

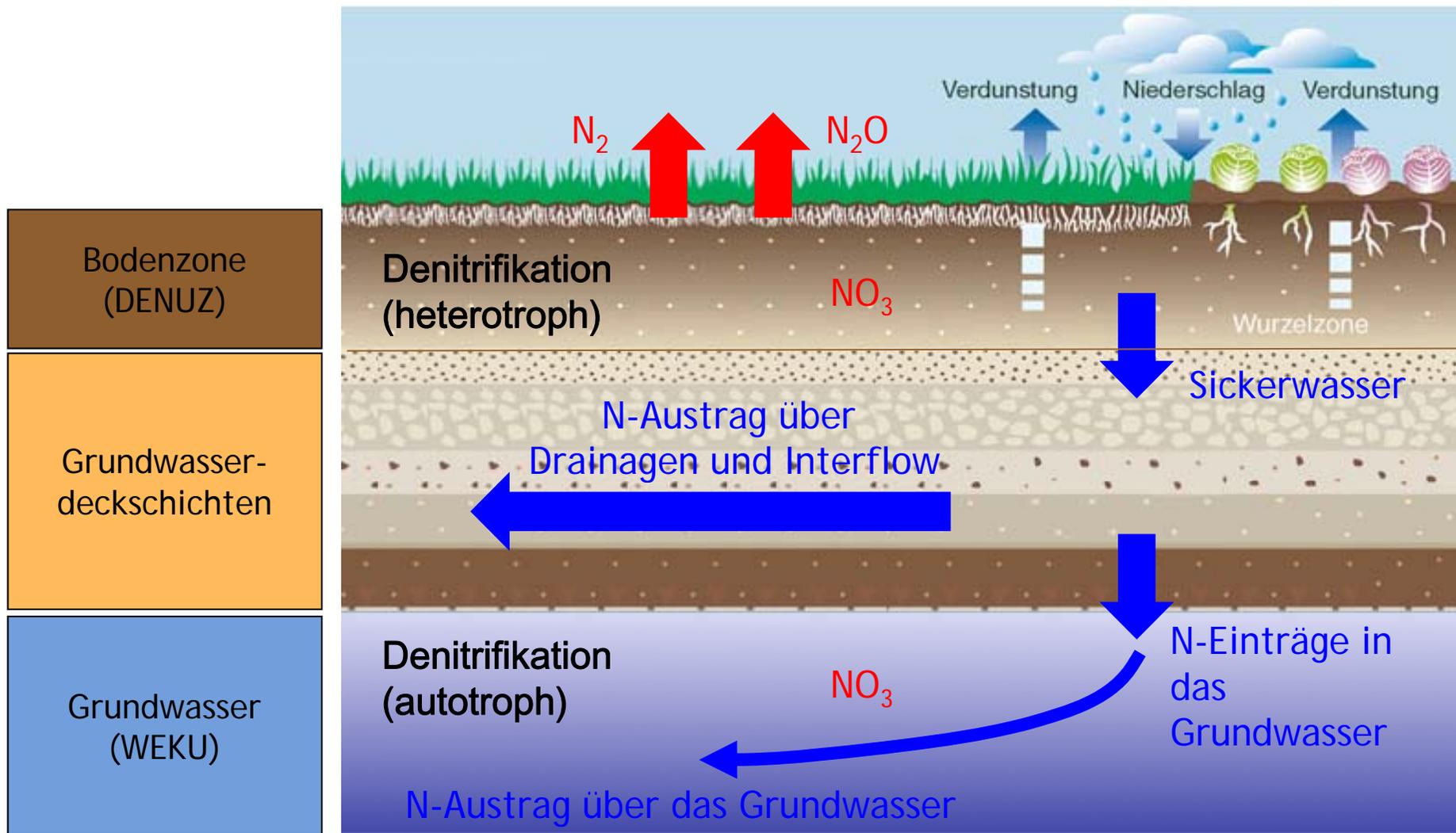
# Modellierung der Denitrifikation im Boden und Grundwasser niedersächsischer Flusseinzugsgebiete mit DENUZ und WEKU

Ralf Kunkel und Frank Wendland

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institut für Bio- und Geowissenschaften - Agrosphäre (IBG-3)  
52425 Jülich

Tagung "Denitrifikation in Niedersachsen", Hannover, 2012-04-18

# Was wird mit DENUZ und WEKU modelliert?



# Modellierung des Nitratabbaus mit DENUZ und WEKU

DENUZ

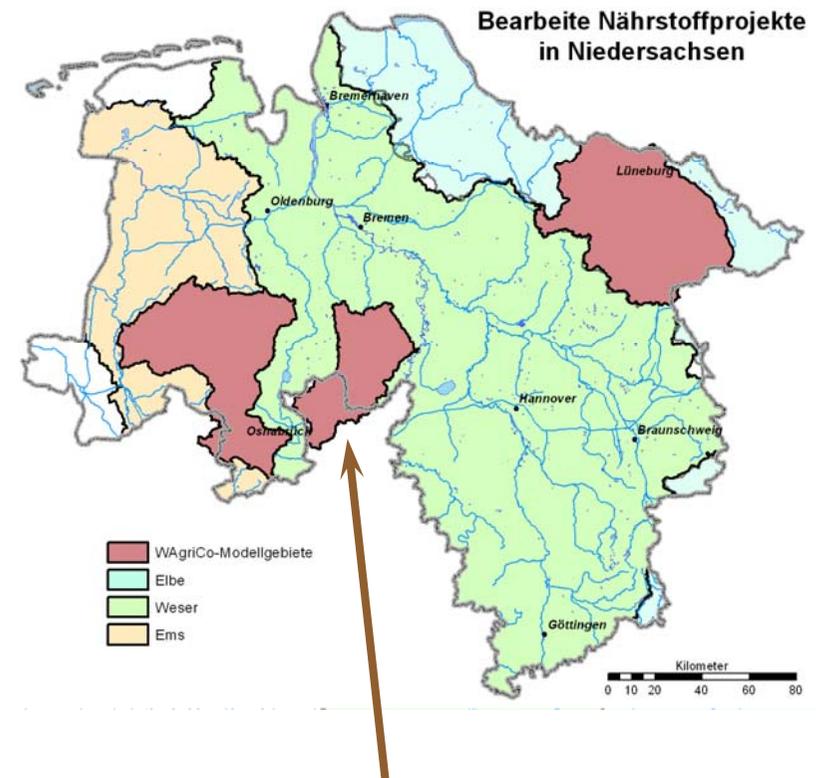
- Berechnung der Denitrifikationsverluste im durchwurzelten Boden
- Michaelis-Menten Kinetik ( $N(t)$ ,  $t$ ,  $D_{\max}$ ,  $k$ )
- 5 Klassen für  $D_{\max}$  und  $k$  im Wurzelraum (NLfB, 2005)
- Bereich für  $D_{\max}$  zwischen 10 und 100 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>
- Berechnung der Nitratkonzentration im Sickerwasser durch Kopplung mit N-Bilanzmodell und GROWA (Verweilzeit des Sickerwassers)

WEKU

- 2D -Verweilzeitenmodellierung (Weg-/Zeitverhalten) abgeleitet aus Modell der Grundwasseroberfläche und der Abstandsgeschwindigkeit nach Darcy
- Ableitung der Denitrifikationsbedingungen (oxidiert, reduziert) aus Indikatorparametern Entnahmetiefe, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe(II), Mn(II), O<sub>2</sub>,
- Nitratreduktion als Reaktion erster Ordnung;
- NO<sub>3</sub> - Halbwertzeit reduzierter Aquifere: 2-4 a,
- Differenzierung in grundwasserführende Gesteinseinheiten
- Berechnung der Nitrateinträge in den Vorfluter über das Grundwasser durch Kopplung der Verweilzeiten mit Denitrifikationsbedingungen

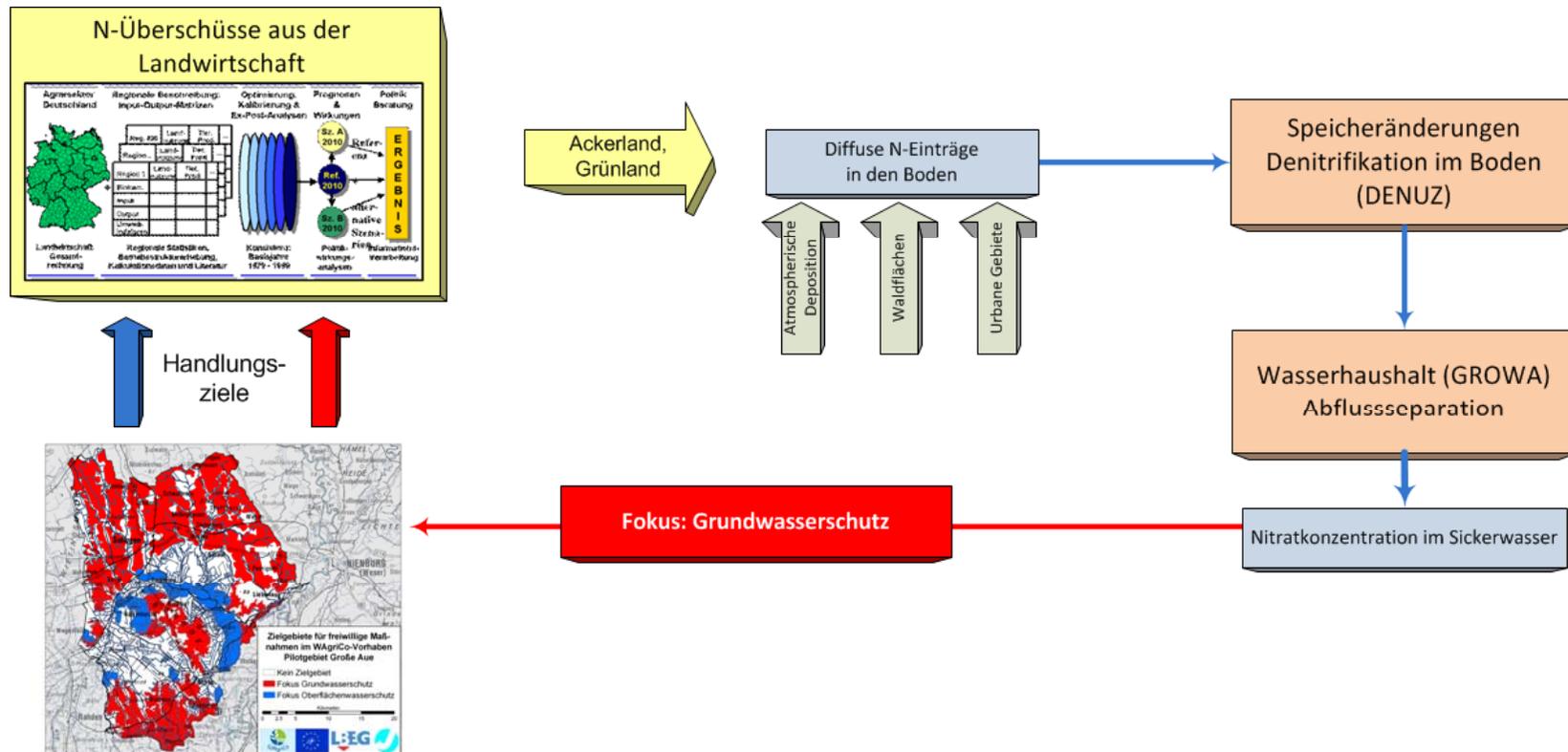
# Anwendung der Modelle DENUZ und WEKU in Niedersachsen

- Elbe
  - Elbe-Ökologie (BMBF, 1996-1999)
- Lager Hase, Große Aue, Ilmenau/Jeetzel:
  - WAgriCo (EU-LIFE, 2005-2008)
  - WAgriCo2 (NLWKN, 2008-2009)
- Weser
  - AGRUM (BMELV, FGG Weser, 2005-2008)
  - AGRUM+ (FGG Weser, 2011-2013)
- Niedersachsen
  - AGRUM+ Nds (MU Nds, 2011-2013)
  - Validierung der Modelle DENUZ und WEKU in Niedersachsen (vTI, 2012-2014)



Im Folgenden nur WAgriCo-Modellgebiete

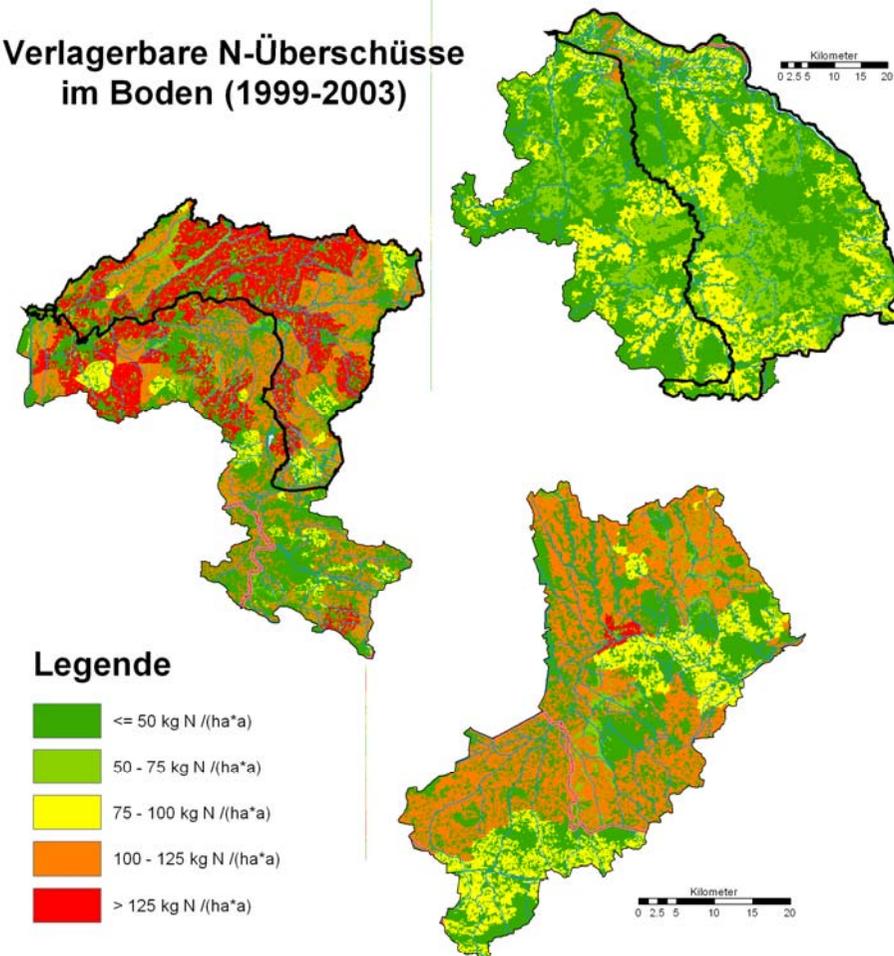
# N-Modellanalysen mit den Modellen GROWA-DENUZ/WEKU



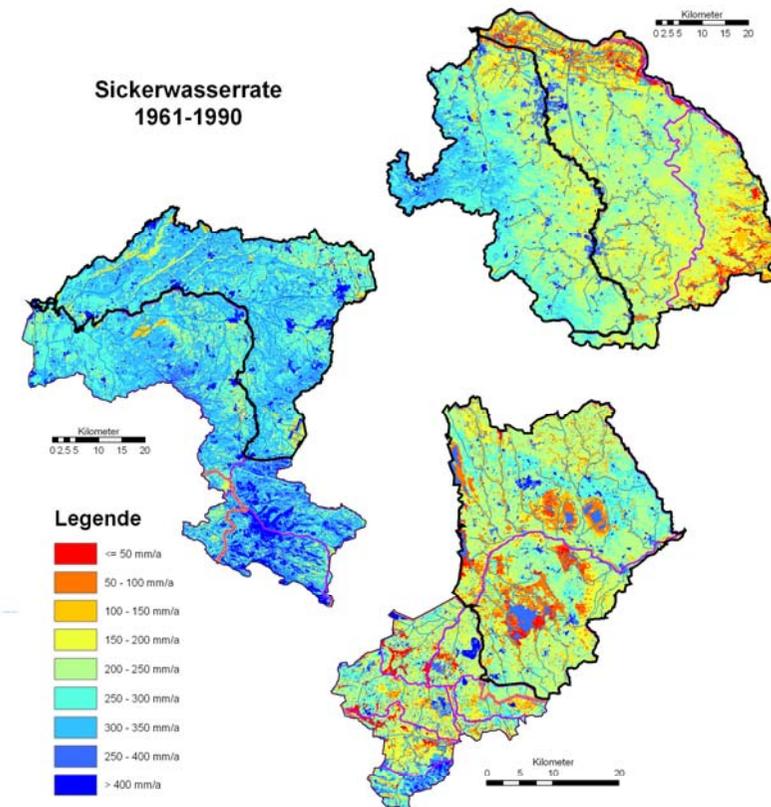
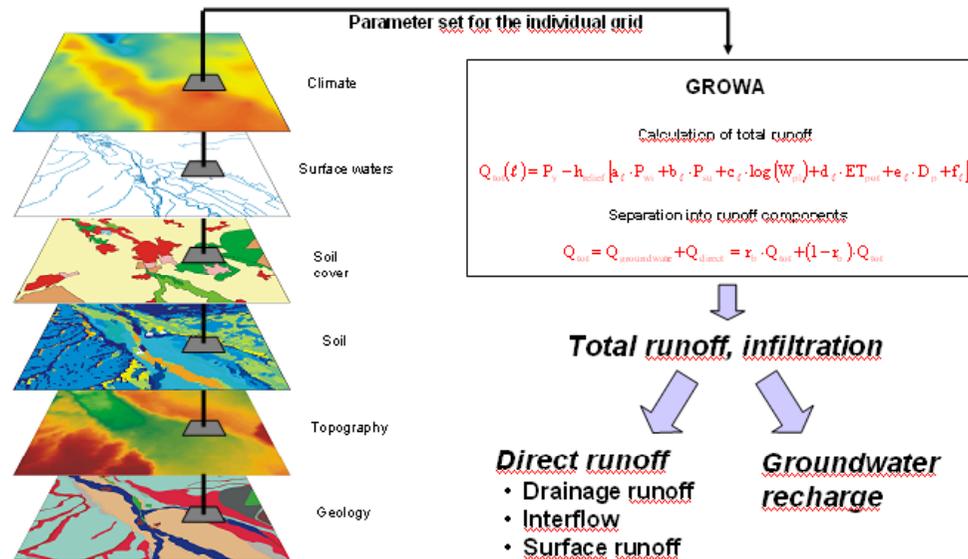
# Verlagerbare N-Überschüsse im Boden

- Ausgangspunkt: N-Bilanzierung auf Gemeinde- oder Kreisebene
- Ergebnis: mittlerer N-Überschuss für die landwirtschaftlich genutzten Flächen einer Verwaltungseinheit
- Disaggregation der N-Überschüsse
  - atmosphärische N-Deposition
  - Landnutzung (Acker, Grünland, Wald, andere Flächen)
  - Wasserschutzgebiete

Verlagerbare N-Überschüsse  
im Boden (1999-2003)



# Wasserhaushaltsmodellierung mit GROWA (Kunkel & Wendland, 2002)



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

# Modellierung der Denitrifikation im Boden mit DENUZ (Wendland et al, 2009)

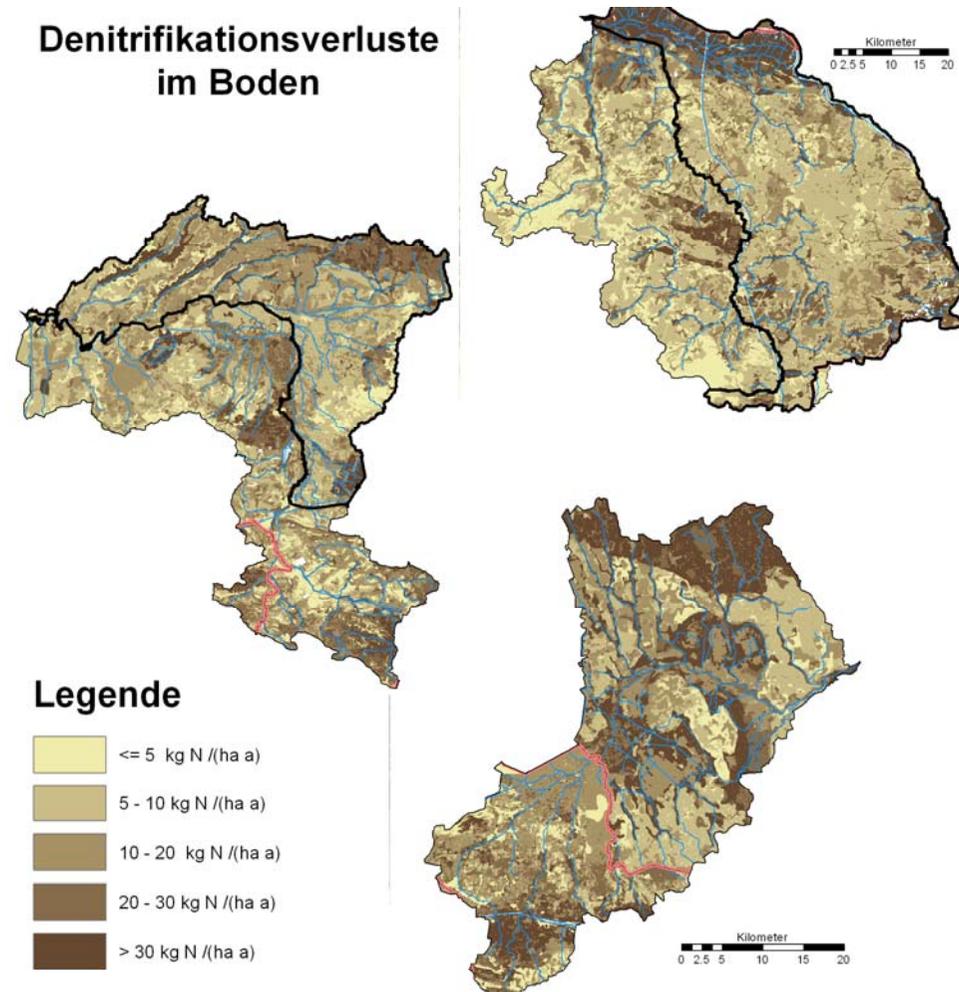
➤ Modellierung des Nitratabbaus im durchwurzelten Bodenbereich:

- Michaelis-Menten Kinetik

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

- Abhängig von der Verweilzeit (t) des Sickerwassers im Boden (GROWA)
- Abhängig von den N-Überschüssen (N)
- Denitrifikationsraten ( $D_{\max}$ , k) abhängig vom Bodentyp (10–150 kg N/(ha\*a) ([LBEG, 2005](#)))

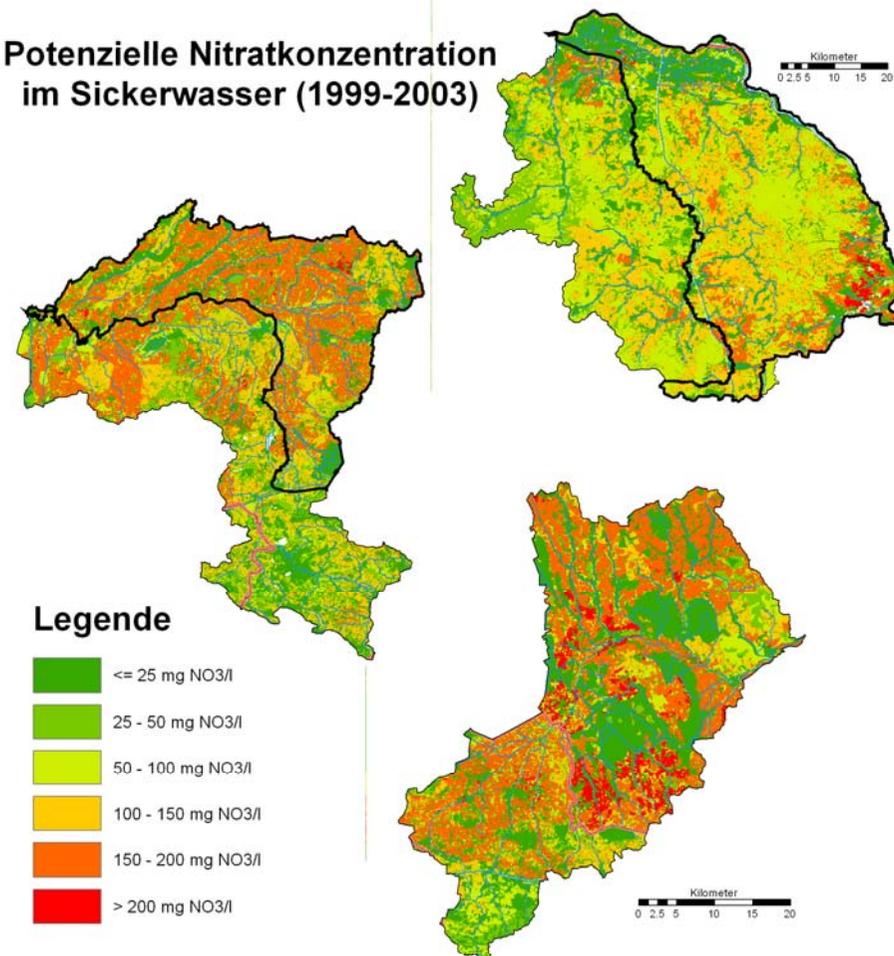
Denitrifikationsverluste im Boden



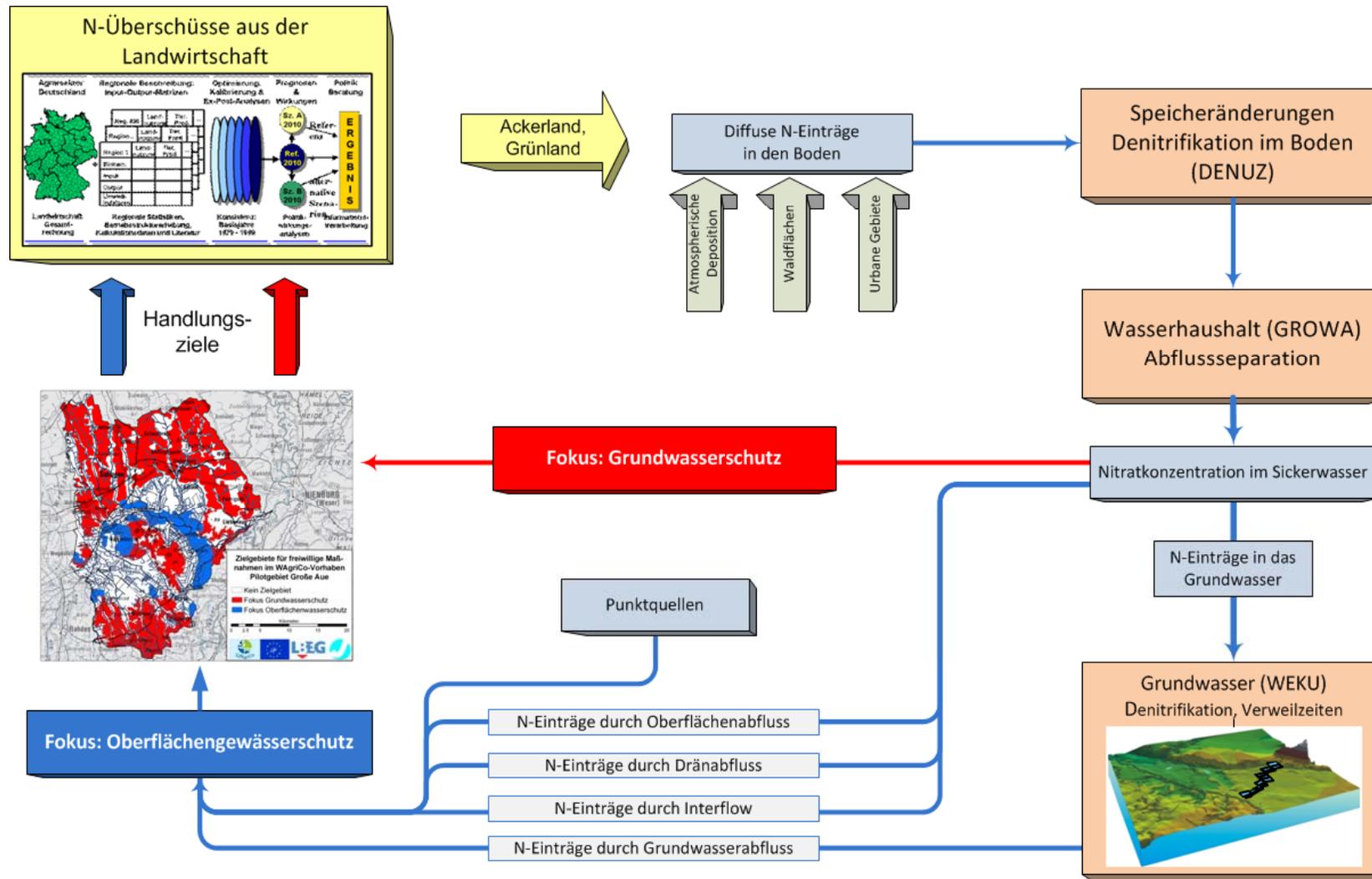
# Nitratkonzentration im Sickerwasser

- Bei Konzentrationen über 50 mg NO<sub>3</sub>/L muss langfristig mit Problemen mit der Grundwasserqualität gerechnet werden
- Zielgröße zur Ableitung von Bewirtschaftungszielen:
  - welcher N-Überschuss ist maximal zulässig, um eine vorgegebene NO<sub>3</sub>-Konzentration zu erreichen (50 mg NO<sub>3</sub>/L)?
  - Wie hoch ist ggf. der Minderungsbedarf?

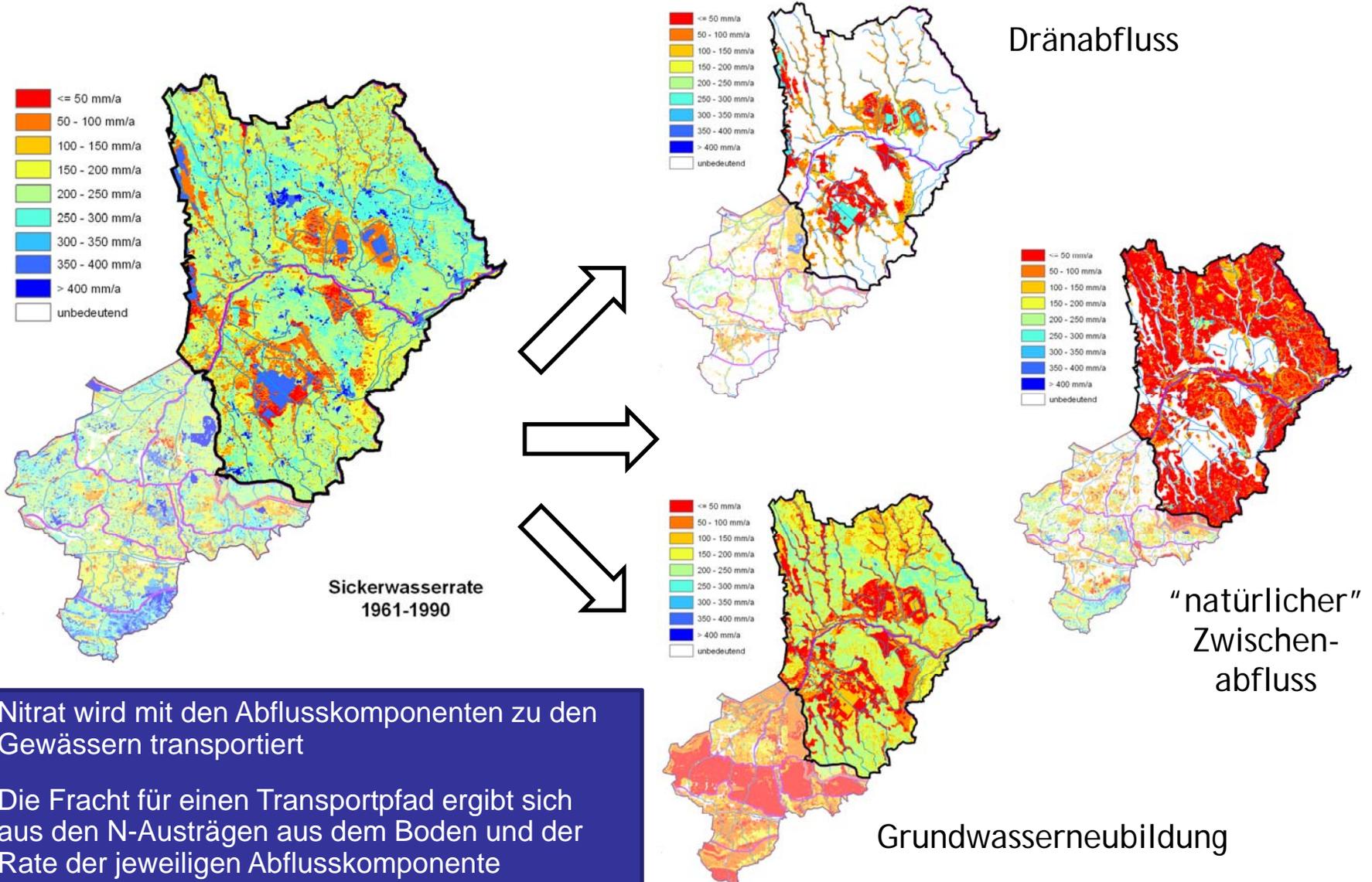
Potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser (1999-2003)



# N-Modellanalysen mit den Modellen GROWA-DENUZ/WEKU



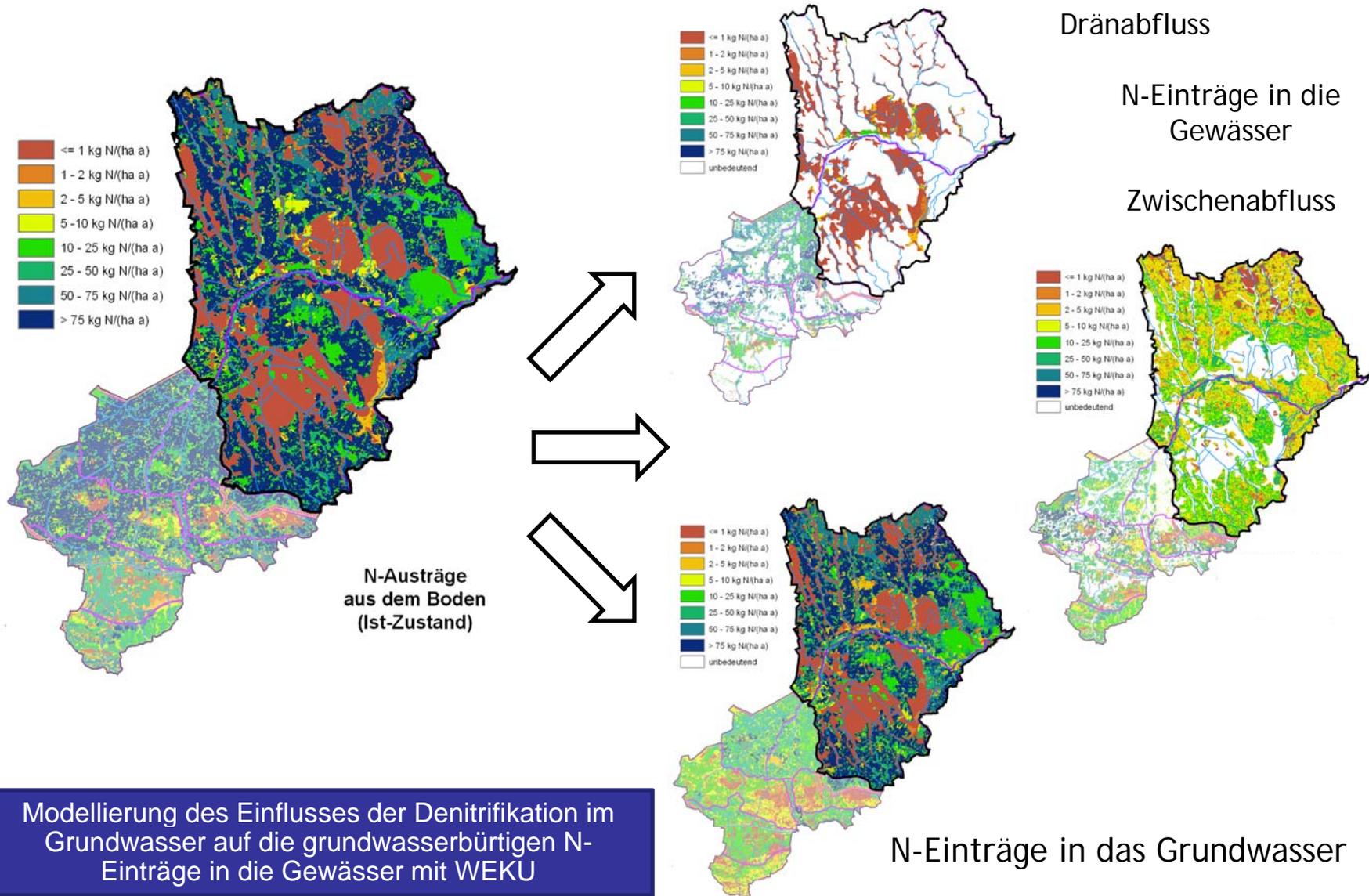
# Abflusskomponenten nach GROWA



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



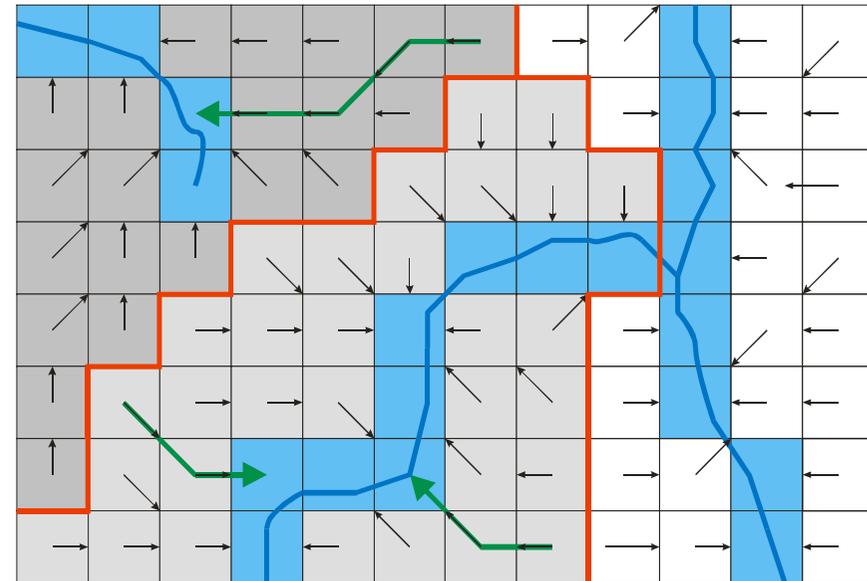
Modellierung des Einflusses der Denitrifikation im Grundwasser auf die grundwasserbürtigen N-Einträge in die Gewässer mit WEKU

# Modellierung des reaktiven Stickstoff- transports im Aquifer mit WEKU (Kunkel & Wendland, 1997)

- 2D-Modellierung der Abstandsgeschwindigkeiten und Verweilzeiten im Grundwasser auf Basis des Darcy'schen Gesetzes
- Modellierung der Denitrifikation im Aquifer nach Böttcher et al (1989)

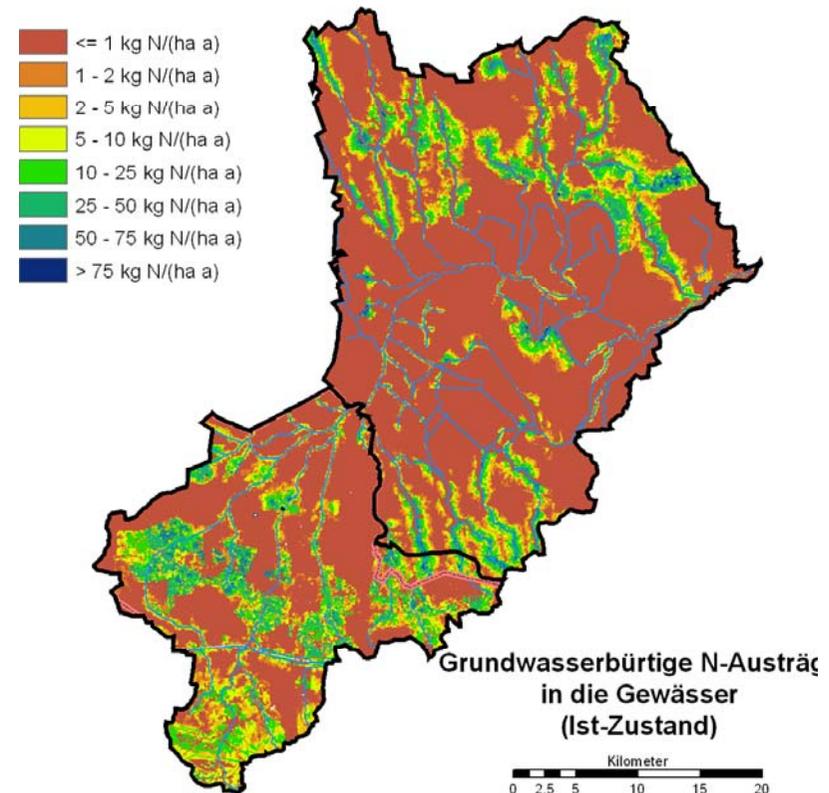
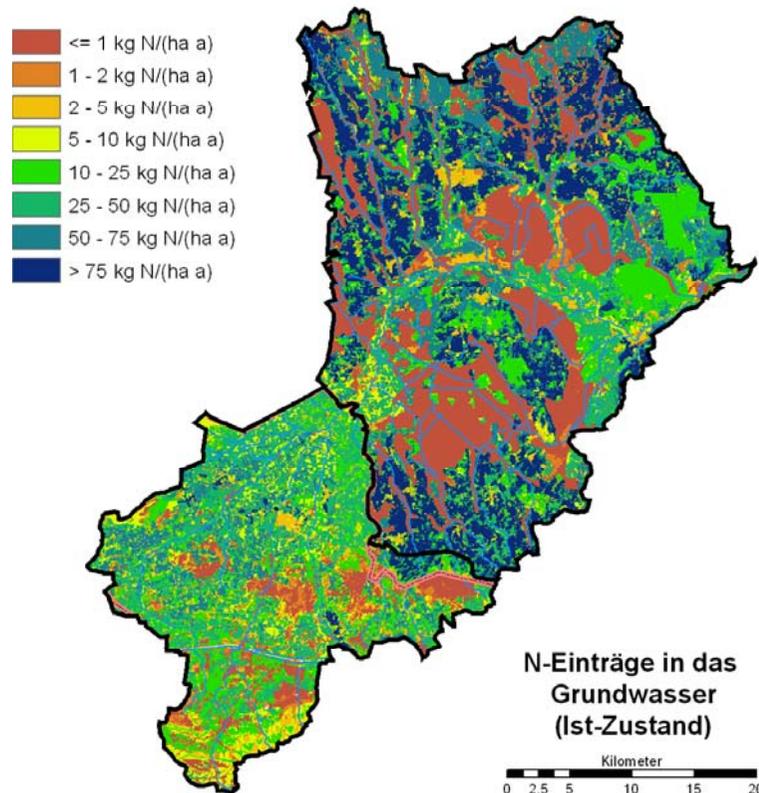
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-kt}$$

- $N(t)$ : 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)

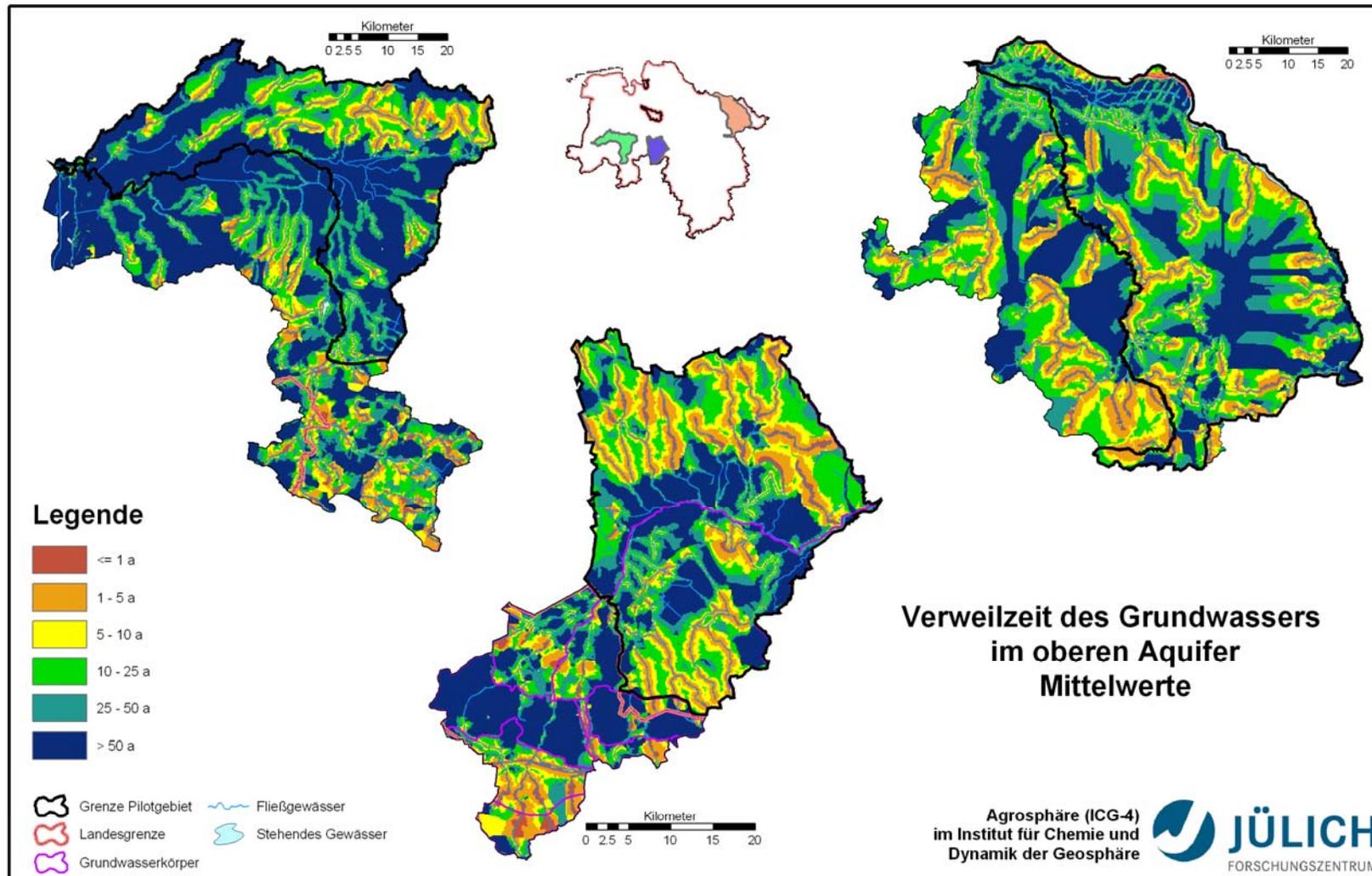


Parameter	Reduzierte Grundwässer	Oxidierte Grundwässer
Nitrat	< 1 mg NO <sub>3</sub> /l	Je nach Eintrag
Eisen (II)	> 0,2 mg/ Fe (II)/l	< 0,2 mg/ Fe (II)/l
Mangan (II)	> 0,05 mg Mn (II)/l	< 0,05 mg Mn (II)/l
Sauerstoff	< 2 mg O <sub>2</sub> /l	> 2 mg O <sub>2</sub> /l

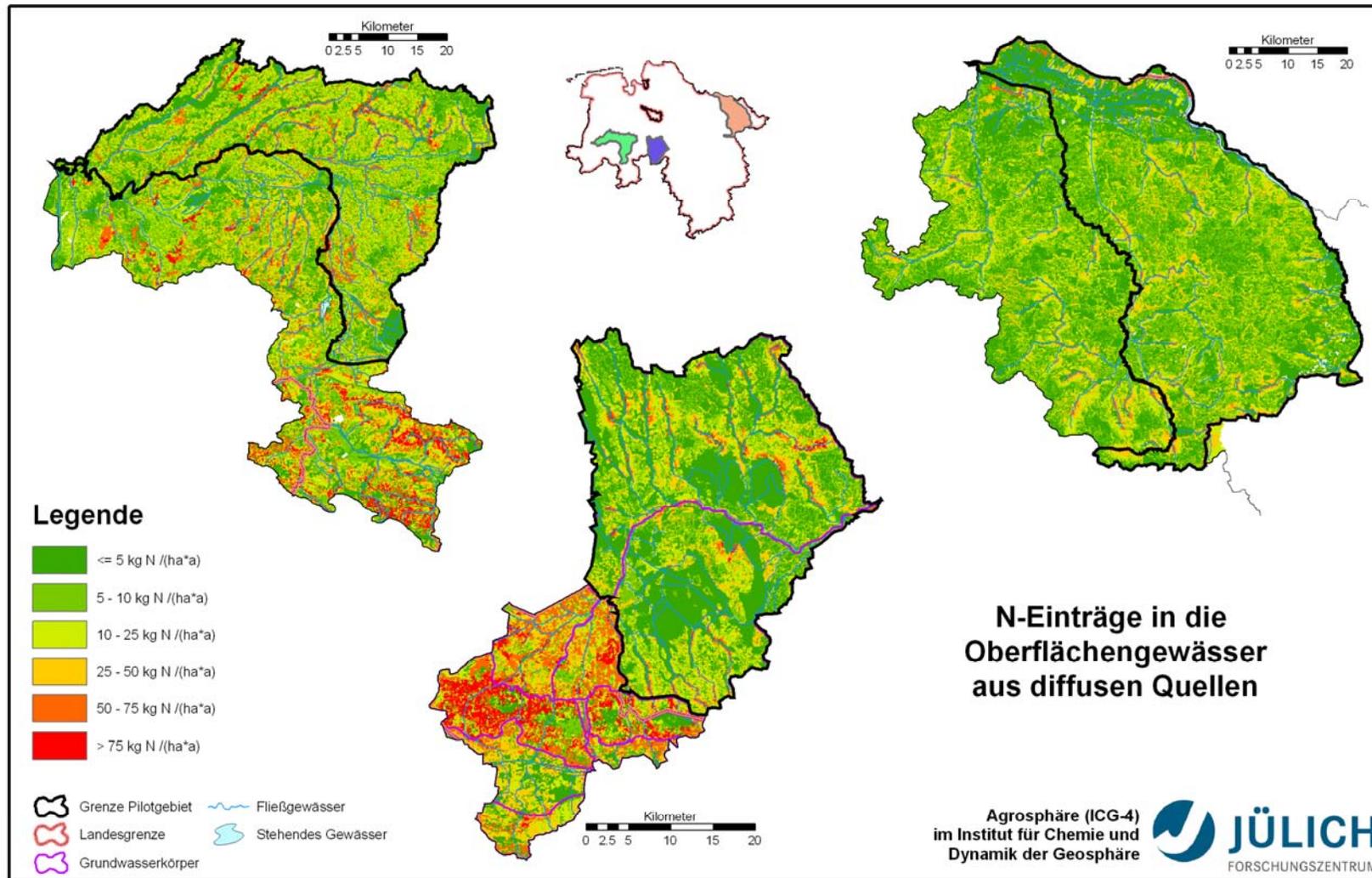
# Denitrifikation im Aquifer



# Mit WEKU modellierte Grundwasserverweilzeiten



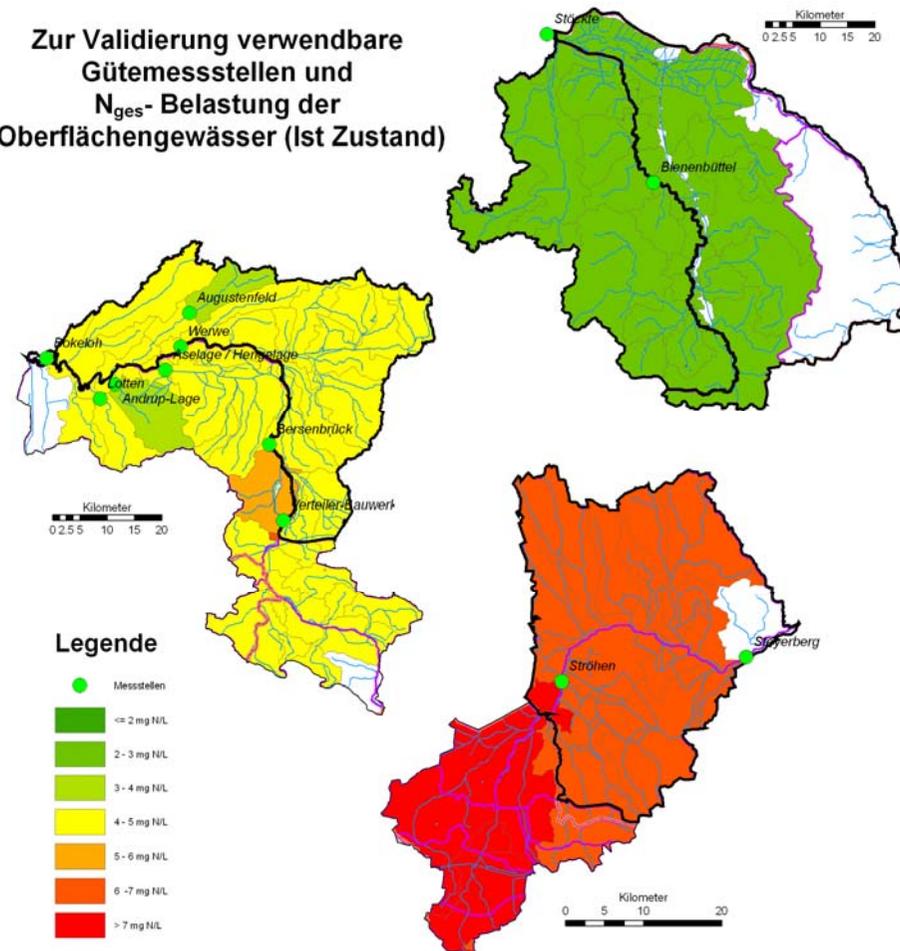
# N-Austräge in die Oberflächengewässer aus diffusen Quellen



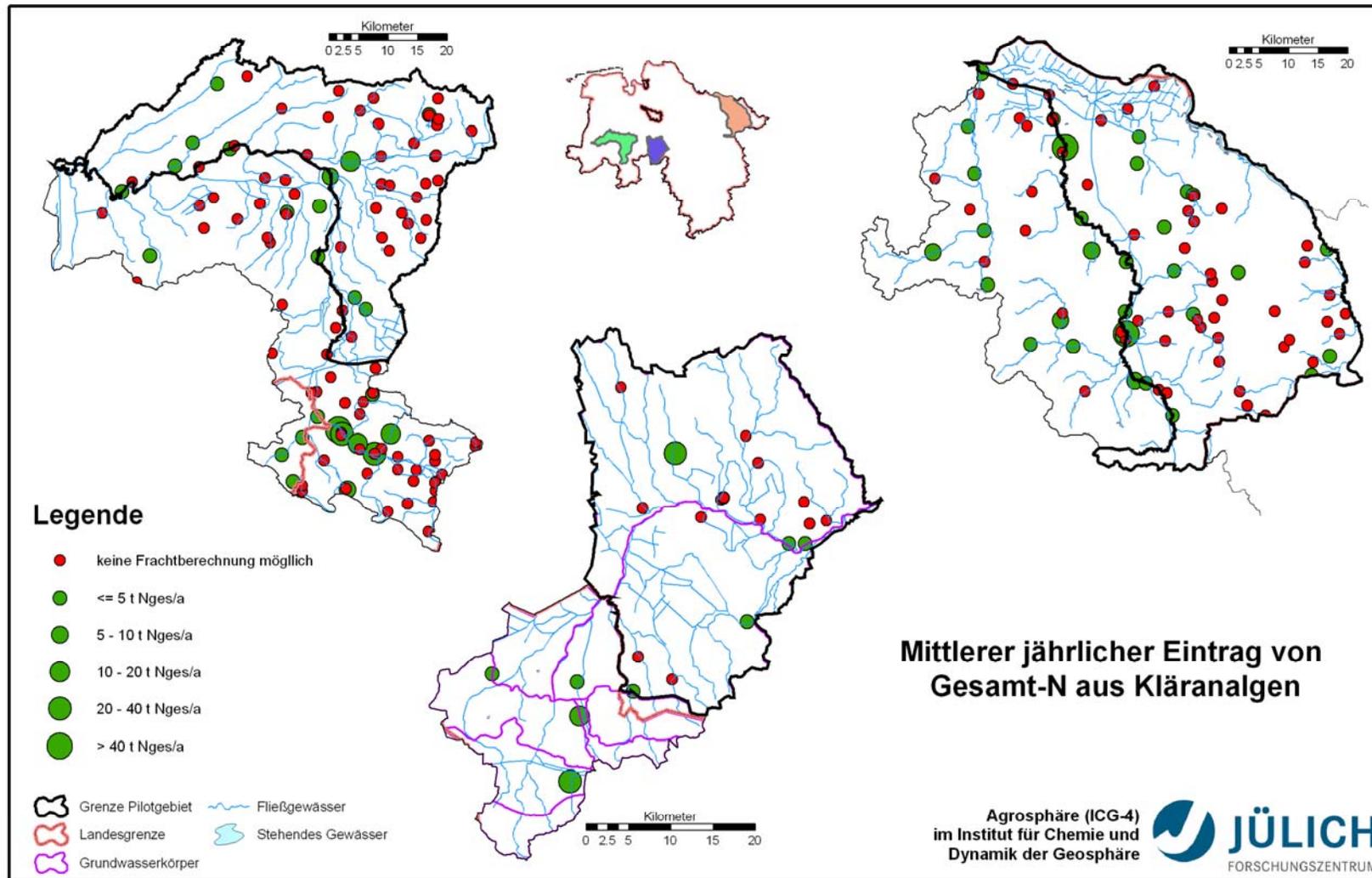
# Validierung der Modellergebnisse an beobachteten N-Konzentrationen

- Berechnete Konzentrationen setzen sich zusammen aus:
  - Diffusen N-Einträge
  - Punktförmige N-Einträge
  - N-Rückhalt und N-Abbau im Gewässer
  - Berechneter Gesamtabfluss
  
- 12 Messstellen mit langjährigen Stoffkonzentrationen und Abflüssen für die Validierung nutzbar

Zur Validierung verwendbare Gütemessstellen und  $N_{ges}$ -Belastung der Oberflächengewässer (Ist Zustand)



# N-Einträge in die Oberflächengewässer aus Punktquellen

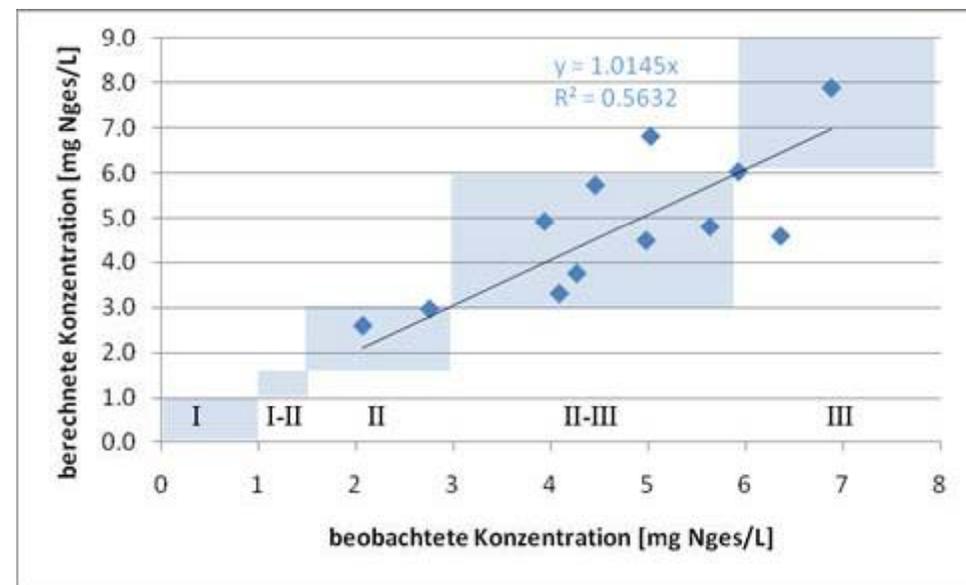


# Validierung der Modellergebnisse an beobachteten N-Konzentrationen

➤ Berechnete Konzentrationen setzen sich zusammen aus:

- Diffusen N-Einträge
- Punktförmige N-Einträge
- N-Rückhalt und N-Abbau im Gewässer
- Berechneter Gesamtabfluss

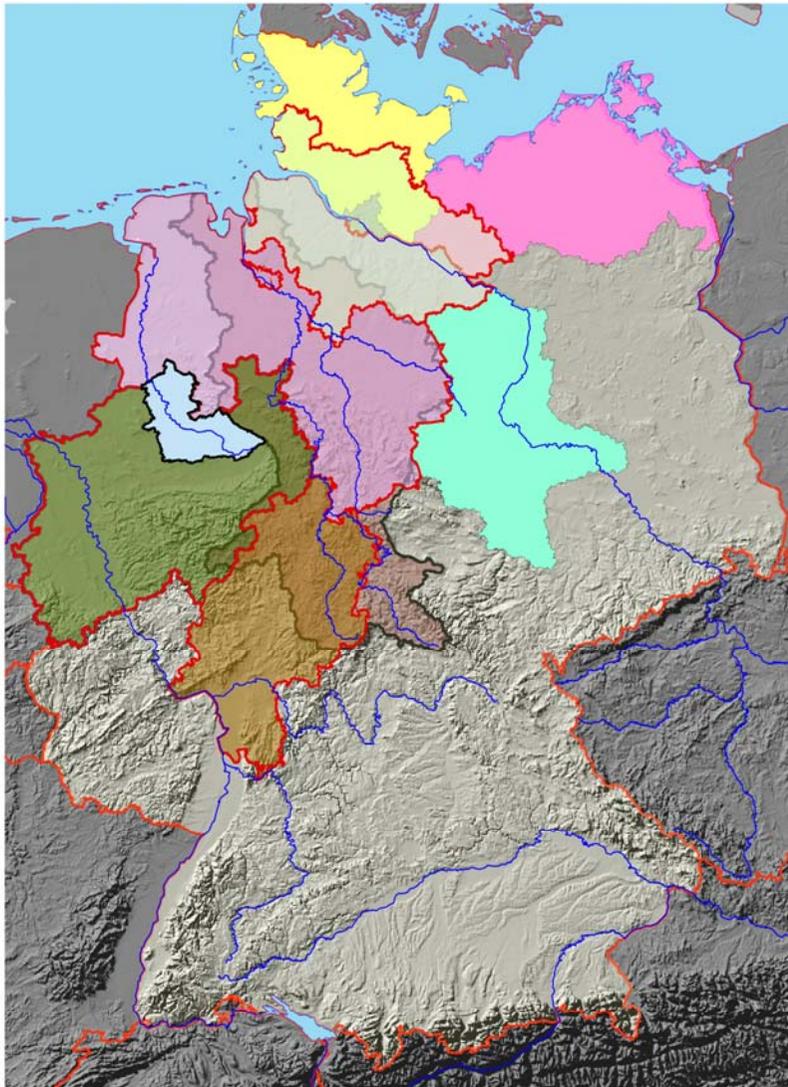
➤ **Sehr gute Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Werten**



# Zusammenfassung (1)

- Ermittlung der N-Frachten der wesentlichen Eintragungspfade für Stickstoff in die Oberflächengewässer:
  - Grundwasserabfluss
  - “Natürlicher” Interflow
  - Dränabfluss
  - Punktförmige N-Einträge
- Quantifizierung des Ausmaßes der Denitrifikation und der Verweilzeiten im Grundwasser (WEKU)
- Berücksichtigung des Nährstoffabbaus im Gewässer
- Modellierung der  $N_{\text{ges}}$ -Konzentrationen im Gewässer
- Validierung der Modellergebnisse an beobachteten Gütedaten

# N-Modellierung im FZ Jülich (seit 2006)



2008 - 2009	NRW (LANUV)	<i>Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer NRWs</i>
2008-2009	Niedersachsen (NLWKN)	<i>WAGRICO II: Wasserwirtschaft in Kooperation mit der Landwirtschaft</i>
2006-2009	Weser-EZG (BMVEL)	<i>Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EU- WRRL (AGRUM)</i>
2010-2012	Sachsen – Anhalt (LHW)	<i>Nährstoffeinträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer in Sachsen - Anhalt</i>
2010-2013	Mecklenburg – Vorpommern (LUNG)	<i>Nährstoffeinträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer in Mecklenburg - Vorpommern</i>
2010-2013	Schleswig – Holstein (LLUR)	<i>Nährstoffeinträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer Schleswig-Holsteins</i>
2011-2013	Weser-EZG (FGG)	<i>Analyse weiterer Gewässerschutzmaßnahmen zur Reduzierung von Nährstoffeinträgen in der FGE Weser (AGRUM+)</i>
2011-2013	Niedersachsen (MU)	<i>Analyse weiterer Gewässerschutzmaßnahmen zur Reduzierung von Nährstoffeinträgen in Niedersachsen (AGRUM+ - Niedersachsen)</i>
2012-2014	Von Thünen Institut (vTI)	<i>Validierung der Modelle DENUZ / WEKU in Norddeutschland</i>

# Zukünftige Aktivitäten zur Denitrifikationsmodellierung in Niedersachsen

- Validierung und Erweiterung des DENUZ-Verfahren durch
  - Auswertung von excess  $N_2$ - und  $N_2O$ -Messdaten zur Ableitung verbesserter Reaktionskonstanten im Boden
  - Berücksichtigung von Abbauprozessen in den Grundwasserdeckschichten
  
- Validierung und Erweiterung des WEKU-Verfahrens durch
  - Auswertung von excess  $N_2$ - und  $N_2O$ -Messdaten zur Ableitung verbesserter Reaktionskonstanten im Grundwasser
  - Auswertung von Altersdatierungen zur Validierung der berechneten Grundwasserverweilzeiten
  - Einbeziehung der vertikalen Struktur der Aquifere

Wird ab September 2012 im Vorhaben „Validierung und Kopplung von Denitrifikationsmodellen“ gemeinsam mit vTI und LEBG untersucht

# Denitrifikationspotential der Böden

(Einstufung nach LBEG-Arbeitskreis „Bodenkundliche Beratung in WSG“)

Denitrifikationsstufen		Rate	Grund-/Stauwassereinfluss	Geologische Ausgangssubstrate	Bodentypen (Beispiele)
Nr.	Bezeichnung	kg N/(ha*a)			
1	sehr gering	< 10 [5]	<b>[trocken]</b> ganzjährig keine Wassersättigung	<b>[gering humos]</b> flachgr. verwitterte Festgesteine, tiefgr. verwitterte sandige Festgesteine sandige Lockergesteine	Felshumusboden, Syrosem <sup>12</sup> , Ranker, Regosol <sup>12</sup> , Rendzina, Braunerde <sup>12</sup> , Podsol <sup>12</sup> , Tiefumbruchboden aus Podsol und Pseudogley
2	gering	10 – 30 [20]	<b>[trocken]</b> ganzjährig keine Wassersättigung	<b>[humos]</b> Alluvium, Kolluvium; schluffige und tonige Lockergesteine, erhöhte Humusgehalte, auch im Unterboden	Pararendzina <sup>12</sup> , Parabraunerde <sup>12</sup> , Pelosol, Tschernosem <sup>1</sup> , Kolluvisol <sup>12</sup> , Plaggensch <sup>2</sup> , Tiefumbruchboden aus Moor
			<b>[zeitweise nass]</b> Grund- oder Stauwassereinfluss	<b>[gering humos]</b> sandige Lockergesteine, geringe Humusgehalte	Podsol-Gley (Sand-Gley); Pseudogley,
3	mittel	30 – 50 [40]	<b>[zeitweise nass]</b> Grund- oder Stauwassereinfluss	<b>[gering humos]</b> schluffige-lehmige Lockergesteine, geringe Humusgehalte	Gley-Pseudogley, Pseudogley-Gley, Haftnässepseudogley, Braunaubenboden <sup>1</sup>
4	hoch	50 - > 150 [60*]	<b>[zeitweise nass]</b> Grund- oder Stauwassereinfluss	<b>[humos]</b> nicht sandige, fluviale, limnogene und marine Lockergesteine	Gley, Stagnogley, Tiefumbruchboden aus Gley, Gley-Auenboden <sup>3</sup>
			Grundwasser nur zeitweise i. Torfkörper	<b>[Torfe]</b> Hoch - und Niedermoortorfe	Niedermoor, Hochmoor, Sanddeckkultur
5	sehr hoch	[100*]	<b>[nass]</b> ganzjähriger Grundwassereinfluss (MHGW = 6 dm)	<b>[humos – reduzierter Schwefel]</b> Tschernosem, fluviale, limnogene und marine Lockergesteine, (Gesteine mit hohem Anteil an C und reduziertem S <sup>4</sup> )	Gley-Tschernosem, Marschböden, Tiefumbruchboden aus Marsch
		>> 150 [150*]		<b>[Torfe]</b> Torfe, torfhaltige Substrate, org. Mudden	Niedermoor, Hochmoor, Moorgley Organomarsch, Tiefumbruchboden aus Moor, Sanddeckkultur

## Einstufung der Denitrifikationsbedingungen im Boden anhand

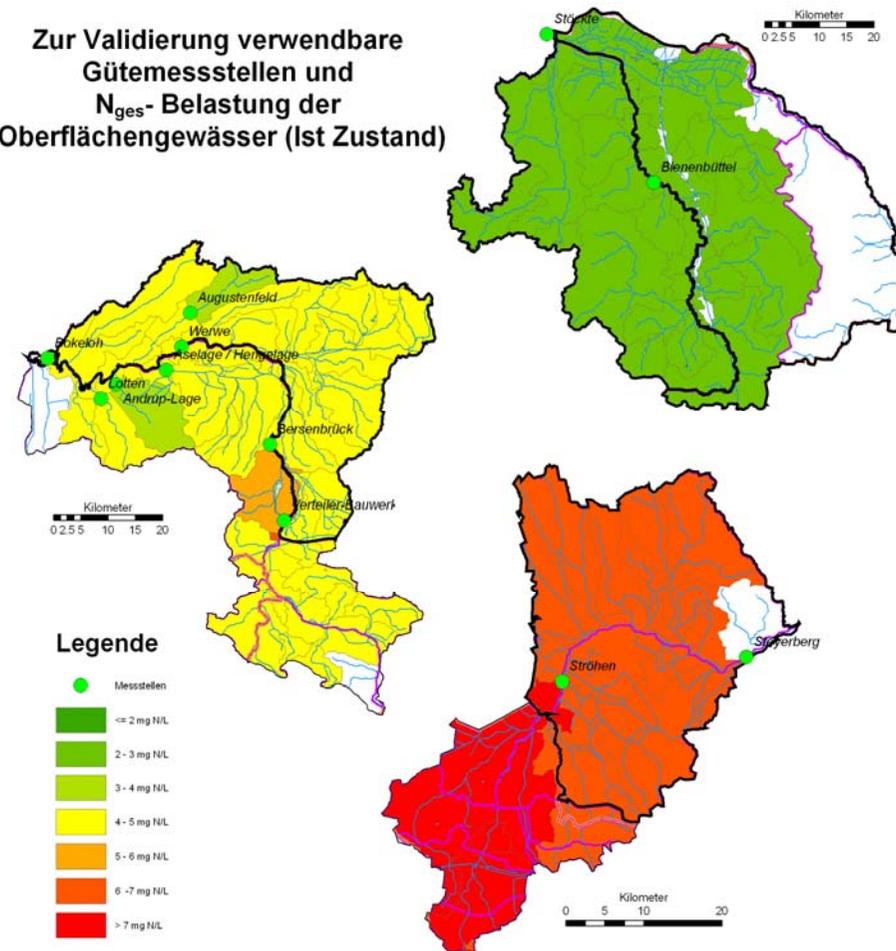
- der Wassersättigung,
- der geologischen Ausgangssubstrate
- der Bodentypen



# Zur Validierung verwendbare Gütemessstellen

- Datenbasis
  - Güte- und Abflussdaten des NLWKN und des LUA NRW
- Bilanzierungsflächen:
  - pegelbezogene Einzugsgebiete aus
    - Hydrographischer Karte Niedersachsen 1:50000
    - GSK25 NRW
- Voraussetzung für Validierung:
  - mindestens monatliche Messungen
  - Daten ab 1995
  - Messzeitraum > 5 Jahre
  - **Abflusswerte vorhanden**
- **12 Messstellen verwendbar**

Zur Validierung verwendbare Gütemessstellen und  $N_{ges}$ -Belastung der Oberflächengewässer (Ist Zustand)



# WEKU Modellierung des N-Transports im Aquifer

