



# N-Einträge und N-Modellierung im Wesereinzugsgebiet

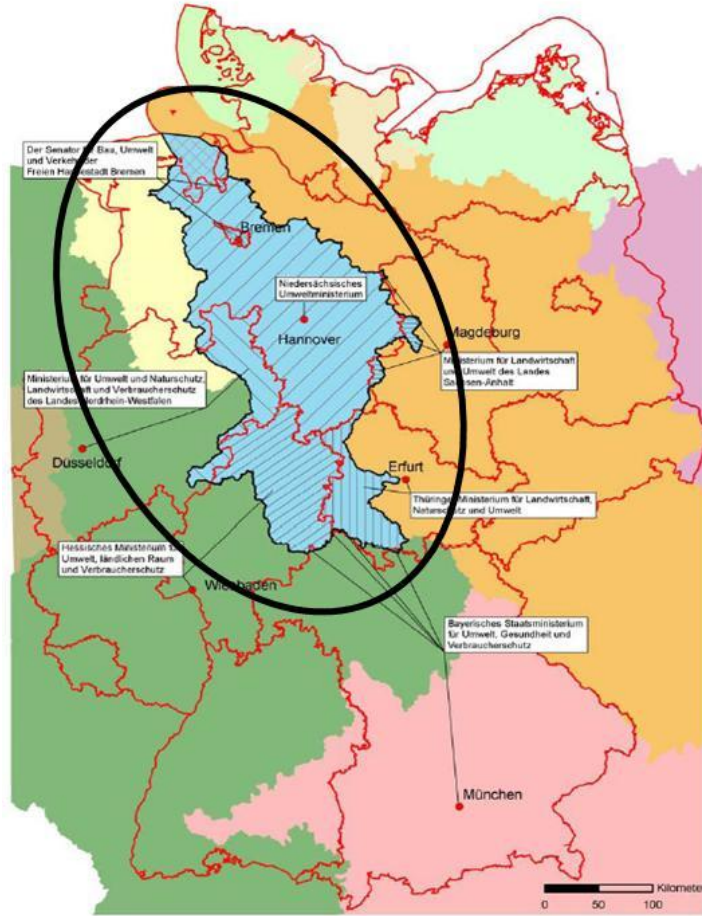
R. Kunkel<sup>1</sup>, P. Kreins<sup>2</sup>, P. Kuhr<sup>1</sup>, B. Tetzlaff<sup>1</sup> und F. Wendland<sup>1</sup>

1. Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Bio- und Geowissenschaften;  
Agrosphäre (IBG-3), 52425 Jülich,  
E-mail: r.kunkel@fz-juelich.de
2. Johann Heinrich von Thünen-Institut, institut für ländliche Räume, Bundesallee 50,  
38116 Braunschweig

1. Wiebadener Grundwassertag, 2014-09-24, Wiesbaden

# Das AGRUM+ Vorhaben

- Anwendung des AGRUM-Modellverbundes für das Einzugsgebiet der Weser (49 000 km<sup>2</sup>)
  - Regionalisiertes Agrar- und UmweltInformationSystems **RAUMIS** (TI)
  - Wasserhaushaltsmodell **GROWA** und der Stickstofftransportmodelle **DENUZ** und **WEKU** (FZJ)
  - pfad- und flächendifferenziertes Phosphormodell **ME-Phos** (FZJ)
  - **MONERIS**-Modell (Modelling Nutrient Emissions in River Systems) (IGB)
- Ist-Zustandsanalysen für Stickstoff und Phosphor (Bilanzüberschüsse, Einträge in das Grundwasser und die Oberflächengewässer)
- Ermittlung des Baseline-Szenarios 2021 und Prognose der Auswirkungen auf Stickstoff- und Phosphorbelastung (Bilanzüberschüsse, Einträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer)
- Ermittlung eines Maßnahmen szenarios zur Erreichung von Qualitätszielen für Grund- und Oberflächengewässer



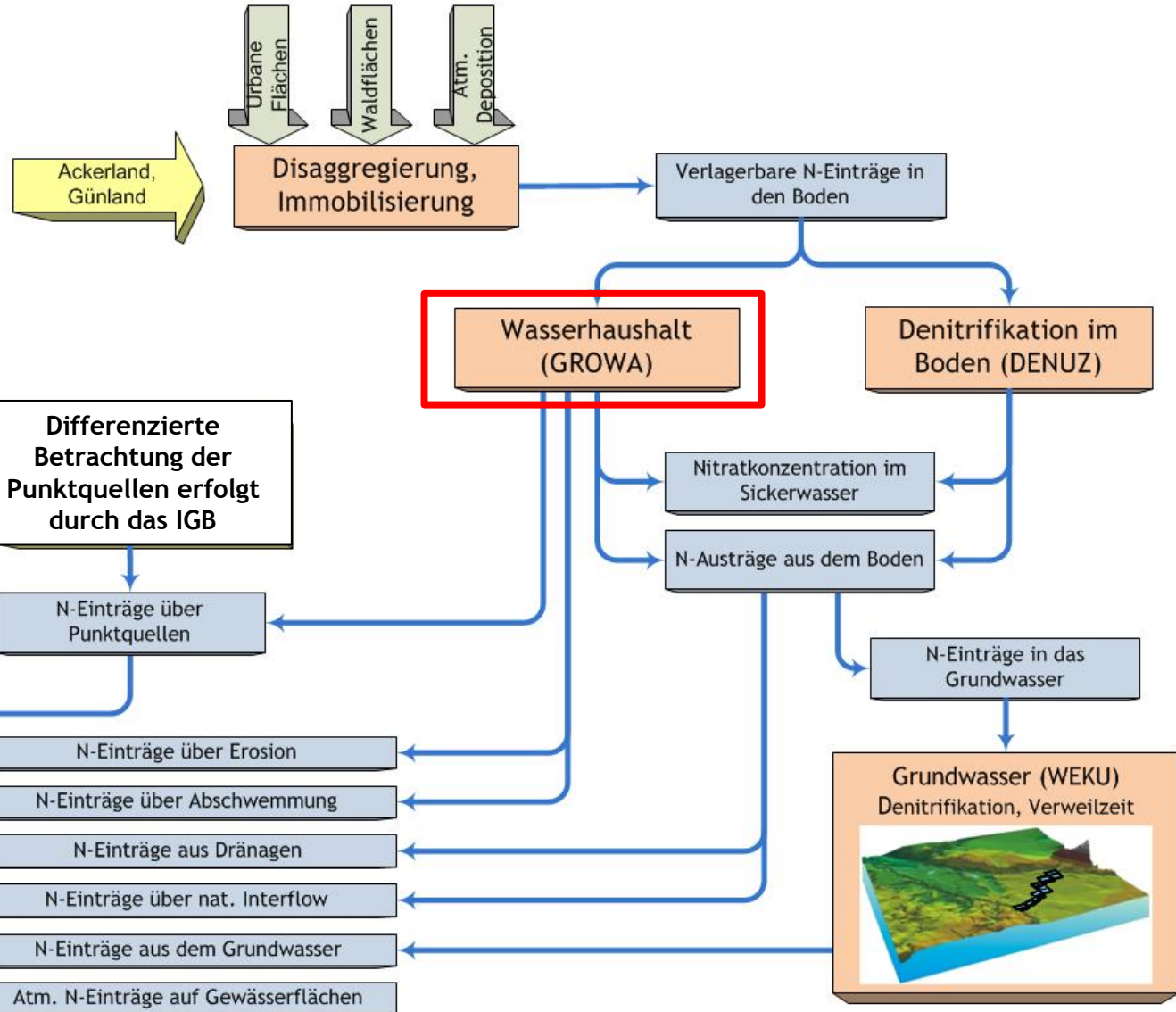
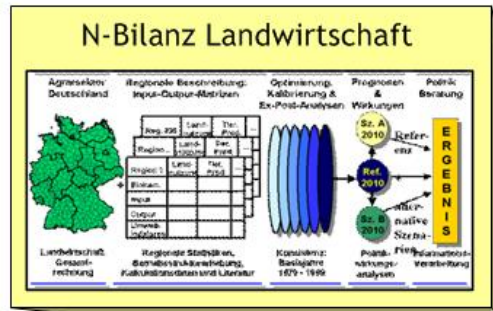
# Gliederung des Vortrags

- Ist-Zustandsanalyse der N-Einträge in das Grundwasser und die Oberflächengewässer mit Fokus auf die diffusen N-Eintragspfade
  - Modellergebnisse RAUMIS
  - Modellergebnisse GROWA
  - Modellergebnisse DENUZ-WEKU
- Szenarioanalysen:
  - Baseline-Szenario 2021
  - Auswirkung des Baseline-Szenarios auf die N-Einträge in das Grundwasser und die Oberflächengewässer
  - Handlungsbedarf zur Erreichung von Grundwasserschutzzielen

Einschätzung der Zielerreichung der Grundwasserkörper aufgrund der Belastung durch diffuse Quellen

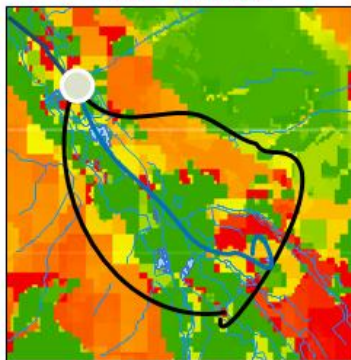


# Stickstoff – Modellanalysen mit GROWA – DENUZ – WEKU

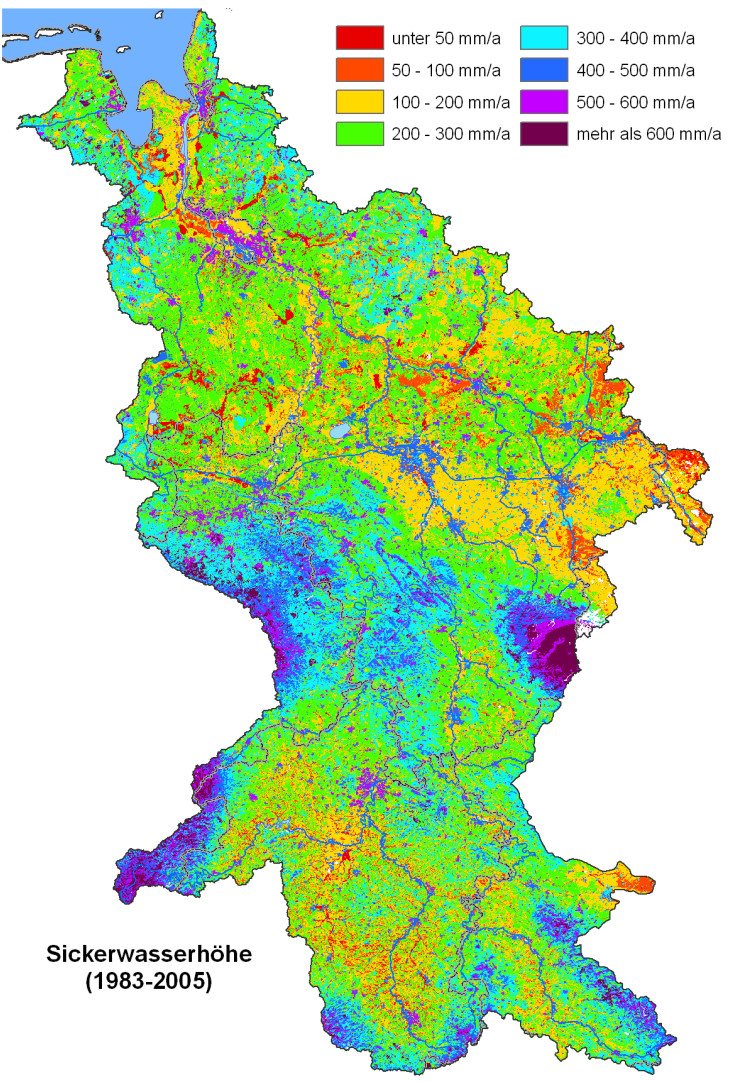
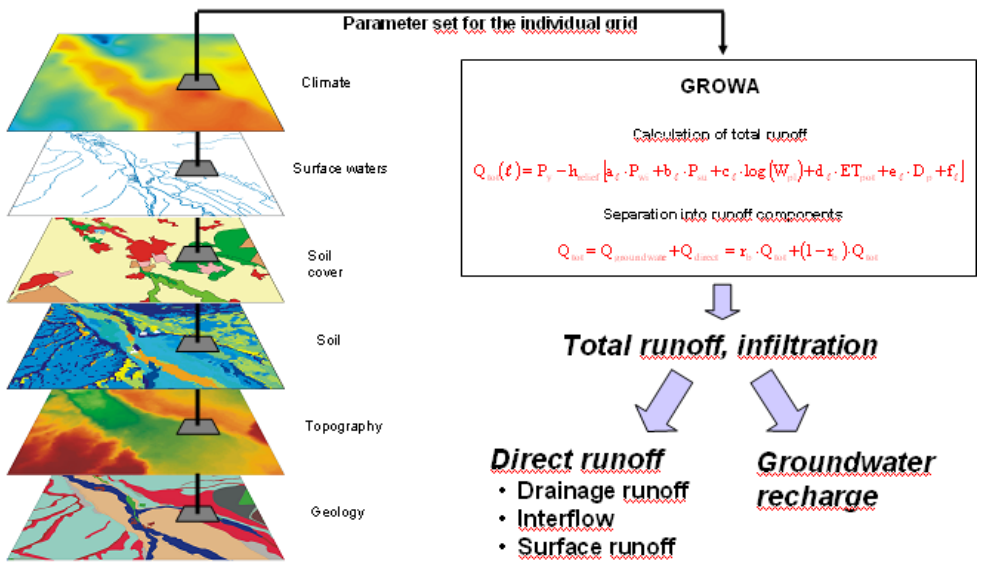


Maßnahmenplanung

Sensible Flächen für N-Einträge

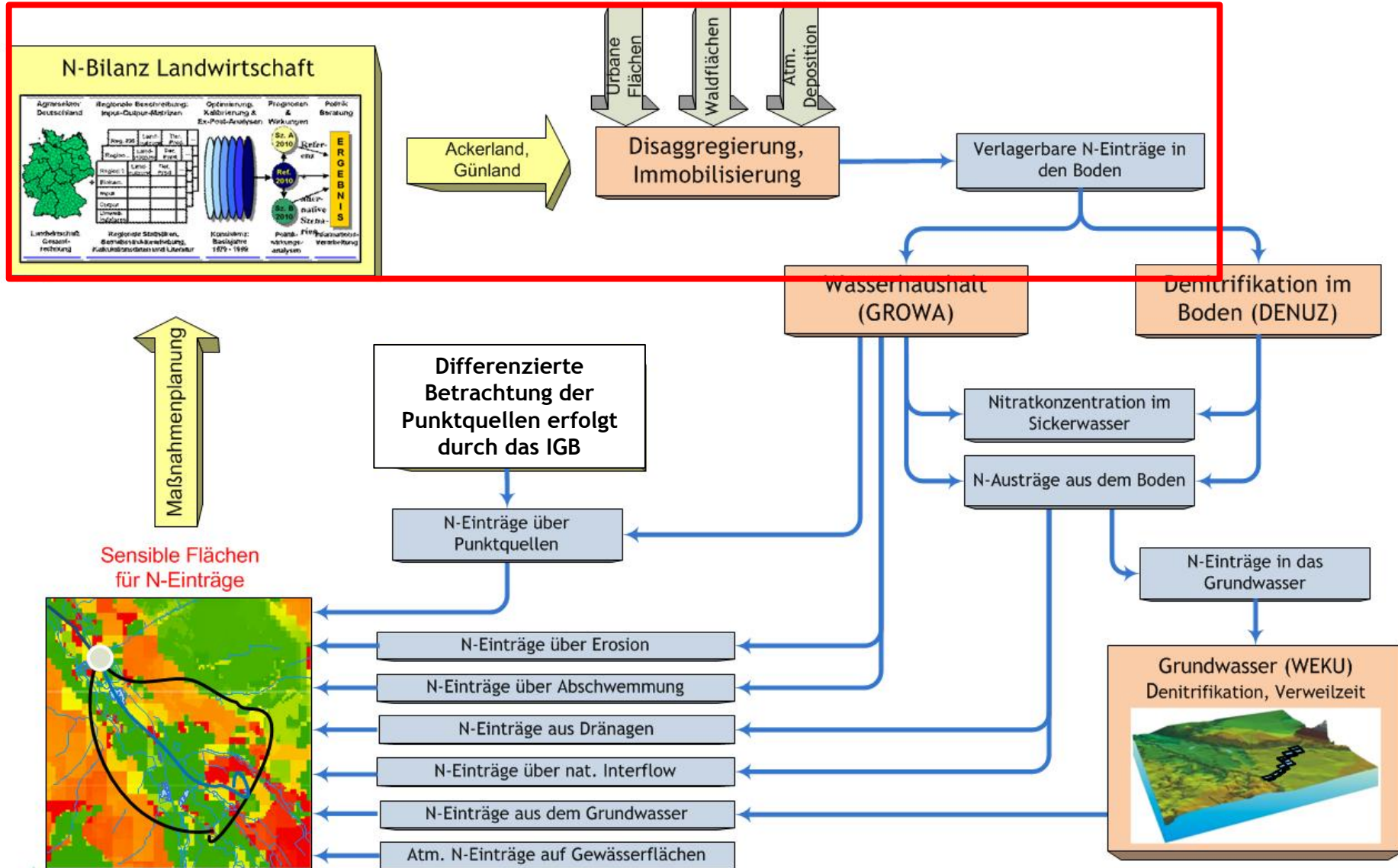


# Wasserhaushaltsmodellierung mit GROWA

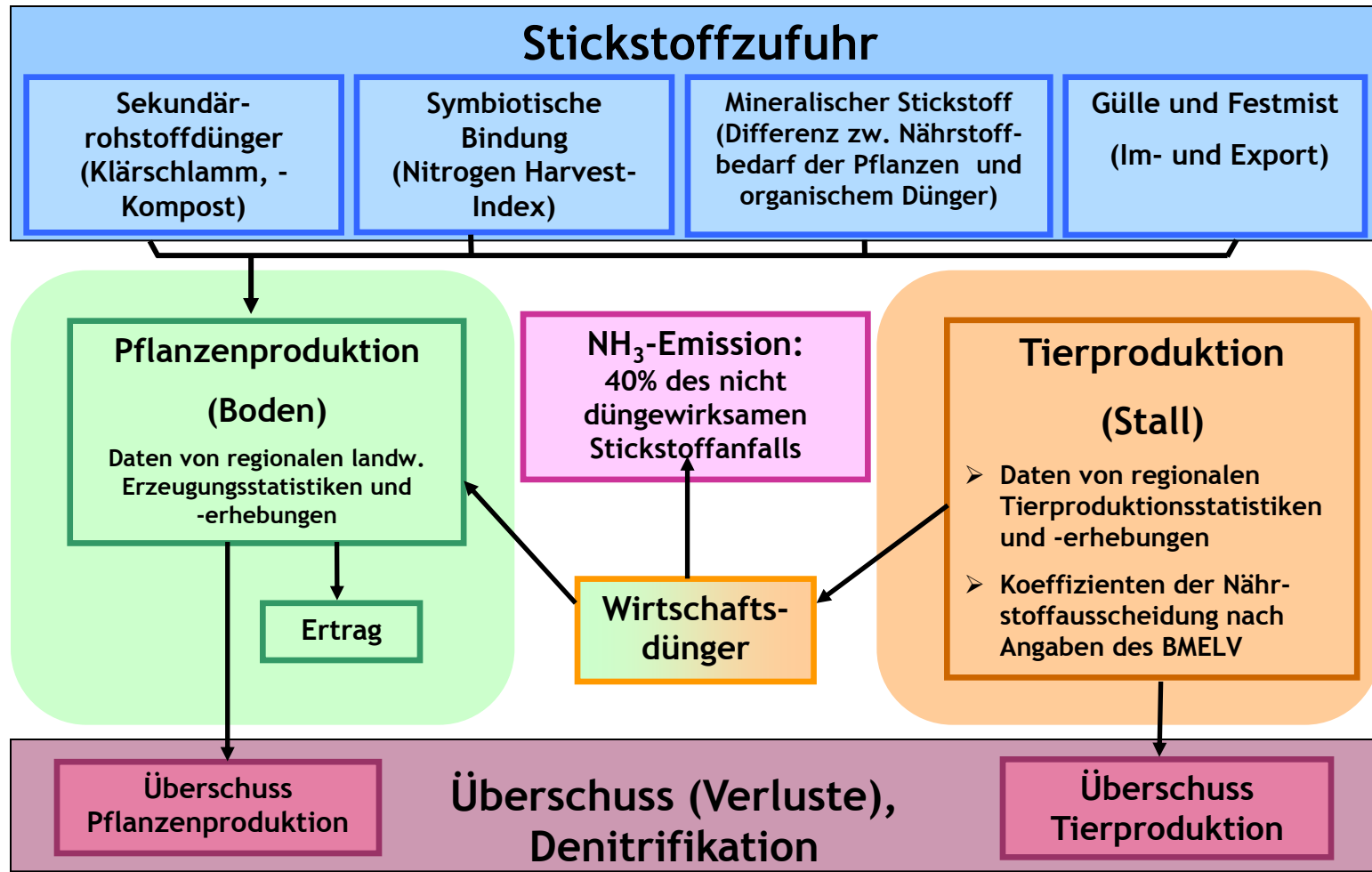


- Empirisches Verfahren zur Berechnung von Verdunstung, Gesamt-, Oberflächen-, Zwischen- und Dränabfluss sowie Grundwasserneubildung
- Anwendungsbereich: Meso- bis Makroskala
- Zeitliche Diskretisierung:  $\geq 1$  Jahr
- Räumliche Diskretisierung: Raster beliebiger Größe

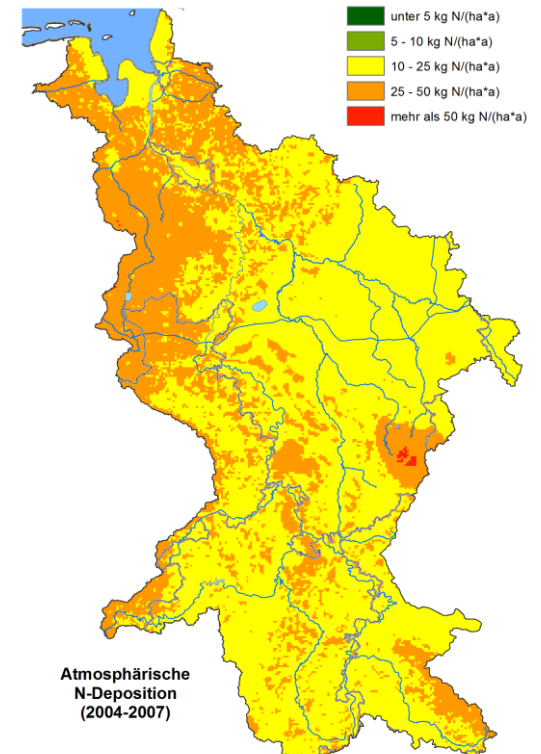
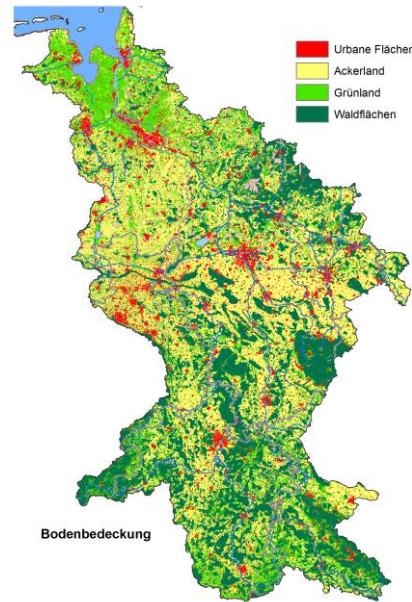
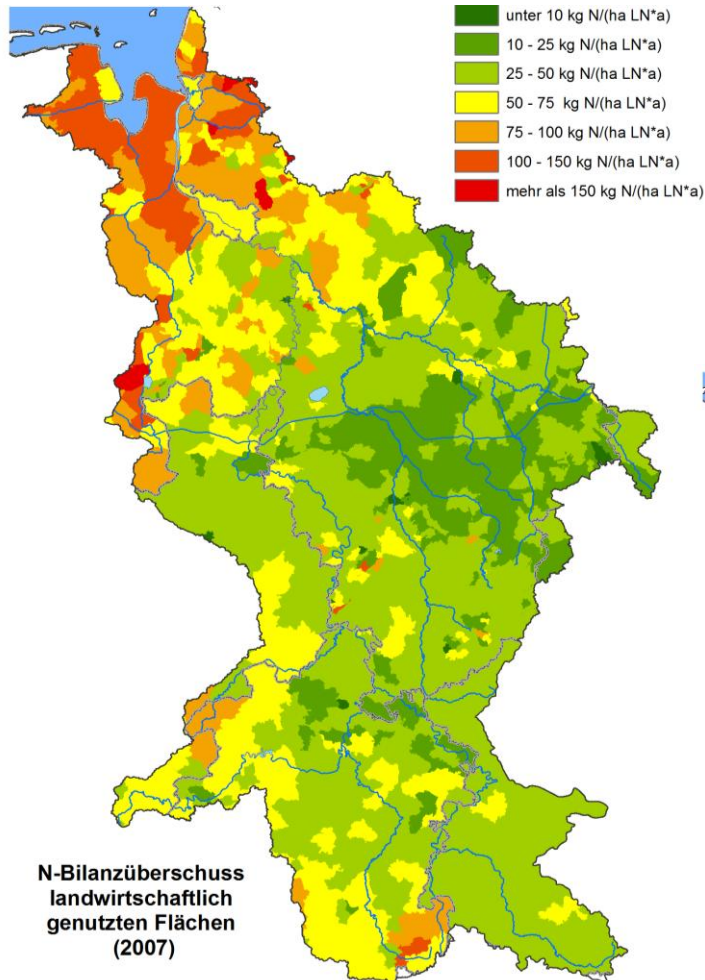
# Stickstoff – Modellanalysen mit GROWA – DENUZ – WEKU



# Systematik der Nährstoffbilanzierung mit RAUMIS



# N-Bilanzüberschüsse und atmosphärische Deposition

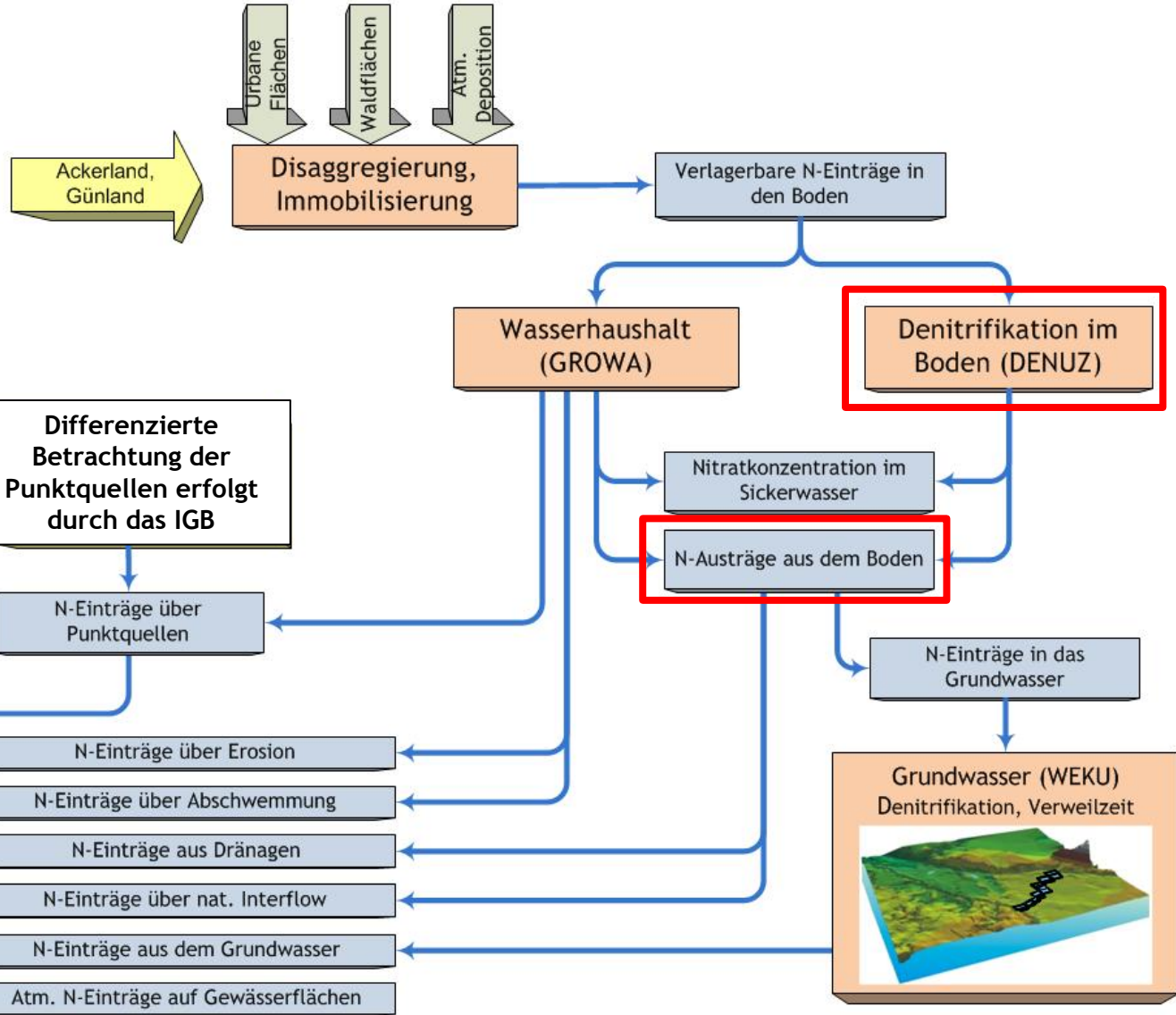
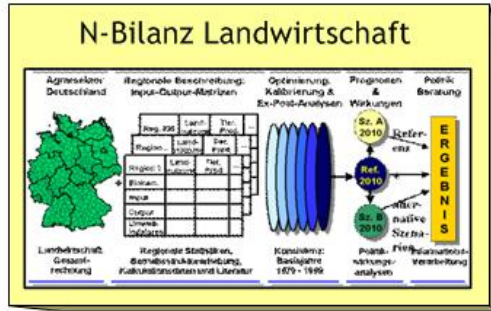


N-Bilanzüberschüsse auf Gemeindeebene werden auf die Landwirtschaftsflächen (Ackerland und Grünland) verteilt

Atmosphärische N-Deposition wird für alle Flächen berücksichtigt



# Stickstoff – Modellanalysen mit GROWA – DENUZ – WEKU



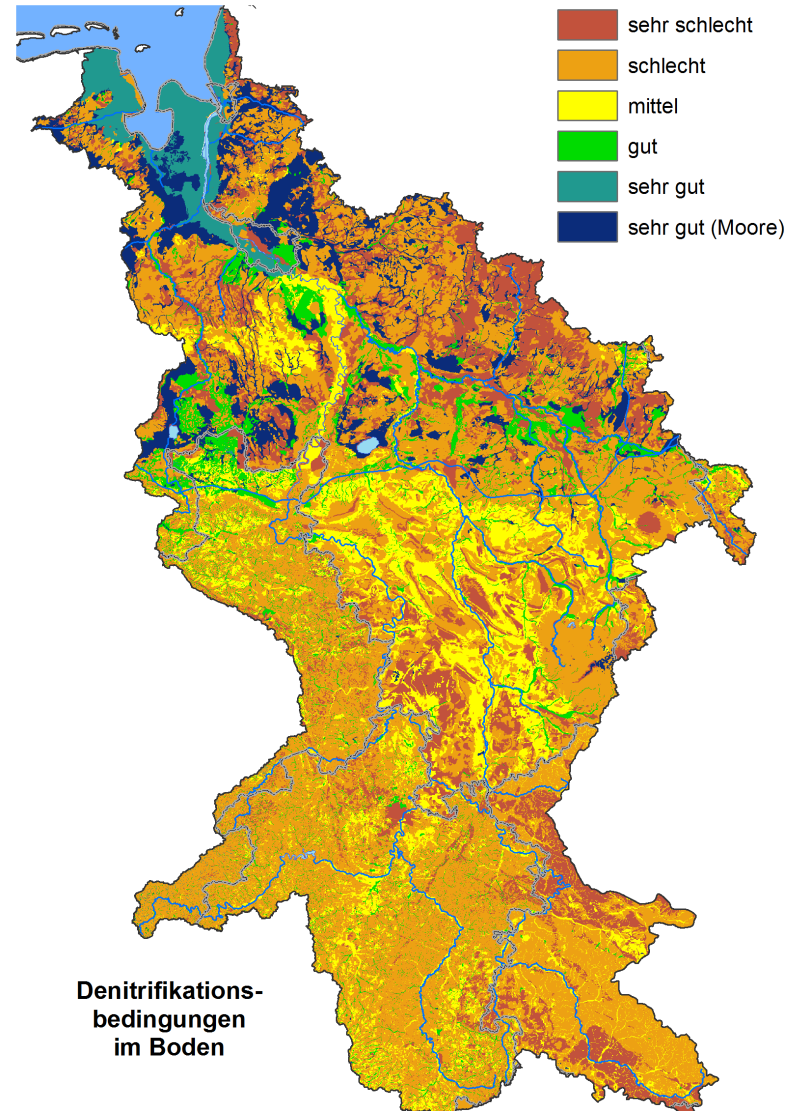
# Modellierung der Denitrifikation im Boden

(DENUZ – Modell, Kunkel & Wendland, 2004)

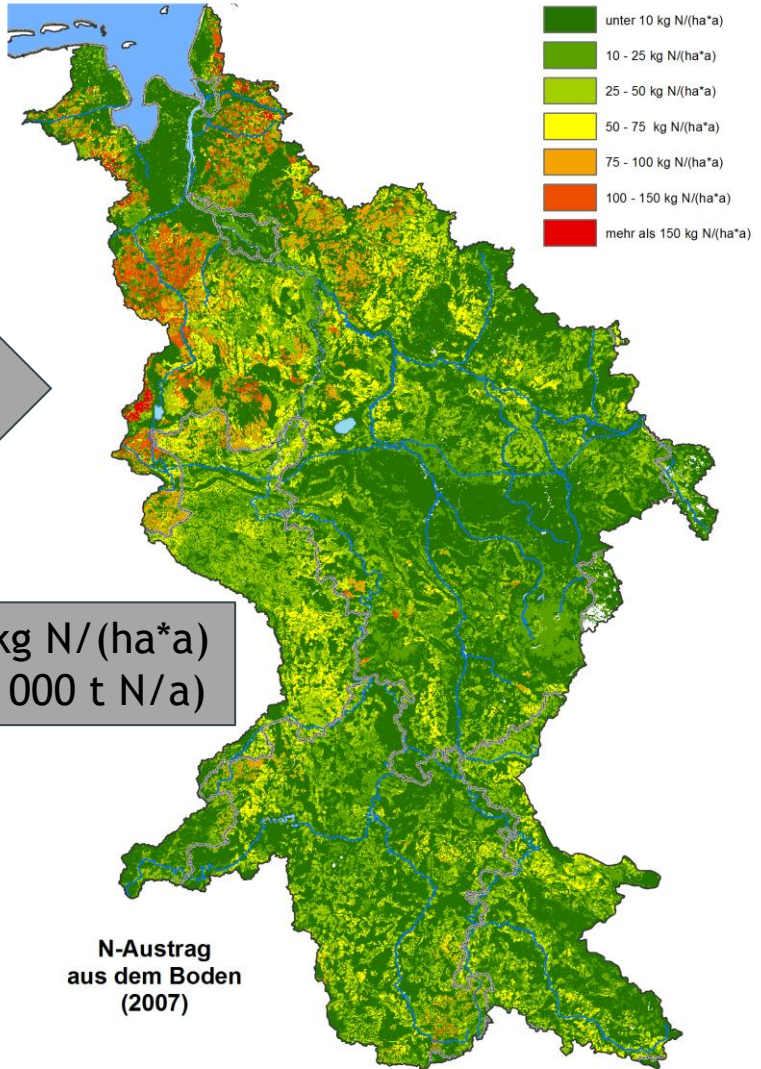
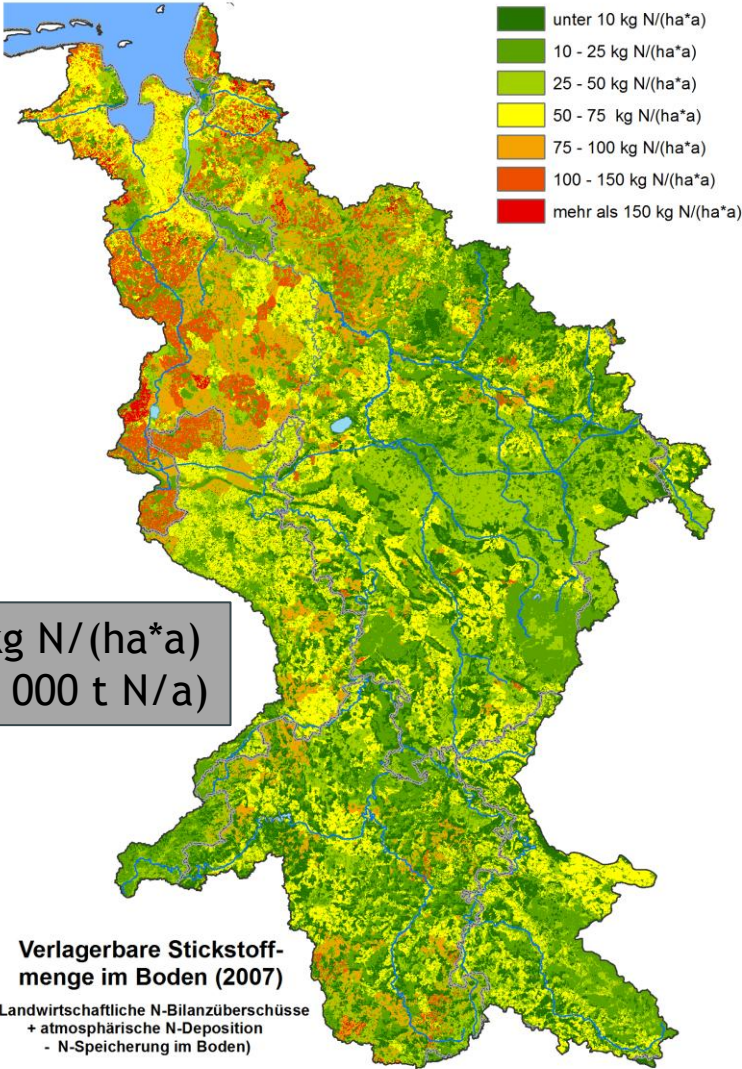
- Zielgröße: N-Austräge aus der Wurzelzone
- N-Immobilisierung im Boden wird über landnutzungsabhängige Faktoren berücksichtigt
- Michaelis-Menten Kinetik:

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

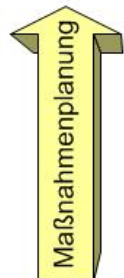
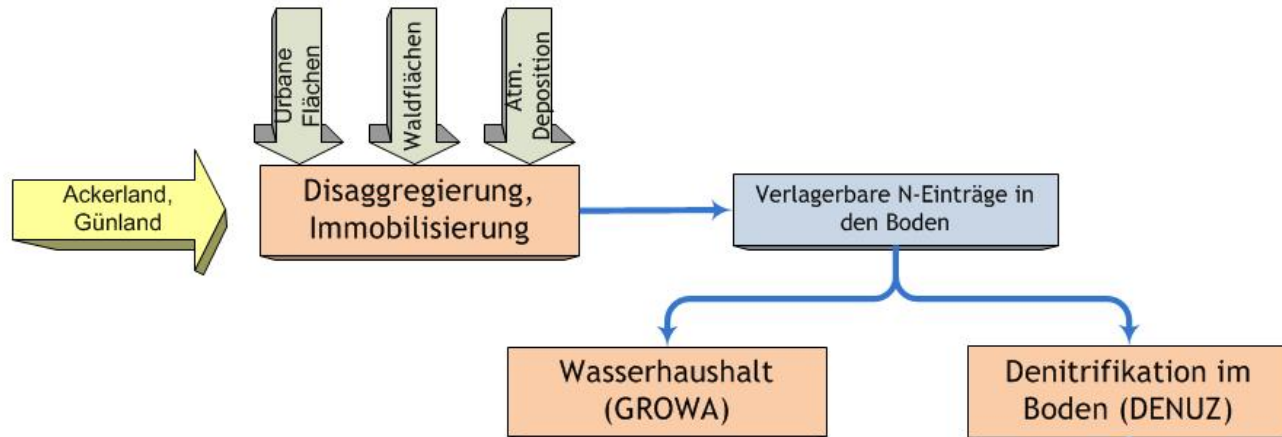
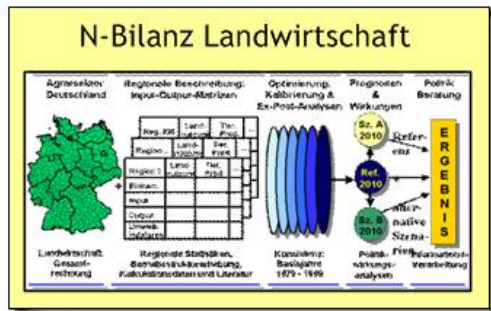
- Abhängigkeiten:
  - N-Überschuss  $N(t_0)$
  - Maximale Denitrifikationsleistung eines Bodens im Jahr ( $D_{\max}$ ,  $k$ )
  - Verweilzeit des Sickerwassers im Boden ( $t$ )



# Einfluss der Denitrifikation im Boden



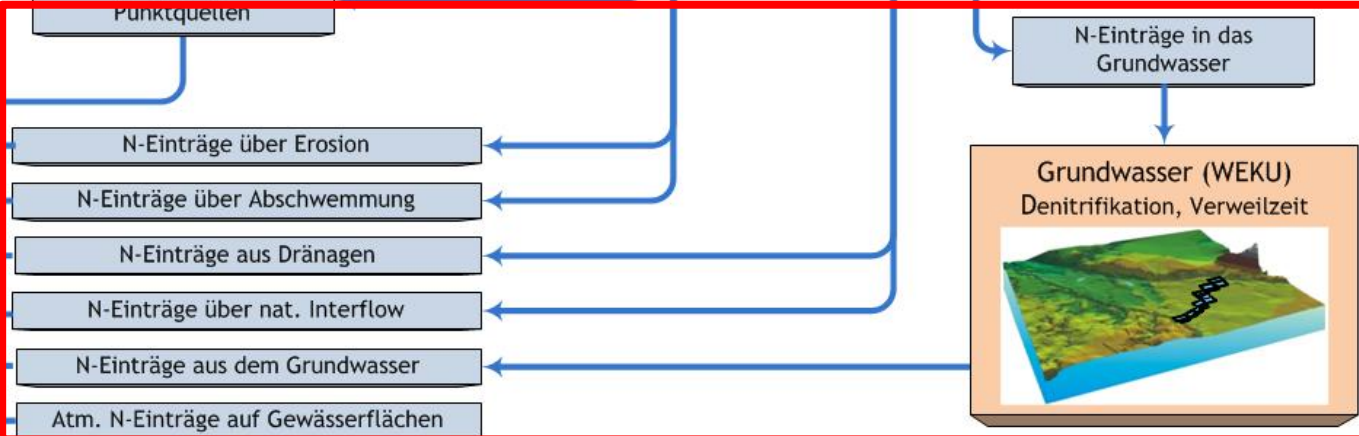
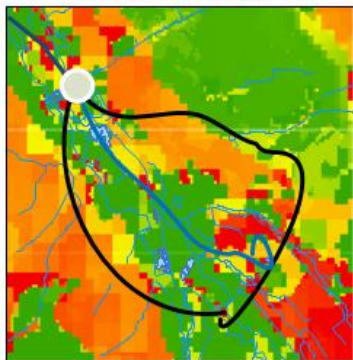
# Stickstoff – Modellanalysen mit GROWA – DENUZ – WEKU



Differenzierte Betrachtung der Punktquellen erfolgt durch das IGB

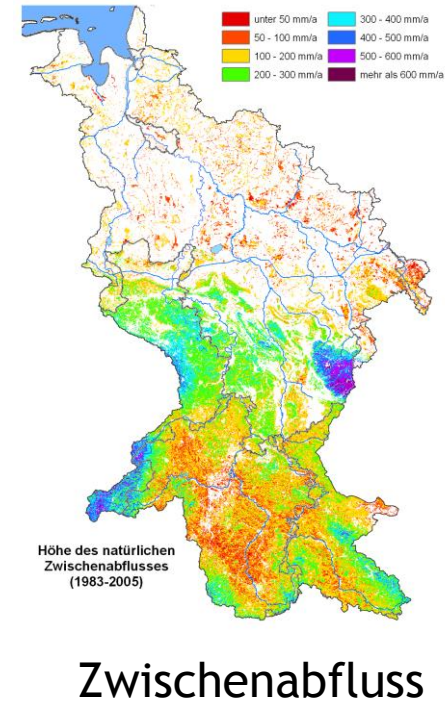
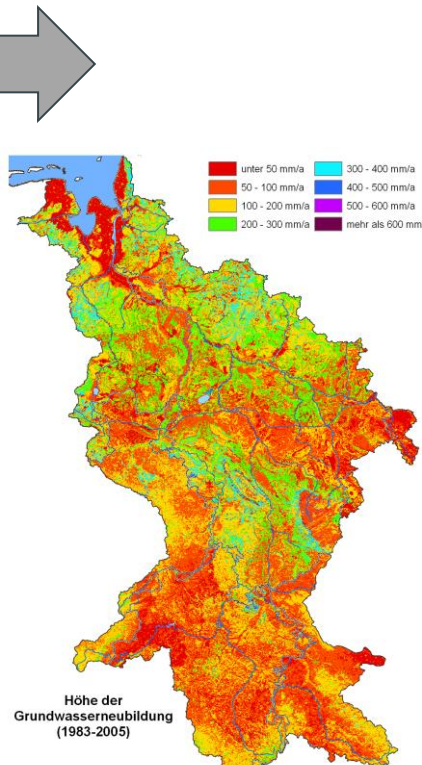
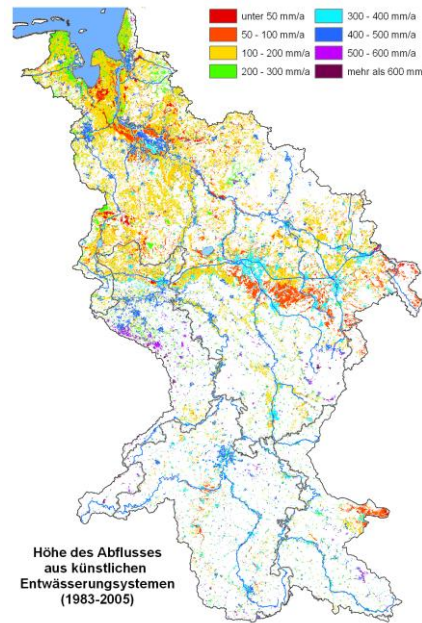
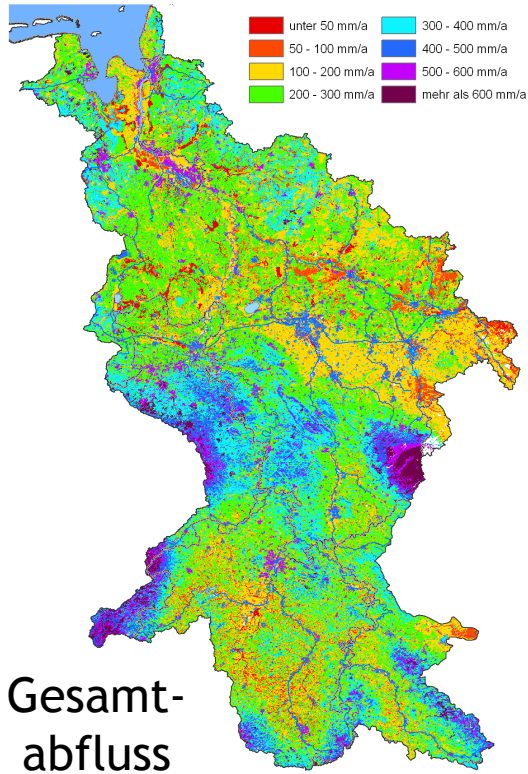
N-Einträge über Punktquellen

Sensible Flächen für N-Einträge



# Separation der Abflusskomponenten

## Dränagen



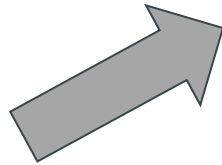
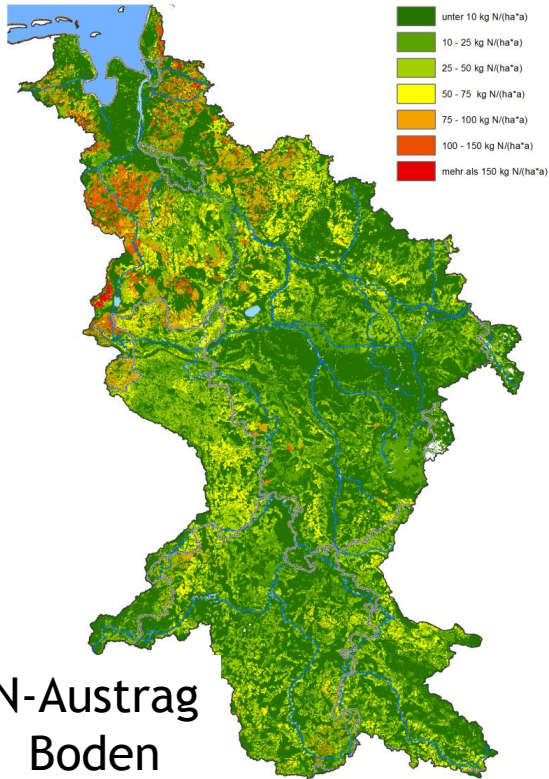
Nitrat wird mit den Abflusskomponenten zu den Gewässern transportiert

Die Fracht für einen Transportpfad ergibt sich aus den N-Austrägen aus dem Boden und der Rate der jeweiligen Abflusskomponente

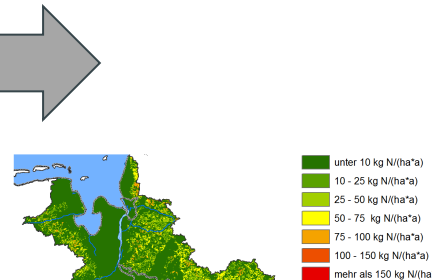
# Pfadbezogene N-Austräge



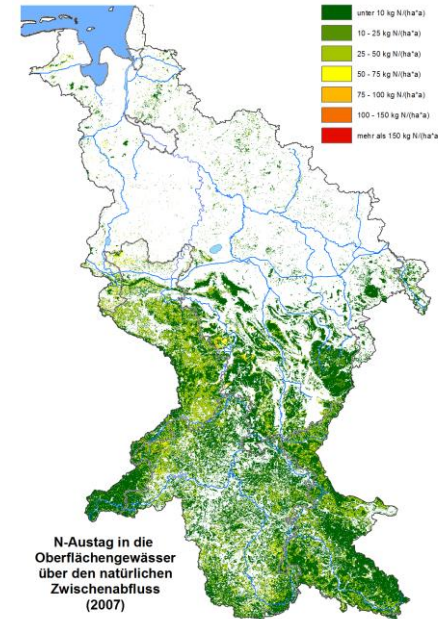
## N-Austrag durch Dränagen



N-Austrag in die  
Oberflächengewässer  
über künstliche  
Entwässerungssysteme  
(2007)



N-Eintrag  
in das Grundwasser  
(2007)



N-Austrag in die  
Oberflächengewässer  
über den natürlichen  
Zwischenabfluss  
(2007)

## N-Austrag mit Zwischenabfluss

## N-Austrag Boden

## N-Eintrag in das Grundwasser

ähre (IBG-3)

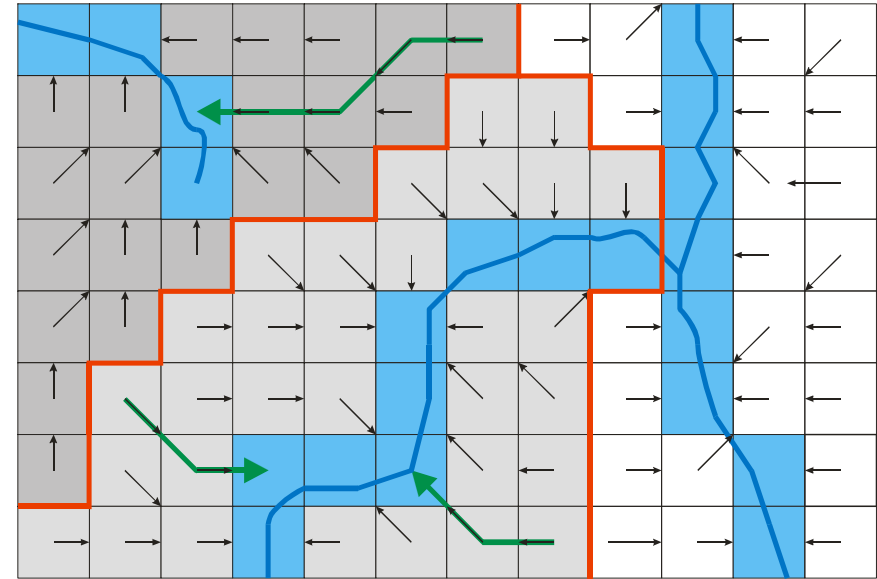
Modellierung des Einflusses der  
Denitrifikation im Grundwasser auf die  
grundwasserbürtigen N-Einträge in die  
Gewässer mit WEKU

# Modellierung des reaktiven Stickstoff- transports im Aquifer mit WEKU

- 2D-Modellierung der Abstandgeschwindigkeiten und Verweilzeiten im Grundwasser auf Basis des Darcy'schen Gesetzes
- Modellierung der Denitrifikation im Aquifer durch

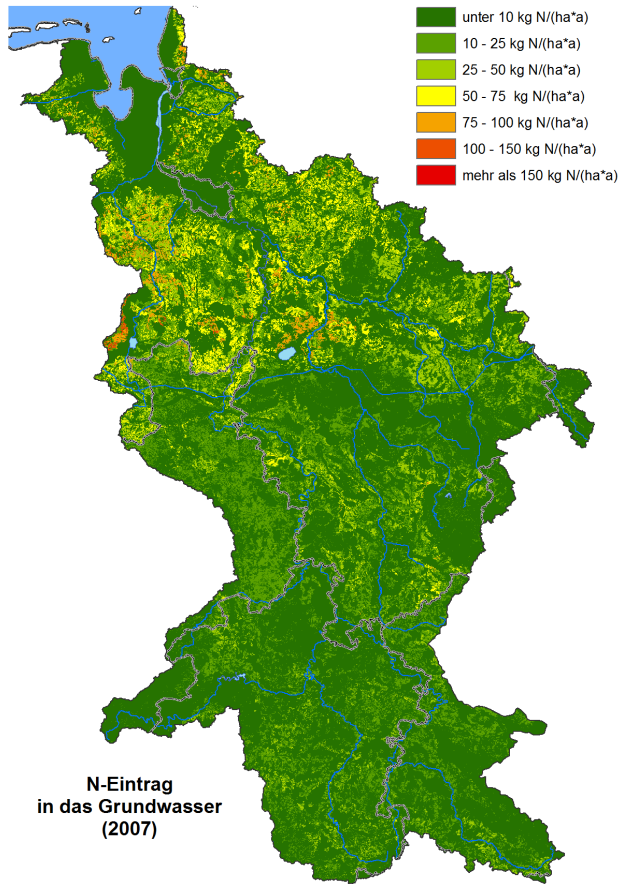
$$N(t) = N_0 \times e^{-kt}$$

- $N(t)$ : N-Austrag in das Gewässer nach Verweilzeit  $t$
- $N_0$ : N-Eintrag in das Grundwasser
- $t$ : Grundwasserverweilzeit
- $k$ : Abbaurate (Halbwertszeit: 1.4-3.5 a)

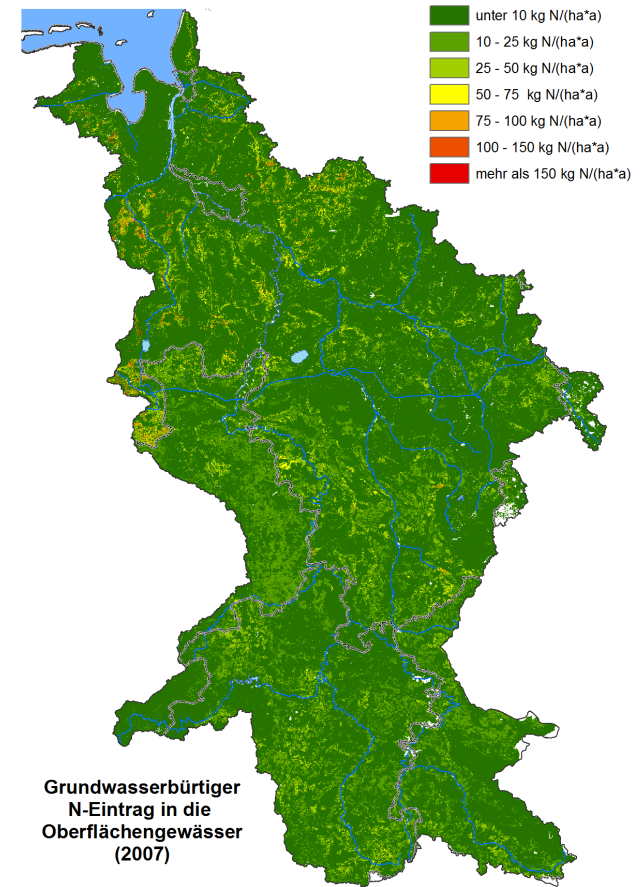
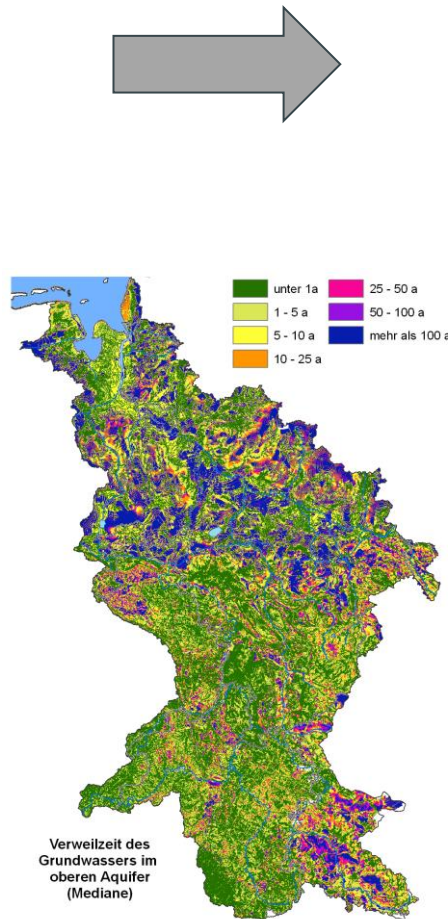


Parameter	Reduzierte Grundwässer	Oxidierter Grundwässer
Nitrat	< 1 mg NO <sub>3</sub> /l	Je nach Eintrag
Eisen (II)	> 0,2 mg/ Fe (II)/l	< 0,2 mg/ Fe (II)/l
Mangan (II)	> 0,05 mg Mn (II)/l	< 0,05 mg Mn (II)/l
Sauerstoff	< 2 mg O <sub>2</sub> /l	> 2 mg O <sub>2</sub> /l

# Ergebnisse der WEKU-Modellierung



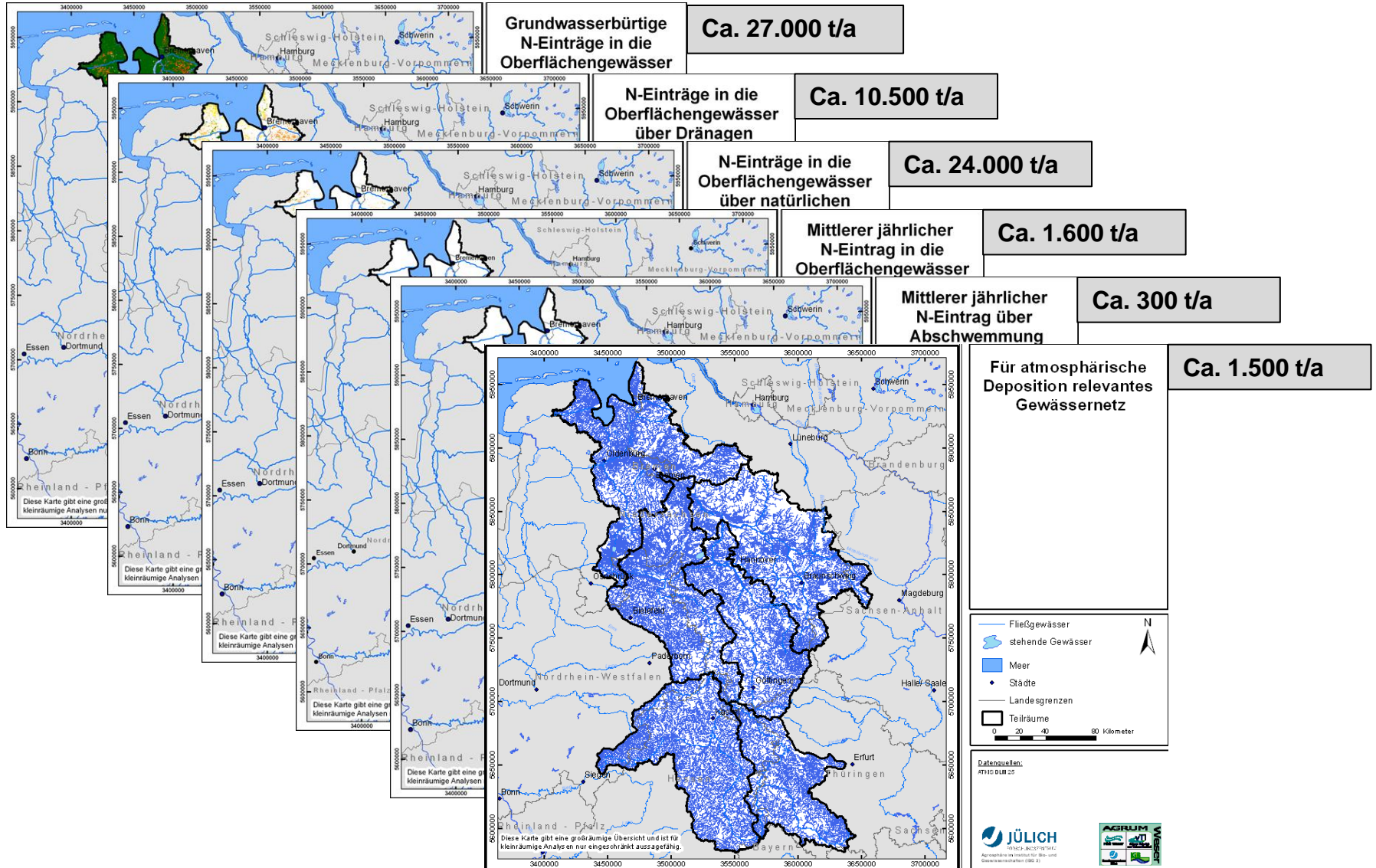
**N-Eintrag in das Grundwasser  
11.6 kg N/(ha\*a)  
(54 000 t N/a)**



**N-Austrag aus dem Grundwasser  
5.9 kg N/(ha\*a)  
(27 000 t N/a)**

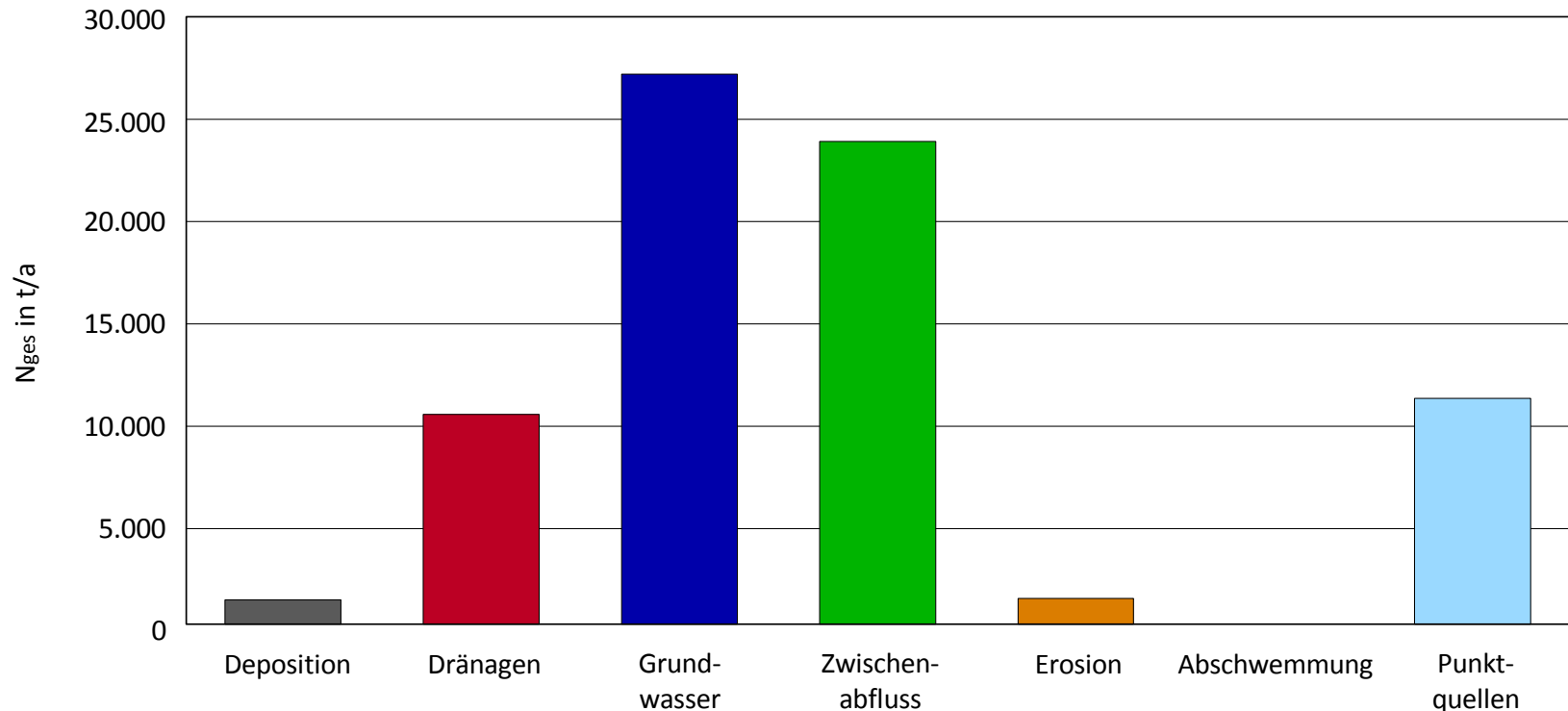


# Diffuse N-Einträge in die Vorfluter



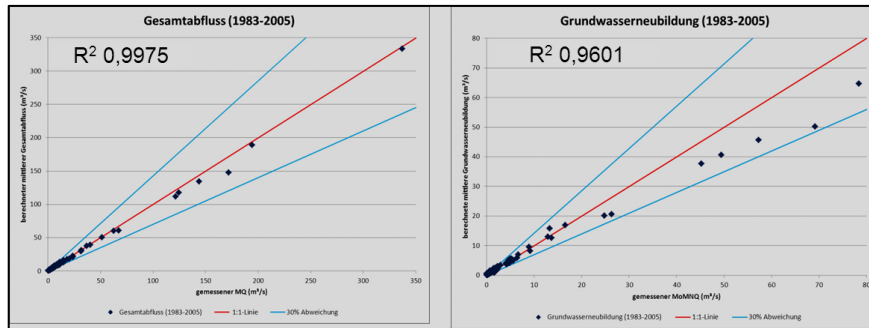
# Übersicht über die N-Einträge in die Oberflächengewässer des Wesereinzugsgebietes

Verhältnis diffus/punktförmig: ca. 9/1



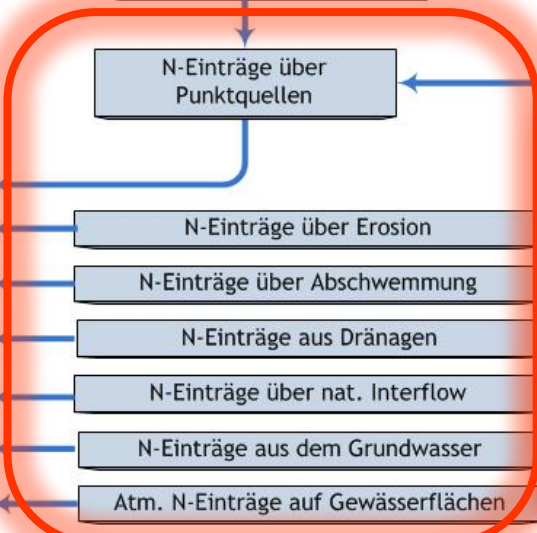
# Validierung der Modellergebnisse

## Beobachtete Abflüsse an 68 Messstellen

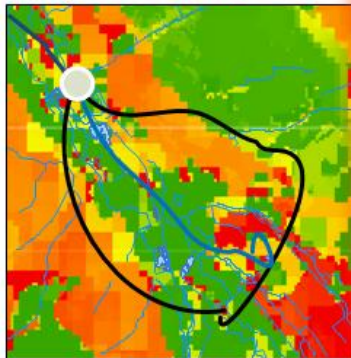


Maßnahmenplan

Differenzierte Betrachtung der Punktquellen erfolgt durch das IGB



Sensible Flächen für N-Einträge



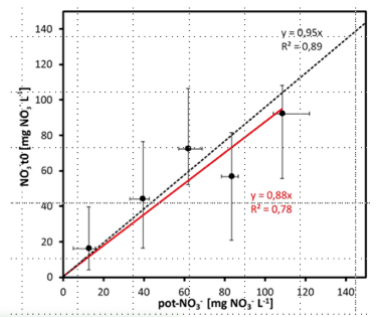
Atm. Deposition

erung, ierung

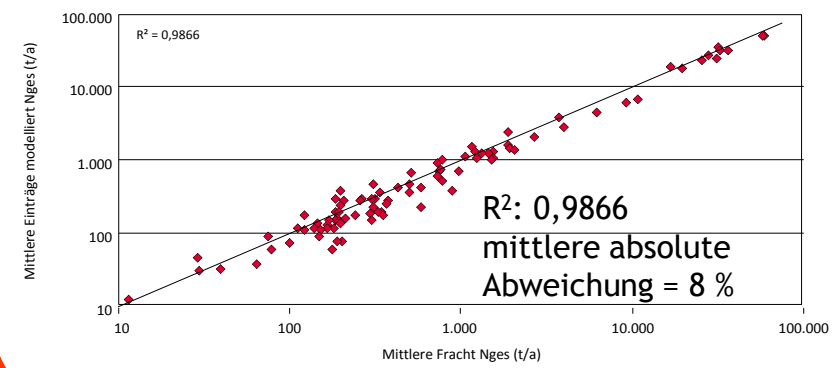
Wasserhaushalt (GROWA)

Nitratkonzentration im Sickerwasser  
N-Austräge aus dem Boden

## Beobachtete Sickerwasserkonzentrationen



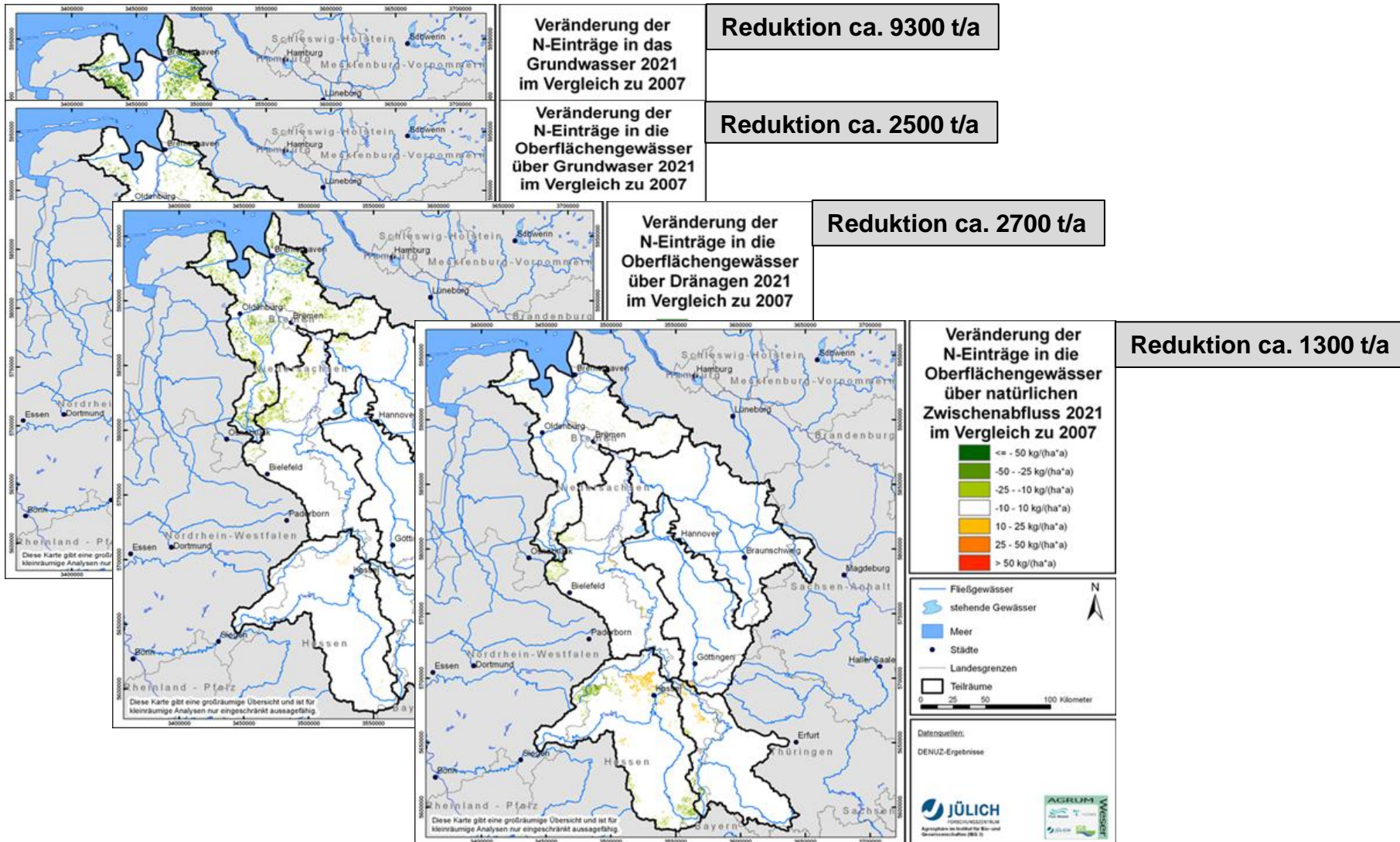
## Beobachtete N-Frachten an 103 Messstellen



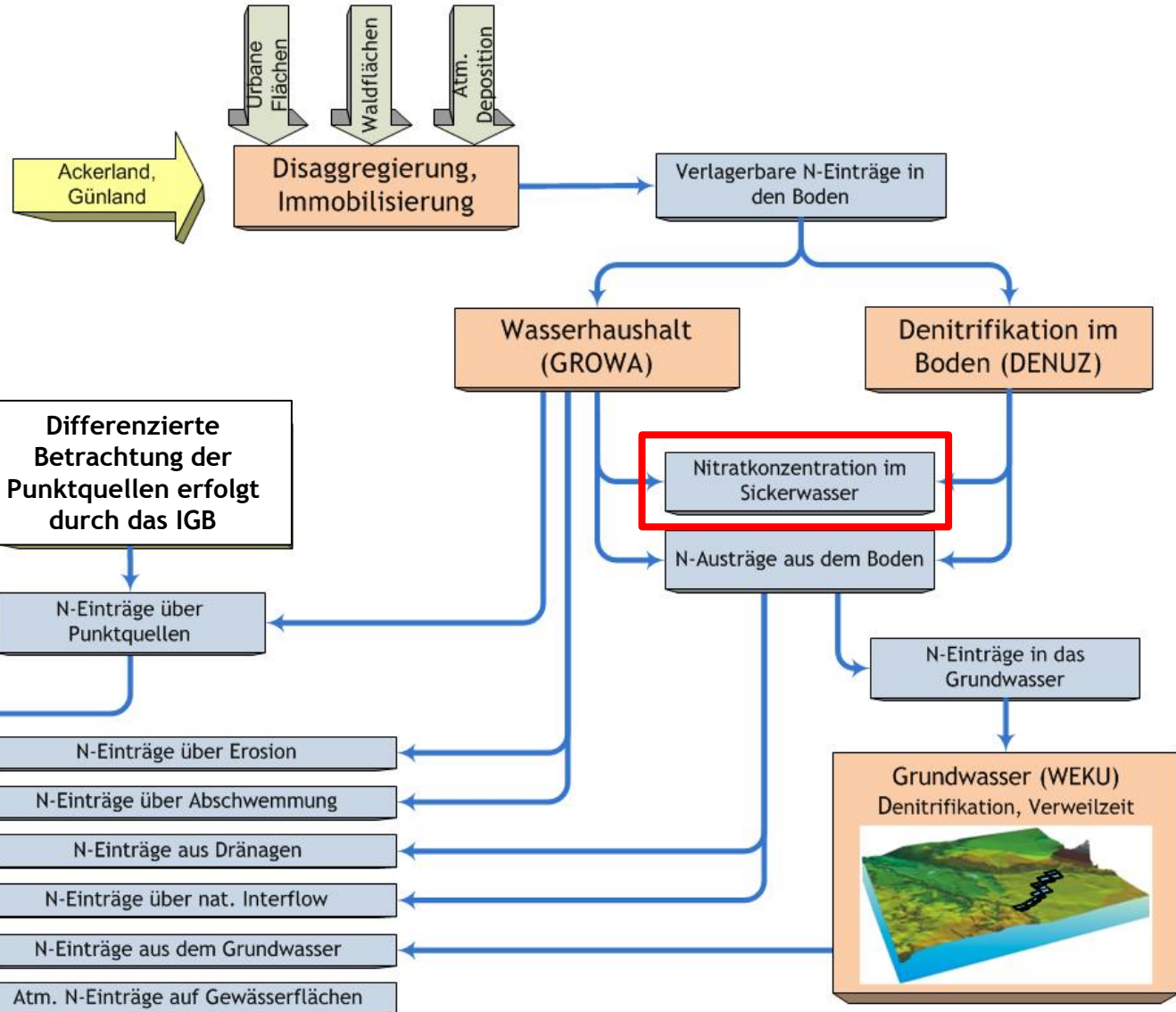
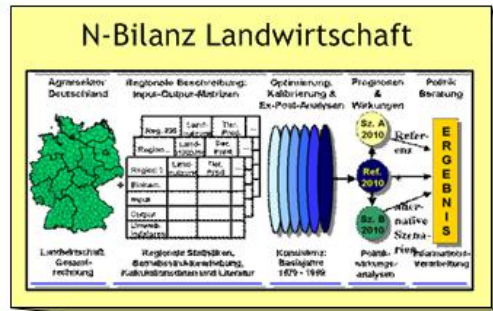
# Entwicklung der N-Bilanzen bis 2021 (Baseline-Szenario)

- Allgemeine Agrarpolitik
  - *Reform der Marktordnungen (z.B. Milch u. Zucker)*
  - *Auslaufen der Flächenstilllegung*
  - *Entkopplung von Tier- und Flächenprämien*
  - *Düngeverordnung*
- Ergänzende Maßnahmen
  - *Agrarumweltmaßnahmen*
  - *Zusätzliche Maßnahmen zur Erreichung der WRRL-Ziele*
- Sonstige Einflussgrößen
  - *Förderung des Energiemaisanbaus durch das EEG*
  - *Anstieg der Weltagrarmarktpreise*
  - *Energie- / Düngemittelpreise*
  - *Technischer Fortschritt*
- **Insgesamt Rückgang der N Überschüsse von ca. 10 kg N pro ha LF deutschlandweit**

# Auswirkung des Baseline-Szenarios 2021 auf die **Veränderung der N-Einträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer** für die wichtigsten diffusen Eintragspfade

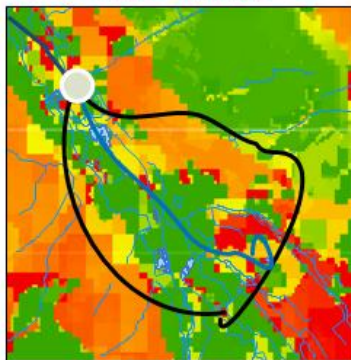


# Stickstoff – Modellanalysen mit GROWA – DENUZ – WEKU



Maßnahmenplanung

Sensible Flächen für N-Einträge



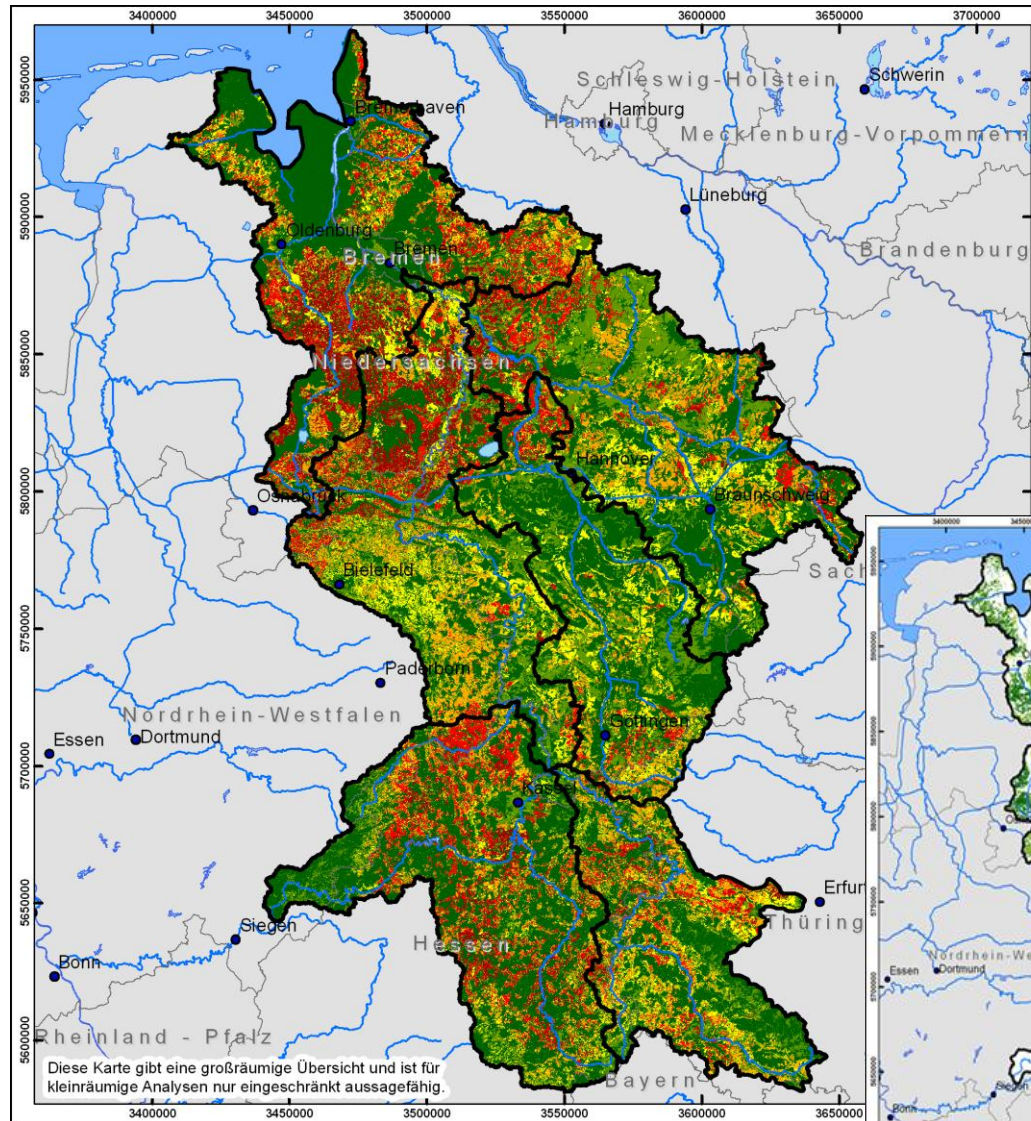
# Umweltziele für das Grundwasser und Bestimmung des Minderungsbedarfs

- Bei einer mittleren langjährigen Nitratkonzentration im Sickerwasser von <50 mg/L ist sichergestellt, dass der EU-Schwellenwert für Nitrat für das Grundwasser in allen Fällen eingehalten werden kann, d.h.
  - bei oxidierten Grundwasserleitern ohne Denitrifikationspotential
  - nach Verbrauch der Denitrifikationskapazität reduzierter Aquifere.

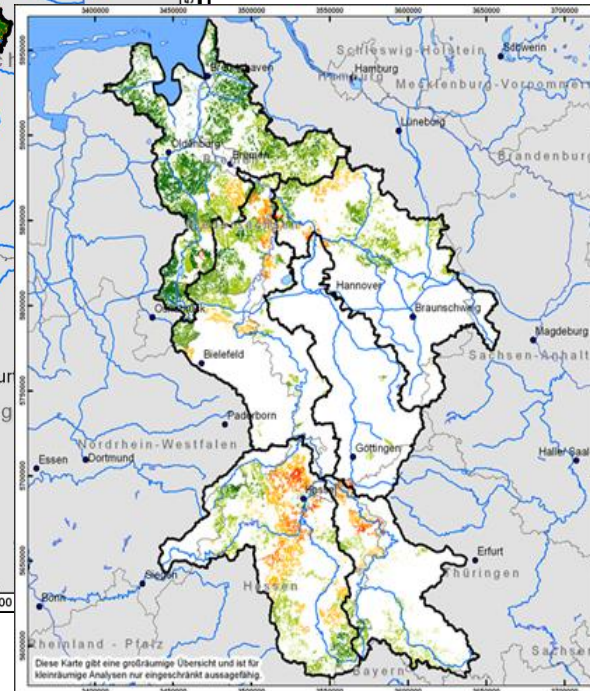
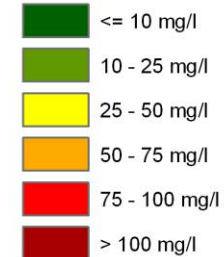
$$c_{\text{NO}_3}[\text{mg/L}] = 443 \cdot \frac{(\text{N - Überschuss} - \text{Denitrifikation Boden}) [\text{kg N}/(\text{ha a})]}{\text{Infiltrationsrate} [\text{mm/a}]}$$

- Fragestellung:
  - Wie hoch darf der N- Überschuss maximal sein, damit eine Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l nicht mehr überschritten wird?
  - Wie hoch ist der N - Minderungsbedarfs der Landwirtschaft?
- Inverse Berechnung:
  - Denitrifikationsrate (und ggf. weitere Umwandlungsprozesse im Boden) sowie die Infiltrationsrate bleiben in der oben genannten Formel konstant
  - Der maximal tolerierbare N-Überschuss ergibt sich aus der oben genannten Formel, wenn man eine Sickerwasserkonzentration von 50 mg/l vorgibt

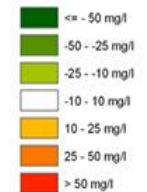
# Nitratkonzentration im Sickerwasser (2021)



## Potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser (2021)



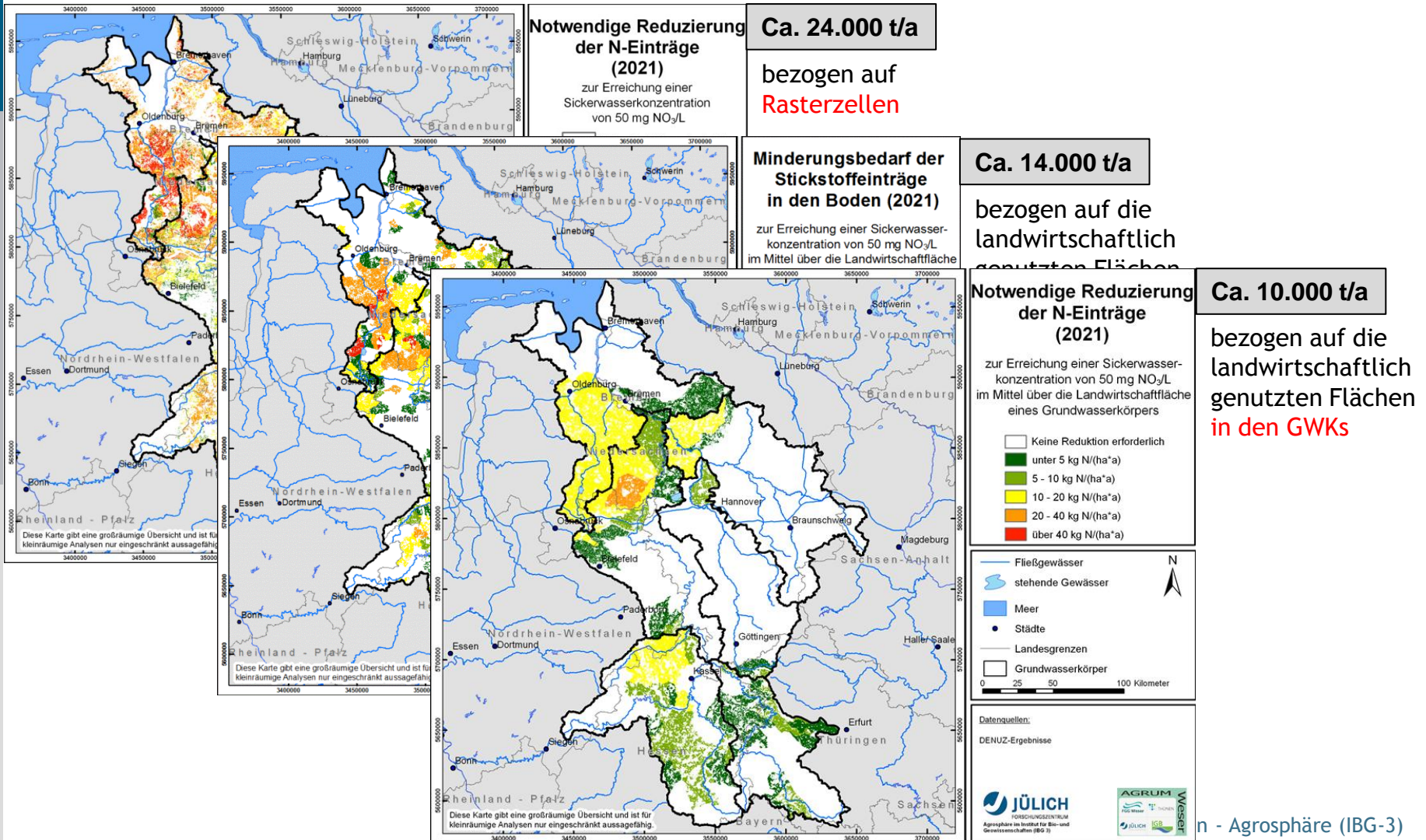
## Veränderung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser 2021 im Vergleich zu 2007



Datenquellen:  
DENUZ-Ergebnisse



# N-Minderungsbedarf zur Erreichung des Grundwasserschutzziels basierend auf dem Baseline-Szenario 2021 für drei verschiedene Gebietskulissen



# Zusammenfassung

- Gesamter diffuser N-Eintrag 2007 ca. 65100 t/a; Dominanz der Eintragspfade Grundwasser, Drainagen (im Norden) und Zwischenabfluss (im Süden)
- Das Verhältnis von diffusen und punktuellen Quellen beträgt für  $N_{\text{ges}}$  etwa 9:1.
- Modellierete N-Einträge in die Gewässer wurden mit über 100 Messwerten im Vorfluter erfolgreich ( $R^2 > 0,986$ ) abgeglichen
- Bei vollständiger Umsetzung des Baseline-Szenario 2021 ist mit einer Reduktion der diffusen N-Einträge in die Oberflächengewässer von ca. 10 % zu rechnen.
- Je nach gewählter Gebietskulisse wird ein über das Baseline-Szenario hinausgehender N-Minderungsbedarf zur Erreichung des Grundwasserschutzziels zwischen ca. 24.000 t N/a (Rasterzellen) und ca. 10.000 t N/a (gemittelt über Landwirtschaftsflächen in GWKs) ermittelt.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Fragen?

