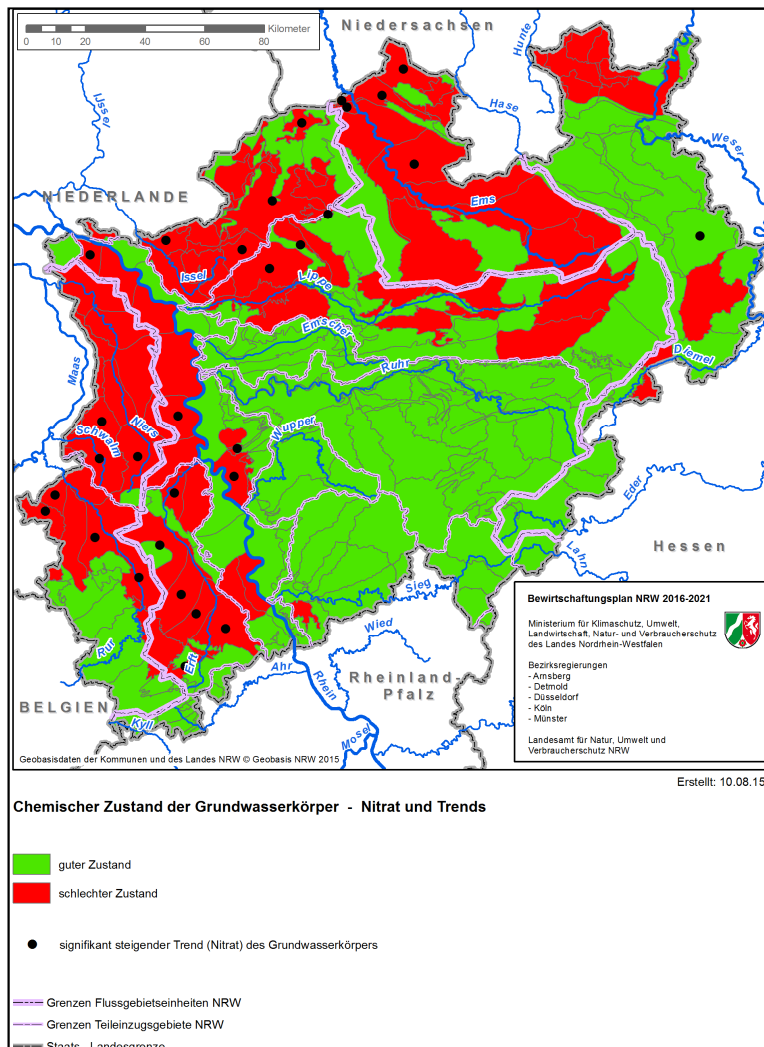


# N-EINTRÄGE INS GRUNDWASSER UND N-MINDERUNGSBEDARF ZUR ERREICHUNG DES GRUNDWASSERSCHUTZZIELS

**Ralf Kunkel und Frank Wendland**

Abschluss-Begleit-AK GROWA+ NRW2021 am 12.12.2019 in Duisburg

# GRUNDWASSERKÖRPER IN NRW



## Zustandsbewertung der 275 GWK:

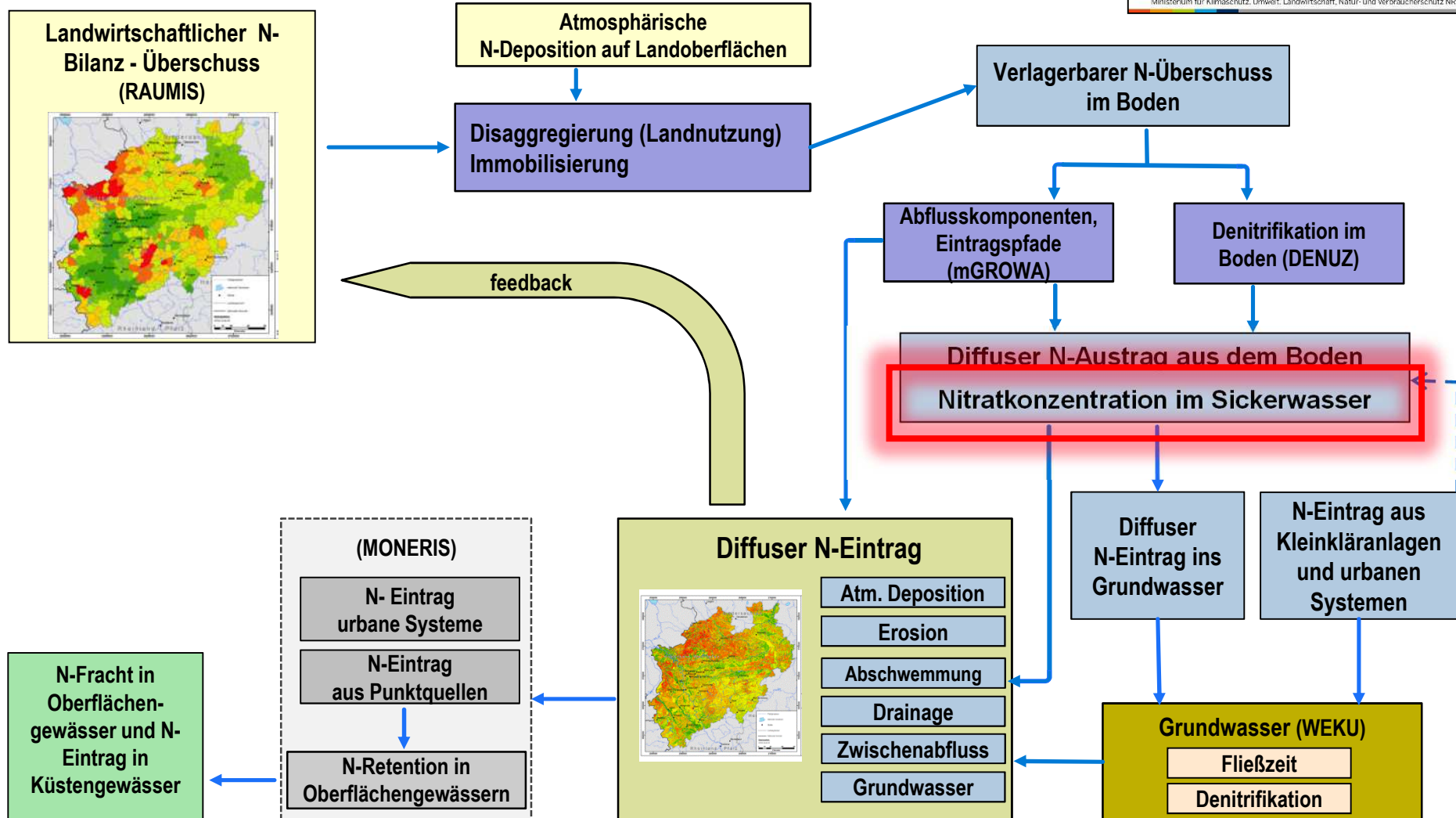
- **88 GWKs** (~40% der Fläche NRWs; 30x Trend ↑) im schlechten chemischen Zustand bzw. mit steigendem Trend wegen Nitrat
- Maßnahmen zur Reduzierung der Stickstoff-Einträge in das Grundwasser notwendig
  - *N-Einträge ins Grundwasser*
  - *Ermittlung des N-Minderungsbedarfs zur Erreichung des Schutzziels für das Grundwasser*
  - *Evtl. weitere Binnendifferenzierung der Belastung innerhalb der GWK erforderlich*

## Defizitanalyse Grundwasser (LAWA, 2017):

- Keine Berücksichtigung der Denitrifikation im Grundwasser: **Der Nitrat-Grenzwert von 50 mg/L ist im Sickerwasser einzuhalten**

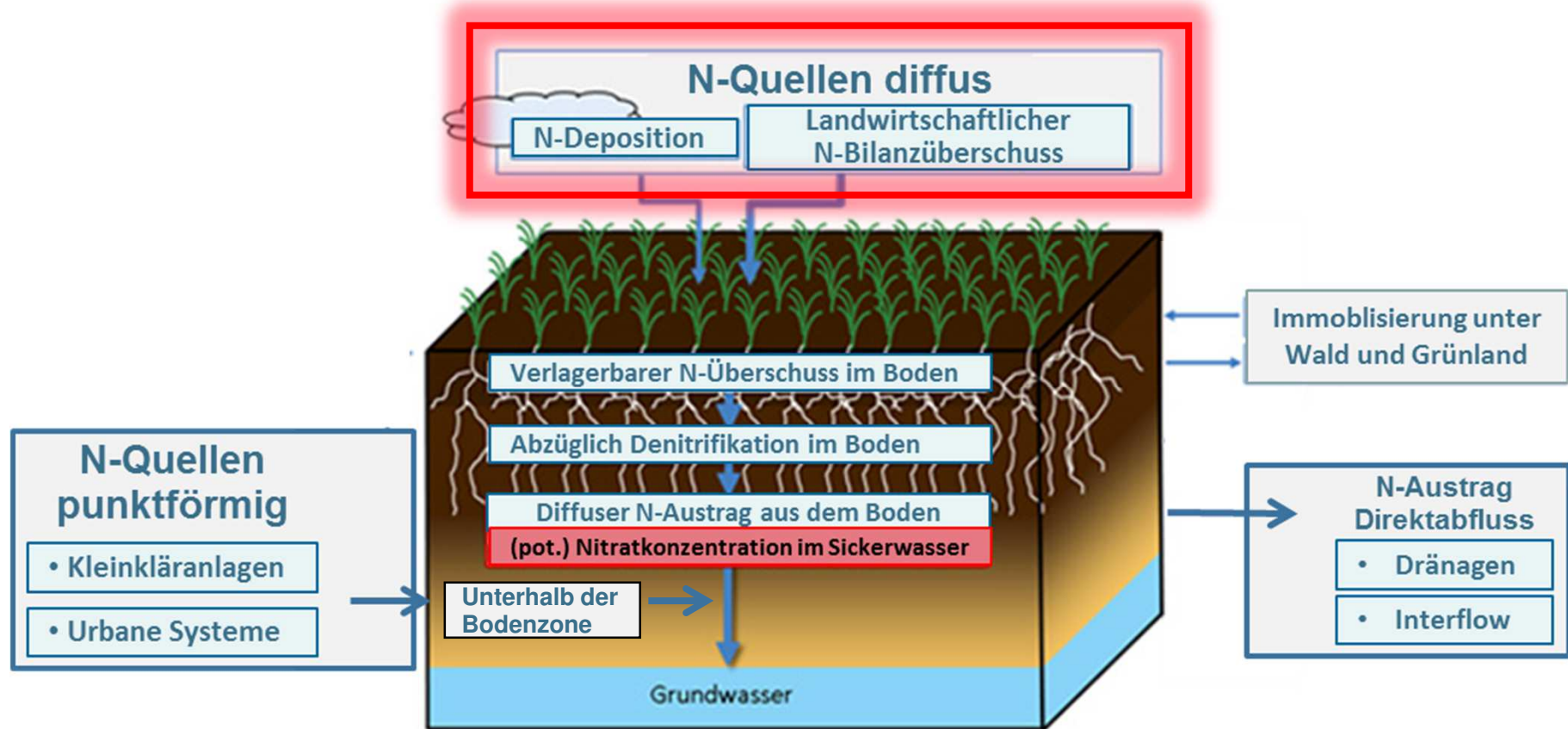
# GROWA+NRW2021:

## MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU



Ermittlung der Nitratkonzentration im Sickerwasser und des N-Minderungsbedarf zur Erreichung des Grundwasserschutzziels

# N-QUELLEN ZUR BERECHNUNG DER NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER

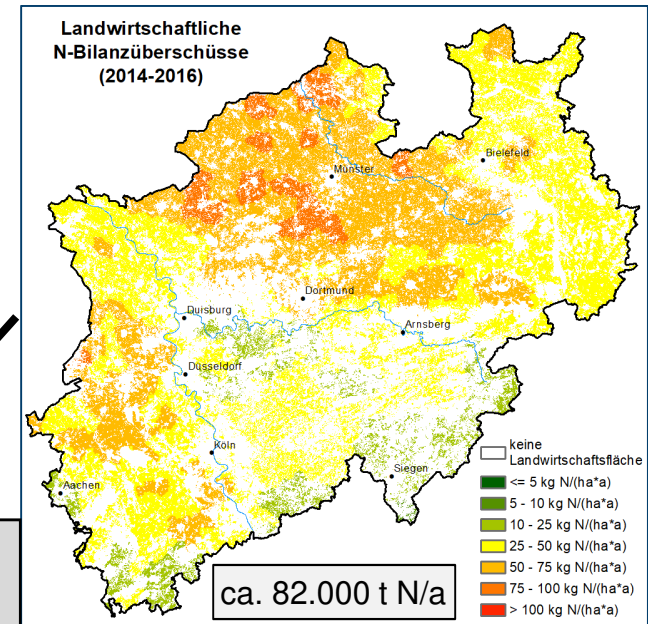
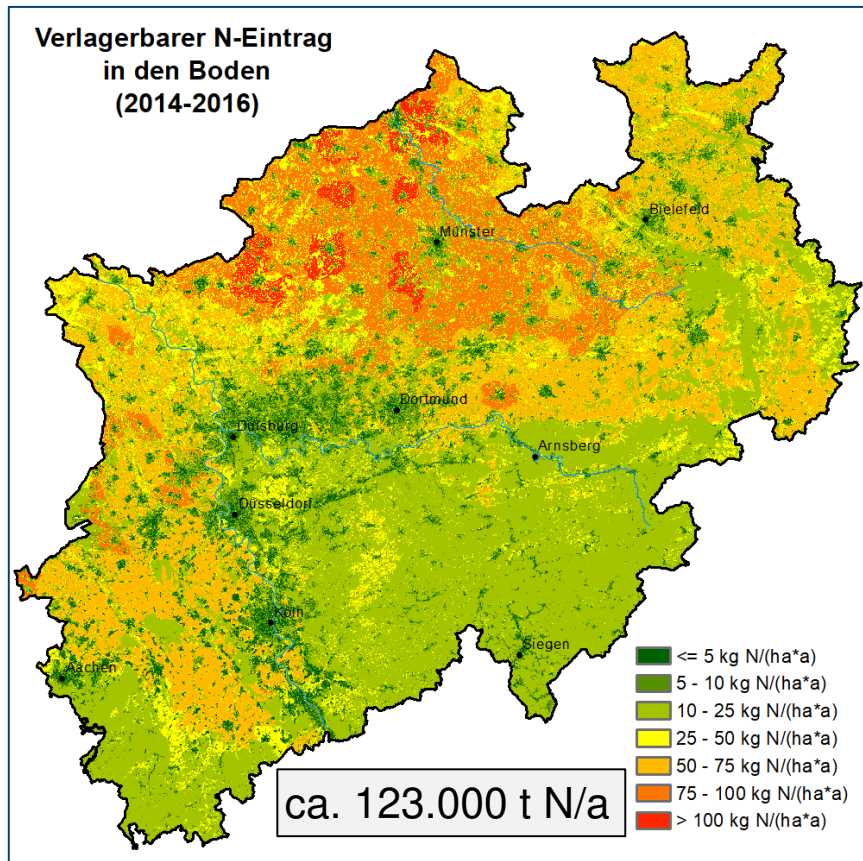


$$C_{NO_3} = \frac{443 \cdot (d_{Boden} + KKA + US)}{Q_{SW}}$$

$C_{NO_3}$ :	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)]
US:	N-Austrag aus urbanen Systemen	[kg N/(Gemeinde·a)]

Mitglied der H

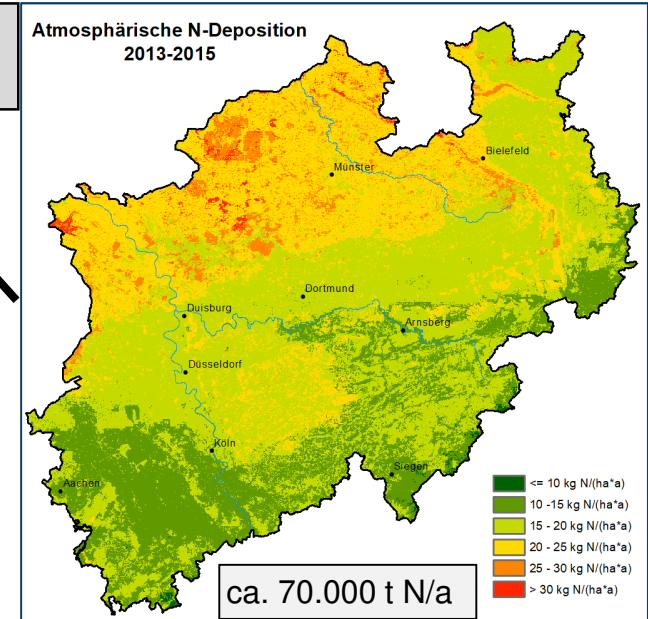
# DIFFUSE N-QUELLEN UND VERLAGERBARER N-EINTRAG IN DEN BODEN



Modell RAUMIS (TI)

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

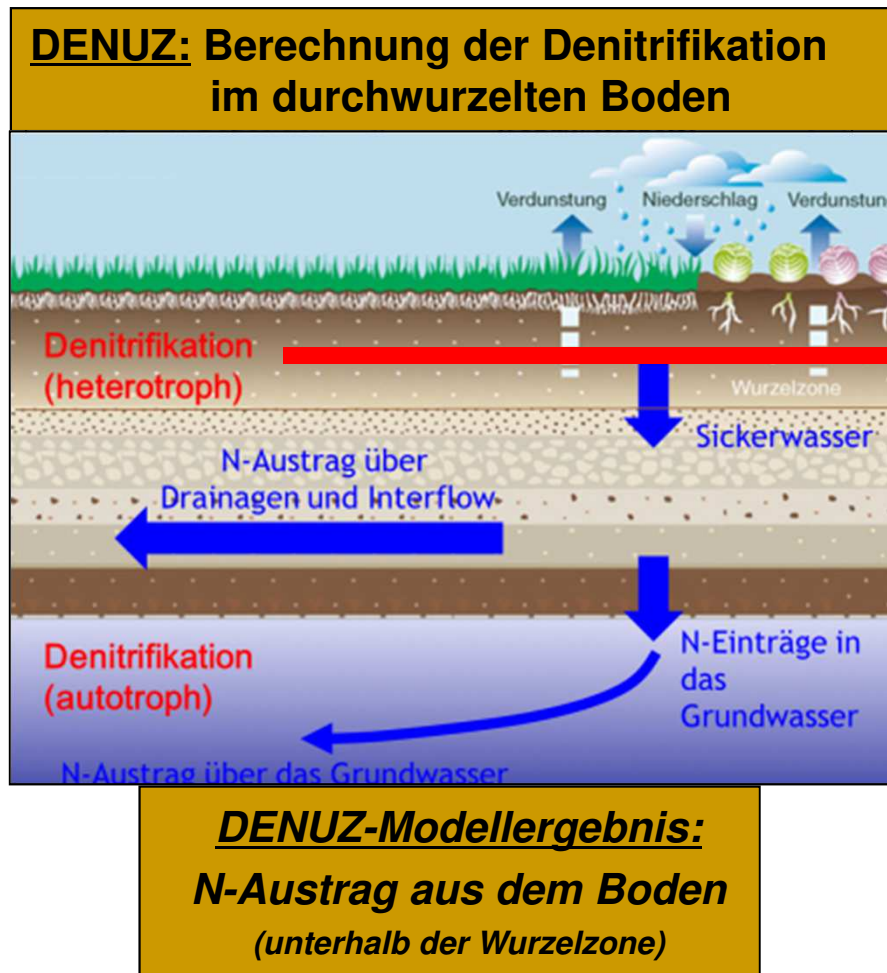
Modell PINETI3 (UBA)



- <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:

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

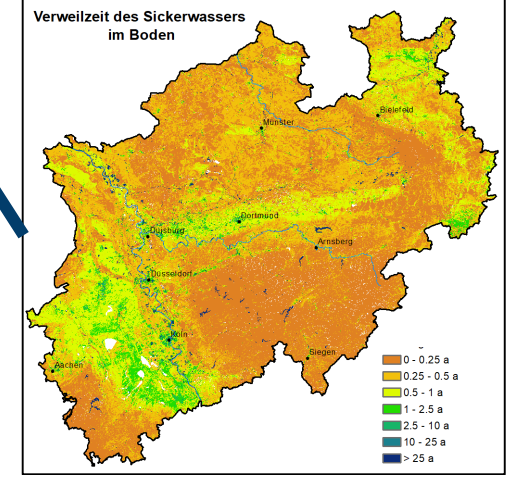
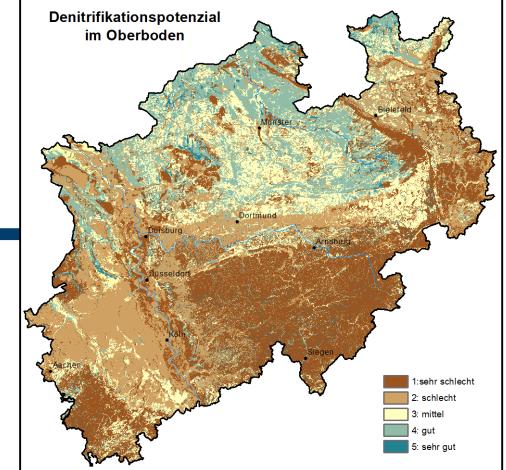
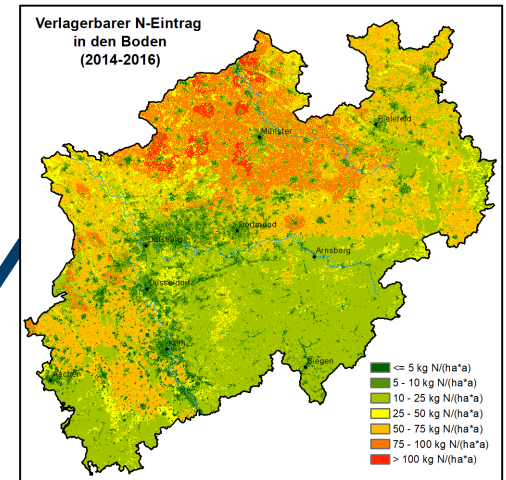
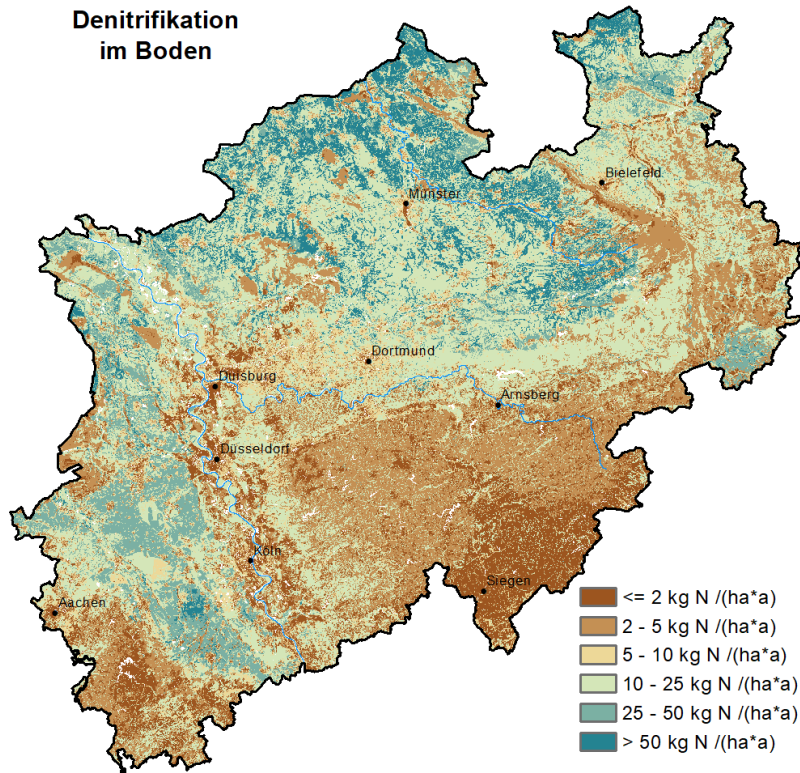
Abhängigkeiten:

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

# 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	<b>Felshumusboden, Syrosem<sup>1)</sup>, Ranker, Regosol<sup>1)</sup>, Rendzina, Braunerde<sup>1)</sup>, Podsol<sup>1)</sup></b>
2	gering	10 – 30	[trocken] ganzjährig keine Wassersättigung	[humos] Alluvium, Kolluvium; schluffige und tonige Lockergesteine, erhöhte Humusgehalte, auch im Unterboden	<b>Pararendzina<sup>1)</sup>, Parabraun- erde<sup>1)</sup>, Pelosol, Tschernosem<sup>2)</sup>, Auenboden<sup>2)</sup>, Kolluvisol<sup>1)</sup>, Plaggenesch<sup>1)</sup></b>
			[zeitweise nass] Grund- oder Stauwassereinfluss	[gering humos] sandige Lockergesteine, geringe Humusgehalte	<b>Podsol-Gley (Sand-Gley); Pseudogley</b>
3	mittel	30 – 50	[zeitweise nass] Grund- oder Stauwassereinfluss	[gering humos] schluffig-lehmige Lockergesteine, geringe Humusgehalte	<b>Gley-Pseudogley, Pseudogley- Gley, Haftnässepseudogley</b>
4	hoch	50 – > 150	[zeitweise nass] Grund- oder Stauwassereinfluss	[humos] nicht sandige, fluviale, limnogene und marine Lockergesteine	<b>Gley, Stagnogley, Gley- Auenboden<sup>3)</sup></b>
			Grundwasser nur zeitweise im Torfkörper	[Torfe] Hoch- und Niedermoortorfe	<b>Niedermoor, Hochmoor</b>
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 <sup>4)</sup> )	<b>Gley-Tschernosem, Marschböden</b>
				[Torfe] <b>Torfe, torfhaltige Substrate, organische Mudden</b>	<b>Moore, Moorgley, Organomarsch</b>

# DENITRIFIKATIONSVERLUSTE IM BODEN UND N-AUSTRAG AUS DEM BODEN



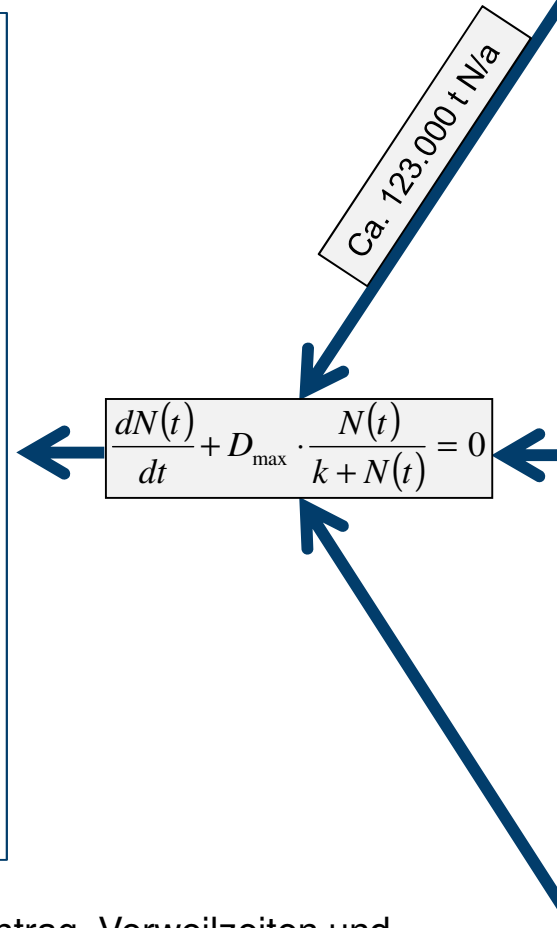
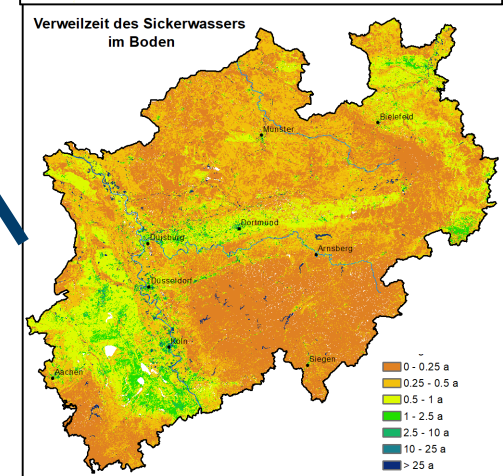
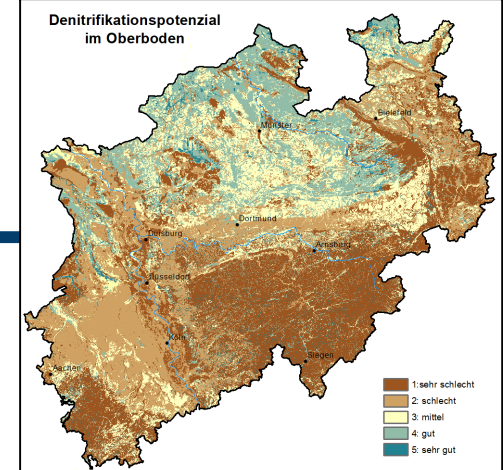
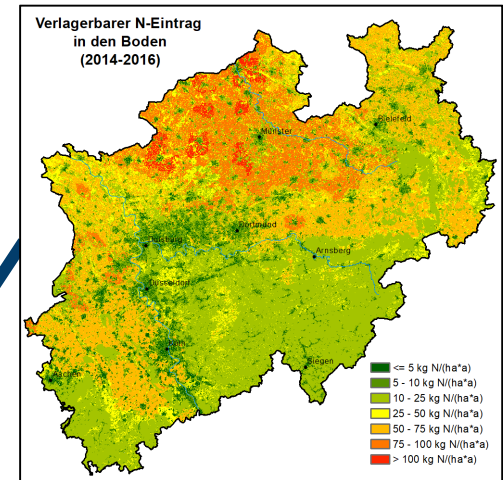
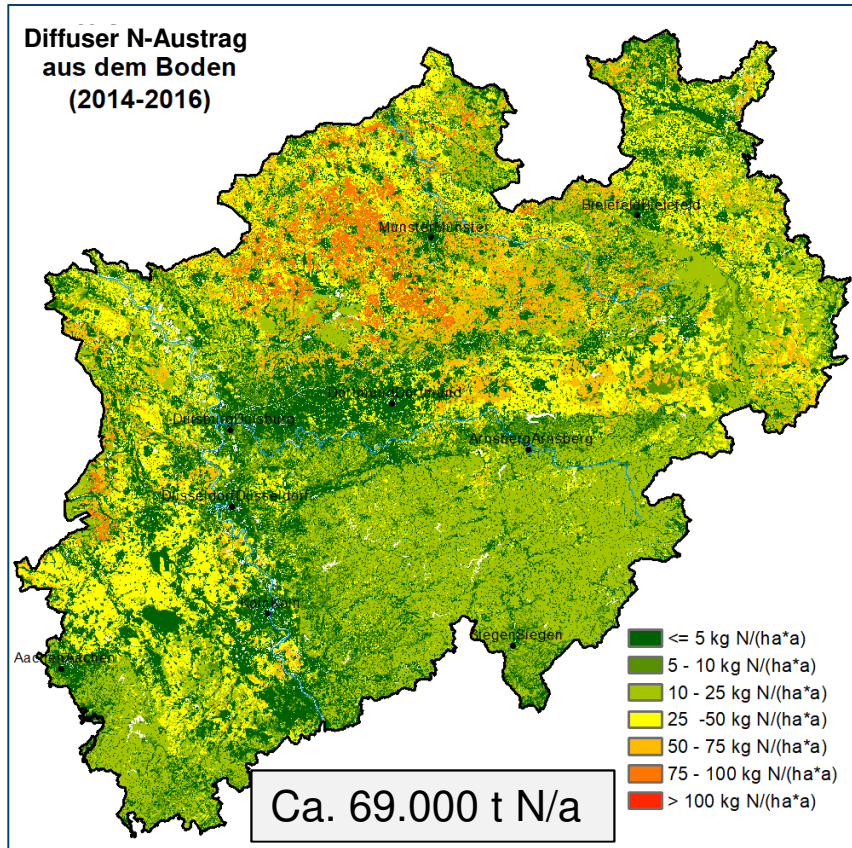
Ca. 123.000 t N/a

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

- Zusammenspiel zwischen verlagerbarem N-Eintrag, Verweilzeiten und Nitrat-abbaubedingungen führt in den Böden NRWs zu Denitrifikationsverlusten zwischen < 5 kg/(ha a) und > 50 kg/(ha a) im Boden → im Landesmittel **ca. 44%** der verlagerbaren N-Einträge
- N-Austrag aus dem Boden 2010: ca. 103.000 t N/a → deutlicher Rückgang

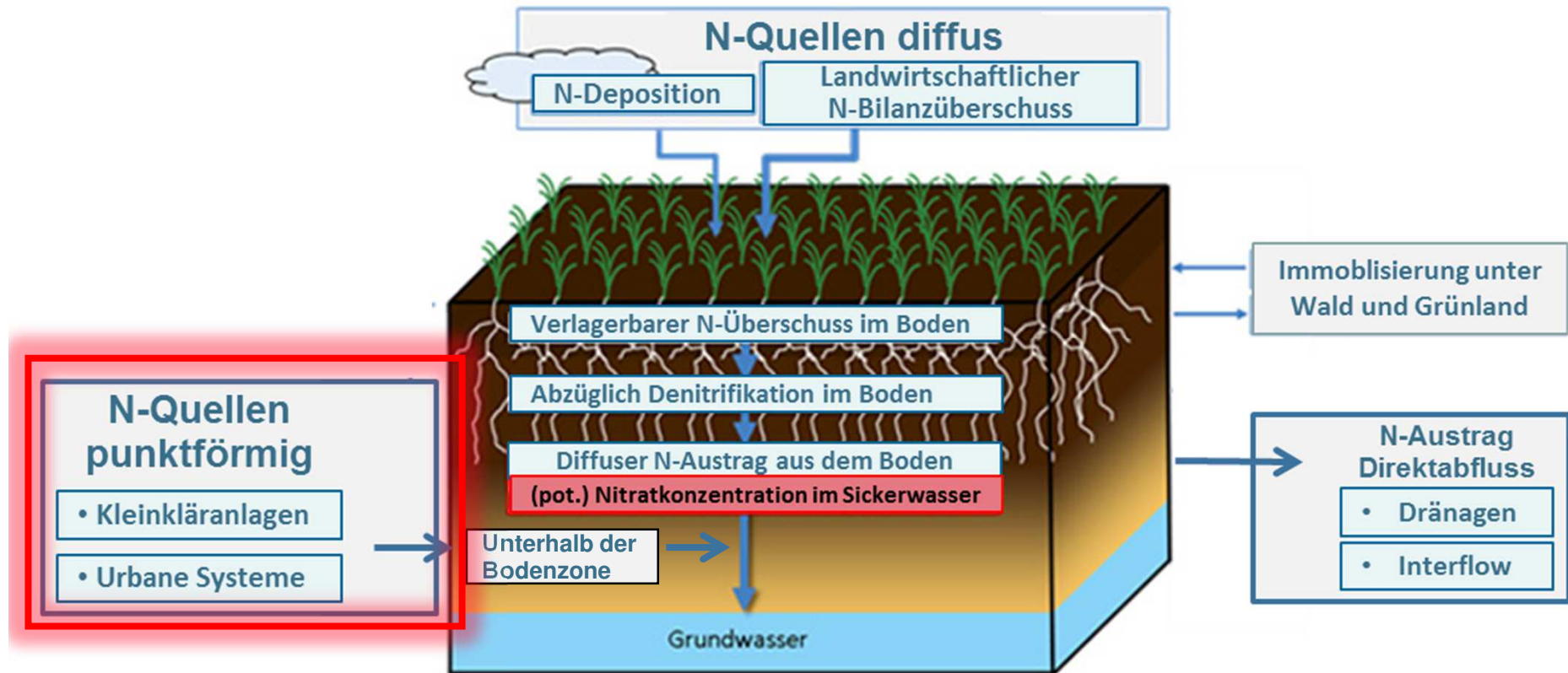


# DENITRIFIKATIONSVERLUSTE IM BODEN UND N-AUSTRAG AUS DEM BODEN



- Zusammenspiel zwischen verlagerbarem N-Eintrag, Verweilzeiten und Nitratabbaubedingungen führt in den Böden NRWs zu Denitrifikationsverlusten zwischen < 5 kg/(ha a) und > 50 kg/(ha a) im Boden  
→ im Landesmittel **ca. 44%** der verlagerbaren N-Einträge
- N-Austrag aus dem Boden 2010: ca. 103.000 t N/a → deutlicher Rückgang

# N-QUELLEN ZUR BERECHNUNG DER NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER

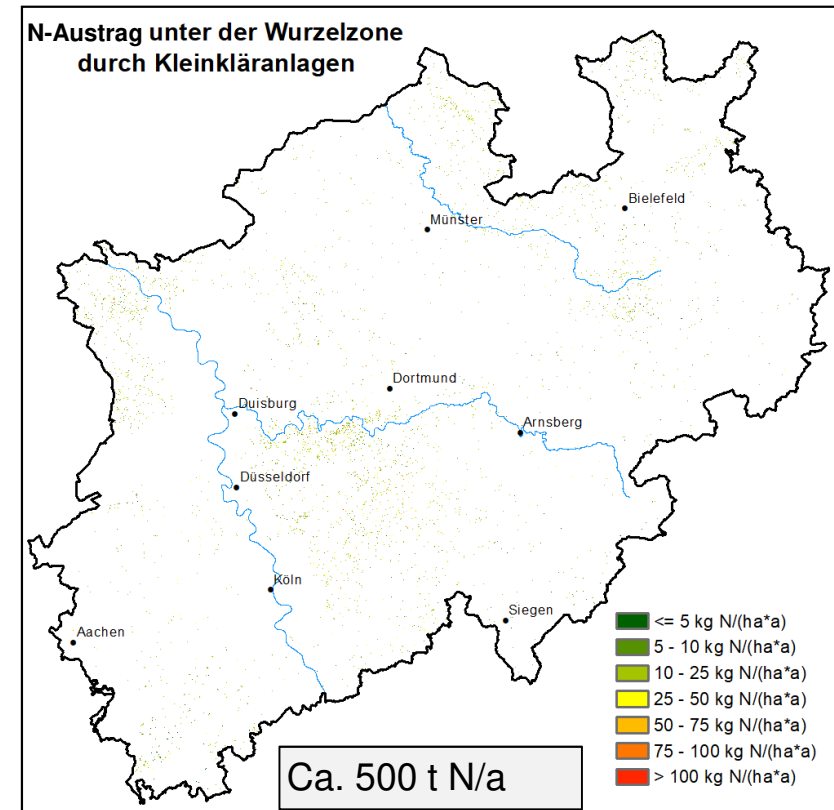
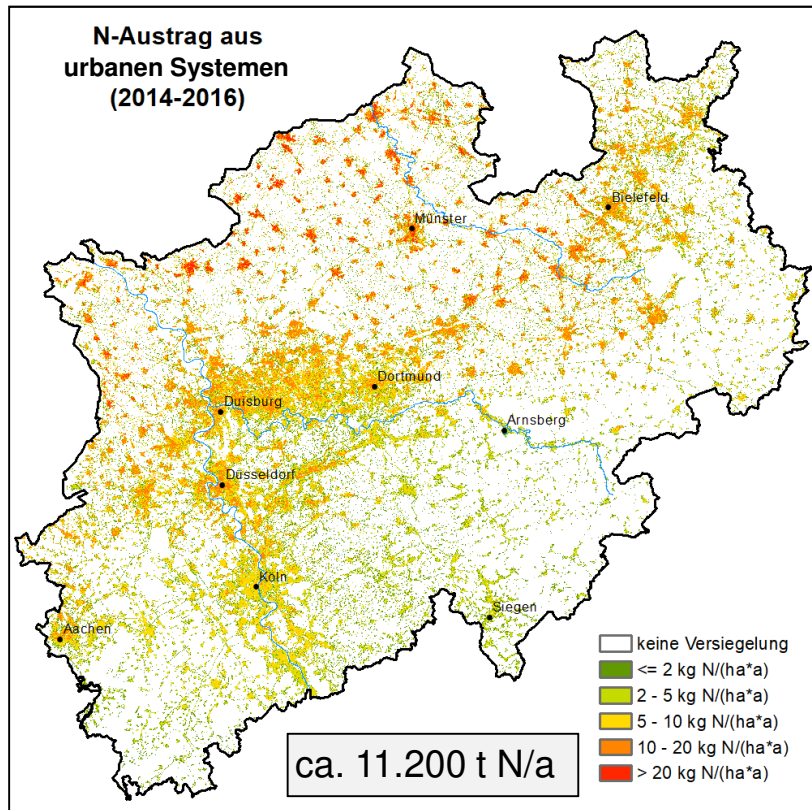


$$C_{NO_3} = \frac{443 \cdot (d_{Boden} + KKA + US)}{Q_{SW}}$$

$C_{NO_3}$ :	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)]
US:	N-Austrag aus urbanen Systemen	[kg N/(Gemeinde·a)]

Mitglied der H

# N-AUSTRAG INS GRUNDWASSER AUS URBANEN SYSTEMEN UND KLEINKLÄRANLAGEN



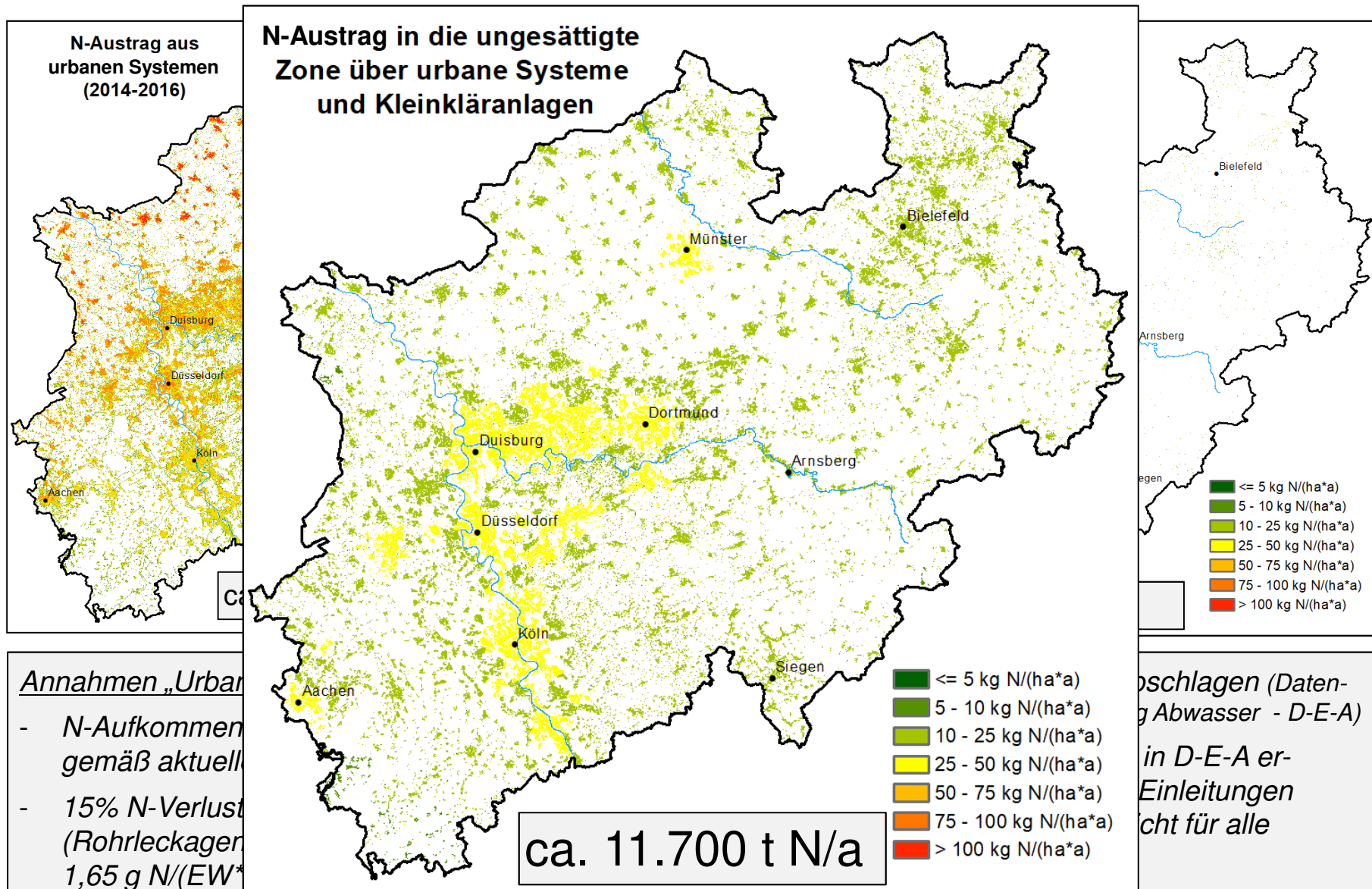
## Annahmen „Urbane Systeme“:

- N-Aufkommen von 11 g N/(EW\*Tag) gemäß aktuellem „Lagebericht“ (2016)
- 15% N-Verluste aus urbanen Systemen (Rohrleckagen, sonst. Punktquellen): 1,65 g N/(EW\*Tag)

*KKA, die ins Grundwasser abschlagen (Datendrehscheibe Einleiterüberwachung Abwasser - D-E-A)*

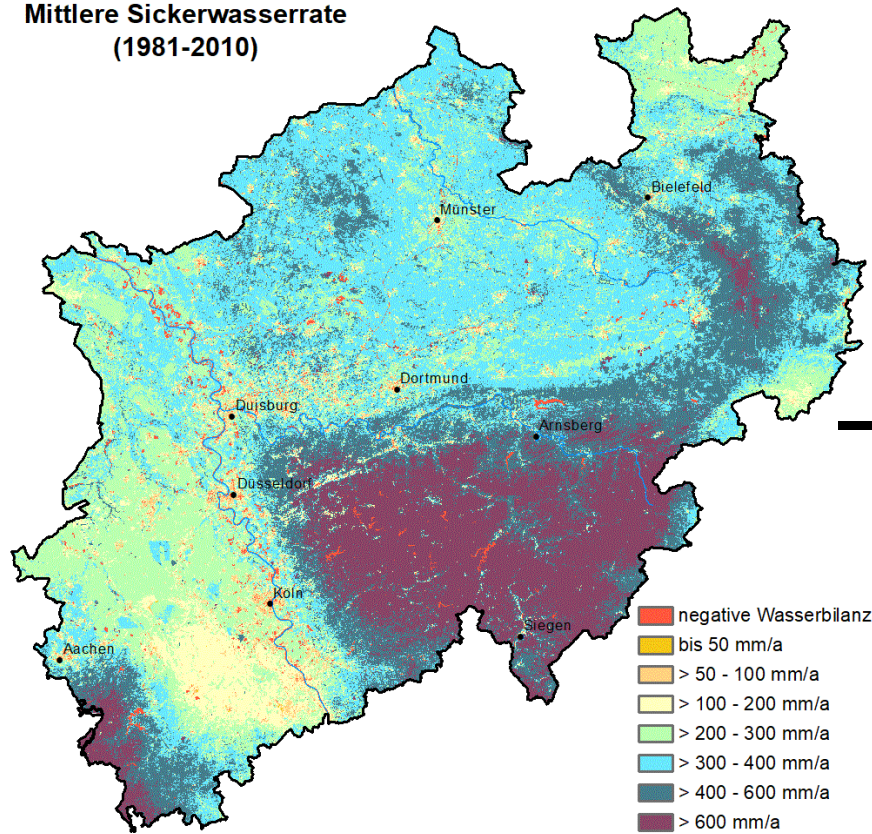
*N-Frachten entsprechen den in D-E-A erfassten jahresbezogenen N-Einleitungen dieser KKA; Datenbestand nicht für alle Kommunen vollständig*

# N-AUSTRAG INS GRUNDWASSER AUS URBANEN SYSTEMEN UND KLEINKLÄRANLAGEN

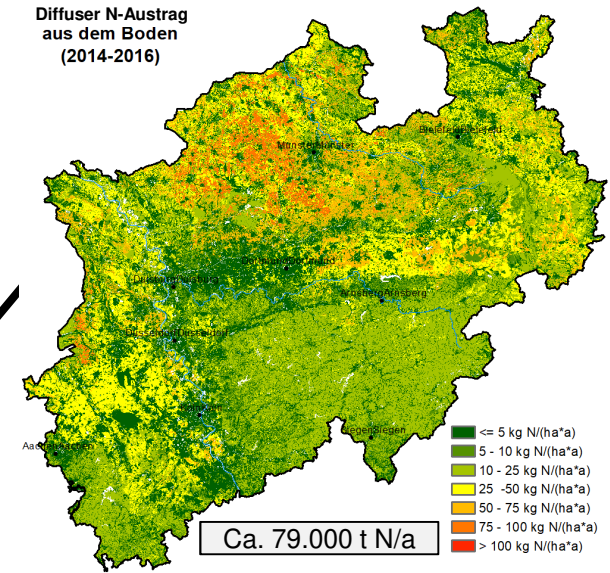


# MODELLIERTE NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER (MGROWA)

Mittlere Sickerwasserrate  
(1981-2010)

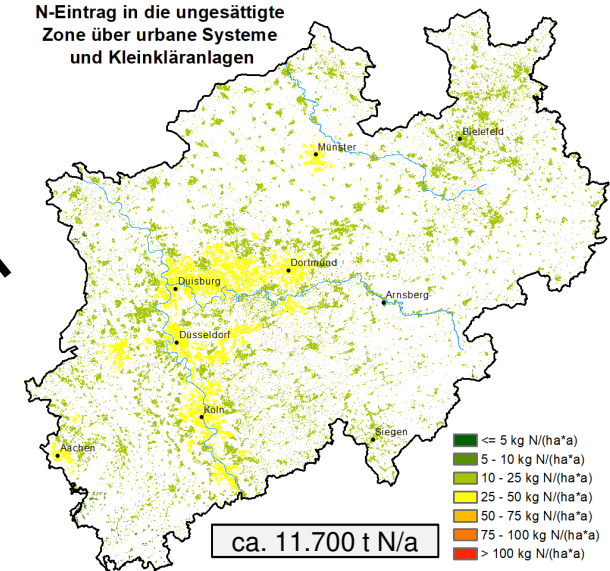


Diffuser N-Austrag  
aus dem Boden  
(2014-2016)



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

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

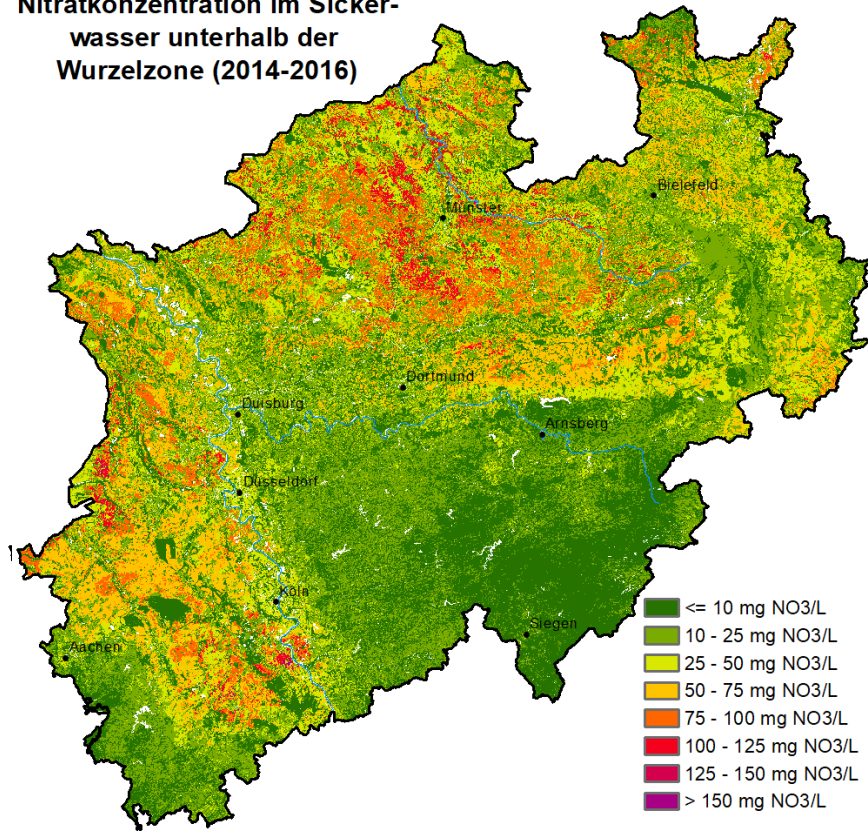


- Je höher die Sickerwasserrate, desto höher ist die Verdünnung der diffusen N-Austräge aus dem Boden sowie der N-Austräge aus Kleinkläranlagen und urbanen Systeme

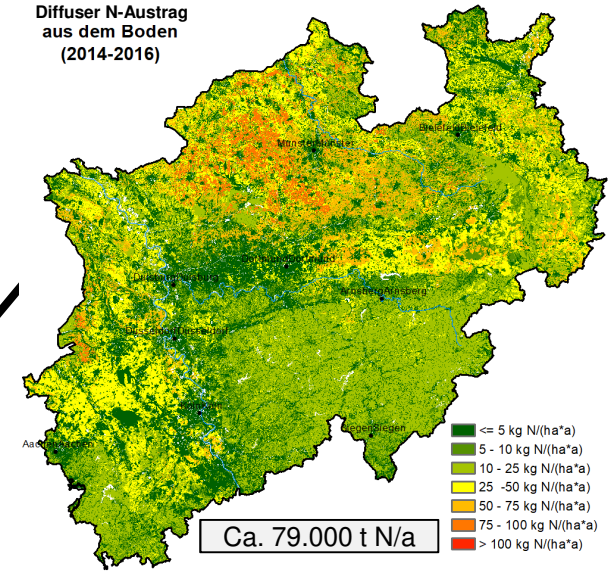
→ geringe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser bei hohen Sickerwasserraten

# MODELLIERTE NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER (MGROWA)

Nitratkonzentration im Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone (2014-2016)

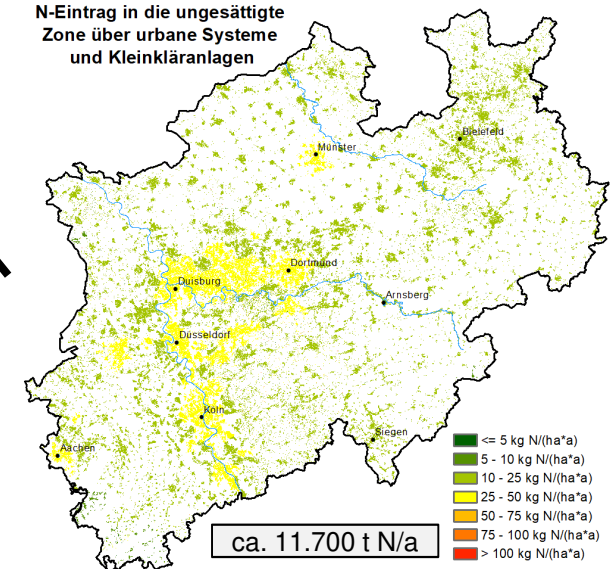


Diffuser N-Austrag aus dem Boden (2014-2016)



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

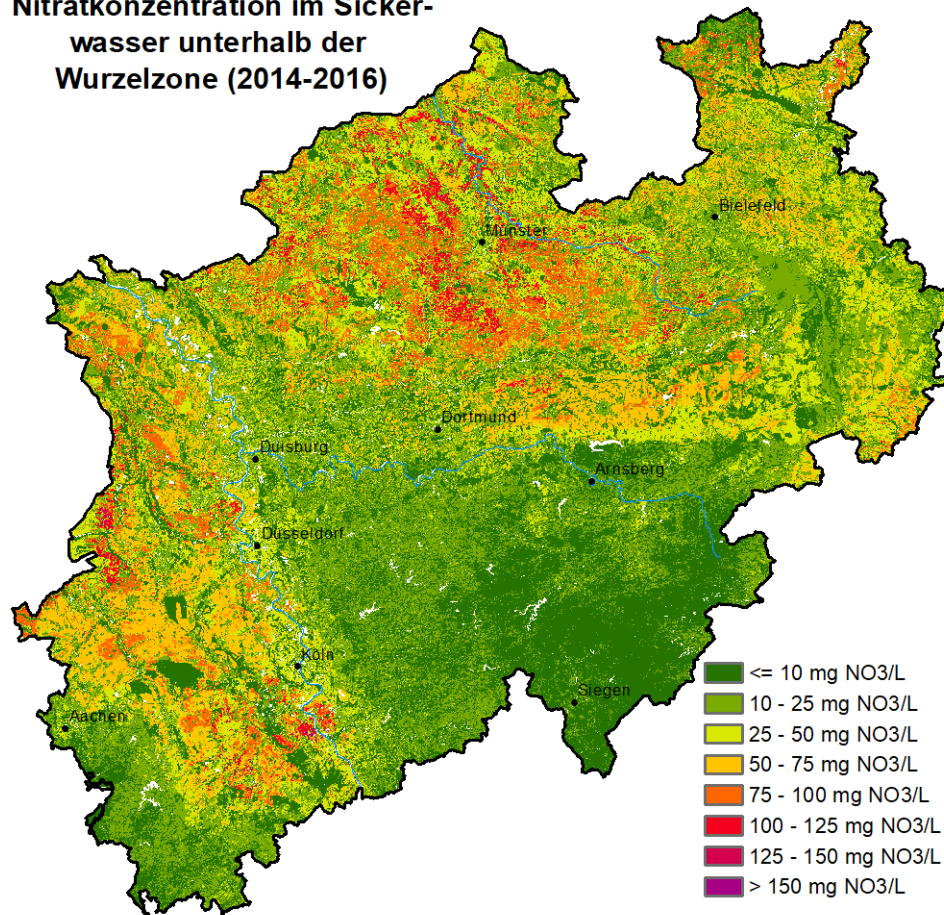
N-Eintrag in die ungesättigte Zone über urbane Systeme und Kleinkläranlagen



- 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

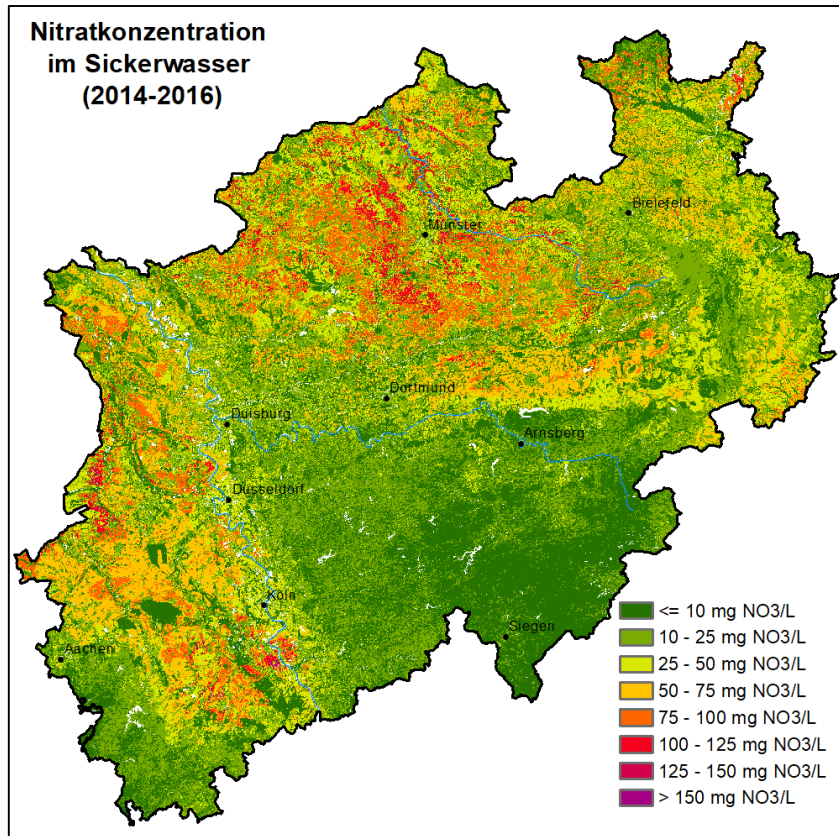
# MODELLIERTE NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER

Nitratkonzentration im Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone (2014-2016)

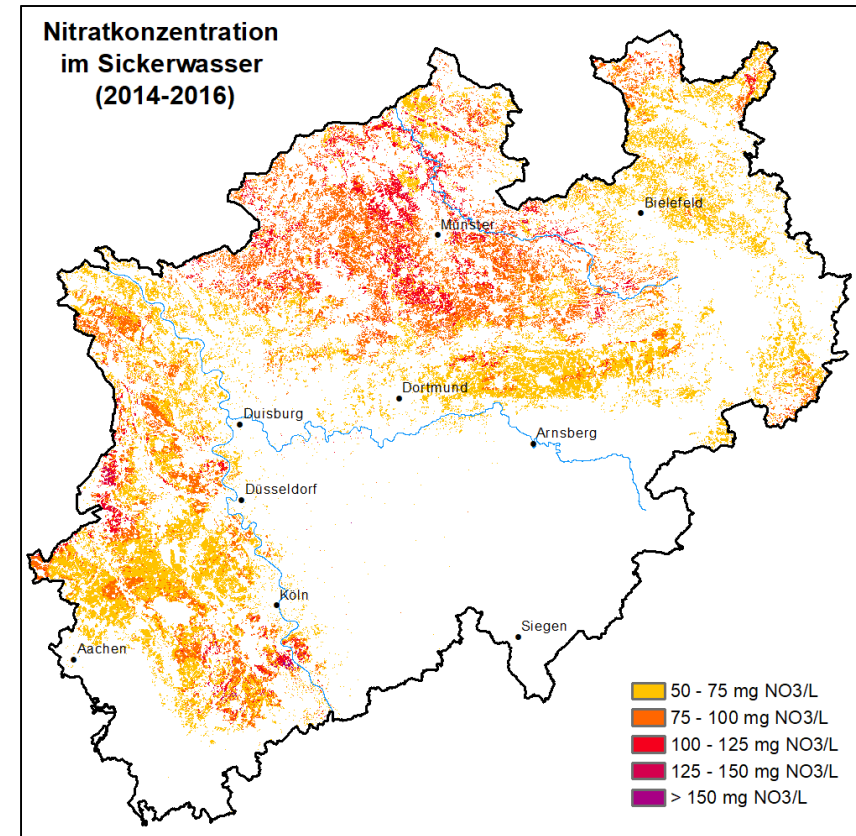


- <10 mg NO<sub>3</sub>/l und >125 mg NO<sub>3</sub>/l
- Größere Bereiche mit < 50 mg NO<sub>3</sub>/l in allen urbanen Regionen, sowie vor allem bei hohen Sickerwasserraten, wie z.B. im Rheinischen Schiefergebirge, dort häufig in Kombination mit bewaldeten Gebieten
- Größere Bereiche > 50 mg NO<sub>3</sub>/l bei geringen Sickerwasserraten (Rheinland) und / oder hohen diffusen N-Austrägen aus dem Boden (Münsterland)

# IN WELCHEM FALL BESTEHT N-MINDERUNGSBEDARF?



Nach LAWA (2017) sobald die Nitratkonzentration im Sickerwasser 50 mg NO<sub>3</sub>/l überschreitet



Regional differenzierte Identifizierung des (Haupt-) Verursachers:

- Landwirtschaft?
- KKA / urbane Systeme?
- Industrie / Verkehr / Haushalte?

*Welche Bedeutung haben die einzelnen Verursacher?*

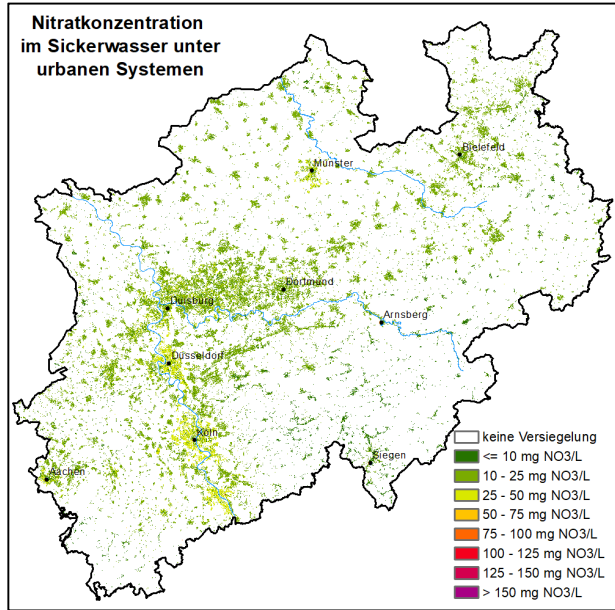


# BEDEUTUNG NICHT-LANDWIRTSCHAFTLICHER VERURSACHER

Urbane Systeme

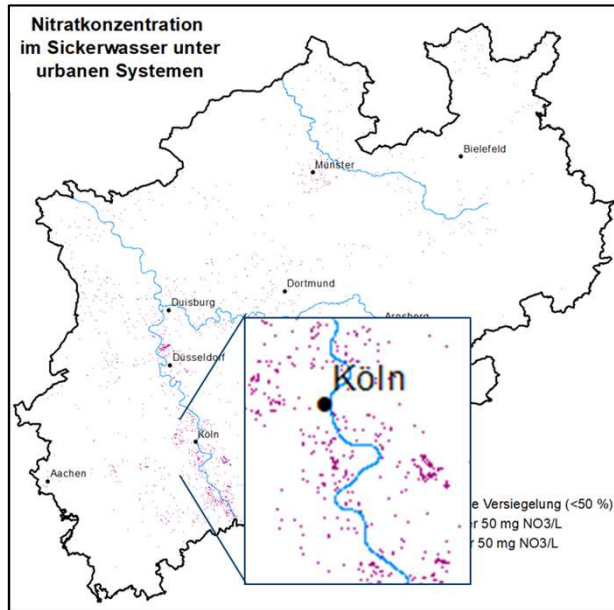
Kleinkläranlagen

NO<sub>x</sub>-Deposition

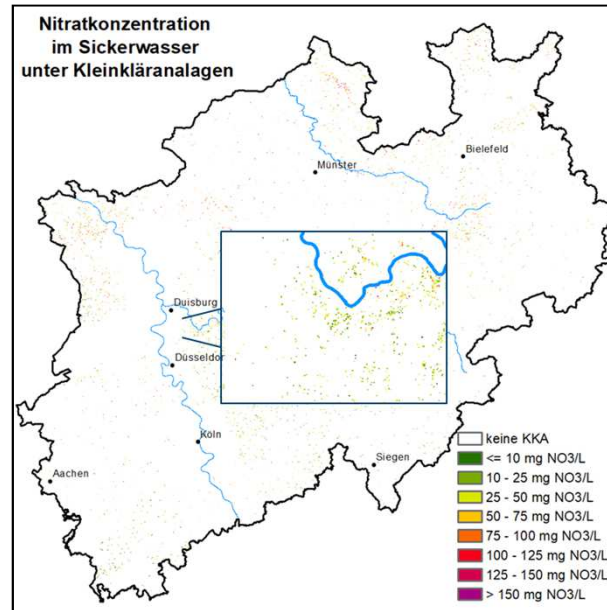


# BEDEUTUNG NICHT-LANDWIRTSCHAFTLICHER VERURSACHER

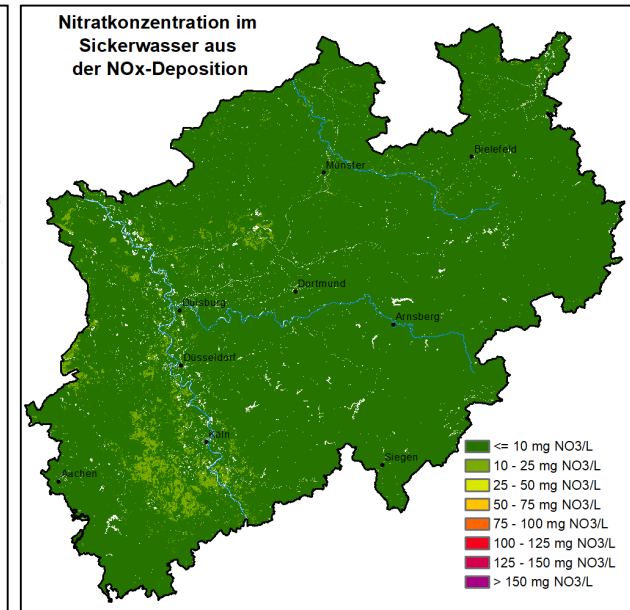
## Urbane Systeme



## Kleinkläranlagen



## NO<sub>x</sub>-Deposition

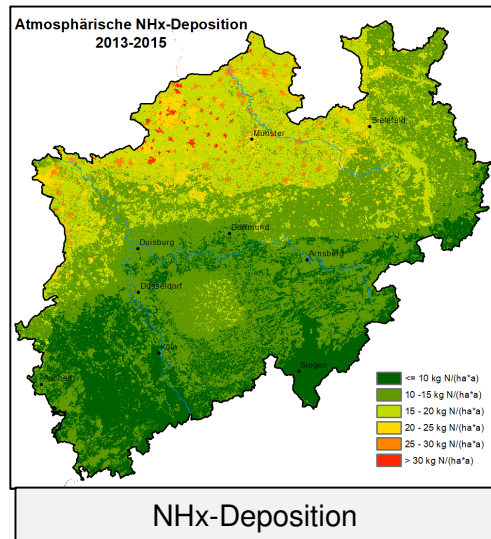


- Urbane Systeme führen gar nicht oder tragen nur unwesentlich zu einer Überschreitung der NO<sub>3</sub>-Konz. im Sickerwasser von 50 mg/L
- Bei ca. 28 % der KKA (~6800 Rasterzellen von 34 Mio. Rasterzellen) kommt es zu einer Überschreitung der NO<sub>3</sub>-Konz. im Sickerwasser von 50 mg/L
- Es kommt zu keiner Überschreitung der NO<sub>3</sub>-Konz. im Sickerwasser von 50 mg/L durch die NO<sub>x</sub>-Deposition

urbane Systeme, KKA und die NO<sub>x</sub>-Deposition führen **nicht** zur Zielverfehlung auf Ebene ganzer GWK nach EG-WRRL

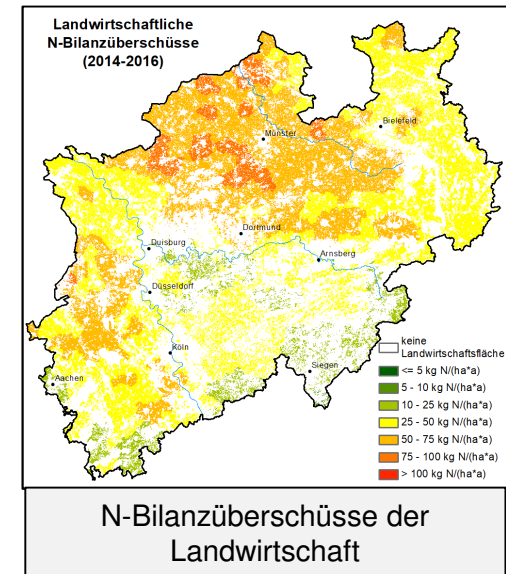
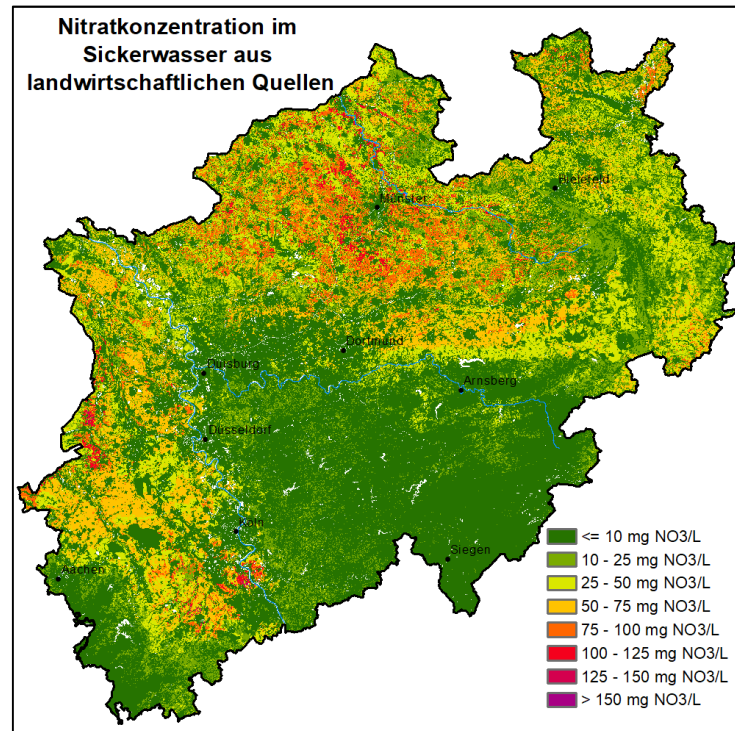
➤ Mögliche / erforderliche Maßnahmen zur Reduzierung der N-Austräge stehen damit außerhalb des WRRL-Maßnahmenprogramms

# BEDEUTUNG LANDWIRTSCHAFTLICHER N-EMISSIONEN



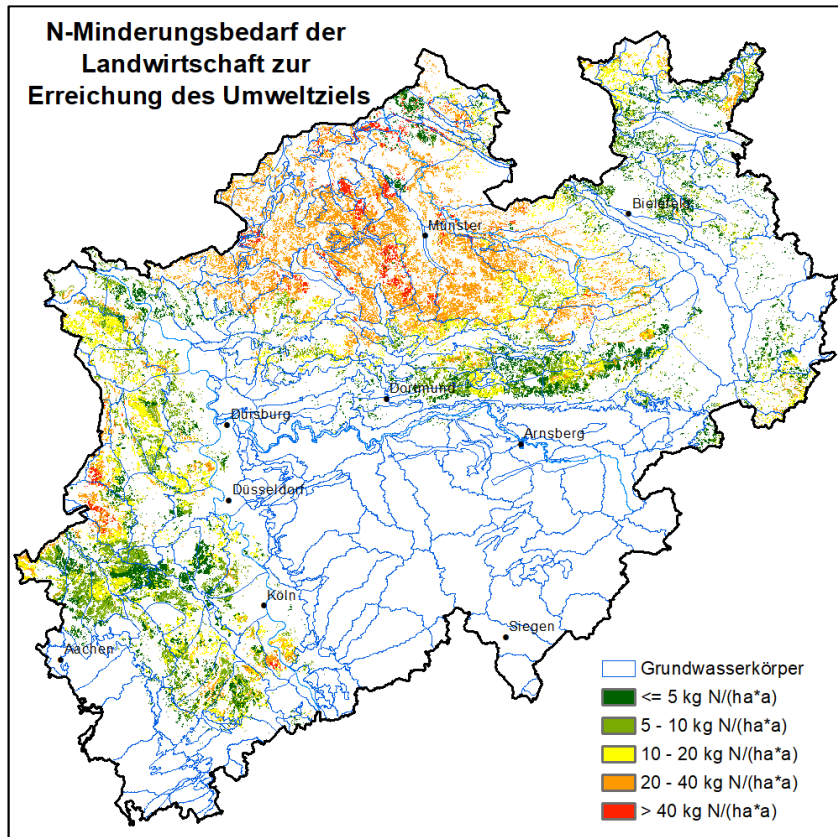
Anteil der Landwirtschaft an der N-Deposition (PINET13, 2018):

- NH<sub>x</sub> (nasse Dep.: ca. 95%)
- NO<sub>x</sub> (trockene Dep.: ca. 10%)



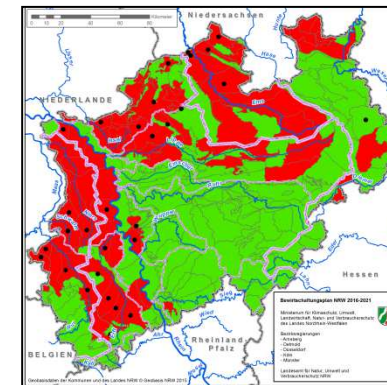
Wie groß ist der N-Minderungsbedarf für die Erreichung des Schutzziels Grundwasser bei ausschließlicher Berücksichtigung der landwirtschaftlichen N-Emissionen?

# ERGEBNIS: N-MINDERUNGSBEDARF DER LANDWIRTSCHAFT

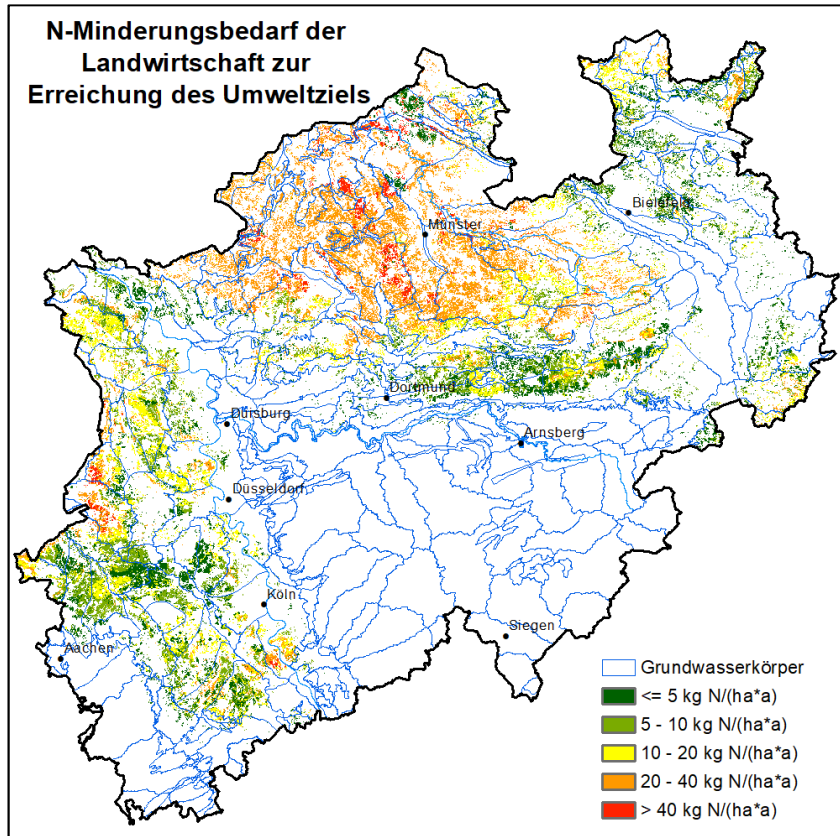


**Auswertung für alle Flächen mit Nitratkonzentrationen im Sickerwasser  $> 50$  mg/l**

Eine Reduzierung der N-Einträge in das Grundwasser ist in allen GWK notwendig, in denen im Maßnahmenprogramm des 2. BWP nach WRRL (2016-2021) die Maßnahme PGMN 41 „Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge in GW durch Auswaschung der Landwirtschaft“ festgelegt wurde



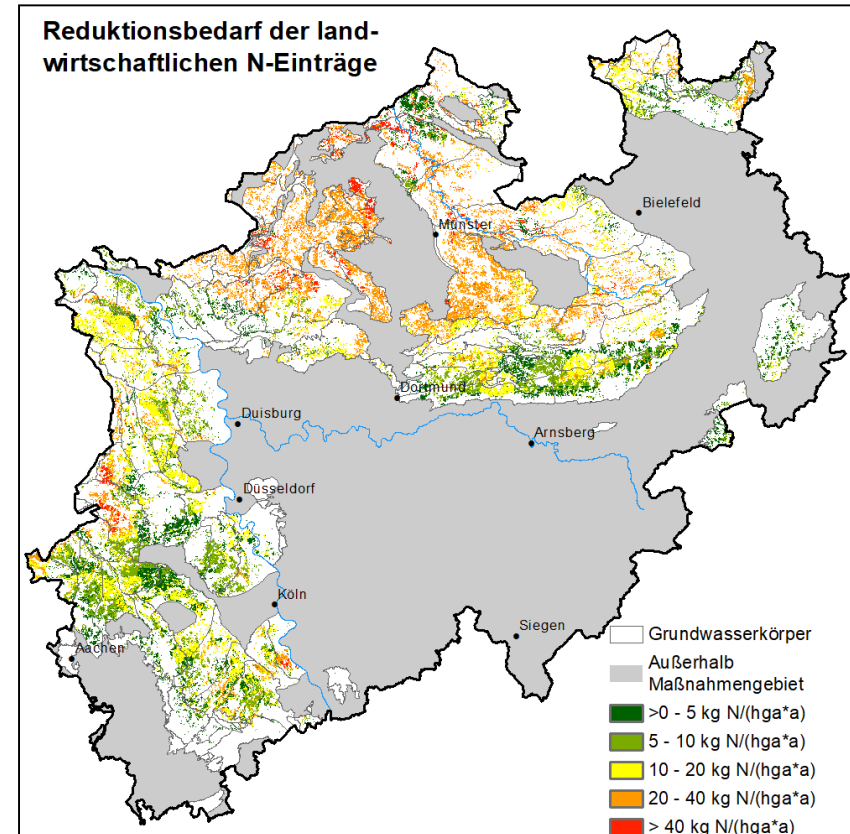
# ERGEBNIS: N-MINDERUNGSBEDARF DER LANDWIRTSCHAFT



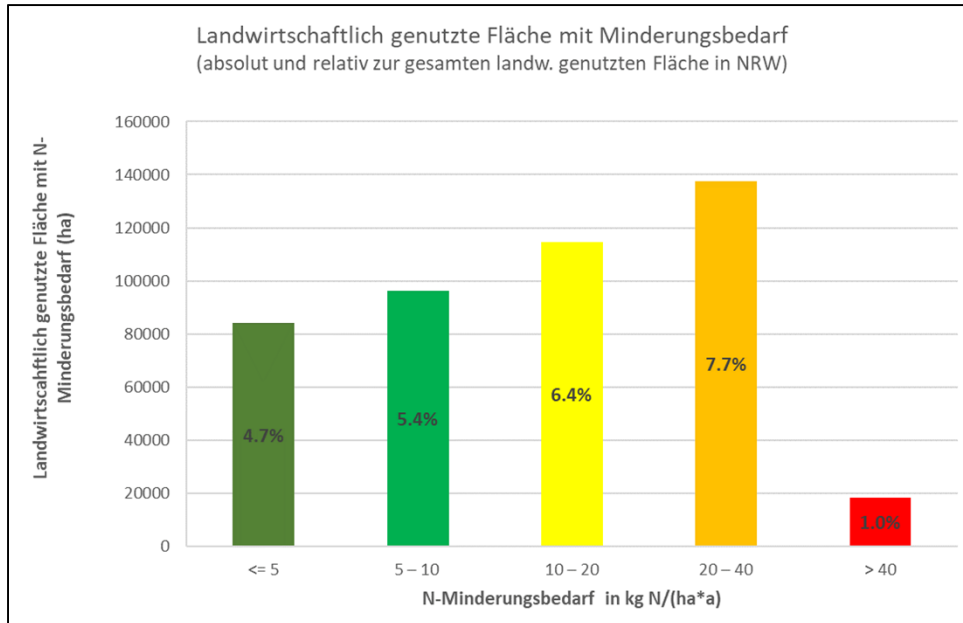
**Auswertung für alle Flächen mit Nitratkonzentrationen im Sickerwasser > 50 mg/l**

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

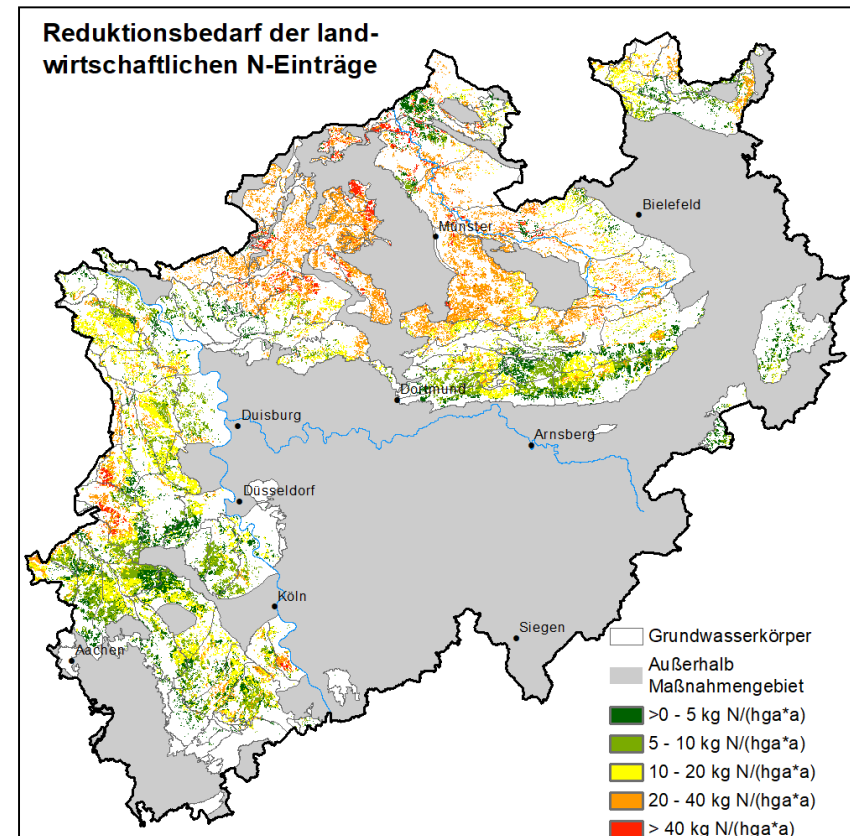
Eine Reduzierung der N-Einträge in das Grundwasser ist in allen GWK notwendig, in denen im Maßnahmenprogramm des 2. BWP nach WRRL (2016-2021) die Maßnahme PGMN 41 „Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge in GW durch Auswaschung der Landwirtschaft“ festgelegt wurde



# ERGEBNIS: N-MINDERUNGSBEDARF DER LANDWIRTSCHAFT



- Anteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen mit N- Minderungsbedarf in den GwK mit PGMN 41 an der Gesamt-Landwirtschaftsfläche NRWs liegt bei ca. 25 %
- Der N-Minderungsbedarf in diesen 25% der Landwirtschaftsfläche liegt für
  - Ca. 31 % der Fläche bei 20-40 kg/ha a
  - Ca. 47 % der Fläche bei 5 – 20 kg/ ha a



# ZUSAMMENFASSUNG

1. Modellierung der Nitratkonzentration im Sickerwasser unter Einbeziehung der Haupteintragsquellen:
  - *N-Bilanzüberschüsse der Landwirtschaft*
  - *Atmosphärische NH<sub>x</sub>-Deposition*
  - *Atmosphärische NO<sub>x</sub>-Deposition*
  - *Kleinkläranlagen*
  - *urbane Systeme*
2. Analyse der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser im Hinblick auf die Hauptverursacher:
  - *N-Austräge aus KKA, urbanen Systemen und durch die NO<sub>x</sub>-Deposition führen nicht oder tragen nur unwesentlich und lokal begrenzt zur Zielverfehlung bei*
  - *(fast ausschließlich) N-Emissionen aus der Landwirtschaft bedingen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser > 50 mg NO<sub>3</sub>/L auf Ebene von Grundwasserkörpern im Sinne der EG-WRRL*
3. Ermittlung des N-Minderungsbedarfs zur EG-WRRL-Zielerreichung bezogen auf landwirtschaftlichen N-Emissionen für die GWK mit PGMN 41 (Reduzierung Nährstoffeinträge GW)



Question

