MODELLIERUNG DER DIFFUSEN STICKSTOFF-EINTRÄGE IN DIE OBERFLÄCHENGEWÄSSER NRWS

Dr. Ralf Kunkel und Prof. Dr. Frank Wendland

5. Begleit-Arbeitskreis GROWA+ NRW 20212019-04-08, Duisburg

GLIEDERUNG DES VORTRAGS

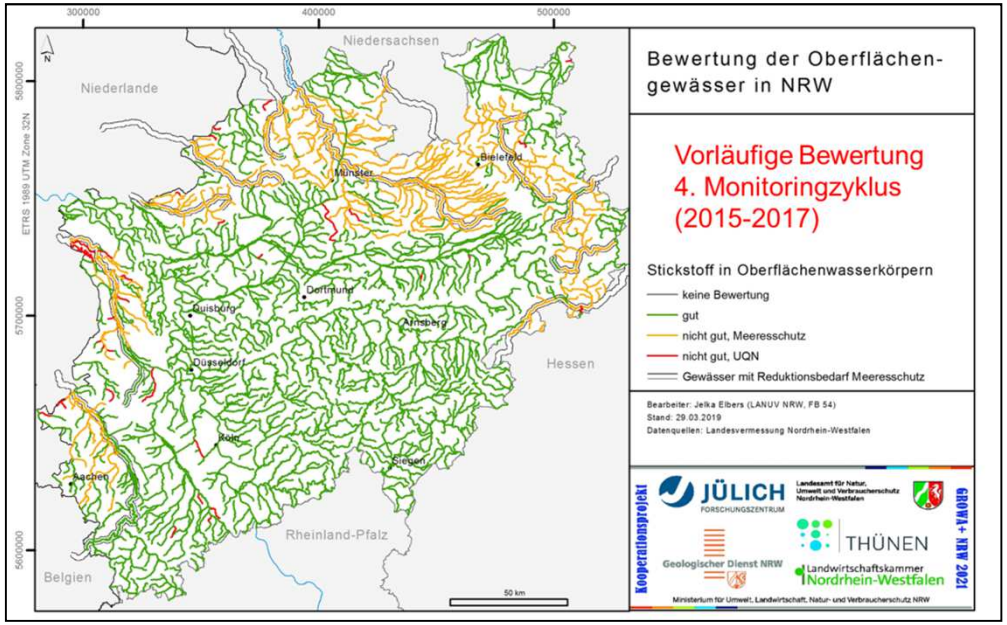
1. **Motivation und Zielsetzung**
2. **Modellansatz**
3. **N-Austragsmenge**
4. **Diffuse N-Einträge in die Vorfluter über die Direktabflusskomponenten:**
   - *Dränage*
   - *Interflow*
   - *Erosion*
   - *Abschwemmung*
   - *Deposition auf Gewässerflächen*
5. **Diffuse N-Einträge in die Vorfluter über das Grundwasser:**
   - *N-Eintrag ins Grundwasser*
   - *Fließzeiten*
   - *Denitrifikation im Aquifer*
6. **Zusammenfassung**

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

1. MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

ZUSTANDSBEWERTUNG DER OBERFLÄCHENGEWÄSSER

- Vor allem zur Erreichung des Meeresschutzziels für die Nordsee (Nges < 2.8 mg N/l) sind einige Gewässer in einem nicht guten Zustand wegen zu hoher N-Belastungen
- Dieses eigentlich meeresökologisch begründete Schutzziel ist nicht nur im Übergangsbereich limnisch-marin zu erreichen, sondern auch für jeden Hauptzufluss eines Flusssystems



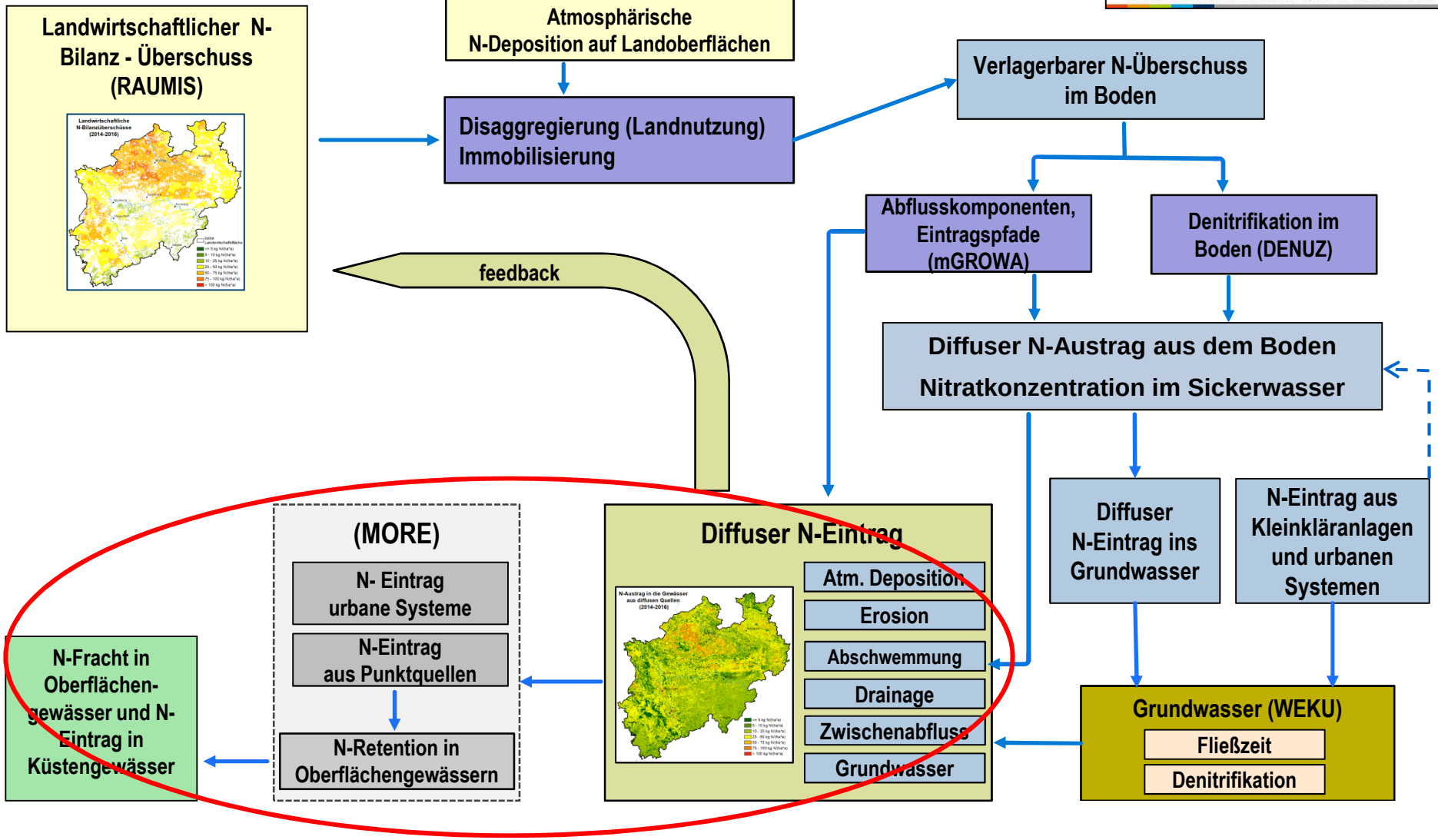
- Wird der gute Zustand verfehlt sind N-Minderungsmaßnahmen im Einzugsgebiet so weit stromaufwärts umzusetzen, bis der Zielwert erstmalig erreicht wird (LAWA, 2017).
- Für die betroffenen Hauptzuflüsse sind dementsprechend N-Minderungsmaßnahmen im Einzugsgebiet umzusetzen.

➢ *Vorab sind die N-Einträge, die über die verschiedenen Eintragspfade in das Flusssystem gelangen, zu quantifizieren und im Hinblick auf ihre Relevanz einzuordnen.*

2. MODELLANSATZ

GROWA+NRW2021:

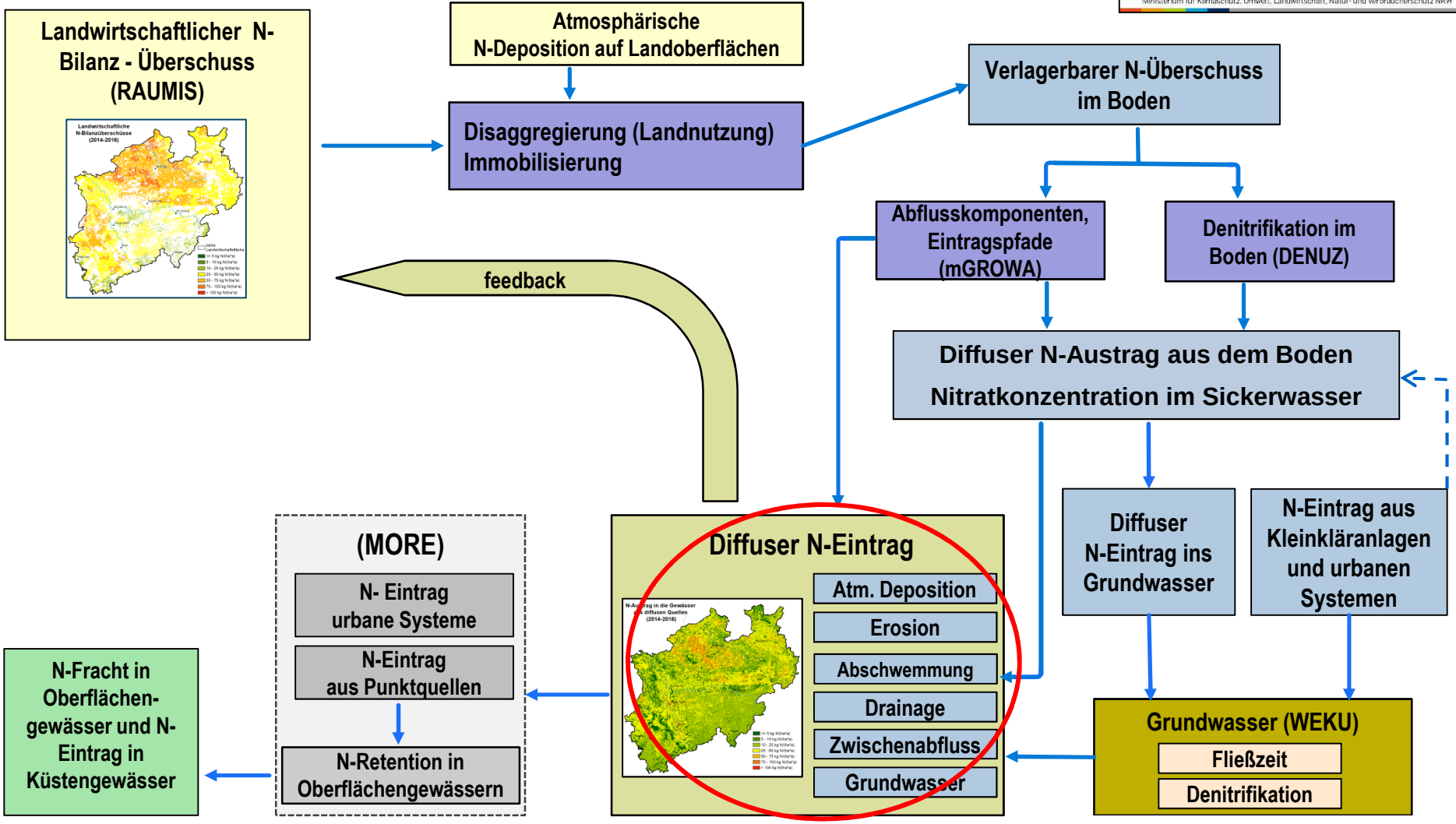
MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU-MORE



Themenschwerpunkt 5. Begleit-AK: Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer

GROWA+NRW2021:

MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU-MORE

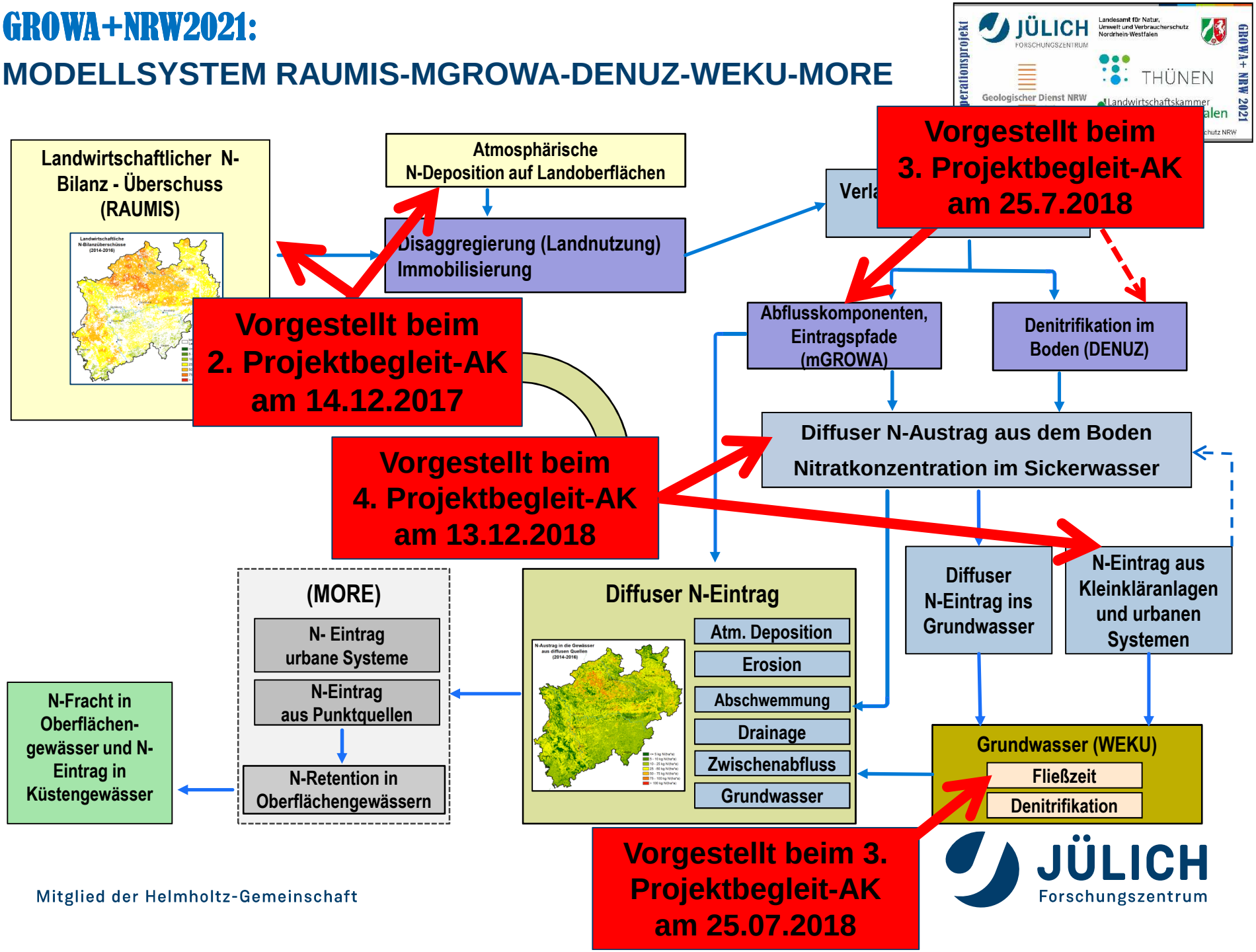


Stickstoff – Modellanalysen mit RAUMIS - mGROWA - DENUZ – WEKU:

- **Diffuse N - Einträge in die Vorfluter über 6 verschiedene Eintragspfade**

GROWA+NRW2021:

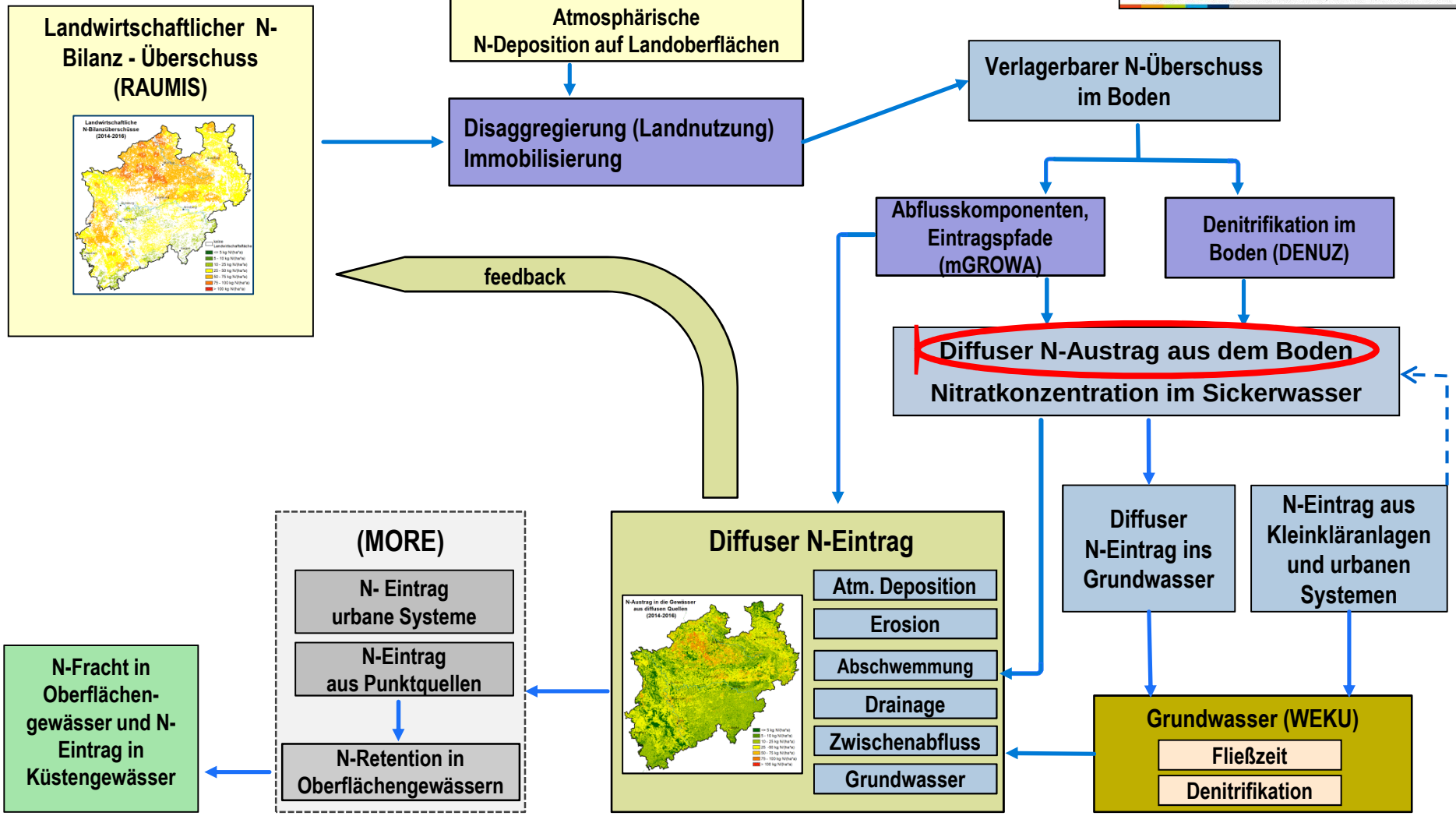
MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU-MORE



3. N-AUSTRAG AUS DEM BODEN

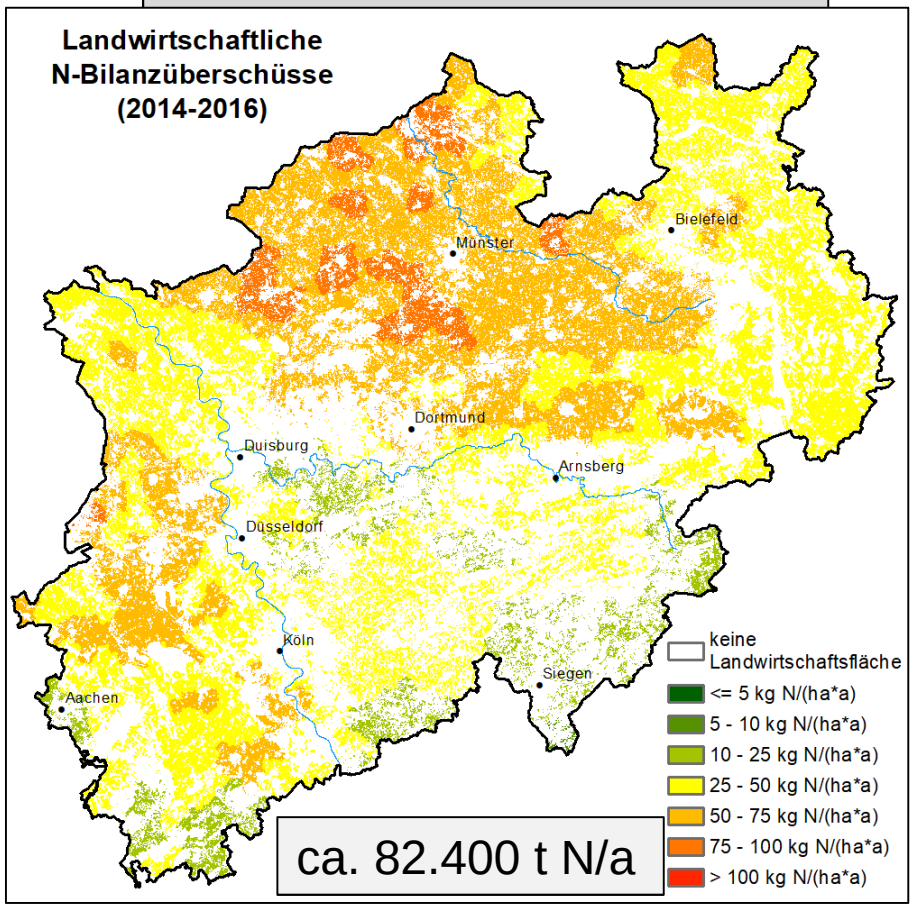
GROWA+NRW2021:

MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU-MORE

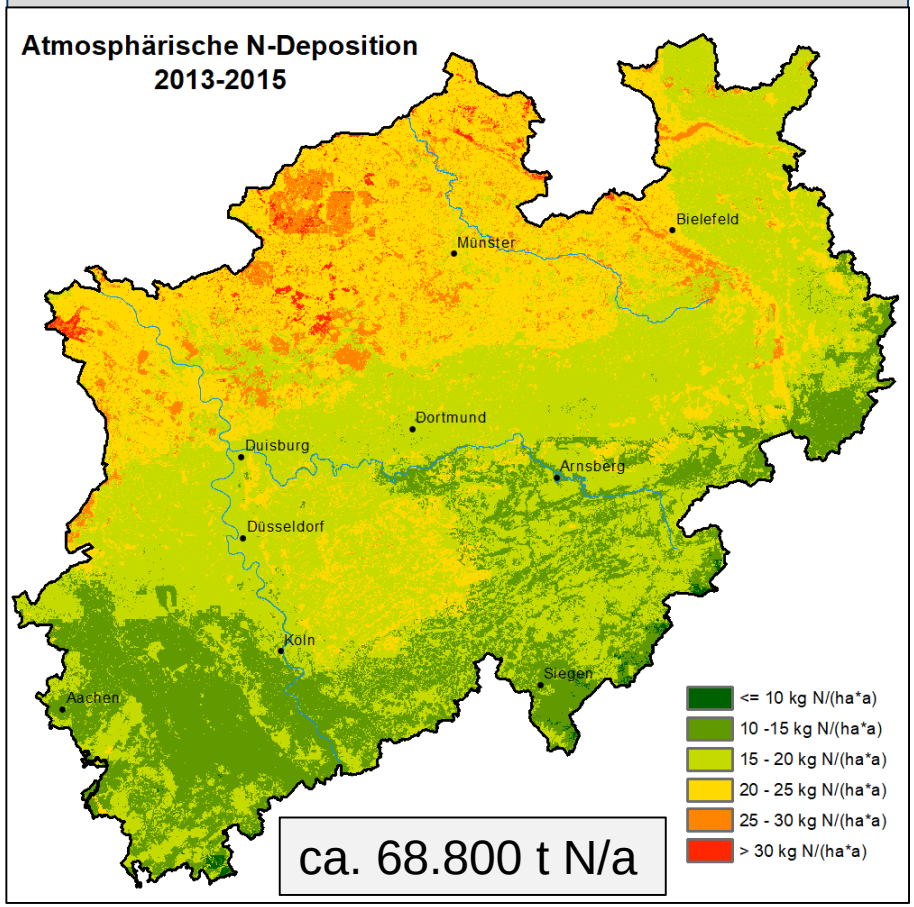


AUSGANGSGRÖßEN ZUR MODELLIERUNG DER DIFFUSEN N-AUSTRÄGE AUS DEM BODEN (Vorgestellt beim 4. Projektbegleit-AK am 13.12.2018)

RAUMIS N-Bilanzüberschuss



PINETI 3: Atmosphärische N-Deposition

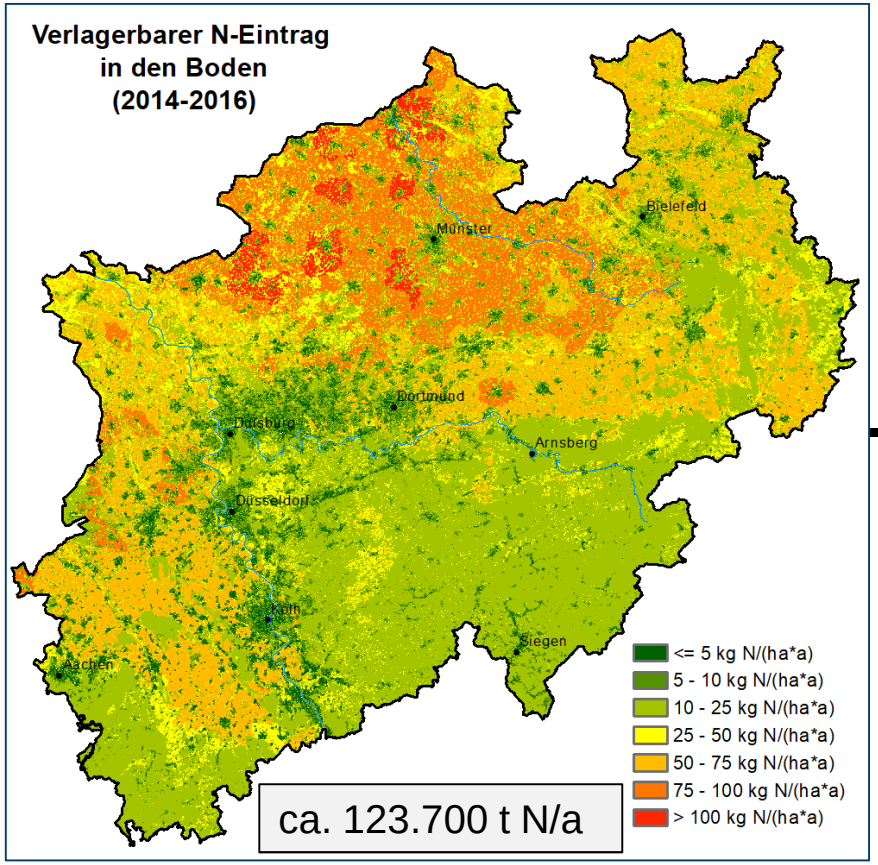


N-Deposition (PINETI 3, 2018):

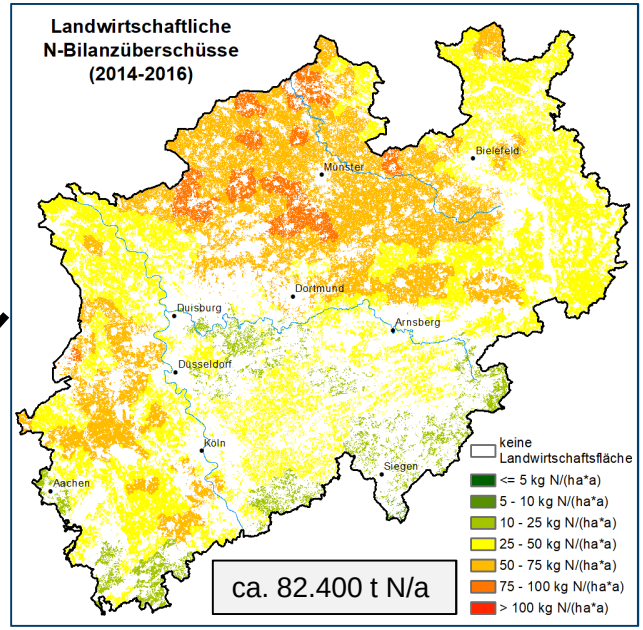
- ***NH_x (nasse Deposition: ca. 95%)***
- ***NO_x (trockene Deposition: ca. 10%)***

VERLAGERBARER N-EINTRAG IN DEN BODEN

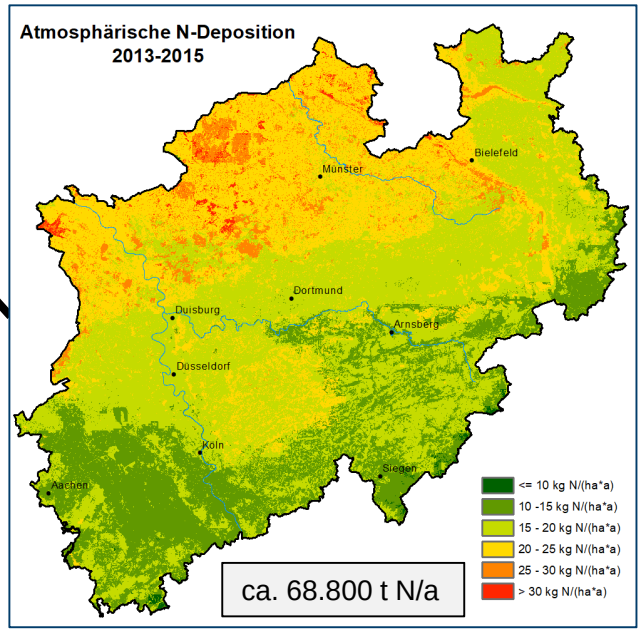
(Vorgestellt beim 4. Projektbegleit-AK am 13.12.2018)



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

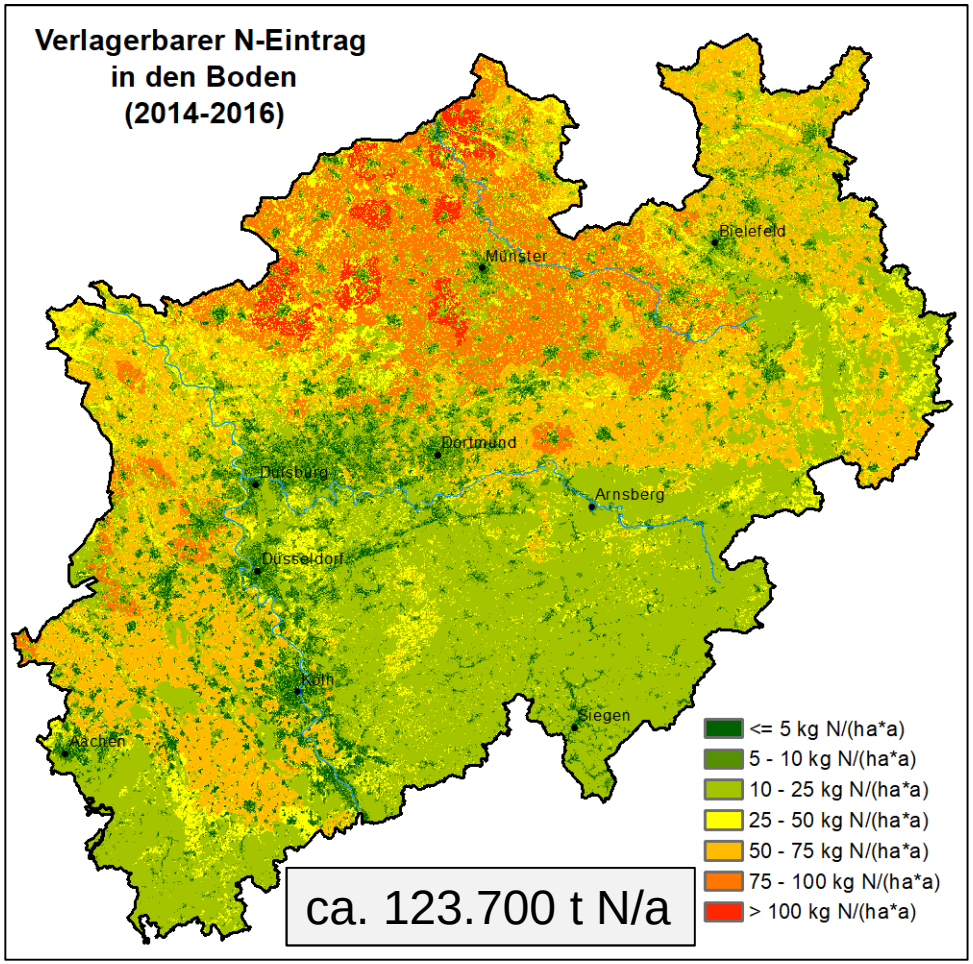


<u>N-Speicherung im Boden:</u>
Grünland: 50% / Laubwald: 20% / Nadelwald: 10%



VERLAGERBARER N-EINTRAG IN DEN BODEN

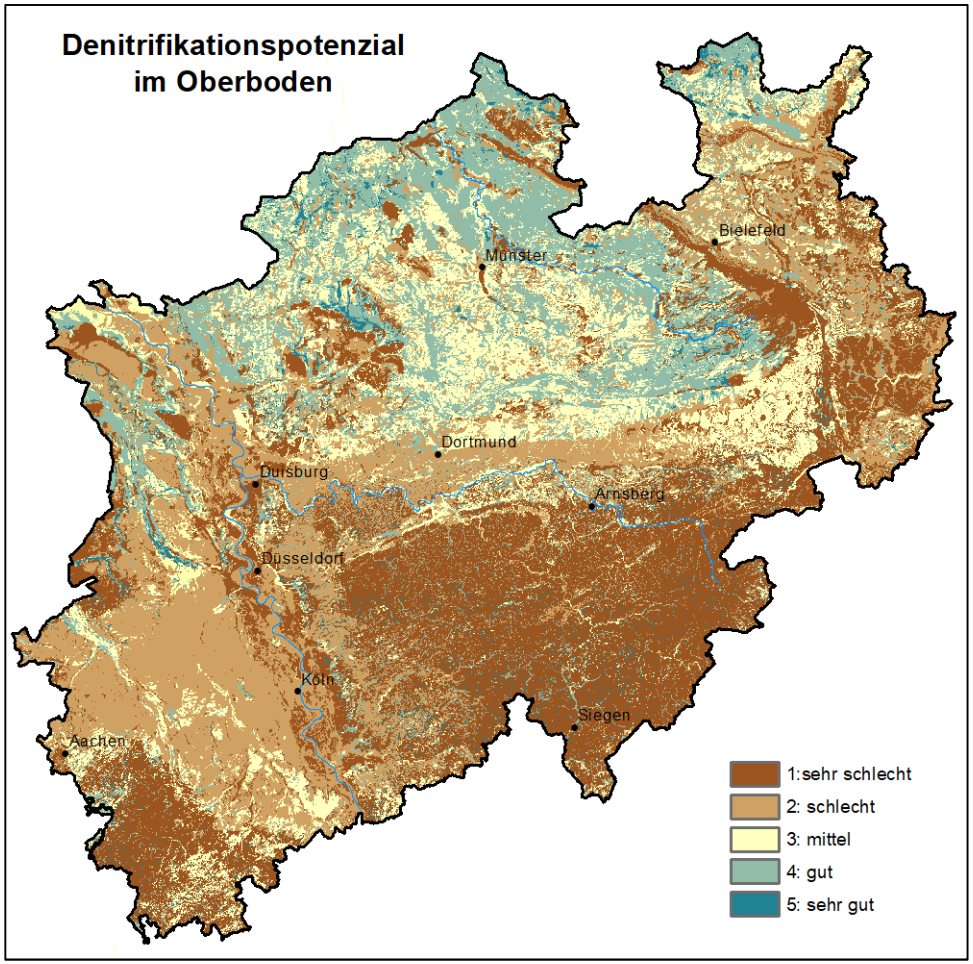
(Vorgestellt beim 4. Projektbegleit-AK am 13.12.2018)



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

→ **Anrechnung der Denitrifikation im Boden**

DENITRIFIKATION IM BODEN (Vorgestellt beim 4. Projektbegleit-AK am 13.12.2018)



- Michaelis-Menten Kinetik:

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

- Abhängigkeiten:
  - Verlagerbare N-Menge im Boden N(t0)
  - Sickerwasserverweilzeiten im Boden (t)
  - Denitrifikationsbedingungen im Boden (Dmax, k)
- Zuordnung der Böden der BK 50 in die Denitrifikationsklassen und Kalibrierung im Bereich der ausgewiesenen Spannbreiten (Wendland, 1992, Schäfer et al., 2007)

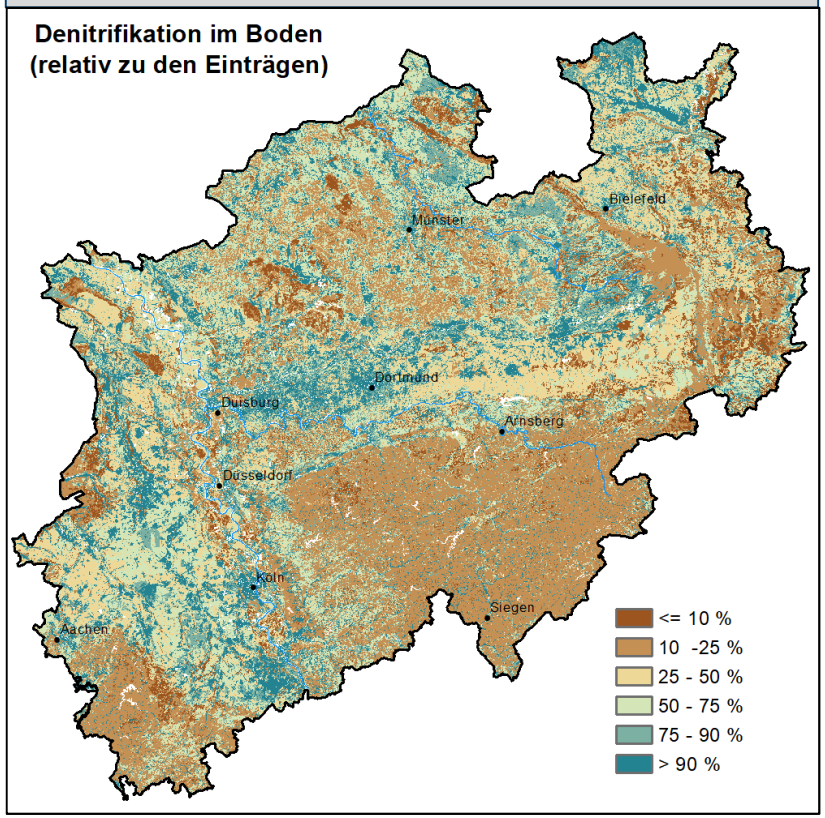
Denitrifikationsraten im Boden:

• **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**

- Bezogen auf die mittleren Verweilzeiten im Boden

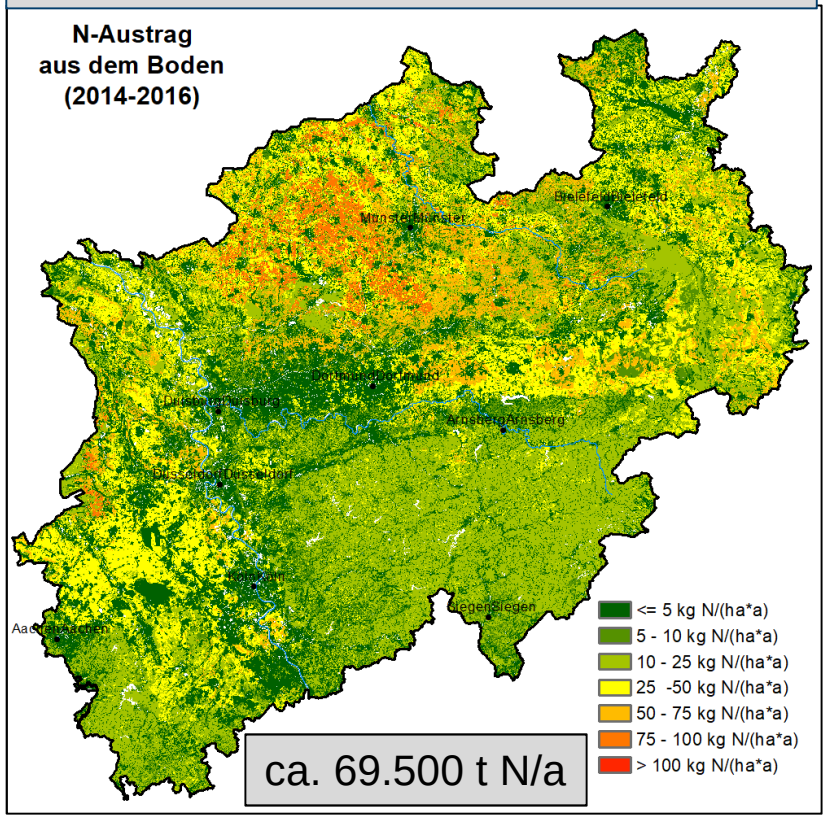
N-AUSTRAG AUS DEM BODEN (Vorgestellt beim 4. Projektbegleit-AK am 13.12.2018)

Denitrifikationsverlust im Boden (%)



Im Landesmittel werden ca. 44 % der verlagerbaren N-Menge im Boden von 123.700 t N/a <u>im Boden</u> denitrifiziert

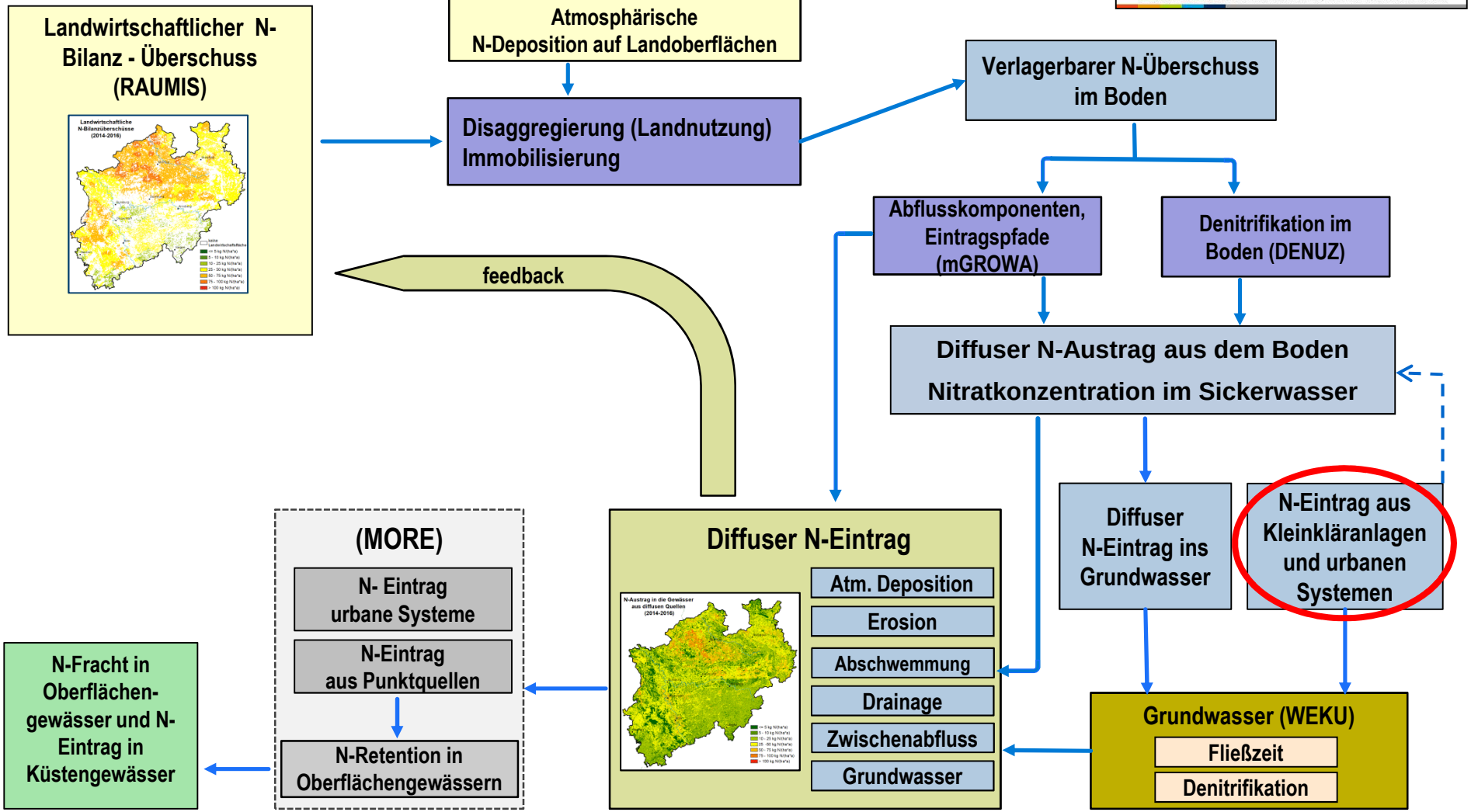
N-Austrag aus dem Boden (kg/ha a)



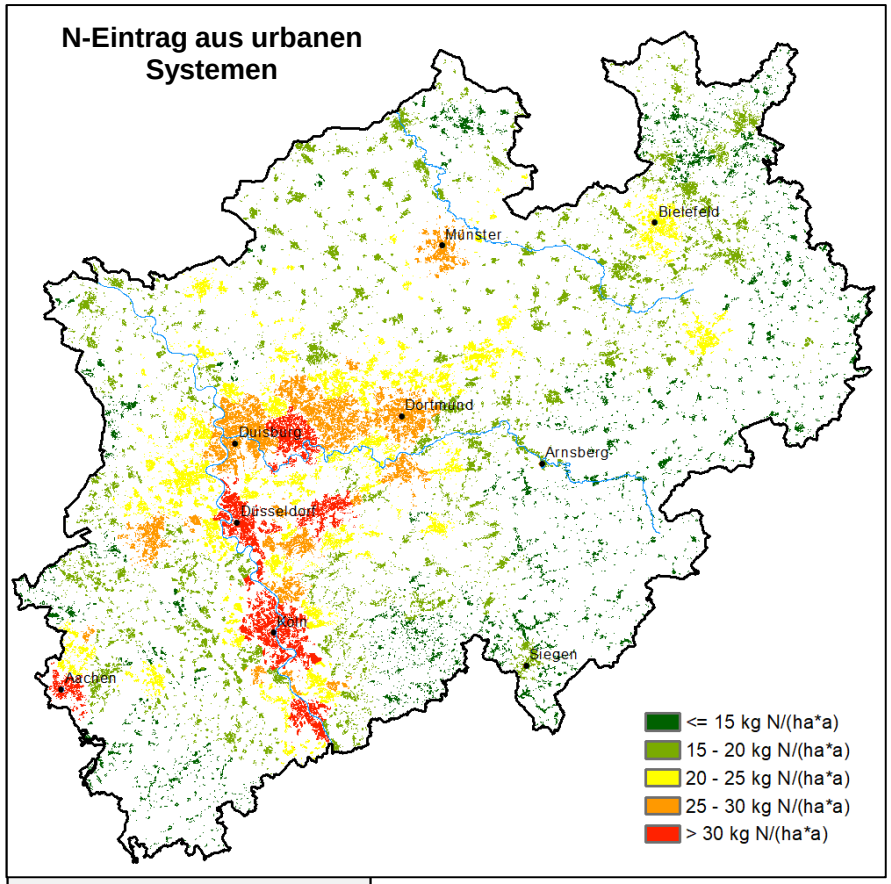
- **N-Austrag aus dem Boden (2010): ca. 103.000 t N/a → deutlicher Rückgang**

GROWA+NRW2021:

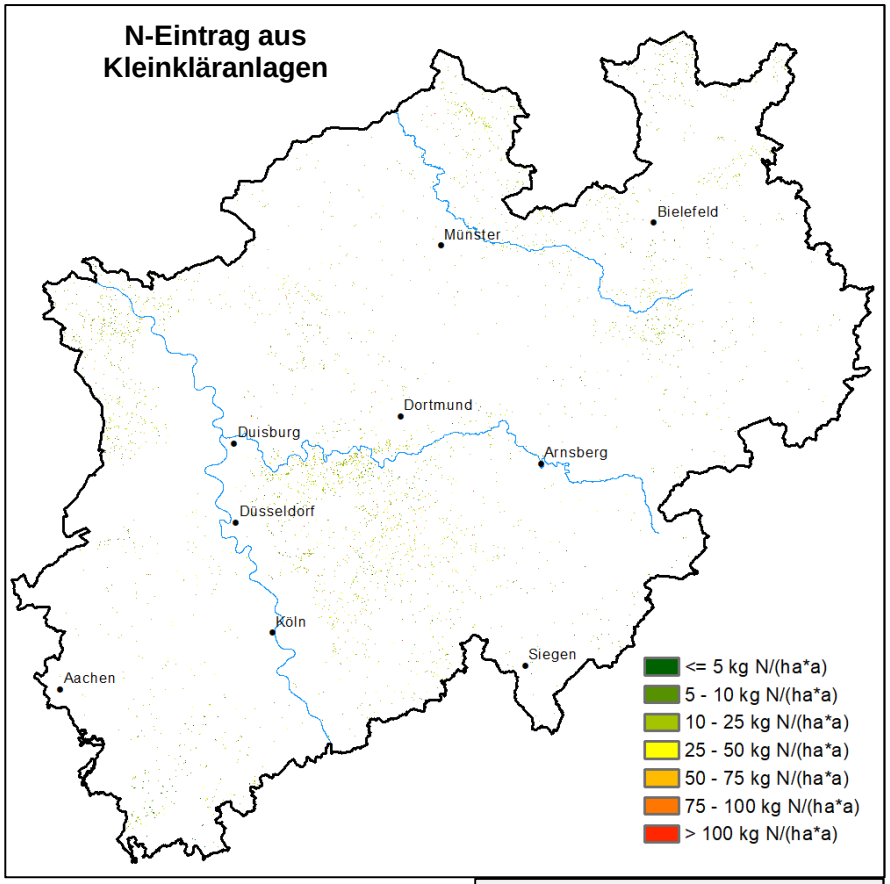
MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU-MORE



ZUSÄTZLICHER N-EINTRAG AUS URBANEN SYSTEMEN UND KLEINKLÄRANLAGEN (Vorgestellt beim 4. Projektbegleit-AK am 13.12.2018)



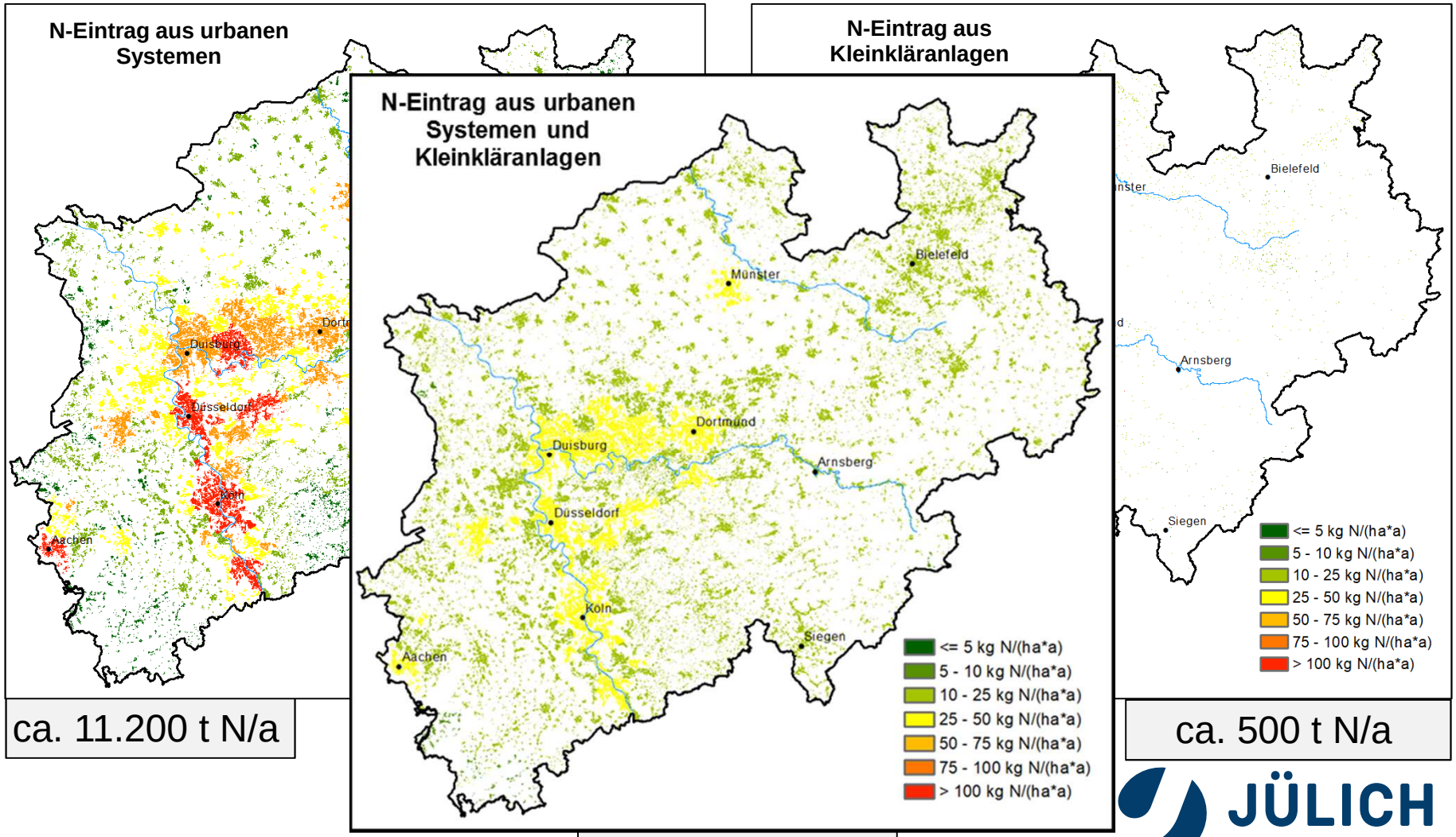
ca. 11.200 t N/a



ca. 500 t N/a

Ca. 11.700 t N/a

ZUSÄTZLICHER N-EINTRAG AUS URBANEN SYSTEMEN UND KLEINKLÄRANLAGEN (Vorgestellt beim 4. Projektbegleit-AK am 13.12.2018)



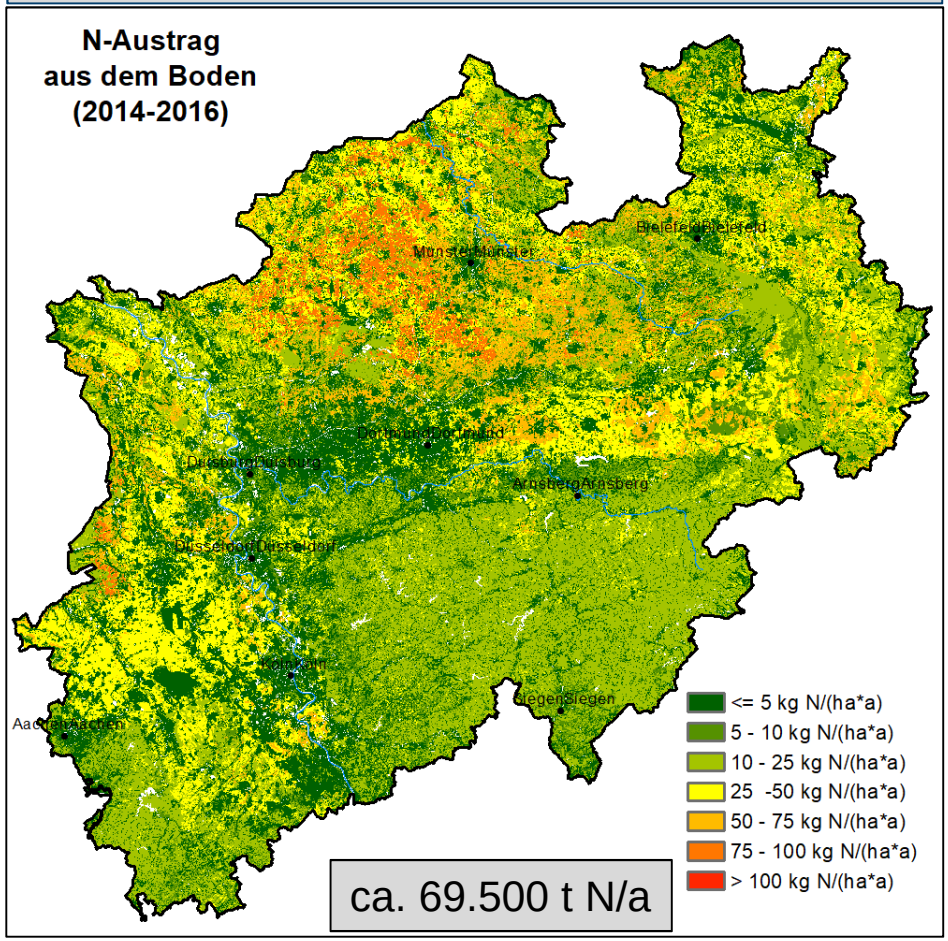
ca. 11.200 t N/a

Ca. 11.700 t N/a

ca. 500 t N/a

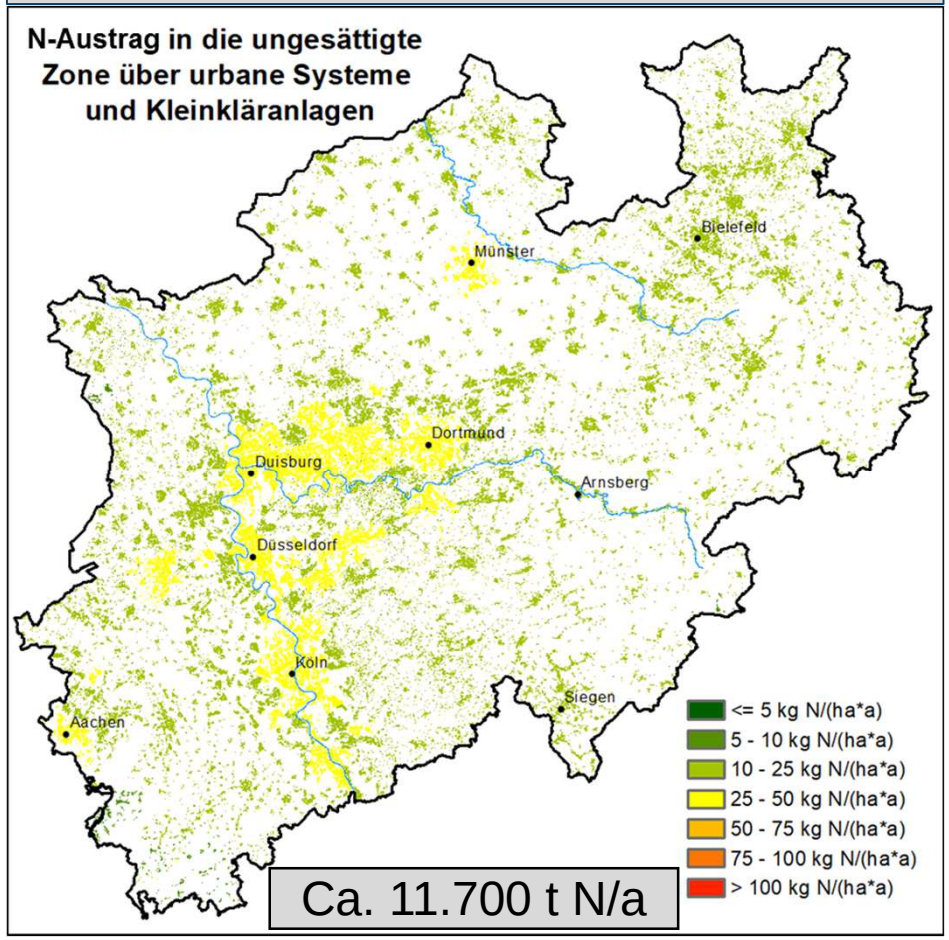
N-AUSTRÄGE UNGESÄTTIGTE ZONE

N-Austrag aus dem Boden (kg/ha a)



ca. 69.500 t N/a

N-Austrag urbane Systeme/KKA (kg/ha a)

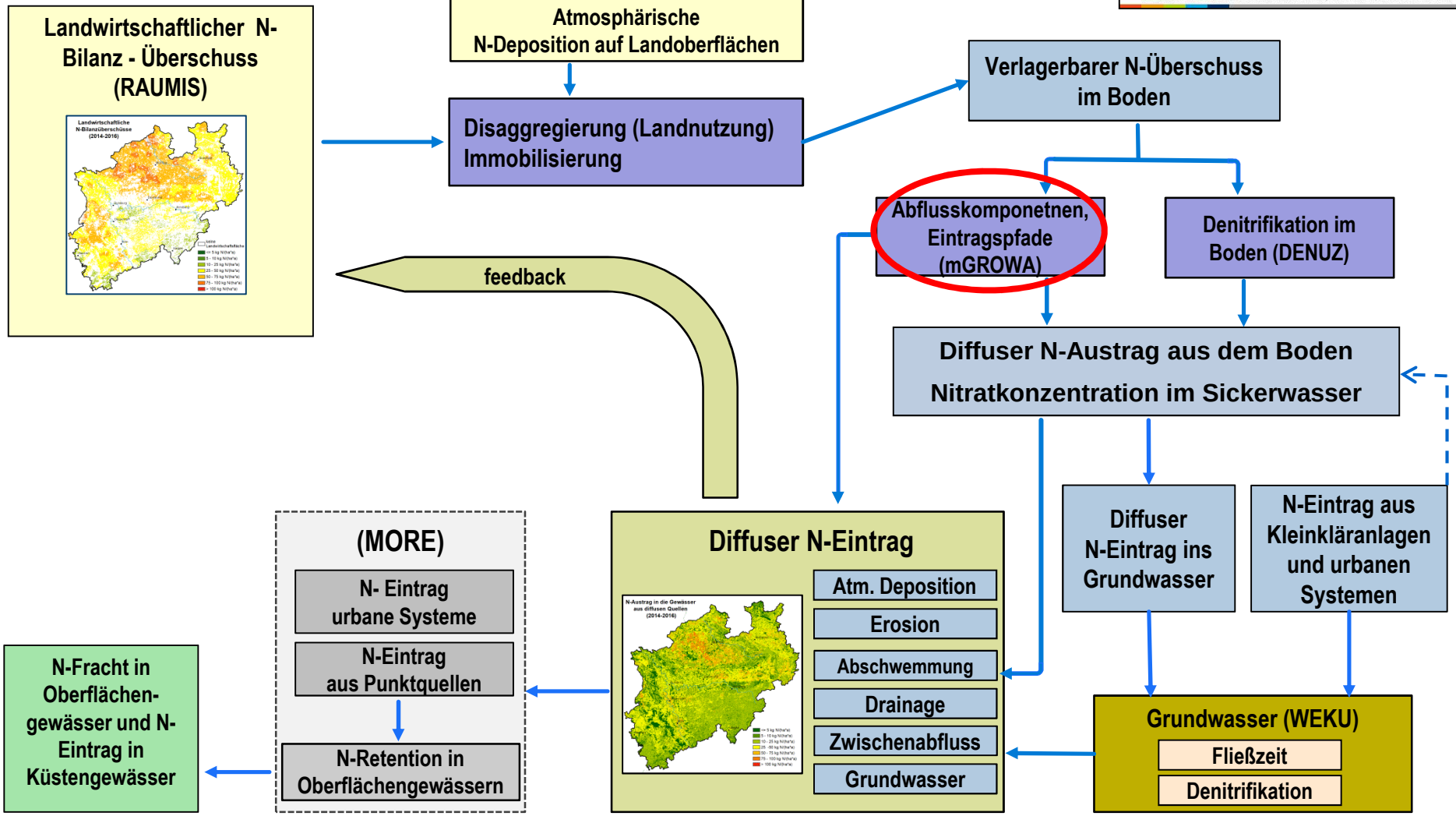


Ca. 11.700 t N/a

ca. 81.200 t N/a

GROWA+NRW2021:

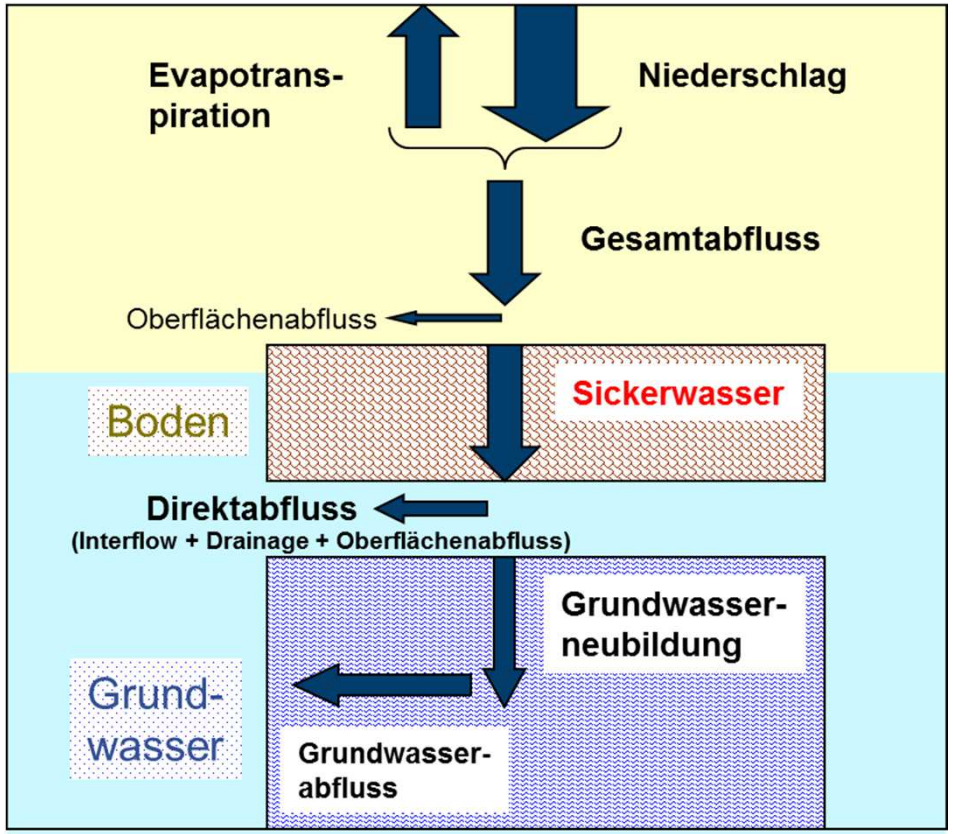
MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU-MORE



Ermittlung der N-Einträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer:

- differenziert nach Eintragspfaden (Abflusskomponenten)
- proportional zum Anteil der einzelnen Abflusskomponenten am Gesamtabfluss

IM MGROWA – MODEL BERÜCKSICHTIGTE ABFLUSSKOMPONENTEN



Gesamtabflusshöhe:
Niederschlag – Evapotranspiration

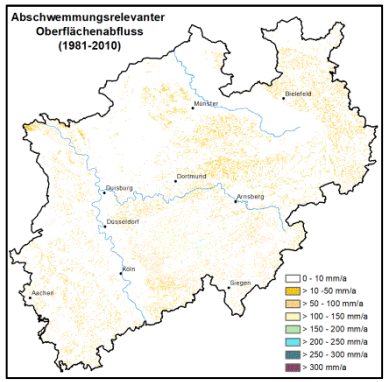
Sickerwasserhöhe:
Gesamtabfluss – Oberflächenabfluss

Direktabflusshöhe:
Oberflächenabfluss + Zwischenabfluss (Interflow) + Drainagen + Direktabfluss von urbanen Flächen

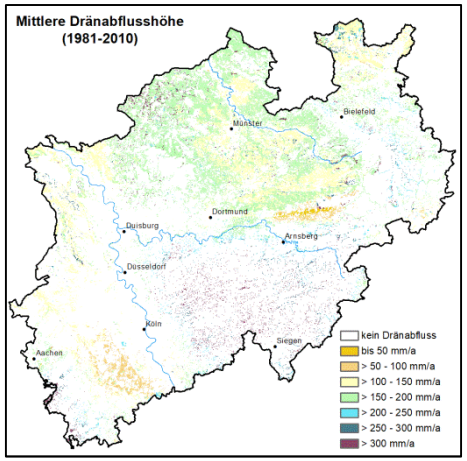
Grundwasserneubildungshöhe:
Gesamtabfluss – Direktabfluss
(~ Grundwasserabfluss)

WASSERHAUSHALTSKOMPONENTEN UND EINTRAGSPFADE

(MGROWA – MODELL – ERGEBNISSE: (vorgestellt beim 3. Projektbegleit-AK am 25.7.2018)

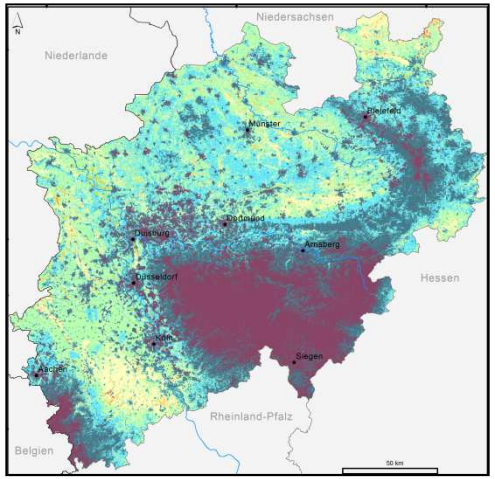


Oberflächenabfluss

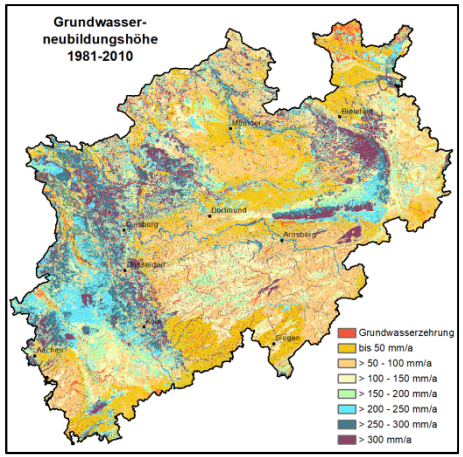


Abfluss aus Dränagen

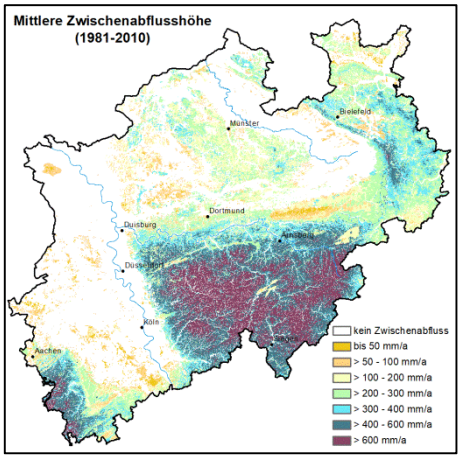
Gesamt-abfluss

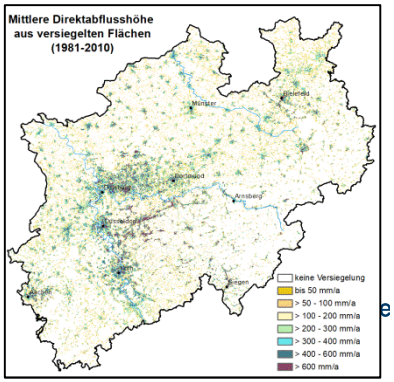


Grundwasserneubildung



Zwischenabfluss





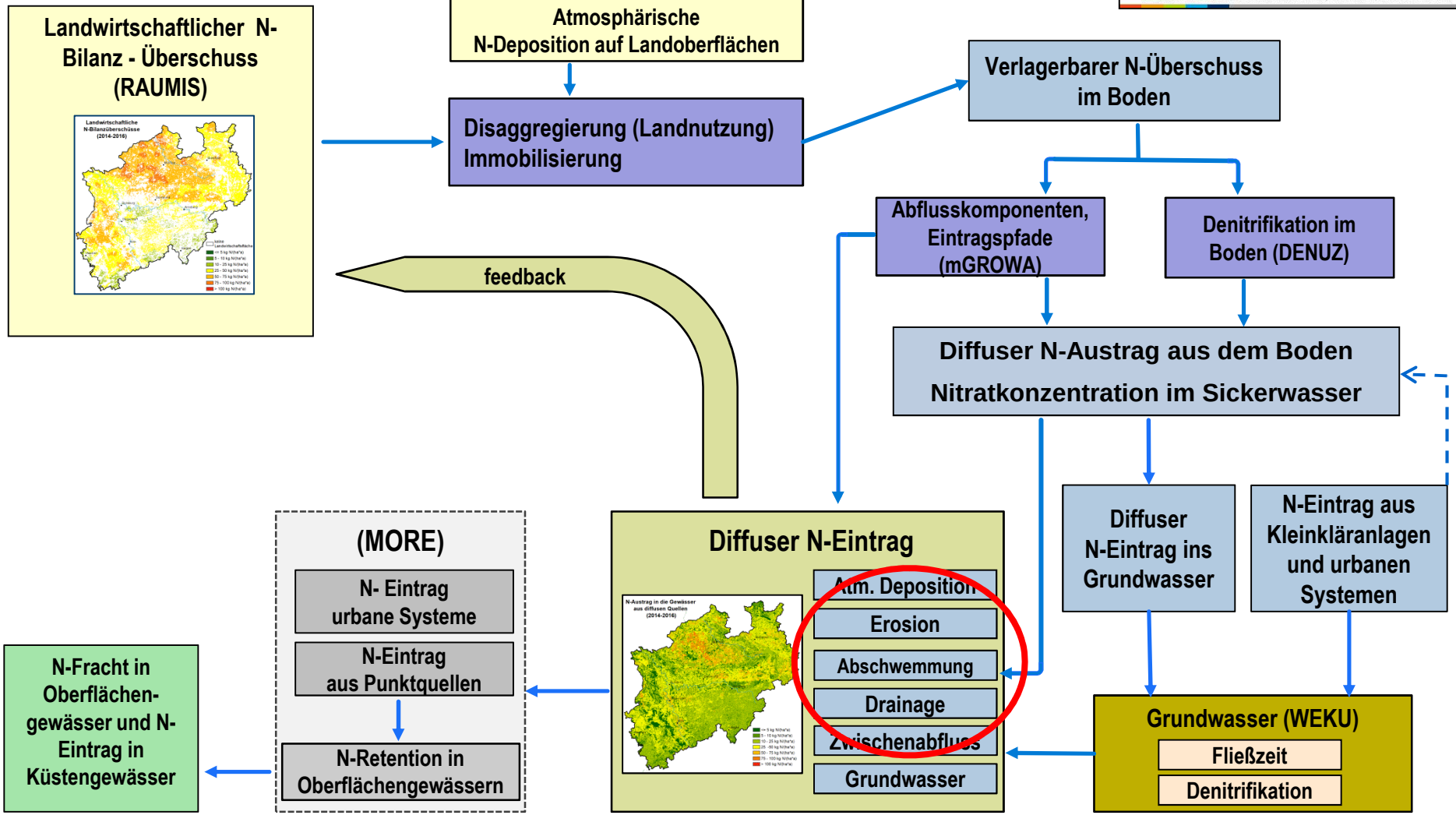
Urbaner Direktabfluss

JÜLICH Forschungszentrum

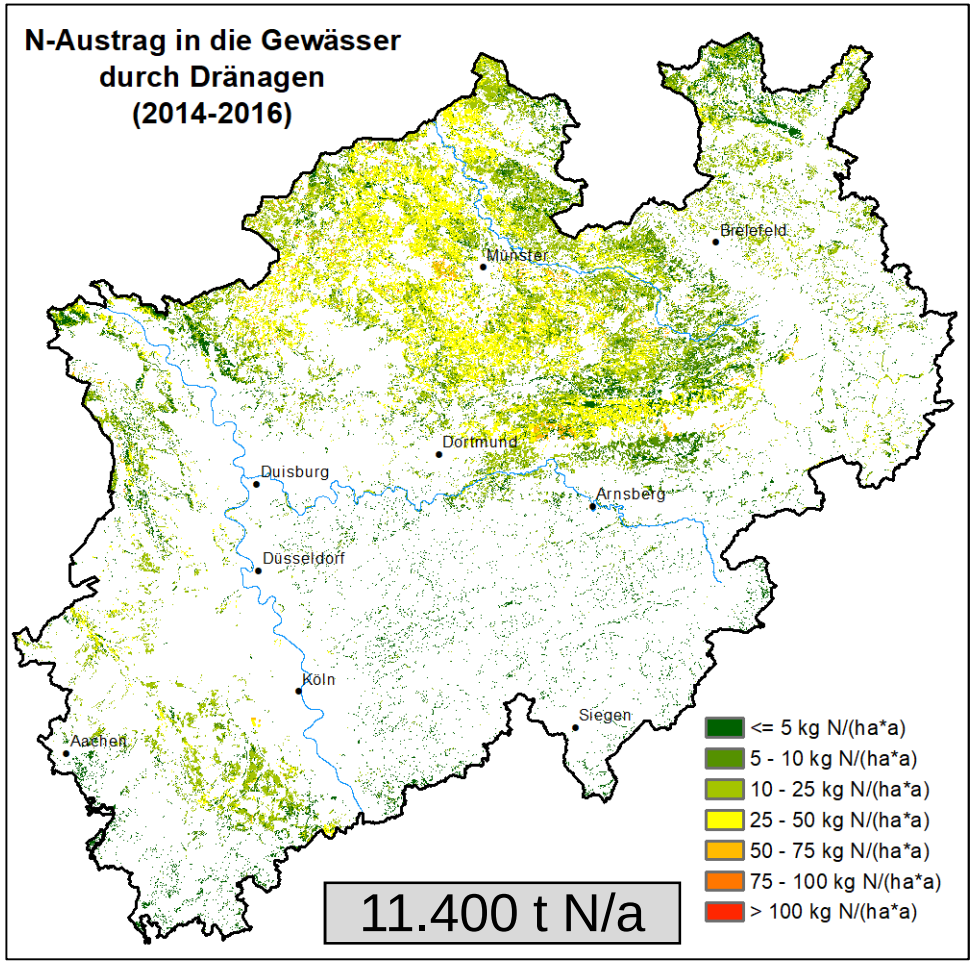
4. DIFFUSE N-EINTRÄGE IN DIE VORFLUTER ÜBER DIE DIREKTABFLUSSKOMPONENTEN

GROWA+NRW2021:

MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU-MORE

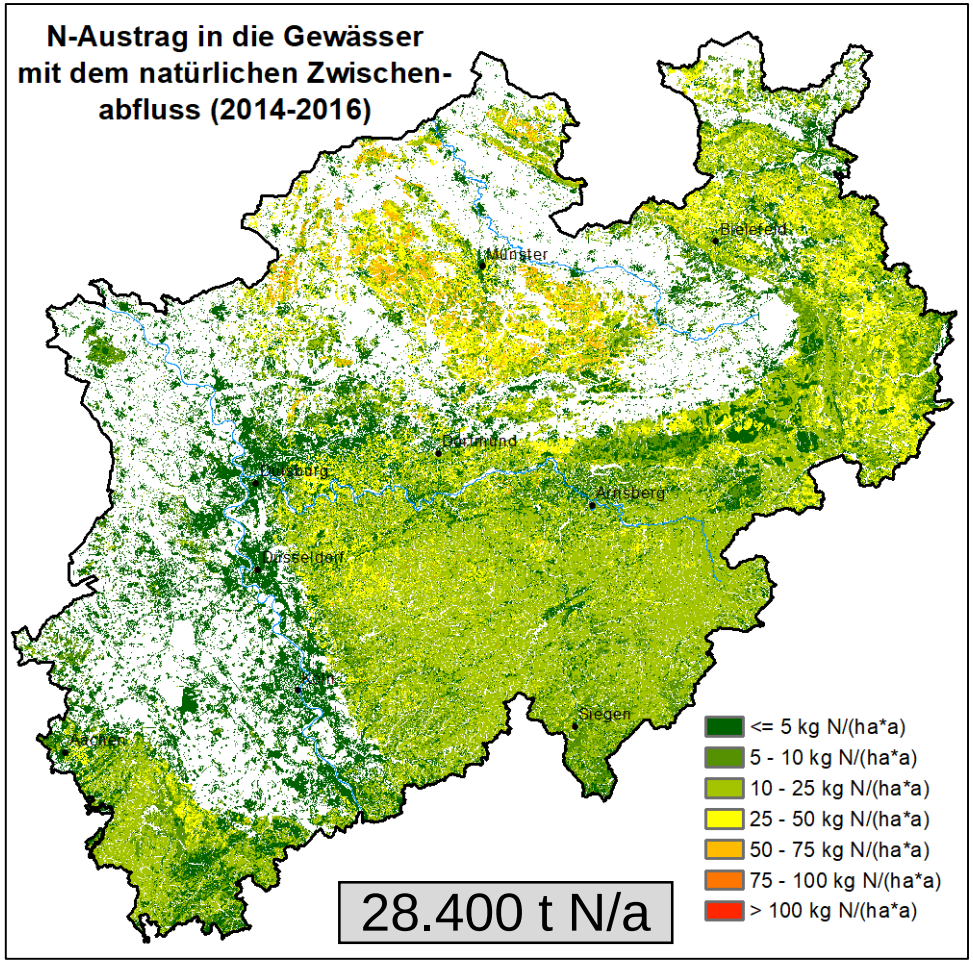


N-AUSTRAG IN DIE GEWÄSSER AUS DRÄNAGESYSTEMEN



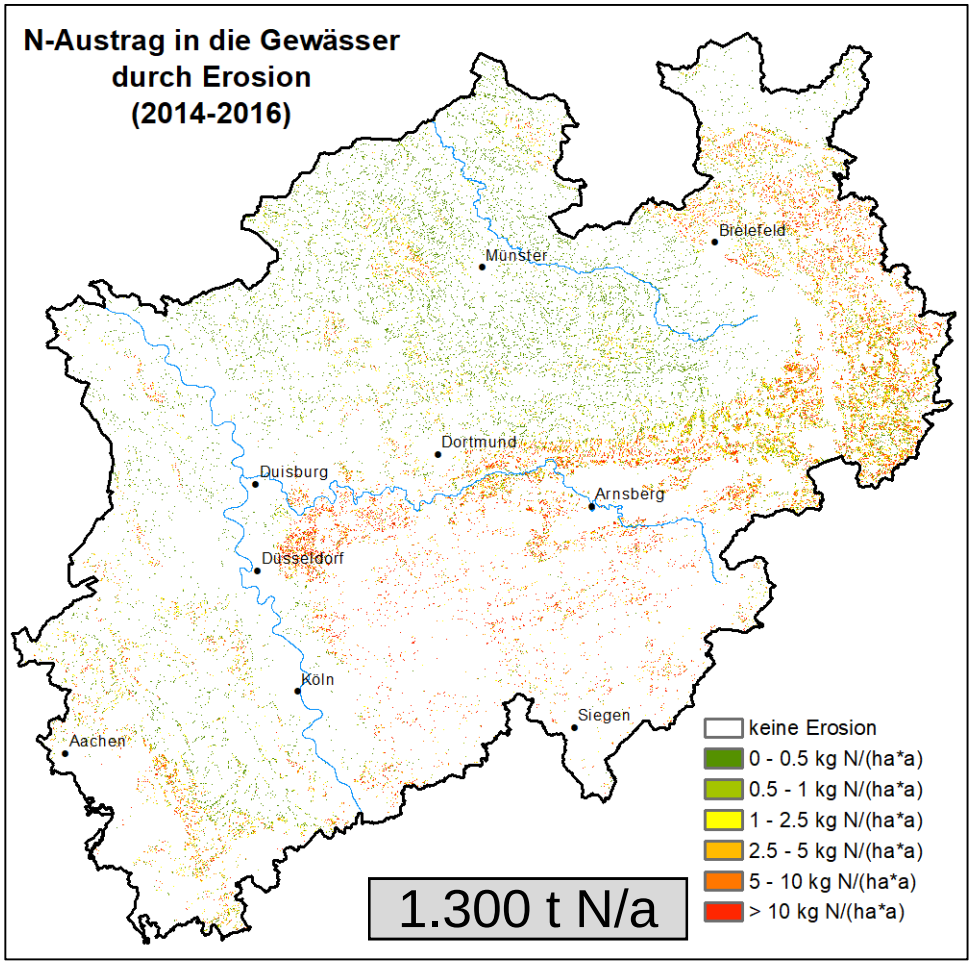
- Künstlich entwässerte Fläche ca. 6.900 km² → ca. 39 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche
- <10 kg N/(ha a) bis 50 N/(ha a)
- Größere Bereiche bis 50 N/(ha a) vor allem im Münsterland, dort vor allem Grundwasserdränagen
- Ansonsten < 25 kg N/(ha a) auch Stauwasserdränagen

N-AUSTRAG IN DIE GEWÄSSER MIT DEM NATÜRLICHEN ZWISCHENABFLUSS



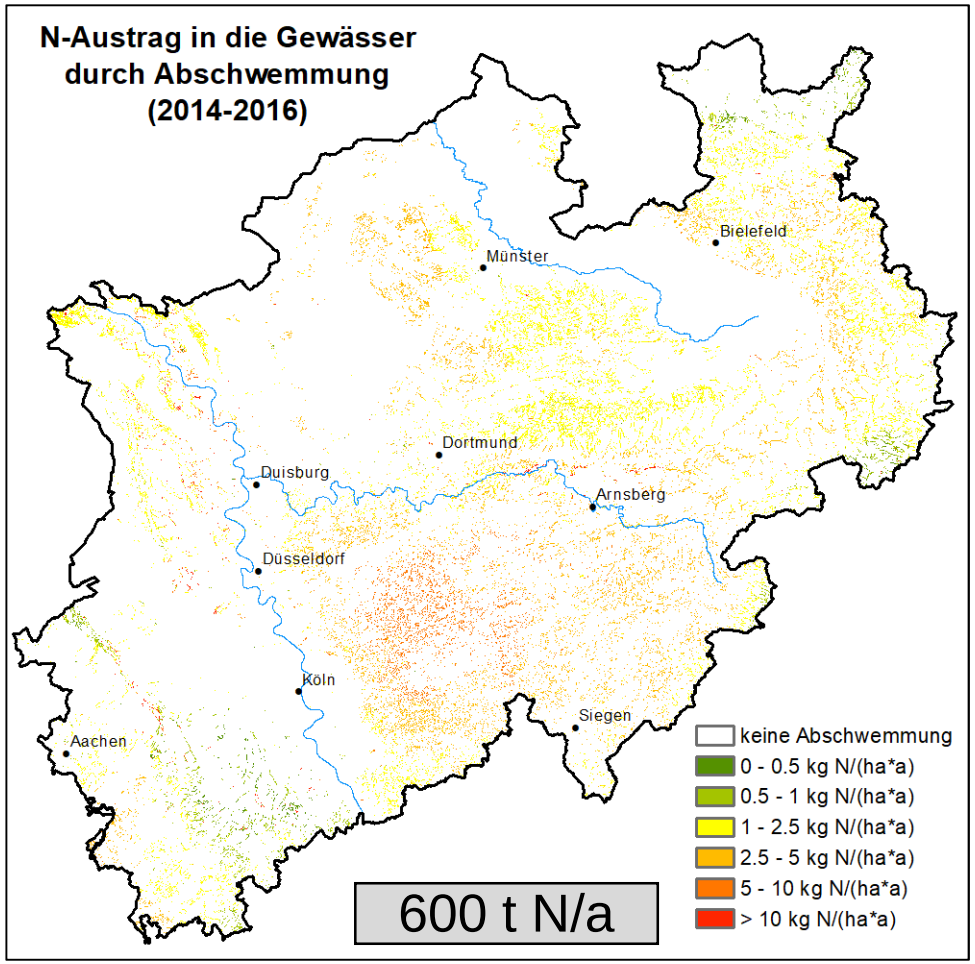
- <10 kg N/(ha a) bis 75 N/(ha a)
- Größere zusammenhängende Bereiche in Festgesteins-regionen, vor allem im Rheinischen Schiefergebirge; Werte dort aber < 25 kg /(ha a).
- Höhere Werte im Münsterland wegen der höheren N-Austräge aus dem Boden

N-AUSTRAG IN DIE GEWÄSSER DURCH EROSION



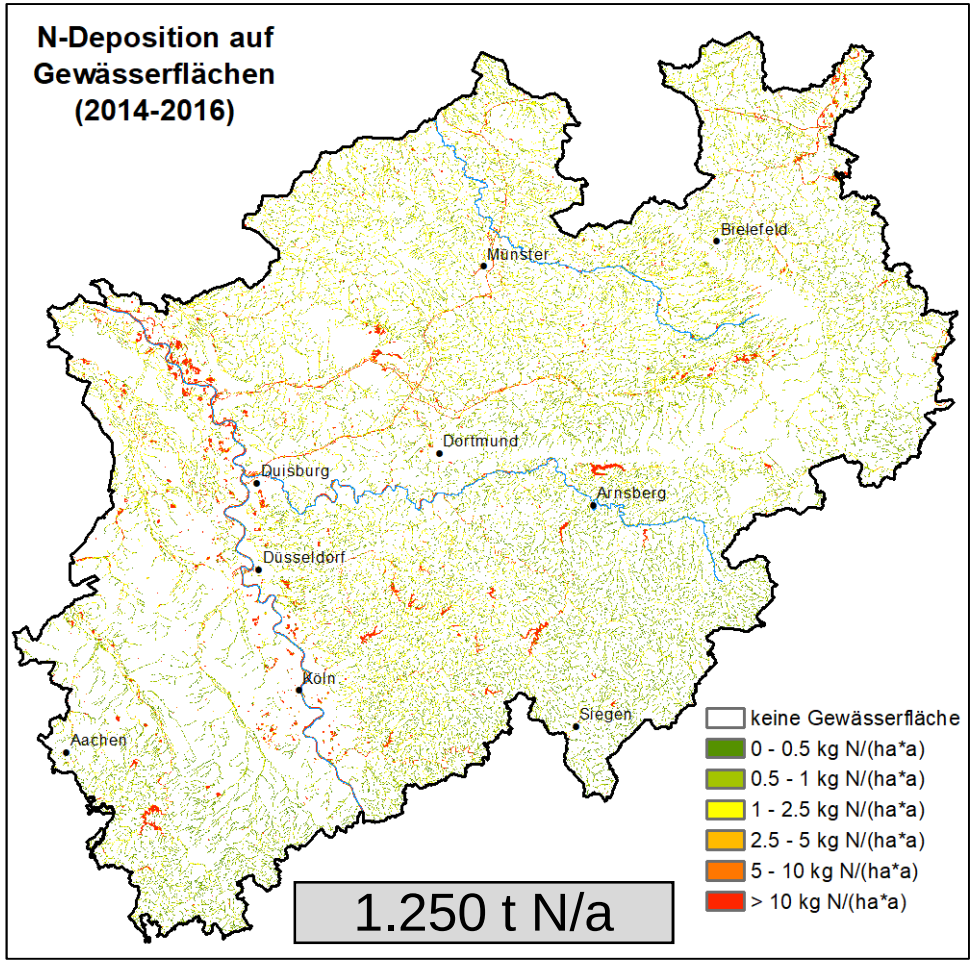
- Abschätzung der N-Erosion aus der P-Erosionsberechnung für Einzelpixel 10x10m **aus NRW-Studie 2010** (Wendland et al., 2010), summiert auf das 100m-Raster
- **Neuabschätzung der Erosions-kulisse bis Juni 2019 im Rahmen der P-Modellierung zusammen mit GD**
- <1 kg N/(ha a) und > 10 N/(ha a)
- Keine größere zusammenhängende Bereiche
- Schwerpunkte liegen in den Bördelandschaften nördlich der Mittelgebirge

N-AUSTRAG IN DIE GEWÄSSER DURCH ABSCHWEMMUNG



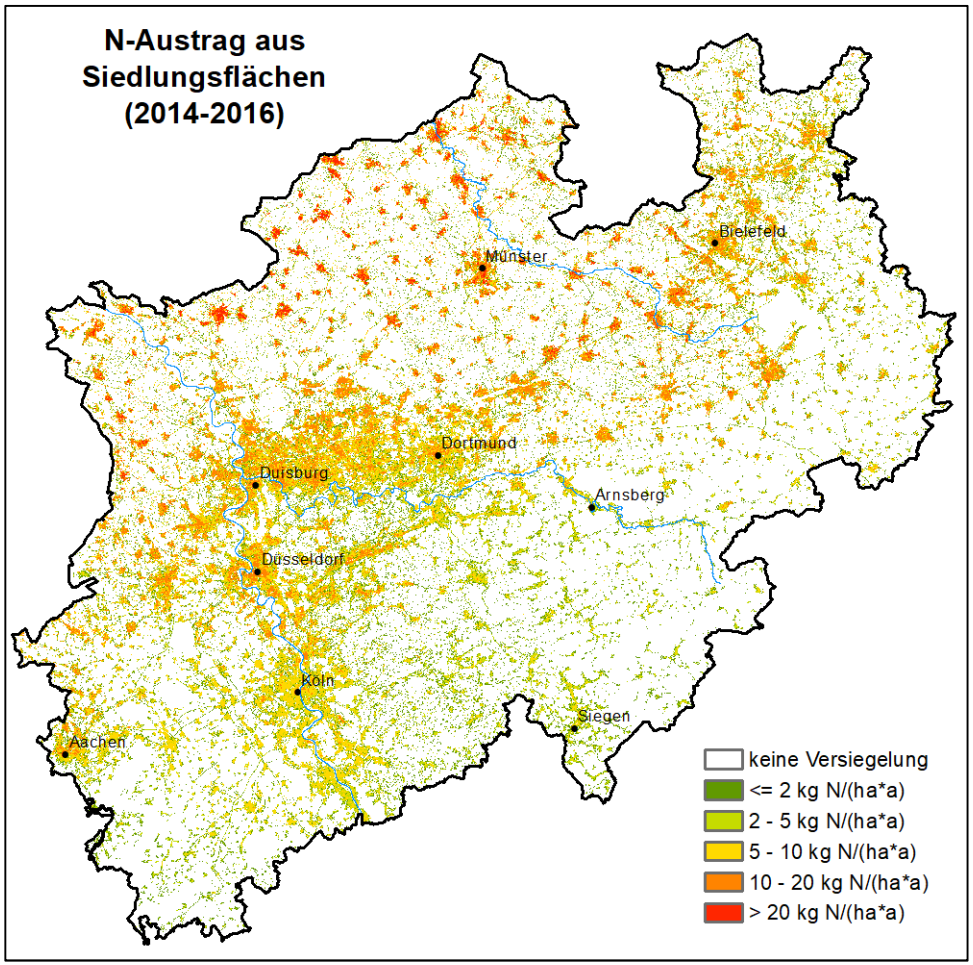
- Berechnet für Acker- und Grünlandstandorte mit Lehm im obersten Bodenhorizont, mit Hangneigung > 2% und Gewässeranbindung
- <1 kg N/(ha a) und > 5 N/(ha a)
- Keine größere zusammenhängende Bereiche
- Schwerpunkte liegen in den Mittelgebirgsregionen

N-DEPOSITION AUF GEWÄSSERFLÄCHEN



- Werte ermittelt aus PINETI3-Datzensatz zur atmosphärischen Deposition und Angaben zum Gewässernetz (Länge, Breite)
- <1 kg N/(ha a) und 10 N/(ha a)
- Hohe Werte vor allem dort, wo größere Gewässerflächen auftreten

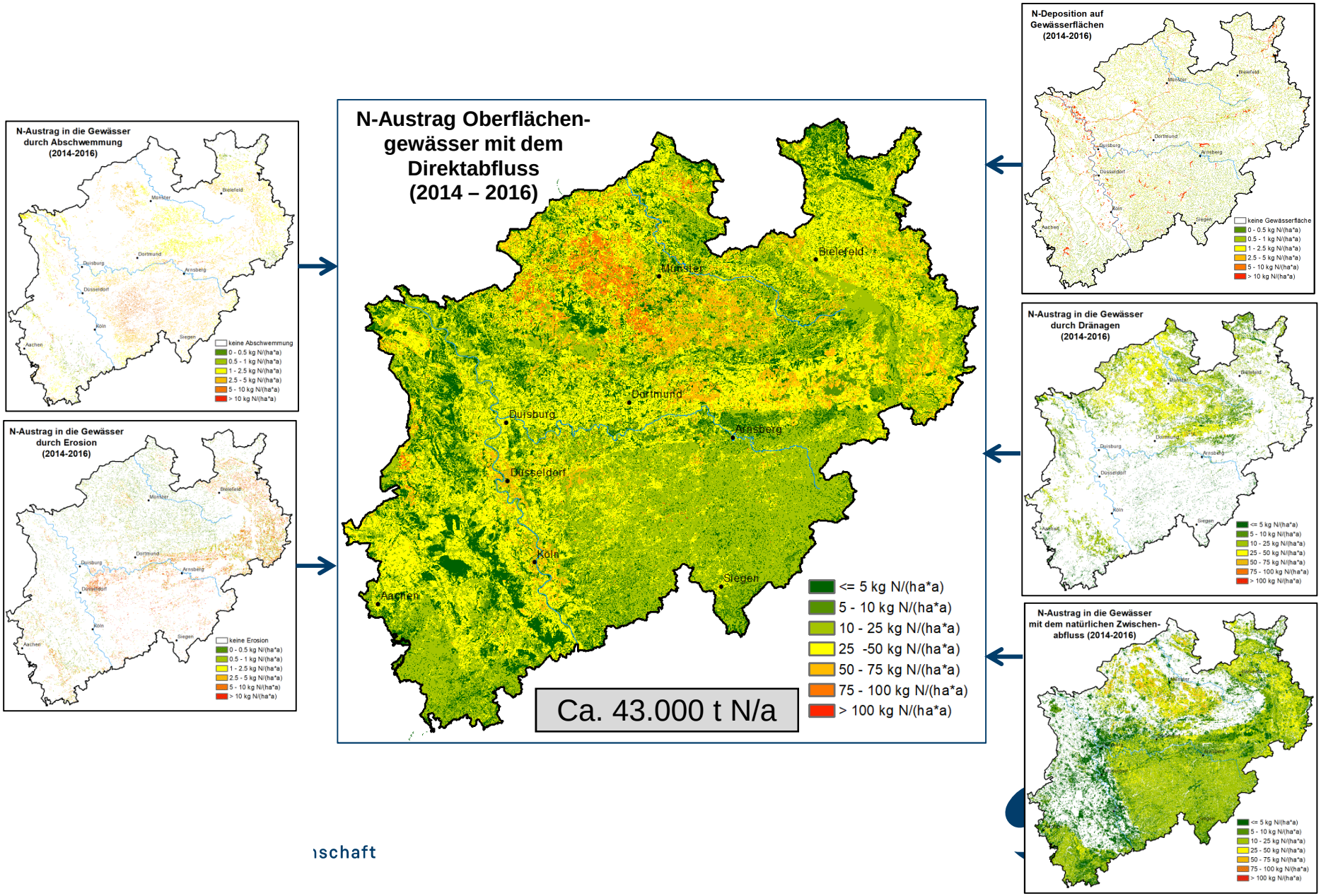
N-AUSTRAG ÜBER URBANEN DIREKTABFLUSS



- Entspricht dem Anteil der atmosphärischen N-Deposition, die über den urbanen Direktabfluss (Trenn- und Mischkanalisation) abgeführt wird
- vom FZJ-Modell normalerweise als Eintragspfad ausgewiesen, **im Projekt GROWA+ NRW 2021 aber über das MoRe – Modell abgebildet**

➢ *Vortrag J. Elbers „Berechnung der Eintragspfade Punktquellen / urbane Systeme...“*

SUMME N-AUSTRAG IN DIE GEWÄSSER MIT DEM DIREKTABFLUSS

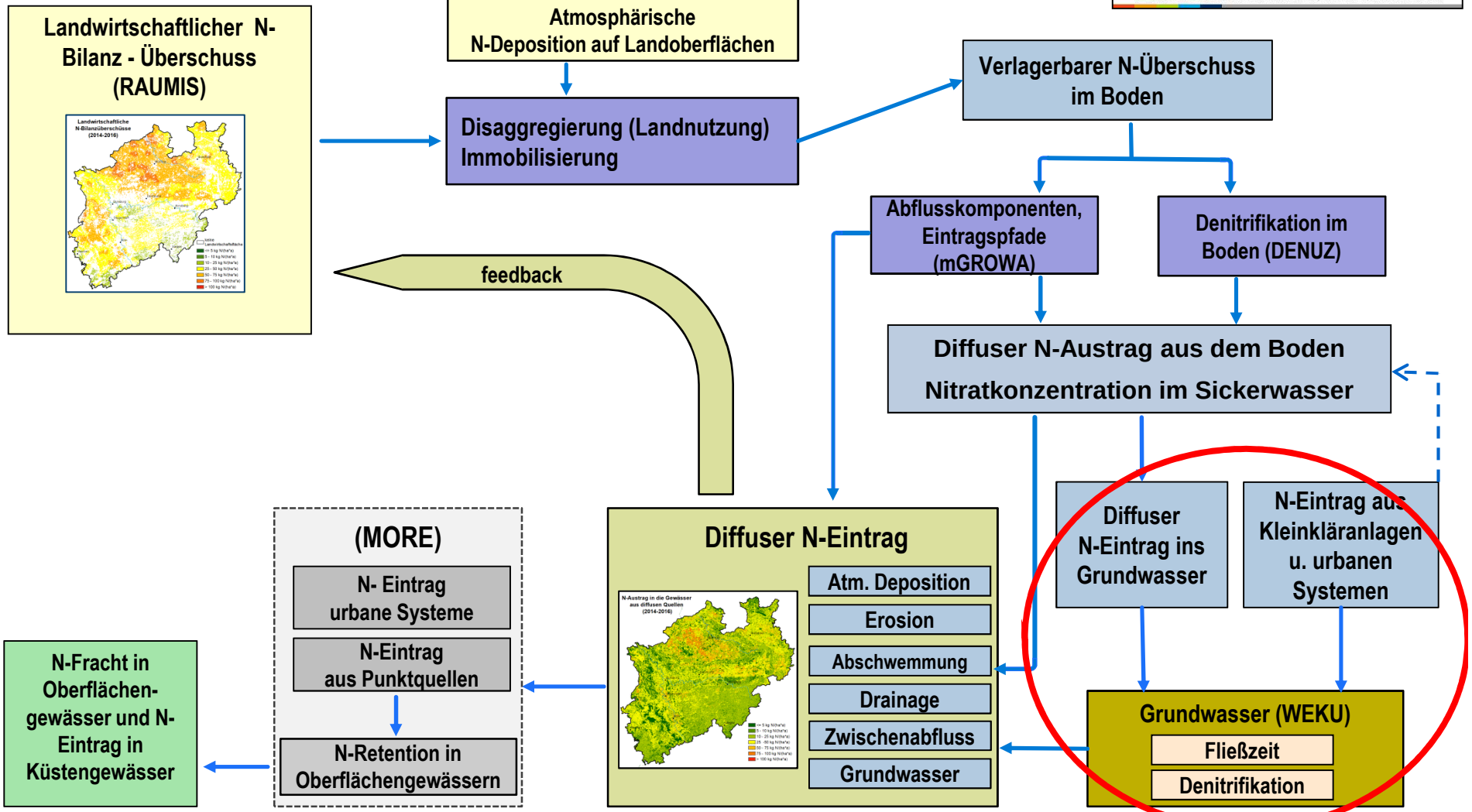


5. DIFFUSE N-EINTRÄGE IN DIE VORFLUTER ÜBER DAS GRUNDWASSER:

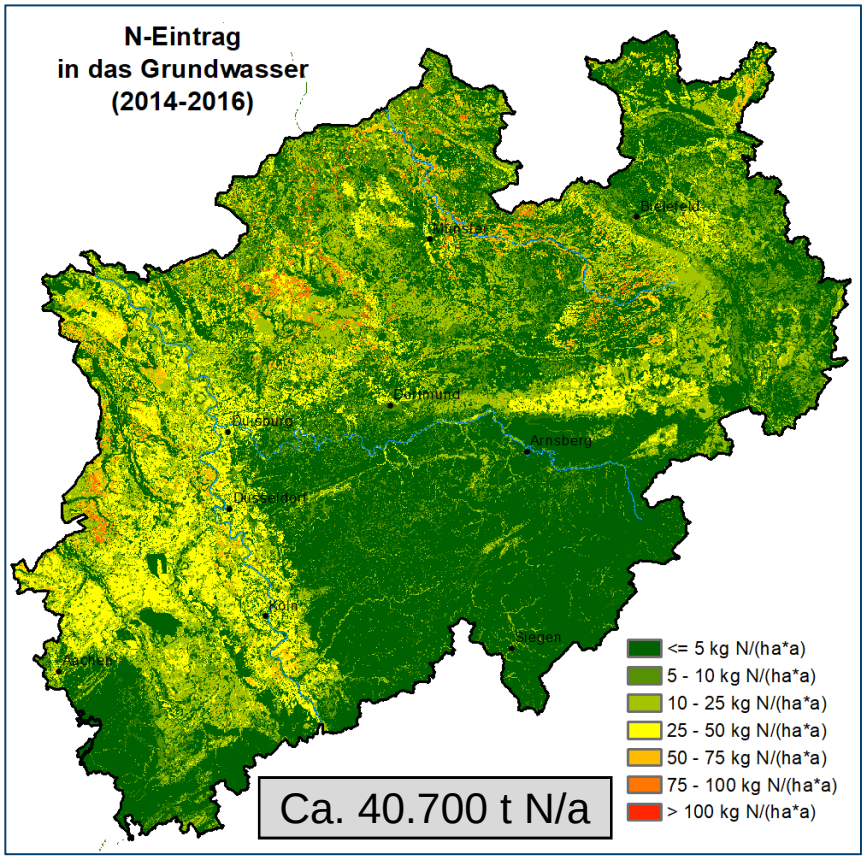
- ***N-EINTRAG INS GRUNDWASSER***
- ***FLIESSZEITEN IM AQUIFER***
- ***DENITRIFIKATION IM AQUIFER***

GROWA+NRW2021:

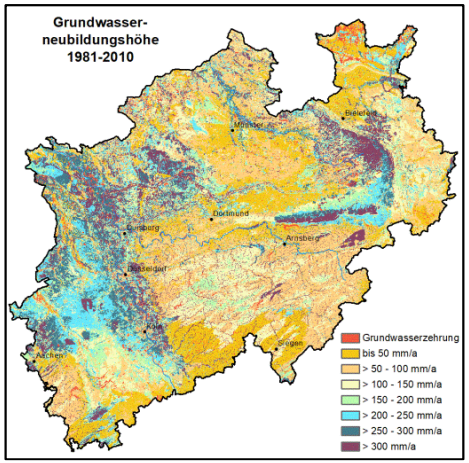
MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU-MORE



N-EINTRAG INS GRUNDWASSER



- Anteile des N-Austrags aus dem Boden sowie aus urbanen Systemen und KKA, die mit der Grundwasserneubildung ins Grundwasser gelangen
- < 5 kg N/(ha a) und > 50 N/(ha a)
- Hohe N-Einträge ins Grundwasser (>25 kg N/ha a) in allen Grundwasserneubildungsregionen (z.B. Niederrheinische Bucht), d.h. wenn der Anteil GWN am Gesamtabfluss hoch ist



- geringe N-Einträge ins Grundwasser (<5 kg/ha a) in den Festgesteinsregionen, vor allem im Rheinischen Schiefergebirge; Hauptaustrag dort über Zwischenabfluss

5. DIFFUSE N-EINTRÄGE IN DIE VORFLUTER ÜBER DAS GRUNDWASSER:

- N-EINTRAG INS GRUNDWASSER

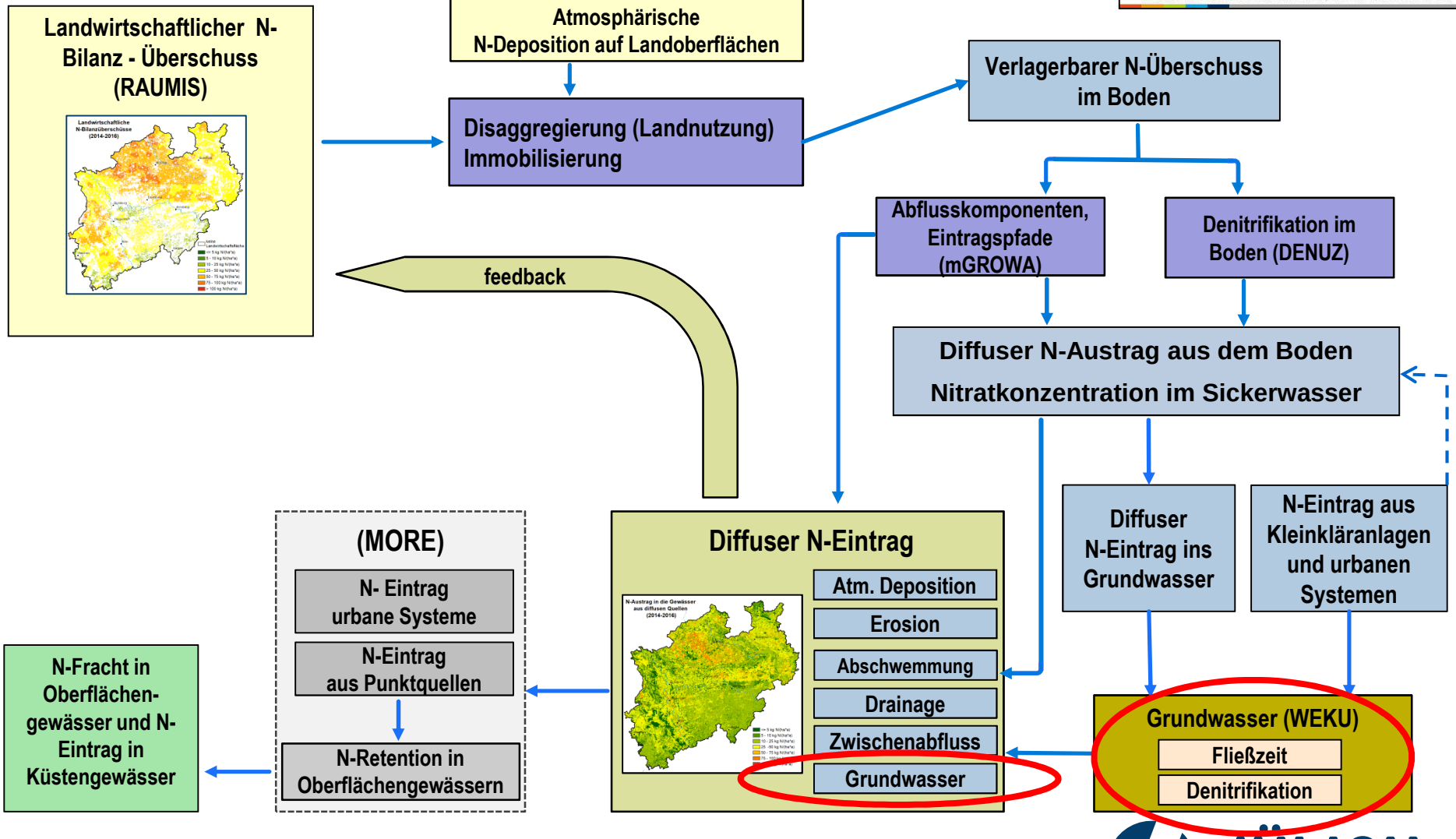
- FLIEßZEITEN IM AQUIFER

- DENITRIFIKATION IM AQUIFER

WEKU-Modell

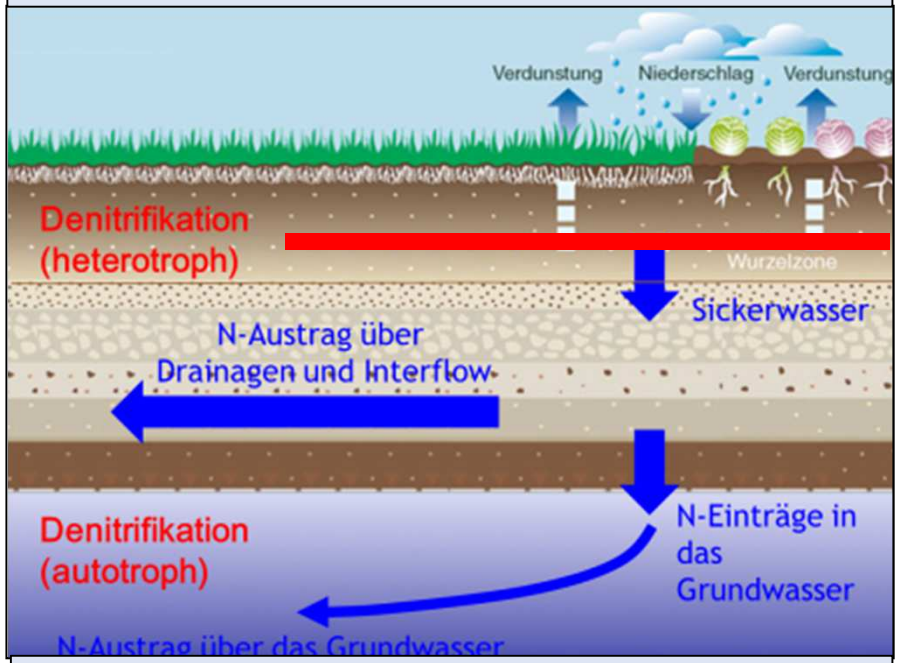
GROWA+NRW2021:

MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU-MORE



MODELLIERUNG VON FLIEßZEITEN UND DENITRIFIKATION IM GRUNDWASSER (WEKU-MODELL)

WEKU: Berechnung der Fließzeiten und Denitrifikation im Grundwasser



WEKU-Modellergebnis: N-Einträge in Vorfluter aus dem Grundwasser

$$N(t) = N_0 \times \exp(-k_n \times t)$$

$$k_n = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \qquad t = \frac{s}{v_a}$$

N_0: Anfangsgehalt des Nitrats im Grundwasser [kg/ha a]
N(t): Nitratgehalt im Grundwasser nach Fließzeit t [kg/ha a]
t: Fließzeit des Grundwassers im Aquifer [a]
k_n: Denitrifikationsbedingungen -/ konstanten [a^{-1}]
$t_{1/2}$: Halbwertszeit des Nitratabbaus [a]
v_a: Abstandsgeschwindigkeit im Aquifer [m/a]
s: Fließstrecke zum Vorfluter [m]

- Nitratabbau im Grundwasser über eine Reaktion erster Ordnung → NO3 - Halbwertzeiten
- Berechnung der grundwasserbürtigen Nitrateinträge in den Vorfluter über das Grundwasser durch Kopplung von Halbwertzeiten des Nitratabbaus mit Fließzeiten

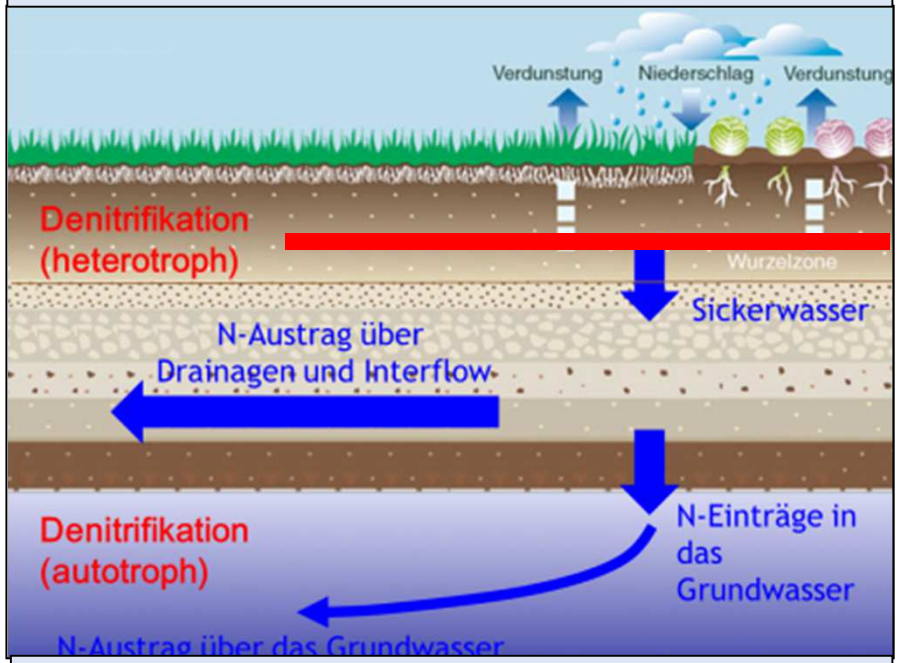
5. DIFFUSE N-EINTRÄGE IN DIE VORFLUTER ÜBER DAS GRUNDWASSER:

- N-EINTRAG INS GRUNDWASSER
- FLIEßZEITEN IM AQUIFER
- DENITRIFIKATION IM AQUIFER

} ***WEKU-Modell***

MODELLIERUNG VON FLIEßZEITEN UND DENITRIFIKATION IM GRUNDWASSER (WEKU-MODELL)

WEKU: Berechnung der Fließzeiten und Denitrifikation im Grundwasser



WEKU-Modellergebnis: N-Einträge in Vorfluter aus dem Grundwasser

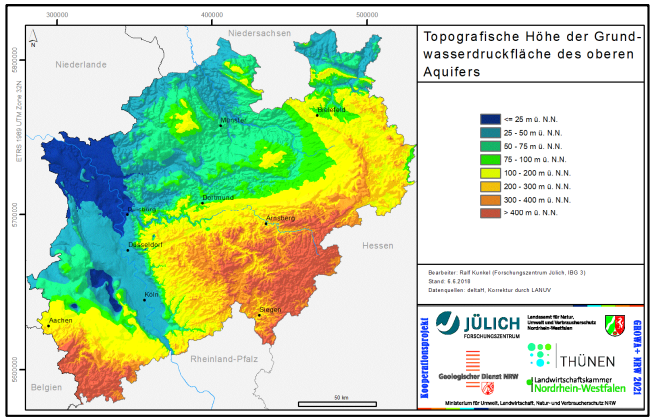
$$N(t) = N_0 \times \exp(-k_n \times t)$$

$$k_n = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \qquad t = \frac{s}{v_a}$$

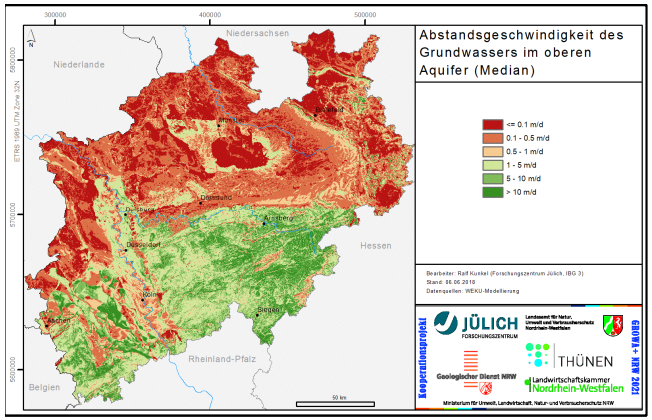
N_0: Anfangsgehalt des Nitrats im Grundwasser [kg/ha a]
N(t): Nitratgehalt im Grundwasser nach Fließzeit t [kg/ha a]
t: Fließzeit des Grundwassers im Aquifer [a]
k_n: Denitrifikationsbedingungen -/ konstanten [a^{-1}]
$t_{1/2}$: Halbwertszeit des Nitratabbaus [a]
v_a: Abstandsgeschwindigkeit im Aquifer [m/a]
s: Fließstrecke zum Vorfluter [m]

WEKU: ERMITTLUNG DER FLIEßZEIT IM GRUNDWASSER

(Vorgestellt beim 3. Projektbegleit-AK am 25.07.2018)

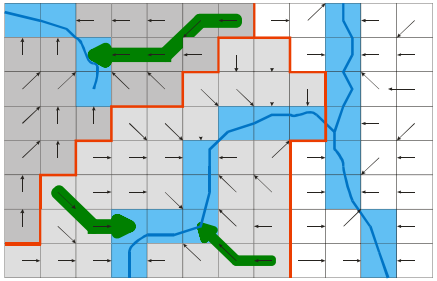


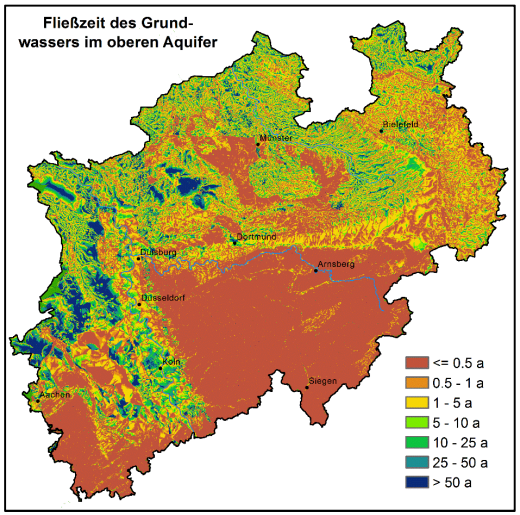
Grundwasseroberfläche



Abstandsgeschwindigkeit

Fließstrecke bis Vorfluter

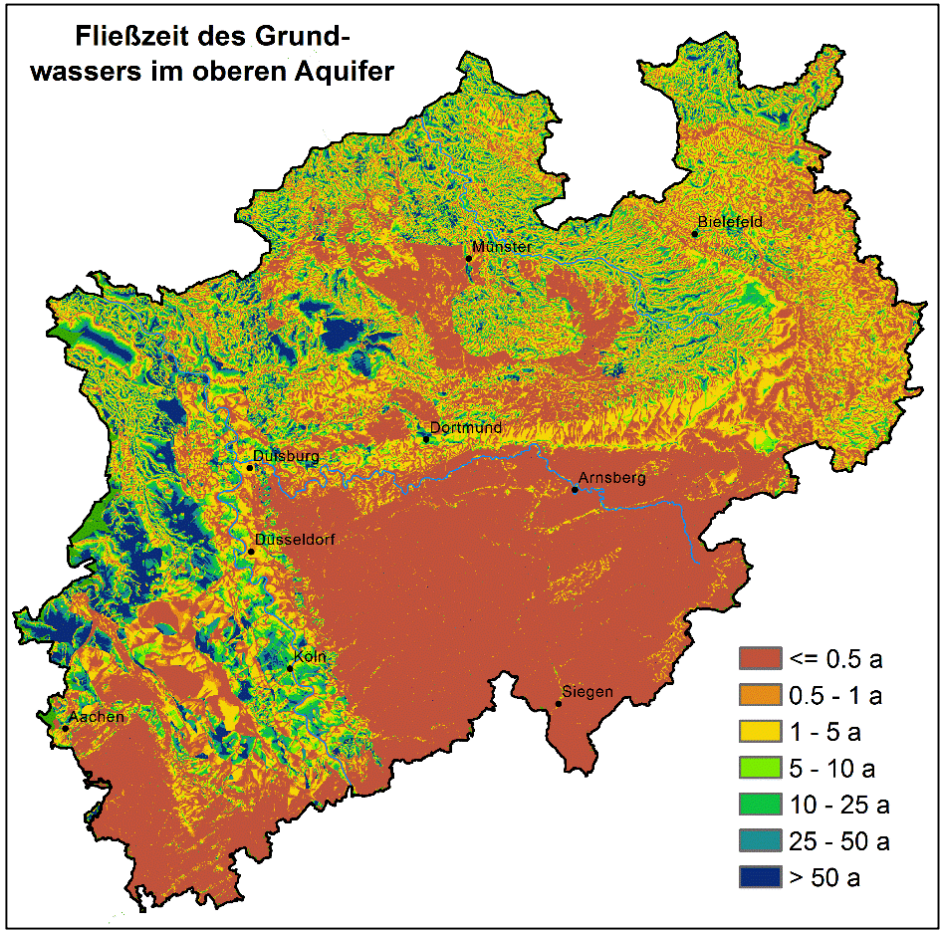




Grundwasserfließzeit

Fließzeit im Grundwasser ergibt sich aus der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers (Abstandsgeschwindigkeit in den Rastern) und der Fließstrecke im Aquifer bis zum Vorfluter

WEKU - MODELLERGEBNIS: FLIEßZEIT DES GRUNDWASSERS BIS ZUM VORFLUTER (Vorgestellt beim 4. Projektbegleit-AK am 13.12.2018)



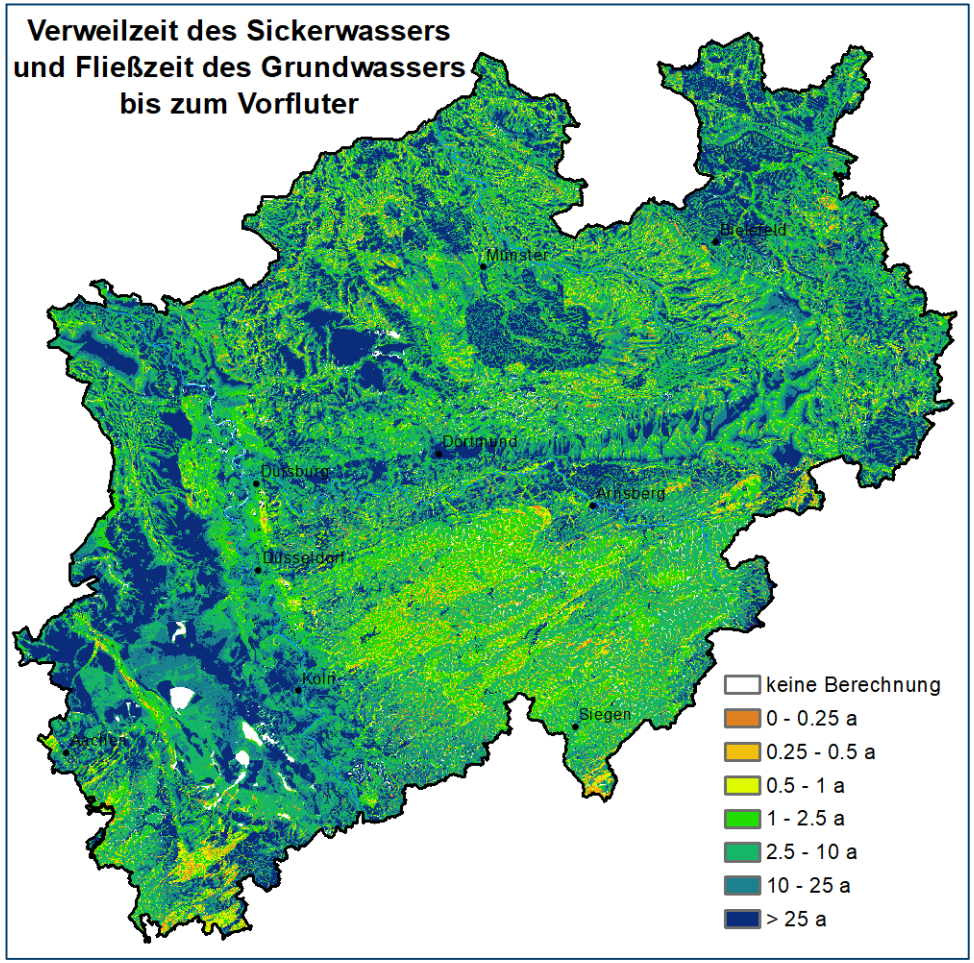
- Meist geringe Fließzeiten im Festgestein aufgrund großer hydraulischer Gradienten und hoher Vorfluterdichte
- Meist hohe Fließzeiten im Lockergestein aufgrund geringer hydraulischer Gradienten und geringer Vorfluterdichte
- Hohe Fließzeiten im Grundwasser führen zu hohen Nitratabbauraten im Grundwasser... **aber nur dann, wenn das Grundwasser ein Nitratabbauvermögen besitzt!!!**

Fließzeiten (und Verweilzeiten) sind über den hier vorgestellten Kontext hinaus für Zielerreichungsprognosen und Maßnahmenwirkungsabschätzungen von größter Bedeutung : *„Wann kommt die Wirkung der Maßnahme in der Fläche im Zielgewässer an?“* → war Thema des 4. Projektbegleit-AK am 13.12.2018

VERWEIL- UND FLIEßZEIT BIS ZUM VORFLUTER

- Zeitspanne vom Eintritt in den Boden bis zum Austritt in das Oberflächengewässer:
  - Verweilzeit im Boden
  - Verweilzeit in den Grundwasserdeckschichten
  - Fließzeit im Aquifer bis Vorflutereintritt

Perzentil	Verweil- und Fließzeit bis zum Vorfluter
P10	<= 2 Jahre
P 20	2 – 4 Jahre
P 30	4 – 6 Jahre
P 40	6 – 10 Jahre
P 50	10 – 14 Jahre
P 60	14 – 20 Jahre
P 70	20 – 30 Jahre
P 80	30 – 50 Jahre
P 90	50 – 100 Jahre
P 100	> 100 Jahre



Maß für Zeitraum, nach dem sich Maßnahmen, die das Grundwasser betreffen im Oberflächengewässer bemerkbar machen

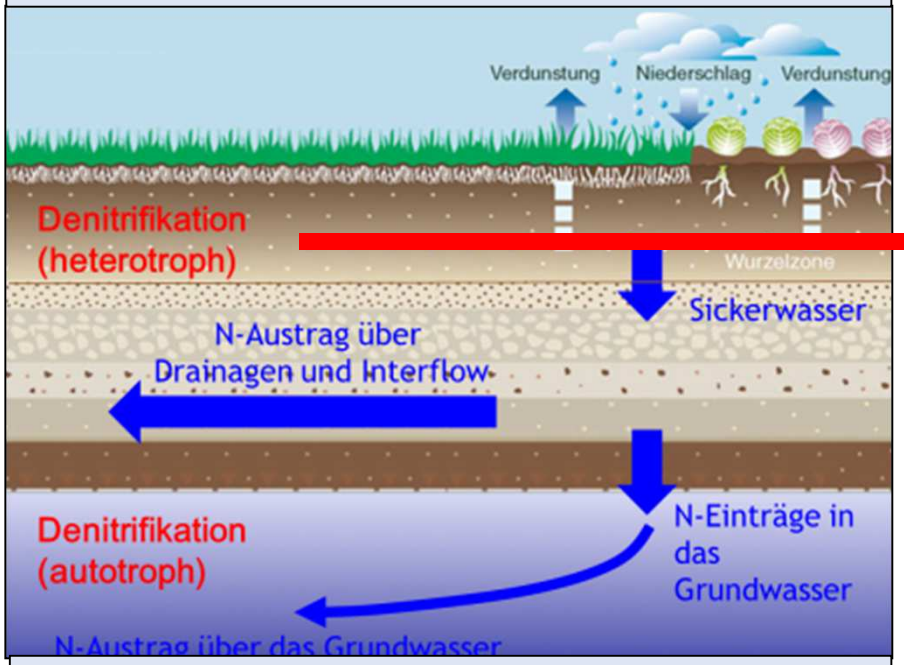
5. DIFFUSE N-EINTRÄGE IN DIE VORFLUTER ÜBER DAS GRUNDWASSER:

- N-EINTRAG INS GRUNDWASSER
- FLIEßZEITEN IM AQUIFER
- DENITRIFIKATION IM AQUIFER

WEKU-Modell

NITRATABBAU IM GRUNDWASSER

WEKU: Berechnung der Fließzeiten und Denitrifikation im Grundwasser



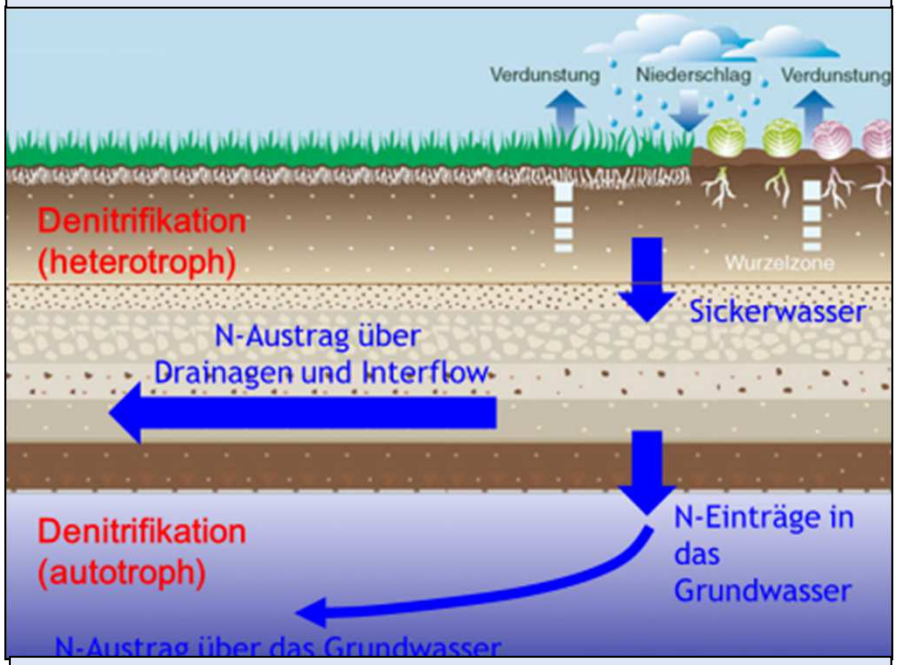
WEKU-Modellergebnis: N-Einträge in Vorfluter aus dem Grundwasser

- über mikrobiell gesteuerte Redox-reaktion wird NO_3 zu N_2 bzw. N_20 abgebaut
- Unter reduzierten Milieubedingungen unter Beteiligung von
  - *Anorganischen Verbindungen (z.B. FeS_2) → autotrophe Denitrifikation*
  - *Organischen Verbindungen (z.B. Torf-partikel) → heterotrophe Denitrifikation*
- **Im Gegensatz zum Nitratabbau im Boden ist der Nitratabbau im Grund-wasser durch das reduzierende Stoffdepot im Aquifer (FeS2, C_{org}) limitiert**

➢ Deshalb sollte mit dem Nitratabbau-vermögen reduzierter Aquifere schonend umgegangen werden!!!

MODELLIERUNG DER N-EINTRÄGE IN DIE VORFLUTER ÜBER DAS GRUNDWASSER

WEKU: Berechnung der Fließzeiten und Denitrifikation im Grundwasser



WEKU-Modellergebnis: N-Einträge in Vorfluter aus dem Grundwasser

$$N(t) = N_0 \times \exp(-k_n \times t)$$

$$k_n = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \qquad t = \frac{s}{v_a}$$

N_0: Anfangsgehalt des Nitrats im Grundwasser [kg/ha a]
N(t): Nitratgehalt im Grundwasser nach Fließzeit t [kg/ha a]
t: Verweilzeit des Grundwassers im Aquifer [a]
k_n: Denitrifikationsbedingungen -/konstante [a^{-1}]
$t_{1/2}$: Halbwertszeit des Nitratabbaus [a]
v_a: Abstandsgeschwindigkeit im Aquifer [m/a]
s: Fließstrecke zum Vorfluter [m]

- Nitratabbau im Grundwasser wird über eine Reaktion erster Ordnung abgebildet → *NO_3 - Halbwertzeiten*
- Halbwertzeiten des Nitratabbaus lassen sich aus den Denitrifikationsbedingungen im Grundwasser ableiten → *Redox-Indikatoren*

REDOX-INDIKATOREN: NITRATABBAU IM GRUNDWASSER

wesentliche Redox-Indikatoren

Parameter	Reduziertes Grundwasser
Eisen - Fe^{2+}	> 0,2 mg/L
Mangan – Mn^{2+}	> 0,05 mg/L
Nitrat - NO_3^-	< 1 mg/L
Sauerstoff - O_2	< 2 mg/L
Gelöster organischer Kohlenstoff – DOC	> 1,5 mg/L

Obermann (1982), Leuchs (1988), DVWK (1992), Hannapel (1996), Hölting (1996); Heidecke et al. (2016), Ackermann et al. (2016), Wendland et al. (2014), Kuhr et al. (2013), Kunkel et al. (2004), Kunkel & Wendland (1999), Wendland (1992)

- Gemessene Konzentrationen von Redox-Indikatoren im Grundwasser erlauben Rückschlüsse auf das Redoxmillieu des Grundwassers.
- Einfache Beziehungen wie z.B. „je mehr Fe-II, desto weniger O_2 und desto reduzierter ist das Grundwasser“ lassen sich nicht herstellen (Gerb, 1958).
- Nicht jedes reduzierte Grundwasser weist immer alle Kennzeichen reduzierter Grundwässer auf.

- Je mehr die Konzentrationsbereiche der einzelnen in einer Grundwasseranalyse gemessenen Redox-Indikatoren auf reduzierte Milieubedingungen hinweisen, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass es sich an der Messstelle um ein reduziertes (nitratabbauendes) Grundwasser handelt.
- Die Regionalisierung der Konzentrationswerte der Redoxparameter (Kriging) und die Überlagerung der regionalisierten Konzentrationsverteilungen der Einzelparameter im GIS erlaubt Rückschlüsse auf das Nitratabbauvermögen im Grundwasser in einer Region

VORGEHENSWEISE ZUR AUSWEISUNG DES NITRATABBAUVERMÖGENS IM GRUNDWASSER NRWS

Arbeitsschritte:

1. Regionalisierung (Kriging) der gemessenen Konzentrationswerte
2. Klassifizierung der regionalisierten Werte und Zuordnung von Punktzahlen
3. Addition der Punktwerte (Überlagerung im GIS) → Nitratabbauvermögen
4. Zuweisung von Halbwertszeiten der Denitrifikation im Grundwasser

VORGEHENSWEISE ZUR AUSWEISUNG DES NITRATABBAUVERMÖGENS IM GRUNDWASSER NRWS

Arbeitsschritte:

1. Regionalisierung (Kriging) der gemessenen Konzentrationswerte
2. Klassifizierung der regionalisierten Werte und Zuordnung von Punktzahlen
3. Addition der Punktwerte (Überlagerung im GIS) → Nitratabbauvermögen
4. Zuweisung von Halbwertszeiten der Denitrifikation im Grundwasser

VERFÜGBARE GRUNDWASSERGÜTEDATEN ZUR AUSWEISUNG DES NITRATABBAUVERMÖGENS IM GRUNDWASSER

- LANUV: HYGRIS C
  - *89.223 Grundwasseranalysen (2000-2005)*
  - *5.789 Messstellen (alle oberer Aquifer, z.T. mit klassifizierten Tiefenangaben)*
- GD NRW:
  - *13.323 Messstellen mit je 1 Grundwasseranalyse (keine Tiefenangaben)*
- Zusammenführung in homogene Datenbank
- Pre-processing:
  - *Elimination unrealistischer Einzelwerte*
  - *Mittelwertbildung der Einzelanalysen (Fe, Mn, DOC, NO3, O2, (Tiefe))*

Parameter	Anzahl
DOC	3696
Fe	8552
Mn	8118
NO_3	9195
O_2	5239
Tiefe	1897

- **Es verbleibt jeweils ein Parameter pro Messstelle**
- **Anzahl der Messwerte an den Messstellen zwischen 3696 und 9195**

VERFÜGBARE GRUNDWASSERGÜTEDATEN ZUR AUSWEISUNG DES NITRATABBAUVERMÖGENS IM GRUNDWASSER

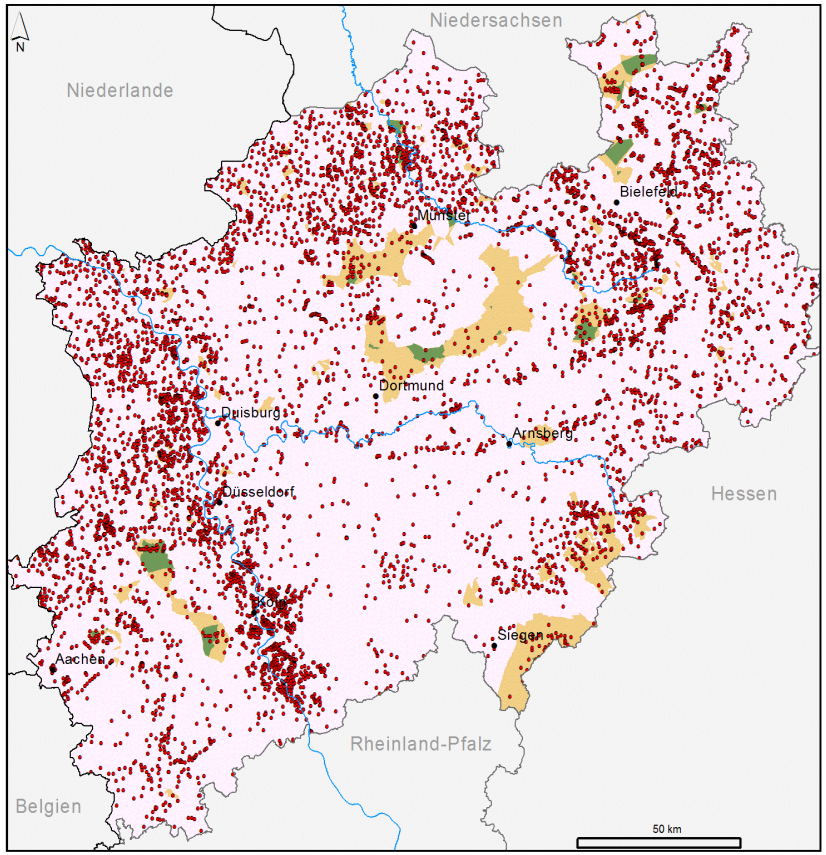
- LANUV: HYGRIS C
  - *89.223 Grundwasseranalysen (2000-2005)*
  - *5.789 Messstellen (alle oberer Aquifer, z.T. mit klassifizierten Tiefenangaben)*
- GD NRW:
  - *13.323 Messstellen mit je 1 Grundwasseranalyse (keine Tiefenangaben)*
- Zusammenführung in homogene Datenbank
- Pre-processing:
  - *Elimination unrealistischer Einzelwerte*

    Ausschluss von Analysen, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist (DVWK, 1992):
    - O_2 > 12 mg/L
    - O_2 > 5 mg/L und Fe II > 0.05 mg /L
    - O_2 > 5 mg/L und Mn II > 0.05 mg /L
    - Fe II > 0.2 mg /L und NO_3 > 2 mg/L
    - Mn II > 0.05 mg /L und NO_3 > 2 mg/L
  - *Mittelwertbildung der Einzelanalysen (Fe, Mn, DOC, NO3, O2, (Tiefe))*

Parameter	Anzahl
DOC	3696
Fe	8552
Mn	8118
NO_3	9195
O_2	5239
Tiefe	1897

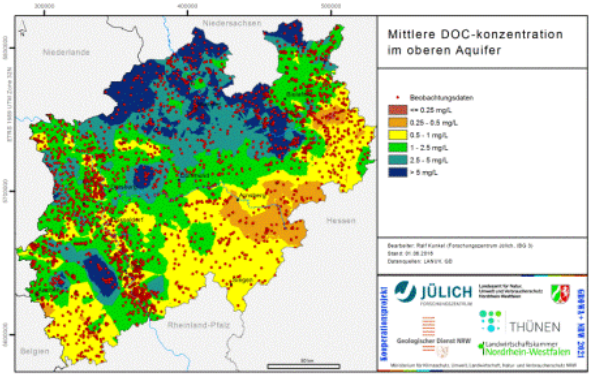
- **Es verbleibt jeweils ein Parameter pro Messstelle**
- **Anzahl der Messwerte an den Messstellen zwischen 3696 und 9195**

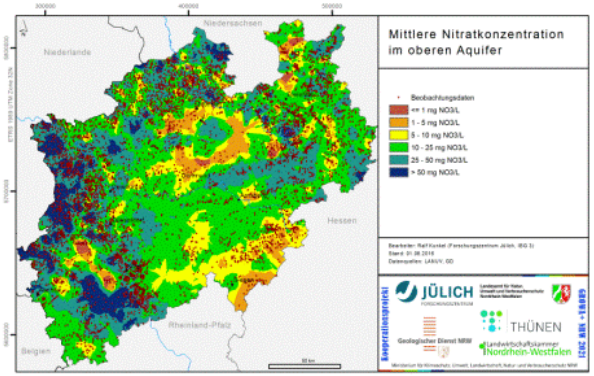
REGIONALE VERTEILUNG DER GRUNDWASSERMESSSTELLEN

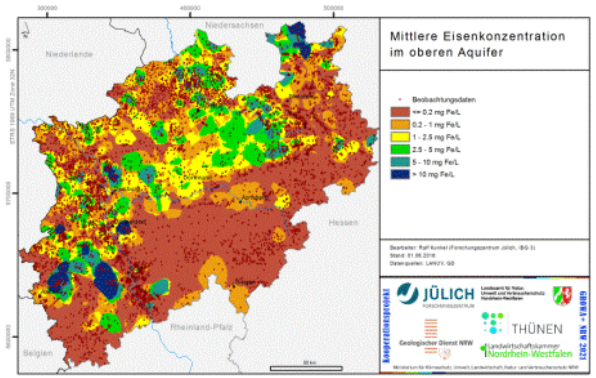


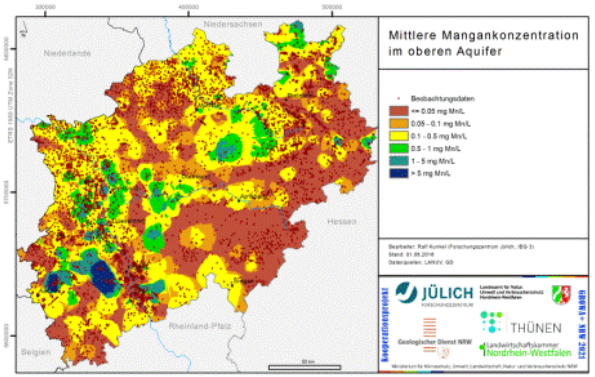
- Anzahl der Messwerte der zur Ausweisung der Nitratabbauvermögens im Grundwasser verwendeten Messstellen zwischen 3696 und 9195
- Die regionale Verteilung der Messstellen ist unterschiedlich → je weiter die Messstellen voneinander entfernt sind, desto größer wird die Unsicherheit zwischen den Messstellen

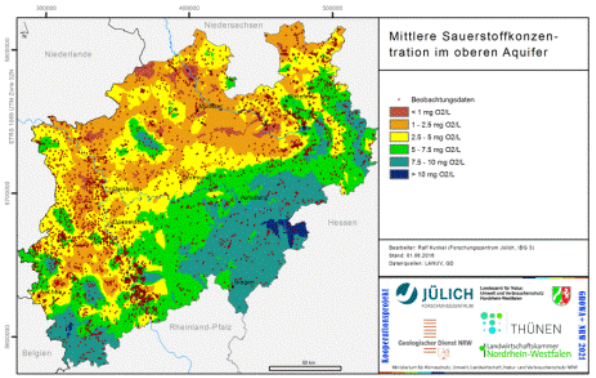
REGIONALISIERTE KONZENTRATIONSWERTE











- Bei der Regionalisierung der Einzelparameter kommt es zu regionalen Unschärfen
- Erst aus dem Zusammenspiel der regionalisierten Konzentrationswerte der einzelnen Redox-Parameter im Raum lassen sich Rückschlüsse auf das Redox-Milieu ziehen

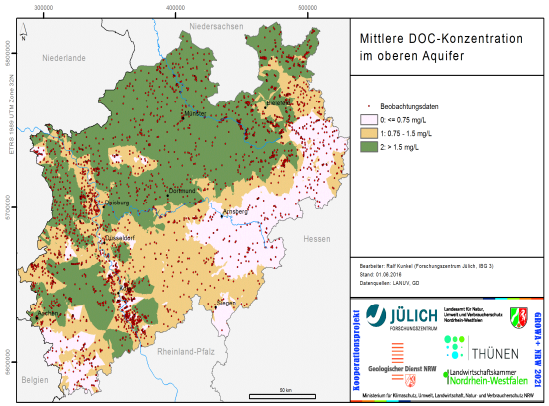
VORGEHENSWEISE ZUR AUSWEISUNG DES NITRATABBAUVERMÖGENS IM GRUNDWASSER NRWS

Arbeitsschritte:

1. Regionalisierung (Kriging) der gemessenen Konzentrationswerte
2. Klassifizierung der regionalisierten Werte und Zuordnung von Punktzahlen
3. Addition der Punktwerte (Überlagerung im GIS) → Nitratabbauvermögen
4. Zuweisung von Halbwertszeiten der Denitrifikation im Grundwasser

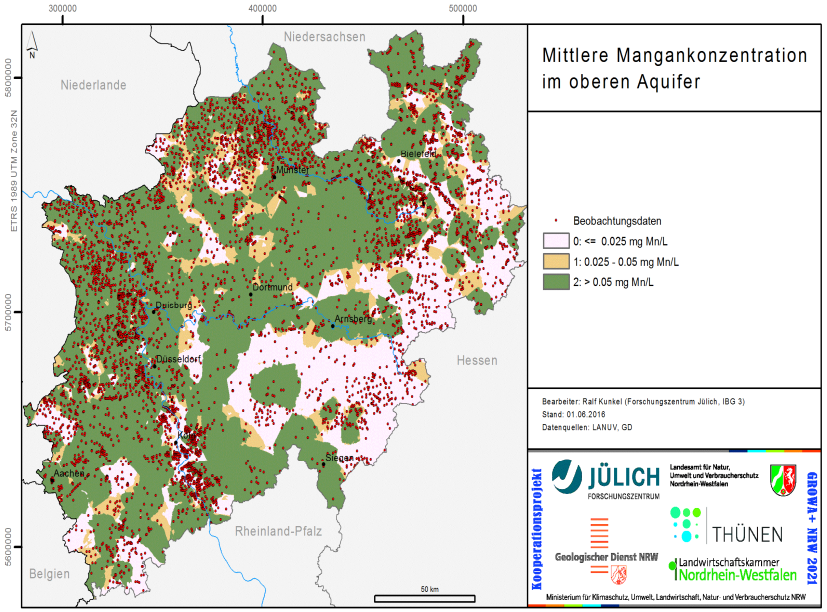
KLASSIFIZIERUNG DER 5 REDOX-PARAMETER

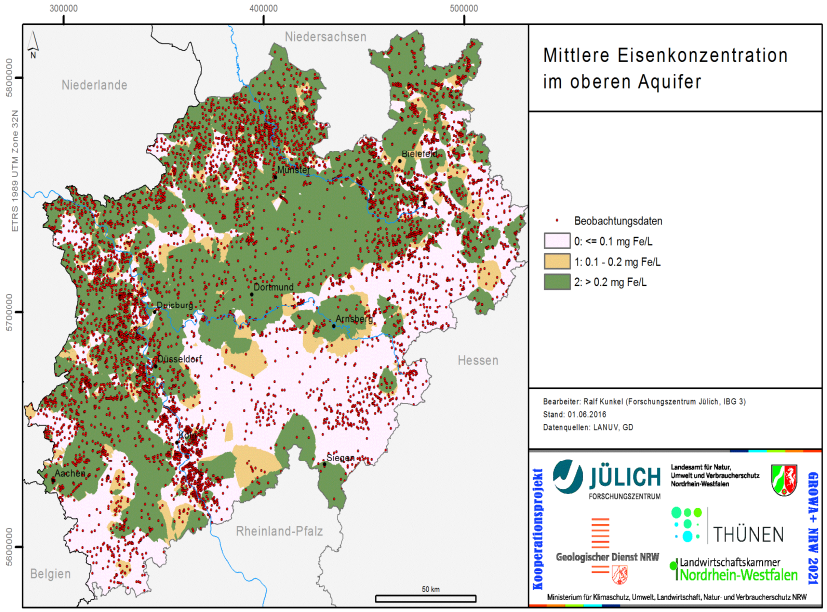
Parameter	Nitratabbauvermögen (Punkte)		
Name	**0 (gering)**	**1**	**2 (hoch)**
Farbgebung			
Fe^{2+}	< 0,1 mg/L	> 0,1 – 0,2 mg/L	> 0,2 mg/L
Mn^{2+}	< 0,025 mg/L	0,025 – 0,05 mg/L	> 0,05 mg/L
DOC	< 0,75 mg/L	> 0,75 – 1,5 mg/L	> 1,5 mg/L
NO_3	> 5 mg/L	> 1 – 5 mg/L	< 1 mg/L
O_2	> 4 mg/L	> 2 – 4 mg/L	< 2 mg/L

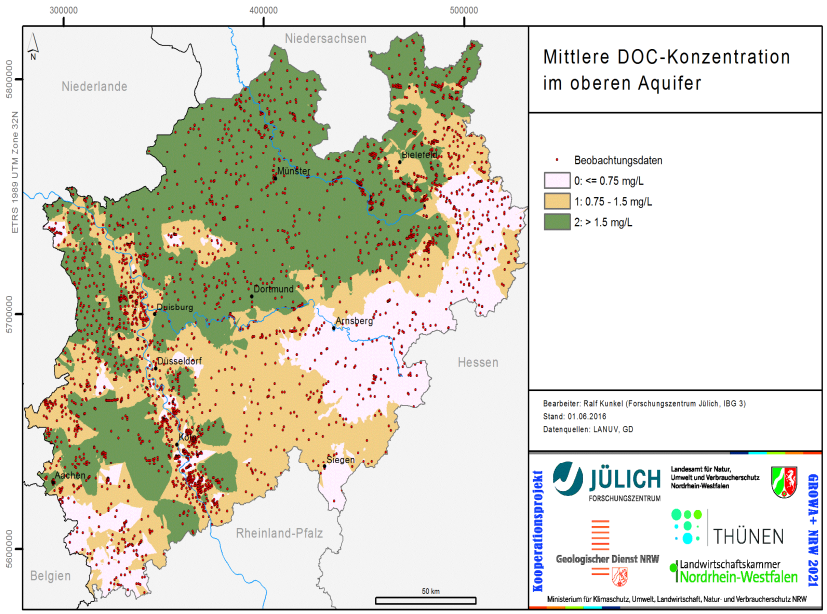


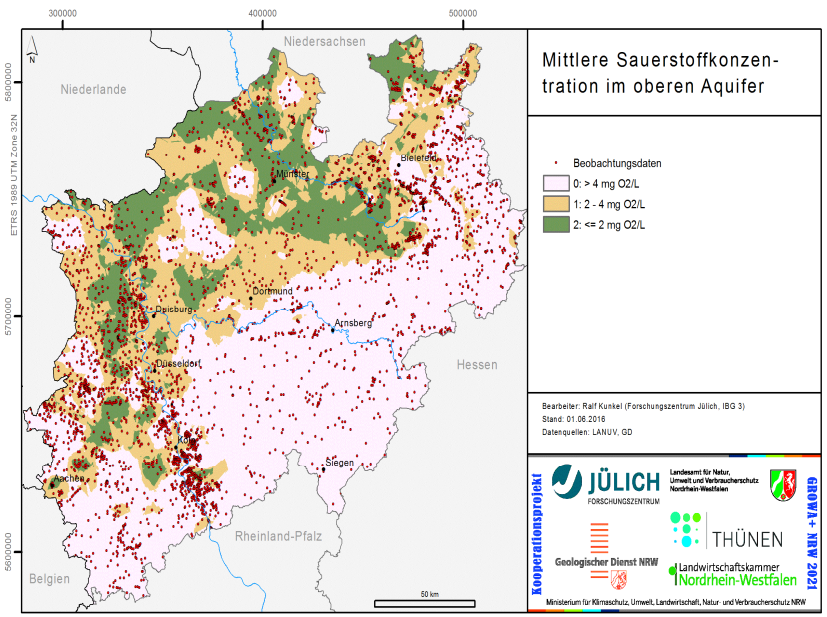
JÜLICH
Forschungszentrum

REGIONALISIERUNG DER KLASSIFIZIERTEN KONZENTRATIONSWERTE DER REDOX-PARAMETER

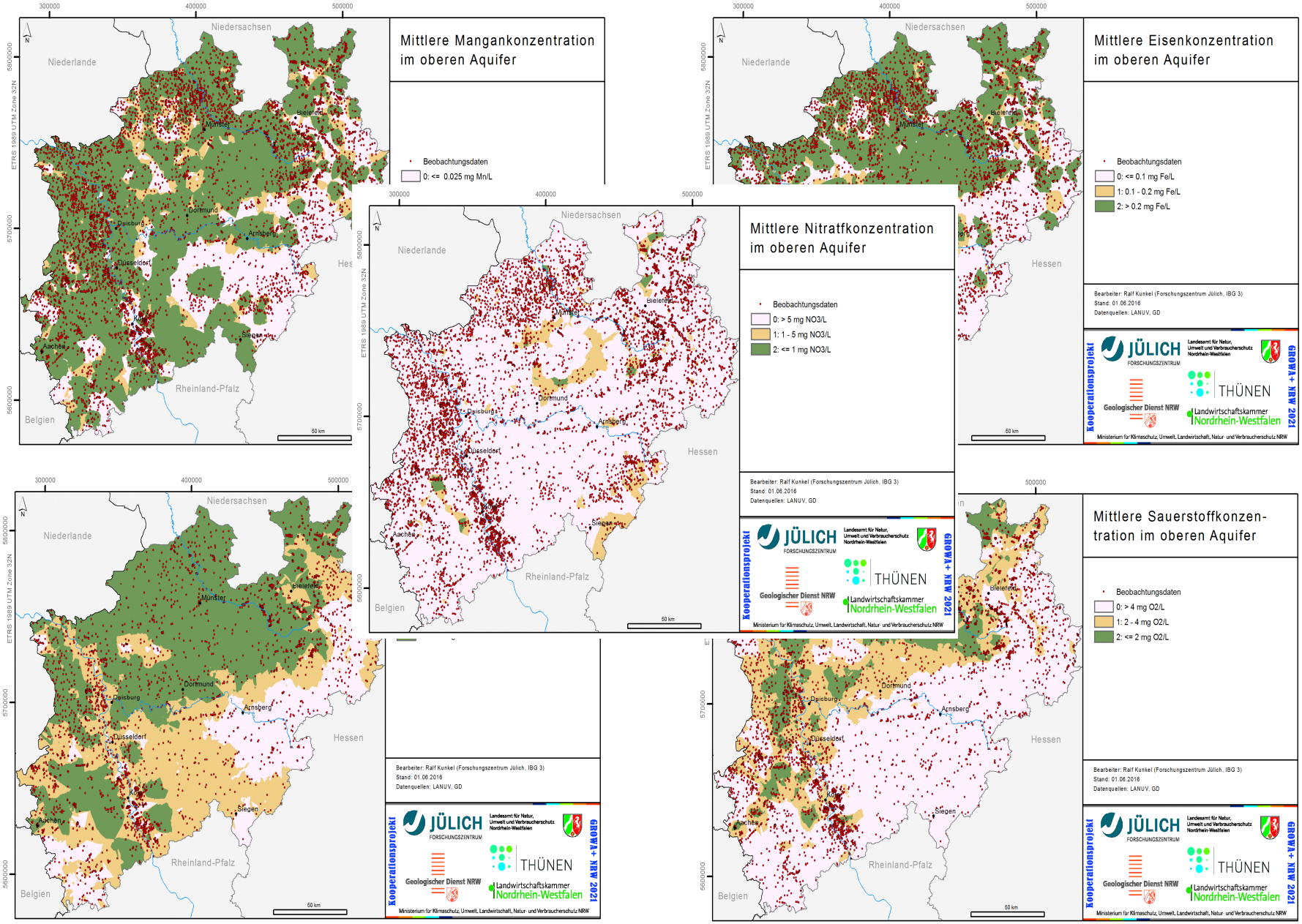








REGIONALISIERUNG DER KLASSIFIZIERTEN KONZENTRATIONSWERTE DER REDOX-PARAMETER

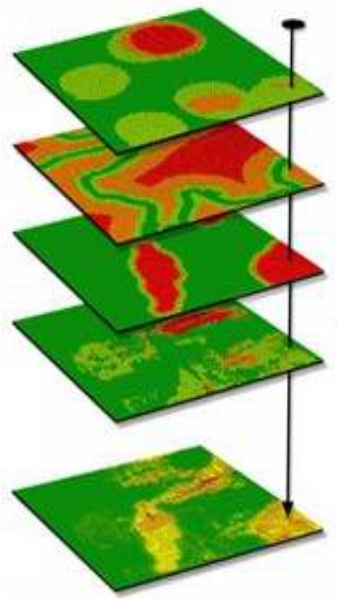


VORGEHENSWEISE ZUR AUSWEISUNG DES NITRATABBAUVERMÖGENS IM GRUNDWASSER NRWS

Arbeitsschritte:

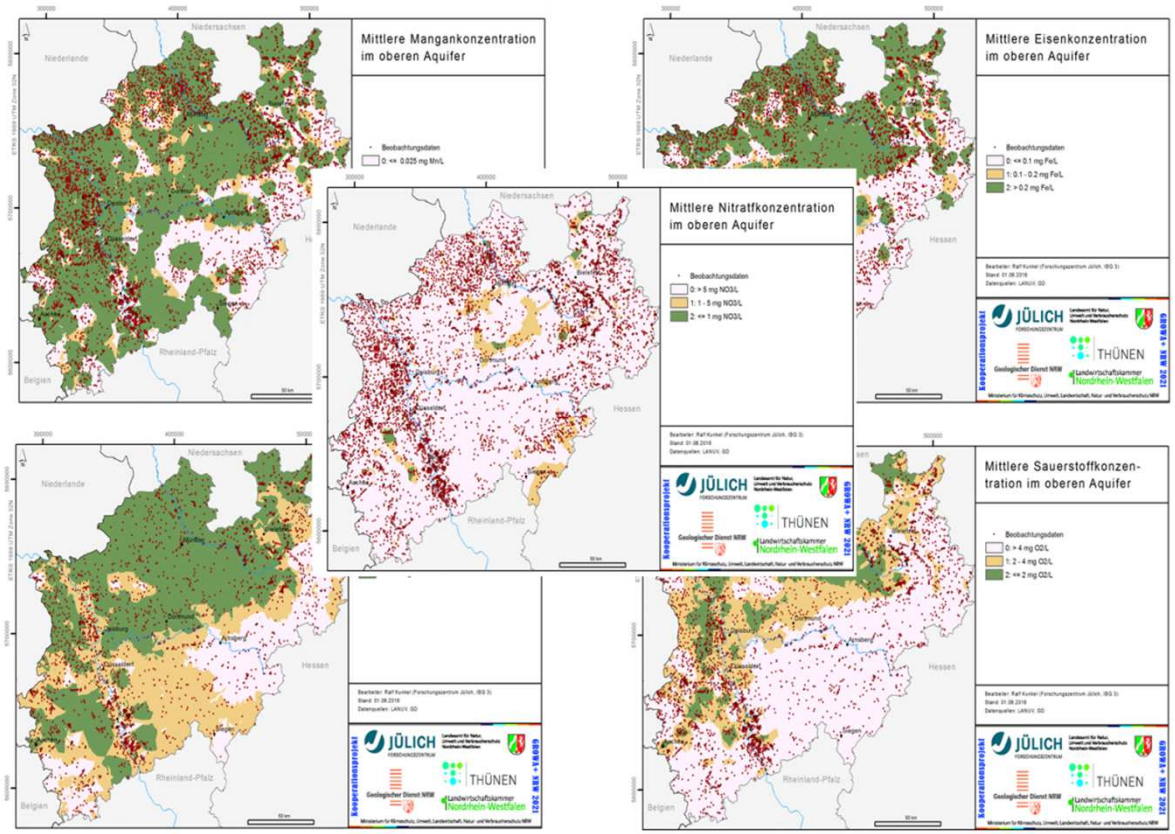
1. Regionalisierung (Kriging) der gemessenen Konzentrationswerte
2. Klassifizierung der regionalisierten Werte und Zuordnung von Punktzahlen
3. Addition der Punktwerte (Überlagerung im GIS) → Nitratabbauvermögen
4. Zuweisung von Halbwertszeiten der Denitrifikation im Grundwasser

ABLEITUNG DER DENITRIFIKATIONSBEDINGUNGEN IM AQUIFER



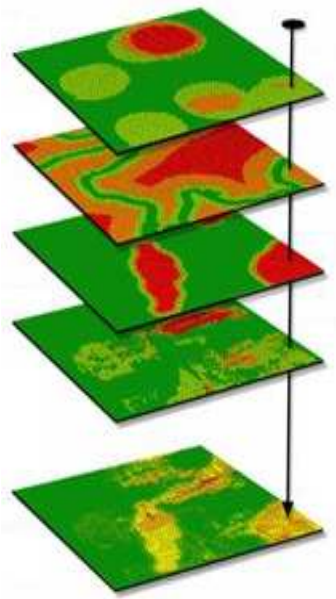
$$\sum_{i=1}^{5} NAV_i$$

- $\overline{NAV}$: *mittleres Nitratabbauvermögen*



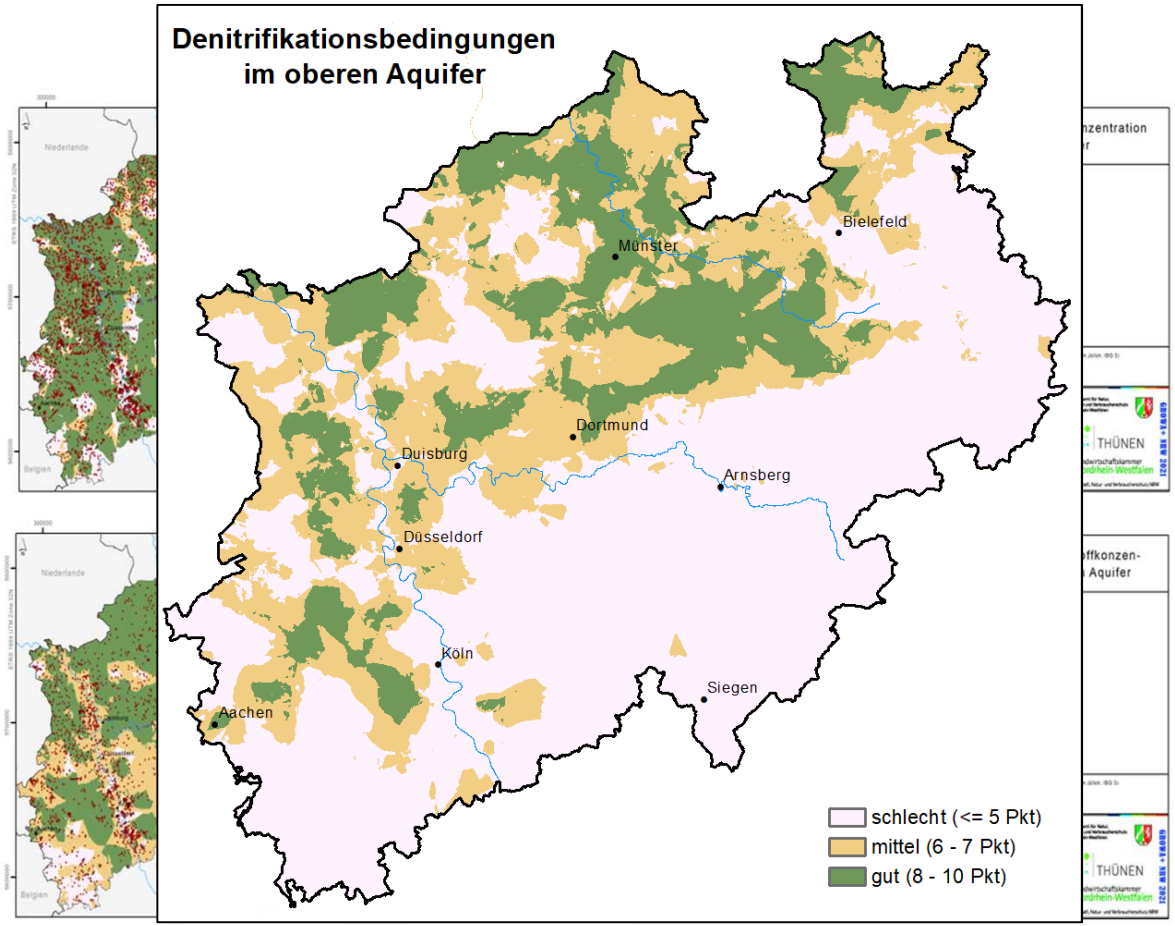
- Überlagerung der regionalisierten und klassifizierten Konzentrationsbereiche der Einzelparameter im GIS
- Addition der Punktzahlen → Nitratabbaubedingungen ergeben sich aus Gesamtpunktzahl
- Im Gegensatz zu Auswertungen für Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen wird in NRW an keiner Stelle die max. mögliche Punktzahl von 10 erreicht (vor allem wegen relativ hoher O_2 und / oder NO_3-Gehalte)

ABLEITUNG DER DENITRIFIKATIONSBEDINGUNGEN IM AQUIFER



$$\sum_{i=1}^{5} NAV_i$$

- $\overline{NAV}$: *mittleres Nitratabbauvermögen*



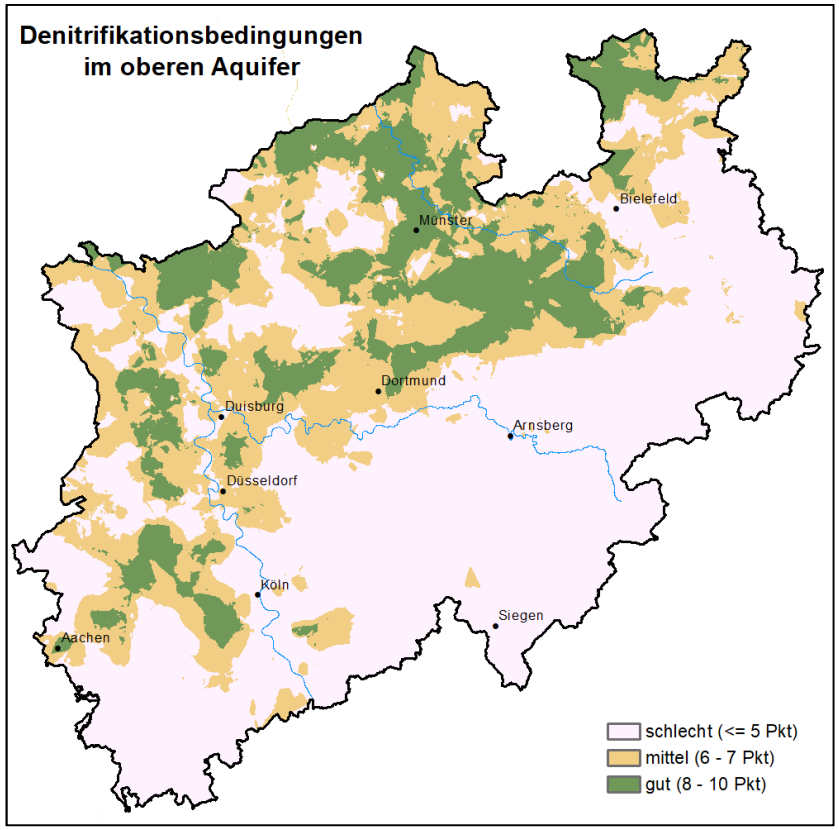
- Überlagerung der regionalisierten und klassifizierten Konzentrationsbereiche der Einzelparameter im GIS
- Addition der Punktzahlen → Nitratabbaubedingungen ergeben sich aus Gesamtpunktzahl
- Im Gegensatz zu Auswertungen für Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen wird in NRW an keiner Stelle die max. mögliche Punktzahl von 10 erreicht (vor allem wegen relativ hoher O_2 und / oder NO_3-Gehalte)

VORGEHENSWEISE ZUR AUSWEISUNG DES NITRATABBAUVERMÖGENS IM GRUNDWASSER NRWS

Arbeitsschritte:

1. Regionalisierung (Kriging) der gemessenen Konzentrationswerte
2. Klassifizierung der regionalisierten Werte und Zuordnung von Punktzahlen
3. Addition der Punktwerte (Überlagerung im GIS) → Nitratabbauvermögen
4. Zuweisung von Halbwertszeiten der Denitrifikation im Grundwasser

ZUORDNUNG VON HALBWERTZEITEN DER DENITRIFIKATION IM GRUNDWASSER AN AUSGEWIESENE DENITRIFIKATIONS-BEDINGUNGEN IM GRUNDWASSER



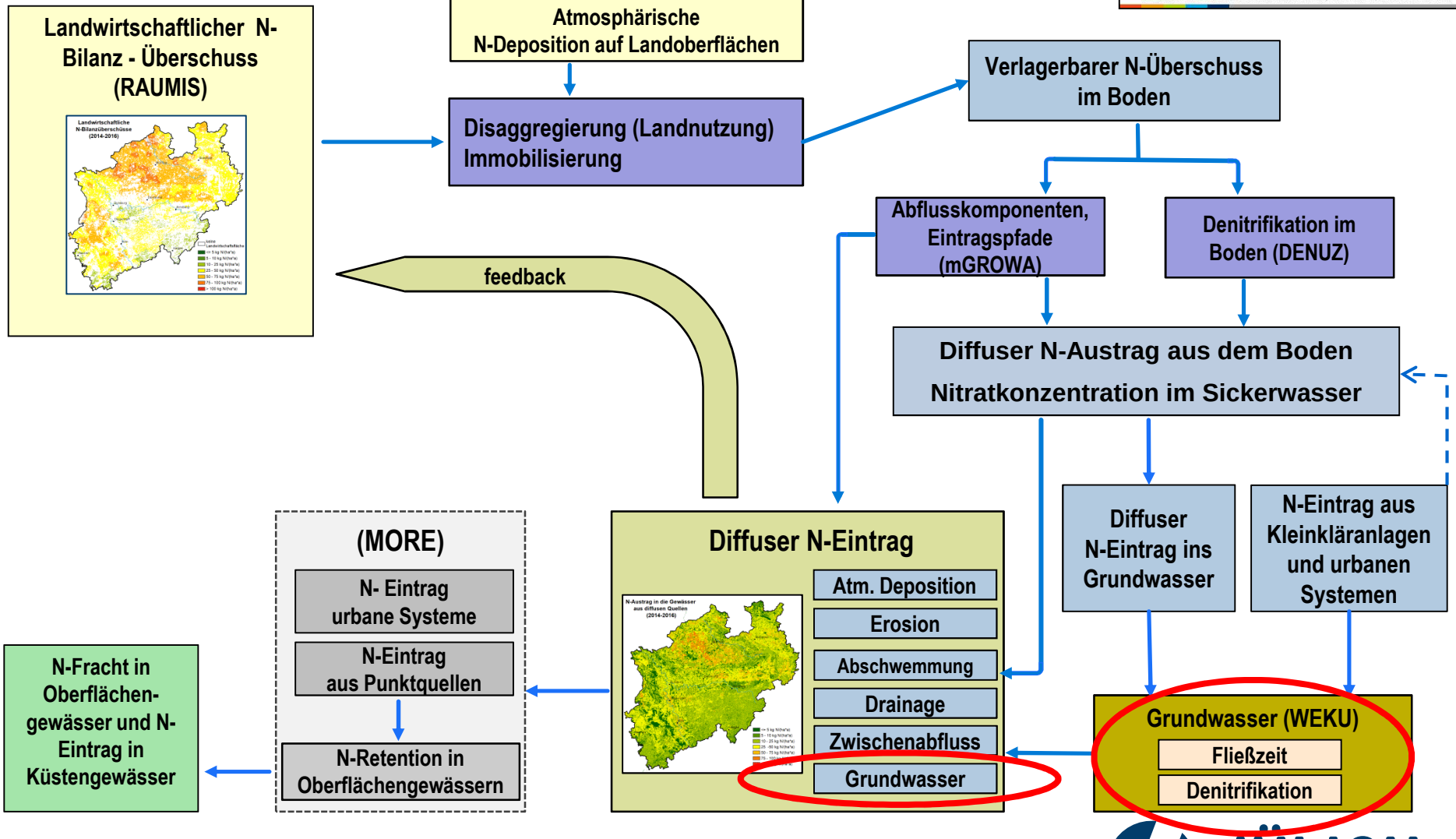
Halbwertzeit des Nitratabbaus im Grundwasser (Literaturwerte)		
<5 Punkte	**6-7 Punkte**	**8-10 Punkte**
10 - **50 Jahre**	5 - **10 Jahre**	< **5 Jahre**

Böttcher et al. (1989), van Beek (1987), Walther et al. (2003), Pätsch et al. (2003), Uhlig et al. (2010), Merz et al. (2009), Heidecke et al. (2016), Ackermann et al. (2016), Wendland et al. (2014), Kuhr et al. (2013), Kunkel et al. (2004), Kunkel & Wendland (1999), Wendland (1992)

- Zugeordnete (an-kalibrierte) Halbwertzeiten der Denitrifikation im Grundwasser ergeben plausible grundwasserbürtige N-Einträge in die Vorfluter
  → Validierungsergebnisse im Vorfluter (LANUV-Vortrag im Anschluss)
- Zusätzlich werden zur Validierung der (an-kalibrierten) Halbwertzeiten des Nitratabbaus im Grundwasser derzeit im LANUV N2/Ar-Messungen ausgewertet
  → ggf. „Nach-Justierung“ der Halbwertzeiten des Nitratabbaus im Grundwasser

GROWA+NRW2021:

MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU-MORE

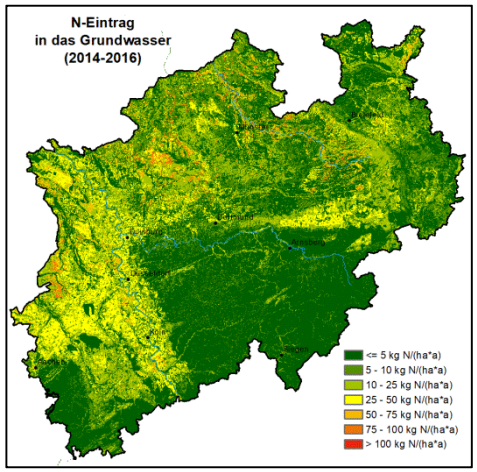


N-AUSTRAG IN DIE OBERFLÄCHENGEWÄSSER ÜBER DAS GRUNDWASSER

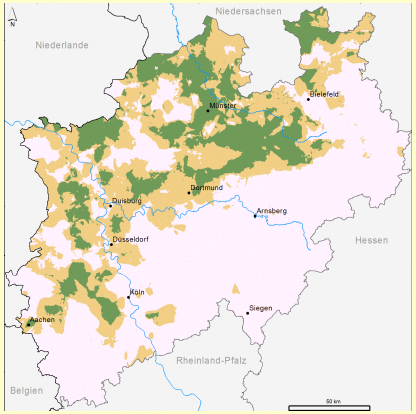
(WEKU-MODELL, KUNKEL & WENDLAND, 1997)

Denitrifikationsvermögen im Grundwasser

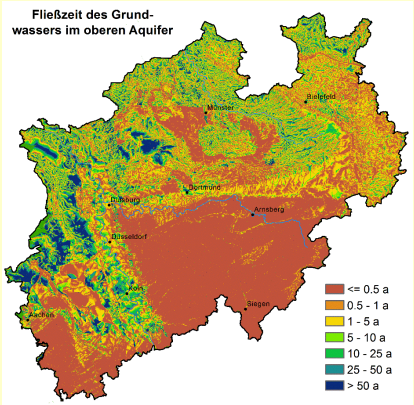
N-Eintrag ins Grundwasser



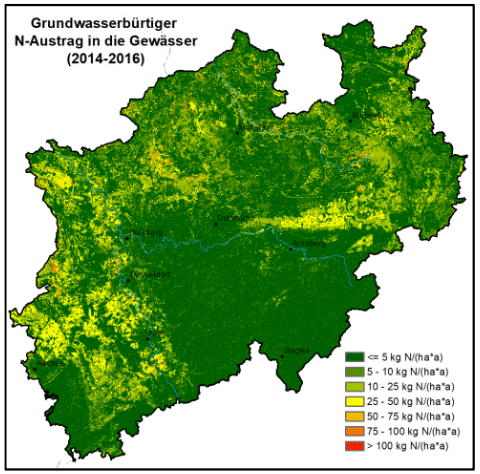
40.700 t N/a



Grundwasserfließzeiten



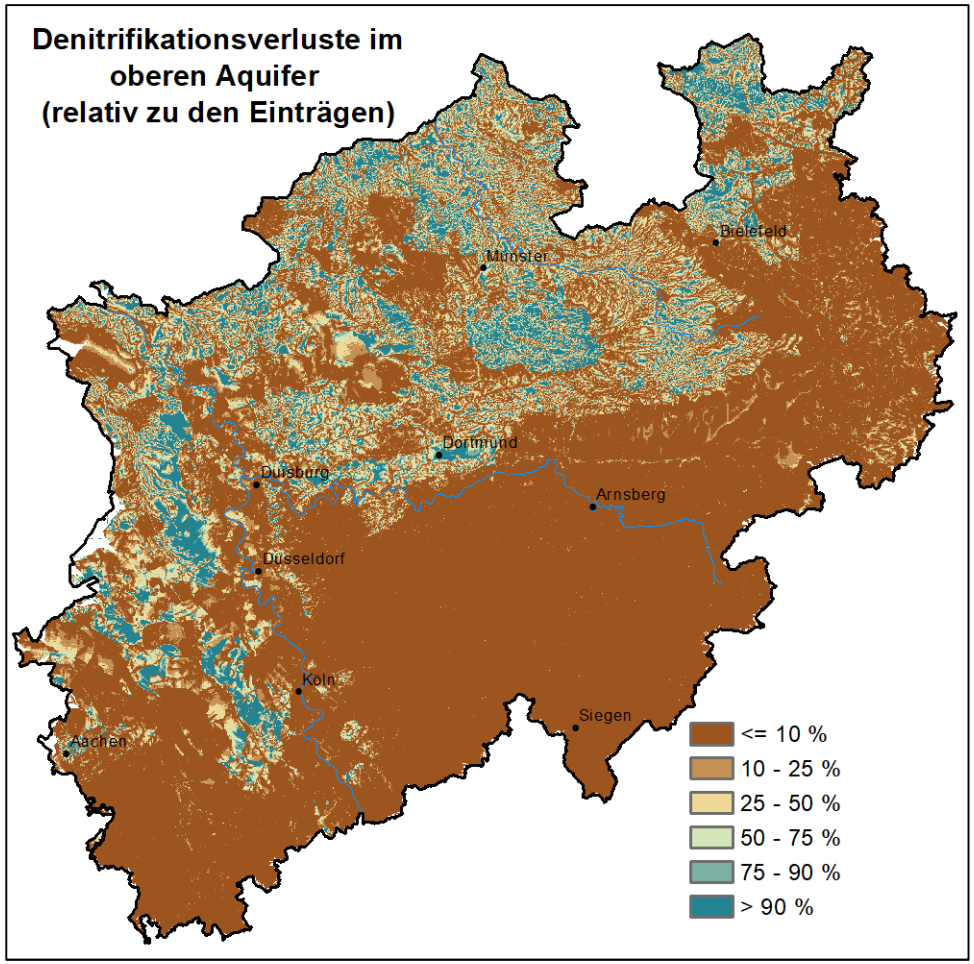
N-Austrag in die Oberflächengewässer über das Grundwasser



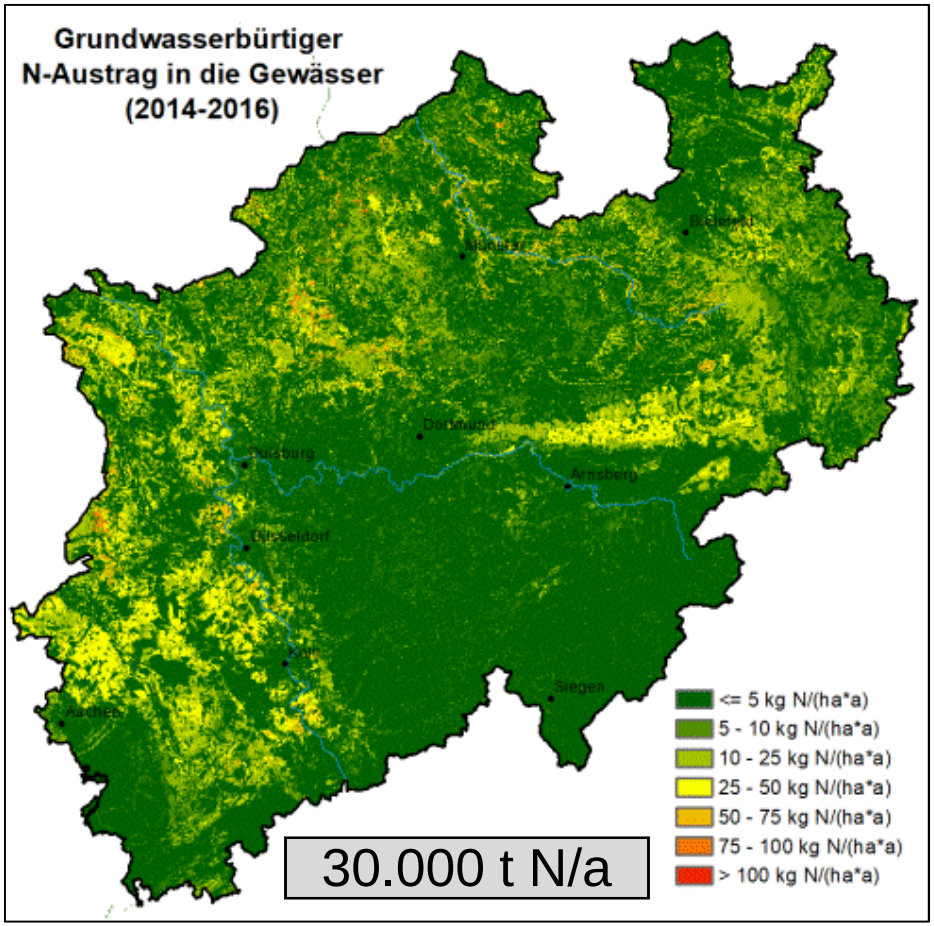
30.000 t N/a

Im Landesmittel wird ca. 26% des ins Grundwasser eingetragenen Nitrats im Aquifer abgebaut, bevor das Grundwasser in ein Oberflächengewässer übertritt

AUSMAß DER DENITRIFIKATION IM OBEREN AQUIFER IN VERSCH. REGIONEN



- In einigen Regionen des Münsterlandes und der Niederrheinischen Bucht kann der Nitratabbau im Grundwasser > 75% betragen.



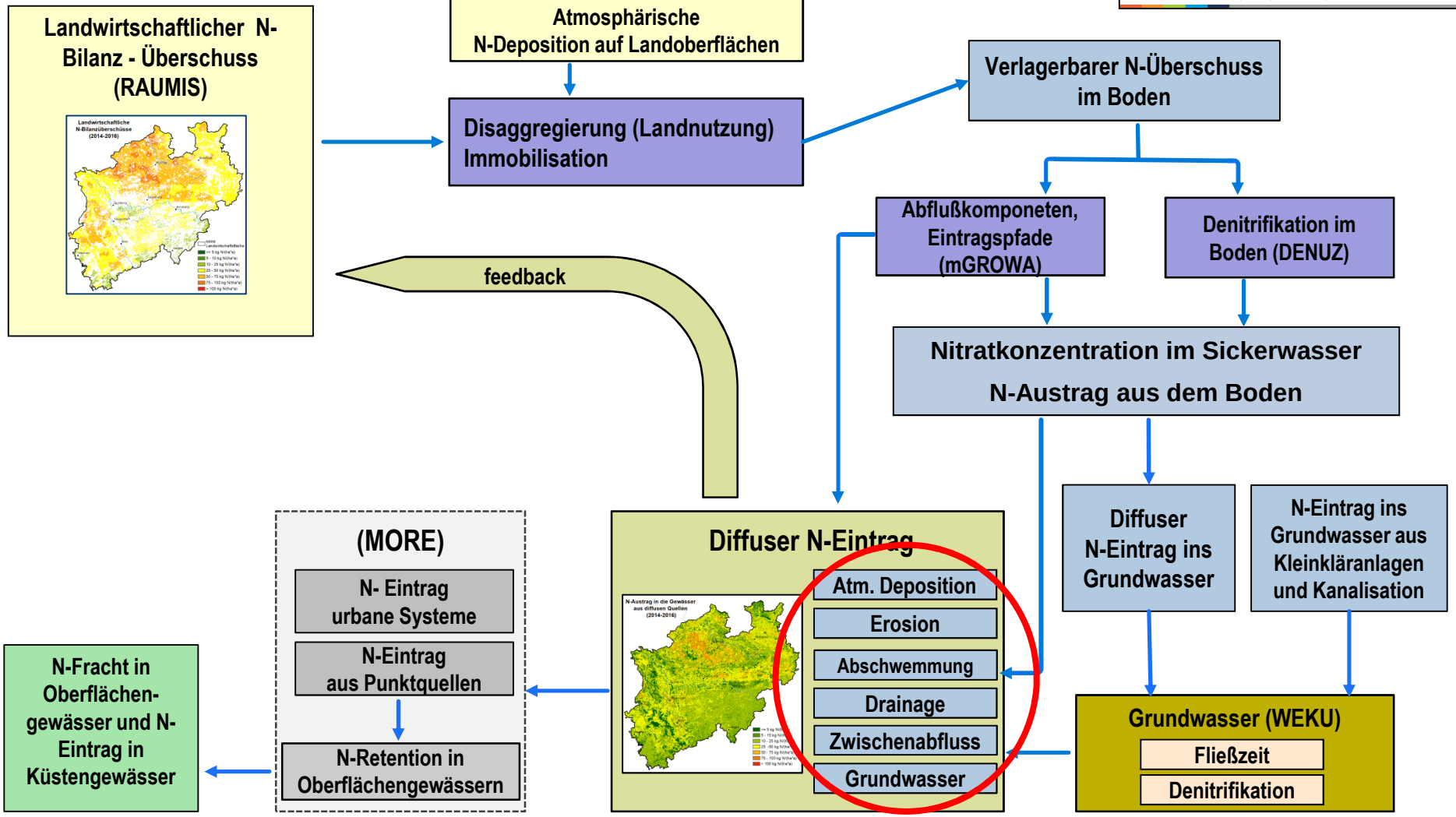
- In der gesamten Festgesteinsregionen bleibt der Nitrateintrag in (fast) voller Höhe erhalten.

DIFFUSE N-EINTRÄGE IN DIE VORFLUTER

ÜBER ALLE EINTRAGSPFADE

GROWA+NRW2021:

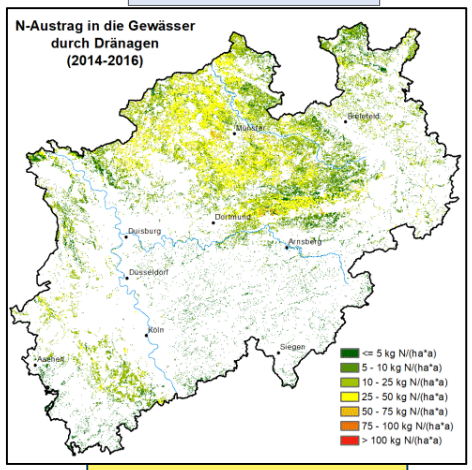
MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU-MORE



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

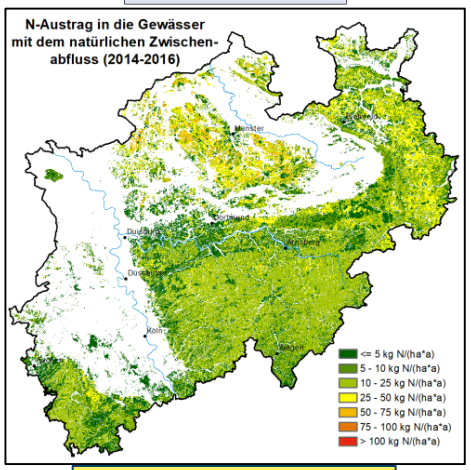
ZUSAMMENFASSUNG ALLER DIFFUSEN N-EINTRÄGE IN DIE OBERFLÄCHENGEWÄSSER

Dränagen



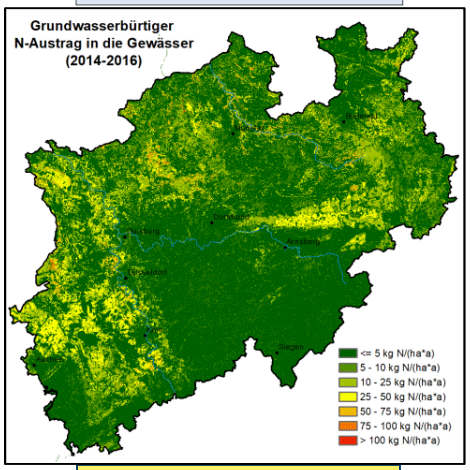
Ca. 11.400 t N /a

Interflow



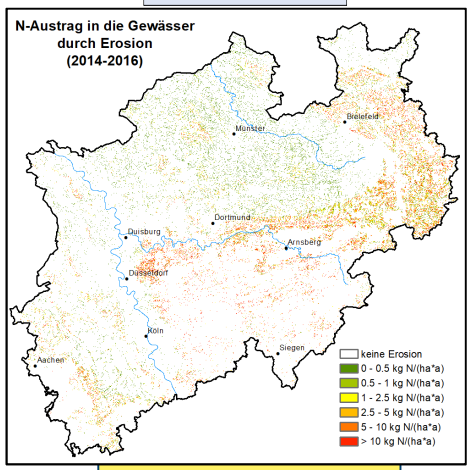
Ca. 28.400 t N /a

Grundwasser



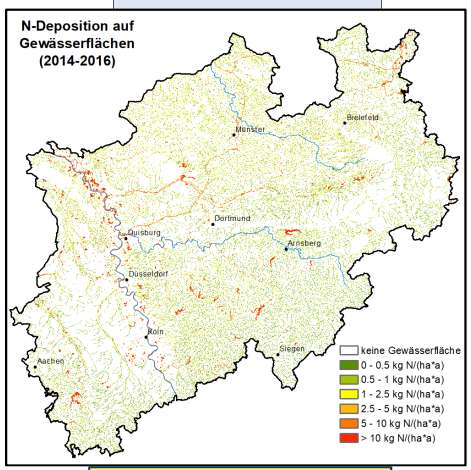
Ca. 30.000 t N /a

Erosion



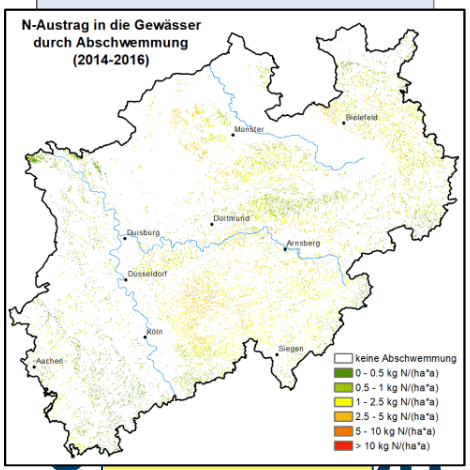
Ca. 1.300 t N /a

Deposition



Ca. 1.250 t N /a

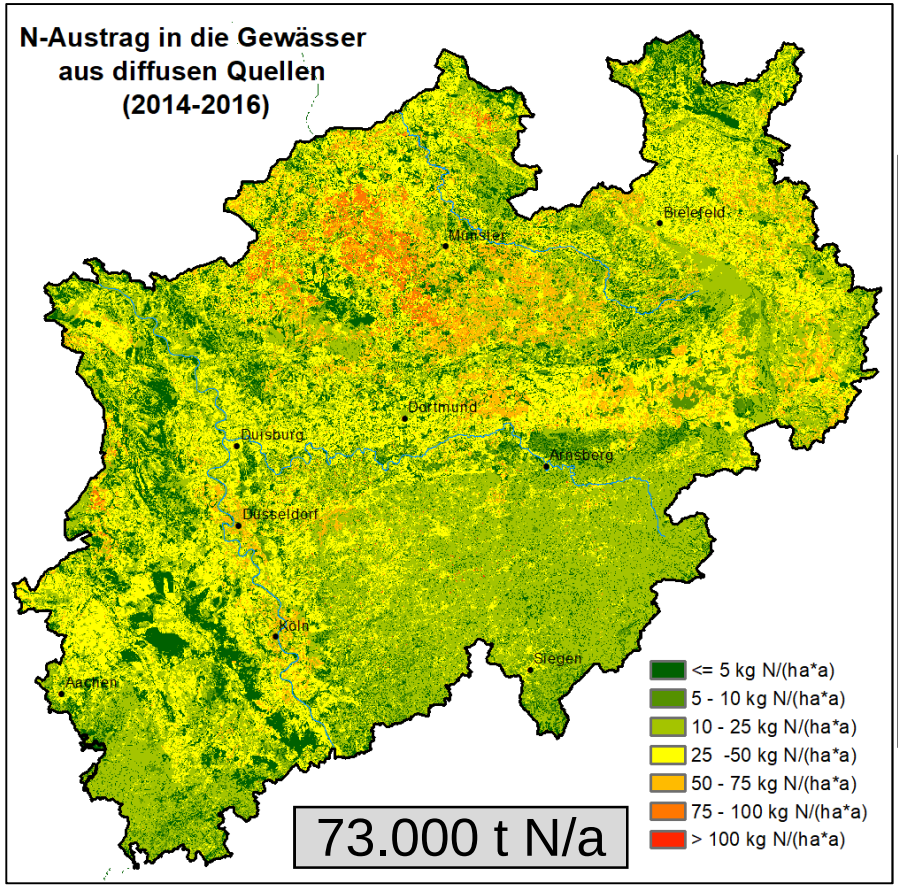
Abschwemmung

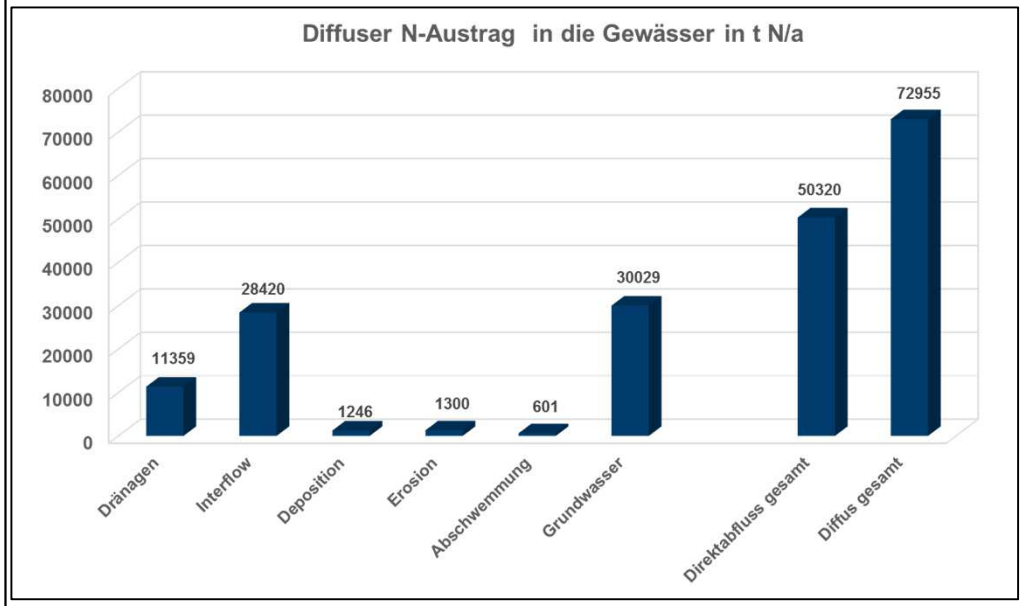


Ca. 600 t N /a

Mitgl einschaft
trum

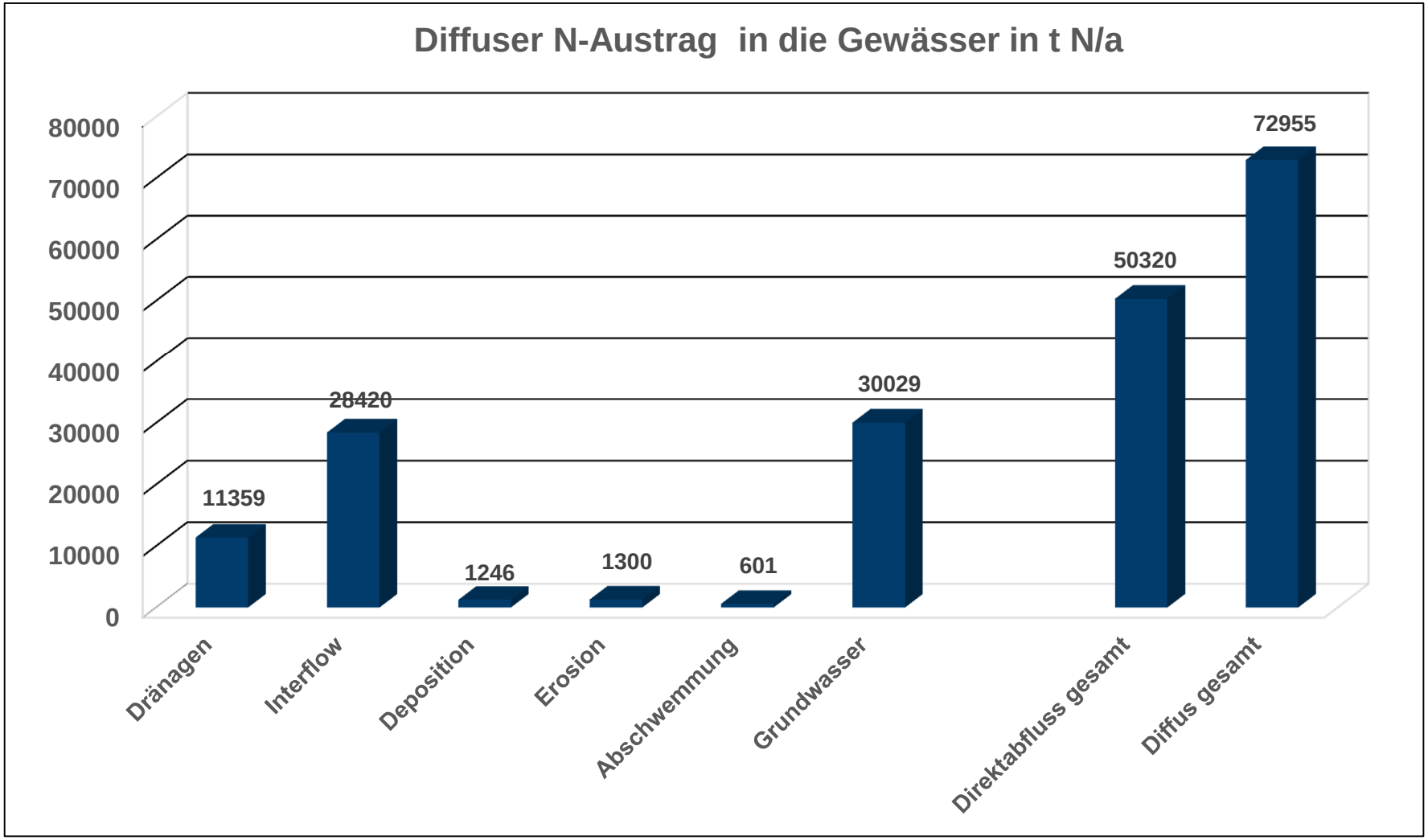
N-AUSTRAG IN DIE GEWÄSSER AUS DIFFUSEN QUELLEN





- < 5 kg N/(ha a) bis > 75 kg N/(ha a)
- Hot-spot-Regionen des diffusen N-Austrags in die Oberflächengewässer ergeben sich aus der Aufsummierung der N-Einträge über die Einzelpfade

DIFFUSER N-AUSTRAG IN DIE GEWÄSSER NACH EINTRAGSPFADEN



- Ca. 70% des N-Austrags in die Oberflächengewässer erfolgen über die Komponenten des Direktabflusses (Dränagen und vor allem Zwischenabfluss)

ZUSAMMENFASSUNG

- Ist-Zustandsmodellierung der diffusen N-Einträge in die Vorfluter über die diffusen Eintragspfade:
  - *Dränage*
  - *Zwischenabfluss*
  - *Erosion*
  - *Abschwemmung*
  - *Deposition auf Gewässerflächen*
  - *Grundwasser*
- Gesamteintrag in die Oberflächengewässer: ca. 73.000 t/a
- Ca. 70% des N-Austrags in die Oberflächengewässer erfolgen über die Komponenten des Direktabflusses

➢ ***Summe aller im 100m x 100m – Raster berechneter diffuser N-Einträge in Vorfluter werden auf OWK-Ebene aggregiert und ans LANUV zur Ankopplung ans MoRe-Modell übergeben***

Question