

## **Methodik Basis-Emissionsmonitoring:**

# **Berechnung der Stickstoff-Flächenbilanzen und der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser**

Stand: September 2015

## **Kurzfassung**

Dr. W. Schäfer  
Dr. H. Höper  
Dr. A. Fier  
A. Thiermann

## **Inhalt**

|            |   |          |
|------------|---|----------|
| <b>1</b>   | <b>Einleitung</b> .....   | <b>2</b> |
| <b>2</b>   | <b>Vorgehen</b> .....   | <b>2</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Berechnung der Stickstoff-Flächenbilanzen</b> .....                        | <b>3</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Abschätzung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser</b> ..... | <b>5</b> |
| 2.2.1      | N-Überschuss im Boden .....   | 6        |
| 2.2.2      | N-Austrag aus dem Boden .....   | 7        |
| 2.2.3      | Potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser .....                         | 7        |
| <b>3</b>   | <b>Literatur</b> .....  | <b>8</b> |

## 1 Einleitung

Das Basis-Emissionsmonitoring ist ein Instrument, um flächendeckend für Niedersachsen mit einer standardisierten Methodik den Nitrataustrag mit dem Sickerwasser auf Landesebene abzuschätzen.

Die im Rahmen des Basis-Emissionsmonitorings berechnete potenzielle Nitratkonzentration dient der Abschätzung der Sickerwassergüte an der Untergrenze des Wurzelraumes und wird neben den gemessenen Nitratwerten der Grundwassermessstellen zur Gefährdungsabschätzung und Bewertung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper gemäß EG-WRRL herangezogen.

Eine wichtige Grundlage zur Berechnung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser ist die Stickstoffemission aus der Landwirtschaft. Um diese zu quantifizieren, wird ein Flächenbilanzmodell verwendet, das am Johann Heinrich von Thünen-Institut entwickelt und an die regionalen Bedingungen in Niedersachsen angepasst ist. Das Ergebnis sind Stickstoff-Flächenbilanzen auf Gemeindeebene, die mit jedem Erscheinen der Landwirtschaftszählung bzw. Agrarstrukturerhebung neu berechnet werden können (alle 3 bis 4 Jahre).

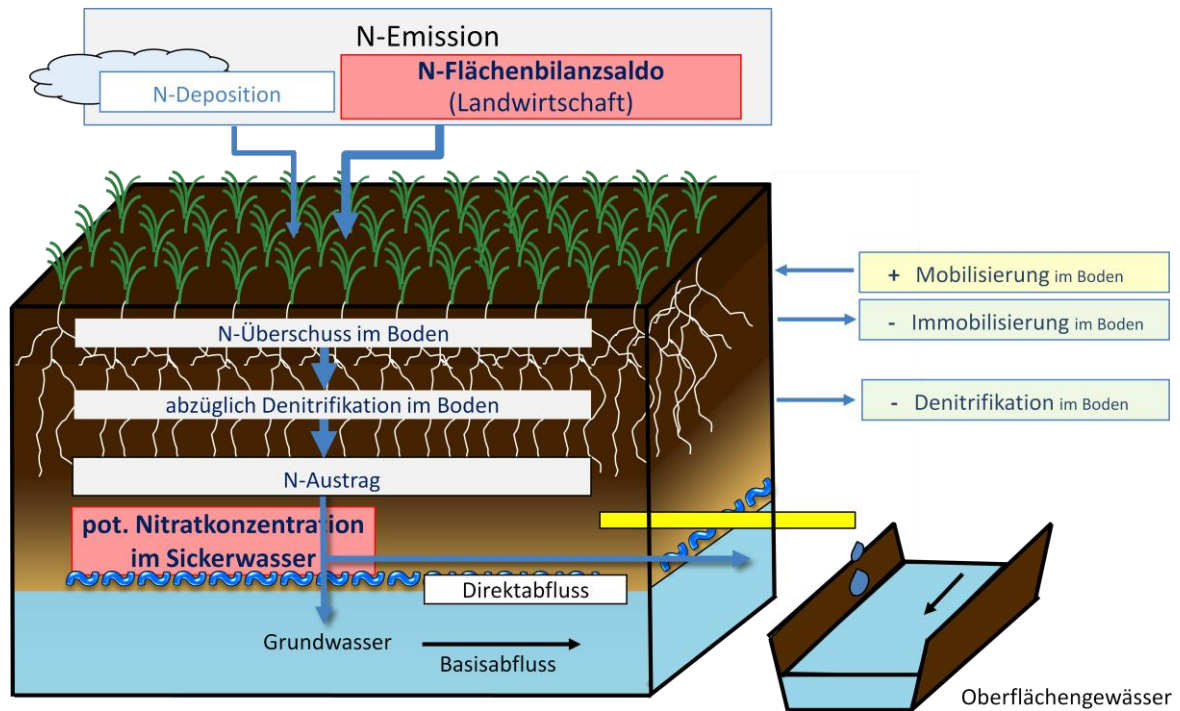
*Zu beachten ist, dass die in die N-Flächenbilanz eingeflossenen Daten der Agrarstatistik zu Tierzahlen und Flächennutzung nach dem Betriebsprinzip erhoben wurden und somit räumliche Verschiebungen möglich sind.*

*Bei der landesweit ermittelten potenziellen Nitratkonzentration ist zu beachten, dass die Werte aufgrund der niedersachsenweit verfügbaren Eingangsdaten nicht für eine schlaggenaue Bewertung geeignet sind.*

## 2 Vorgehen

In Abbildung 1 ist eine vereinfachte Übersicht des Basis-Emissionsmonitorings mit den Eingangsparametern dargestellt. Neben der atmosphärischen N-Deposition, der Landnutzung, der zusätzlichen N-Mobilisierung bzw. Immobilisierung im Boden, dem Nitratabbau im Boden (Denitrifikation) sowie der Sickerwassermenge ist die Stickstoffemission aus der Landwirtschaft (N-Flächenbilanzsaldo) die wichtigste Eingangsinformation für die Berechnung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser. Diese beiden Hauptelemente des Basis-Emissionsmonitorings sind rot markiert.

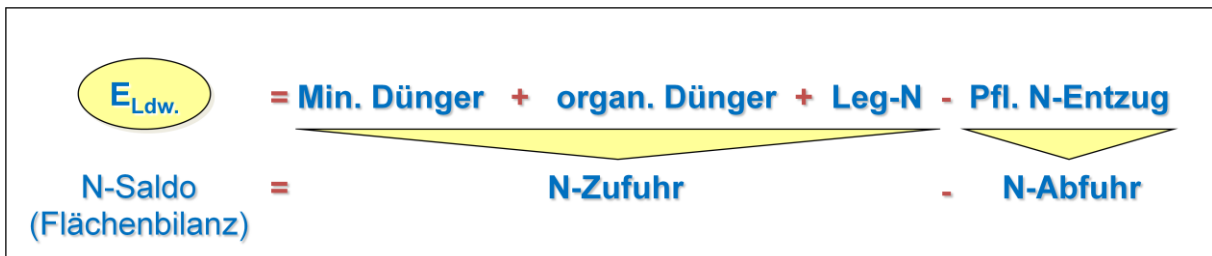
Die Summe aus N-Flächenbilanzsaldo und atmosphärischer Deposition bildet die **N-Emission**. Zusätzlich werden Stickstofffreisetzungs- und Stickstofffestlegungsprozesse im Boden berücksichtigt und somit der **Stickstoffeintrag in den Boden (N-Überschuss)** ermittelt. Unter anaeroben Bedingungen kann ein Teil des Nitrats durch mikrobielle Umsetzungsprozesse im Unterboden wieder abgebaut werden (Denitrifikation), es ergibt sich ein **potenzieller N-Austrag**. Unter Berücksichtigung der Sickerwassermenge errechnet sich daraus die **potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser**.



**Abb. 1: Vereinfachte Darstellung des Basis-Emissionsmonitorings**

## 2.1 Berechnung der Stickstoff-Flächenbilanz

Abbildung 2 zeigt eine vereinfachte Darstellung der Berechnung der Stickstoff-Emission aus der Landwirtschaft. Mit Hilfe der N-Flächenbilanz werden die zu- und abgeführten Nährstoffmengen einander gegenübergestellt.



**Abb. 2: N-Flächenbilanz in der Landwirtschaft**

Tabelle 1 und 2 zeigen die Datengrundlagen und Berechnungsschritte der N-Flächenbilanz. Das sich ergebende N-Flächenbilanzsaldo wird in [kg N/ha\*a] bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche ohne Stilllegungsflächen auf Gemeindeebene ausgegeben.

**Tab. 1: Datengrundlagen der N- Flächenbilanz**

| Eingangsdaten   | Quelle  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebsgruppen</li> <li>• Tierzahlen (Gemeindeebene)</li> <li>• Anbauverhältnis (Gemeindeebene)</li> <li>• Ernteerträge der Feldfrüchte (Kreisebene)</li> <li>• Milchleistung (Kreisebene bis 2007, Landesebene ab 2010)</li> </ul> | Amtliche Statistik des Landesbetriebes für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen                        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mineraldüngermenge (Land)</li> <li>• Sekundärrohstoffdünger (Land)</li> </ul>  | Statistisches Bundesamt (Destatis)  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• N-Gehalte im Haupternteget</li> <li>• N-Anfall pro Stallplatz</li> <li>• Faktoren für Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste</li> <li>• N-Fixierung durch Leguminosen</li> <li>• GV-Schlüssel (Großvieheinheiten)</li> </ul>    | Richtwerte nach Düngeverordnung, Faustzahlen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen und des KTBL (Schmidt et al. 2007) |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• N-Gehalte Sekundärrohstoffdünger</li> <li>• N-Fixierung von Leguminosen</li> </ul>   | Schätzgrößen (Schmidt et al. 2007)  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodenklimazahl</li> </ul>  | Thünen-Institut   |

**Tab. 2: Berechnungsschritte der N-Flächenbilanz**

| N-Zufuhr  | N-Abfuhr   |
|---|--|
| <p>1) organische Düngung tierischer Herkunft<br/>Berechnet aus: N-Ausscheidung (Milchkühe unter Berücksichtigung der Milchleistung, alle anderen Tiere aus Anzahl und N-Anfall pro Stallplatz) abzüglich NH<sub>3</sub>-Verluste Stall/Lagerung/Ausbringung; Berücksichtigung der Wirtschaftsdüngerim- und exporte</p> <p style="text-align: center;">+</p> <p>2) Legume N-Bindung<br/>Anbaufläche Leguminosen x legume N-Bindung abzüglich NH<sub>3</sub>-Verluste (1 % der legumen N-Bindung)</p> <p style="text-align: center;">+</p> <p>3) Sekundärrohstoffdünger<br/>Menge (Kompost, Klärschlamm) x N-Gehalt; wird anteilig auf alle Gemeinden verteilt</p> <p style="text-align: center;">+</p> <p>4) Mineraldüngereinsatz<br/>Empirische Formel, beinhaltet: N-Abfuhr Raufutter, N-Abfuhr Marktfrucht, Mehrbedarfskoeffizient, legume N-Bindung, Viehbesatz, Koeffizienten für N aus Rinderhaltung/Schweinehaltung/sonstige Tiere, Bodenklimazahl; Korrektur der berechneten Menge um die statistische Absatzmenge</p> | <p>1) N-Abfuhr Raufutter (Feldgras, Klee gras, Silomais, Luzerne, Futterrüben, Grünland)<br/>Berechnet aus: N-Ausscheidung pro Stallplatz (Raufutterfresser) + (Verkauf Milch und Fleisch x N-Gehalt) – (Verbrauch von Kraftfutter x N-Gehalt)</p> <p style="text-align: center;">+</p> <p>2) N-Abfuhr Marktfrüchte (incl. Biogasmais)<br/>Berechnet aus: Ernteertrag Marktfrucht x N-Gehalt Marktfrucht x Anbaufläche Marktfrucht</p> |
| <b>N-Flächenbilanzsaldo [kg N/ha*a] = N-Zufuhr – N-Abfuhr</b>   |  |

Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Berechnungsschritte findet sich in Schmidt et al. (2007) und auch in Osterburg & Schmidt (2008). Für die unter Punkt 2.2 aufgeführten Auswertungen wird das N-Flächenbilanzsaldo auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche inklusive der Stilllegungsflächen umgerechnet.

Ab 2007 wird auch der Anbau von Pflanzen für Biogasanlagen in der N-Flächenbilanz mit berücksichtigt, 2007 nur Biogasmais und 2010 Biogasmais und Getreide zur Ganzpflanzenernte. Da die amtliche Statistik in Niedersachsen nicht zwischen Silomais für Raufutterfresser und Silomais für Biogasanlagen unterscheidet, liegen keine Angaben zur Anbaufläche von Biogasmais vor. Um die Fläche abschätzen zu können, wird postuliert, dass die seit 2003 hinzugekommene Silomaisanbaufläche dem Biogasmais zuzuordnen ist. Da eine Zu- oder Abnahme des Rindviehbestandes ebenfalls eine Veränderung der Silomaisanbaufläche zur Folge hat, wird eine Korrektur der Anbaufläche über die Großvieheinheiten vorgenommen.

Die mit dem Biogasmais bzw. der Ganzpflanzensilage abgefahrene Stickstoffmenge kehrt als organischer Dünger unter Berücksichtigung von 15 % Ammoniakverlusten auf die Flächen für Energiepflanzen zurück. Die Menge an eingesetztem Mineraldünger ergibt sich aus dem Düngebedarf<sup>1</sup> abzüglich der organischen Düngung. Bei der organischen Düngung wird der Gesamtstickstoff zu 60 % angerechnet, da dieser Anteil sofort pflanzenverfügbar ist (Matuschek et al. 2012).

- Mineralische Düngung = N-Abfuhr – org. Düngung (N-Abfuhr x 0,85) x 0,6 (Anrechenbarkeit)

## 2.2 Abschätzung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser

Zur Abschätzung der landesweiten potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser werden folgende Eingangsgrößen herangezogen:

- N-Flächenbilanzsaldo in kg N/ha\*a bezogen auf die landwirtschaftliche Fläche mit Stilllegung (siehe Punkt 2.1)
- Atmosphärische N-Deposition
- zusätzliche N-Mobilisierung und N-Immobilisierung im Boden
- ATKIS-Landnutzung
- Denitrifikationspotenzial des Bodens (DENUZ) nach Bodentyp (BÜK50)
- Verweilzeit im Boden berechnet aus nFKWe und Qges (GROWA)
- Gesamtabfluss (nach Wasserhaushaltsmodell GROWA06, Version 2)

Es werden nacheinander folgende Kenngrößen ermittelt (vergl. Abb.1):

- N-Überschuss im Boden: Summe aller (landnutzungsspezifischen) N-Einträge (Landwirtschaft, atm. Deposition) zuzüglich Stickstofffreisetzung aus dem Boden abzüglich Stickstofffestlegung (N-Immobilisierung) im System Boden Pflanze. Dies ist somit die potenziell verlagerbare Stickstoffmenge im Boden. (Das FZ Jülich verwendet hier den Ausdruck „Verlagerbare Nitrat-N-Menge im Boden“)

---

<sup>1</sup> Hier wird ein Mehrbedarfsfaktor von 1 angenommen, so dass der Düngebedarf der N-Abfuhr entspricht.

- N-Austrag aus dem Boden: Dies ist die Stickstoffmenge (Fracht), die mit dem Sickerwasser aus dem Boden in benachbarte Kompartimente (Grundwasserkörper, Oberflächengewässer) abgegeben wird, nachdem ein Teil des N-Überschusses durch Denitrifikation im Boden abgebaut worden ist. Sie ergibt sich somit aus der Differenz aus N-Überschuss im Boden und Denitrifikation im Boden.
- Potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser: Dies ist die Nitratkonzentration die sich aus dem N-Austrag (Fracht) und dem Gesamtabfluss am Standort rechnerisch für das Sickerwasser ergibt.

Im Folgenden werden die einzelnen Berechnungsschritte erläutert.

### 2.2.1 N-Überschuss im Boden

Auf Grundlage der ATKIS-Landnutzungskarte werden niedersachsenweit vier Nutzungskategorien unterschieden: Acker, Grünland, Wald und sonstige Flächen. Die Acker und Grünlandflächen werden mit dem unter Kapitel 2.1 erläuterten N-Flächenbilanzsaldo verschnitten.

Für die Landnutzung Grünland wird zur Berücksichtigung eines geringeren Austragsrisikos der empirisch abgeleitete Korrekturfaktor (Grünlandfaktor) 0,43 angesetzt (Wienhaus et al., 2008).

Eine zusätzliche N-Mobilisierung aus dem Boden durch die Ausweitung des Maisanbaus (für die Nutzung in Biogasanlagen) sowie durch den Umbruch von Grünland wird in die Berechnung einbezogen.

Für den, wie in Kap. 2.1 beschrieben, ermittelten Flächenanteil, auf dem im Jahr 2010 Energiemais angebaut wird, wird eine zusätzliche N-Mobilisierung von 30 kg N/ha\*a angenommen. Grundlage für diese Annahme sind Ergebnisse einer Literaturlauswertung u.a. zu Dauerfeldversuchen, wonach Flächen mit dauerhaftem Maisanbau etwa 7 % weniger Humus aufweisen als Flächen mit einem höheren Getreideanteil. Bei einem N-Vorrat im Oberboden von 4000 kg N/ha entsprechen 7 % rund 300 kg N, die über 10 Jahre durch den Abbau der organischen Substanz freigesetzt werden (Höper und Schäfer, 2012).

Der Anteil der umgebrochenen Grünlandfläche wird ebenfalls aus der Agrarstatistik abgeleitet. Die Veränderung der Landwirtschaftlichen Fläche (LF) in den Erhebungsjahren 2003 zu 2007 sowie 2007 zu 2010 wird anteilig auf die Acker- und Grünlandfläche übertragen und mit der tatsächlichen Veränderung der Acker- und Grünlandflächen in ha verrechnet. Bei Umwandlung von Grünland in Acker wird eine zusätzliche Mobilisierung von 200 kg N/ha\*a angenommen<sup>2</sup>. Bei Umwandlung von Acker in Grünland wird eine Immobilisierung von 80 kg N/ha\*a berücksichtigt.

Desweiteren wird die atmosphärische Deposition berücksichtigt. Die Werte werden aus einem UBA Forschungsprojekt übernommen (Bultjes et al., 2011). Auf Bundesebene wurde die landnutzungsspezifische Deposition für die Jahre 2004 bis

---

<sup>2</sup> Annahme: Ein N-Vorrat von Grünland mit ca. 6000 kg/ha/30 cm verringert sich um ca. 30 %, also um 2000 kg, wobei die Abnahme vor allem in den ersten 10 Jahren stattfindet. Für die N-Festlegung nach Wiederansaat von Grünland wurde auf die Formel von Poeplau et al. (2011) zurückgegriffen, wonach sich die prozentuale Zunahme des Humusvorrates wie folgt ergibt:  $176,08 \cdot (1 - \text{EXP}(-\text{Jahr}/76,16))$ . Nach 10 Jahren ergibt sich eine Zunahme um 20 %, entsprechend 800 kg N bei einem Ausgangsvorrat von 4000 kg N.

2007 ermittelt. Für diese Auswertungen werden für jede Landnutzung die Mittelwerte der Gesamtstickstoffdeposition über die Jahre 2004 - 2007 berechnet und den jeweiligen ATKIS-Flächen zugewiesen.

Für Forstflächen wird eine konstante N-Immobilisierung, als Summe aus N-Immobilisierung im Boden und im jährlichen Zuwachs, von 20 kg N/ha\*a angenommen.

Durch Addition aller Komponenten wird der N-Überschuss (die potenziell verlagerbare N-Menge im Boden) ermittelt:

- N-Überschuss = Landwirtschaftlicher N-Flächenbilanzsaldo + N-Deposition + N-Freisetzung aus dem Boden – N-Immobilisierung im Boden (und Baumbestand)

Landnutzungsspezifisch ergeben sich somit folgende Formeln für den N-Überschuss im Boden in kg N/ha\*a:

- Acker: N-Flächenbilanzsaldo + N-Deposition + N-Freisetzung (Biogasmais) + N-Freisetzung (Grünlandumbruch)
- Grünland: (N-Flächenbilanzsaldo + N-Deposition - N-Festlegung (Konversion Acker zu Grünland)) × 0,43
- Wald: N-Deposition – 20 kg N/ha\*a
- Sonstige: N-Deposition

### 2.2.2 N-Austrag aus dem Boden

Durch mikrobielle Umsetzungsprozesse im Boden wird unter anaeroben Bedingungen ein Teil des Nitrats wieder in Luftstickstoff (z.T. Lachgas) umgesetzt. Daher muss vom potenziellen N-Austrag noch der N-Verlust durch Denitrifikation im Boden abgezogen werden. Die Denitrifikationsrate unter Berücksichtigung der bodentypspezifischen, maximalen Denitrifikationsrate nach Wienhaus et al. (2008), der Verweilzeit im Boden und der Stickstoffüberschüsse über eine Michaelis-Menten-Kinetik berechnet.

Vereinfacht werden folgende Formeln verwendet:

- N-Austrag aus dem Boden = N-Überschuss – Denitrifikation (Boden)
- Denitrifikation (Boden) = potenzielle Denitrifikationsrate \* Verweilzeit (ungesättigte Zone) / mittlere Verweilzeit (ungesättigte Zone) aller Böden der gleichen Denitrifikationsstufe

### 2.2.3 Potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser

Zur Berechnung der potenziellen Nitratkonzentration (NO<sub>3</sub>) im Sickerwasser wird der mittlere jährliche Gesamtabfluss benötigt. Er wird mit Hilfe des Wasserhaushaltsmodells GROWA06 Version 2 (Wendland et al., 2003) ermittelt und ergibt sich aus der Differenz von langjährigem Niederschlag und Verdunstung (bisher 1961-1990). Der Quotient aus dem N-Austrag und dem Gesamtabfluss ergibt die potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser, die wie folgt ermittelt wird:

- potenzielle NO<sub>3</sub>-Konzentration [mg/l] = (N-Austrag / Gesamtabfluss) × 443

Im Hinblick auf pfadbezogene Frachtenbetrachtungen wird der Gesamtabfluss in die Komponenten Direktabfluss (Oberflächen-, Zwischen- und Dränabfluss) und Grundwasserneubildung aufgeteilt.

Die beschriebenen Berechnungsschritte werden in Eisele et al. (2008) eingehender erläutert.

### 3 Literatur

Builtjes, P., Banzhaf, S., Gauger, T., Hendriks, E., Kerschbaumer, A., Koenen, M., Nagel, H.-D., Schaap, M., Scheuschner, T., Schlutow, A. (2011): Erfassung, Prognose und Bewertung von Stoffeinträgen und ihren Wirkungen in Deutschland. Zusammenfassender Abschlussbericht. UBA Texte 38/2011: 98 S.

Eisele, M., Kunkel, R., Schmidt, T. (2008): Modellierung des diffusen Nitrateintrags in das Grundwasser für Niedersachsen. Wasser und Abfall : Boden, Altlasten, Umweltrecht, 10,10, 20-25.

Höper, H. Schäfer, W. (2012): Die Bedeutung der organischen Substanz von Mineralböden für den Klimaschutz. Bodenschutz 3/2012, 100-108.

Matuschek et al. (2012): Düngung mit Gärresten zu Wintergetreide, Winterraps und Zuckerrüben. Landwirtschaftskammer Niedersachsen unter <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/341/article/18789.html> am 01.09.2013.

Osterburg, B. & Schmidt, Th. G. (2008): Weiterentwicklung der Berechnung regionaler Stickstoffbilanzen am Beispiel Niedersachsen, Landbauforschung 1/2 2008 (58), 45-58.

Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., van Wesemael, B., Schumacher, J., Gensior, A. (2011): Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach. Global Change Biology 17, 2415-2427.

Schmidt, T. G.; Osterburg, B.; Laggner, A. (2007): Datenauswertung zur Quantifizierung diffuser Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft im Rahmen des Projektes „Integriertes Monitoring des chemischen Zustandes des Grundwassers“ in Niedersachsen – Top-Down-Ansatz mit Daten der Agrarstrukturerhebung 1999 und 2003 und Analyse des Landnutzungswandels. Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie 02/2007 des Instituts für Ländliche Räume (FAL), Braunschweig. Download möglich unter: [http://literatur.vti.bund.de/digbib\\_extern/bitv/zi042559.pdf](http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/bitv/zi042559.pdf)

Wendland, F., Kunkel, R., Tetzlaff, B., Dorhöfer, G. (2003): GIS-based determination of the mean long-term groundwater recharge in Lower Saxony. Environmental Geology, 45, 273-278.

Wienhaus, S.; Höper, H.; Eisele, M.; Meesenburg, H.; Schäfer, W. (2008): Nutzung bodenkundlich-hydrogeologischer Informationen zur Ausweisung von Zielgebieten für den Grundwasserschutz. Landesamt für Bergbau, Geologie und Energie, GeoBerichte 9, 56 S. Download möglich unter: <http://www.lbeg.niedersachsen.de>