war die Emslanderschließung (Emslandplan) in den 1950er bis 1970er Jahren, bei der durch umfassende Meliorations-, Entwässerungs- und Bodenkultivierungsverfahren große Gebiete in Tiefumbruch-Sandmischkulturen und Sanddeckkulturen in Ackerstandorte überführt wurden.

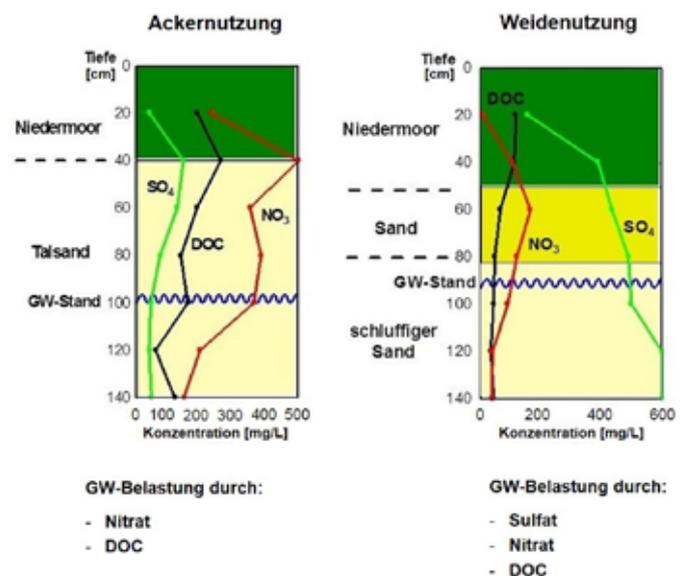
Beispielsweise verursachten im TGG Fuhrberger Feld Rohwasserentnahmen in Kombination mit dem Gewässerausbau und den Umstrukturierungsprozessen in der Landwirtschaft insbesondere im engeren Einzugsgebiet (IIIA) in den 1970er und 1980er Jahren den Umbruch von ca. 5.000 ha humusreichem Grünland.

Die Gemengelage aus steigenden Preisen für Agrarprodukte in den Jahren 2006 bis 2008, dem dadurch ausgelösten Wegfall der obligatorischen EU-Flächenstilllegung, dem zeitgleich beginnenden Biogasboom und den damals bevorstehenden Rechtsvorgaben zum Dauergrünland erhalten haben in Niedersachsen allein von 2006 bis 2015 zu mehr als 100.000 ha Umbruch von humusreichem Grünland (vor allem nährstoffreiches Feuchtgrünland) zu Ackerland geführt. Der dadurch ausgelöste Humusabbau führt zu hohen N-Einträgen in die Gewässer (Grundwasser und Oberflächengewässer).

Die Problematik kann sich in TGG noch verstärken, wenn Entnahmebrunnen in Landschaftsbereichen mit geringen Grundwasserflurabständen gebaut wurden und ein enger hydraulischer Kontakt zwischen Grundwasserentnahme und oberflächennahem Grundwasser besteht. Die entnahmebedingte Grundwasserabsenkung kann eine zusätzliche Belüftung humusreicher Böden mit entsprechender N-Freisetzung bewirken.

Je besser die Verbreitung humusreicher Böden, deren N-Vorräte und deren N-Freisetzung bekannt sind, umso eher lassen sich dadurch bedingte Gewässerrisiken erkennen und mit geeigneten Gegenmaßnahmen mindern oder sogar verhindern. Das Fallbeispiel der „Wipperaller-Niederung“ nördlich von Wolfsburg zeigt für die Stoffe Nitrat, Sulfat und DOC (gelöster organischer Kohlenstoff), wie stark und wie schnell alle vorgenannten Eingriffe der Entwässerung und Belüftung die ursprünglich konservierten Nährstoffe bei verschiedenen Torfmächtigkeiten (40 bzw. 50 cm) in Kombination mit verschiedenen Grundwasserflurabständen (100 bzw. 90 cm) durch Mineralisation der organischen Substanz freisetzen (ANTONY & REINERT 2003) (**Abb. 18**). Bei einer ganzjährig entwässerten

40 cm mächtigen Torfdecke treten unter Ackernutzung mit einer wendenden Bodenbearbeitung im ungesättigten Bereich hohe grundwasserbelastende Nitrat-Werte von bis zu 500 mg/L auf, die in den oberen 40 cm des Grundwassers immer noch bis zu 150 mg/L erreichen (**Abb. 18, links**). Unter Weidenutzung ergeben sich bei einer ganzjährig entwässerten 50 cm mächtigen Torfdecke im ungesättigten Bereich immer noch hohe Nitrat-Werte von bis zu 150 mg/L, die in den oberen 40 cm des Grundwassers bis zu 50 mg/L betragen (**Abb. 18, rechts**) (ANTONY & REINERT 2003).



**Abb. 18: Gewässergefährdender Stoffhaushalt geringmächtiger, entwässerter und degradierter Niedermoor-Torfdecken unter Acker- oder Weidenutzung (ANTONY & REINERT in TELMA 2003, verändert)**

## 4.1 Identifikation humoser Böden mit erhöhter N-Nachlieferung in der Landschaft

Die Erkennung humusreicher Böden mit erhöhter N-Nachlieferung (Anwendungsbereich N-Konzepte, **siehe Kapitel 3, 5 und 6**) in der Landschaft setzt ein Mindestmaß an geographischen und bodenkundlichen Fachkenntnissen und entsprechender Planungserfahrung voraus. Infolge von Entwässerungs- und Belüftungsmaßnahmen ändern sich die Eigenschaften humusreicher Böden sehr schnell. So zeigen z.B. typische Niedermoorböden einen erheblichen Volumenverlust und sacken bei intensiver Belüftung um 1 bis 3 cm pro Jahr. Daher ist es sehr wichtig, für die verschiedenen Betrachtungsmaßstäbe möglichst aktuelle Daten zur Verbreitung und zum Zustand humusreicher Böden heranzuziehen.

Zur Gruppe der humusreichen Böden mit erhöhter N-Nachlieferung in Niedersachsen gehören:

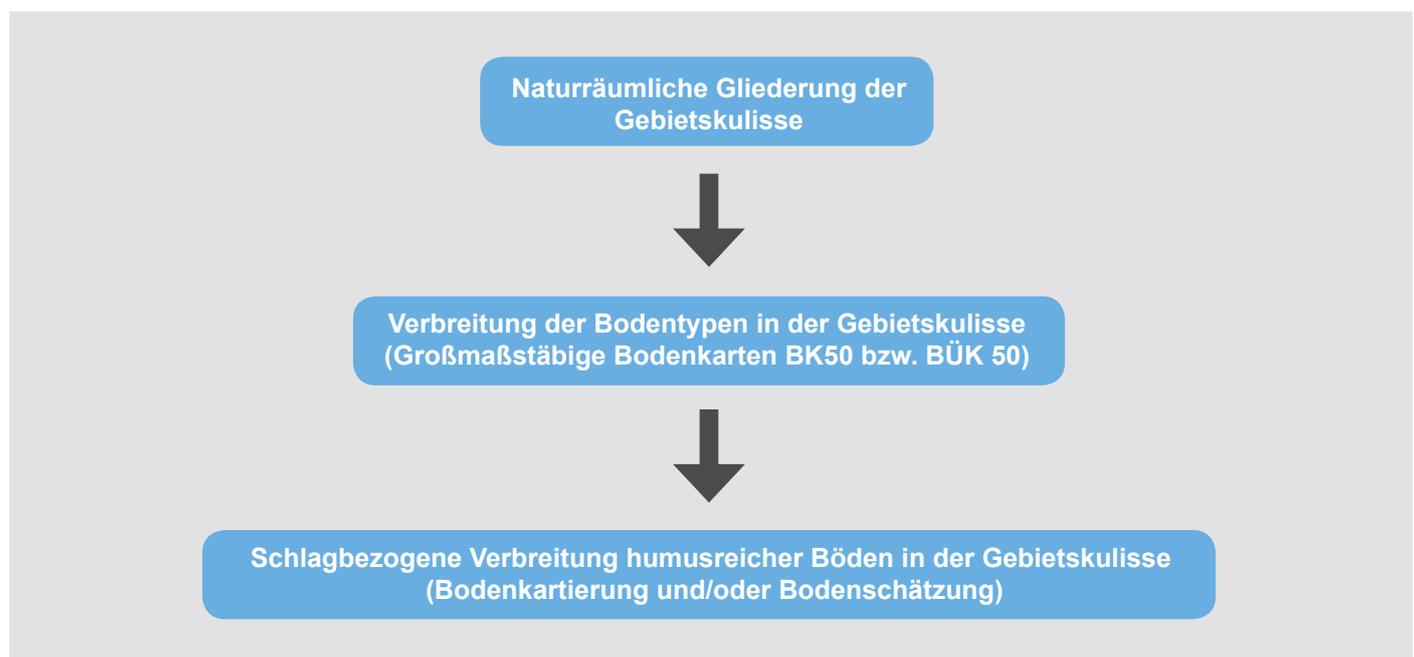
- Humusreiche Gleye und humusreiche Pseudogleye
- Entwässerte Moor- und Moorfolgeböden (Moorgleye, Anmoorgleye, Sanddeckkulturen)
- Organomarschen
- Auftragsböden aus humusreichen Schlamm- und Anhangerden

Die niedersächsische Gebietskulisse humusreicher Böden wurde in jüngster Zeit im Rahmen der Grundlagenermittlung für eine Klimaschutzstrategie des Landes Niedersachsen auf mittlerer Maßstabsebene relativ genau und aktuell ermittelt (LBEG 2015). Diese Daten und Karten liefern einen ersten Einstieg in entsprechende Fachplanungen auch für den Gewässerschutz, indem sie im Maßstab 1:50.000 (BK 50) die Verbreitung aller humusreichen Böden ausweisen, die bis zu einer Tiefe von 2 m mindestens einen 10 cm mächtigen Horizont mit ei-

nem Humusgehalt von mindestens 8 % aufweisen. Leider nicht enthalten sind Anmoore mit einem Humusgehalt von 8 bis 15 %, da deren räumliche Verbreitung nicht sicher genug ermittelt werden konnte.

Tatsächlich gibt es also über die beschriebene Gebietskulisse „Böden mit hohen Kohlenstoffgehalten“ in Niedersachsen hinaus eine größere Fläche humusreicher Böden, bei denen die dort ausgewiesenen Anmoore mit 8 bis 15 % Humus und die bekanntlich ebenfalls stark mineralisierenden Böden mit 4 bis 8 % Humus (Gleye, Auftragsböden etc.) nicht mit aufgenommen werden. Letzteres ist für regionale und lokale Fachplanungen zum Gewässerschutz aber genauso unumgänglich, wie die Herstellung hochauflösender Gebietskarten zur Verbreitung humusreicher Böden für den Einsatz in der einzelbetrieblichen Beratung von Landwirten auf der Ebene einzelner Bewirtschaftungsschläge oder Teilschläge.

Nachfolgend wird die Vorgehensweise zur Erstellung hochauflösender bodenkundlicher Bestandskarten humusreicher Böden für Kulissen der Gewässerschutzberatung am Beispiel des TGG Fuhrberger Feld vorgestellt. Das TGG Fuhrberger Feld ist durch einen großen Anteil grundwassernaher Landschaftsräume, insbesondere der breiten Talsandniederung der Wietze geprägt, die nach Norden zur Aller entwässert. Es handelt sich um eine typische Geest-Niederung, die auf der Achse Braunschweig-Hannover-Osnabrück nördlich des Mittelkanals vielfach verbreitet ist. Vergleichsweise flache Grundwasserkörper sind hier großflächig mit humusreichen Böden ausgestattet, die in der Vergangenheit überwiegend als Feuchtgrünland genutzt wurden.



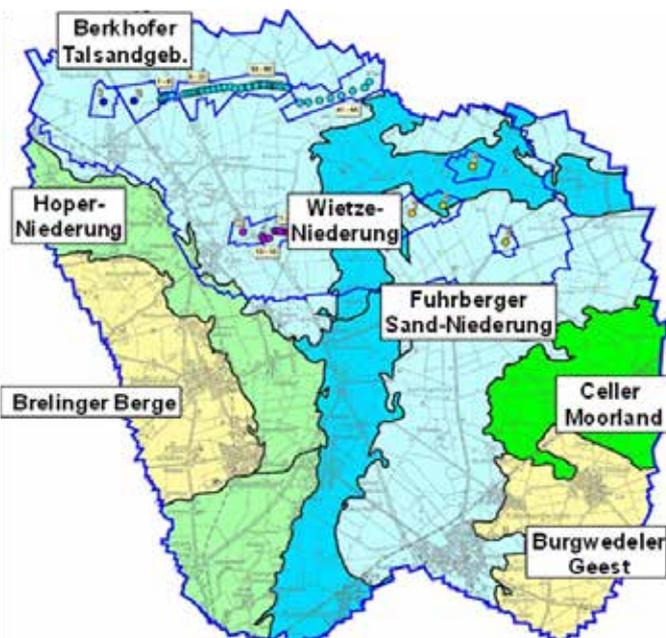
**Abb. 19: Schematischer Ablauf zur schlaggenauen Identifikation von humusreichen Böden in einer Gebietskulisse (INGUS)**

## 4.1.1 Eingrenzung der Suchräume humusreicher Böden

### Naturräumliche Gliederung

Eine erste gute Annäherung ist die Übernahme der offiziell verfügbaren Daten zur naturräumlichen Gliederung des gesamten Betrachtungsraumes, hier die Außengrenze des TGG Fuhrberger Feld. Wie **Abb. 20** zeigt, ergibt sich eine eindeutige und lückenlose Gliederung des Gebietes in sieben naturräumliche Einheiten und eine klare Trennung in zwei Naturraum-Gruppen:

1. Naturräume „ohne erwartbare“ humusreiche Böden mit erhöhter N-Nachlieferung (Berkhofer Talsandgebiet, Brelinger Berge, Burgwedeler Geest, Fuhrberger Sand-Niederung, Wietze-Niederung) und



**Abb. 20: Naturräumliche Gliederung des TGG Fuhrberger Feld (INGUS)**

2. Naturräume „mit erwartbaren“ humusreichen Böden mit erhöhter N-Nachlieferung (Celler Moorland, Hoper-Niederung).

Die in Deutschland übliche Definition und räumliche Abgrenzung von Naturräumen beinhaltet geographisch-morphologische, geologische, bodenkundliche, nutzungsspezifische, nutzungshistorische und weitere Aspekte. Sie eignet sich hervorragend als Kriterium zur räumlichen Binnendifferenzierung eines ausgewählten Gebietes, zumal auch die Akteure vor Ort mit den Namen der Naturräume direkt etwas verbinden können.

### Offiziell verfügbare, mittelmaßstäbliche Bodenkarten

Ergänzend zur naturräumlichen Gliederung sind als erste bodenkundliche Näherung offizielle Bodenkarten der Landesdienste der Maßstäbe 1:50.000 (in Niedersachsen die BÜK 50 bzw. BK 50, jeweils flächendeckend) und 1:25.000 (BK 25) (nicht flächendeckend) erhältlich. Die BK 50 ist eine offizielle Bodenkarte (LBEG 2017) in Niedersachsen, die eine höhere Informationsgenauigkeit aufweist als die BÜK 50, da bei der BK 50 umfassend großmaßstäbliche Bodeninformationen eingeflossen sind und zudem eine Validierung durch eine Geländekartierung vorliegt (**Abb. 21**).

### Daten bodenkundlicher Kartierungen und aus der Bodenschätzung

In Niedersachsen sind in manchen älteren, grundsätzlich aber in allen neueren Wasserrechtsverfahren bodenkundliche Fachgutachten auf Basis einer bodenkundlichen Geländekartierung die Grundlage zur Ermittlung möglicher Auswirkungen der Grundwasserentnahmen auf die land- und forstwirtschaftliche Nutzung und den Naturhaushalt (LBEG 2009). Die Kartierbereiche umfassen insbesondere grundwassernahe Böden im hydrogeologisch ermittelten Grundwasser-Absenkungsbereich und decken damit zumindest für diesen Gebietsausschnitt die Verbreitung und Beschreibung humusreicher Böden mit ab.

Gut geeignet, falls vorhanden, sind auch bodenkundliche Kartierungen, die z.B. für die Erstellung von Karten zur Nitrat-Ausgangsgefährdung erstellt wurden oder werden. Für eine flurstückscharfe bzw. schlagscharfe Ermittlung humusreicher Böden eignen sich besonders Daten und Karten der Bodenschätzung. Humusreiche Böden sind hier bereits durch die Klassenzeichen erkennbar. Im nachfolgenden Beispiel (**Abb. 22**) sind die Bodenschätzungsdaten mit einer aktuellen Schlagkarte verschnitten worden. Dabei wird klar erkennbar, auf welchen Schlägen bzw. Teilen eines Schlates humusreiche Böden (in diesem Falle Mo5- und Mo1AL) zu erwarten sind.

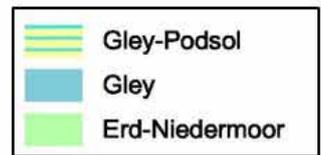
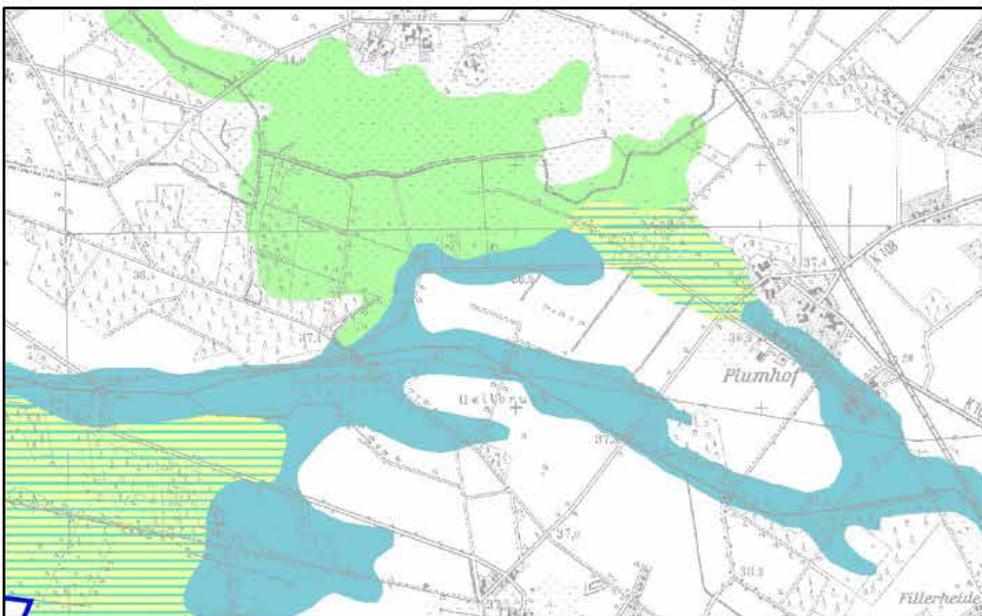
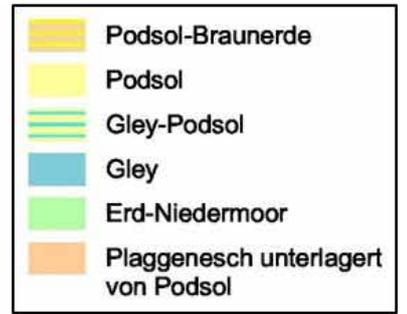
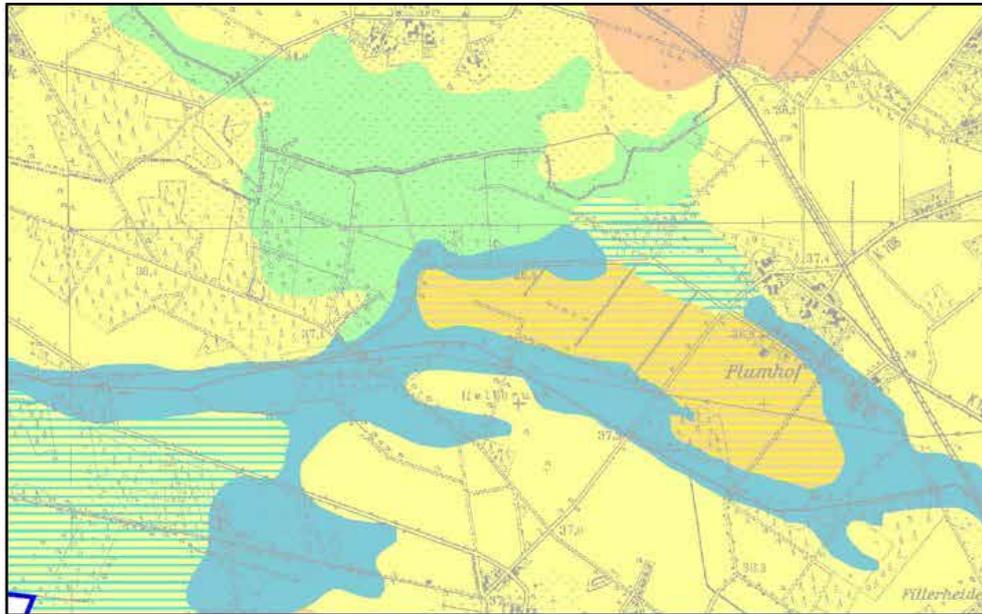


Abb. 21: Bodenverbreitung im TGG Fuhrberger Feld nach offiziellen Bodenkarten (BÜK 50 oder BK 50) mit allen Bodentypen (oben) und mit humusreichen Böden (unten) (INGUS)

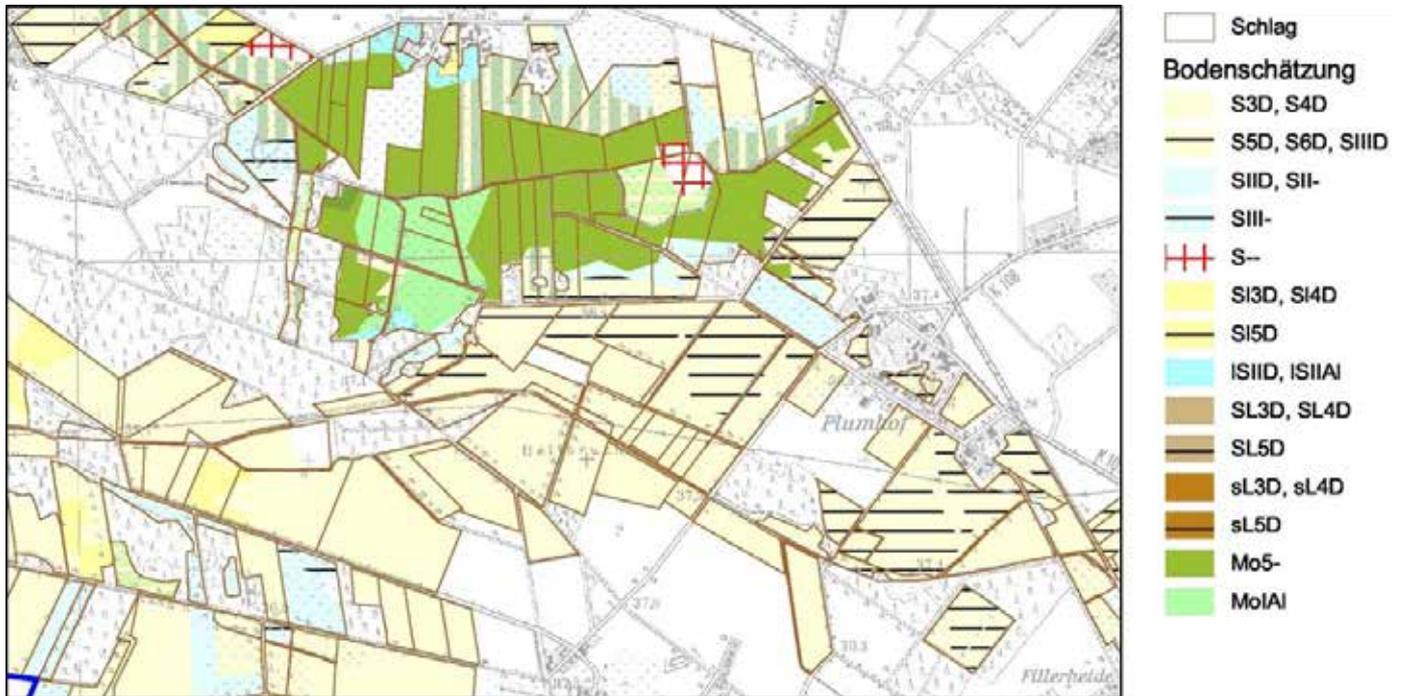


Abb. 22: Schlag bezogene Verbreitung humusreicher Böden auf Basis von Bodenschätzungsdaten im TGG Fuhrberger Feld (INGUS)

### Zusammenfassung 9 – Identifikation humusreicher Standorte mit erhöhter N-Nachlieferung in der Landschaft:

- Bei Ackernutzung mit abgesenkten Grundwasserständen sind humusreiche Böden starke Quellen für N-Einträge (Nitrat, Ammonium) in Gewässer.
- Zur Gruppe der humusreichen Böden mit erhöhter N-Nachlieferung in Niedersachsen gehören: Humusreiche Gleye und Pseudogleye, Entwässerte Moor- und Moorfolgeböden, Organomarschen sowie Auftragsböden aus humusreichen Schlamm- und Anhangerden.
- Die niedersächsische Gebietskulisse humusreicher Böden wurde in jüngster Zeit im Rahmen der Grundlagenermittlung für eine Klimaschutzstrategie des Landes Niedersachsen auf mittlerer Maßstabebene relativ genau und aktuell ermittelt (LBEG 2015). Diese Übersichtskarten sind geeignet, um in erster Näherung potentielle Suchräume für stark Stickstoff nachliefernde Böden einzugrenzen.
- Für eine gezielte, maßnahmengestützte Minderung erhöhter N-Belastungen aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung humusreicher Böden ist allerdings eine hochauflösende (großmaßstäbige) Erfassung der entsprechenden Böden erforderlich.

## 4.2 Untersuchung der Humuseigenschaften

Mit der im vorherigen Kapitel beschriebenen Vorgehensweise lassen sich das Vorkommen und die Lage bzw. räumliche Verbreitung humusreicher Böden mit erhöhter N-Nachlieferung in einem ausgewählten Betrachtungsraum gut beschreiben, insbesondere auch kartographisch. Für konkrete Verwaltungsentscheidungen, z.B. zur Genehmigung oder Versagung eines Grünlandumbruchs oder die Erstellung einer pflanzenbedarfsgerechten, einzelschlagbezogenen Düngeplanung auf humusreichen Standorten ist eine möglichst genaue Kenntnis des Humusgehaltes und der Humusqualität zentrale Voraussetzung. In diesem Kapitel wird daher beschrieben, wie beide Kriterien durch eine geeignete, d.h. fachlich geplante Probenahme im Gelände und eine darauffolgende

Laboranalytik repräsentativ und verlässlich ermittelt werden können.

Dies ist auch deshalb notwendig, da eine ausreichend genaue Bestimmung des Humusgehaltes humusreicher Böden über die optische Bewertung der Bodenfarbe trotz entsprechender Erfahrung in der Praxis oftmals sehr schwierig bis unmöglich ist. Dies veranschaulichen die in der **Abb. 23** nebeneinander gestellten Bodenprofile. Das linke Bodenprofil hat aufgrund seiner deutlich dunkleren Farbe den „augenscheinlich“ höheren Humusgehalt. Tatsächlich trifft dies aber für das rechte Bodenprofil mit der helleren Humusfarbe zu.

**Humusgehalt 7,5 %**



**Humusgehalt 15,0 %**



**Abb. 23: Beispiel für eine Fehleinschätzung des Humusgehalts im Oberboden (0 bis 30 cm) nach Humusfarbe (Fotos: INGUS)**

Zudem lässt die rein phänotypische Ansprache keine Aussage über die Humusqualität zu. Daher ist bei der Humusanalyse im Labor neben dem organischen Gesamtkohlenstoff ( $C_{org}$ ) immer auch der Gesamtstickstoff ( $N_t$ ) als Maß für den organischen Stickstoff im Boden zu bestimmen. Somit kann nicht nur der Humusgehalt ( $C_{org}$  mal 1,72), sondern auch die Humusqualität ( $C_{org}/N_t$  üblich C/N) und damit die N-Freisetzung ( $C/N$ ,  $N_t$ ) bewertet werden.

Die Aussagekraft der Humuskennwerte ( $C_{org}$ ,  $N_t$ , C/N) hängt entscheidend von einer repräsentativen und qualifizierten Probenahme ab. Hierdurch können auch kleine Veränderungen des Humusgehaltes und der Humusqualität im Laufe der Zeit erfasst und somit der Humusstatus des Standortes langfristig genau verfolgt werden.

Nachfolgend wird die repräsentative und qualifizierte Probenahme für humusreiche Schläge mit homogenen und

unterschiedlich heterogenen Bodenverhältnissen dargestellt. Die Humusbeprobung erfolgt idealerweise im Winter oder im zeitigen Frühjahr. Für aussagekräftige Ergebnisse ist es entscheidend, dass am Beprobungstermin evtl. auf dem Acker verbleibende Erntereste bereits mineralisiert sind und keine wesentliche Mineralisation der organischen Substanz im Boden stattfindet. Zudem muss die Probenahme im Frühjahr vor der Ausbringung mineralischer N-Dünger und organischer Dünger, wie z.B. Gülle und Gärreste erfolgen. Auch frisch mit Mist gedüngte Flächen bieten sich nicht für eine Probenahme an.

Humusbeprobungen erfordern eine bodenkundlich qualifizierte Beprobung, d.h. Probenehmer sollten Geländeerfahrungen in der Bodenansprache gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 (BGR 2005) mitbringen. Nachfolgend werden Beprobungshinweise für verschiedene Fälle mit homogenen bis unterschiedlich heterogenen Humusgehalten gegeben.

## **Schläge mit homogenen Bodenhumusverhältnissen**

- Probenahme auf dem Gesamtschlag mit **35 bis 40 Einstichen**
- Probenahmetiefe 0 bis 30 cm
- Bei Anmooren bzw. Niedermooren tiefendifferenzierte Beprobung erforderlich:
  1. Probenahme: 0 cm bis Untergrenze Ap-Horizont
  2. Probenahme: Untergrenze Ap-Horizont bis Untergrenze Torfhorizont
- Aufnahme des Substrat-Typs, Einstufung des Humusgehaltes, Abgleich mit der Bodenvorinformation

## **Schläge mit heterogenen Bodenhumusverhältnissen**

### **a) Zwei Bodeneinheiten mit ungefähr gleichen Flächenanteilen (50:50)**

- Probenahme jeweils innerhalb der beiden Bodeneinheiten mit je **20 Einstichen**
- Probenahmetiefe 0 bis 30 cm

- Bei Anmooren bzw. Niedermooren tiefendifferenzierte Beprobung erforderlich:
  1. Probenahme: 0 cm bis Untergrenze Ap-Horizont
  2. Probenahme: Untergrenze Ap-Horizont bis Untergrenze Torfhorizont
- Kartierung der Bodengrenze im Gelände und ggf. Anpassung in der Karte
- Aufnahme des Substrat-Typs, Einstufung des Humusgehaltes, Abgleich mit der Bodenvorinformation

**b) Eine Bodeneinheit mit mehr als 75 % Flächenanteilen**

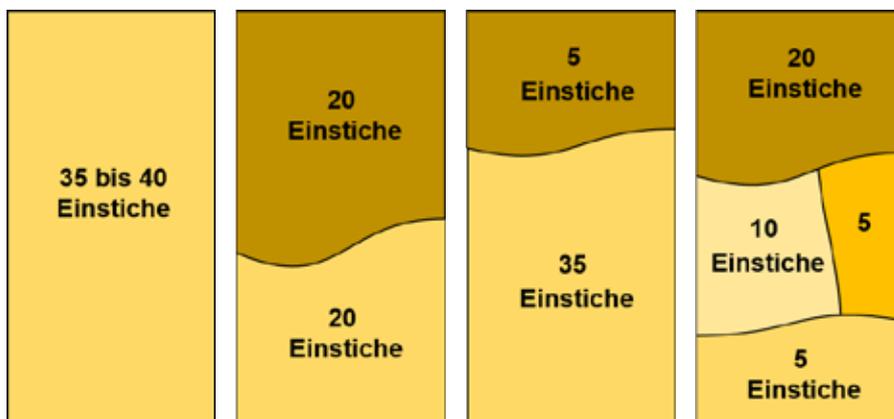
- Probenahme innerhalb der flächendominanten Bodeneinheit mit **35 Einstichen**
- Probenahmetiefe 0 bis 30 cm
- Bei Anmooren bzw. Niedermooren tiefendifferenzierte Beprobung erforderlich:
  1. Probenahme: 0 cm bis Untergrenze Ap-Horizont
  2. Probenahme: Untergrenze Ap-Horizont bis Untergrenze Torfhorizont
- Kartierung der Bodengrenze im Gelände und ggf. Anpassung in der Karte
- Aufnahme des Substrat-Typs, Einstufung des Humusgehaltes, Abgleich mit der Bodenvorinformation,
- bei geringerem Flächenanteil Anmoor oder Niedermoor ggf. zusätzliche Beprobung nach Einzelfallprüfung

**c) Drei oder mehr Bodeneinheiten mit jeweils <50 % Flächenanteil**

- Festlegung der Beprobungsstrategie nach Einzelfallprüfung und Fragestellung.

**Infokasten 11 – Hinweise zur fachgerechten Durchmischung/Homogenisierung der Humusproben:**

Das Durchmischen/Homogenisieren der Proben ist sehr wichtig. Insbesondere bei feuchten stark humosen Proben ist dies im Gelände nicht immer einfach. In diesen Fällen sollte die Durchmischung der Proben durch das Labor erfolgen.



**Abb. 24: Verteilung der Einstiche für eine repräsentative Humusprobenahme auf Schlägen mit homogenen und unterschiedlich heterogenen Bodenverhältnissen (Bodeneinheiten 50:50; >75; <50) (INGUS)**

## 4.2.1 Analyse des Humusgehaltes

Für eine hohe Aussagekraft der Humuskennwerte ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ,  $C/N$ ) ist eine korrekte Laboranalyse ebenso wichtig, wie die repräsentative und qualifizierte Probenahme auf dem Feld.

Die Humusanalyse sollte grundsätzlich mit dem gängigen Verfahren durch Verbrennung nach DUMAS erfolgen. Dieses Verfahren liefert nicht nur die sichersten Ergebnisse für  $C_{org}$ , sondern ermöglicht auch die gleichzeitige Bestimmung von  $N_t$ .

Hierfür wird die Bodenprobe bei 950°C verbrannt. Durch die Verbrennung wird der im Boden enthaltene Kohlenstoff vollständig zu gasförmigem Kohlendioxid ( $CO_2$ ) und

der enthaltene Stickstoff vollständig zu gasförmigem molekularem Stickstoff ( $N_2$ ) umgewandelt. Die Menge der Gase  $CO_2$  und  $N_2$  wird im Gaschromatographen gemessen.

Der Vorteil dieser Humusanalyse nach DUMAS gegenüber dem ebenfalls sehr verbreiteten Verfahren mittels Glühverlust ist nicht nur die gleichzeitige Bestimmung von  $N_t$ , sondern auch die Eignung für alle Bodenarten. Die gravimetrische Humusanalyse über den Glühverlust ist nur für sandige, humusreiche Böden geeignet, da bei humusreichen Böden mit einem hohen Gips-, Ton- oder Sesquioxidgehalt der Humusgehalt durch die Abgabe von Kristallwasser deutlich überschätzt wird.

### **Zusammenfassung 10 – Repräsentative Humusprobenahme und Humusanalytik:**

- Die Bestimmung des Humusgehaltes anhand einer optischen Bewertung der Bodenfarbe ist trotz entsprechender Erfahrung in der Praxis oftmals sehr schwierig bis unmöglich.
- In Abhängigkeit der Homogenität bzw. Heterogenität der Bodenhumusverhältnisse sind die 35 bis 40 Einstiche für eine repräsentative Probenahme entsprechend des jeweiligen Flächenanteils anteilige durchzuführen.
- Die Humusbeprobung erfolgt idealerweise im Winter oder im zeitigen Frühjahr.
- Die Aussagekraft der im Labor ermittelten Humuskennwerte ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ,  $C/N$ ) hängt entscheidend von einer repräsentativen und qualifizierten Probenahme ab.
- Das Verfahren nach DUMAS liefert nicht nur die sichersten Ergebnisse für  $C_{org}$ , sondern ermöglicht auch die gleichzeitige Bestimmung von  $N_t$ .
- Die Analyse des Humusgehaltes sollte immer nach DUMAS erfolgen.

## 5 Anwendung des $N_t$ -Konzeptes bei der Beurteilung von Grünlandumbrüchen

In Niedersachsen wurden zwischen 1990 und 2015 über 300.000 ha Grünland in Ackerland umgebrochen. Erst nach 2013 sind die Dauergrünlandfläche und der Anteil des Dauergrünlands an der landwirtschaftlich genutzten Fläche wieder leicht gestiegen. Wesentliche Ursache hierfür ist die EU-Agrarreform aus dem Jahr 2013, die den Erhalt von Dauergrünland im Rahmen der sogenannten „Greening“-Auflagen regelt. Mit dem „Greening“ wird der Dauergrünlanderhalt auf Betriebsebene geregelt. Die entsprechenden Vorgaben auf Betriebsebene haben aber auch zur Folge, dass das Grünland von Betrieben, die keine Agrarförderung in Anspruch nehmen und das Grünland von Ökolandbaubetrieben nicht unter die „Greening“-Verpflichtungen fallen und somit keinem Umwandlungsverbot unterliegen.

Über das „Greening“ hinaus existieren in festgesetzten Schutzgebieten (Wasserschutzgebiete, Naturschutzgebiete) weitere Regelungen zum Dauergrünlanderhalt, z.B. eine allgemeine Genehmigungspflicht für den Umbruch von Dauergrünland in festgesetzten Wasserschutzgebie-

ten (WSG) oder ein absolutes Umwandlungs- und Pflugverbot für besonders schützenswertes Dauergrünland auf Natura-2000-Flächen in FFH-Gebieten (Flora-Fauna-Habitat). Aufgrund seiner von Natur aus geringeren Belüftung weist Grünland einen i.d.R. deutlich höheren Humusgehalt als Ackerland auf. Durch die intensive Bodenbewegung und die damit einhergehende Belüftung beim Grünlandumbruch kommt es i.d.R. zeitnah zu einem massiven Humusabbau und damit zu einer starken N-Freisetzung, die sich bis zur Erreichung eines neuen Humus-Gleichgewichtes über mehrere Jahrzehnte hinziehen kann. Direkt umbruchbedingte N-Freisetzungen sind besonders hoch, wenn der Umbruch im Spätsommer bis Herbst erfolgt. In diesem Zeitraum herrschen oftmals sehr gute bis optimale Bedingungen für die Mineralisation der organischen Substanz im Boden, da die Böden i.d.R. warm und feucht sind.

Auf umgebrochenen Grünlandflächen in Niedersachsen liegt die jährliche Netto-Mineralisationsrate in den ersten 4 Jahren häufig bei deutlich > 100 kg N/ha pro Jahr und

in den darauffolgenden Jahren (bis zu 20 Jahre) immer noch bei mindestens 20 bis 50 kg N/ha pro Jahr. Bis zur Einstellung des für langjährige Ackerstandorte üblichen N-Gleichgewichts werden daher auf Umbruchflächen oftmals mehrere Tausend Kilogramm N freigesetzt. Auf Niedermoorstandorten, die als Acker genutzt werden, sind sogar jährliche Netto-Mineralisationsraten von bis zu 500 kg N/ha möglich.

### 5.1 Das N<sub>fair</sub>-Konzept als Entscheidungshilfe für Genehmigungsbehörden

Das N<sub>fair</sub>-Konzept ist die spezifische Anwendung des N<sub>t</sub>-Konzeptes im Zusammenhang mit der fachlichen Bewertung von geplanten Grünlandumbrüchen. Es ermöglicht eine differenzierte Abschätzung der Höhe der zu erwartenden N-Freisetzung nach einem Grünlandumbruch auf Basis des effektiven N<sub>t</sub>-Überhanges (SPRINGOB 2010). Aufgrund des objektiv messbaren effektiven N<sub>t</sub>-Überhanges kann die zuständige Genehmigungsbehörde mit dem N<sub>fair</sub>-Konzept die Entscheidungen bei der Erteilung von Bewirtschaftungsauflagen, im Falle einer Genehmigung oder im Falle eines Umbruchverbotes einfacher und nachvollziehbarer für den Antragssteller begründen. Kurzum: Das Genehmigungsverfahren wird durch das N<sub>fair</sub>-Konzept für alle Beteiligten (Landwirte, Untere Wasserbehörde etc.) und ggf. Betroffenen (Wasserversorgungsunternehmen etc.) transparent und damit „fair“.

Das Verfahren wurde im TGG Fuhrberger Feld im Rahmen eines Modellvorhabens zur Humusforschung entwickelt und wird von den zuständigen Unteren Wasserbehörden (Region Hannover, Landkreis Celle und Heidekreis) mit Unterstützung der Gewässerschutzberatung seit 2010

Das von den Umbruchflächen ausgehende erhöhte Risiko der N-Freisetzung und damit des N-Auswaschungspotentials ist in vielen Gewässerschutzkulissen (Trinkwasserschutz, Schutz des Grundwassers und der Oberflächengewässer) ein großes Problem. In Niedersachsen ist daher z.B. in WSG jeder Grünlandumbruch durch die zuständige Untere Wasserbehörde genehmigungspflichtig.

angewendet. Das N<sub>fair</sub>-Konzept ist grundsätzlich auf alle niedersächsischen WSG mit humusreichen Acker- und Grünlandstandorten (siehe Kapitel 4) übertragbar.

Aus den gemessenen Humuskennwerten C<sub>org</sub> und N<sub>t</sub> kann das N-Freisetzungspotenzial als effektiver N<sub>t</sub>-Überhang aus dem Vorrat an abbaubarem N<sub>org</sub> in Abhängigkeit zu einem Bezugswert (Humusgleichgewicht) ermittelt werden. Bei dem Bezugswert handelt es sich um einen gebietstypischen Humusgleichgewichtsstandort (siehe Kapitel 2.2).

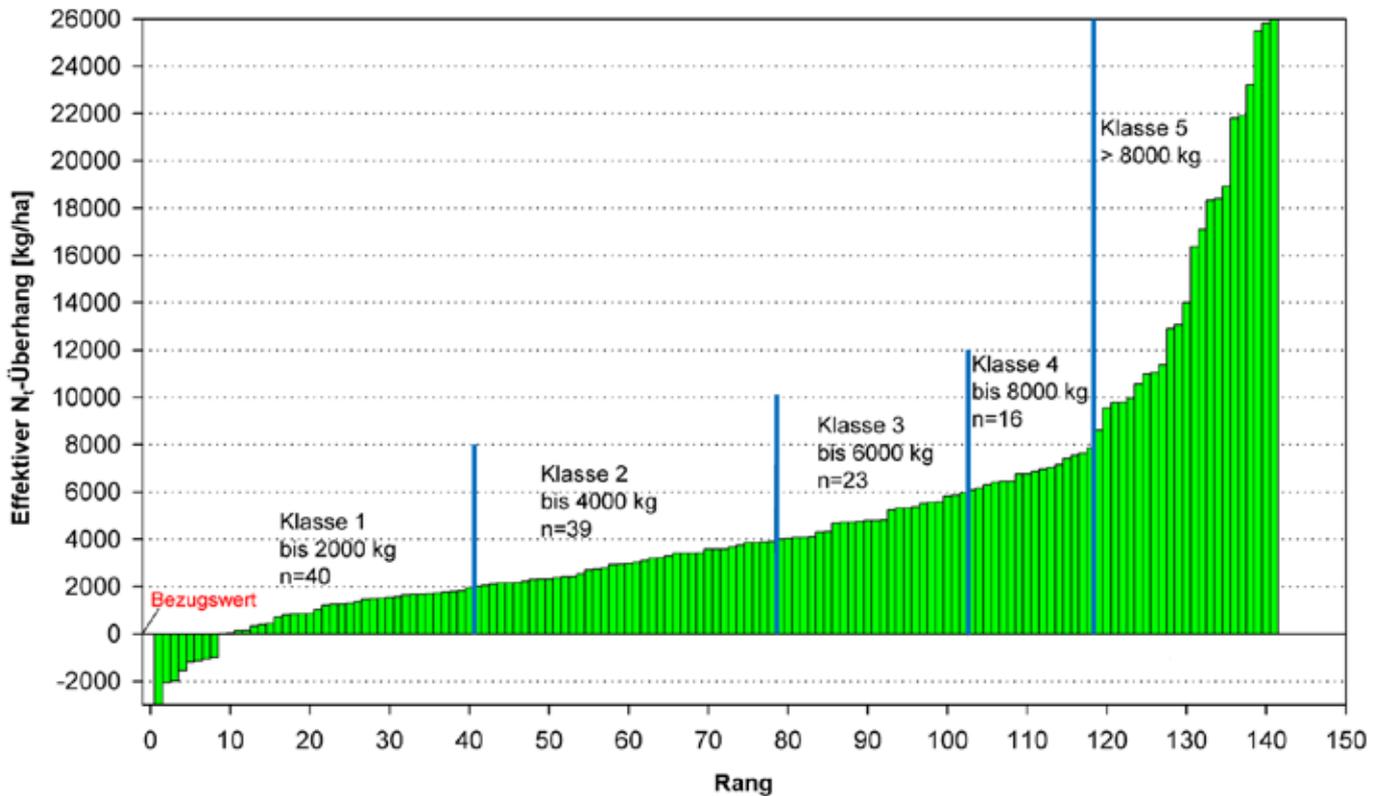
Das N<sub>fair</sub>-Konzept ermöglicht anhand von fünf „Risikoklassen“ (Tab. 6) eine praktikable Risikobewertung für die tatsächlich zu erwartende langfristige N-Freisetzung für den Fall eines Grünlandumbruches. Das Verfahren unterscheidet zwischen potentiell unkritischen und kritischen Grünlandumbrüchen. Je höher die ermittelte Risikoklasse (1 bis 5) der Umbruchfläche ist, desto umfangreicher werden die Auflagen bis hin zum Umbruchverbot. Umgekehrt werden erwartungsgemäß bei einer niedrigen Risikoklasse entsprechend weniger und weniger strenge Auflagen erteilt.

**Tab. 6: Risikoklassen verstärkter, nachhaltiger N-Freisetzung für den Fall eines Umbruches von Dauergrünland auf Basis des effektiven N<sub>t</sub>-Überhangs (0 bis 30 cm) (SPRINGOB 2010)**

Risikoklasse	1	2	3	4	5
Effekt. N <sub>t</sub> -Überhang	< 2.000 kg/ha	> 2.000-4.000 kg/ha	> 4.000-6.000 kg/ha	> 6.000-8.000 kg/ha	> 8.000 kg/ha
Bewertung	Unerheblicher N-Überhang	Deutlicher N-Überhang	Hoher N-Überhang	Hoher N-Überhang	Sehr hoher N-Überhang
Folge	Genehmigung des Umbruchs mit differenzierten Auflagen				Einzelfallbewertung

Die Klassifizierung der ermittelten effektiven N<sub>t</sub>-Überhänge von 141 Dauergrünlandstandorten im TGG Fuhrberger Feld in Abb. 25 zeigen, dass die 5 Risikoklassen der Tab. 6 auch tatsächlich vorkommen. Auf Zweidrittel der untersuchten Grünlandflächen ist nach einem Umbruch in Ackerland mit einer langfristigen jährlichen N-Freisetzung von ca. 60 bis 120 kg N/ha (Risikoklasse 2) bis ca. 240 bis

600 kg N/ha und mehr (Risikoklasse 5) zu rechnen. Die Dauergrünlandflächen der Risikoklasse 5 weisen einen effektiven N<sub>t</sub>-Überhang von 8.000 bis 26.000 kg N/ha auf und bergen damit ein immenses N-Gefährdungspotential für das Grundwasser. Daher ist insbesondere für Grünlandflächen der Risikoklasse 5 eine Umbruchgenehmigung in Ackerland i.d.R. zu versagen.



**Abb. 25: Effektiver N<sub>t</sub>-Überhang von Dauergrünlandflächen im TGG Fuhrberger Feld und Verteilung nach Risikoklassen des N<sub>fair</sub>-Konzeptes (SPRINGOB, verändert)**

#### Risikoklasse 1 – Unerheblicher effektiver N<sub>t</sub>-Überhang

Bei einem effektiven N<sub>t</sub>-Überhang ≤ 2.000 kg N/ ha ist eine schlagbezogene Düngeplanung durchzuführen. Die Erteilung von Bewirtschaftungsauflagen wäre aber nicht sachgerecht, da mit vertretbarem Aufwand kaum nachgewiesen werden kann, dass die entsprechenden Bewirtschaftungsauflagen einen Erfolg in Bezug auf die Nitrat-Konzentration im Sickerwasser haben.

#### Risikoklasse 2 – Deutlicher effektiver N<sub>t</sub>-Überhang

Bei einem effektiven N<sub>t</sub>-Überhang ≥ 2.000 bis 4.000 kg N/ ha sind die Flächen nach dem Umbruch genauer zu beobachten und neben einer schlagbezogenen Düngeplanung auch entsprechende Bewirtschaftungsauflagen vorzusehen. Für Umbruchflächen der Risikoklasse 2 sind „übliche“ Bewirtschaftungsauflagen mit einer 3- bis 5-jährigen Laufzeit gerechtfertigt. Hierfür haben sich z.B. folgende Auflagen als geeignet erwiesen:

- kein Herbstumbruch
- keine organische Düngung
- kein Leguminosenanbau
- absolute Bodenruhe über Herbst und Winter

#### Risikoklasse 3 und 4 – Hoher effektiver N<sub>t</sub>-Überhang

Spätestens bei einem effektiven N<sub>t</sub>-Überhang von > 4000 kg N/ha (**Risikoklasse 3**), erst recht aber bei einem effektiven N<sub>t</sub>-Überhang um die 6000 kg N/ha (**Risikoklasse 4**), ist von hohen N<sub>t</sub>-Überhängen zu sprechen. Insbesondere

bei Umbruchflächen der Risikoklasse 4 besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass ohne geeignete Auflagen jährlich mehrere Hundert Kilogramm N nach einem Umbruch in die Gewässer ausgetragen werden. Daher sind bei Umbruchflächen der Risikoklasse 4 entsprechend strengere und weitere Auflagen mit einer längeren Laufzeit von 7 Jahren zu erteilen, wie beispielsweise:

- vegetationsbegleitende Düngebedarfsermittlung
- eine stark reduzierte N-Düngung bis hin zum N-Düngeverbot
- schlagspezifisches Nitrat-Monitoring, z. B. Herbst-Nmin, Nitrat-Tiefenprofile etc.
- Anbauverbot für bestimmte Kulturen, z. B. Winterraps etc.

#### Risikoklasse 5 – Sehr hoher effektiver N<sub>t</sub>-Überhang

Bei einem effektiven N<sub>t</sub>-Überhang > 8.000 kg N/ha besteht praktisch keine Möglichkeit mehr, den freigesetzten Stickstoff bei üblicher Bewirtschaftung sinnvoll im Bestand zu verwerten, auch nicht vor dem Hintergrund, dass sich die N-Freisetzung häufig über mehrere Jahrzehnte hinzieht. Für Umbruchflächen sind keine Maßnahmen vorhanden, um die hohen N<sub>t</sub>-Überhänge dadurch im Boden dauerhaft zu halten, indem der Abbau verhindert wird. Deshalb ist mit beträchtlichen Auswaschungsverlusten zu rechnen. Die Bewertung der Situation sollte daher nicht mehr standardisiert, sondern grundsätzlich in einer Einzelfallprüfung erfolgen. Bei Umbruchflächen der Risikoklasse 5 ist ein Umbruchverbot grundsätzlich in Erwägung zu ziehen und in vielen Fällen die sachgerechteste Entscheidung.

### **Zusammenfassung 11 – N<sub>fair</sub>-Konzept in Genehmigungsverfahren von Grünlandumbrüchen:**

- Das N<sub>fair</sub>-Konzept ist die spezifische Anwendung des N<sub>t</sub>-Konzeptes im Zusammenhang mit der fachlichen Bewertung von geplanten Grünlandumbrüchen.
- Das N<sub>fair</sub>-Konzept ermöglicht anhand von fünf „Risikoklassen“ eine praktikable Risikobewertung für die tatsächlich zu erwartende, langfristige N-Freisetzung für den Fall eines Grünlandumbruches.
- Genehmigungsverfahren von Grünlandumbrüchen werden durch das N<sub>fair</sub>-Konzept für alle Beteiligten (Landwirte, Untere Wasserbehörde etc.) und ggf. Betroffenen (Wasserversorgungsunternehmen etc.) transparent und damit „fair“.
- Das Verfahren unterscheidet zwischen potentiell unkritischen und kritischen Grünlandumbrüchen.
- Je höher die ermittelte Risikoklasse (1 bis 5) der Umbruchfläche ist, desto umfangreicher werden die Auflagen bis hin zum Umbruchverbot.
- Die Dauergrünlandflächen der Risikoklasse 5 weisen einen effektiven N<sub>t</sub>-Überhang von > 8.000 kg N/ha auf und bergen damit ein immenses N-Gefährdungspotential für das Grundwasser.
- Daher ist insbesondere für Grünlandflächen der Risikoklasse 5 eine Umbruchgenehmigung in Ackerland i.d.R. zu versagen.
- Umgekehrt werden bei einer niedrigen Risikoklasse entsprechend weniger und weniger strenge Auflagen in der Genehmigung erteilt.

## **6 Anwendung des N<sub>t</sub>-Konzeptes in der Düngeberatung**

Die Intensivierung der Landwirtschaft in Niedersachsen in den vergangenen Jahren hat dazu geführt, dass humusreiche Böden verstärkt intensiv ackerbaulich genutzt werden. Die ackerbauliche Nutzung humusreicher Böden bewirkt, dass diese Standorte häufig für Jahrzehnte starke „N-Quellenstandorten“ sind und damit ein hohes Gefährdungspotenzial für Stoffeinträge in Gewässer darstellen. Daher ist für solche Standorte eine spezialisierte Düngeberatung erforderlich, die die bodenbedingt erhöhte N-Freisetzung als N-Düngeabschlag in ausreichender Weise berücksichtigt.

Gegenwärtig führt die Düngebedarfsermittlung nach der N-Bedarfswert-Methode gem. DüV vom 26. Mai 2017 (BMEL 2017) bei humusreichen Böden zu überhöhten N-Gaben, da N-Düngeabschläge von lediglich 20 kg N/ha vorgeschrieben sind und auch nur bei einem Humusgehalt > 4 %. Gemäß DüV vom 26. Mai 2017 (BMEL 2017) gilt jedoch auch der Grundsatz, dass der Nährstoffvorrat des Bodens bei der frucht- und schlagspezifischen Bemessung des Düngebedarfes berücksichtigt werden muss.

Dieses kann die klassische Frühjahrs-N<sub>min</sub>-Methode wegen des frühen Beprobungstermins für humusreiche Böden nicht leisten. Insofern sind zusätzliche Hilfsmittel erforderlich, mit denen der düngewirksame Anteil der N-Mineralisation humusreicher Böden abgeschätzt werden kann.

Nachfolgend wird die praktische Anwendung des N<sub>t</sub>-Konzeptes zur Ermittlung von weitergehenden N-Düngeab-

schlägen zu Silomais auf humusreichen Standorten in der landwirtschaftlichen Düngeberatung beschrieben (SPRINGOB 2013). Das Verfahren hat neben der Minderung von Umweltbelastungen auch den Vorteil geringerer Düngekosten.

## 6.1 N-Düngeabschläge zu Silomais nach dem N<sub>t</sub>-Konzept

Das für die praktische Düngeberatung empfohlene N<sub>t</sub>-Konzept mit fünf festen N<sub>t</sub>-Abschlagsklassen ist ein landesweites Verfahren zur Ermittlung von N-Düngeabschlägen für Silomais, das in mehreren aufeinanderfolgenden M+P-Vorhaben entwickelt wurde (**siehe Kapitel 3.2, L5-Verfahren**). Es wird in Niedersachsen auf Standorten mit Humusgehalten von  $\geq 4\%$  und einem C/N-Verhältnis  $< 20$  durch die Wasserschutzberatung angewendet.

Bei diesem Verfahren werden standortbezogene Düngeabschläge vom N-Bedarfswert ermittelt, die umso höher ausfallen, je höher der Gesamtstickstoffgehalt N<sub>t</sub> der Ackerkrume (0 bis 30 cm) ist. Die N-Düngeabschläge werden beim N<sub>t</sub>-Konzept demnach nicht wie üblich aus dem Humusgehalt abgeleitet, sondern beziehen sich auf den im Bodenhumus enthaltenen leicht mineralisierbaren

Stickstoffgehalt.

Die in **Tab. 7** aufgeführten N-Abschläge basieren auf Feldversuchen und Modellrechnungen. Für die letztendliche Festlegung der Höhe der N-Abschläge wurden für die Mineralisation die schlechtesten möglichen Witterungsbedingungen angenommen (**siehe Kapitel 3.2.1**). Somit stellen die N-Abschläge minimale Werte der anrechenbaren N-Nachlieferung während der Vegetationsperiode dar, da die Mineralisationsbedingungen und damit die tatsächliche N-Freisetzung i.d.R. deutlich besser sind.

Die niedrigste N<sub>t</sub>-Klasse (N<sub>t</sub>  $\geq 0,25$ ) entspricht einem Humusgehalt von 4 bis 8 %, die höchste N<sub>t</sub>-Klasse (N<sub>t</sub>  $\geq 0,45$ ) einem Humusgehalt von 8 bis 16 %.

**Tab. 7: Weitergehende N-Düngeabschläge vom N-Bedarfswert für Silomais in Abhängigkeit des Gesamt-N-Gehalts (N<sub>t</sub>) des Bodens (0 bis 30 cm) (SPRINGOB, verändert)**

N <sub>t</sub> [%]	$\geq 0,25$	$\geq 0,30$	$\geq 0,35$	$\geq 0,40$	$\geq 0,45$
N-Abschlag [kg N/ha]	20	30	40	50	60

## 6.2 Praktische Umsetzung des N<sub>t</sub>-Konzeptes in Düngeplanungsprogrammen

Mit der DüV vom 26. Mai 2017 (BMEL 2017) ist gem. § 4 „Ermittlung des Düngebedarfes an Stickstoff und Phosphat“ für Ackerland der N-Düngebedarf als standortbezogene Obergrenze auf Grundlage der N-Bedarfswert-Methode zu ermitteln. Ausgehend von dem kulturspezifischen, ertragsabhängigen N-Bedarfswert sind N-Düngeabschläge vorzunehmen, z.B. für die pflanzenverfügbare N-Menge im Boden zu Vegetationsbeginn (N<sub>min</sub>) oder die während der Vegetationsperiode zusätzlich pflanzenverfügbar werdende N-Menge im Boden als Ergebnis der Standortbedingungen. Letzteres bedeutet für humusreiche Schläge mit einem Humusgehalt von  $> 4\%$  einen zusätzlichen N-Düngeabschlag vom N-Bedarfswert von mindestens 20 kg N/ha auf Grund der erhöhten N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat.

Gegenwärtig führt die Düngeplanung nach der N-Bedarfswert-Methode gem. DüV vom 26. Mai 2017 (BMEL 2017) bei humusreichen Böden zu einer zu hohen N-Düngung, da der pauschal angesetzte N-Mindestdüngeabschlag von 20 kg N/ha deutlich zu gering ist. Die Erkenntnisse der durchgeführten M+P-Vorhaben legen den Schluss nahe, dass für sehr stark humose Böden, z.B. Anmoorböden über 15 % Humusgehalt oder nach einem Grünlandumbruch ein N-Düngeabschlag von deutlich mehr als 20 kg N/ha vorzunehmen ist (siehe Kapitel 3). Eine verbindliche Staffelung der N-Mindestdüngeabschläge, die eigentlich für Standorte mit höheren Humusgehalten von z.B. 8 %, 12 % etc. erforderlich wäre, fehlt in der zurzeit geltenden DüV vom 26. Mai 2017 (BMEL 2017) vollständig.

Aus Sicht des Grundwasserschutzes sind aber gerade diese humosen von Natur aus stickstoffreichen Böden sehr problematisch, da der bewirtschaftungsbedingt ausgelöste Humusabbau i.d.R. zu hohen Stickstoffeinträgen in die Gewässer (Grundwasser und Oberflächengewässer) führt.

Die durchgeführten M+P-Vorhaben haben nicht nur eindeutig gezeigt, welche i.d.R. großen N-Mengen auf humusreichen Standorten während der Vegetationsperiode aus dem Boden pflanzenverfügbar werden, sondern auch, dass es für Silomais möglich war, Verfahren zu entwickeln, die nach objektiven und nachvollziehbaren Kriterien höhere N-Düngeabschläge auf Basis des N<sub>t</sub>-Gehaltes im Oberboden (0 bis 30 cm) ermöglichen.

Aufgrund der systematischen Herleitung (**siehe Kapitel 3**) ist es grundsätzlich möglich, sowohl Funktionsgleichungen, als auch feste Klassen (**siehe Kapitel 3.2.1**) in Düngeplanungsprogrammen zu hinterlegen, sodass nach Eingabe eines standortspezifischen N<sub>t</sub>-Gehaltes der entsprechende Humusabschlag bei der Düngebedarfsermittlung zu Silomais berücksichtigt wird.

Für das Beispiel in **Tab. 8** würde sich für einen Standort mit einem Humusgehalt von 14 % und einem N<sub>t</sub>-Gehalt von 0,42 % im Oberboden (0 bis 30 cm) nach dem N<sub>t</sub>-Konzept ein N-Düngebedarf von 100 kg N/ha ergeben und damit ein um 30 kg N/ha höherer N-Düngeabschlag im Vergleich zum N-Mindestdüngeabschlag der DüV vom 26. Mai 2017 (BMEL 2017).

	N-Abschläge	
	gem. DüV	gem. N <sub>t</sub> -Konzept
Ertragserwartung [dt/ha]	450	450
N-Bedarfswert [kg N/ha]	200	200
N <sub>min</sub> 0 bis 90 cm [kg N/ha]	-38	-38
Org. Düngung Vorjahr [kg N/ha]	-12	-12
Humusabschlag [kg N/ha]	-20	-50
N-Düngebedarf [kg N/ha]	130	100

**Tab. 8: Einzelschlagbezogene N-Düngebedarfsermittlung zu Silomais nach der N-Bedarfswert-Methode für einen Standort mit einem Humusgehalt von 14 % und einem N<sub>t</sub>-Gehalt von 0,42 % im Oberboden (0 bis 30 cm) (INGUS)**

Bei dem N<sub>t</sub>-Konzept handelt es sich trotz des konservativen Ansatzes um ein Planungsinstrument, um bei der Düngeplanung die erhöhte N-Mineralisation humusreicher Ackerstandorte genauer berücksichtigen zu können. Es empfiehlt sich daher, humusreiche Ackerstandorte mit weitergehenden N-Düngeabschlägen mit einer vegetationsbegleitenden Düngeberatung (**siehe Kapitel 6.3**) zu begleiten. Über die vegetationsbegleitende Düngeberatung kann die Düngeplanung überprüft und der tatsächlich während der Vegetation pflanzenverfügbare Stickstoff im Boden bestimmt werden.

### 6.3 Vegetationsbegleitende Methoden zur Ermittlung des tatsächlichen N-Düngebedarfes

Hauptziel der vegetationsbegleitenden Düngeberatung zu Vegetationsbeginn ist die möglichst exakte Anpassung des geplanten N-Düngebedarfes an den tatsächlichen N-Bedarf der Kultur im Anbaujahr. Hierdurch können die zuvor ermittelten N-Düngeabschläge zu Silomais für humusreiche Standorte nach dem N<sub>t</sub>-Konzept fortlaufend überprüft und ggf. noch höhere Düngeabschläge vorgenommen werden.

Die vegetationsbegleitende N-Düngeberatung ermöglicht eine Berücksichtigung der tatsächlich zur Verfügung

stehenden N-Bodenvorräte. Ausgangspunkt zur Bemessung der N-Düngegaben ist die Ermittlung des aktuellen Nährstoff-Versorgungszustandes. Hierfür haben sich zur vegetationsbegleitenden, exakten Ermittlung des tatsächlichen N-Düngebedarfes zu Silomais neben der Spätfrühjahrs-N<sub>min</sub>-Methode, die Nitrachek-Methode sowie die Hydro-N-Tester-(Chlorophyll)-Methode als sehr geeignet erwiesen. Ausführliche Informationen zu den genannten vegetationsbegleitenden Feldmethoden finden sich im „Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz“ (NLWKN 2015).

#### **Zusammenfassung 12 – N<sub>t</sub>-Konzept in der Düngeberatung für Silomais:**

- Für die praktische Düngeberatung wird das landesweite N<sub>t</sub>-Konzept mit fünf festen N<sub>t</sub>-Abschlagsklassen zur Ermittlung von N-Düngeabschlägen für Silomais empfohlen.
- Bei dem N<sub>t</sub>-Konzept handelt es sich um das Verfahren mit den geringsten N-Düngeabschlägen.
- Das N<sub>t</sub>-Konzept mit den fünf festen N<sub>t</sub>-Abschlagsklassen ist das Verfahren mit der höchsten Ertragssicherheit, d.h. mit der höchsten Wahrscheinlichkeit, dass keine negativen Ertragseffekte aufgrund einer unzureichenden N-Düngung auftreten.
- Das empfohlene N<sub>t</sub>-Konzept wird in Niedersachsen bereits aktuell auf Standorten mit Humusgehalten von  $\geq 4\%$  und einem C/N-Verhältnis  $< 20$  durch die Gewässerschutzberatung angewendet.
- Auf Basis des N<sub>t</sub>-Gehaltes im Oberboden (0 bis 30 cm) werden weitergehende N-Düngeabschläge von 20 kg N/ha ( $N_t \geq 0,25\%$ ) bis maximal 60 kg N/ha ( $N_t \geq 0,45\%$ ) empfohlen.
- Die niedrigste N<sub>t</sub>-Klasse ( $N_t \geq 0,25\%$ ) entspricht einem Humusgehalt von 4 bis 8 %, die höchste N<sub>t</sub>-Klasse ( $N_t \geq 0,45\%$ ) einem Humusgehalt von 8 bis 16 %.
- Für die Berücksichtigung des tatsächlich in der Vegetationsperiode pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden wurde mit dem N<sub>t</sub>-Konzept ein Planungsinstrument geschaffen, das durch eine vegetationsbegleitende Düngeberatung ergänzt werden sollte.

## 7 Literaturverzeichnis

ANTONY, F. & REINERT, C. (2003): Grundwasserbelastung unter entwässerten Niedermooren – Ursachen, Wirkungen, Gegenmaßnahmen. TELMA. Band 33, Seite 169 bis 177.

BGR (2005) Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbesserte u. erweiterte Auflage. Hannover. ISBN 978-3-510-95920-4.

BMEL (2012) Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmitteln nach Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV) vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), zuletzt geändert am 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212).

BMEL (2017) Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmitteln nach Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV) vom 26. Mai 2017 (Bl. I S. 1305).

ENO, C.F. (1960): Nitrate Production in the Field by Incubating the Soil in Polyethylene Bags. Soil Science Society of America Journal. Vol. 24 Nr. 4, Seite 277 bis 279.

KERSEBAUM, K.C. (1989): Die Simulation der Stickstoff-Dynamik von Ackerböden. Dissertation Universität Hannover.

## 8 Weiterführende Literatur

JENKINSON, D.S. (1990): The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. Philosophical transactions of the Royal Society B. 329. Seite 361 bis 368.

KÖRSCHENS, M. (1996): Möglichkeiten und Grenzen einer Humusanreicherung von Sandböden. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 79, Seite 231 bis 234.

SPRINGOB, G. & MOHNKE, M. (1995) Winterliche N-Mineralisation in sandigen Böden des 'Fuhrberger Feldes' (Hannover). Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 158, Seite 243 bis 249.

SPRINGOB, G., BRINKMANN, S., ENGEL, N., KIRCHMANN, H. & BÖTTCHER, J. (2001): Organic carbon levels of Ap horizons in North German pleistocene sands as influenced by climate, texture and history of land use. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 164, Seite 681 bis 690.

LBEG (2009): GeoBerichte 15 - Leitfaden für hydrogeologische und bodenkundliche Fachgutachten bei Wasserrechtsverfahren in Niedersachsen.

LBEG (2015): GeoBerichte 33 - Kohlenstoffreiche Böden auf Basis hochauflösender Bodendaten in Niedersachsen.

LBEG (2017): Die neue Bodenkarte von Niedersachsen – Bodenwissen vom Harz bis zur Nordsee. LBEG-Flyer.

NLWKN (2015): Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz – Grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft und Methoden zu ihrer Erfolgskontrolle. Seite 53 bis 59.

SPRINGOB, G. (2010): Modell- und Pilotvorhaben (M&P) - Bewertung des Nitrattrisikos nach Grünlandumbruch auf Basis der Humusvorräte und -qualitäten - Hier: Für das WSG Fuhrberger Feld - N<sub>fair</sub>-Konzept (unveröffentlicht).

SPRINGOB, G. (2013): Modell- und Pilotvorhaben (M&P) - Ermittlung und praxisgerechte Schematisierung der N-Mineralisation auf N-Quellstandorten zur bedarfsgerechten Reduktion der N-Düngung im Maisanbau (unveröffentlicht).

SPRINGOB, G. & KIRCHMANN, H. (2002): Crich sandy Ap horizons of specific historical landuse contain large fractions of refractory organic matter. Soil Biology & Biochemistry 34, Seite 1571 bis 1581.

SPRINGOB, G. & KIRCHMANN, H. (2003): Bulk soil C to N ratio as a simple measure of net N mineralization. Soil Biology & Biochemistry 34, Seite 1571 bis 1581.

SPRINGOB, G. & KIRCHMANN, H. (2009): C to N ratios quantify non-texture stabilised organic C in sandy soils. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 173. Seite 16 bis 18.

STREBEL, O., BÖTTCHER, J., EBERLE, M. & ALDAG, R. (1988): Quantitative und qualitative Veränderungen im A-Horizont von Sandböden nach Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 151, Seite 341 bis 347.





