

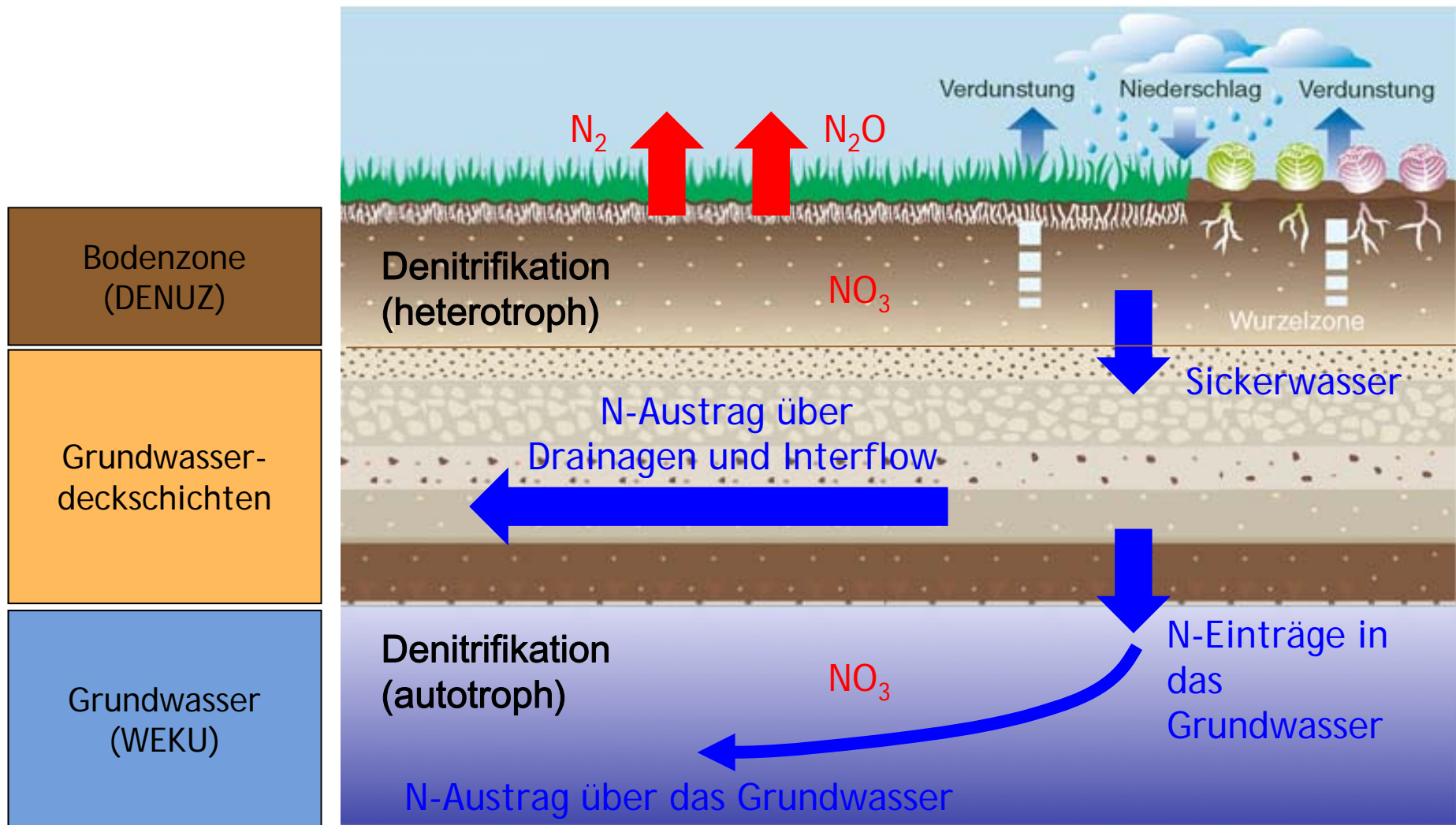
Modellierung der Denitrifikation im Boden und Grundwasser niedersächsischer Flusseinzugsgebiete mit DENUZ und WEKU

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

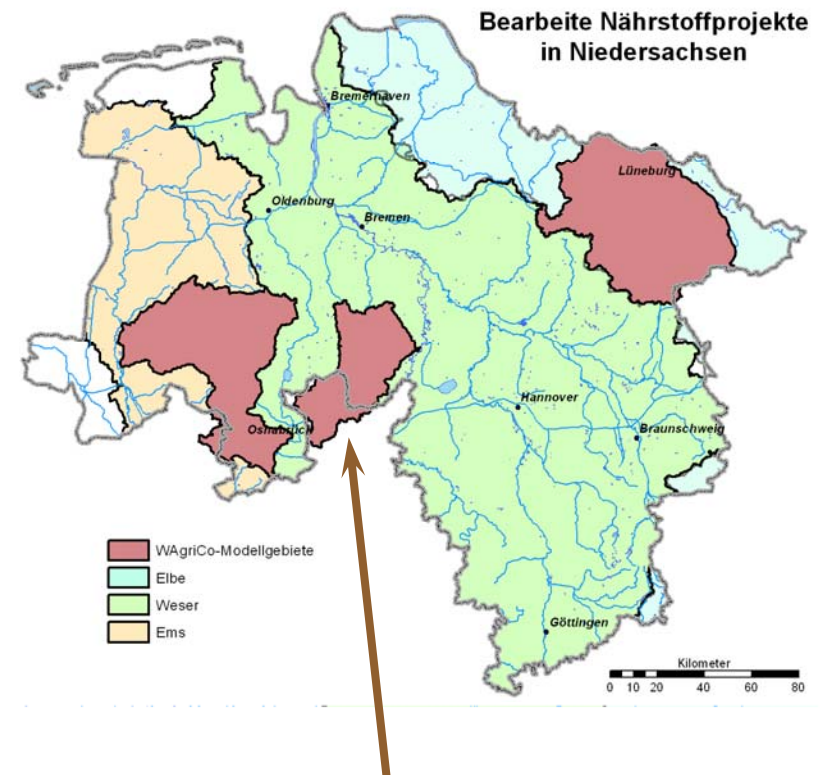
- Berechnung der Denitrifikationsverluste im durchwurzelten Boden
- Michaelis-Menten Kinetik ($N(t)$, t , D_{\max} , k)
- 5 Klassen für D_{\max} und k im Wurzelraum (NLfB, 2005)
- Bereich für D_{\max} zwischen 10 und 100 kg N ha⁻¹ a⁻¹
- Berechnung der Nitratkonzentration im Sickerwasser durch Kopplung 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, NO₃⁻, Fe(II), Mn(II), O₂,
- Nitratreduktion als Reaktion erster Ordnung;
- NO₃ - 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

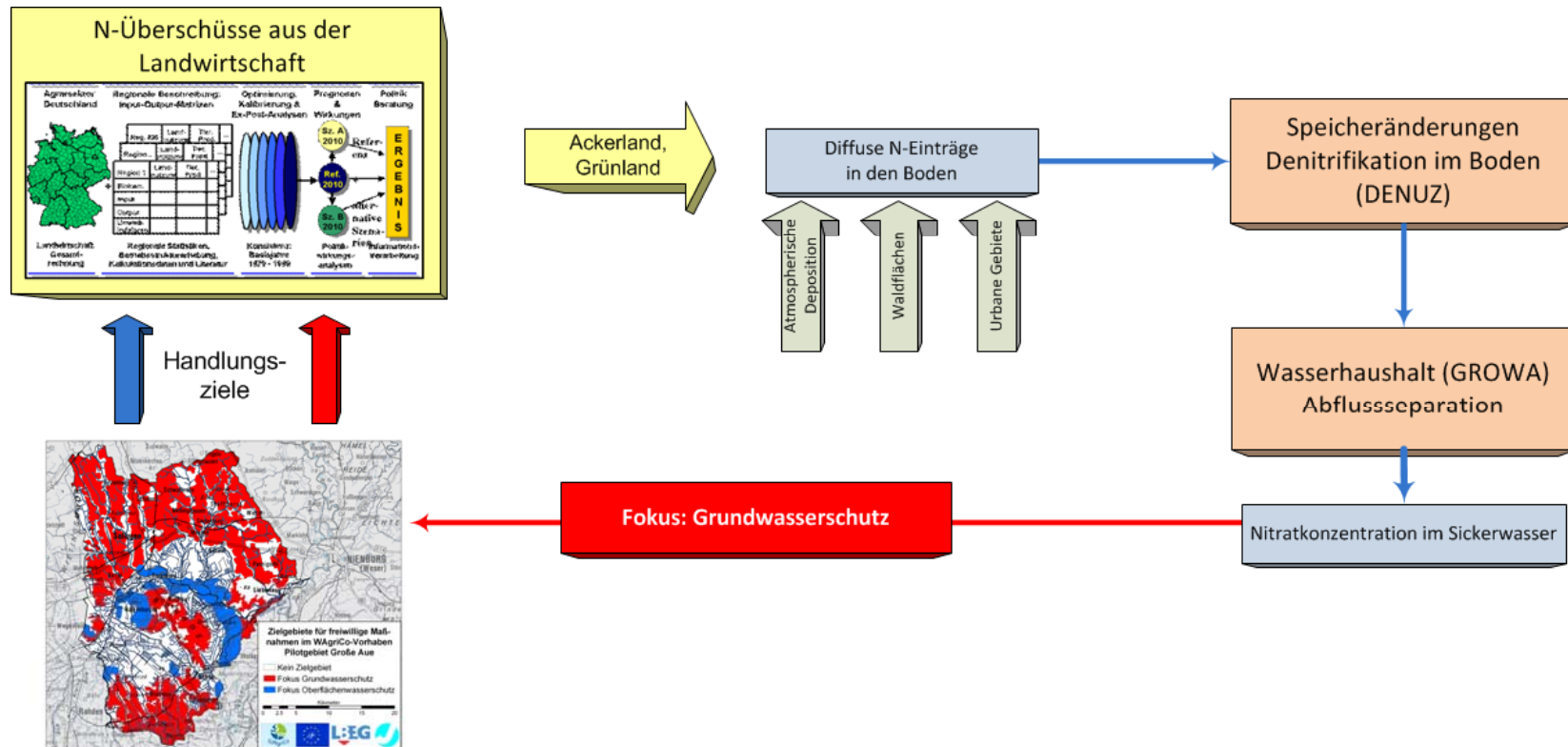
Anwendung der Modelle DENUZ und WEKU in Niedersachsen

- 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

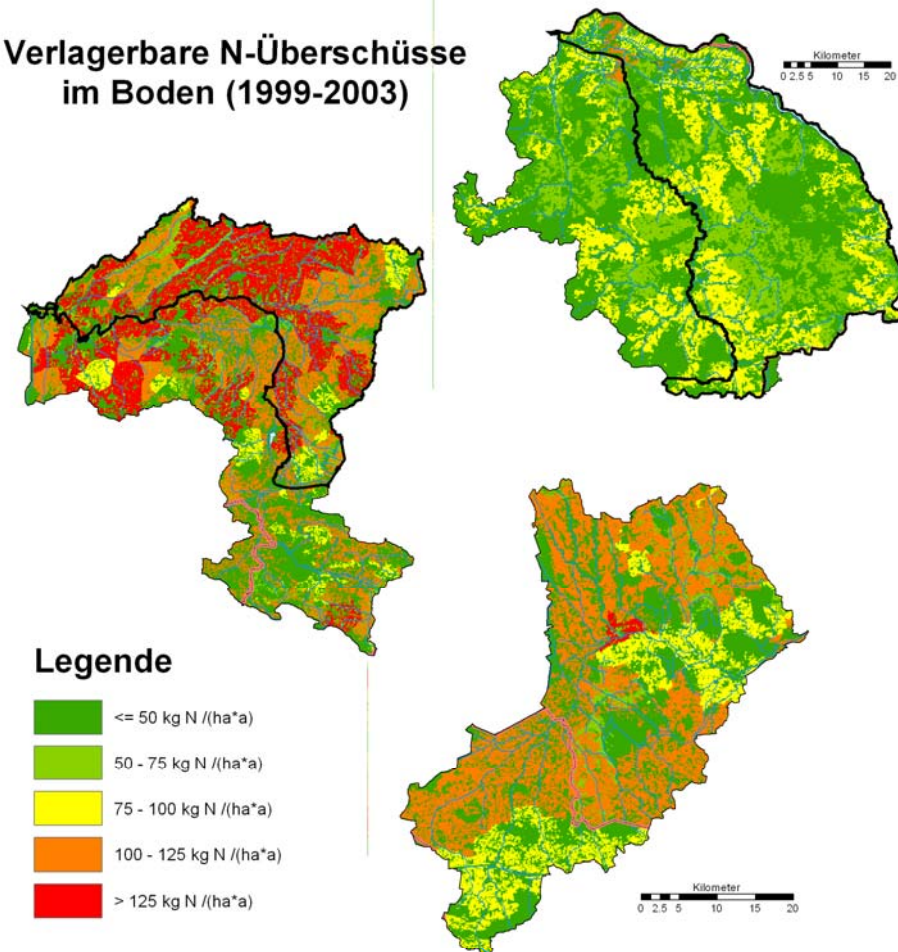
N-Modellanalysen mit den Modellen GROWA-DENUZ/WEKU



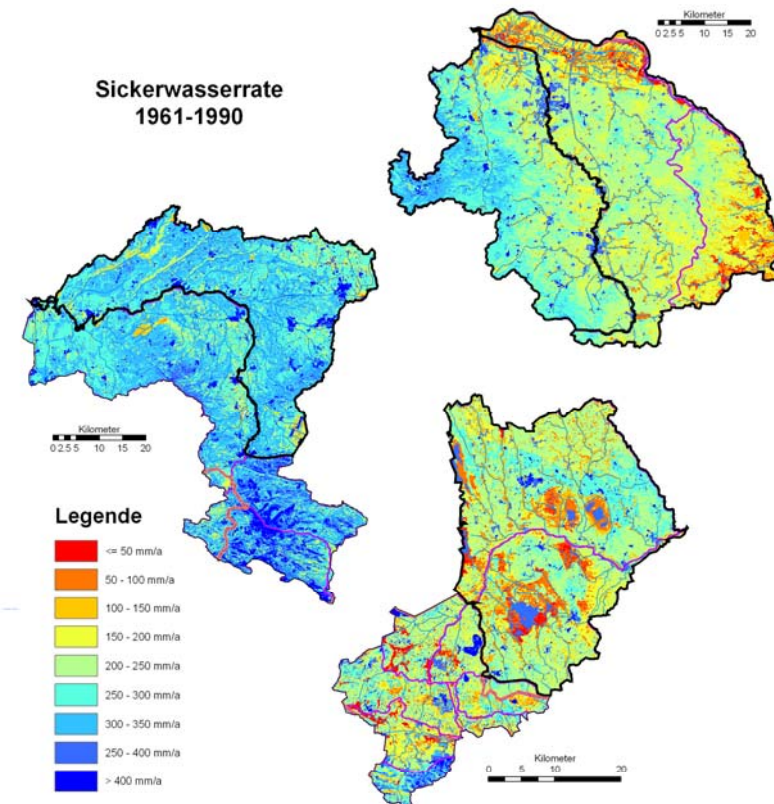
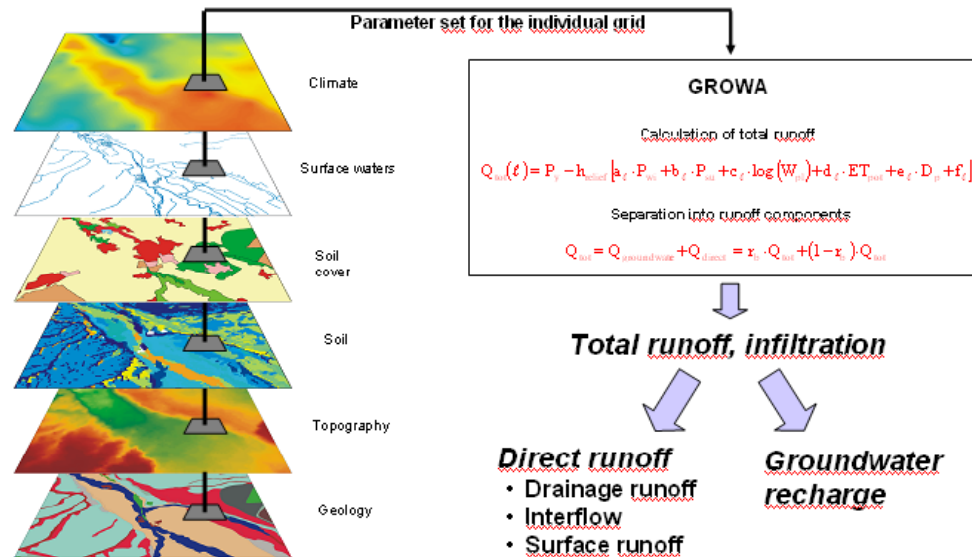
Verlagerbare N-Überschüsse im Boden

- 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)

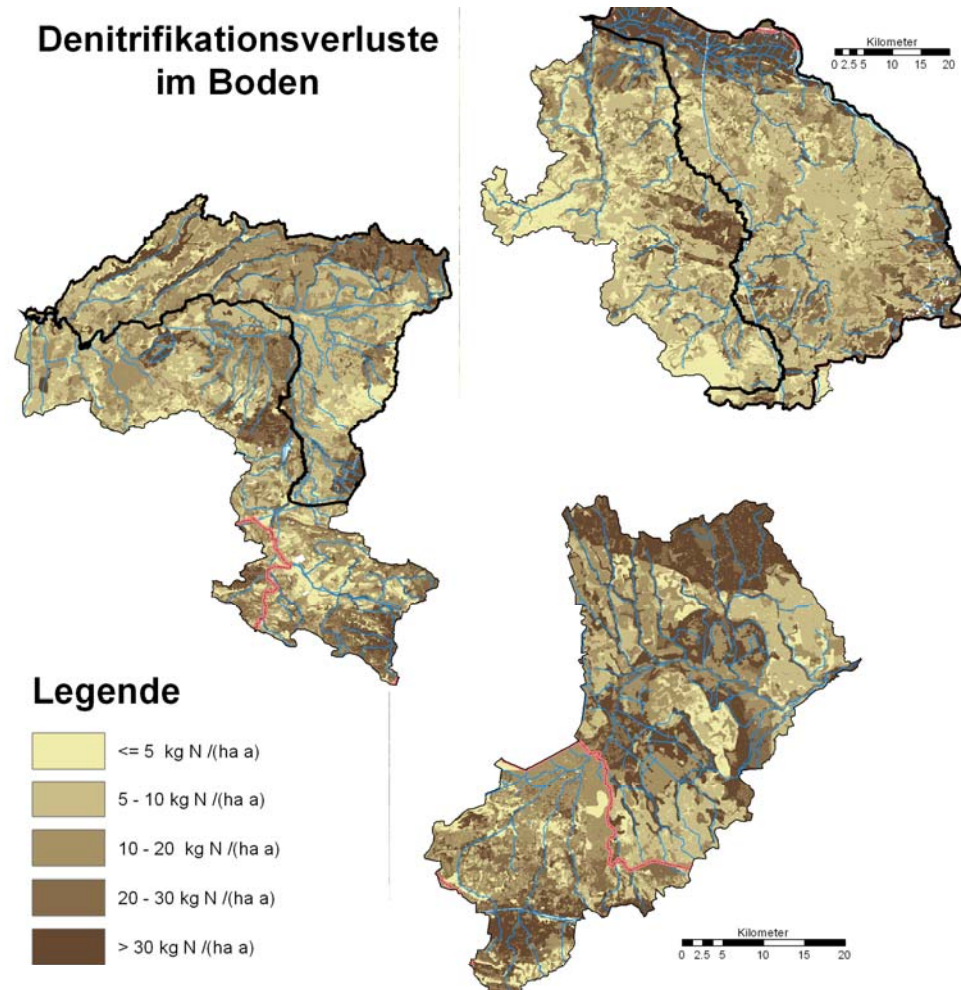
➤ Modellierung des Nitratabbaus im durchwurzelten Bodenbereich:

- 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) [\(LBEG, 2005\)](#))

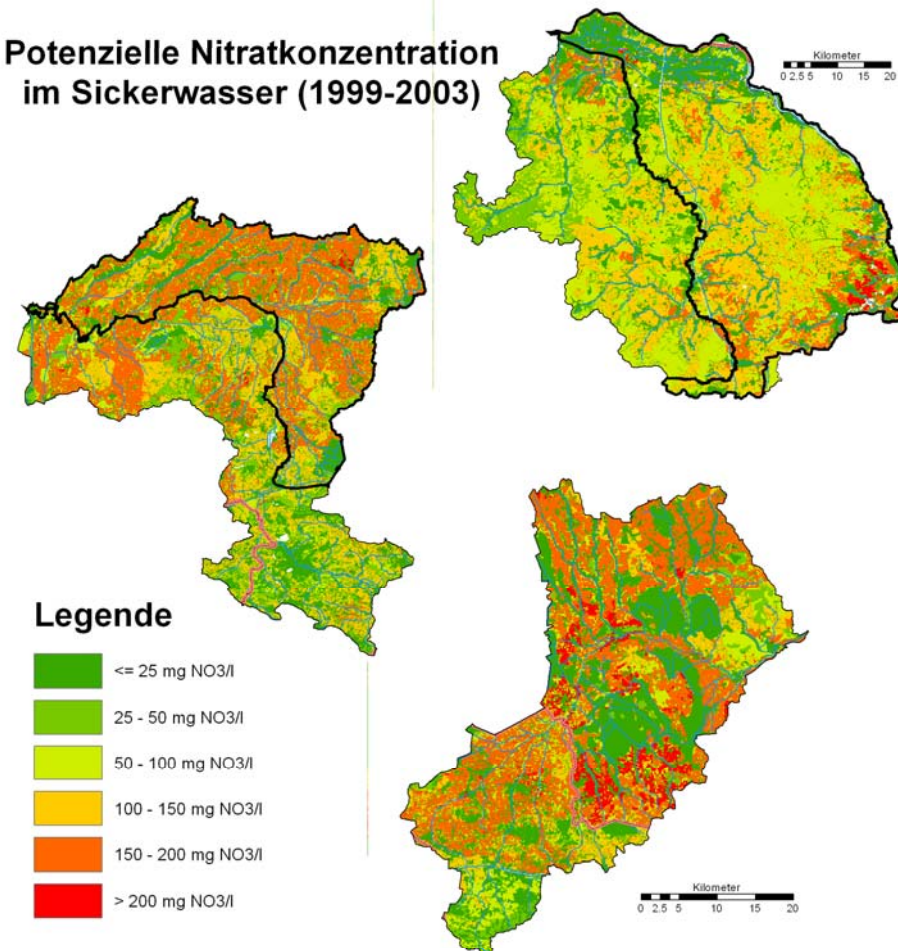
Denitrifikationsverluste im Boden



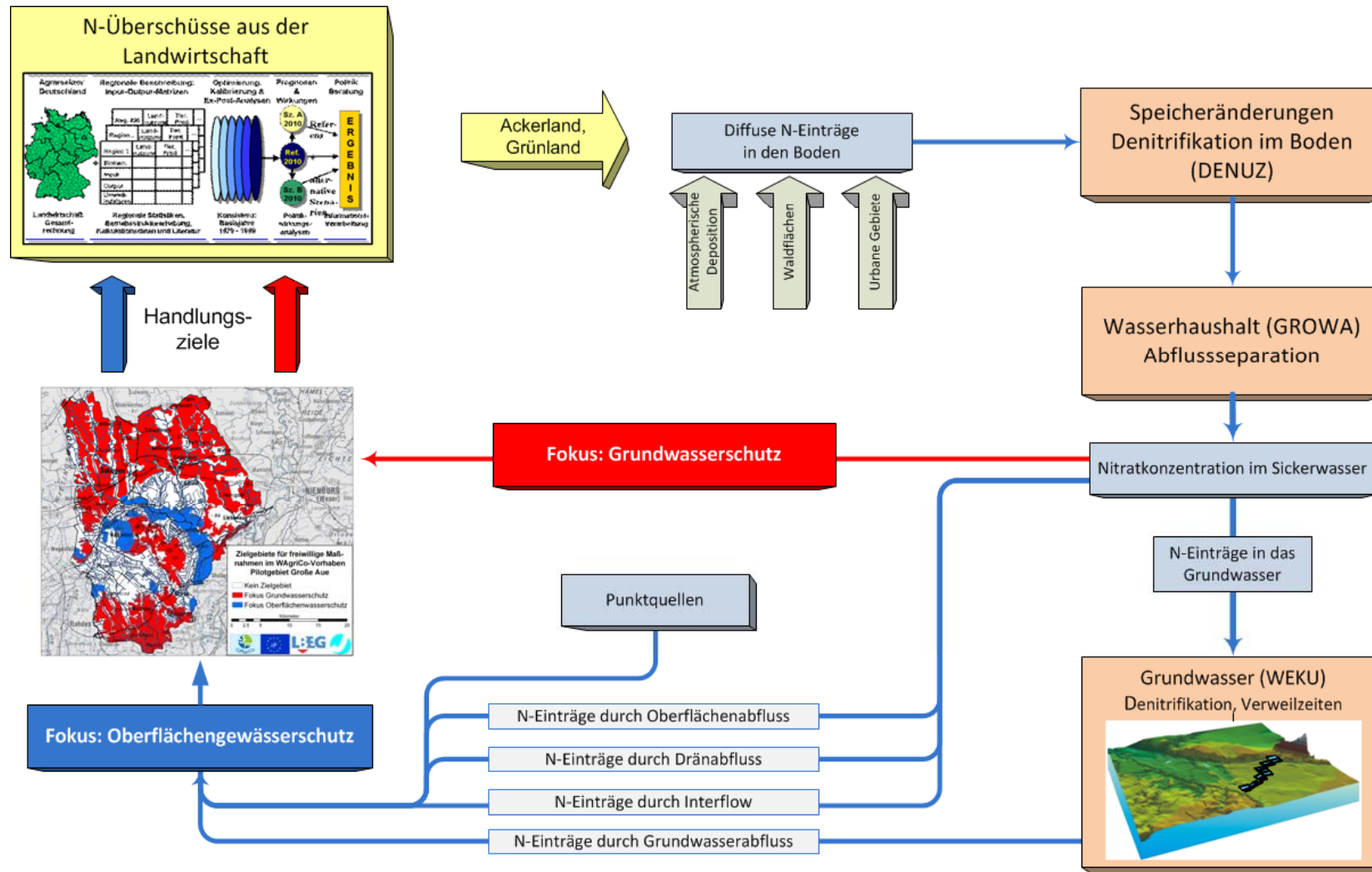
Nitratkonzentration im Sickerwasser

- Bei Konzentrationen über 50 mg NO₃/L muss langfristig mit Problemen mit der Grundwasserqualität gerechnet werden
- Zielgröße zur Ableitung von Bewirtschaftungszielen:
 - welcher N-Überschuss ist maximal zulässig, um eine vorgegebene NO₃-Konzentration zu erreichen (50 mg NO₃/L)?
 - Wie hoch ist ggf. der Minderungsbedarf?

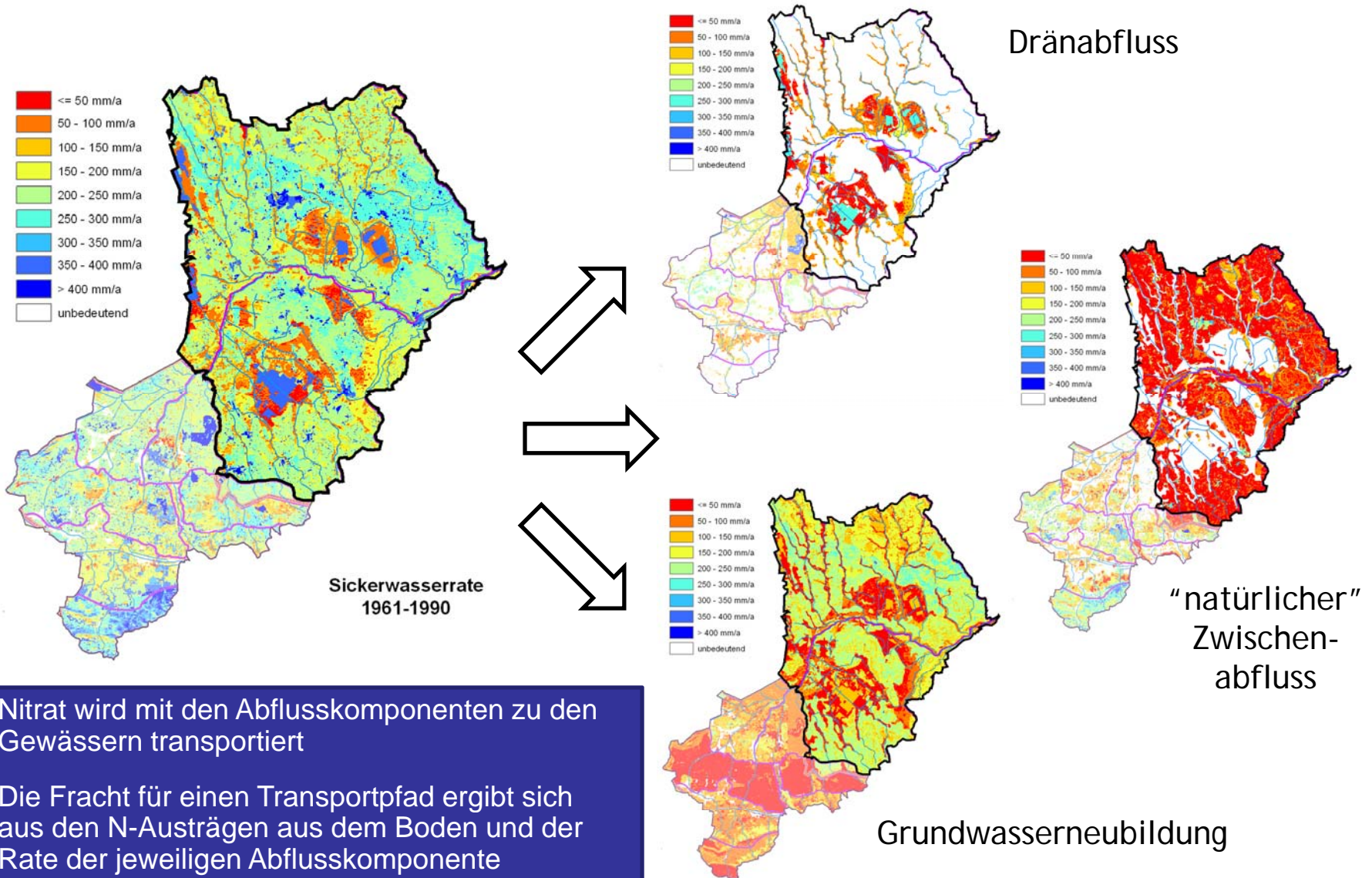
Potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser (1999-2003)



N-Modellanalysen mit den Modellen GROWA-DENUZ/WEKU



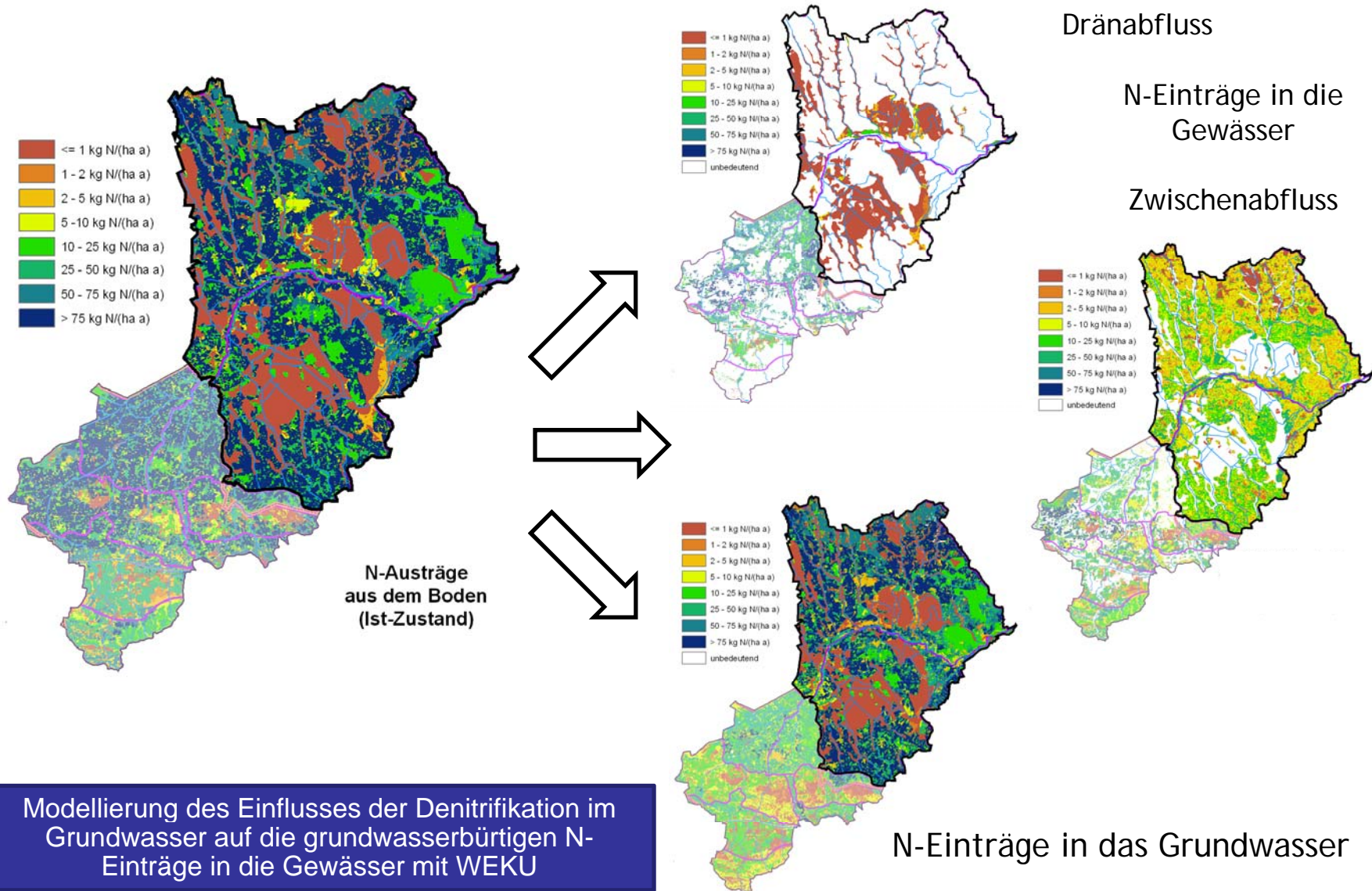
Abflusskomponenten nach GROWA



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



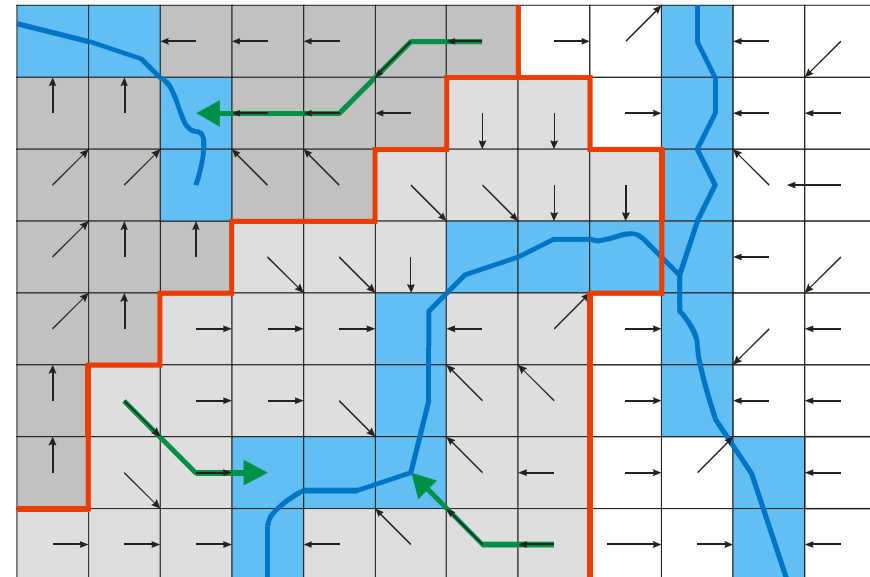
Modellierung des Einflusses der Denitrifikation im Grundwasser auf die grundwasserbürtigen N-Einträge in die Gewässer mit WEKU

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)

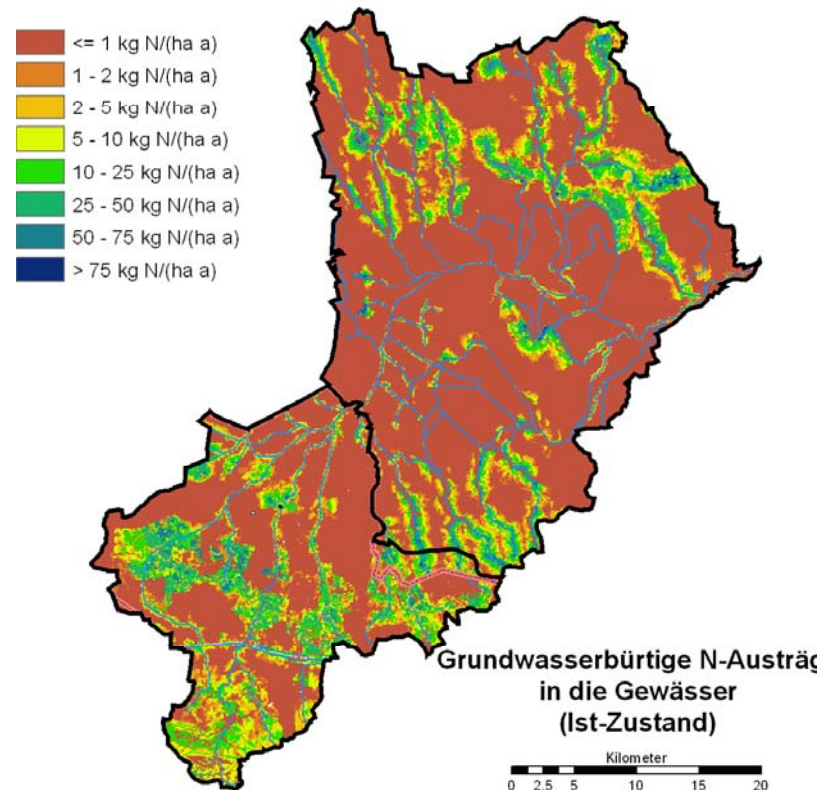
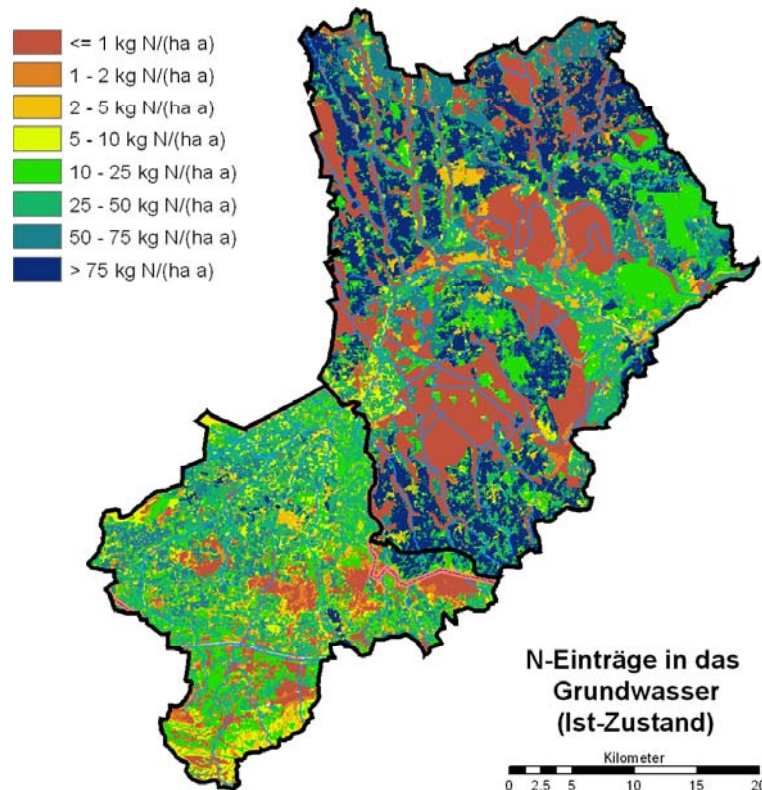
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-kt}$$

- $N(t)$: 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)

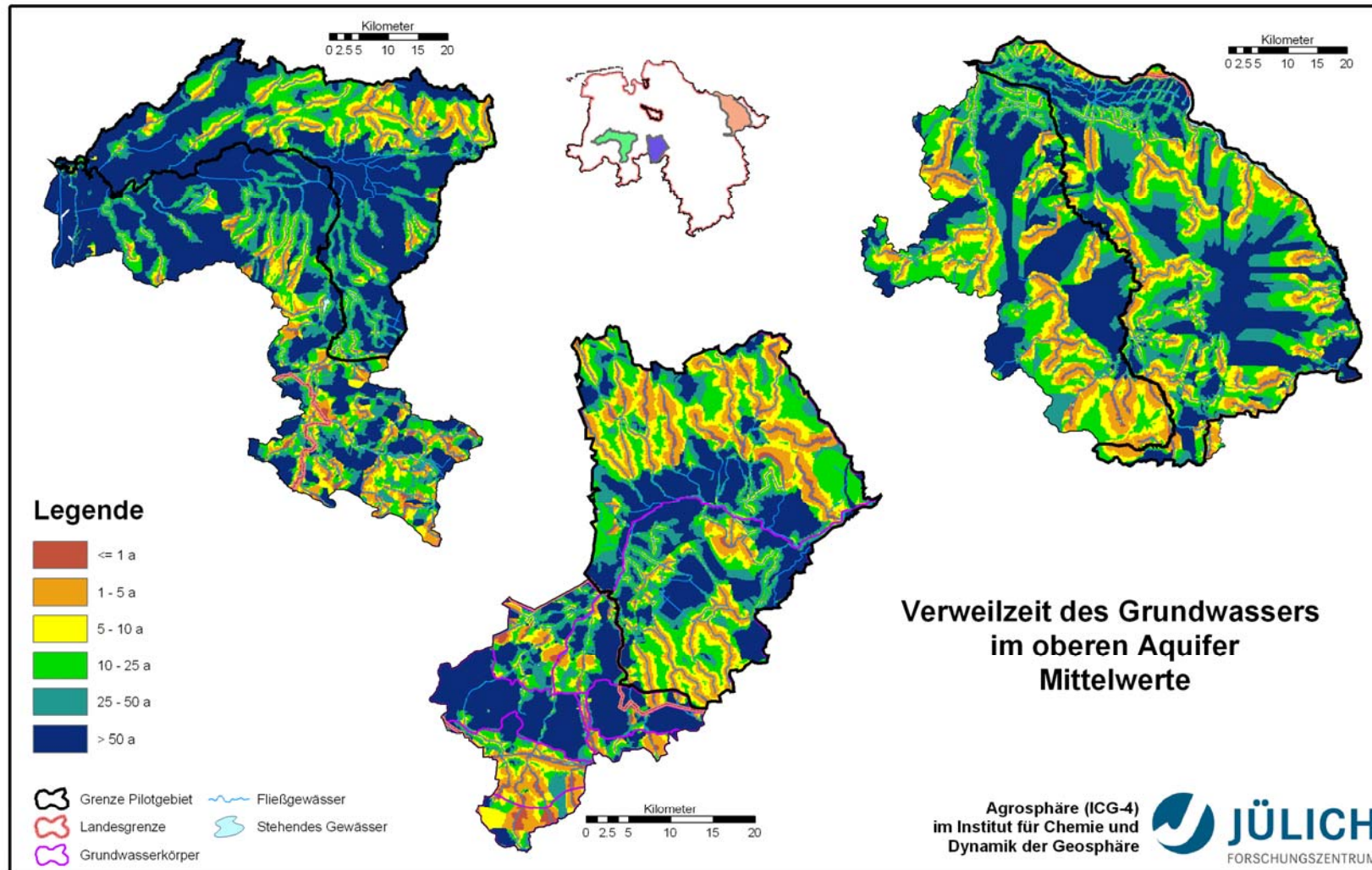


Parameter	Reduzierte Grundwässer	Oxidierte Grundwässer
Nitrat	< 1 mg NO ₃ /l	Je nach Eintrag
Eisen (II)	> 0,2 mg/ Fe (II)/l	< 0,2 mg/ Fe (II)/l
Mangan (II)	> 0,05 mg Mn (II)/l	< 0,05 mg Mn (II)/l
Sauerstoff	< 2 mg O ₂ /l	> 2 mg O ₂ /l

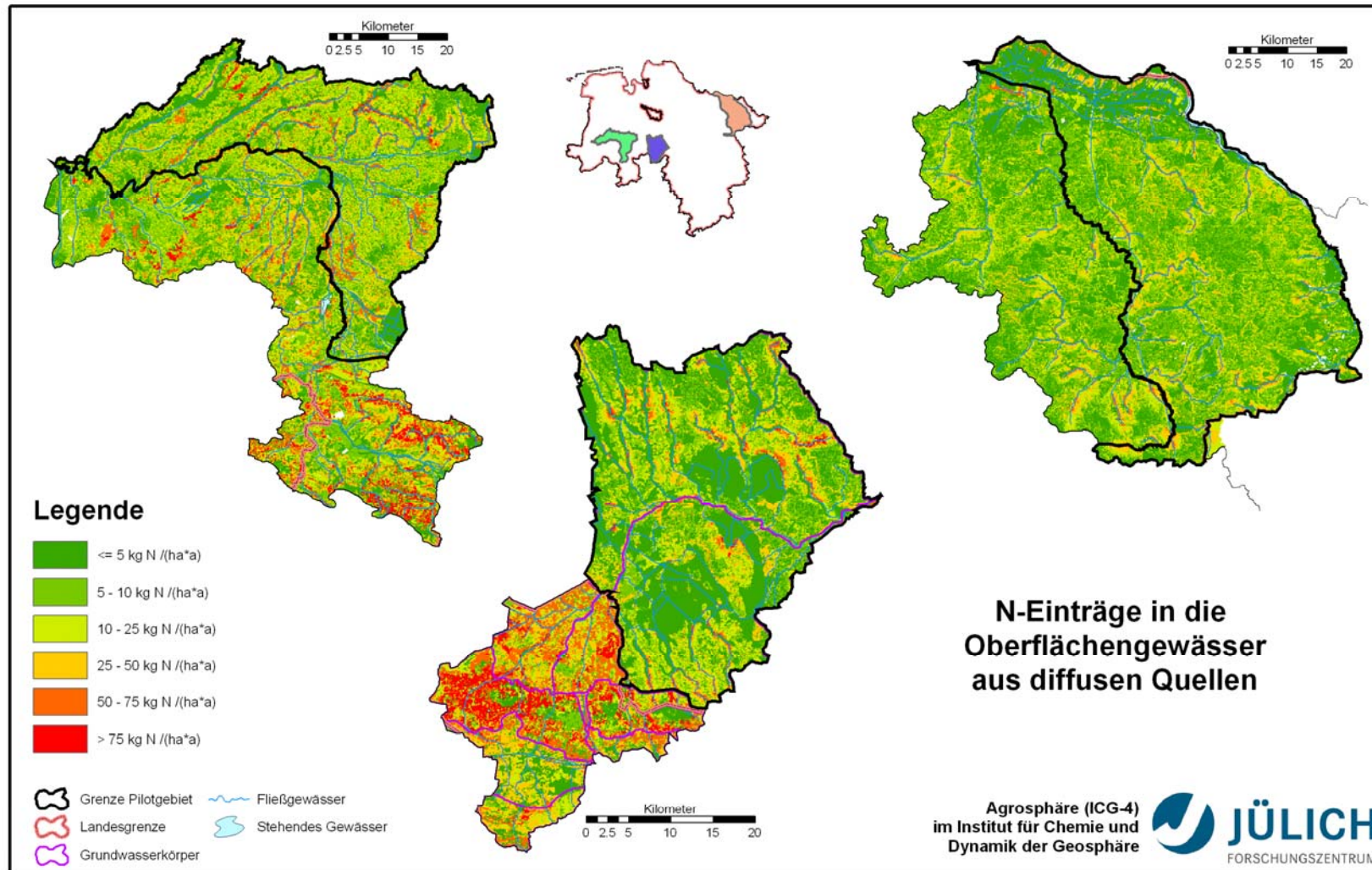
Denitrifikation im Aquifer



Mit WEKU modellierte Grundwasserverweilzeiten



N-Austräge in die Oberflächengewässer aus diffusen Quellen

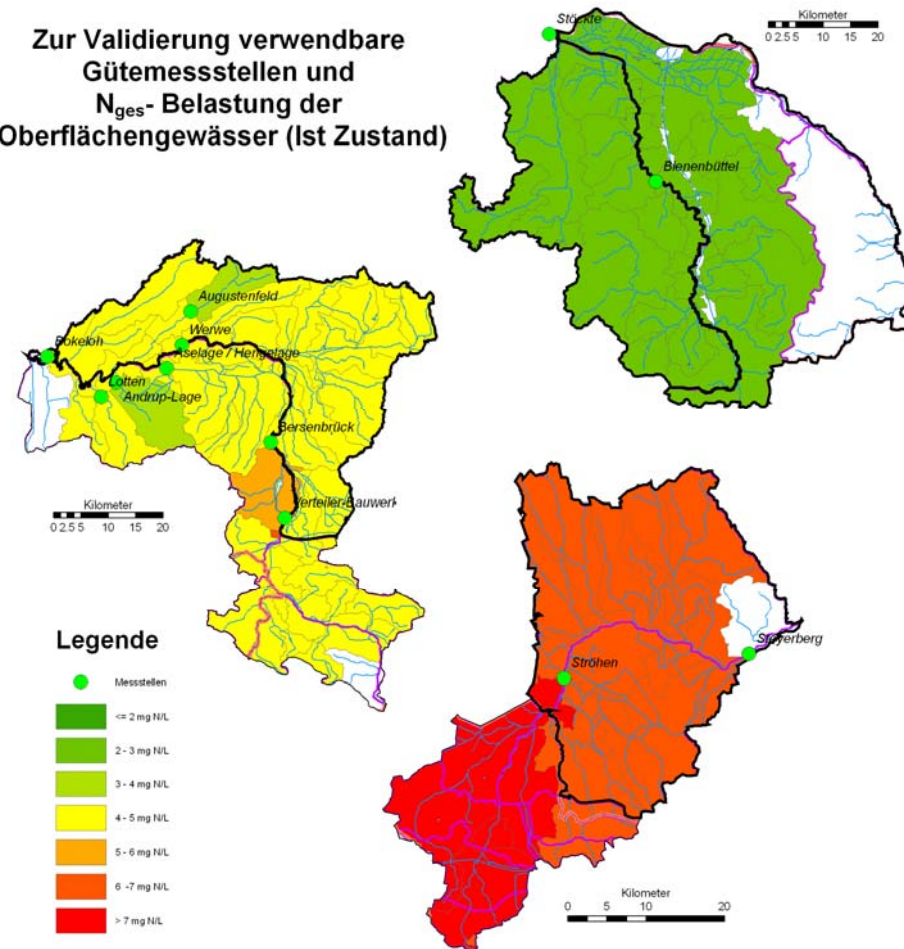


Validierung der Modellergebnisse an beobachteten N-Konzentrationen

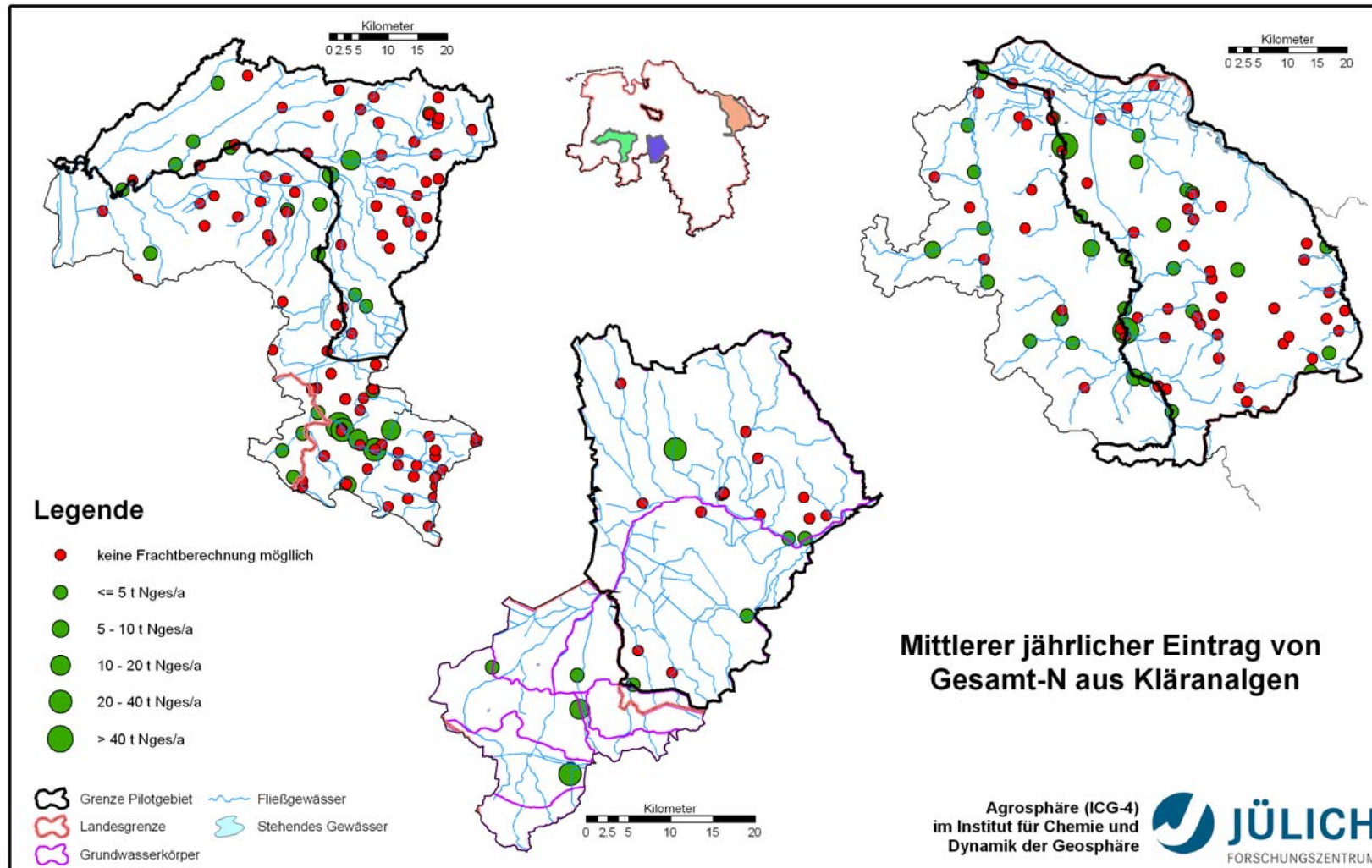
- Berechnete Konzentrationen setzen sich zusammen aus:
 - Diffusen N-Einträge
 - Punktförmige N-Einträge
 - N-Rückhalt und N-Abbau im Gewässer
 - Berechneter Gesamtabfluss

- 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

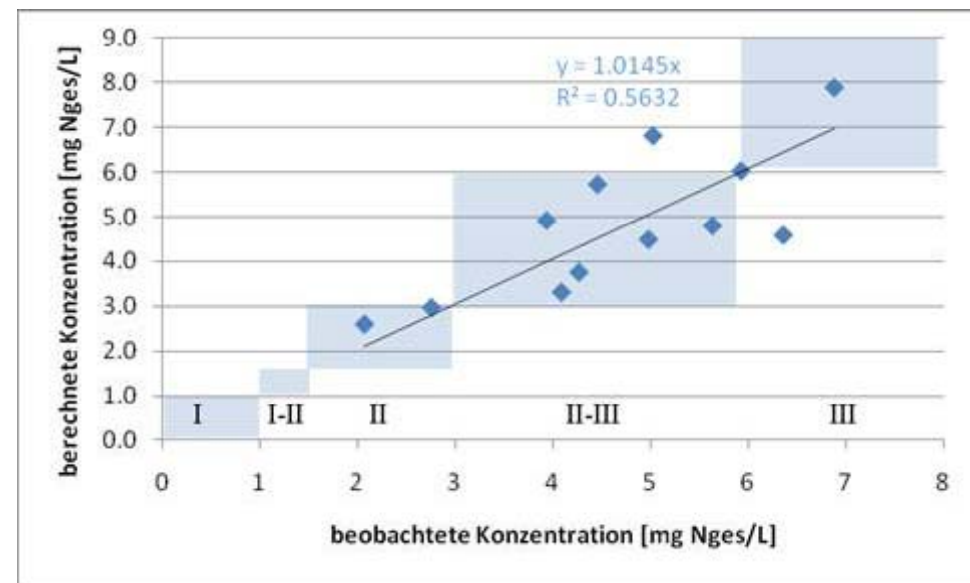


Validierung der Modellergebnisse an beobachteten N-Konzentrationen

➤ Berechnete Konzentrationen setzen sich zusammen aus:

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

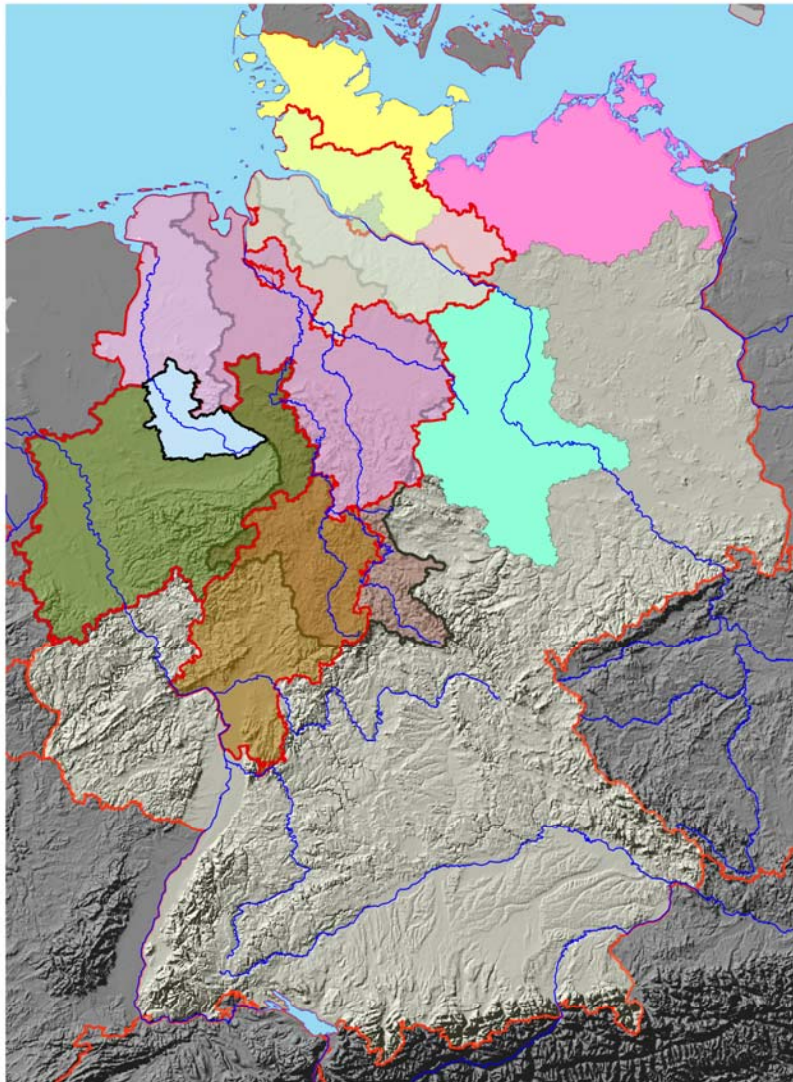
➤ **Sehr gute Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Werten**



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

Einstufung der Denitrifikationsbedingungen im Boden anhand

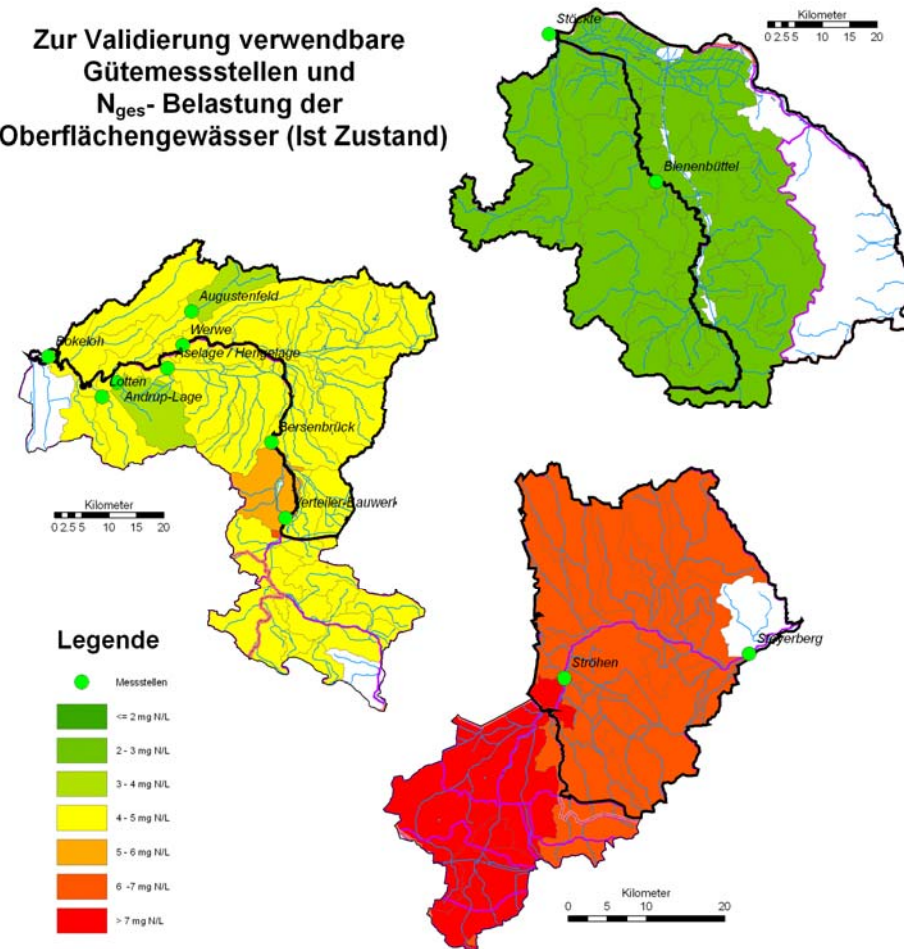
- der Wassersättigung,
- der geologischen Ausgangssubstrate
- der Bodentypen



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

