

Nährstoffeinträge in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer Mecklenburg-Vorpommerns

Ralf Kunkel, Luise Keller, Petra Kuhr, Björn Tetzlaff, Frank Wendland

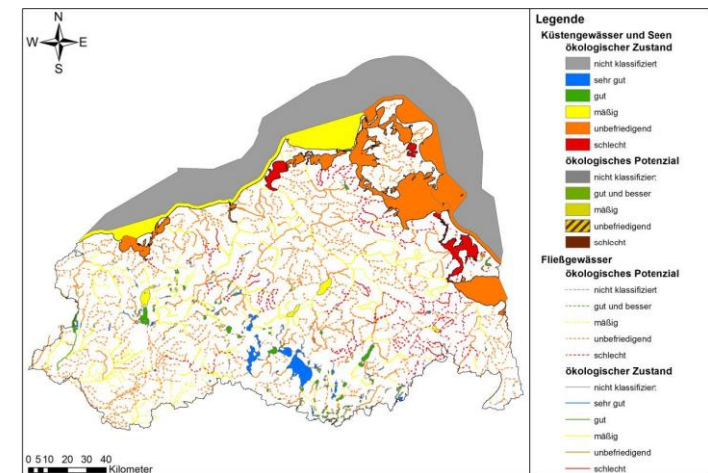
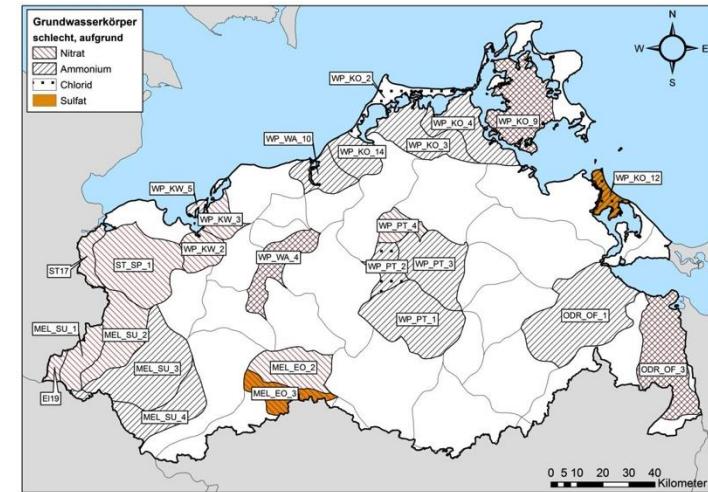
Zweites Regionales Wasserforum Vorpommern, 16.11.2016, Greifswald

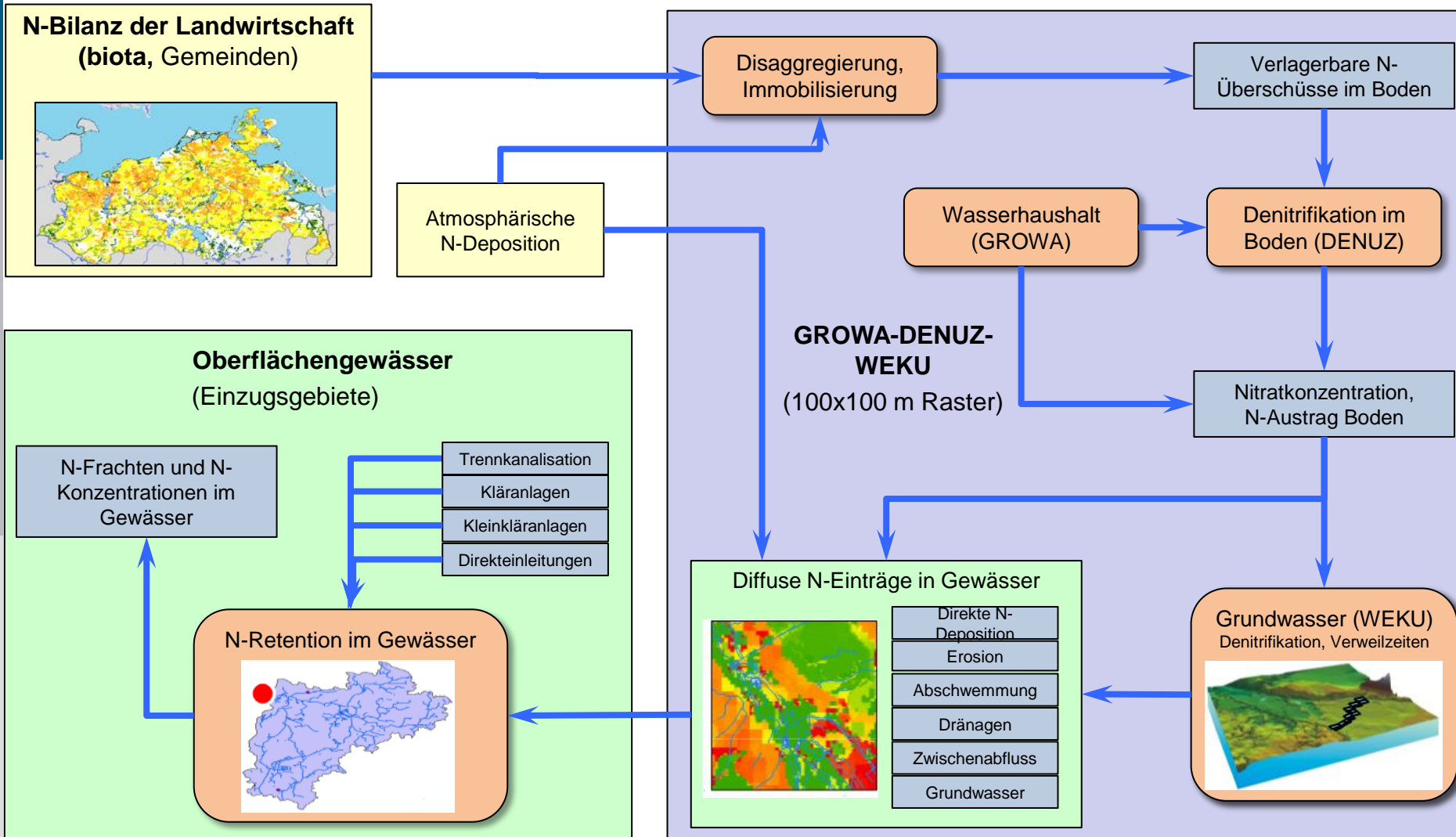
Ausgangssituation und Zielsetzung

- Flächendeckende, räumlich hoch aufgelöste und eintragspfadspezifische Quantifizierung der N- und P-Einträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer
- Identifizierung von Belastungsschwerpunkten
- Identifizierung des Minderungsbedarfs und prioritärer Bereiche für die Durchführung von Maßnahmen zur Reduzierung der N- und P-Einträge
- Szenario-Analysen zur Erreichung von Umweltqualitätszielen für den Schutz des Grundwassers und den Meeresschutz

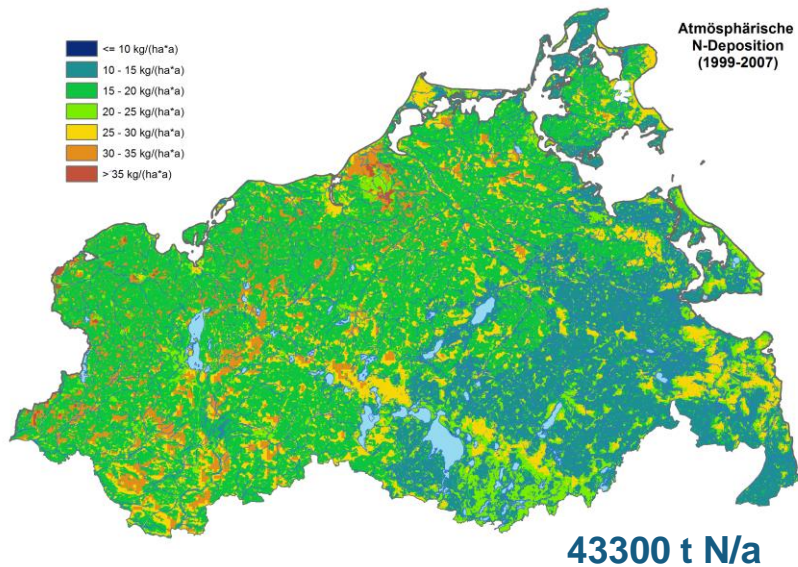
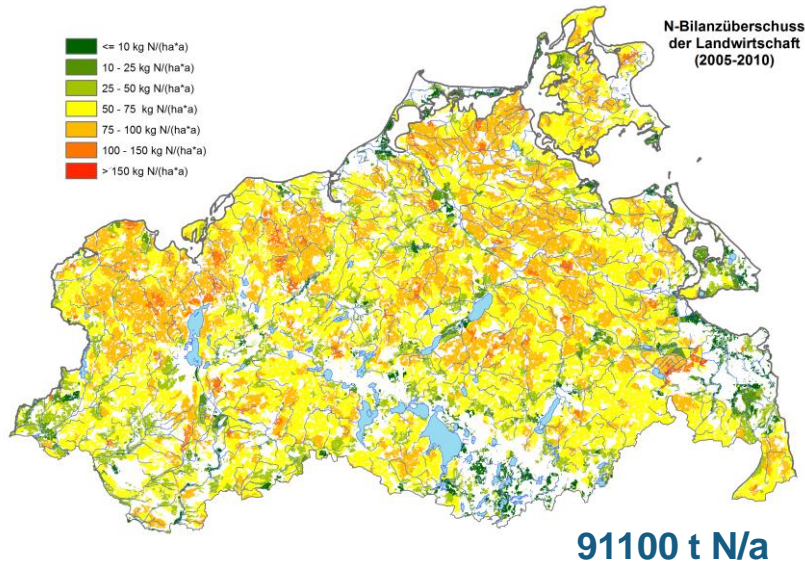
Forschungsvorhaben gefördert vom Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG) 2010-2015

Teil des landesweiten Konzeptes zur Minderung der Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser

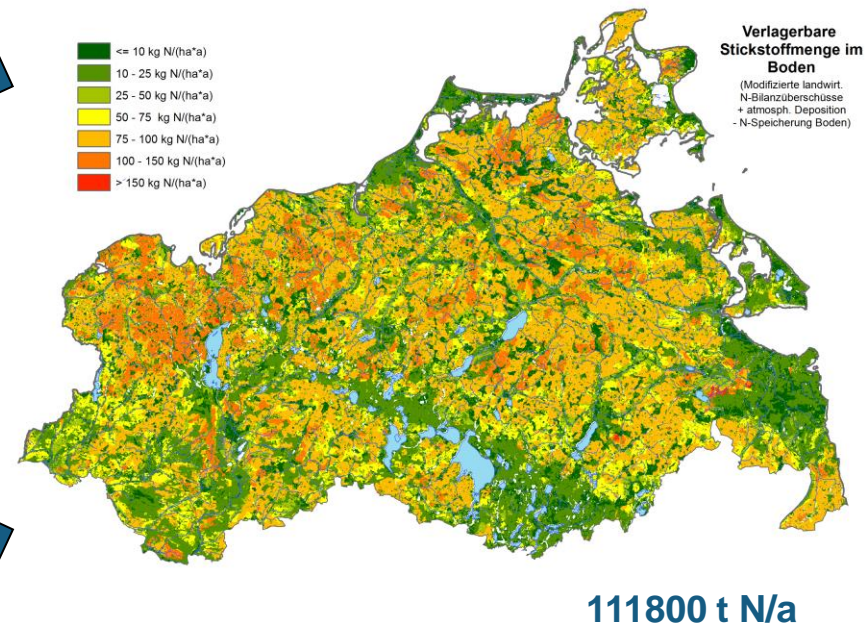
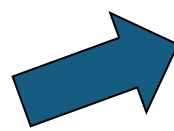




N-Einträge in den Boden



**N-Bilanzüberschüsse
+ N-deposition
- N-Immobilisierung**



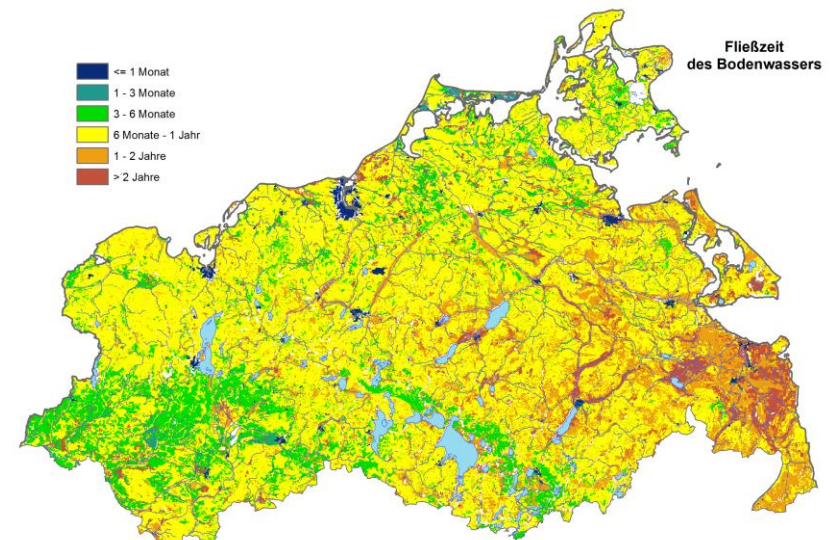
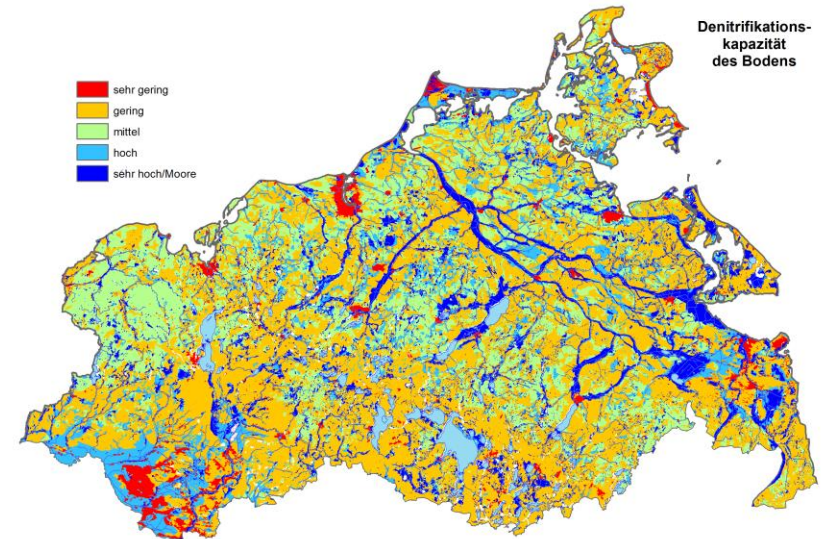
Denitrifikation im Boden

(DENUZ – Modell, Kunkel & Wendland, 2004)

- Zielgröße: N-Austräge aus dem Boden
- Modellierung des Nitratabbaus im Boden durch eine Michaelis-Menten Kinetik:

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

- Abhängigkeiten:
 - Verlagerbare N-Einträge $N(t_0)$
 - Denitrifikationsbedingungen im Boden (D_{\max} , k)
 - Fließzeit des Bodenwassers (t)



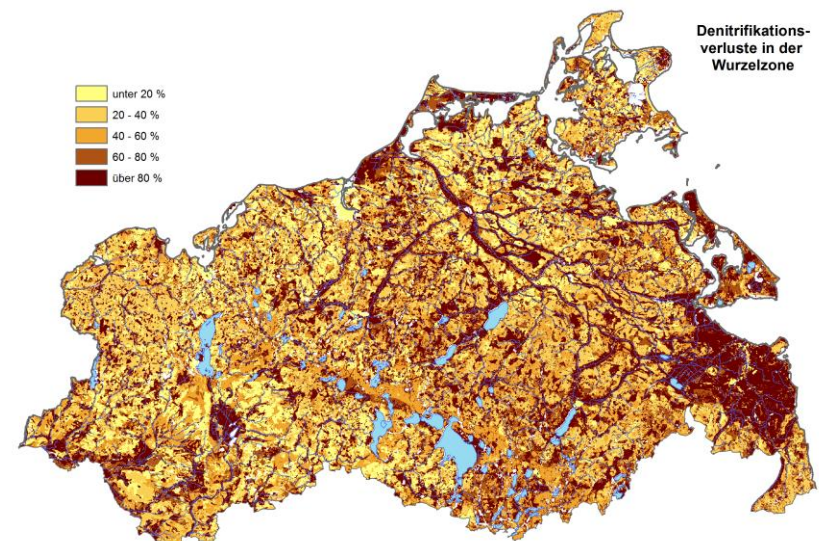
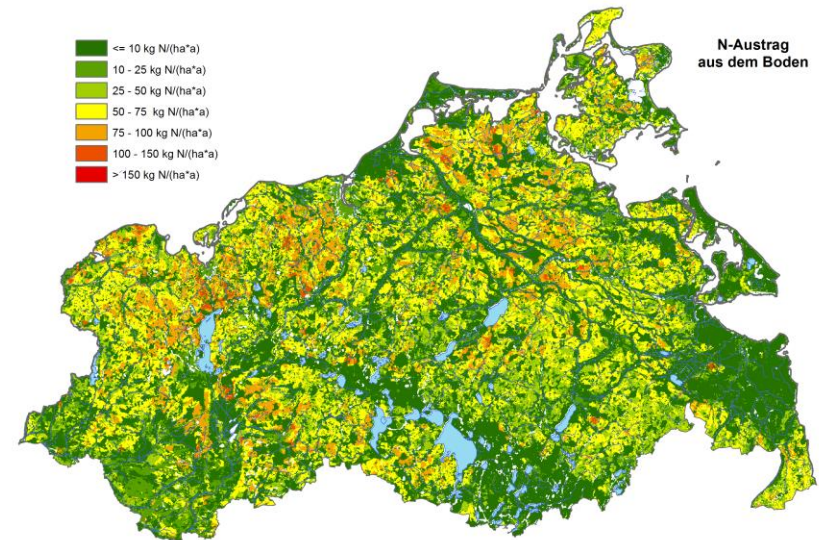
Denitrifikation im Boden

(DENUZ – Modell, Kunkel & Wendland, 2004)

- Zielgröße: N-Austräge aus dem Boden
- Modellierung des Nitratabbaus im Boden durch eine Michaelis-Menten Kinetik:

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

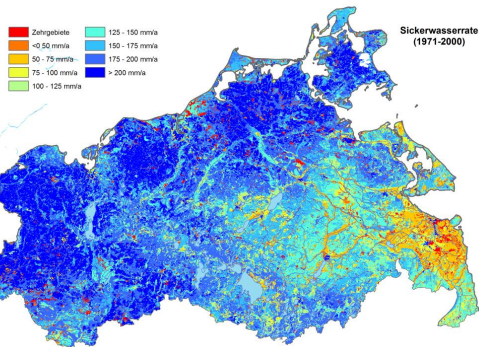
- Abhängigkeiten:
 - Verlagerbare N-Einträge $N(t_0)$
 - Denitrifikationsbedingungen im Boden (D_{\max} , k)
 - Fließzeit des Bodenwassers (t)
- Zum Teil hohe Denitrifikationsverluste im Boden



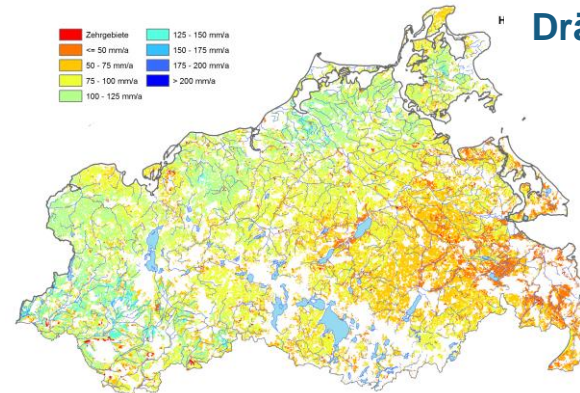
Separation der Abflusskomponenten

GROWA-Modell, Kunkel & Wendland, 2002

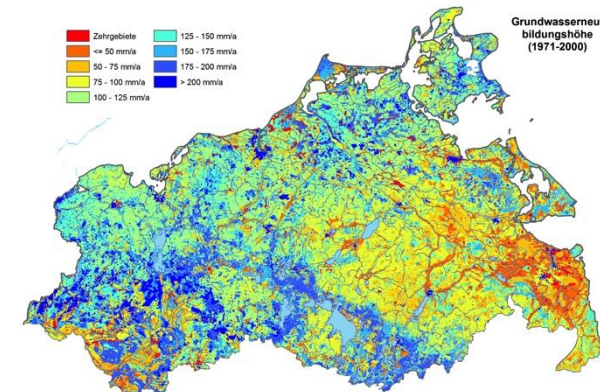
Sickerwasser



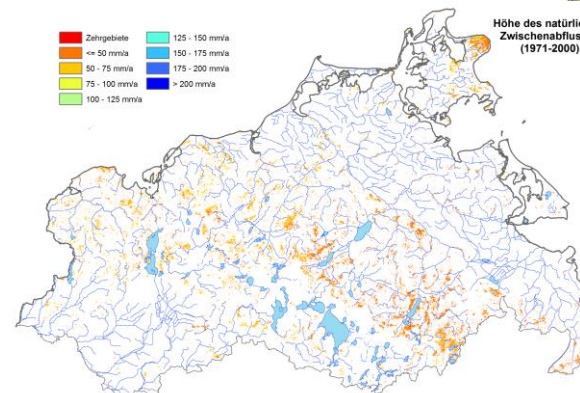
Dränagen



Grundwasserneubildung



Höhe des natürlichen Zwischenabflusses

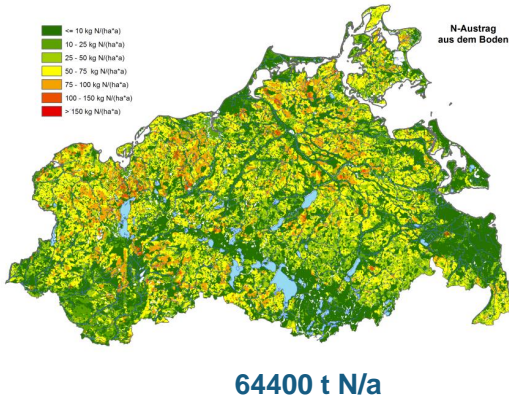


Zwischenabfluss

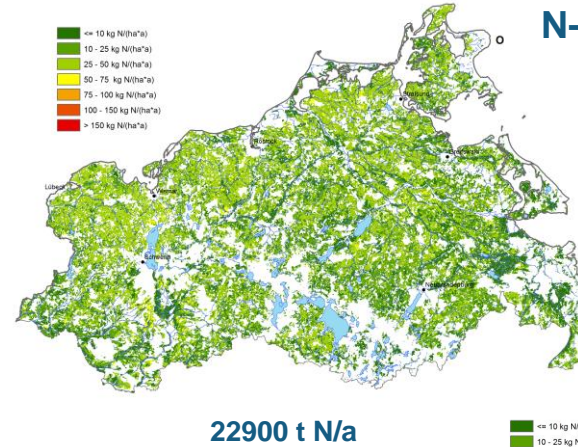
Nitrat wird mit den Abflusskomponenten zu den Oberflächengewässern transportiert

Diffuse N-Einträge in die Gewässer

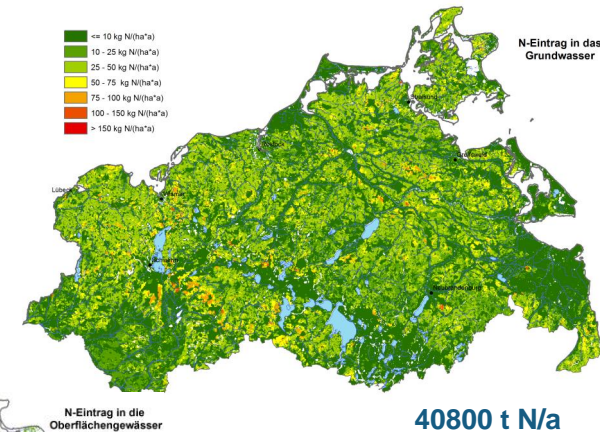
N-Austrag aus dem Boden



N-Eintrag über Dränagen



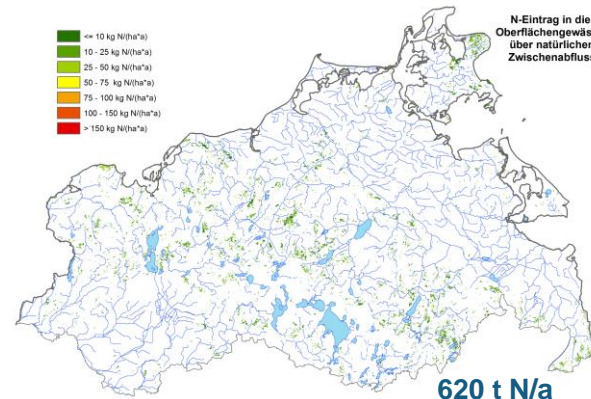
N-Eintrag in das Grundwasser



40800 t N/a

Nitrat wird mit den Abflusskomponenten zu den Oberflächengewässern transportiert

N-Eintrag in die Oberflächengewässer über natürlichen Zwischenabfluss



N-Eintrag über Zwischenabfluss

620 t N/a

Denitrifikation im Grundwasser

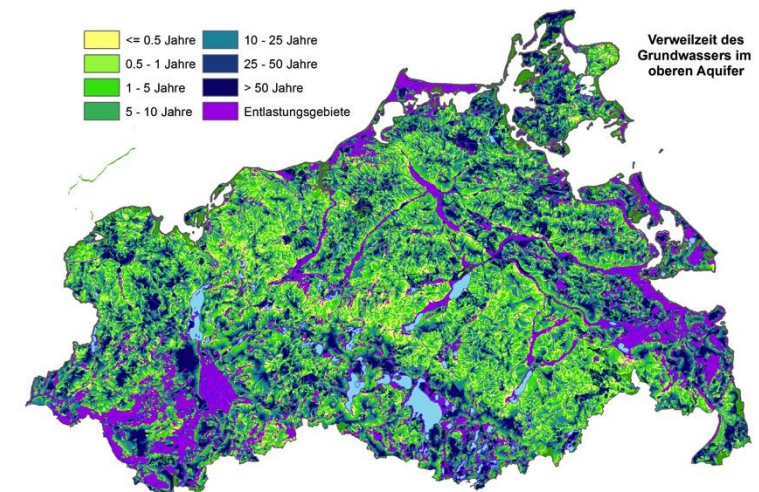
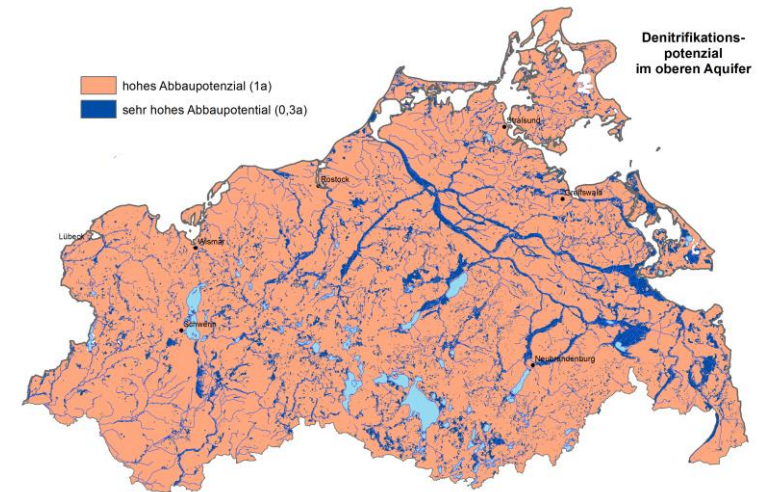
(WEKU-Modell, Kunkel & Wendland, 1997)

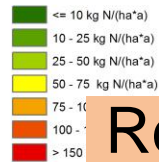
- 2D-Modell zur Abschätzung der Fließgeschwindigkeiten und Verweilzeiten im Grundwasser auf Basis des Darcy'schen Gesetzes
- Modellierung der Denitrifikation im Grundwasser durch:

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

- $N(t)$: N-Eintrag in ein Gewässer nach der Verweilzeit t
- N_0 : N-Eintrag in das Grundwasser
- t : Verweilzeiten des Grundwassers
- k : Abbaurate (Halbwertszeit: 0.3 - 1 a)

- Typische Verweilzeiten: 0.5 - 50 a





N-Eintrag in
das Grundwasser

Reduktion des Nitrateintrags ins Grundwasser durch Denitrifikation bedeutet keine Entwarnung im Hinblick auf den Grundwasserschutz:

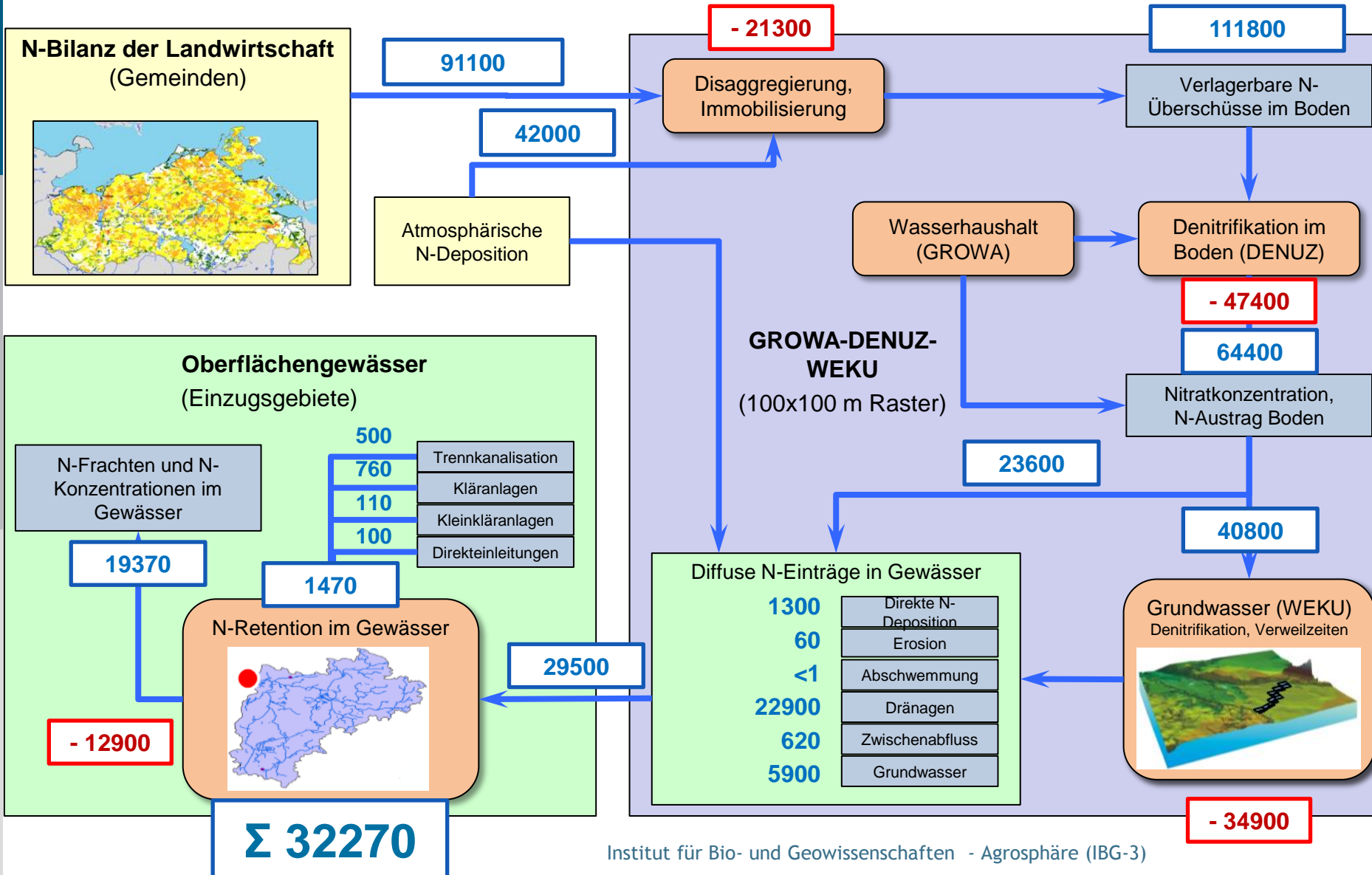
- Irreversibler Verbrauch von Pyrit / org. Kohlenstoff
 - “Nitratdurchbruch” vor allem bei gering mächtigen Aquiferen
- Sekundärprobleme für Wasserwirtschaft
 - Brunnenverockerung
 - Arsen-, Nickel- und Uranfreisetzung
 - Anstieg der Sulfatkonzentrationen
- N-Gehalte in Brunnen können viel höher sein, da die Fließstrecken und Fließzeiten im Grundwasserleiter kürzer sind.

rtiger
die

ein
We

N-Modellierung mit GROWA-DENUZ-WEKU

(alle Werte in t N/a)



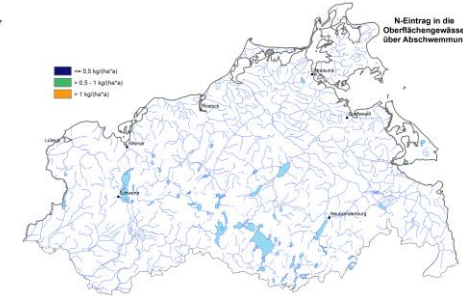
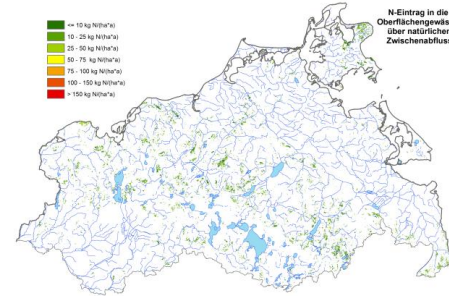
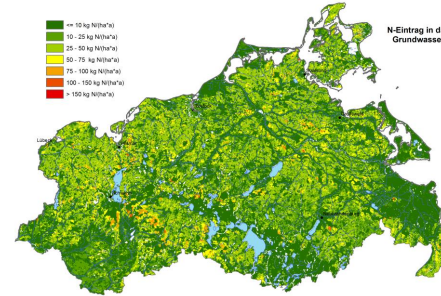
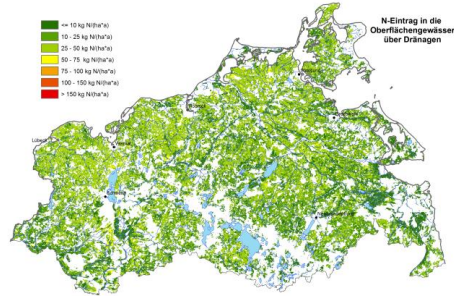
Diffuse and punktförmige N-Einträge in die Gewässer

Dränagen: 22900 t N/a

Grundwasser: 5900 t N/a

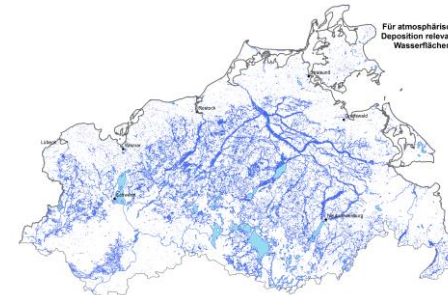
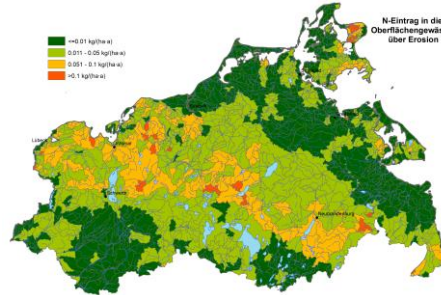
Zwischenabfluss: 620 t N/a

Abschwemmung: 1 t N/a



Erosion: 60 t N/a

N-Deposition: 1300 t N/a

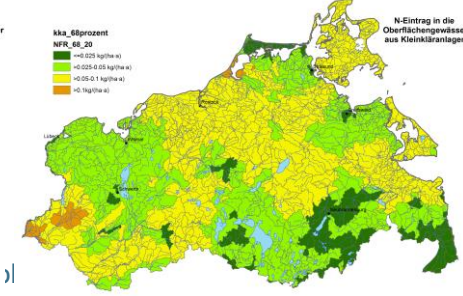
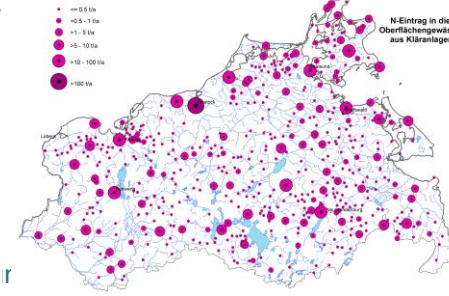
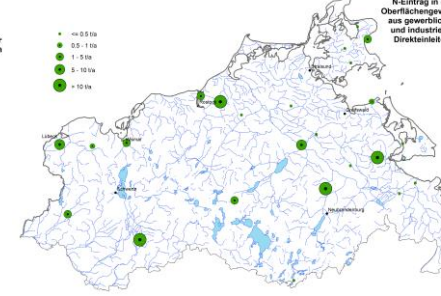


Trennkanalisation: 500 t N/a

Industrie: 100 t N/a

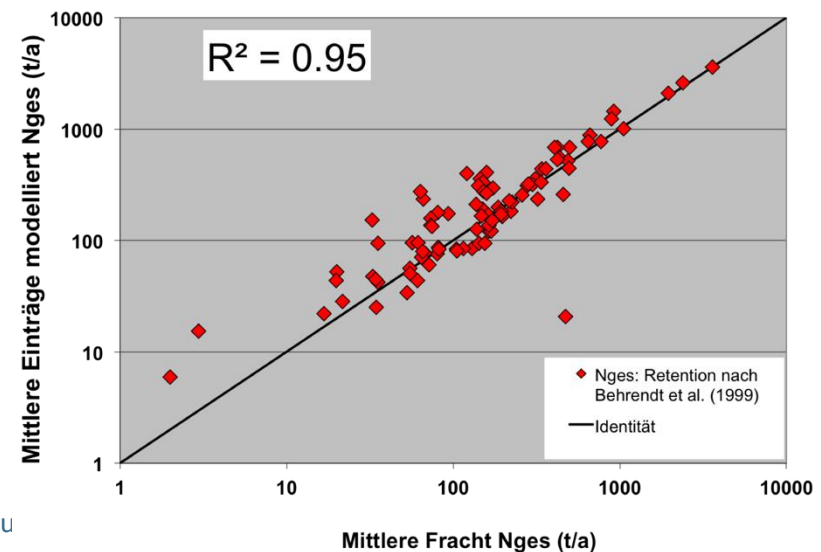
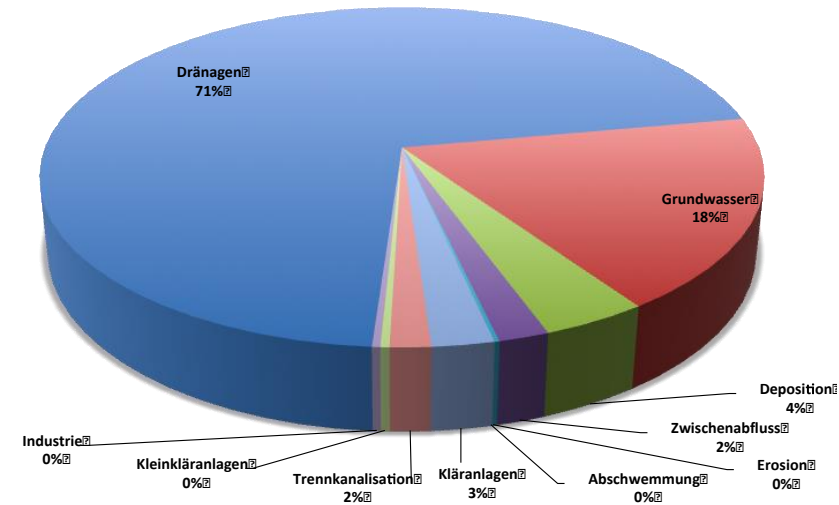
Kläranlagen 760 t N/a

Kleinkläranlagen 110 t N/a



Ergebnisse der Ist-Zustandsanalyse

- Berücksichtigung von 6 diffusen und 4 punktförmigen Eintragspfaden
- Einträge aus diffusen Quellen überwiegen (94 %)
- Validierung der Modellergebnisse an Beobachtungsdaten
 - Abfluss (-komponenten)
 - N-Konzentrationen im Sickerwasser und Gewässer
- Sind diese N-Einträge tolerierbar?
- Vergleich mit Umweltzielen für das Grundwasser und die Randmeere



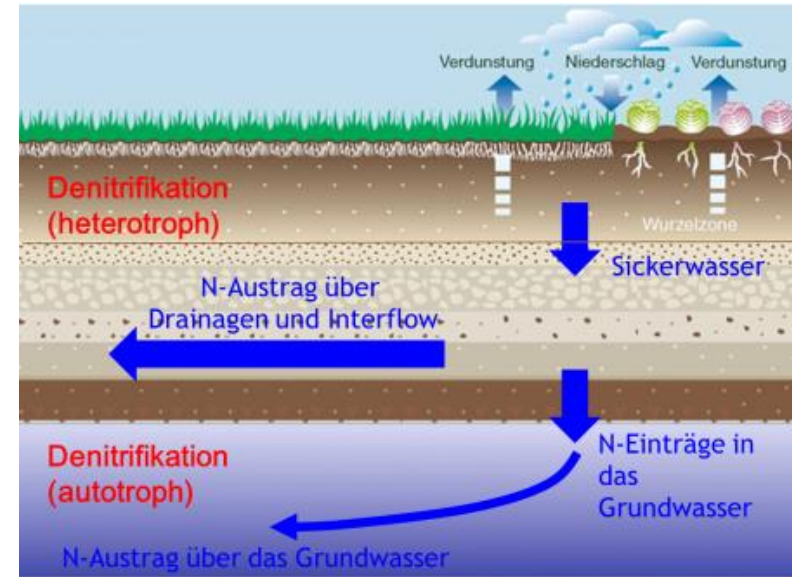
Schutzziel Grundwasser

Schutzziel Grundwasser:

Mittlere langjährige Nitratkonzentration im Sickerwasser von höchstens 50 mg NO₃/L* unter jeder Flächeneinheit

Hierbei ist sichergestellt, dass der EU-Schwellenwert für Nitrat für das Grundwasser in allen Fällen eingehalten werden kann, d.h.

- Auch bei oxidierten Grundwasserleitern ohne Denitrifikationspotential
- Auch nach Verbrauch der Denitrifikationskapazität reduzierter Aquifere.

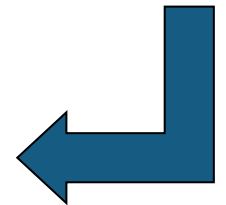
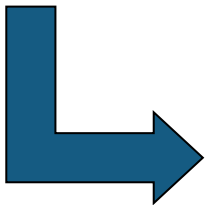
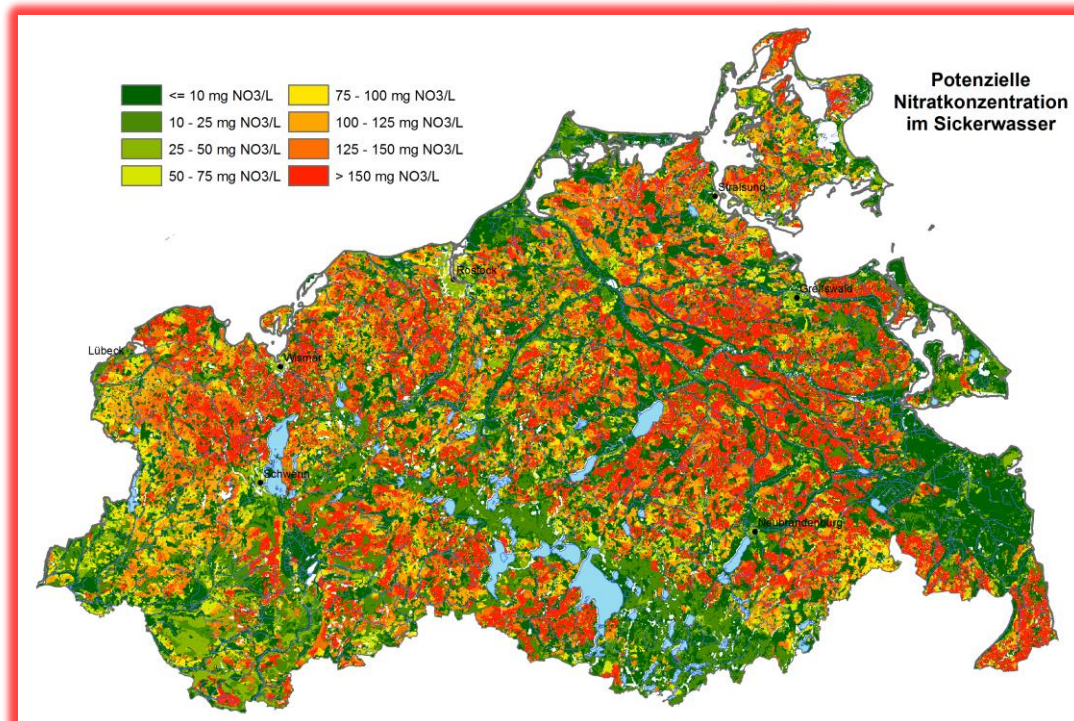
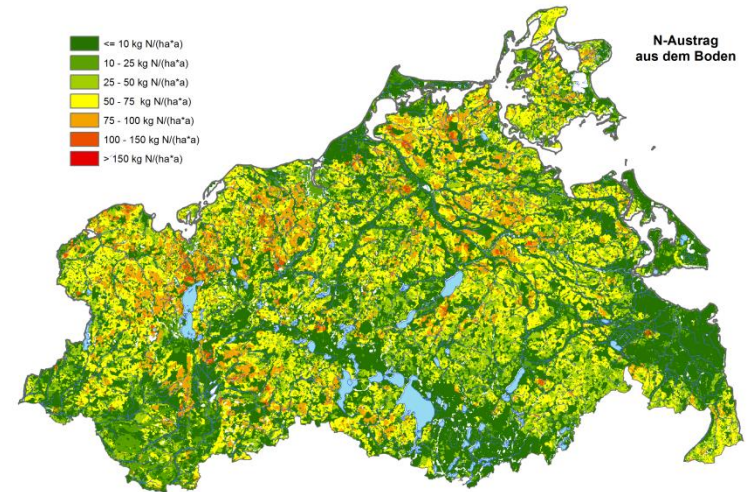
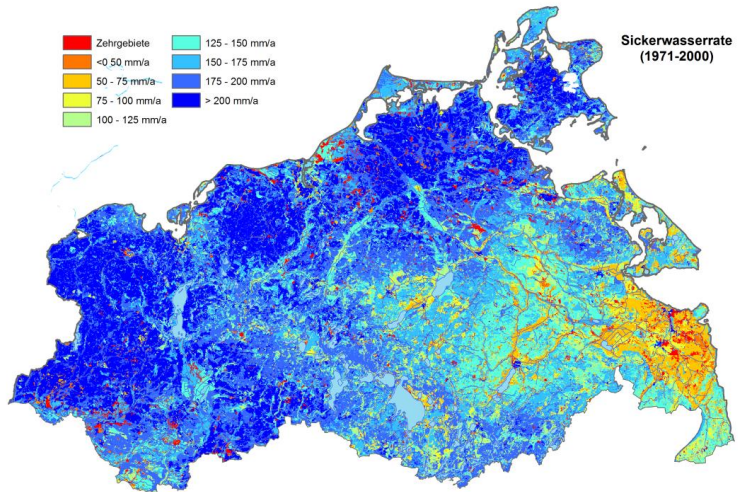


Berechnung:

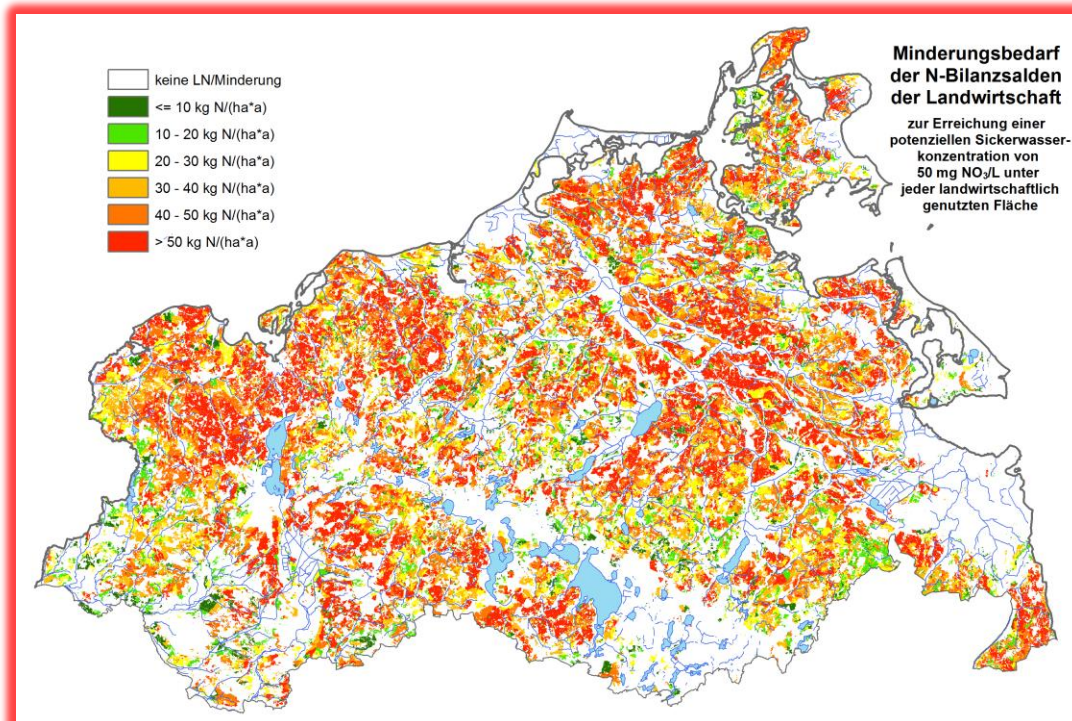
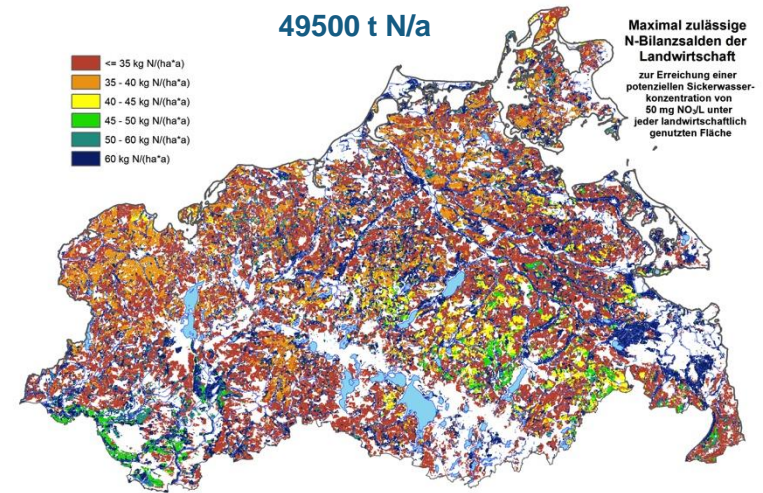
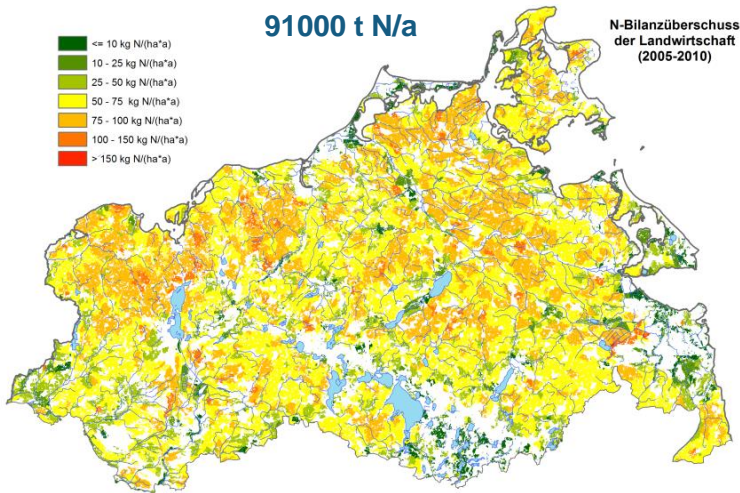
$$c_{NO_3} \frac{mg NO_3}{L} = 443 \times \frac{\text{N-Austrag aus dem Boden} \frac{kg N}{ha \times a}}{\text{Sickerwasserrate} \frac{mm}{a}}$$

* LAWA-Arbeitshilfe 2013b

Nitratkonzentration im Sickerwasser



N-Minderungsbedarf für das Grundwasser



**Minderungsbedarf:
41500 t N/a**

Umweltziel für den Schutz der Randmeere

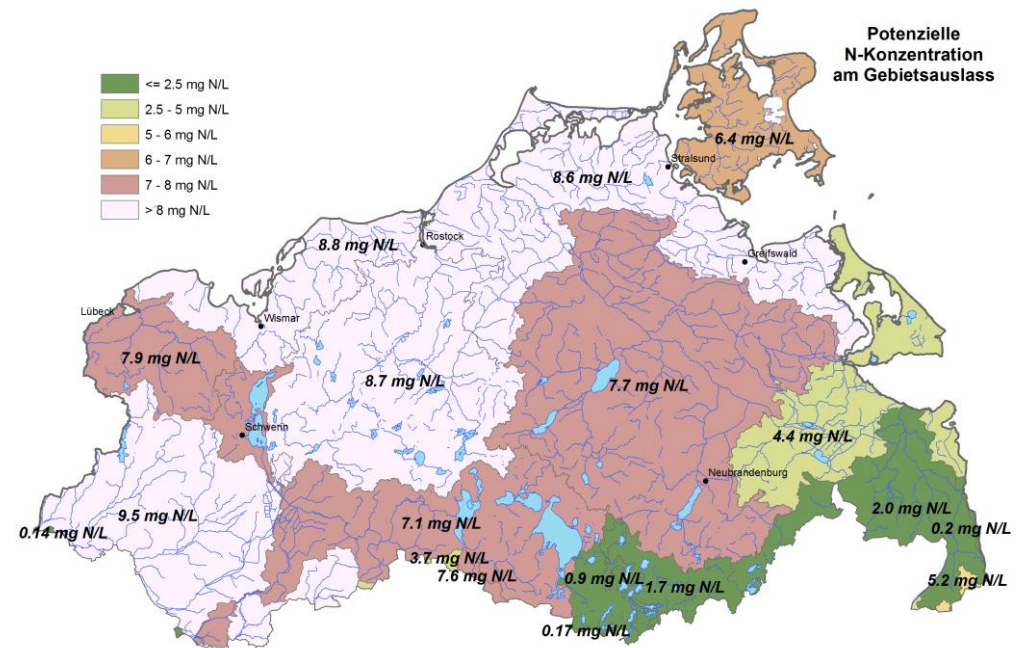
➤ Abgeleitet auf der Grundlage ökologischer Referenzwerte zur Reduzierung der Eutrophierung der Nord- und Ostsee (BLANO 2011, 2014):

- Nordsee: 2.8 mg N/L
- Ostsee: 2.6 mg N/L

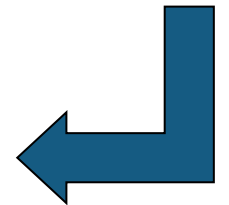
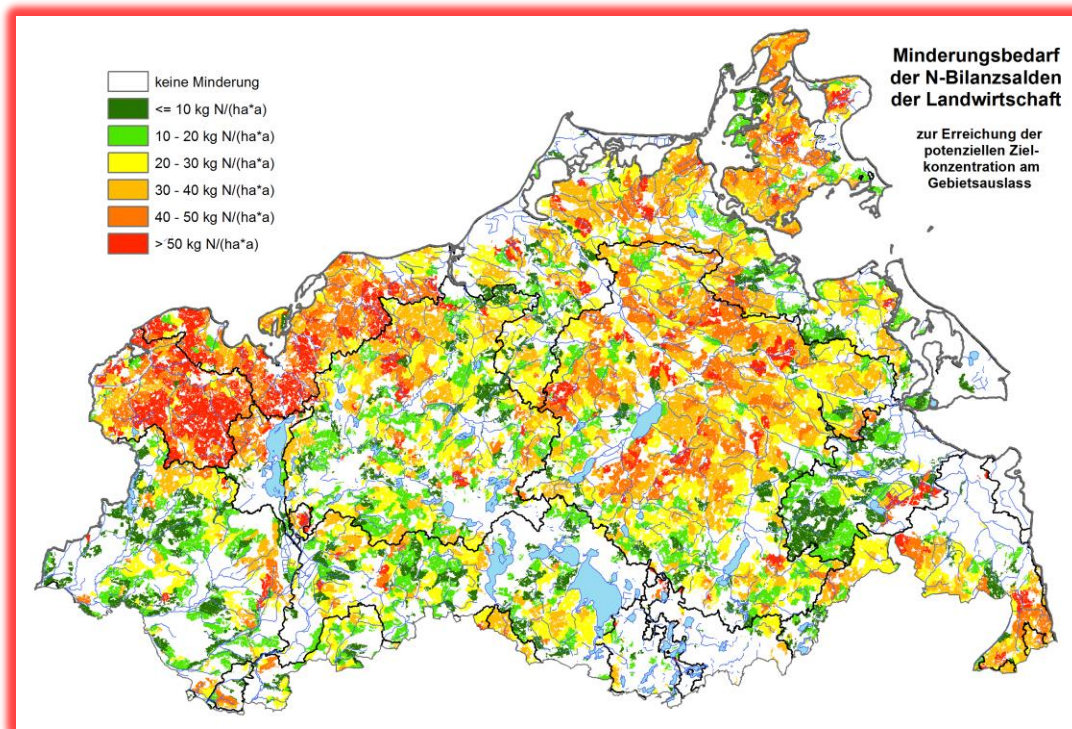
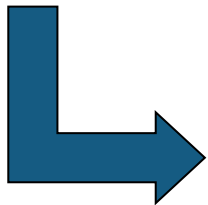
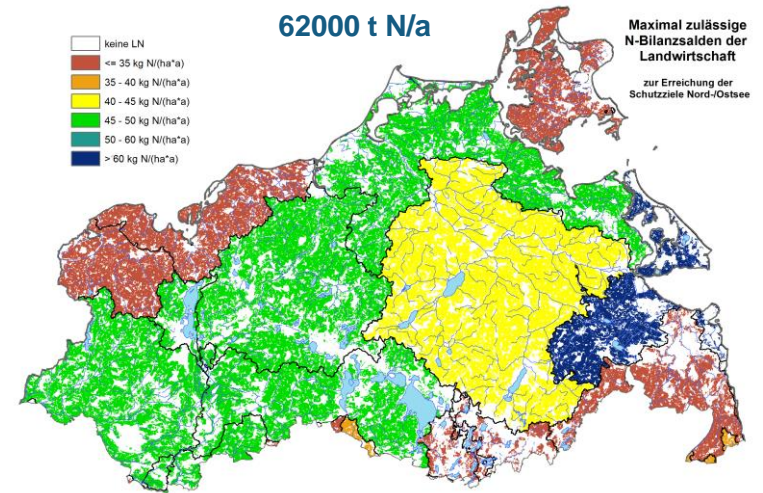
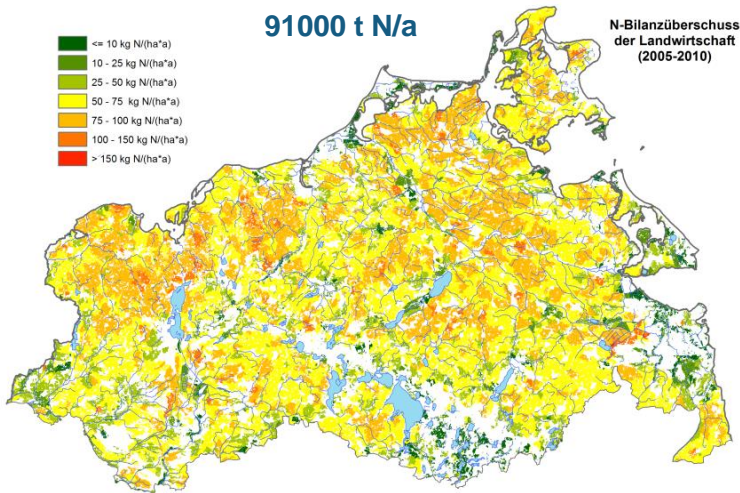
➤ Gebietskulisse : drei-stellige LAWA-Kennzahlen

➤ 18 Flussgebiete mit Größen zwischen 7 und 5080 km²

➤ Berechnung der potenziellen N-Konzentrationen am Auslass der Flussgebiete



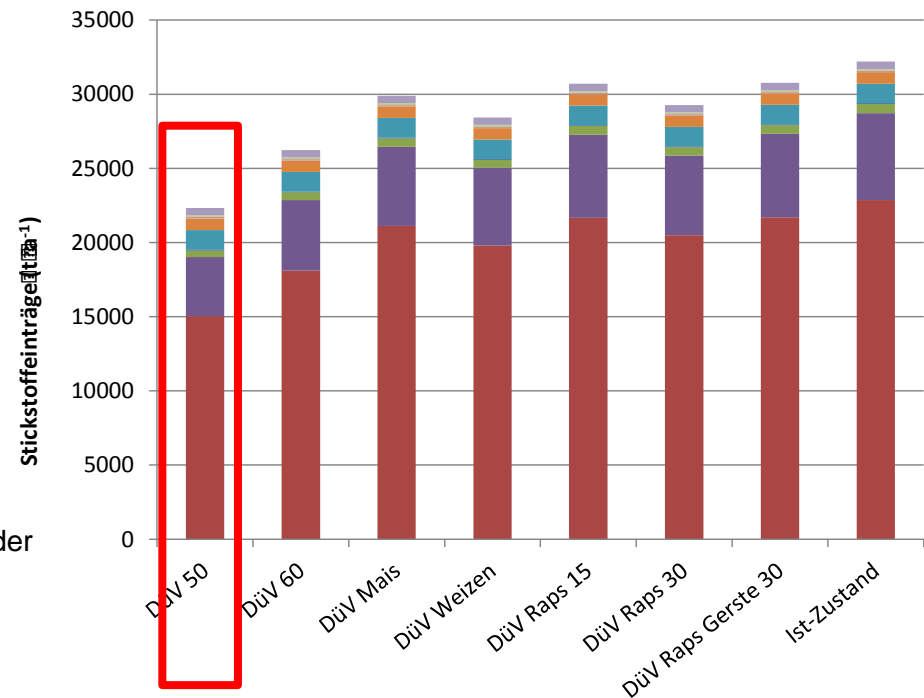
N-Minderungsbedarf für die Randmeere



**Minderungsbedarf:
29000 t N/a**

Prognose der Auswirkungen von Bewirtschaftungsszenarien auf die Austräge in die Gewässer

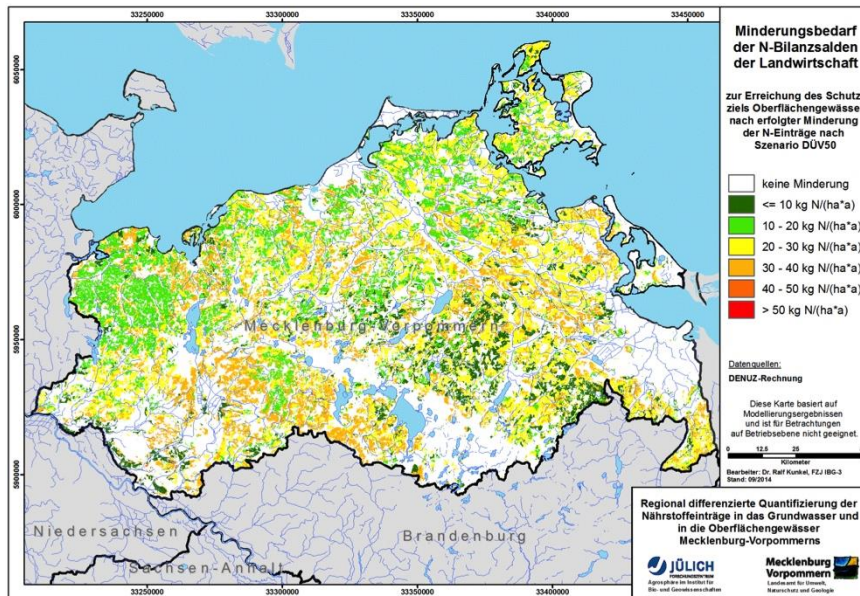
- Erarbeitet durch LMS Agrarberatung GmbH
- **Begrenzung der N-Bilanzsalden der Landwirtschaft**
 - auf 60 kg N/(ha·a) (DüV 60)
 - weitere Absenkung auf maximal 50 kg N/(ha·a) (DüV 50)
- **Kulturabhängige Reduktion der N-Bilanzsalden:**
 - auf allen Maisflächen um 40 kg N/(ha·a)
 - auf allen Weizenflächen um 12 bzw. 27 kg N/(ha·a) nach Raps
 - auf allen Rapsflächen des Landes um 15 kg N/(ha·a)
 - auf allen Rapsflächen des Landes um 30 kg N/(ha·a) in Abhängigkeit von der N-Aufnahme im Herbst und Berücksichtigung bei der 1. Frühjahrsgabe
 - nur auf den Rapsflächen um 30 kg N/(ha·a), die dem Umfang des Wintergerste-Anbaus entsprechen



- Kulturspezifische Einzelmaßnahmen zeigen nur geringe Wirkung
- Umsetzung der Düngeverordnung DüV 50 hat größten Effekt
- Kombination mehrerer kulturspezifischer Maßnahmen könnte in der Wirkung an das DüV50 Szenario heranreichen

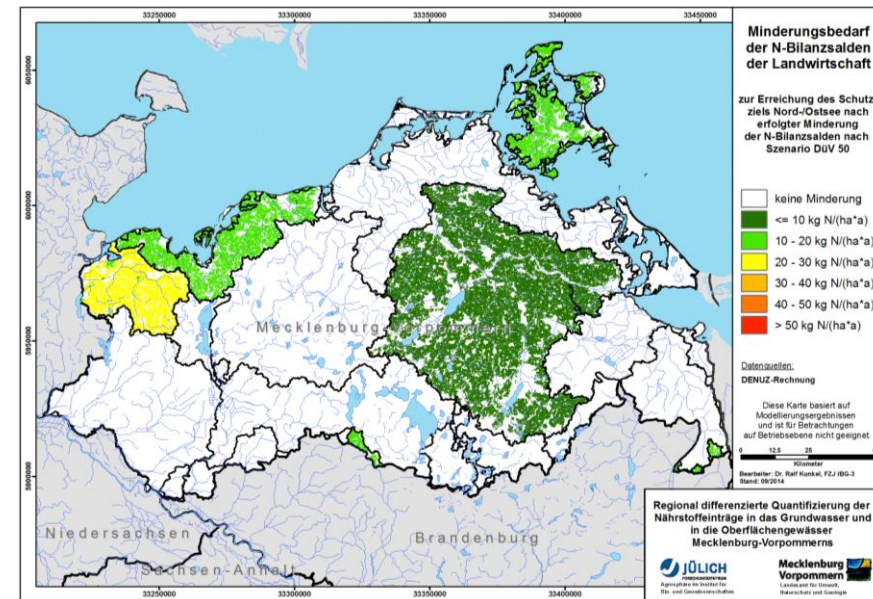
Erreichung der Schutzziele nach Umsetzung der Begrenzung der N-Überschüsse auf 50 kg N/(ha·a)

Schutzziel Grundwasser



Weitere Minderung um ca. 21000 t N/a erforderlich

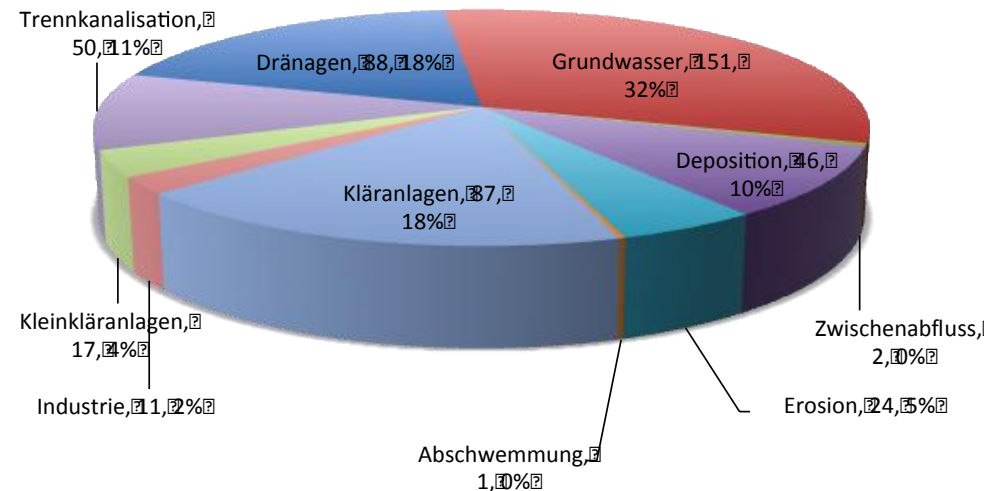
Schutzziel Nord- und Ostsee



Weitere Minderung um ca. 6400 t N/a erforderlich

P-Modellierung mit MEPhos

- Pfad- und flächendifferenzierter Emissionsansatz zur Quantifizierung mehrjähriger mittlerer Einträge von Gesamt-P in die Gewässer
- Modellierung des diffusen Eintrags aus landwirtschaftlichen Quellen erfolgt auf Basis von Phosphotopen
- Definition Phosphotope: Homogene, typisierte Teilflächen des Einzugsgebiets, die definierte Eigenschaften aufweisen und als Liefergebiete des P-Eintrags fungieren. Phosphotope sind georeferenziert.
- Den Phosphotopen werden Exportkoeffizienten in mg/l zugewiesen, die durch Kalibrierung an Gewässergütedaten ermittelt worden sind.
- Auf Rasterbasis werden die Phosphotope mit mittleren Abflusshöhen verknüpft und frachtbezogene P-Austräge in kg/(ha*a) ermittelt.



➤ Ist-Zustandsanalyse

- 94 % der N-Einträge in die Gewässerstammen stammen aus diffusen Quellen: 72000 t N/a
 - 71 % über Dränagen
 - 18 % über das Grundwasser
- 85% der N-Einträge in das Grundwasser werden auf dem Weg zum Gewässer aktuell noch abgebaut (nicht nachhaltig, Sekundärprobleme)

➤ N-Minderungsbedarf zur Erreichung der Schutzziele

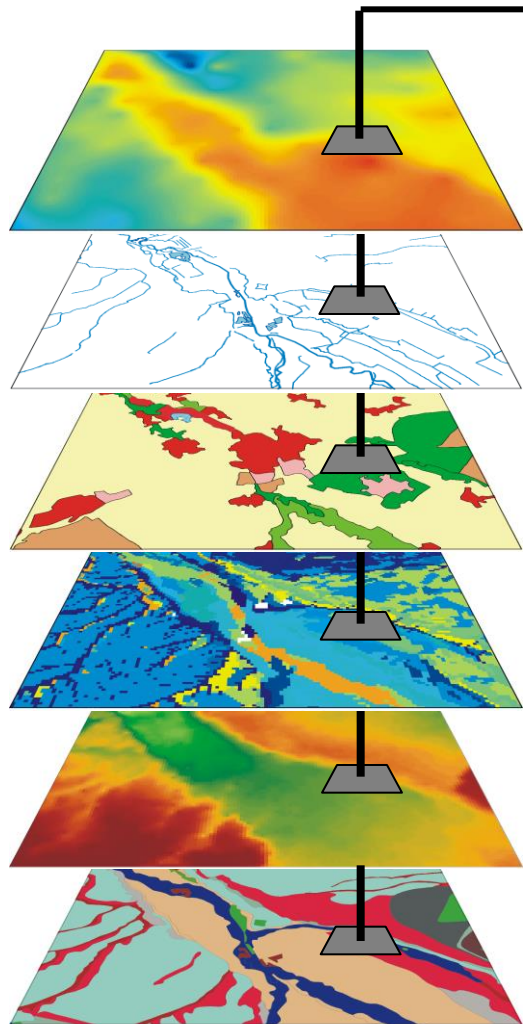
- Grundwasser: 42000 t N/a (46 % der aktuellen N-Bilanzüberschüsse)
- Nord-/Ostsee: 29000 t N/a (32 % der aktuellen N-Bilanzüberschüsse)

➤ Prognose der Auswirkungen von N-Minderungsmaßnahmen der Landwirtschaft für sieben N-Reduktionsszenarien der AG „Wasserrahmenrichtlinie und Landwirtschaft“

- Begrenzung des N-Bilanzsaldos auf 50 kg N/(ha·a) (DüV 50) würde zu einer Reduzierung der N-Einträge in die Gewässer um ca. 30 % führen
- Hierdurch würden die Schutzziel Nord-/Ostsee weitestgehend erreicht (zusätzliche Minderung der N-Bilanzsalden um 6000 t N/a erforderlich)
- Erreichen des Schutzziels Grundwasser erfordert weitere Minderung um 21000 t N/a



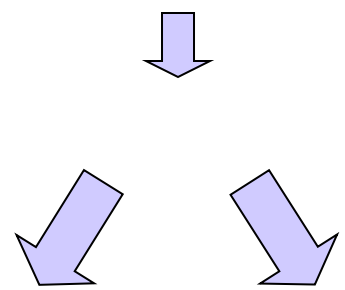
Flächendifferenzierte Modellierung von Wasserhaushalt und Abflusskomponenten mit GROWA



GROWA

$$Q_{\text{tot}}(\ell) = P_y - h_{\text{relief}} [a_\ell \cdot P_{\text{wi}} + b_\ell \cdot P_{\text{su}} + c_\ell \cdot \log(W_{\text{pl}}) + d_\ell \cdot ET_{\text{pot}} + e_\ell \cdot D_p + f_\ell]$$

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{groundwater}} + Q_{\text{direct}} = r_b \cdot Q_{\text{tot}} + (1 - r_b) \cdot Q_{\text{tot}}$$

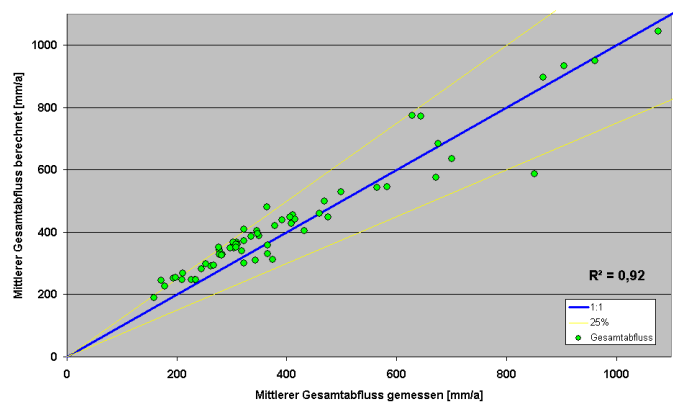
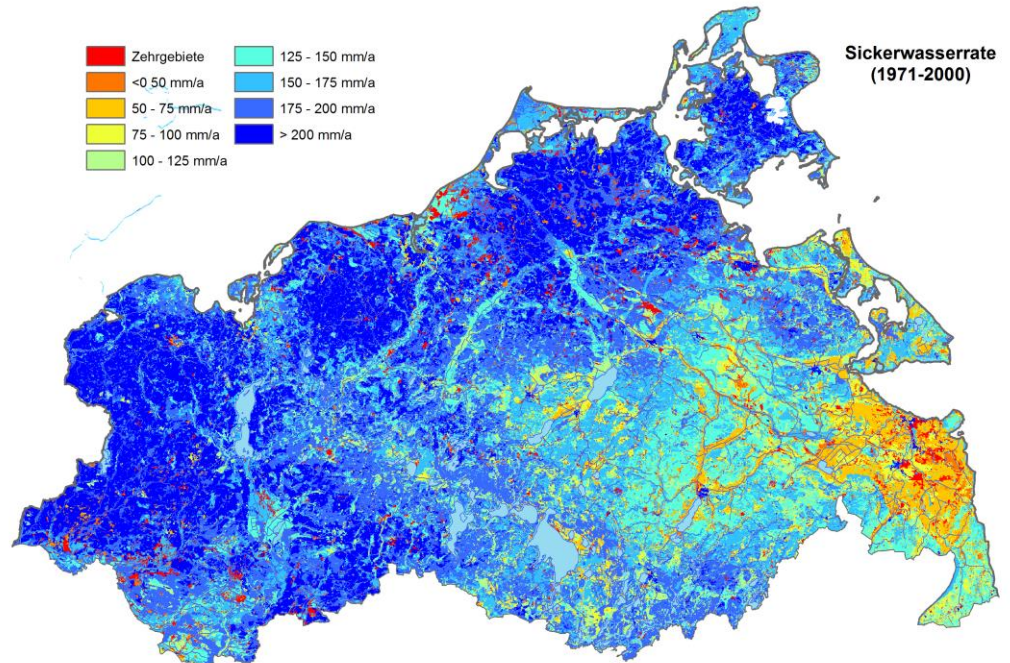
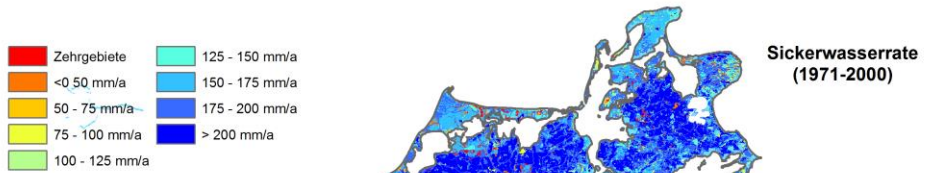
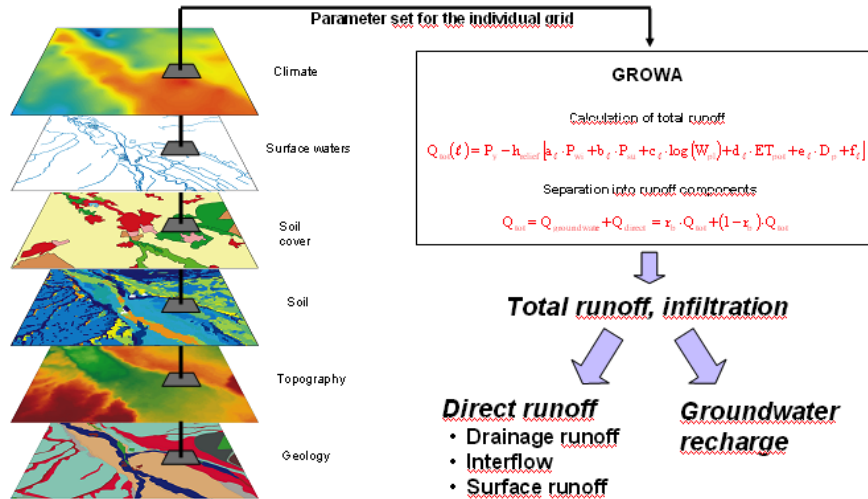


Direktabfluss

Grundwasserneubildung

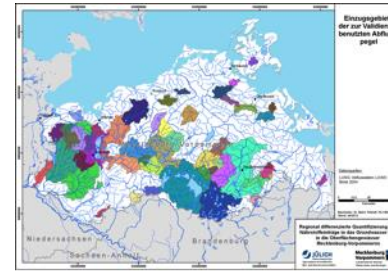
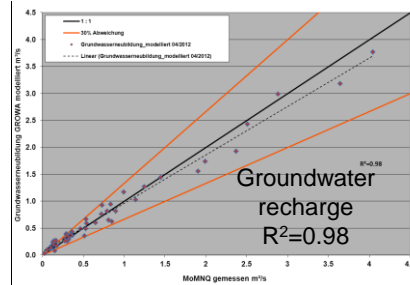
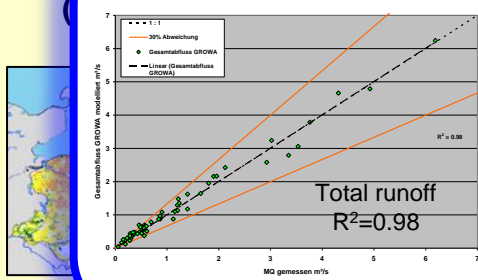
Wasserhaushalt

GROWA-Modell, Kunkel & Wendland, 2002



N-Bilanz

Vergleich mit beobachteten Abflussdaten von 60/53 Stationen (1971-2000)



Verlagerbare N-Überschüsse im Boden

Denitrifikation im Boden (DENUZ)

Nitratkonzentration, N-Austrag Boden

Oberflächengewässer (Einzugsgebiete)

GROWA-DENUZ-WEKU (100x100 m Raster)

Diffuse N-Einträge in Gewässer

Vergleich mit beobachteten N-Frachten von 92 Stationen

N-Frachten und N-Konzentrationen im Gewässer

N-Retention im Gewässer



- Trennkanalisation
- Kläranlagen
- Kleinkläranlagen
- Direkteinleitungen

- Direkte N-Deposition
- Erosion
- Abschwemmung
- Drainagen
- Zwischenabfluss
- Grundwasser

