

NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER -MODELLANSATZ, DATENGRUNDLAGEN, ERGEBNISSE-

Ralf Kunkel und Frank Wendland

2018-12-13, Düsseldorf

GLIEDERUNG DES VORTRAGS

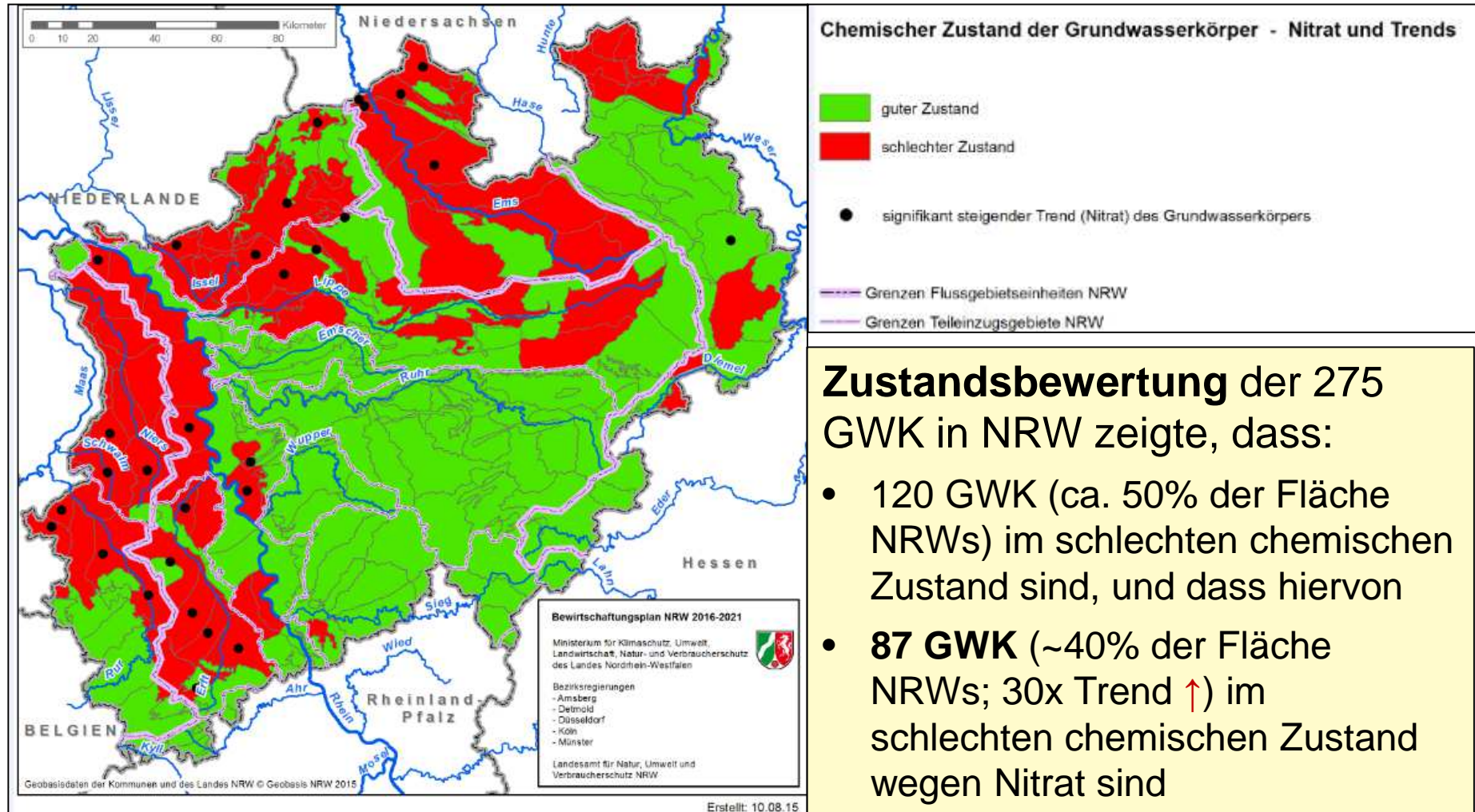


1. Motivation und Zielsetzung
2. Modellansatz
3. N-Quellen zur Modellierung der Nitratkonzentration im Sickerwasser
 - a. *Diffuser N-Austrag aus dem Boden*
(inkl. verwendete Teilergebnisse aus den **GROWA+ NRW 2021** - Teilprojekten 1-4)
 - b. *N-Austrag aus urbanen Systemen und KKA*
4. Modellergebnis Nitratkonzentration im Sickerwasser

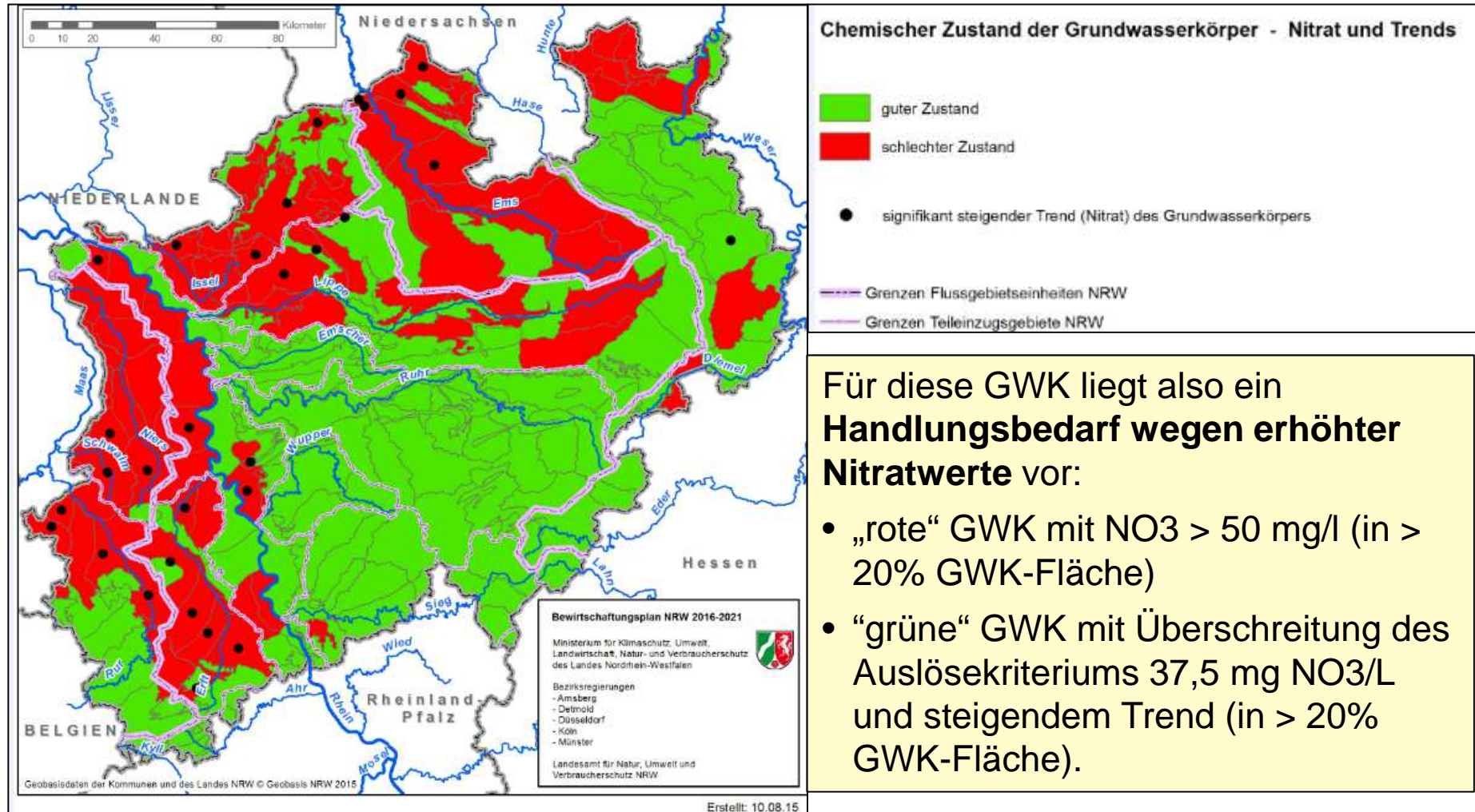
Zahlreiche Datengrundlagen und konzeptionelle Weiterentwicklungen sind Ergebnis der intensiven Zusammenarbeit zwischen LANUV - FZ Jülich – TI – LWK - GD NRW

1. MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

NRW-BEWIRTSCHAFTUNGSPLAN 2016-2021 ZUR UMSETZUNG DER EG-WRRL (GRUNDWASSER)



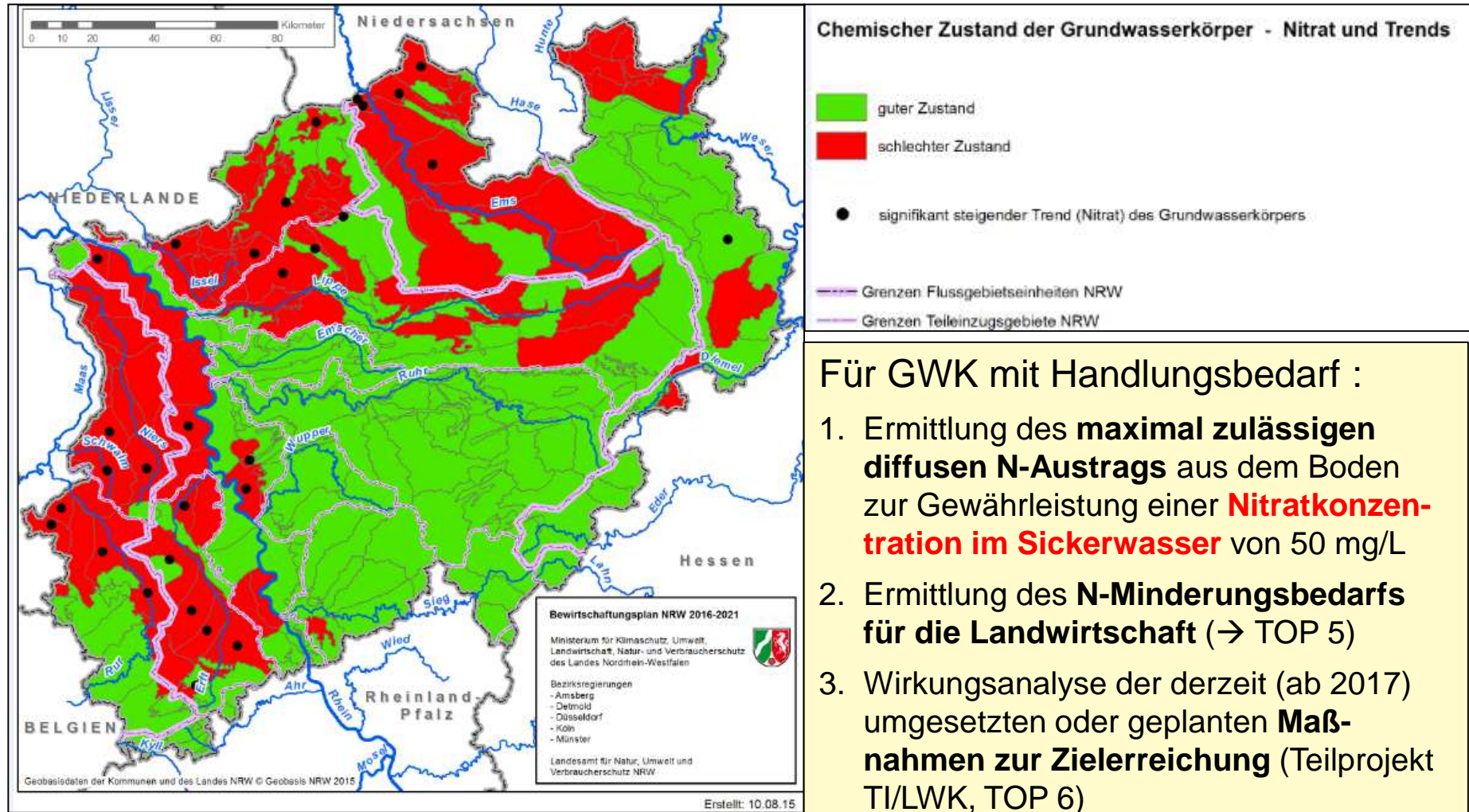
NRW-BEWIRTSCHAFTUNGSPLAN 2016-2021 ZUR UMSETZUNG DER EG-WRRL (GRUNDWASSER)



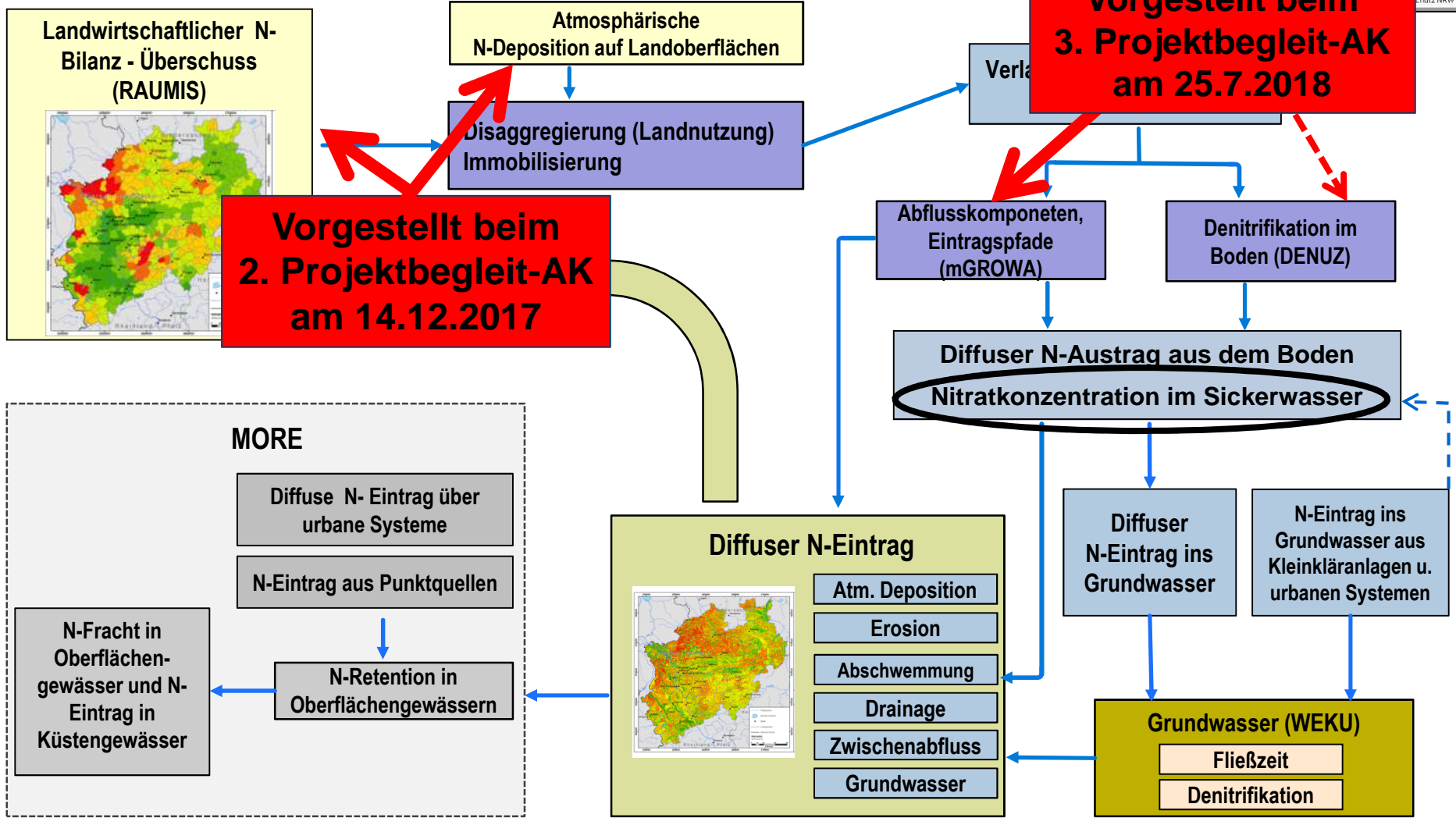
Für diese GWK liegt also ein **Handlungsbedarf wegen erhöhter Nitratwerte** vor:

- „rote“ GWK mit $\text{NO}_3 > 50 \text{ mg/l}$ (in $> 20\%$ GWK-Fläche)
- „grüne“ GWK mit Überschreitung des Auslösekriteriums $37,5 \text{ mg NO}_3/\text{L}$ und steigendem Trend (in $> 20\%$ GWK-Fläche).

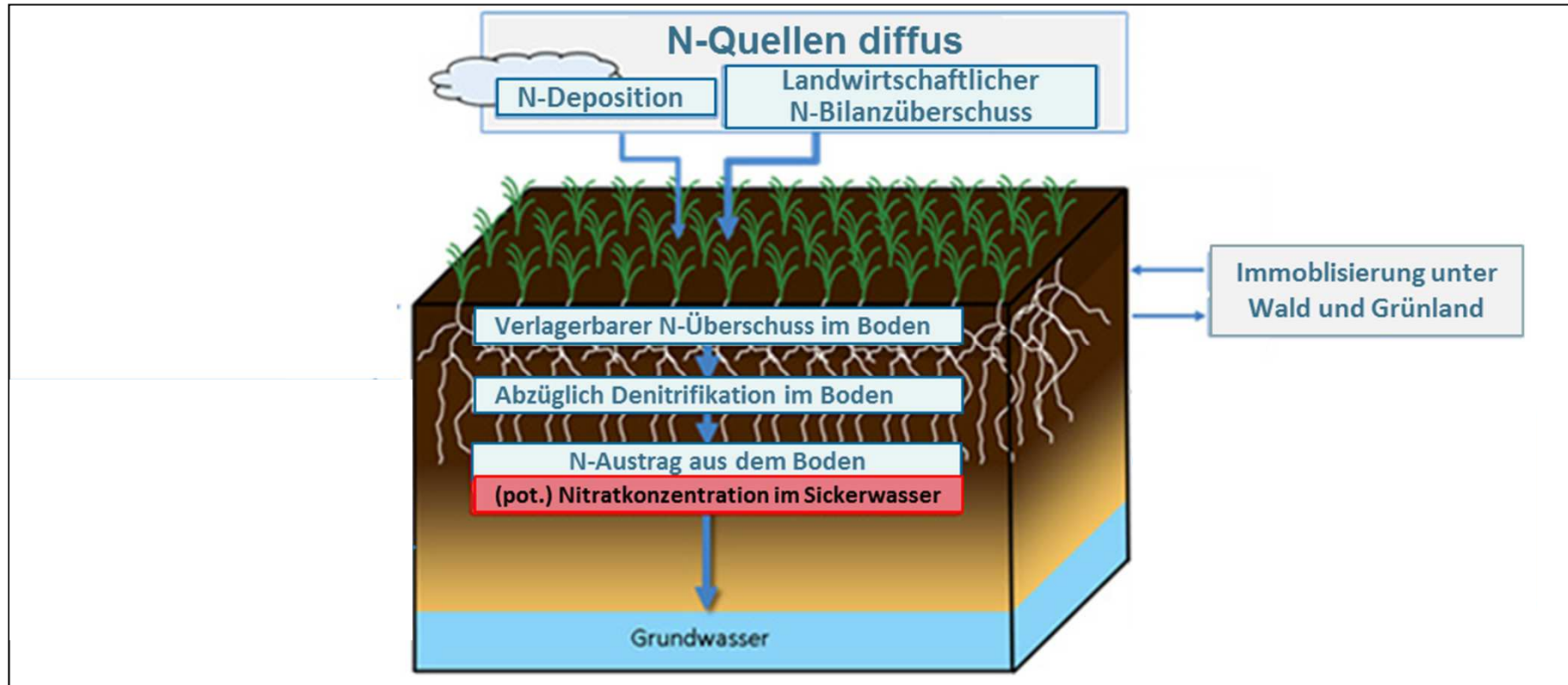
NRW-BEWIRTSCHAFTUNGSPLAN 2016-2021 ZUR UMSETZUNG DER EG-WRRL (GRUNDWASSER)



2. MODELLANSATZ



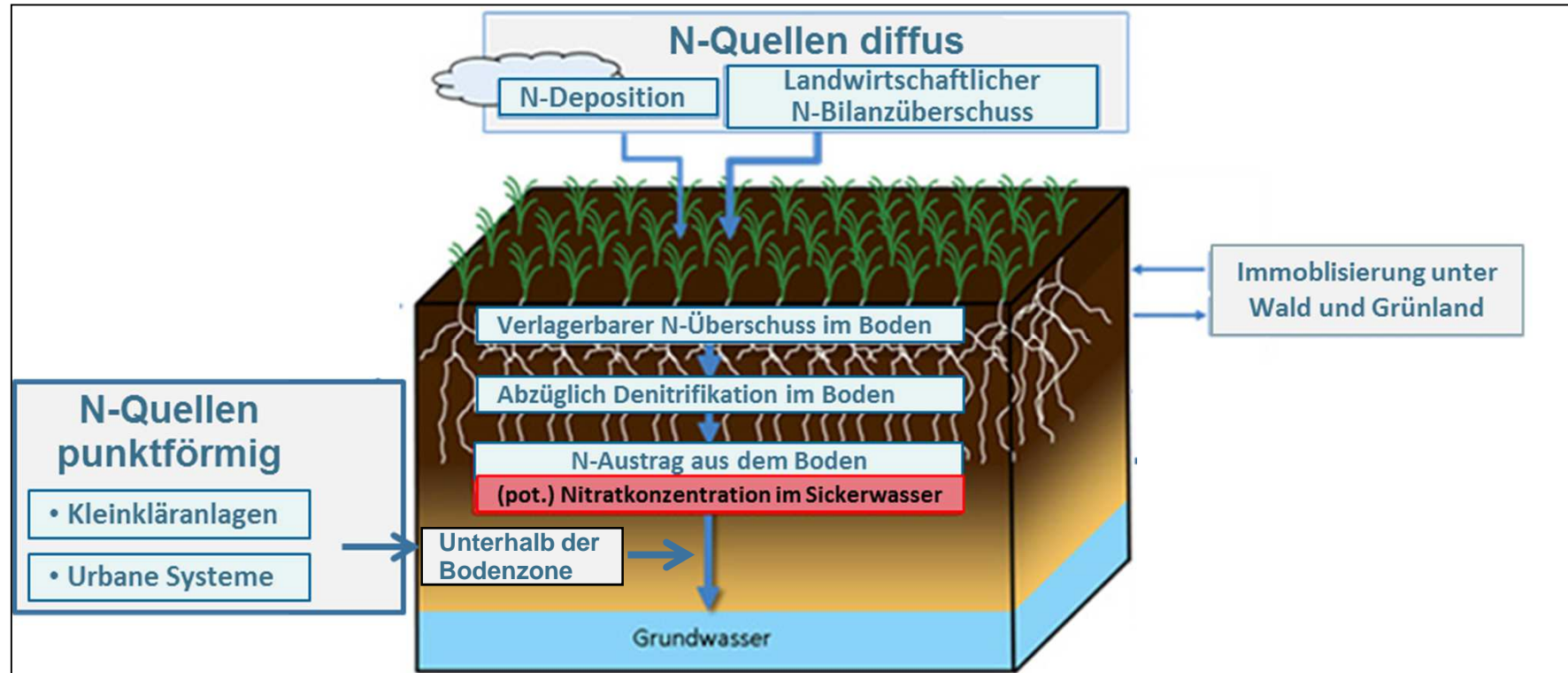
NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER: N-QUELLEN UND DEREN RÄUMLICHER BEZUG



$$C_{NO3} = \frac{443 \cdot d_{Boden}}{Q_{SW}}$$

C_{NO3} :	Nitratkonzentration im Sickerwasser	[mg/l]
Q_{sw} :	(mGROWA-) - Sickerwasserrate	[mm/a]
d_{Boden} :	diffuser N-Austrag aus dem Boden	[kg N/(ha·a)]

NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER: N-QUELLEN UND DEREN RÄUMLICHER BEZUG



$$C_{NO_3} = \frac{443 \cdot (d_{Boden} + KKA + KS)}{Q_{sw}}$$

C_{NO_3} :	Nitratkonzentration im Sickerwasser	[mg/l]
Q_{sw} :	(mGROWA-) - Sickerwasserrate	[mm/a]
d_{Boden} :	diffuser N-Austrag aus dem Boden	[kg N/(ha·a)]
KKA:	N-Austrag aus Kleinkläranlagen	[kg N/(KKA a)]
KS:	N-Austrag aus urbanen Systemen	[kg N/(Gemeinde·a)]

3. N-QUELLEN ZUR MODELLIERUNG DER NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER

a. Diffuser N-Austrag aus dem Boden

*(inkl. verwendeter Teilergebnisse aus den **GROWA+ NRW 2021** - Teilprojekten 1-4)*

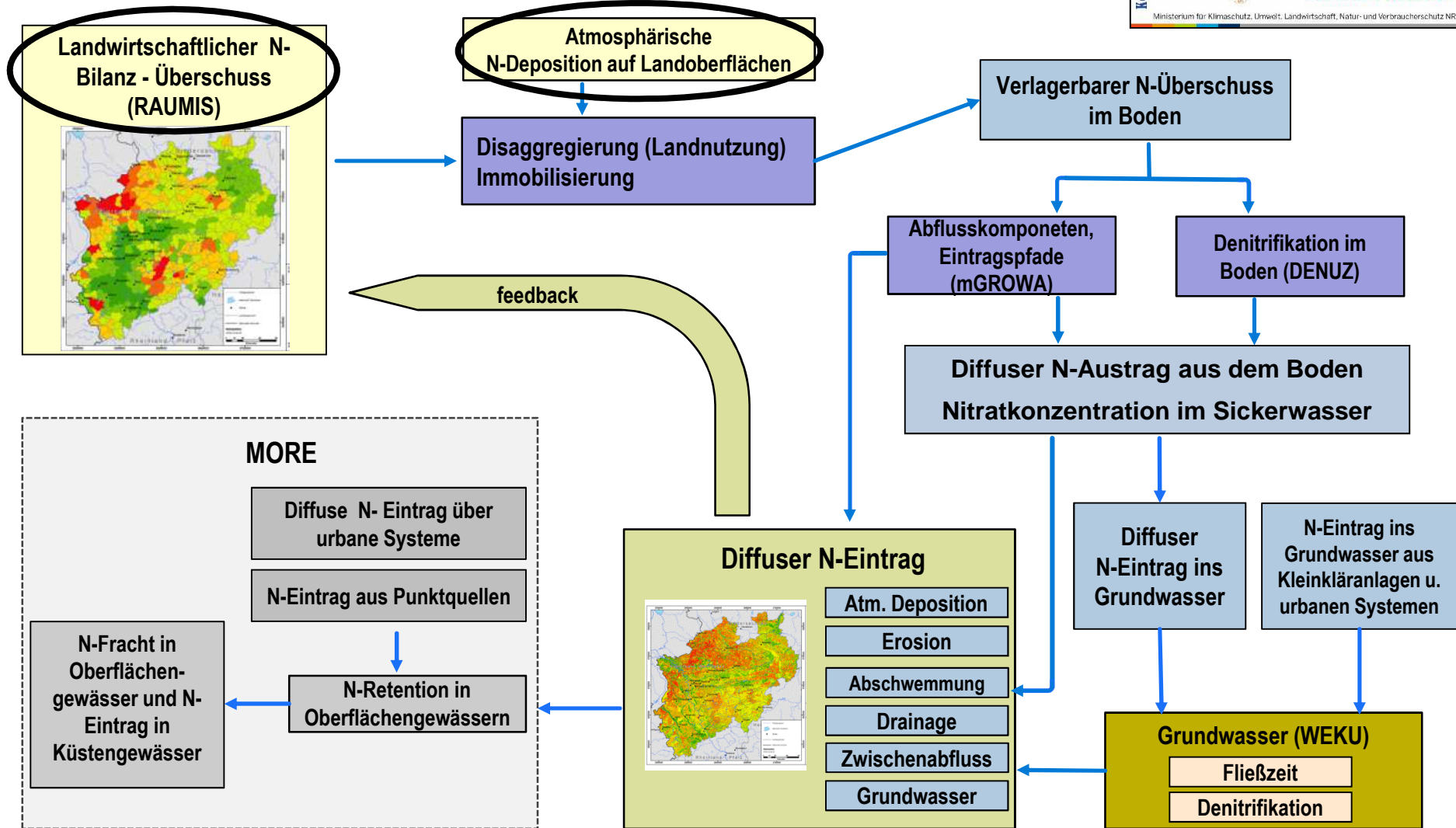
b. N-Austrag aus urbanen Systemen und KKA

3. N-QUELLEN ZUR MODELLIERUNG DER NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER

a. Diffuser N-Austrag aus dem Boden

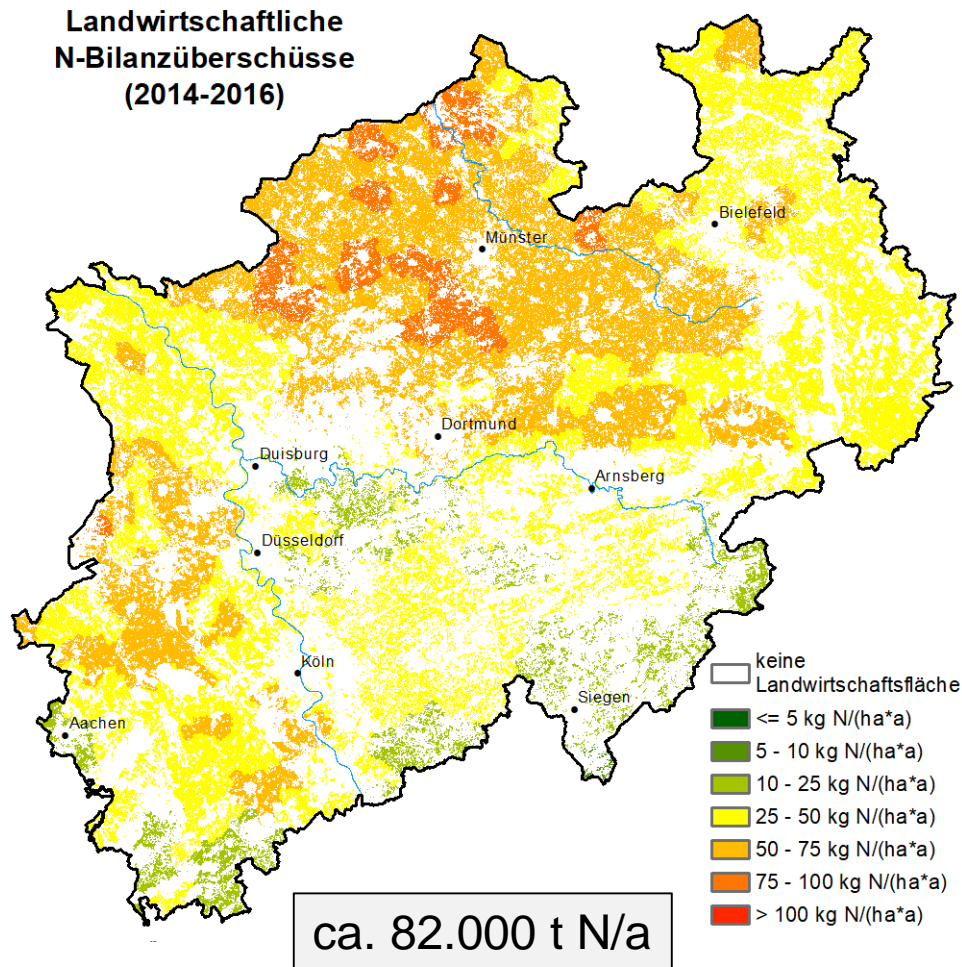
*(inkl. verwendeter Teilergebnisse aus den **GROWA+ NRW 2021** - Teilprojekten 1-4)*

b. N-Austrag aus urbanen Systemen und KKA



LANDWIRTSCHAFTLICHER N-BILANZÜBERSCHUSS (2014 - 2016)

VORGESTELLT BEIM 2. PROJEKTBEGLEIT-AK AM 14.12.2017

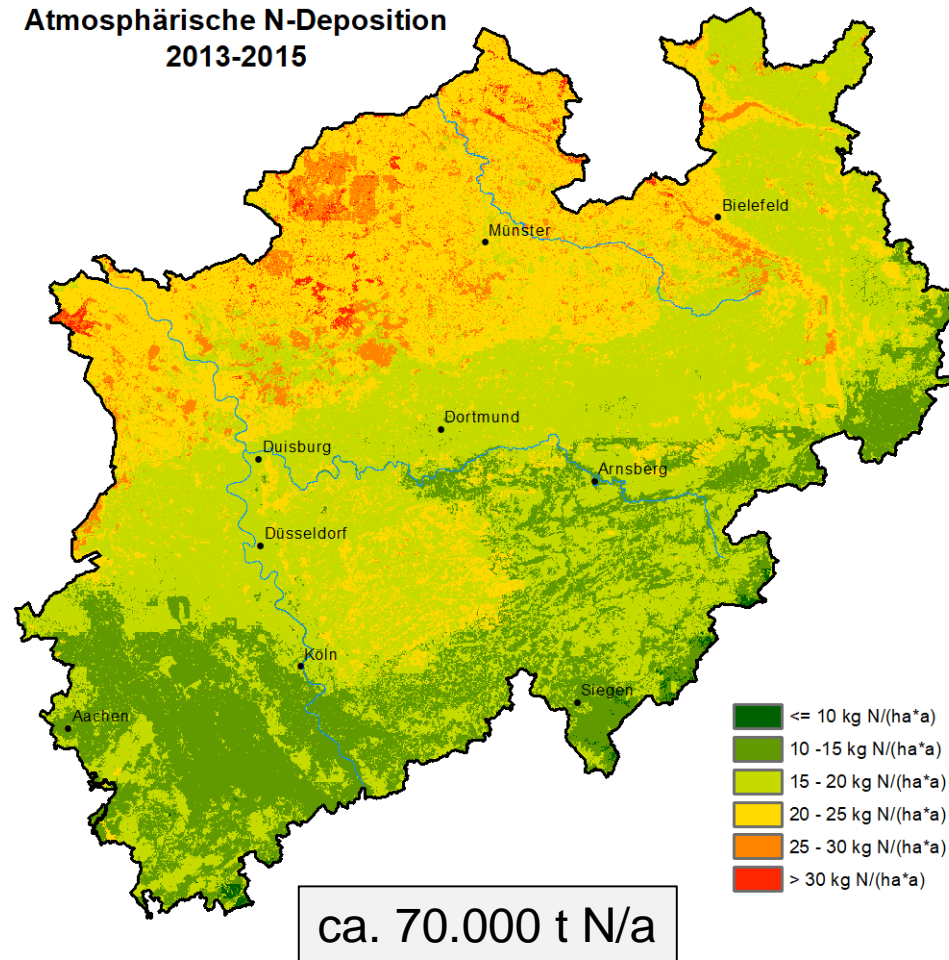


- RAUMIS – Modellergebnis (gleitender Mittelwert 2014 – 2016)
- Jeweils ein Mittelwert für die landwirtschaftlich genutzte Fläche einer Gemeinde (ohne atmosphärische N-Deposition)
- Landwirtschaftsfläche der Gemeinden z. T. < 20%
- < 10 kg bis > 100 kg N/(ha a)

ATMOSPHÄRISCHE N-DEPOSITION (2013-2015)

VORGESTELLT BEIM 2. PROJEKTBEGLEIT-AK AM 14.12.2017

Atmosphärische N-Deposition
2013-2015

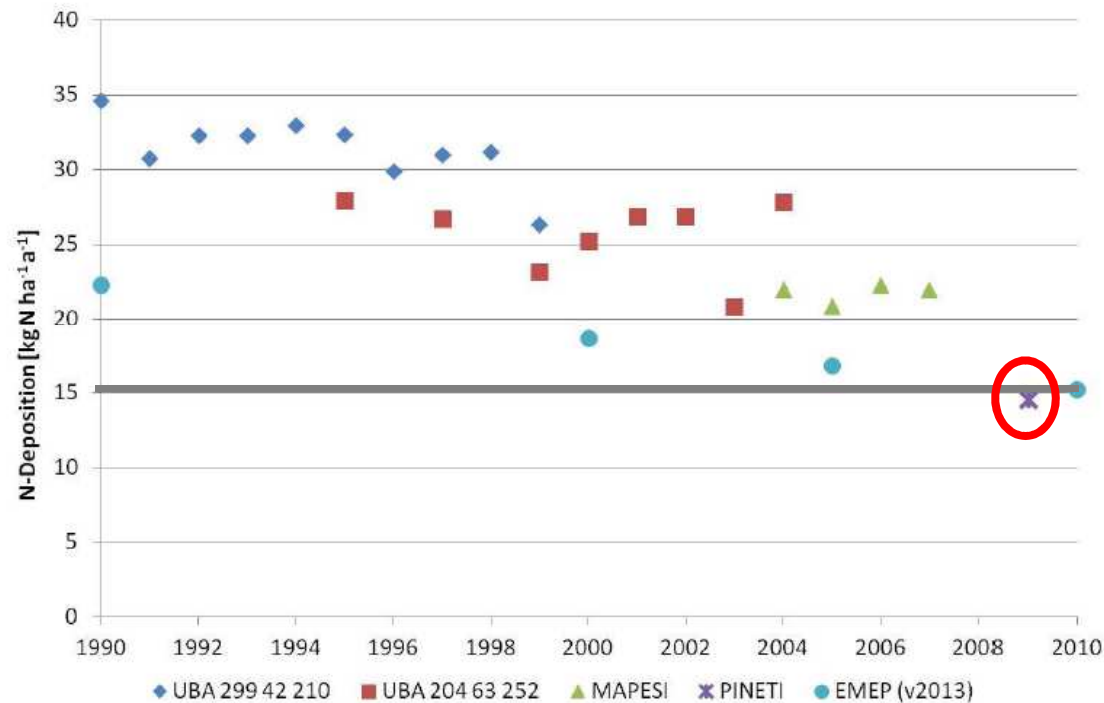


- Quelle: PINETI-3 (UBA), DLM 25
- < 15 kg bis > 30 kg N/(ha a)
- Flächendeckend wirkende N-Quelle
- landnutzungsabhängig
- **Im Mittel ca. 15 kg N / (ha a)**

ATMOSPHERISCHE N-DEPOSITION (2013-2015)

Ausgangslage: Stickstoff-Deposition in Deutschland 2000-2015

Bisher keine methodisch kontinuierliche Zeitreihe Deposition



Die Berechnungen wurden bisher in unabhängigen Forschungsvorhaben durchgeführt.

Verbesserungen konnten sukzessive integriert werden

Immer nur für Einzeljahre oder kurze Zeitreihen

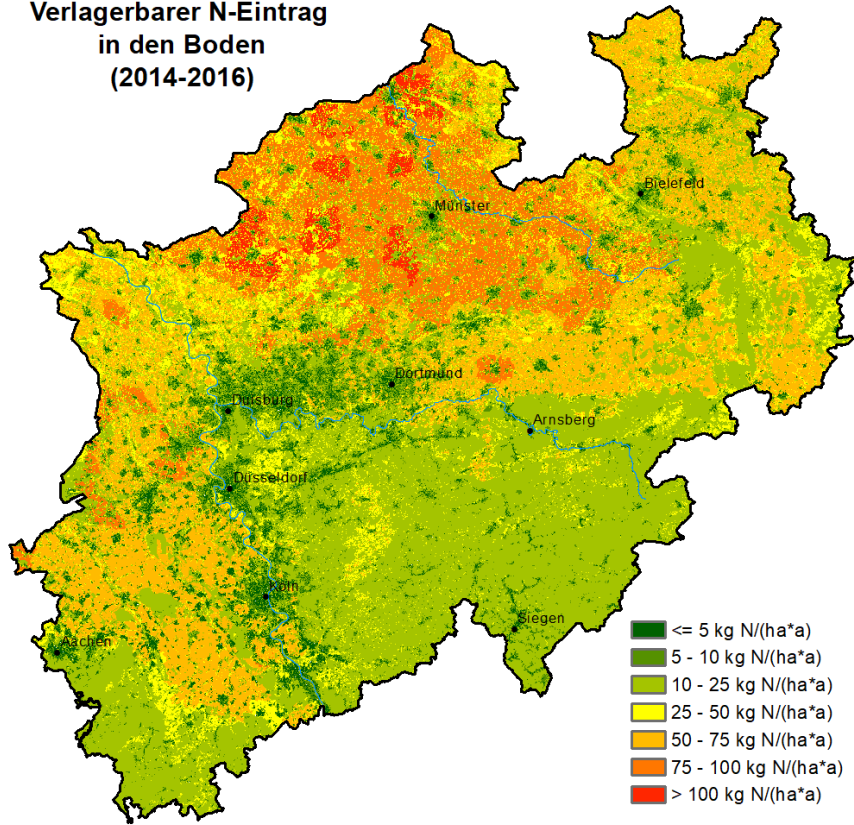
Rückgerechnete (konsistente) EMEP-Zeitreihe zum Vergleich

PINETI-Ergebnisse liegen ca. 5-10 kg N/ha a unterhalb der vorhergehenden Modellergebnisse

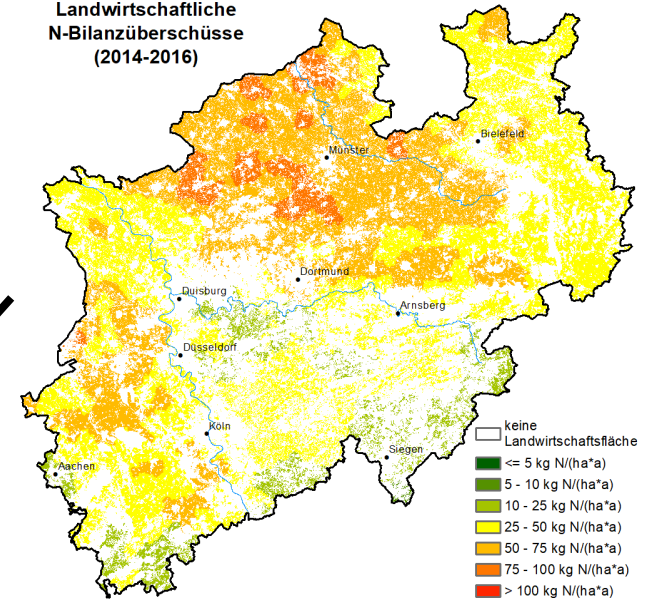
Mit

VERLAGERBARER N-EINTRAG IN DEN BODEN

Verlagerbarer N-Eintrag
in den Boden
(2014-2016)

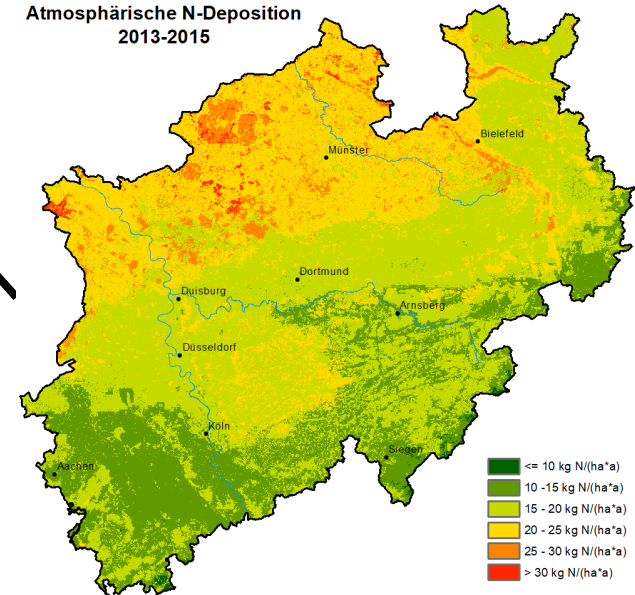


Landwirtschaftliche
N-Bilanzüberschüsse
(2014-2016)



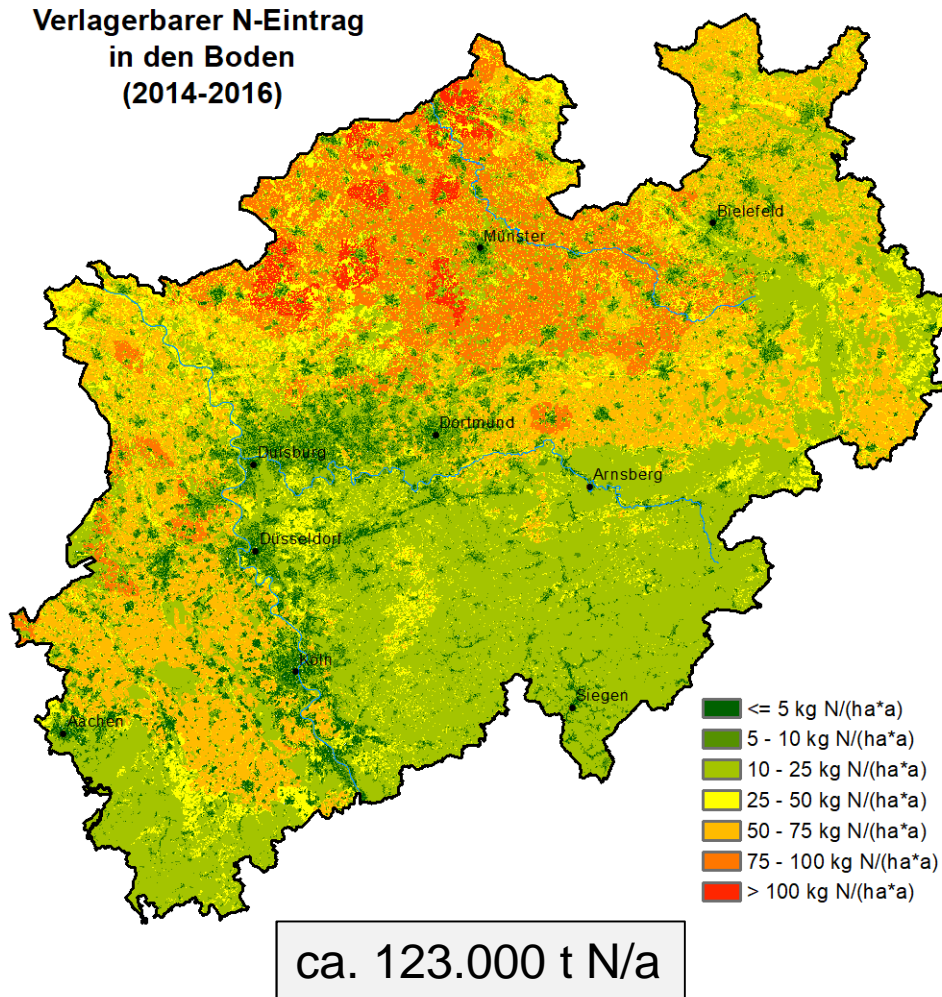
N-Speicherung im Boden:
Grünland: 50% / Laubwald: 20% / Nadelwald: 10%

Atmosphärische N-Deposition
2013-2015



Landwirtschaftliche N-Bilanzüberschüsse
+
Atmosphärische Deposition
-
N-Speicherung Boden

VERLAGERBARER N-EINTRAG IN DEN BODEN

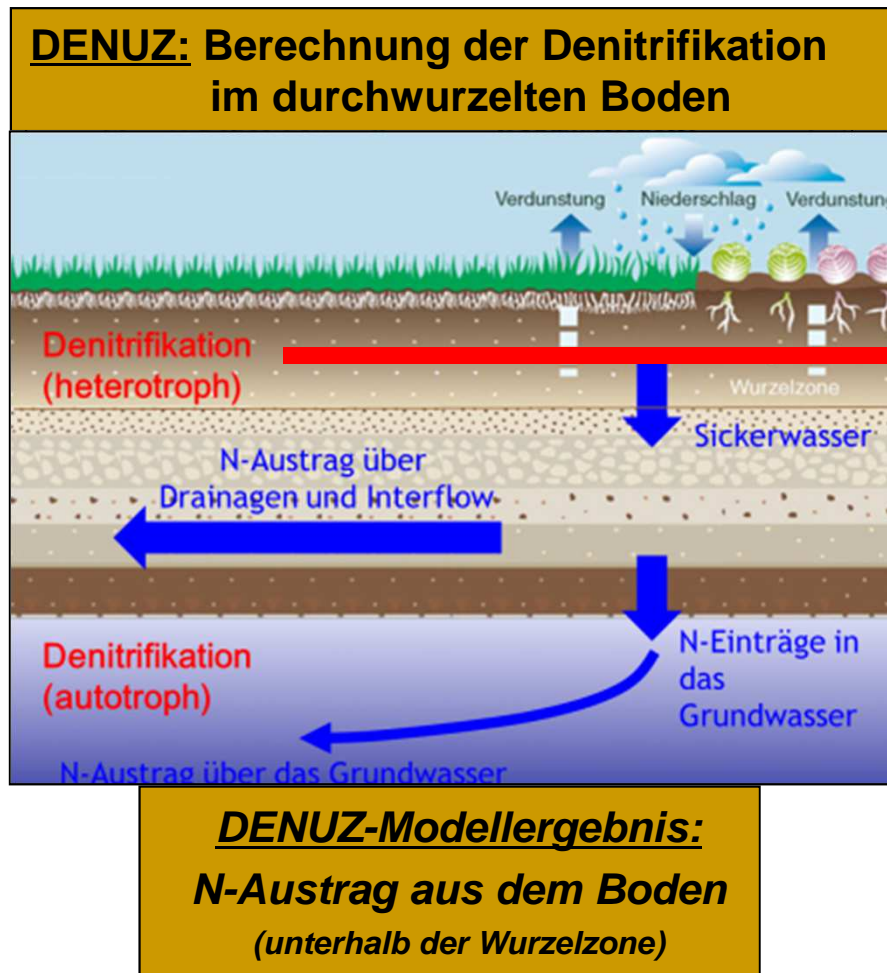


- <10 kg bis >100 kg N/(ha a)
- **Verlagerbarer N-Eintrag in den Boden entspricht nicht dem diffusen N-Austrag aus dem Boden**

→ Anrechnung der Denitrifikation im Boden

MODELLIERUNG DER DENITRIFIKATION IM BODEN

(DENUZ – MODELL, KUNKEL & WENDLAND, 2004)



Michaelis-Menten Kinetik:

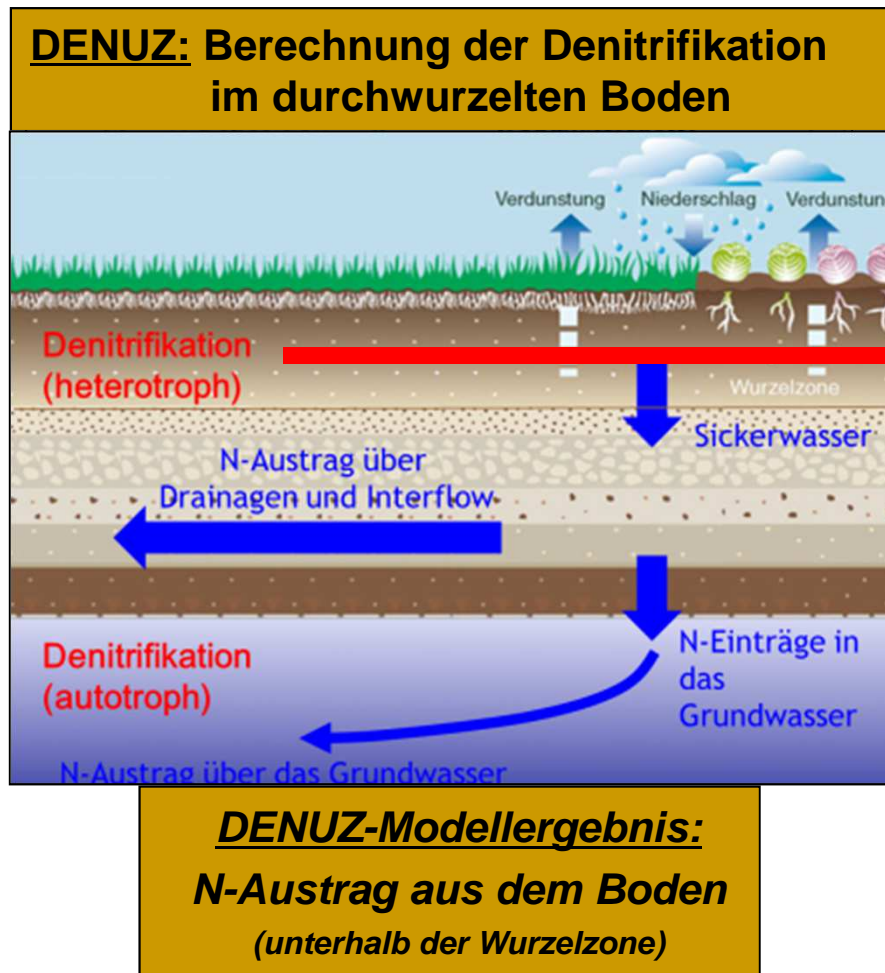
$$\frac{dN(t)}{dt} + D_{\max} \cdot \frac{N(t)}{k + N(t)} = 0$$

Abhängigkeiten:

- Verlagerbarer N-Eintrag in den Boden $N(t_0)$
- Verweilzeit des Sickerwassers im Boden (t)
- Maximale Denitrifikationsleistung eines Bodens im Jahr (D_{\max} , k)

MODELLIERUNG DER DENITRIFIKATION IM BODEN

(DENUZ – MODELL, KUNKEL & WENDLAND, 2004)



Michaelis-Menten Kinetik:

$$\frac{dN(t)}{dt} + D_{\max} \cdot \frac{N(t)}{k + N(t)} = 0$$

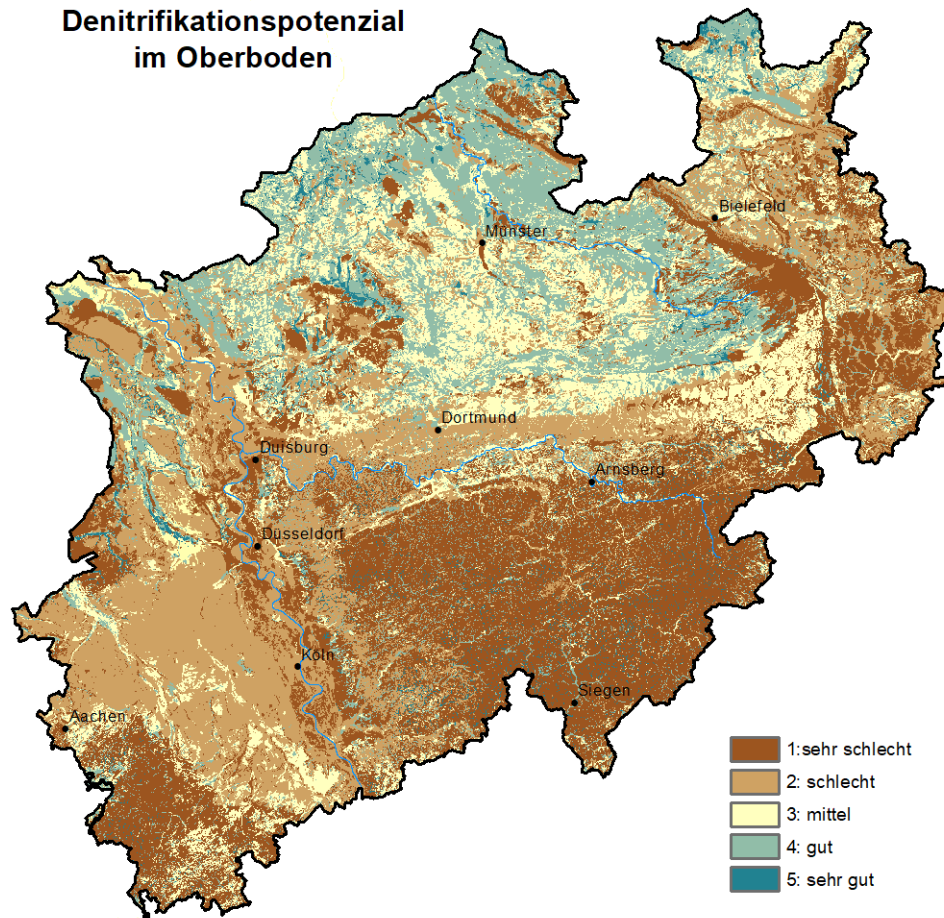
Abhängigkeiten:

- Verlagerbarer N-Eintrag in den Boden $N(t_0)$
- Verweilzeit des Sickerwassers im Boden (t)
- **Maximale Denitrifikationsleistung eines Bodens im Jahr (D_{\max} , k)**

WERTESPANNEN DER MAXIMALEN DENITRIFIKATIONSLEISTUNG EINES BODENS PRO JAHR (NACH WENDLAND, 1992; SCHÄFER ET. AL. 2007)

Denitrifikationsstufen		Rate	Grund-/ Stauwassereinfluss	Geologische Ausgangssubstrate	Bodentypen (Beispiele)
Nr.	Bezeichnung	kg N/ha-a			
1	sehr gering	< 10	[trocken] ganzjährig keine Wassersättigung	[gering humos] flachgründig verwitterte Festgesteine, tiefgründig verwitterte sandige Fest- gesteine; sandige Lockergesteine	Felshumusboden, Syrosem¹⁾, Ranker, Regosol¹⁾, Rendzina, Braunerde¹⁾, Podsol¹⁾
2	gering	10 – 30	[trocken] ganzjährig keine Wassersättigung	[humos] Alluvium, Kolluvium; schluffige und tonige Lockergesteine, erhöhte Humusgehalte, auch im Unterboden	Pararendzina¹⁾, Parabraun- erde¹⁾, Pelosol, Tschernosem²⁾, Auenboden²⁾, Kolluvisol¹⁾, Plaggenesch¹⁾
			[zeitweise nass] Grund- oder Stauwassereinfluss	[gering humos] sandige Lockergesteine, geringe Humusgehalte	Podsol-Gley (Sand-Gley); Pseudogley
3	mittel	30 – 50	[zeitweise nass] Grund- oder Stauwassereinfluss	[gering humos] schluffig-lehmige Lockergesteine, geringe Humusgehalte	Gley-Pseudogley, Pseudogley- Gley, Haftnässepseudogley
4	hoch	50 – > 150	[zeitweise nass] Grund- oder Stauwassereinfluss	[humos] nicht sandige, fluviale, limnogene und marine Lockergesteine	Gley, Stagnogley, Gley- Auenboden³⁾
			Grundwasser nur zeitweise im Torfkörper	[Torfe] Hoch- und Niedermoortorfe	Niedermoor, Hochmoor
5	sehr hoch	>> 150	[nass] ganzjähriger Grundwassereinfluss (MHGW ≤ 6 dm)	[humos – reduzierter Schwefel] Tschernosem, fluviale, limnogene und marine Lockergesteine, (Gesteine mit hohem Anteil an C und reduziertem S ⁴⁾)	Gley-Tschernosem, Marschböden
				[Torfe] Torfe, torfhaltige Substrate, organische Mudden	Moore, Moorgley, Organomarsch

DENITRIFIKATIONSBEDINGUNGEN IM BODEN



- Zuordnung der Böden der BK 50 in die Denitrifikationsklassen **(mit GD NRW)**
- Gute Denitrifikationsbedingungen: z.B. Münsterland, Niederrhein
- Schlechte Denitrifikationsbedingungen: z.B. Mittelgebirge, Bördelandschaften
- Kalibrierung im Bereich der ausgewiesenen Spannbreiten (Wendland, 1992, Schäfer et al., 2007)

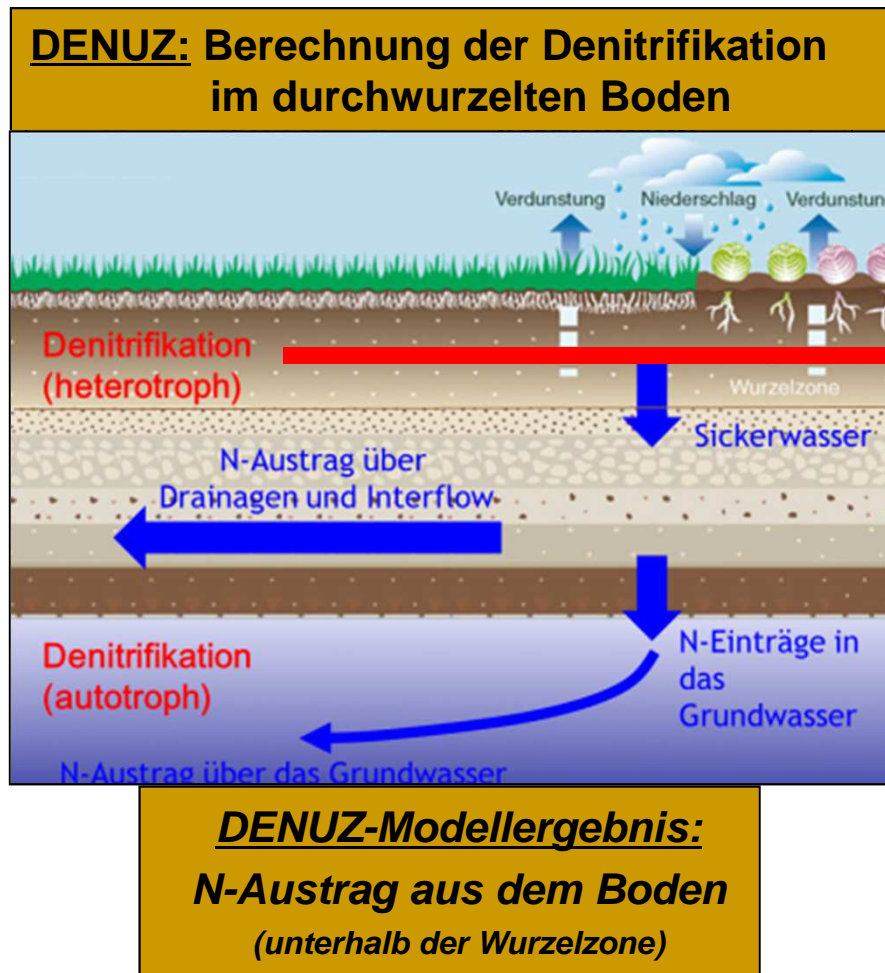
Denitrifikationsraten im Boden:

- Stufe 1: (sehr schlecht) <10 kg/ha a
- Stufe 2: (schlecht) 10 - 30 kg/ha a
- Stufe 3: (mittel) 30 - 50 kg/ha a
- Stufe 4: (gut) 50 - 150 kg/ha a
- Stufe 5: (sehr gut) > 150 kg/ha a

- Werden auf die mittleren Verweilzeiten im Boden bezogen

MODELLIERUNG DER DENITRIFIKATION IM BODEN

(DENUZ – MODELL, KUNKEL & WENDLAND, 2004)



Michaelis-Menten Kinetik:

$$\frac{dN(t)}{dt} + D_{\max} \cdot \frac{N(t)}{k + N(t)} = 0$$

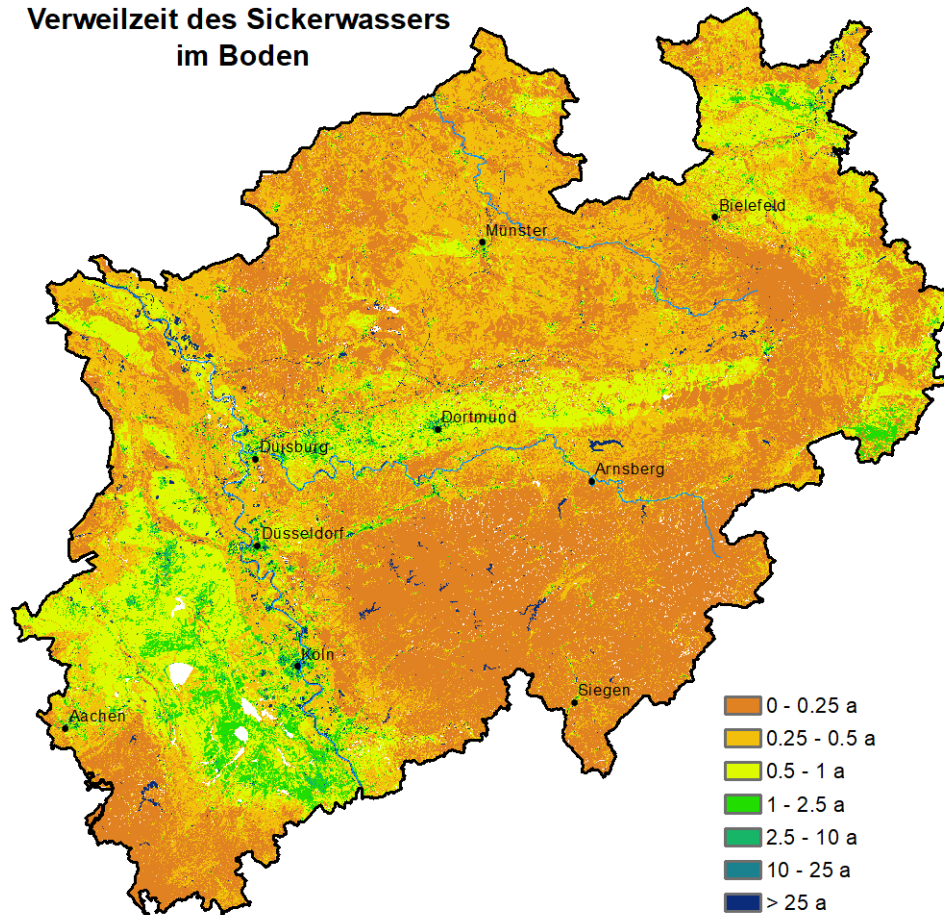
Abhängigkeiten:

- Verlagerbarer N-Eintrag in den Boden $N(t_0)$
- **Verweilzeit des Sickerwassers im Boden (t)**
- Maximale Denitrifikationsleistung eines Bodens im Jahr (D_{\max} , k)

VERWEILZEIT DES SICKERWASSERS IM BODEN

VORGESTELLT BEIM 3. PROJEKTBEGLEIT-AK AM 25.7.2018

Verweilzeit des Sickerwassers
im Boden



Berechnung nach DIN 19732

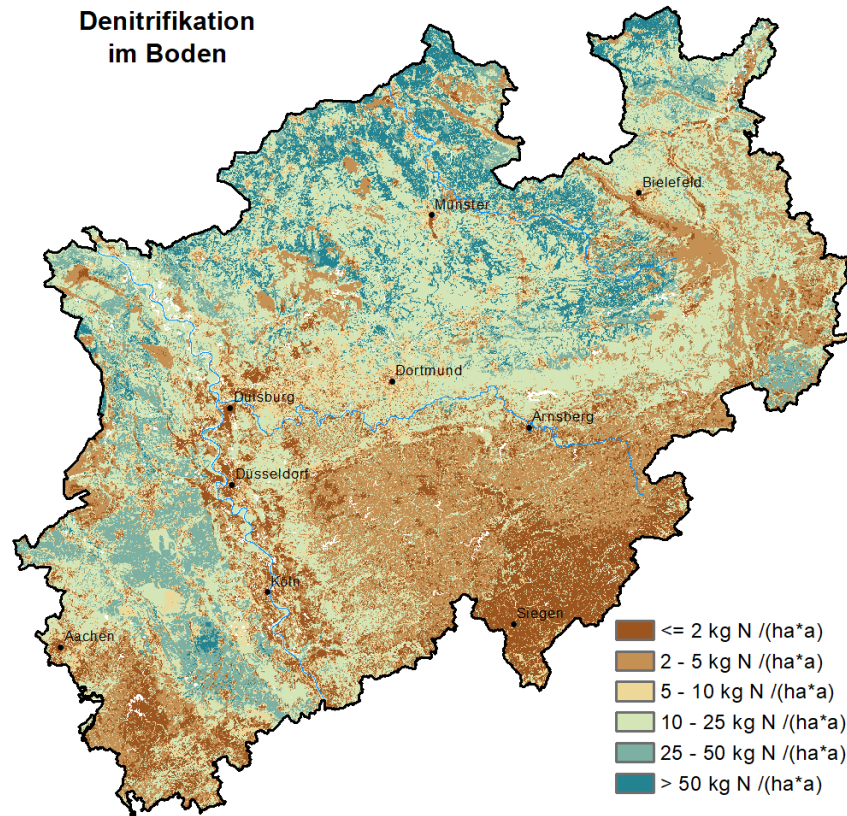
$$t_{Boden} = \sum_i nFK_i \cdot \frac{M_i}{Q_{sw}}$$

Verweilzeiten zwischen 0.25 a und 2,5 a:

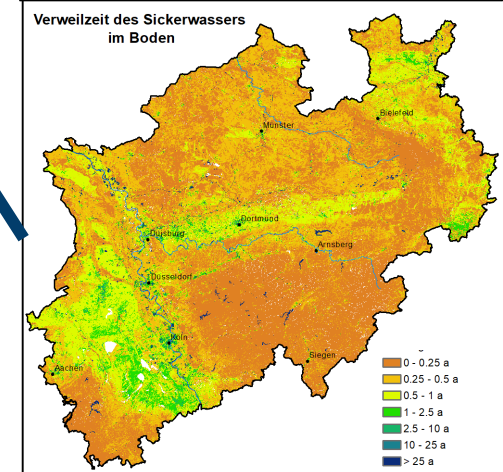
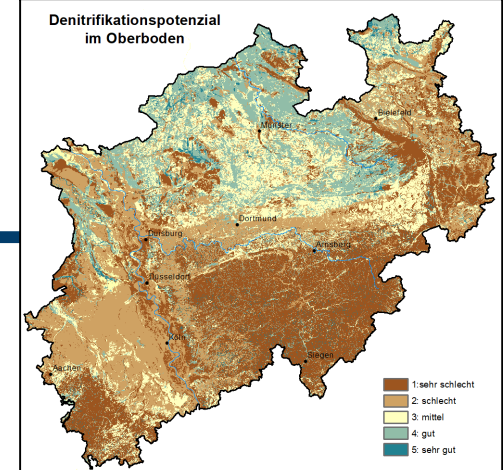
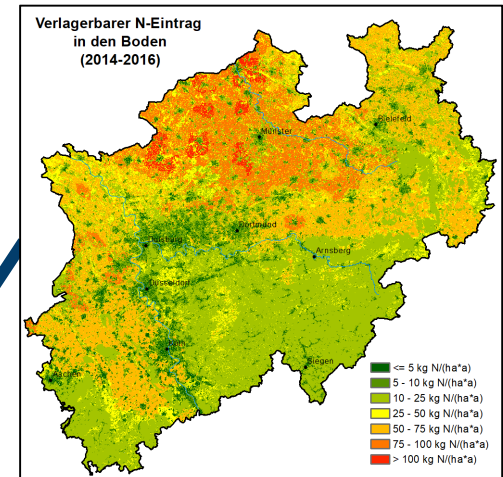
- < 0.25 a bedeutet, dass nur ¼ der jährlich möglichen Denitrifikationsleistung erzielt wird.
- 2.5 a bedeutet, dass das 2,5-fache der jährlich möglichen Denitrifikationsleistung erzielt wird

DENITRIFIKATIONSVERLUSTE IM BODEN

(ABSOLUT)



$$\frac{dN(t)}{dt} + D_{\max} \cdot \frac{N(t)}{k + N(t)} = 0$$

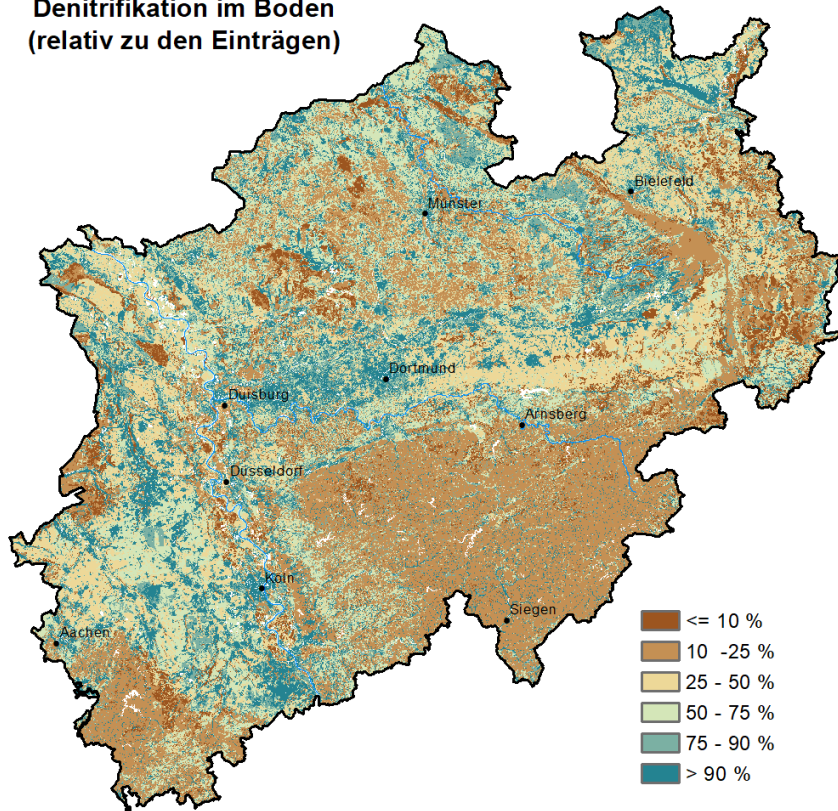


Zusammenspiel zwischen Verweilzeiten und Nitratabbaubedingungen führt in den Böden NRWs zu unterschiedlich hohen **Denitrifikationsverlusten** zwischen **< 5 kg/(ha a)** und **> 50 kg/(ha a)** im Boden

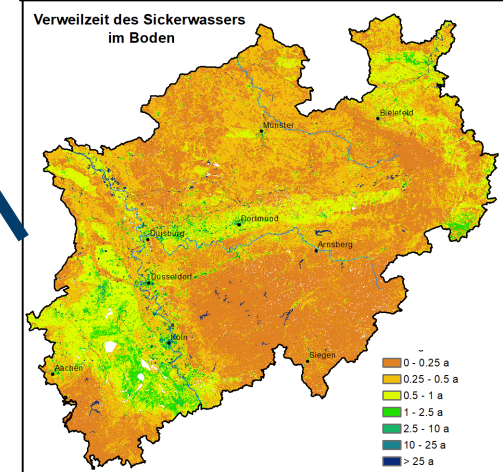
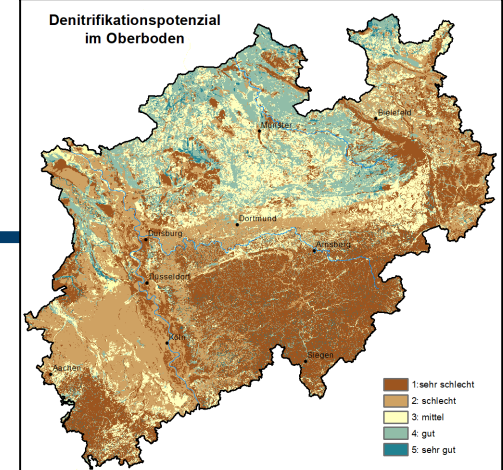
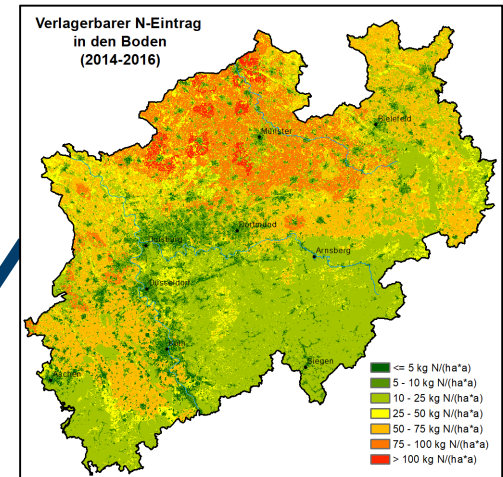
DENITRIFIKATIONSVERLUSTE IM BODEN

(RELATIV ZU DEN VERLAGERBAREN N-EINTRÄGEN IN DEN BODEN)

Denitrifikation im Boden
(relativ zu den Einträgen)

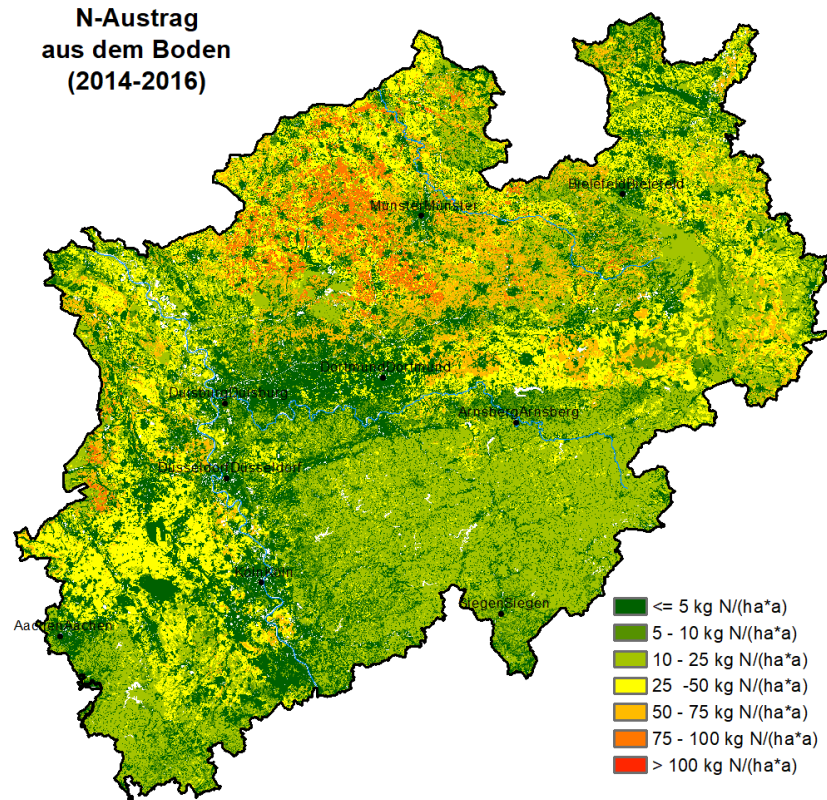


$$\frac{dN(t)}{dt} + D_{\max} \cdot \frac{N(t)}{k + N(t)} = 0$$

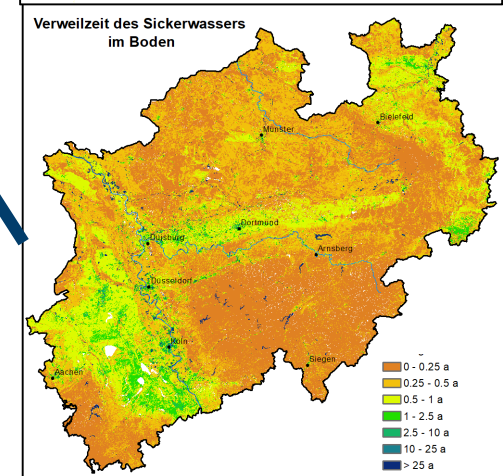
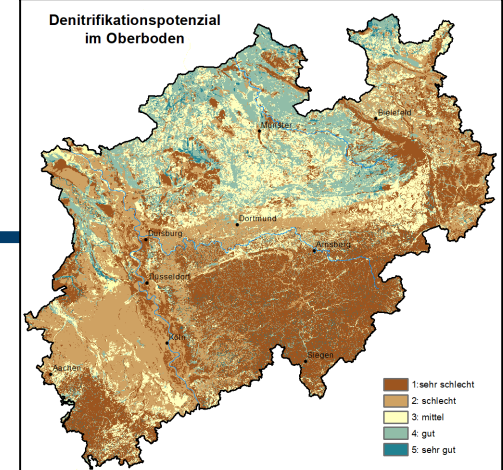
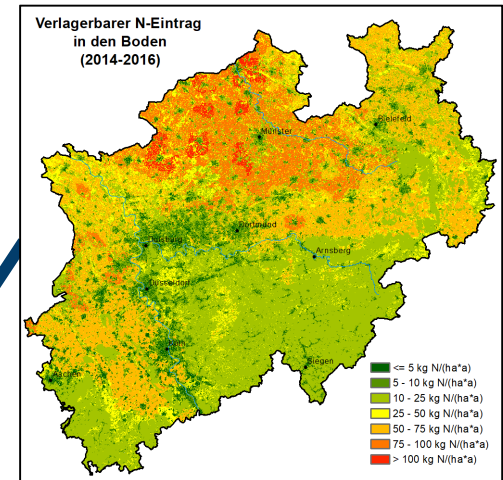


Denitrifikationsverluste im Boden liegen
zwischen **<math><10\%</math> und **>90%** der verlagerbaren N-
Einträge in den Boden**

DIFFUSER N-AUSTRAG AUS DEM BODEN



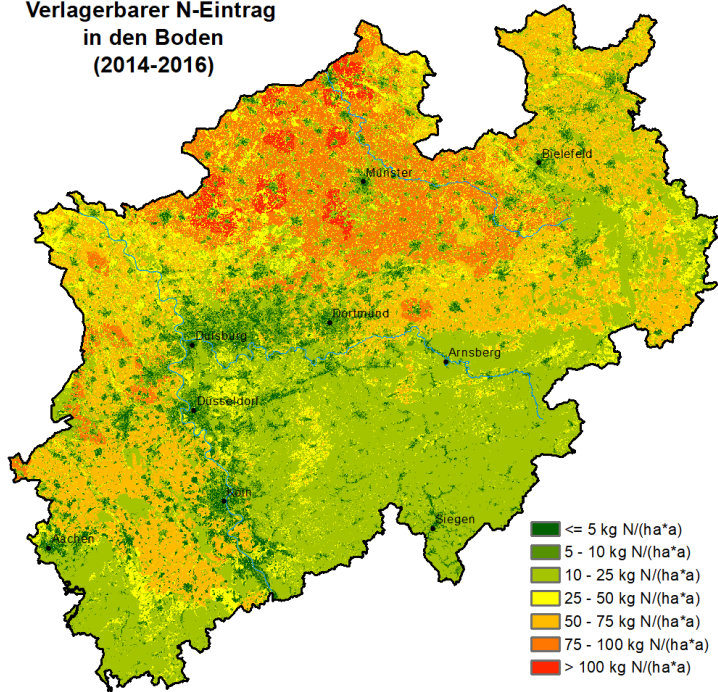
$$\frac{dN(t)}{dt} + D_{\max} \cdot \frac{N(t)}{k + N(t)} = 0$$



Summe des diffusen N-Austrags aus dem Boden ca. 79.000 t N/a

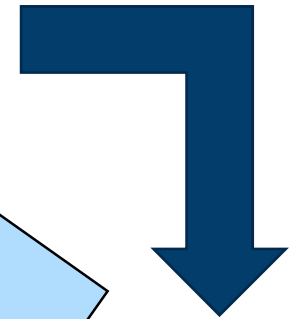
VERLAGERBARE N-ÜBERSCHÜSSE IM BODEN VS. DIFFUSER N-AUSTRAG AUS DEM BODEN

Verlagerbarer N-Eintrag
in den Boden
(2014-2016)



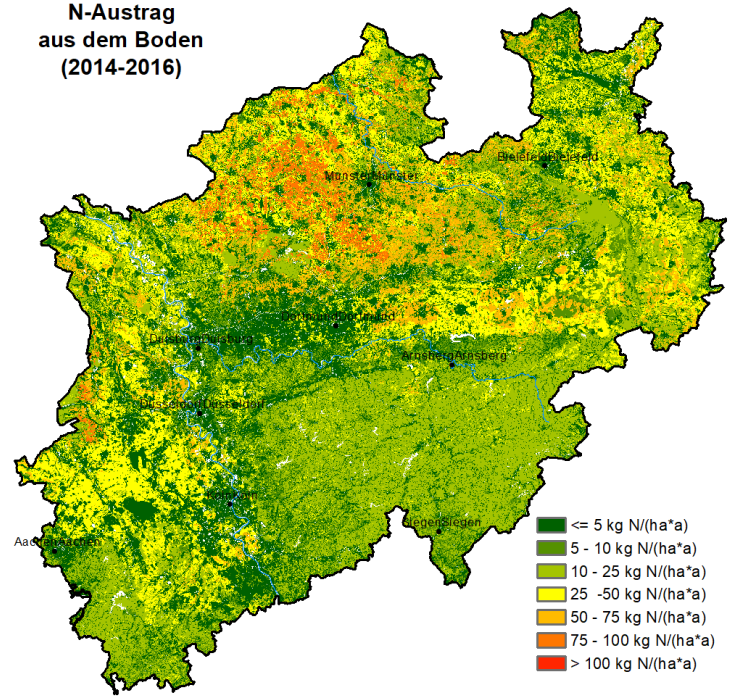
Ca. 123.000 t N/a

**Denitrifikationsverlust im Boden
ca. 35% der verlagerbaren
N-Einträge**

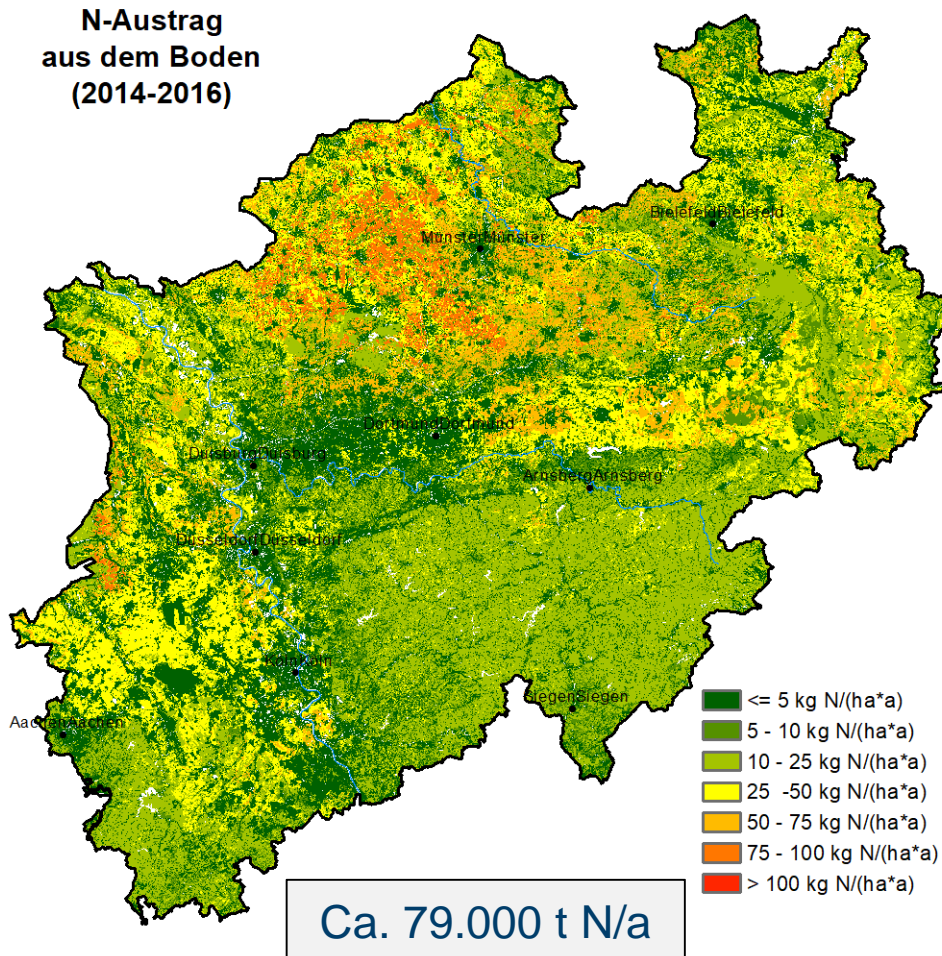


Ca. 79.000 t N/a

N-Austrag
aus dem Boden
(2014-2016)

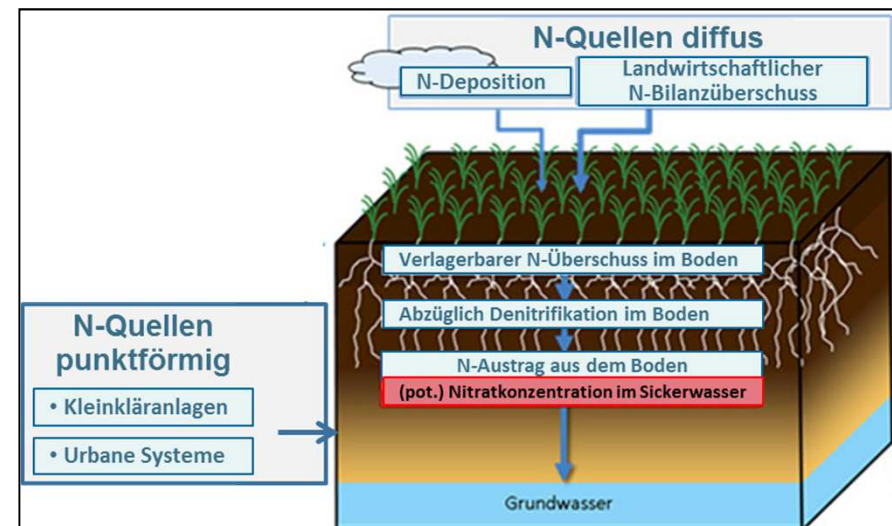


DIFFUSER N-AUSTRAG AUS DEM BODEN



Situation 2010: ca. 103.000 t N/a
 → deutlicher Rückgang

- Werte zw. <5 und >100 kg N/(ha/a)
- Hohe diffuse N-Austräge aus dem Boden vor allem im Münsterland
- Werte in der Karte **ohne** Einbeziehung von weiteren N-Austrägen unterhalb der Wurzelzone:
 - Urbane Systeme
 - Kleinkläranlagen



3. N-QUELLEN ZUR MODELLIERUNG DER NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER

a. Diffuser N-Austrag aus dem Boden

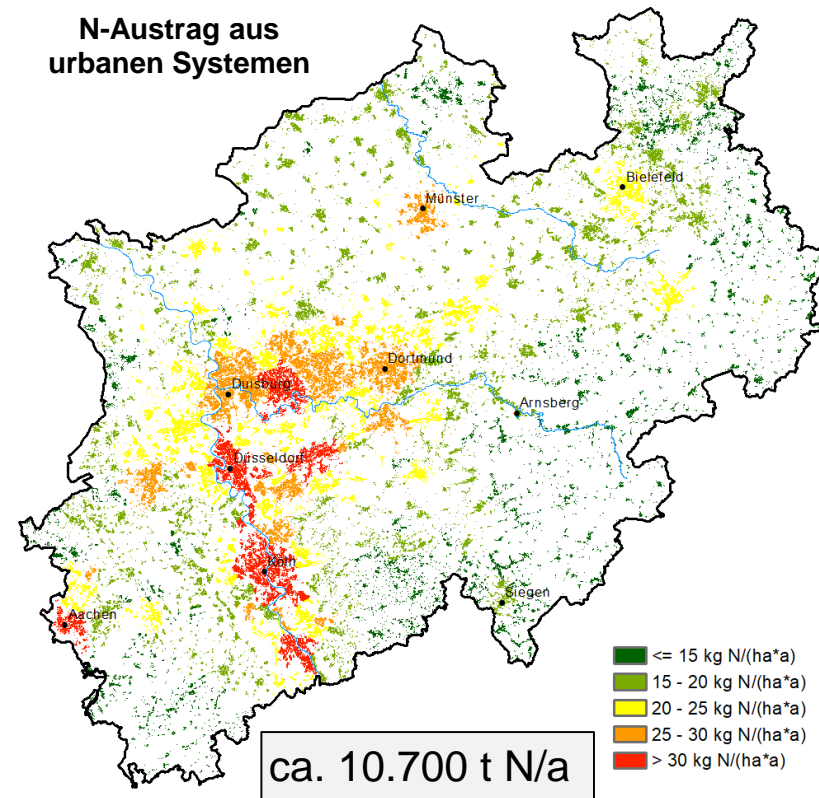
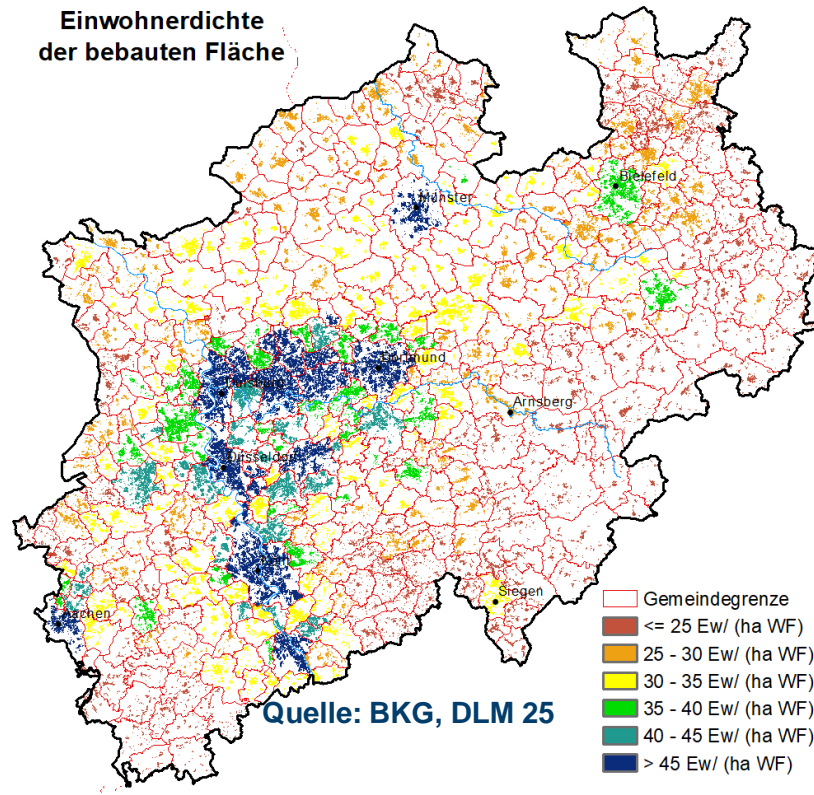
(inkl. verwendeter Teilergebnisse aus den GROWA+ NRW 2021 - Teilprojekten 1-4)

b. N-Austrag aus urbanen Systemen und KKA

N-AUSTRAG AUS URBANEN SYSTEMEN

Annahmen:

- N-Aufkommen von **11 g N/(EW*Tag)** gemäß aktuellem „Lagebericht“ (2016)
- N-Verluste aus urbanen Systemen (Rohrleckagen, sonstige Punktquellen in Siedlungsgebieten): **1,65 g N/(EW*Tag)**

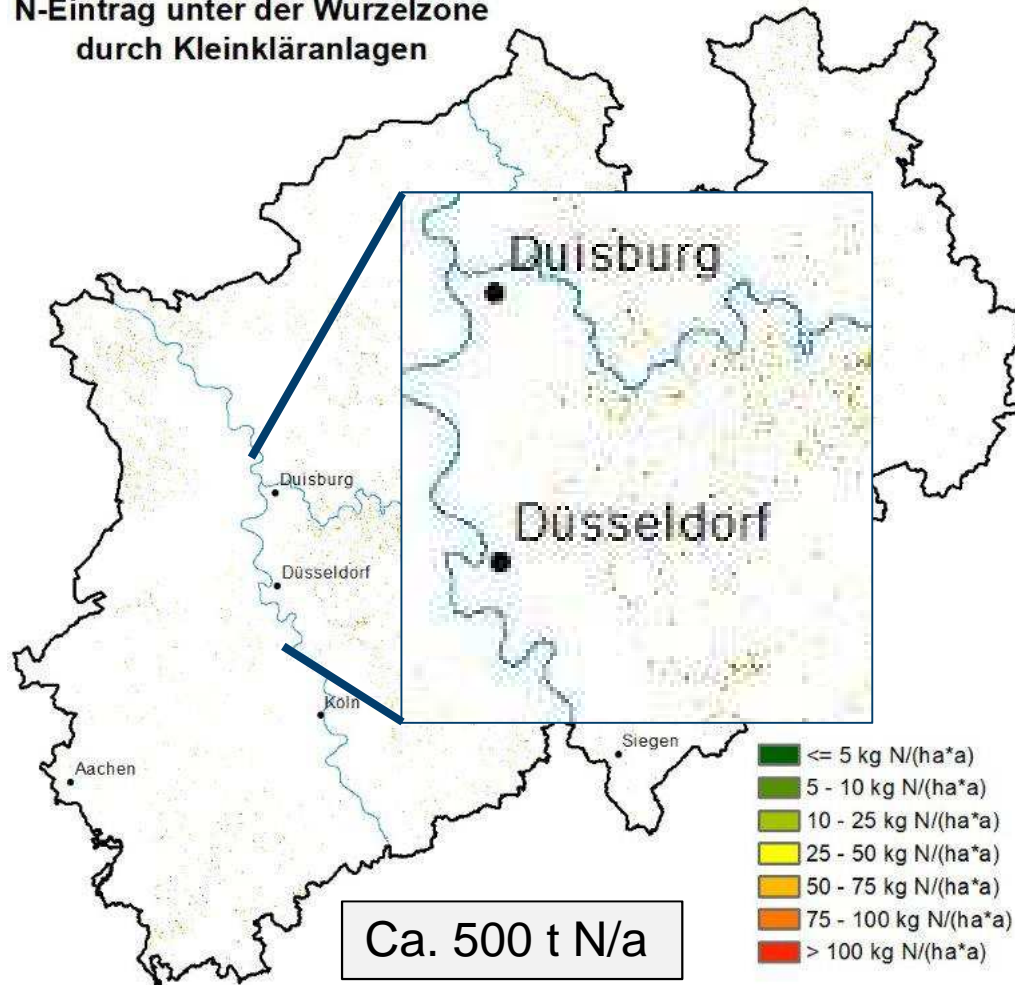


- Umgelegt auf die bebauten Fläche NRWs entspricht dies N-Austrägen aus urbanen Systemen zwischen <15 und > 30 kg/(ha a)
- Hohe Werte erwartungsgemäß entlang der Rheinschiene und im Ruhrgebiet

N-EINTRAG DURCH KLEINKLÄRANLAGEN (KKA)

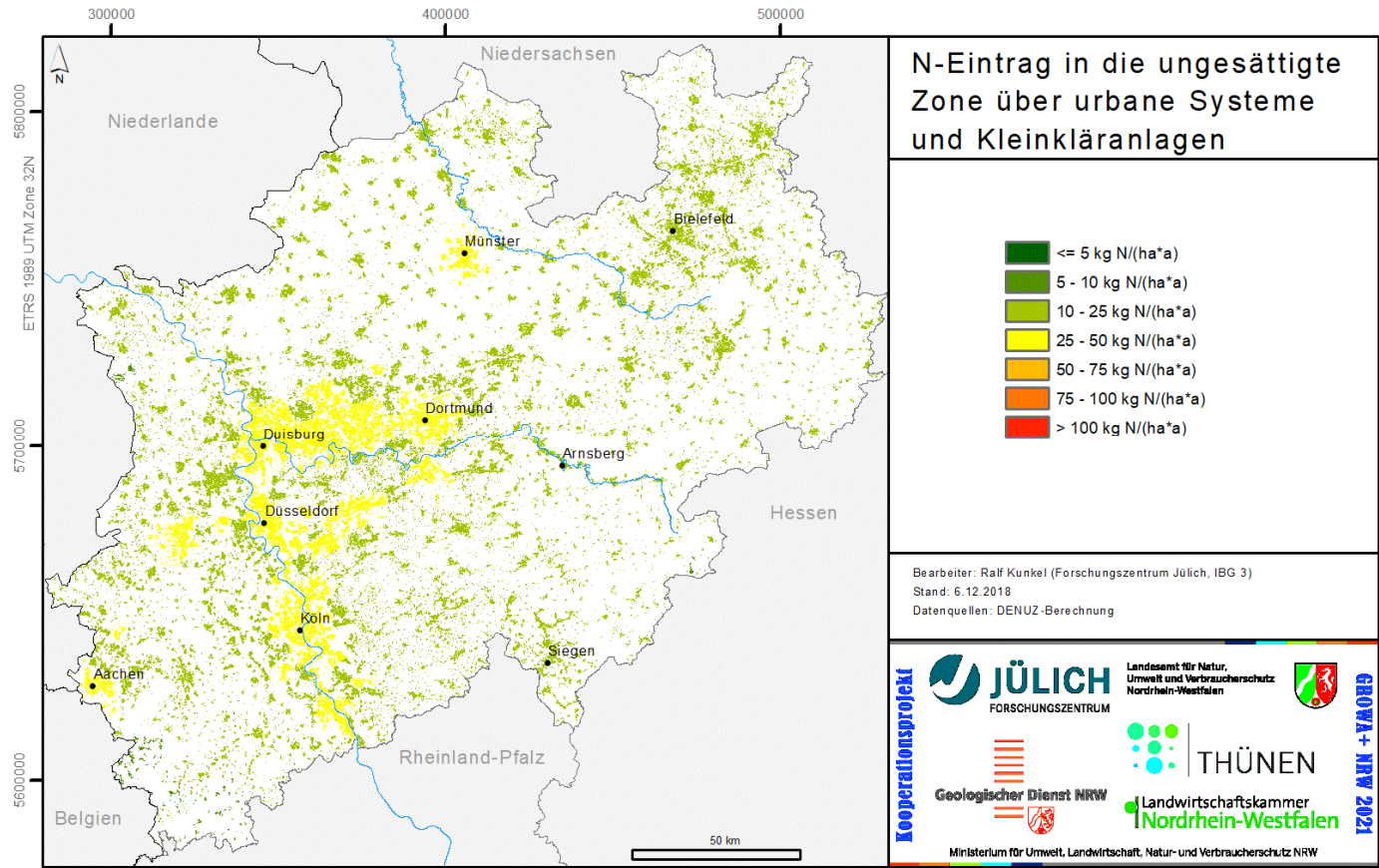
Quelle: BKG, DLM 25

N-Eintrag unter der Wurzelzone
durch Kleinkläranlagen



- Alle KKA wurden dort als Punkte dargestellt, wo sie sich befinden:
- Bei den Punkten handelt es sich um die in der Datendrehscheibe Einleiterüberwachung Abwasser (D-E-A) erfassten KKA, die ins Grundwasser abschlagen
- N-Frachten entsprechen den in D-E-A erfassten jahresbezogenen N-Einleitungen dieser KKA
- Datenbestand der KKA nicht für alle Kommunen NRW's vollständig
- Bei der Angabe „kg N/(ha*a)“ handelt es sich um einen Übertrag der nach D-E-A-Datenbank punktuell ins GW eingeleiteten Fracht auf eine pauschalisierte Flächengröße von 100m x 100m

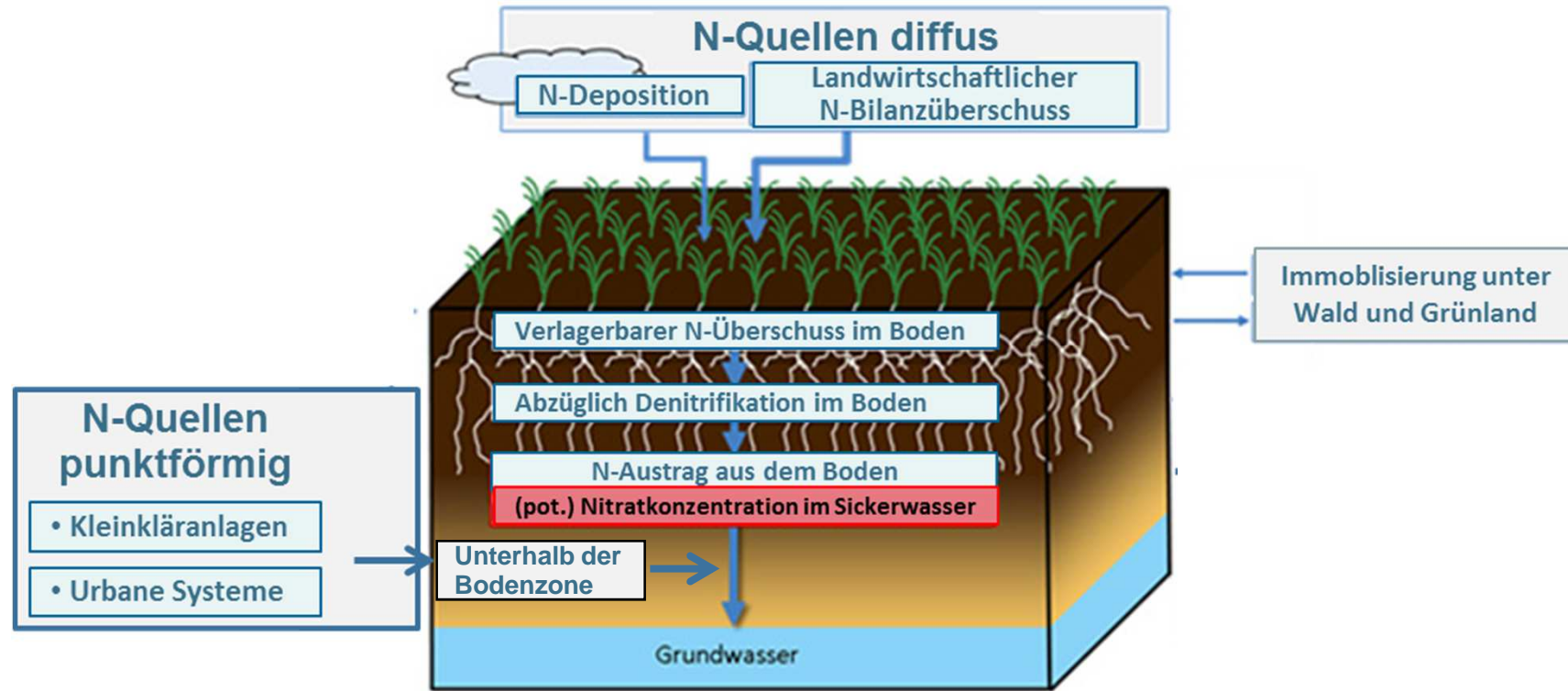
GESAMTSUMME N-AUSTRAG ÜBER URBANE SYSTEME UND KLEINKLÄRANLAGEN



Ca. 11.200 t N/a

4. MODELLERGEBNIS NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER

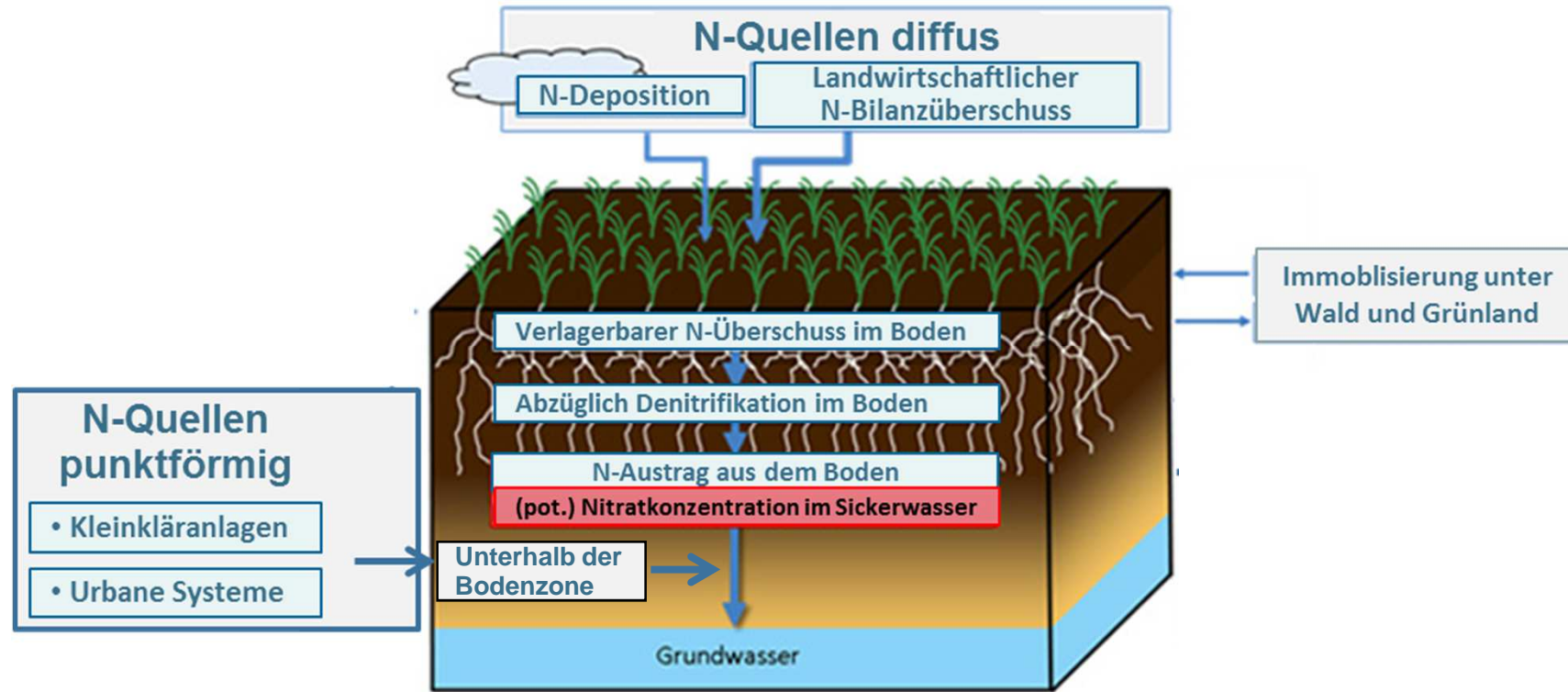
NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER: N-QUELLEN UND DEREN RÄUMLICHER BEZUG



$$C_{NO_3} = \frac{443 \cdot (d_{Boden} + KKA + KS)}{Q_{sw}}$$

C_{NO_3} :	Nitratkonzentration im Sickerwasser	[mg/l]
Q_{sw} :	(mGROWA-) - Sickerwasserrate	[mm/a]
d_{Boden} :	diffuser N-Austrag aus dem Boden	[kg N/(ha·a)]
KKA:	N-Austrag aus Kleinkläranlagen	[kg N/(KKA a)]
KS:	N-Austrag aus urbanen Systemen	[kg N/(Gemeinde·a)]

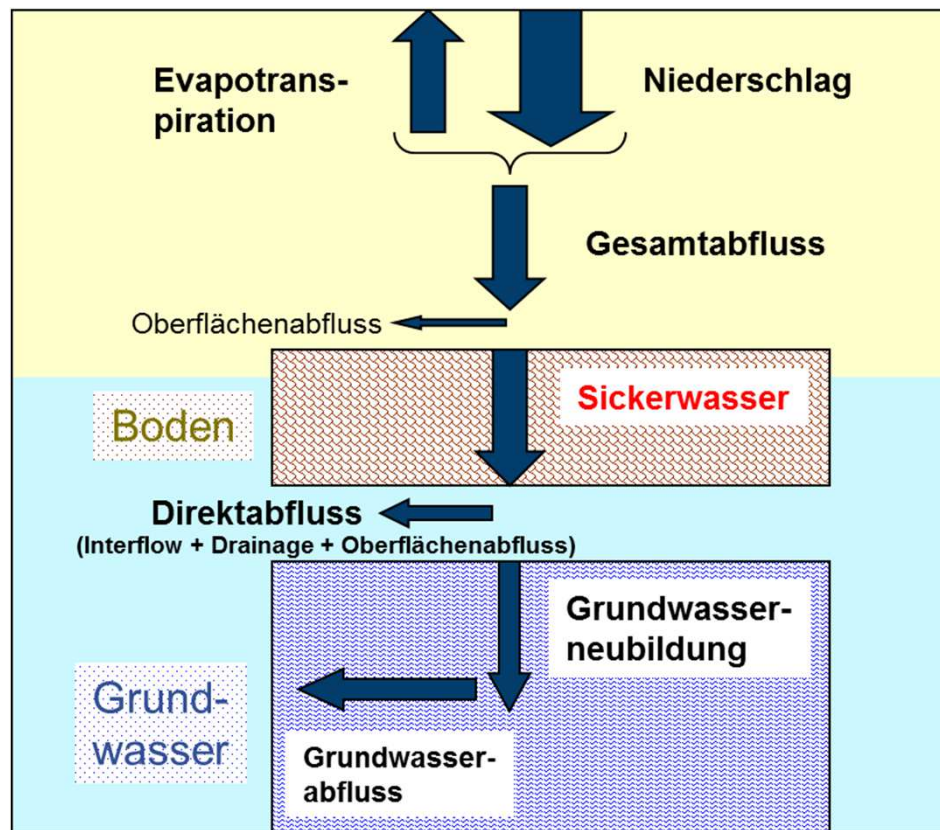
NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER: N-QUELLEN UND DEREN RÄUMLICHER BEZUG



$$C_{NO_3} = \frac{443 \cdot (d_{Boden} + KKA + KS)}{Q_{sw}}$$

C_{NO_3} :	Nitratkonzentration im Sickerwasser	[mg/l]
Q_{sw} :	(mGROWA-) Sickerwasserrate	[mm/a]
d_{Boden} :	diffuser N-Austrag aus dem Boden	[kg N/(ha·a)]
KKA:	N-Austrag aus Kleinkläranlagen	[kg N/(KKA a)]
KS:	N-Austrag aus urbanen Systemen	[kg N/(Gemeinde·a)]

IM MGROWA – MODEL BERÜCKSICHTIGTE ABFLUSSKOMPONENTEN



Gesamtabflusshöhe:

Niederschlag – Evapotranspiration

Sickerwasserhöhe:

Gesamtabfluss – Oberflächenabfluss

Direktabflusshöhe:

Oberflächenabfluss + Interflow + Drainagen

Grundwasserneubildungshöhe:

Gesamtabfluss – Direktabfluss
(~ Grundwasserabfluss)

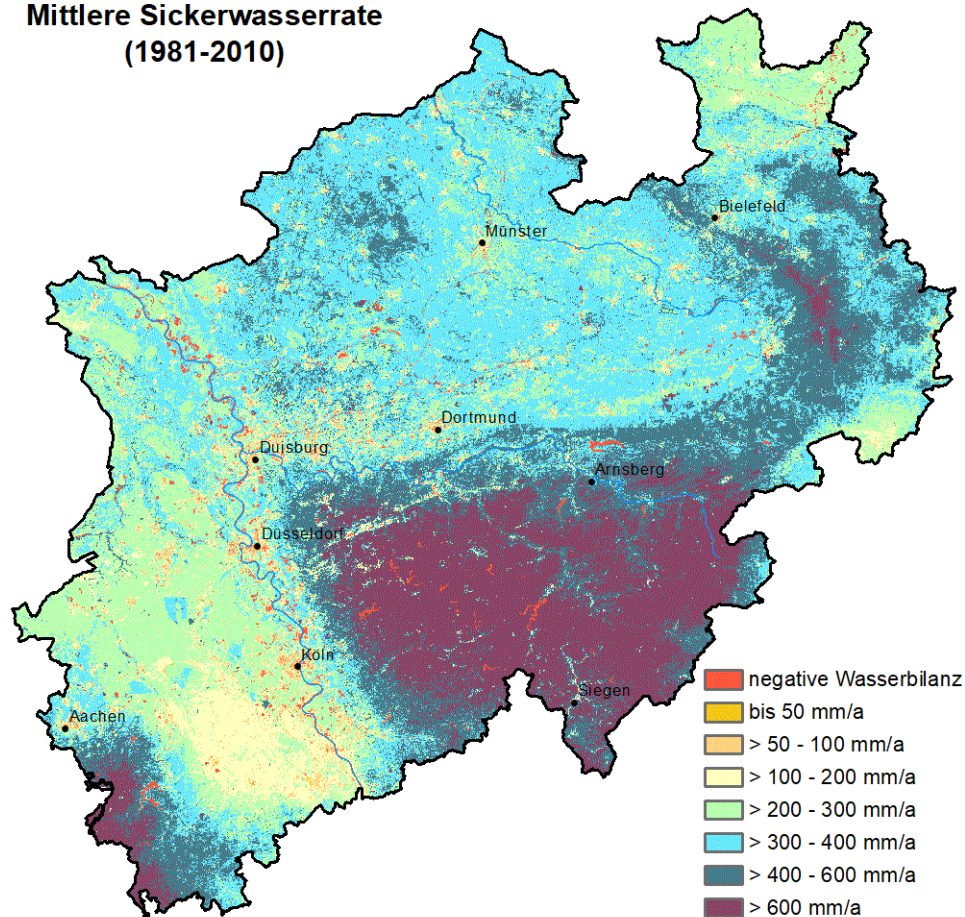
Die diffusen N-Austräge aus dem Boden sowie die N-Austräge über Kleinkläranlagen und urbane Systeme werden im Sickerwasser gelöst.

Sickerwasser \neq Grundwasserneubildung

MGROWA SICKERWASSERRATE

VORGESTELLT BEIM 3. PROJEKTBEGLEIT-AK AM 25.7.2018

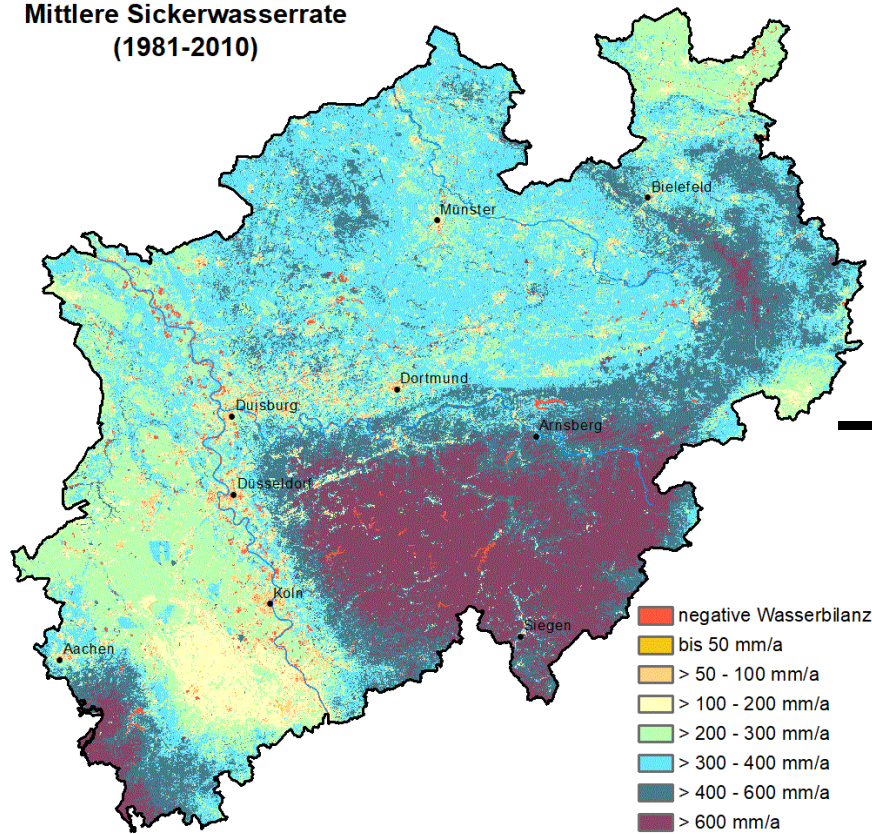
Mittlere Sickerwasserrate
(1981-2010)



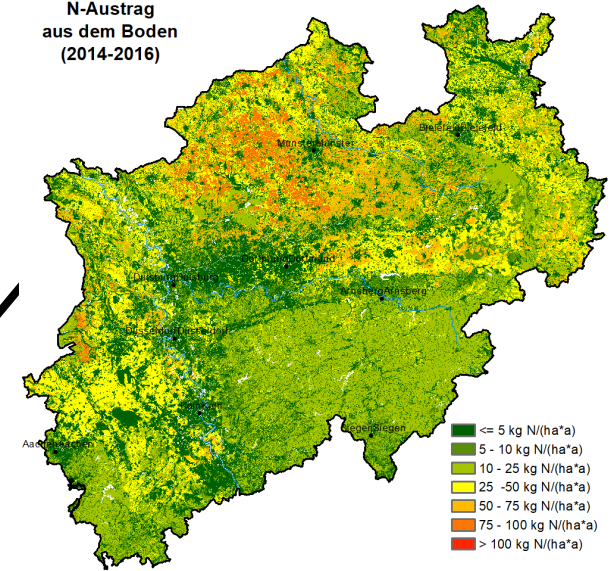
- Je höher die Sickerwasserrate, desto höher ist die Verdünnung der diffusen N-Austräge aus dem Boden sowie der N-Austräge aus Kleinkläranlagen und urbanen Systeme
- geringe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser bei hohen Sickerwasserraten

MODELLIERTE NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER

Mittlere Sickerwasserrate
(1981-2010)

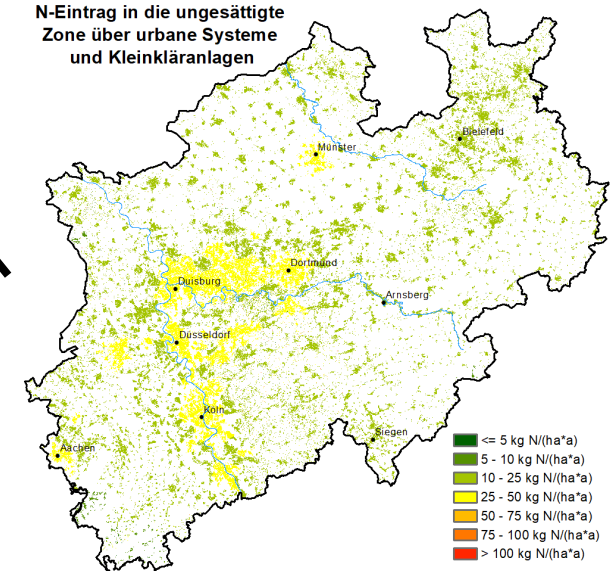


N-Austrag
aus dem Boden
(2014-2016)



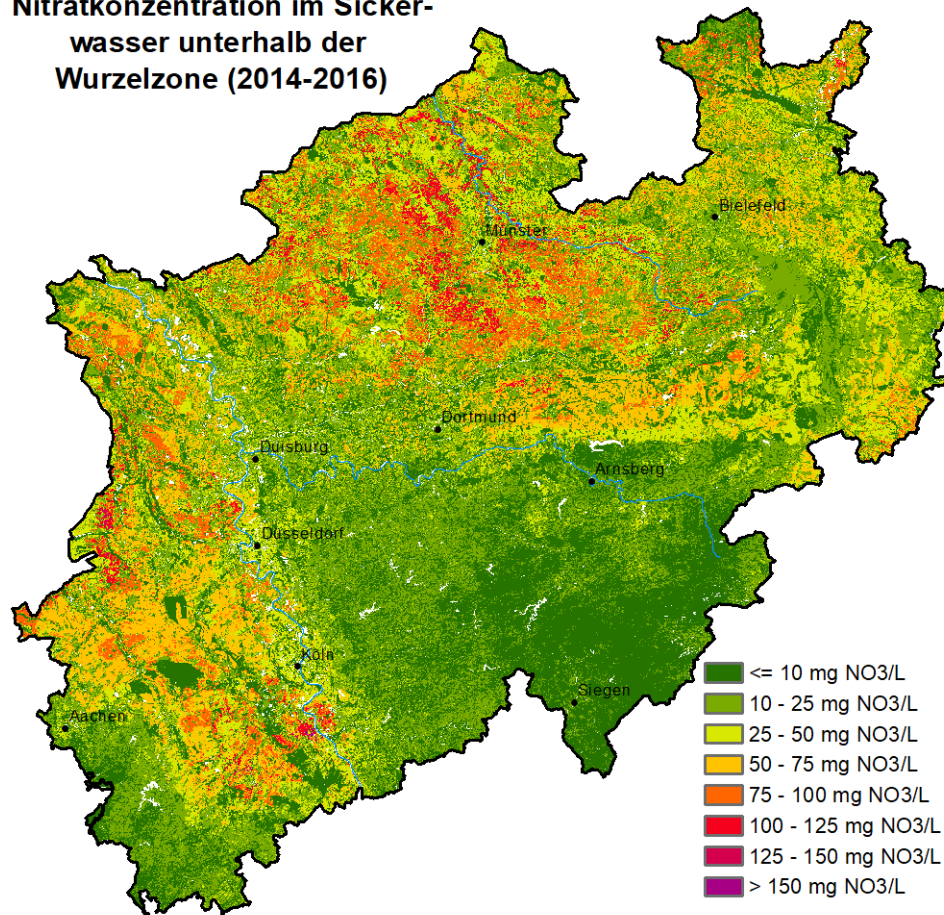
$$C_{NO3} = \frac{443 \cdot (d_{Boden} + KKA + KS)}{Q_{SW}}$$

N-Eintrag in die ungesättigte
Zone über urbane Systeme
und Kleinkläranlagen



MODELLIERTE NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER

Nitratkonzentration im Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone (2014-2016)



- <10 mg NO₃/l und >125 mg NO₃/l
- Größere Bereiche mit < 50 mg NO₃/l in allen urbanen Regionen, sowie vor allem bei hohen Sickerwasserraten, wie z.B. im Rheinischen Schiefergebirge, dort häufig in Kombination mit bewaldeten Gebieten
- Größere Bereiche > 50 mg NO₃/l bei geringen Sickerwasserraten (Rheinland) und / oder hohen diffusen N-Austrägen aus dem Boden (Münsterland)
- N-Austrägen aus urbanen Systemen und Kleinkläranlagen führen nur vereinzelt zu > 50 mg NO₃/l

MODELLIERTE NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER NRWS NACH LANDNUTZUNG

Landnutzung	Mittlere NO ₃ -Konzentration (mg NO ₃ /L)
Siedlungsflächen	20
Ackerland	55
Grünland	11
Dauerkulturen	13
Nadelwald, Mischwald	13
Laubwald	8
Andere	2-6

ZUSAMMENFASSUNG

- Ist-Zustandsmodellierung der Nitratkonzentration im Sickerwasser unter Berücksichtigung:
 - *N-Bilanzüberschüsse der Landwirtschaft aus RAUMIS (2014-2016) inkl. N-Importe*
 - *Atmosphärische Deposition (~2014-2016) (UBA, PINETI 3)*
 - *Diffuser N-Austrag aus dem Boden (DENUZ) basierend auf aktualisierter Bodenkarte und verbesserter Modellalgorithmen*
 - *N-Austrag aus Kleinkläranlagen und urbanen Systemen*
 - *Mittlere Sickerwasserhöhe (mGROWA, Stand 2018) aus aktueller 30-jähriger Zeitreihe*
- **Regional bzw. abhängig von Landnutzung und weiterer Standortfaktoren große Unterschiede: <10 mg bis >125 mg NO₃/l**

- *Plausibilitätsüberprüfung der modellierten Werte: nachfolgende Folienpräsentationen (LANUV; Erftverband)*
- *Grundlage zur Ableitung des N-Minderungsbedarfs zur Erreichung des Grundwasserqualitätsziels*



Question

