MODELLIERUNG DER VERWEIL- UND FLIESSZEITEN SOWIE DES NITRATABBAUS IM GRUNDWASSER IN NRW

Ralf Kunkel und Frank Wendland

GROWA+ - NRW 2021, Begleit-Arbeitskreis, 2019-12-12, Düsseldorf

Kooperationsprojekt

JÜLICH FORSCHUNGSZENTRUM

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

THÜNEN

Geologischer Dienst NRW

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

GROWA+ NRW 2021

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW

JÜLICH Forschungszentrum

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

GLIEDERUNG DES VORTRAGS

Verweil- und Fließzeitenermittlung

1. Methoden und Ergebnisse

   Teil 1: Verweilzeiten in der ungesättigten Zone

   Teil 2: Fließzeit des Grundwassers im oberen Aquifer bis Vorflutereintritt

   Teil 3: Verweil- und Fließzeiten bis zum Erreichen von Brunnen / Messstellen im GWK

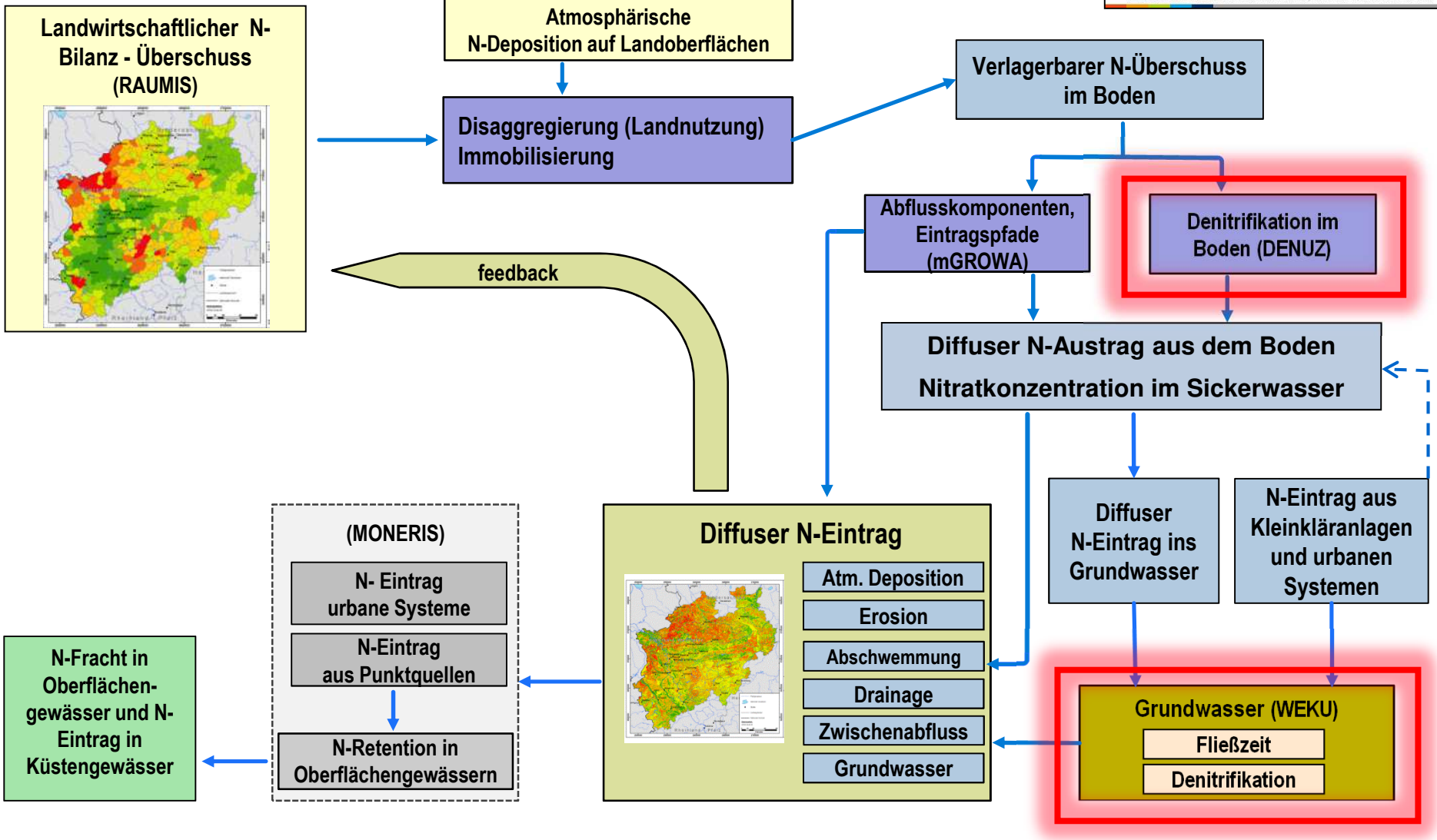
2. Relevanz der Modellergebnisse

Nitratabbau im Grundwasser

1. Methoden und Ergebnisse
2. Denitrifikationsbedingungen im Aquifer
3. Relevanz der Ergebnisse

GROWA+NRW2021:

MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU



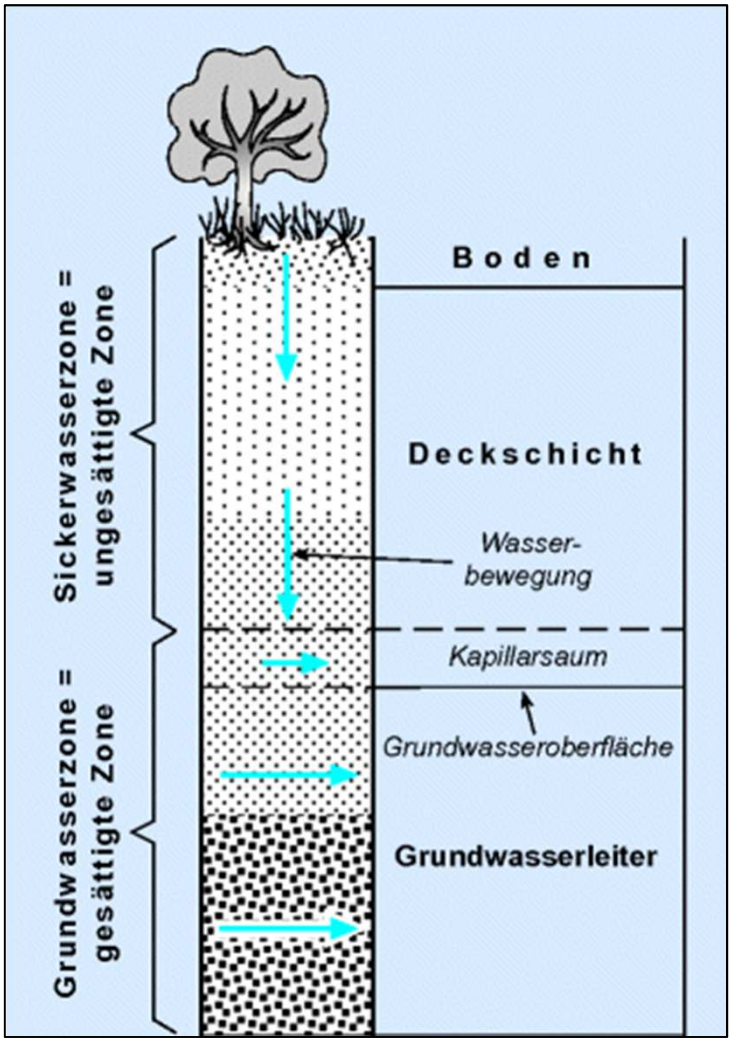
Verweil- und Fließzeiten und die Denitrifikationsbedingungen im Boden und im Grundwasser sind wichtige Gebietsparameter zur Modellierung der diffusen N-Austräge

VERWEIL- UND FLIEßZEITENN

Verweil- und Fließzeitenermittlung umfasst:

- Modellierung der Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone
  - Durchwurzelter Bodenbereich
  - Grundwasserdeckschichten (Bereich zwischen Unterkante des Bodens und Grundwasseroberfläche)
- Modellierung der Fließzeiten des Grundwassers im oberen Aquifer
  - bis zum Eintritt in den Vorfluter
  - bis zum Erreichen von Brunnen/Messstellen im Grundwasserkörper („repräsentative Messnetze“)

- wichtige Gebietsparameter zur Modellierung der diffusen N-Austräge
- evtl. eine Begründung dafür, dass umgesetzte Maßnahmen noch keine Auswirkungen auf den Zustand des Grundwassers haben (können)



GLIEDERUNG DES VORTRAGS

Verweil- und Fließzeitenermittlung

1. Methoden und Ergebnisse

   Teil 1: Verweilzeiten in der ungesättigten Zone

   Teil 2: Fließzeit des Grundwassers im oberen Aquifer bis Vorflutereintritt

   Teil 3: Verweil- und Fließzeiten bis zum Erreichen von Brunnen / Messstellen im GWK

2. Relevanz der Modellergebnisse

Nitratabbau im Grundwasser

1. Methoden und Ergebnisse
2. Denitrifikationsbedingungen im Aquifer
3. Relevanz der Ergebnisse

VERWEILZEITENMODELLIERUNG IM BODEN UND IN DEN GRUNDWASSERDECKSCHICHTEN (LOCKERGESTEIN)

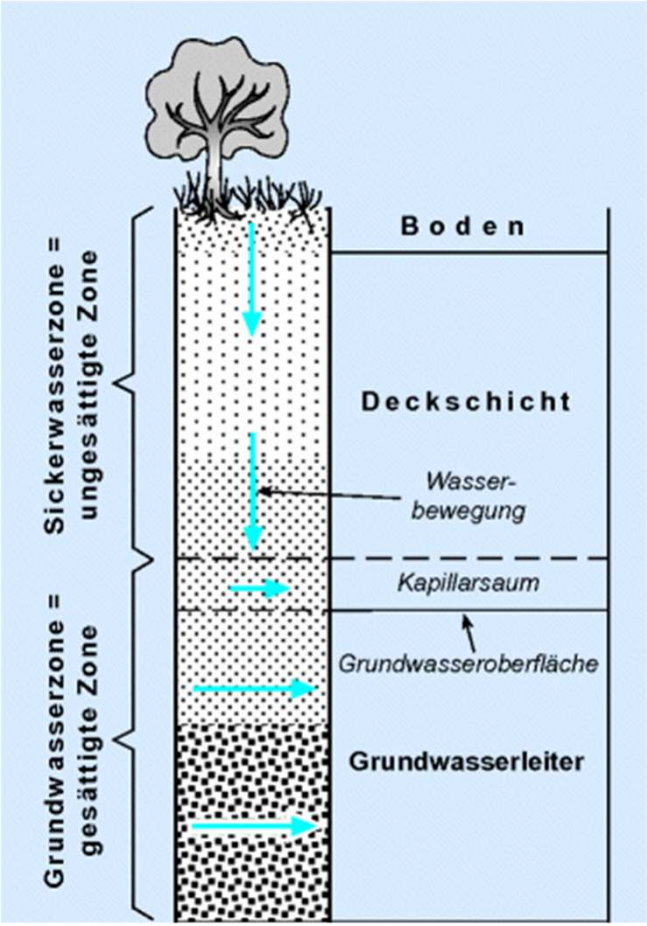
Boden (DIN 19732)

$$t_{Boden} = \sum_i nFK_i \cdot \frac{M_i}{Q_{Sw}}$$

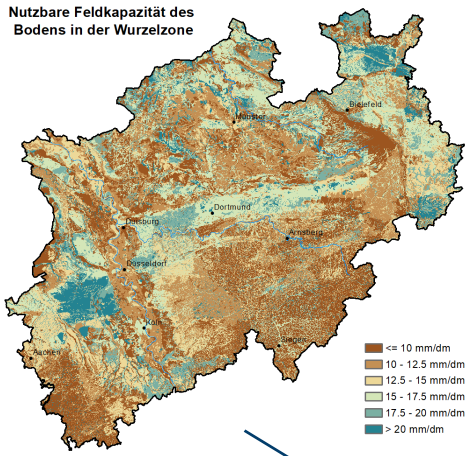
Grundwasserüberdeckung (DIN 19732)

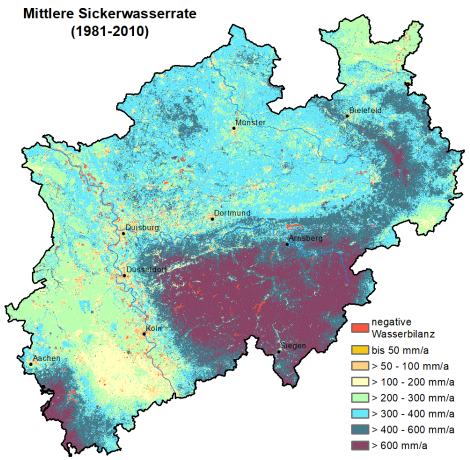
$$t_{Ueber} = \sum_i FK_i \cdot \frac{M_i}{Q_{Gw(Sw)}}$$

t_{Boden}:	Verweilzeit Boden
t_{Ueber}:	Verweilzeit Grundwasserüberdeckung
FK_i:	Feldkapazität Schicht i
nFK_i:	(nutzbare) Feldkapazität Schicht i
M_i:	Mächtigkeit Schicht i
Q_{Sw}:	Sickerwasserrate
Q_{Gw}:	Grundwasserneubildung



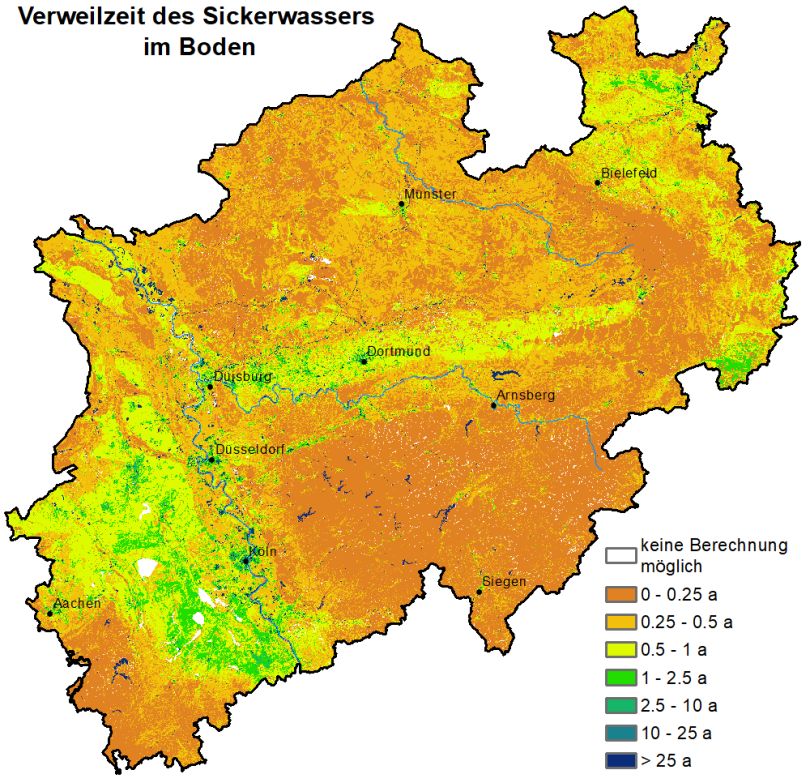
VERWEILZEIT DES SICKERWASSERS IM BODEN





Berechnung nach DIN 19732

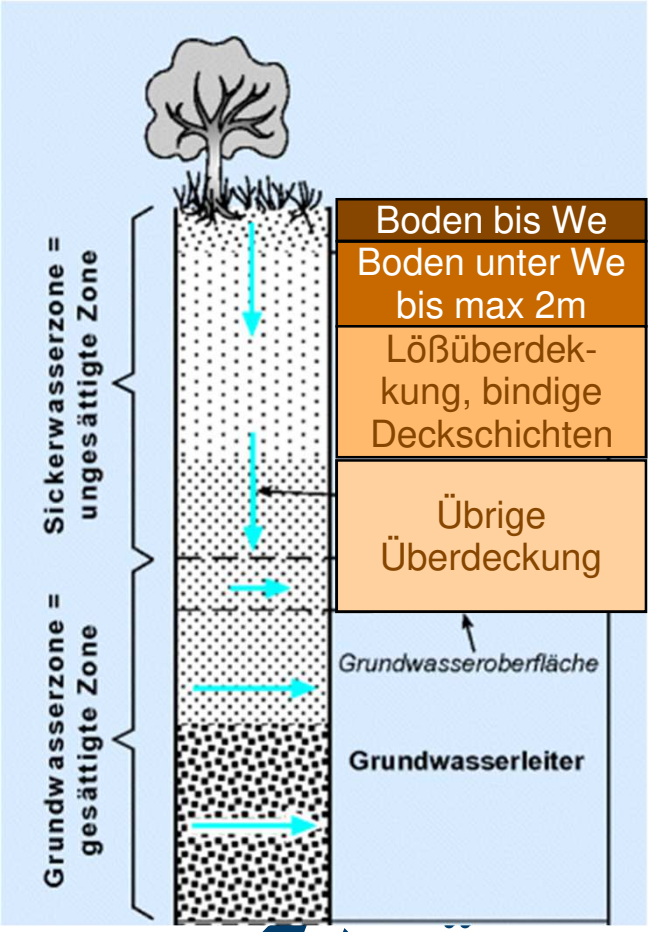
$$t_{Boden} = \frac{nFK \cdot We}{Q_{Sw}}$$



JÜLICH Forschungszentrum

VERWEILZEITERMITTLUNG IN GRUNDWASSERDECK-SCHICHTEN AUS LOCKERGESTEIN

- Für Grundwasserdeckschichten ist keine landesweit konsistente Datengrundlage (wie beim Boden) verfügbar.
- Ausweisung des Wasserspeicher-vermögens der Deckschichten unter Verwendung der jeweils „besten“ verfügbaren Datengrundlagen auf Landesebene:
  - Feldkapazitätswerte aus der Bodenkarte 1:50.000
  - Ableitung von Feldkapazitätswerten aus der Karte „Lößüberdeckung, bindige Deckschichten“ des GD NRW
  - Ableitung von Feldkapazitätswerten aus den petrografischen Gesteinsbeschreibungen In der Hydrogeologische Karte NRW (HK NRW)

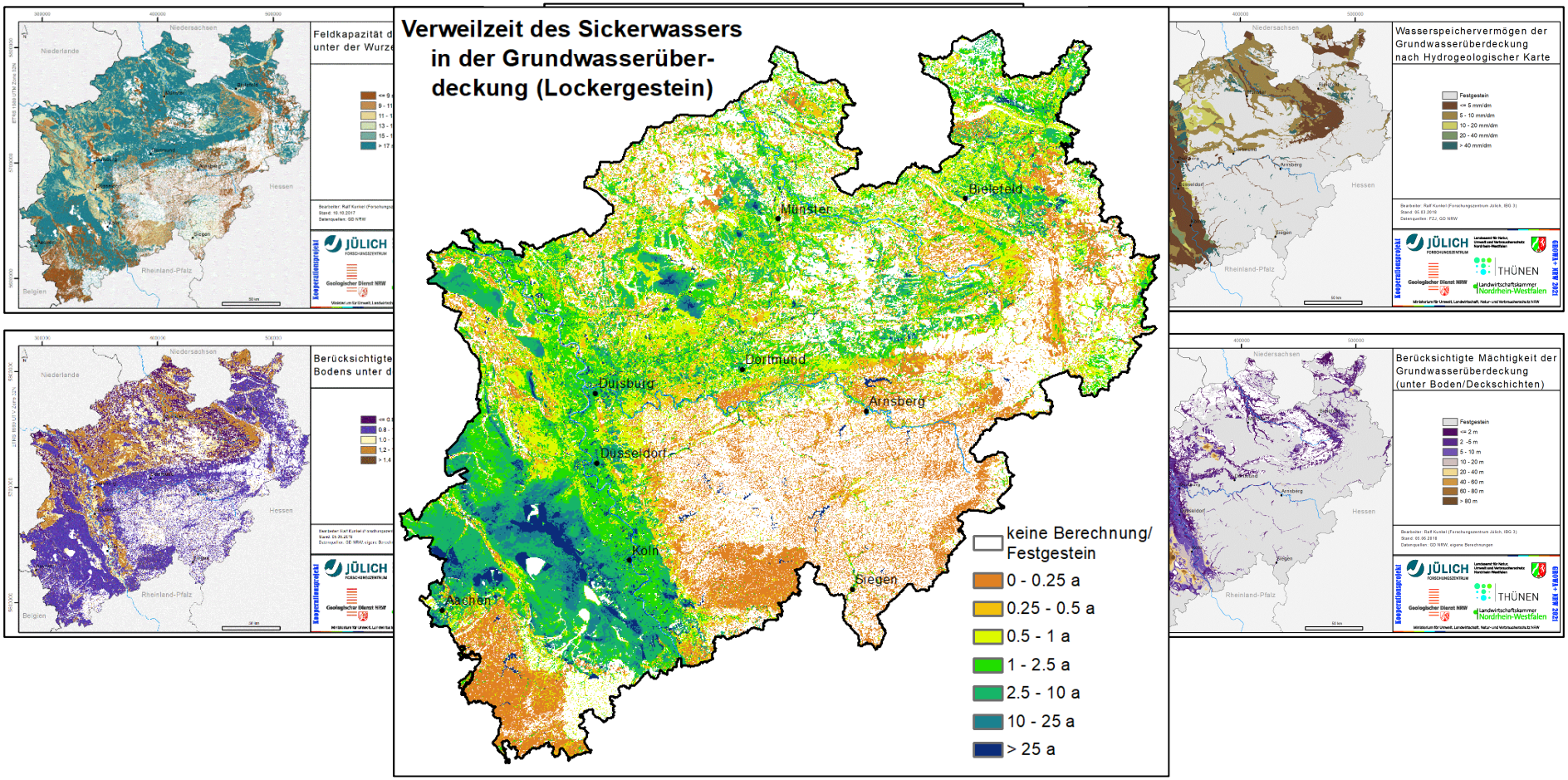


VERWEILZEIT IN GRUNDWASSERDECKSCHICHTEN AUS LOCKERGESTEIN

Bodenkarte 1:50000

Karte: Bindige Deckschichten

Hydrogeologische Karte NRW: petrografische Gesteinsbeschreibung



jeweils „best-verfügbare“ Datengrundlage auf Landesebene zur Verweilzeit in Grundwasserdeckschichten aus Lockergesteinen

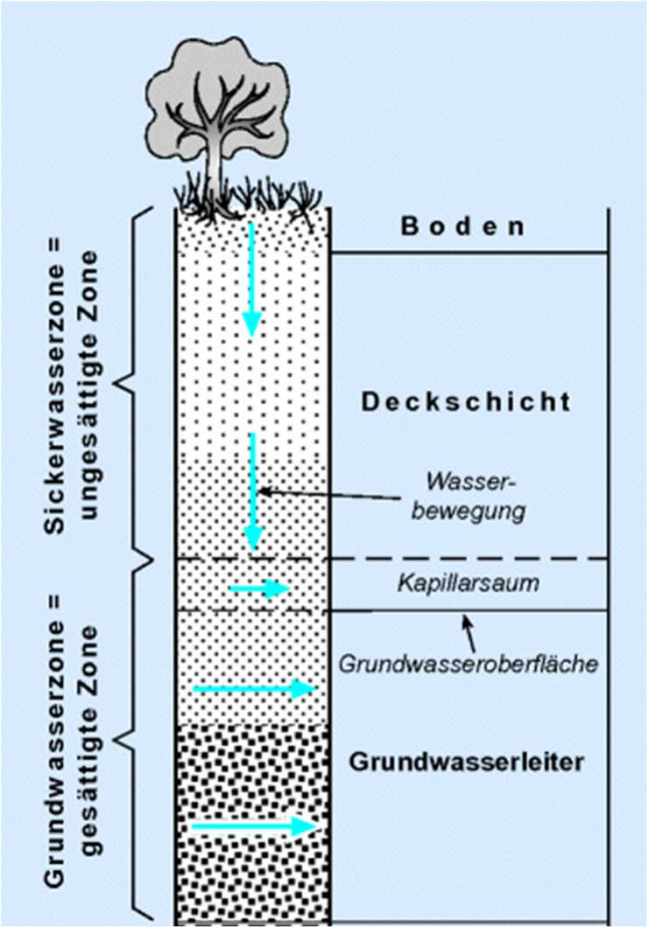
ABLEITUNG VON VERWEILZEITEN IN GRUNDWASSER-DECKSCHICHTEN AUS FESTGESTEIN

- Verfahren nach DIN 19732 nicht anwendbar (keine Datengrundlage)
- Schutzfunktionsbewertung der Grundwasserüberdeckung nach Hölting et al. (1995) ***für Festgesteinsregionen*** auf der Basis von Punktwerten (P):

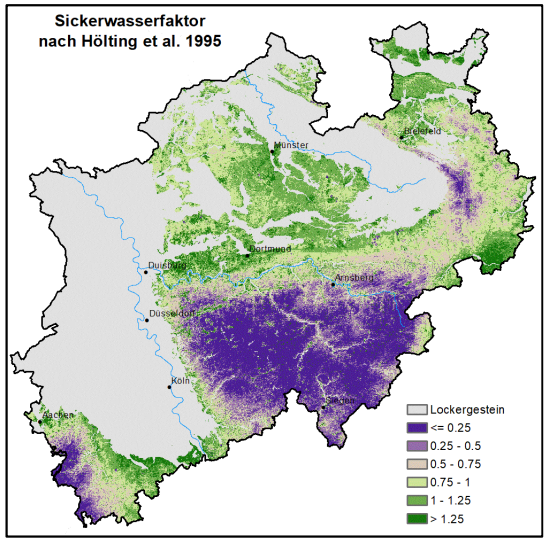
$$P = P_{sw} \cdot \sum_i F_{Strukt} \cdot P_{gest} \cdot d_i$$

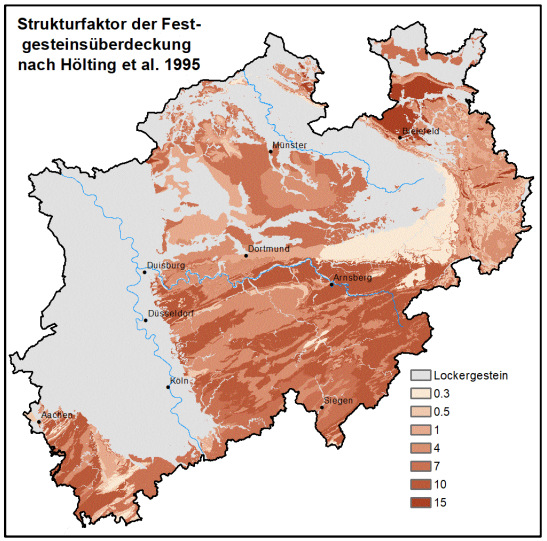
P_{SW}	Punktwert Sickerwasserrate
F_{Strukt}	Strukturfaktor
P_{gest}	Punktwert Gesteinsart
d_i	Mächtigkeit der Schicht i [m]

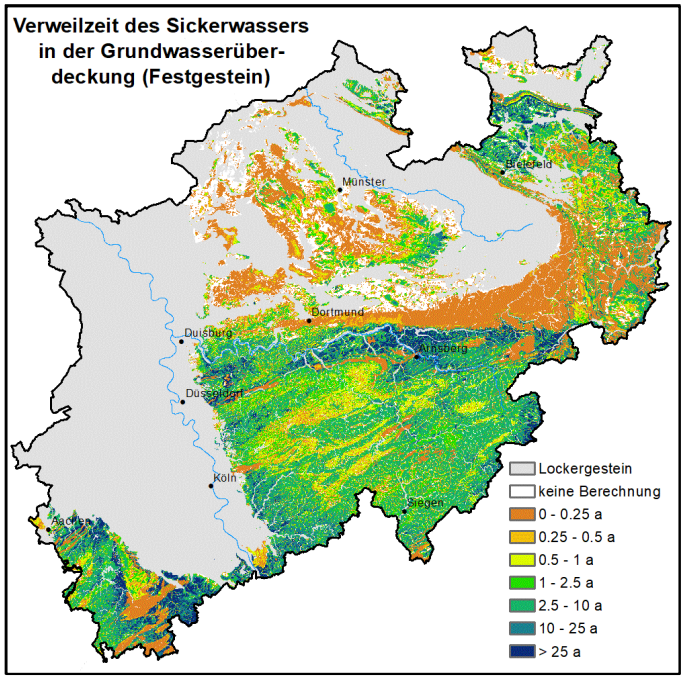
- Umrechnung der Punktwerte (P) in Anhaltswerte für die Verweilzeit

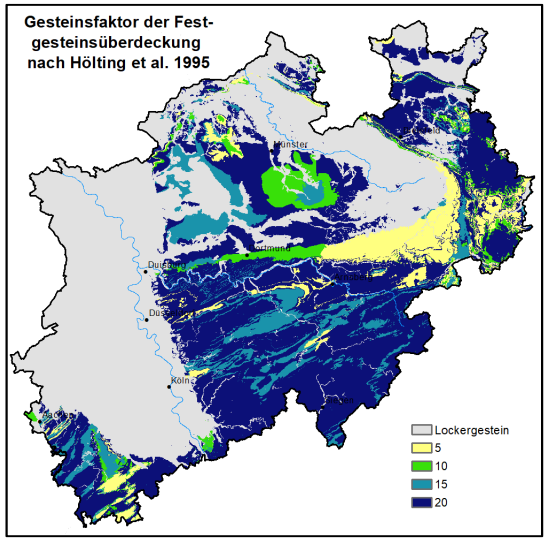


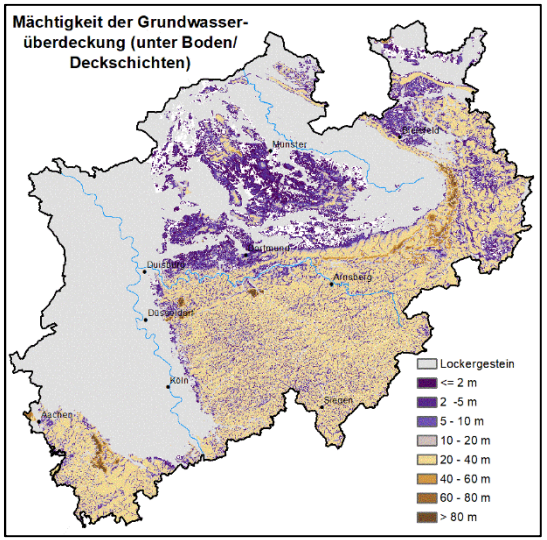
ABLEITUNG VON VERWEILZEITEN IN GRUNDWASSERDECKSCHICHTEN AUS FESTGESTEIN: DATENGRUNDLAGEN



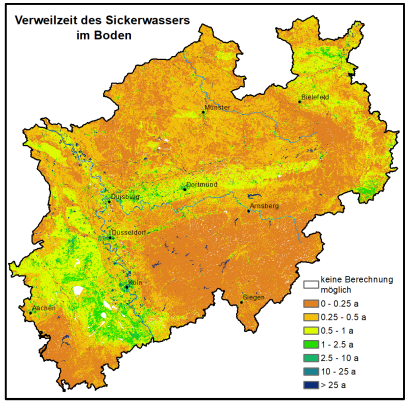


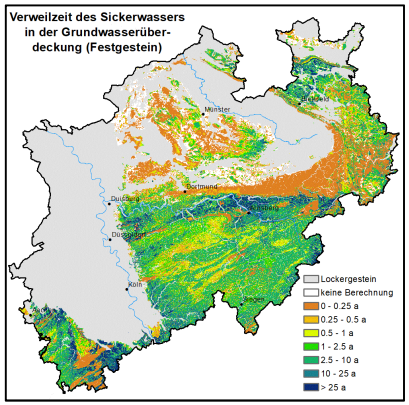


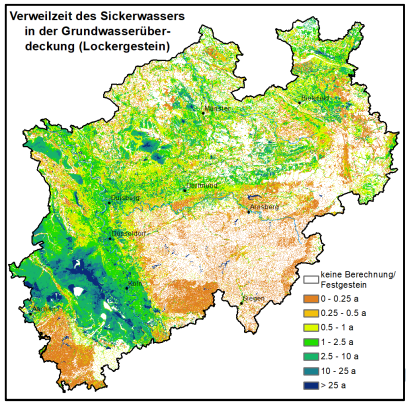




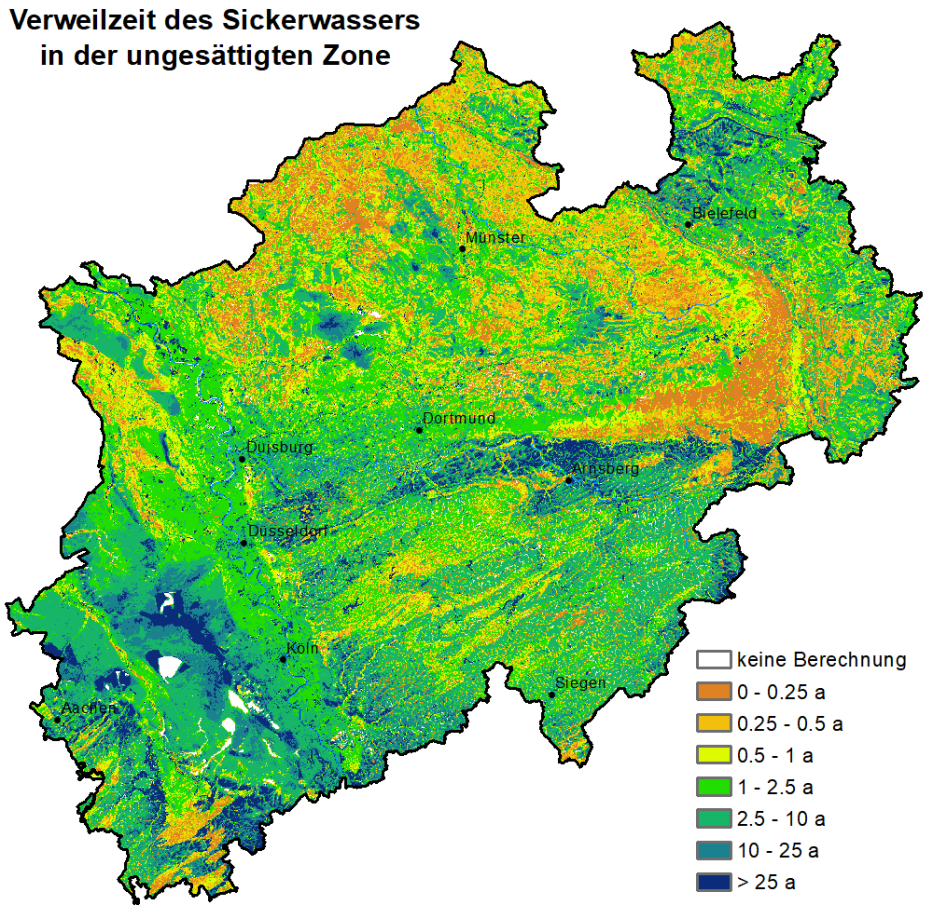
VERWEILZEIT DES SICKERWASSERS IN DER UNGESÄTTIGTEN ZONE







Σ

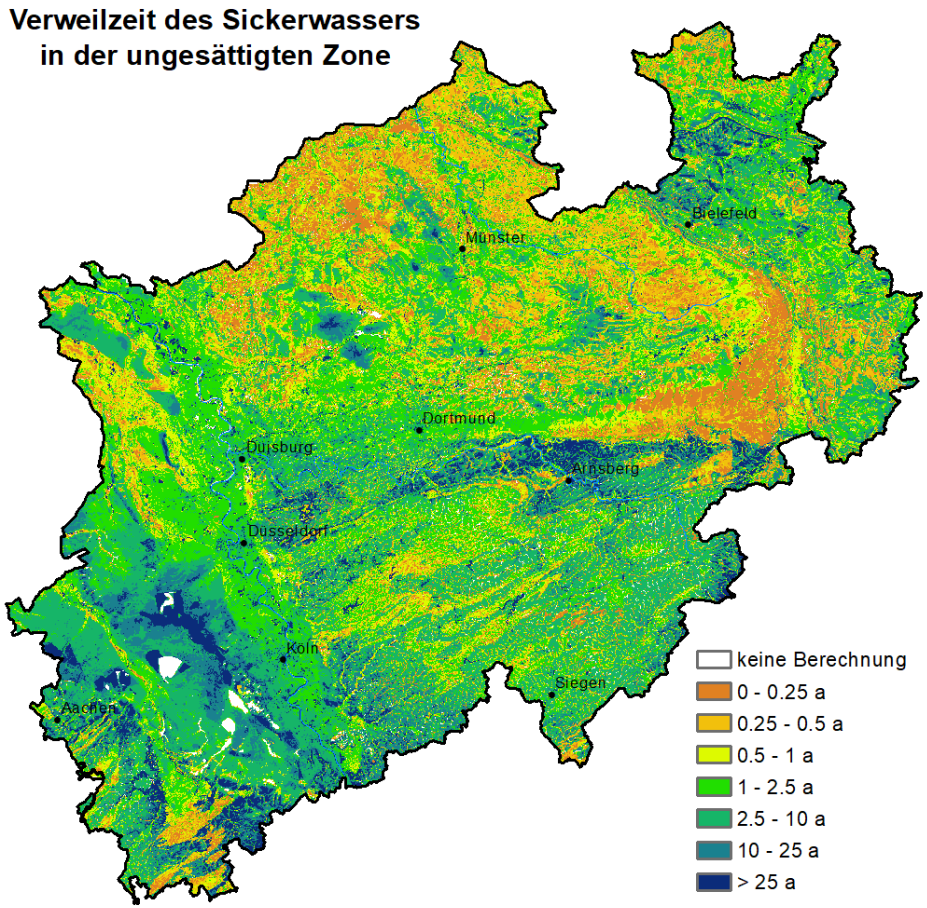


JÜLICH
Forschungszentrum

VERWEILZEIT DES SICKERWASSERS IN DER UNGESÄTTIGTEN ZONE

- ***Maß für Zeitraum, nach denen das Sickerwasser die Grundwasseroberfläche erreicht***

- Bei hohen Verweilzeiten führen Maßnahmen zur Verringerung von Stoffeinträgen ggf. erst nach langen Zeiträumen zur Verbesserung der Grundwasserbeschaffenheit



GLIEDERUNG DES VORTRAGS

Verweil- und Fließzeitenermittlung

1. Methoden und Ergebnisse

   Teil 1: Verweilzeiten in der ungesättigten Zone

   Teil 2: Fließzeit des Grundwassers im oberen Aquifer bis Vorflutereintritt

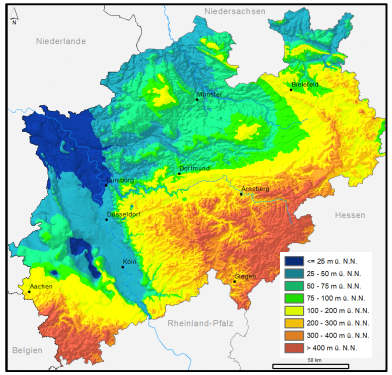
   Teil 3: Verweil- und Fließzeiten bis zum Erreichen von Brunnen / Messstellen im GWK

2. Relevanz der Modellergebnisse

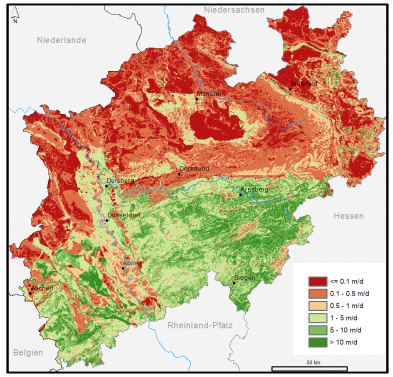
Nitratabbau im Grundwasser

1. Methoden und Ergebnisse
2. Denitrifikationsbedingungen im Aquifer
3. Relevanz der Ergebnisse

WEKU: ERMITTLUNG DER FLIEßZEIT IM GRUNDWASSER

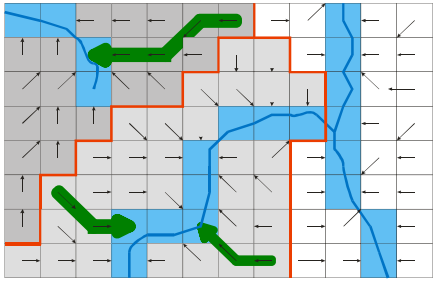


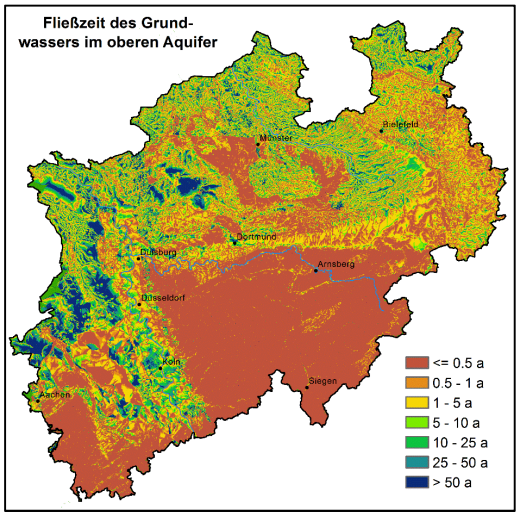
Grundwasseroberfläche



Abstandsgeschwindigkeit

Fließstrecke bis Vorfluter





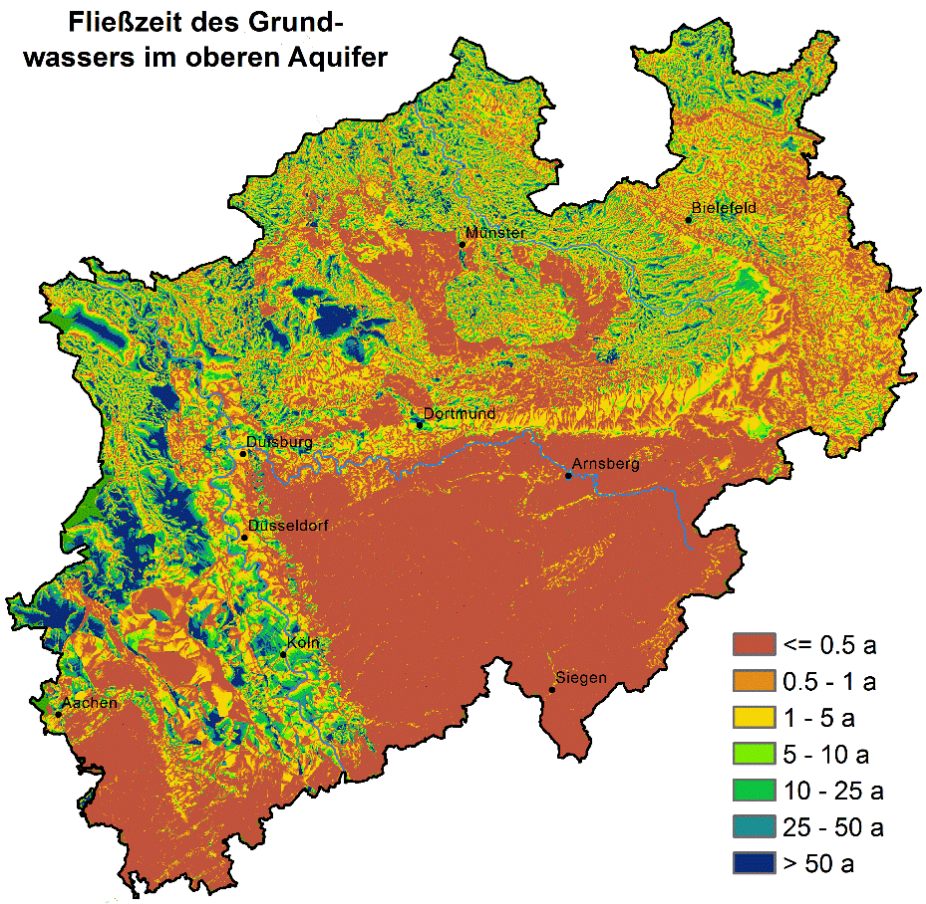
Grundwasserfließzeit

Fließzeit im Grundwasser ergibt sich aus der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers und der Fließstrecke im Aquifer bis zum Vorfluter

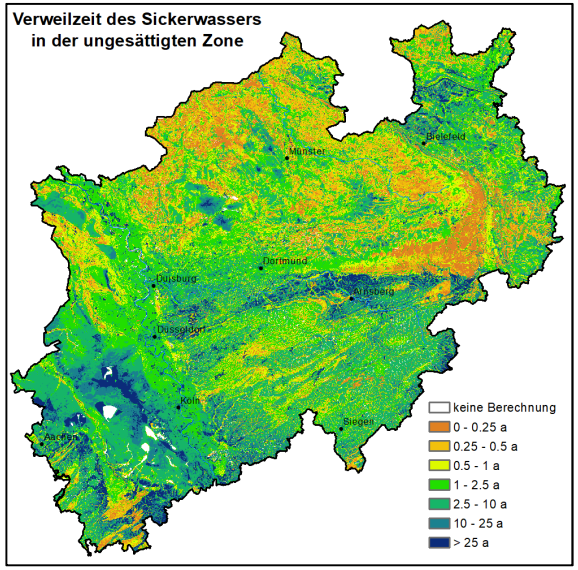
MODELLERGEBNIS: FLIEßZEIT DES GRUNDWASSERS BIS ZUM VORFLUTER

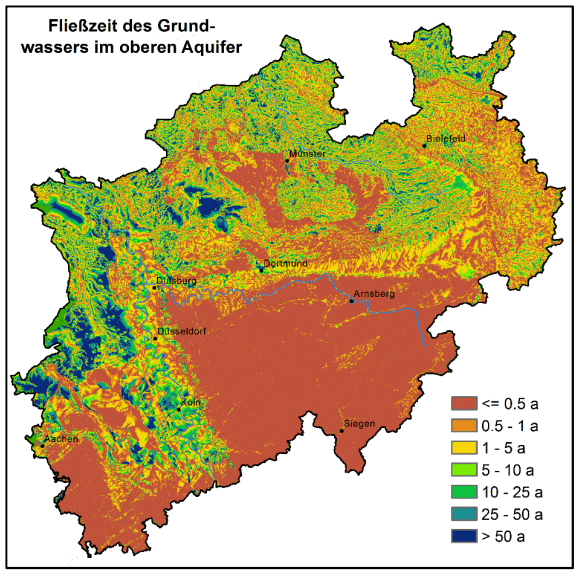
- Meist geringe Fließzeiten im Festgestein aufgrund großer hydraulischer Gradienten und hoher Vorfluterdichte

- Meist große Fließzeiten im Lockergestein aufgrund geringer hydraulischer Gradienten und geringer Vorfluterdichte

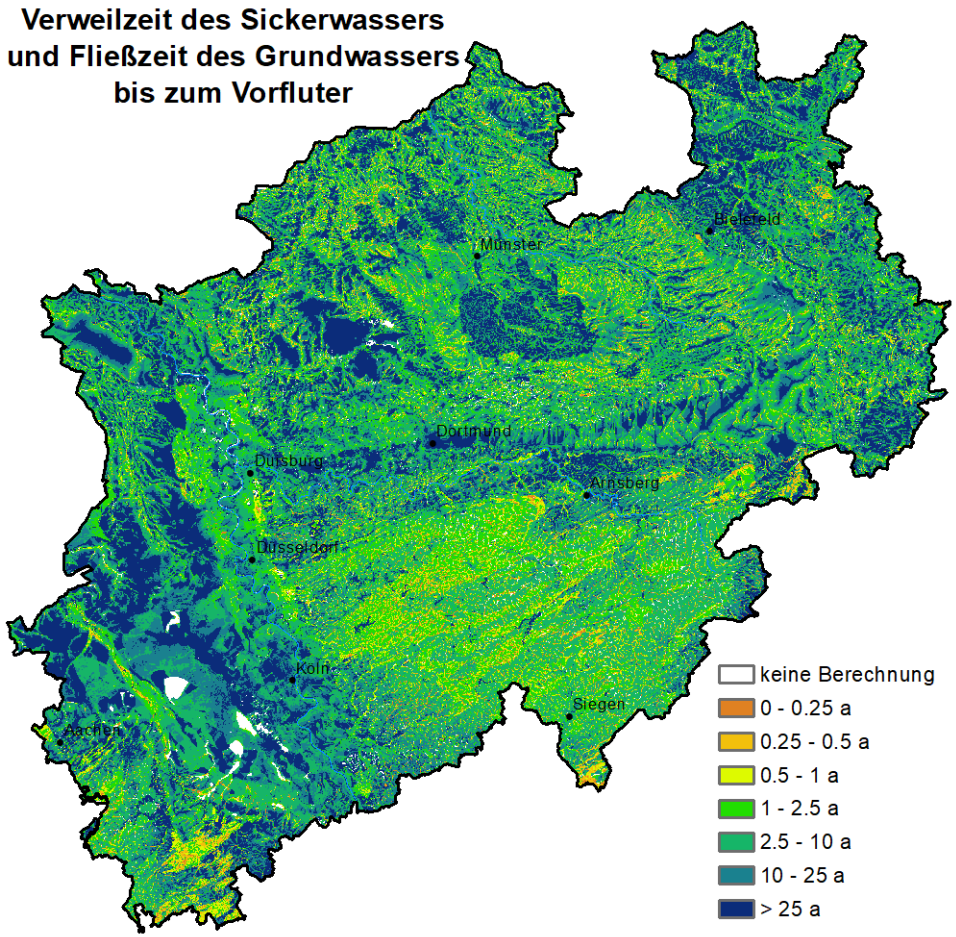


MODELLERGEBNIS: SUMME AUS VERWEIL- UND FLIEßZEITEN BIS ZUM VORFLUTER





Σ



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

GLIEDERUNG DES VORTRAGS

Verweil- und Fließzeitenermittlung

1. Methoden und Ergebnisse

   Teil 1: Verweilzeiten in der ungesättigten Zone

   Teil 2: Fließzeit des Grundwassers im oberen Aquifer bis Vorflutereintritt

   Teil 3: Verweil- und Fließzeiten bis zum Erreichen von Brunnen / Messstellen im GWK

2. Relevanz der Modellergebnisse

Nitratabbau im Grundwasser

1. Methoden und Ergebnisse
2. Denitrifikationsbedingungen im Aquifer
3. Relevanz der Ergebnisse

ZIELSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE

- Ableitung repräsentativer Verweil- und Fließzeiten in einem GWK (von- bis-Bereiche; Medianwerte) unter Berücksichtigung:
  - der standortbedingten räumlichen Variabilität der Deckschichten
  - des Einflusses der variierenden Verfilterungstiefen der Messstellen des WRRL-Grundwassermonitoringmessnetzes
  - der innerhalb des GWK variierenden Fließgeschwindigkeiten im Aquifer
- Anwendung des „Teufe-Neubildungsverfahrens“ (Hansen et al., 2018) unter Verwendung von gebietstypischen Filtertiefen bzw. Tiefenverteilungen (Perzentilwerte) der existierenden WRRL-Monitoringmessstellen NRWs

FLIEßZEITEN BIS ZUM ERREICHEN VON BRUNNEN/MESSSTELLEN IM GWK

- „Teufe-Neubildungsverfahren“ (Hansen et al. 2017)

$$t = \frac{n_f}{Q_r} \cdot (FD - GWT)$$

nf:	nutzbarer Hohlraumanteil
Qr:	Grundwasserneubildungshöhe
FD:	Filtertiefe
GWD:	Tiefe der Grundwasseroberfläche

- Flächendeckende Anwendung für jede Rasterzelle
- Keine Berücksichtigung “realer” Monitoringstationen
- Filtertiefen (FD) müssen gesetzt werden

Verwendung von gebietstypischen Filtertiefen bzw. Tiefenverteilungen (Perzentilwerte) der existierenden WRRL-Monitoringmessstellen NRWs

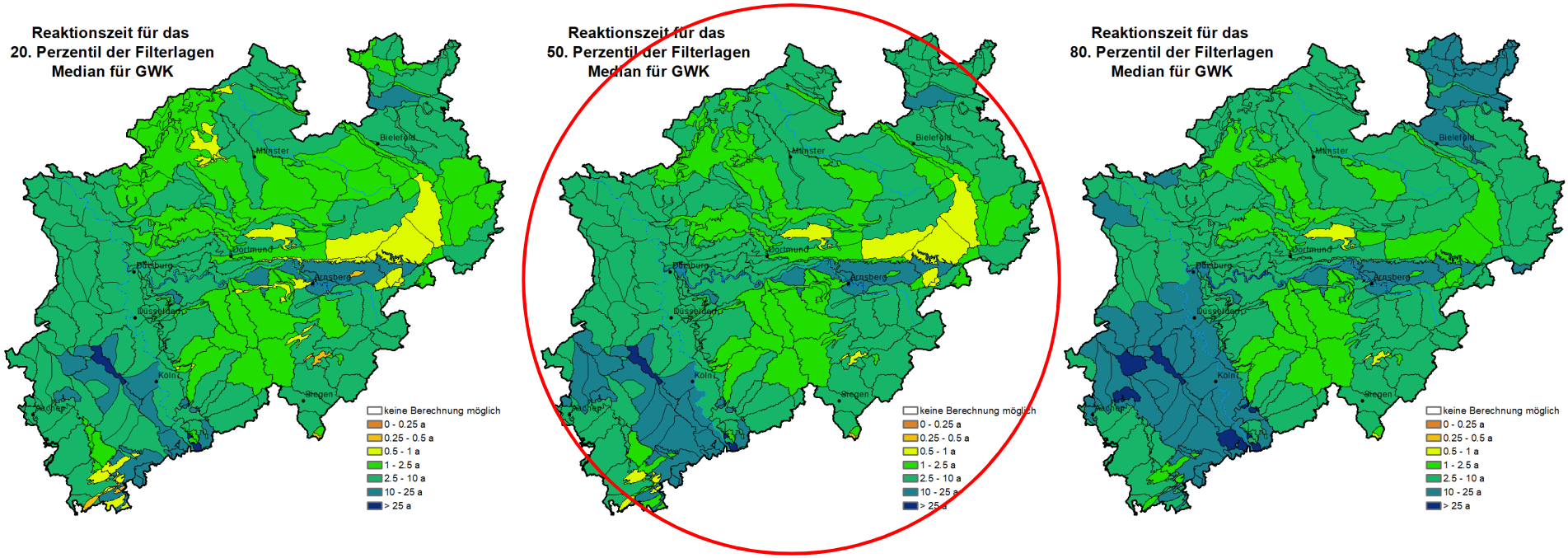
Teileinzugsgebiet		Anzahl MST	Filtermitte u WSP (m)		
			P 20	P 50	P 80
1	Mosel/Sieg/Wupper	46	1.4	4.5	14.9
2	Rheingraben Nord	155	2.4	5.7	9.6
3	Erft	64	2.1	4.0	9.0
4	Ruhr	46	1.0	7.9	18.0
5	Emscher	36	2.4	4.1	6.0
6	Lippe	163	2.6	3.5	7.4
7	Deltarhein / Ijssel	88	2.7	4.0	9.0
8	Maas/Niers	80	3.5	5.9	9.1
9	Rur/Schwalm	80	2.7	5.0	15.3
10	Ems/Hase	199	3.0	4.6	8.7
11	Weser	132	2.7	6.0	19.2
12	Eder/Diemel/GrAue	45	2.0	5.5	15.4
	NRW Gesamt	1134	2.6	4.8	10.5

VERTEILUNG DER FILTERTIEFEN FÜR (AGGREGIERTE) TEILEINZUGSGEBIETE

(QUELLE: LANUV)

	Teileinzugsgebiet	Anzahl MST	Filtermitte u WSP (m)		
			P 20	P 50	P 80
1	Mosel/Sieg/Wupper	46	1.4	4.5	14.9
2	Rheingraben Nord	155	2.4	5.7	9.6
3	Erft	64	2.1	4.0	9.0
4	Ruhr	46	1.0	7.9	18.0
5	Emscher	36	2.4	4.1	6.0
6	Lippe	163	2.6	3.5	7.4
7	Deltarhein / Ijssel	88	2.7	4.0	9.0
8	Maas/Niers	80	3.5	5.9	9.1
9	Rur/Schwalm	80	2.7	5.0	15.3
10	Ems/Hase	199	3.0	4.6	8.7
11	Weser	132	2.7	6.0	19.2
12	Eder/Diemel/GrAue	45	2.0	5.5	15.4
	NRW Gesamt	1134	2.6	4.8	10.5

MODELLERGEBNIS: MITTLERE REAKTIONSZEIT FÜR REPRÄSENTATIVE FILTERTIEFEN AUF GWK-EBENE



- Reaktionszeit = Verweilzeit ungesättigte Zone + Fließzeit (für repräsentative Filtertiefe Auswertung für TEZG)
- Bildung und Ausweisung von Häufigkeitsverteilungen (Histogrammen) für jeden der 275 GWK in NRW
- Anstieg der Reaktionszeiten mit der Filtertiefe
- Frage: wie ist die räumliche Verteilung der Reaktionszeiten innerhalb der GwK?

ANALYSE DER RÄUMLICHEN VERTEILUNG DER REAKTIONSZEITEN INNERHALB DER GWK

- Häufigkeitsverteilungen für Grundwasserkörper (50. Perzentil der Filterlagen)

Gwk_ID	Fläche (ha)	Zehrgebiete	0 - 2.5 a	0.25 - 0.5 a	0.5 - 1 a	1 - 2.5 a	2.5 -10 a	10 - 25 a	> 25 a
258_01	1861	4.8%	4.6%	15.6%	15.6%	11.9%	22.0%	22.7%	2.6%
258_02	15384	2.8%	2.5%	3.2%	5.5%	16.1%	55.9%	12.7%	1.4%
258_03	874	2.9%	6.6%	67.3%	15.6%	4.1%	2.1%	1.3%	0.2%
26_01	6325	3.3%	1.1%	3.1%	9.8%	16.1%	53.8%	12.3%	0.6%
26_03	2473	2.1%	7.3%	12.7%	52.6%	24.3%	0.4%	0.2%	0.5%
26_04	76	6.6%	0.0%	2.6%	7.9%	21.1%	59.2%	2.6%	0.0%
27_01	9658	6.4%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	62.1%	16.3%	15.0%
27_02	7745	3.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	64.9%	18.4%	12.7%
27_03	14366	6.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	74.7%	8.9%	9.0%
27_04	16104	9.4%	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%	75.1%	7.8%	6.1%
27_05	10312	3.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	68.6%	7.6%	20.3%
27_06	10696	5.7%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	73.7%	11.7%	8.0%
27_07	6247	9.6%	0.0%	0.0%	0.0%	16.8%	66.3%	4.8%	2.5%
27_08	30447	3.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	76.7%	13.8%	5.8%
27_09	15232	2.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	71.9%	17.0%	8.3%
27_10	22136	2.4%	0.0%	0.1%	0.5%	0.8%	57.1%	24.3%	14.7%
27_11	2840	1.3%	2.3%	2.6%	8.4%	13.5%	44.8%	22.3%	4.8%
27_12	2057	1.6%	0.8%	1.0%	6.7%	30.9%	44.7%	12.7%	1.7%
27_13	17507	3.9%	1.1%	1.6%	5.9%	17.8%	35.1%	20.3%	14.4%
27_14	7359	3.6%	0.3%	0.5%	2.2%	7.1%	53.5%	29.9%	3.0%
27_15	1690	5.0%	0.1%	0.1%	10.2%	37.1%	22.6%	8.8%	16.1%
27_16	1498	2.3%	0.0%	0.1%	5.9%	34.5%	12.6%	19.8%	24.8%
27_17	14007	3.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	67.4%	18.9%	9.8%
27_18	17461	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	52.7%	35.4%	11.2%
27_19	19175	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	27.2%	48.2%	24.3%
27_20	17511	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	63.0%	23.8%	12.6%
27_21	2798	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	12.1%	53.6%	34.0%
27_22	10013	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	32.9%	46.0%	21.1%
27_23	11618	1.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	13.7%	52.7%	32.2%

RELEVANZ DER MODELLERGEBNISSE

- Erstmalig wurden Modellergebnisse generiert, die sich zur Bearbeitung der Fragestellungen und Zielerreichungsprognosen gemäß EG-WRRL, GWRL, GrwV und OgewV auf drei Endpunkte beziehen
  - bis zum Erreichen der Grundwasseroberfläche („Eintritt ins Grundwasser“),
  - bis zum Erreichen von Monitoringmessstellen bzw. Brunnen im GWK („Zielerreichung im Grundwasserkörper bzw. auf GWK-Ebene“)
  - bis zum nächsten Vorfluter („Erreichen des OFWK“).
- Für jeden der Endpunkte wurde abgeschätzt, inwieweit zeitliche Verzögerungen zwischen dem Zeitpunkt der Maßnahmenumsetzung und dem Zeitpunkt des Wirkungseintritts einzukalkulieren sind.
  - Diese Informationen können eine wichtige Grundlage darstellen, um ggf. erforderliche Fristverlängerungen aufgrund natürlicher Gegebenheiten begründen und angemessen quantifizieren zu können.
- Im Rahmen des Projektes **GROWA+ NRW 2021** werden die Modellergebnisse zu den Verweil- und Fließzeiten für weitergehende Modellierungen verwendet, d.h. zur Bestimmung des u.a. verweil-/fließzeitenabhängigen Nitratabbaus im Boden und im Grundwasser

GLIEDERUNG DES VORTRAGS

Verweil- und Fließzeitenermittlung

1. Methoden und Ergebnisse

   Teil 1: Verweilzeiten in der ungesättigten Zone

   Teil 2: Fließzeit des Grundwassers im oberen Aquifer bis Vorflutereintritt

   Teil 3: Verweil- und Fließzeiten bis zum Erreichen von Brunnen / Messstellen im GWK

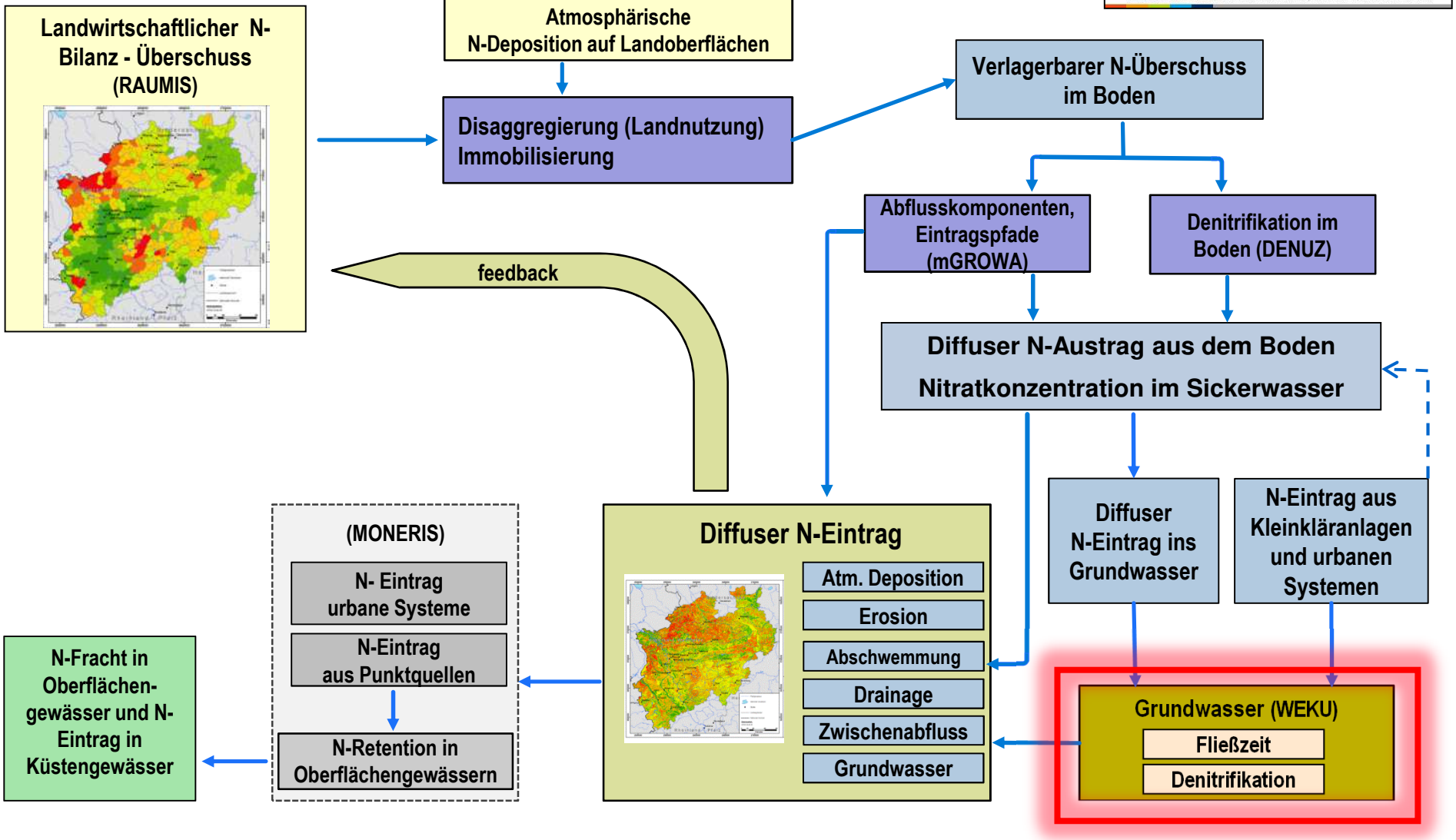
2. Relevanz der Modellergebnisse

Nitratabbau im Grundwasser

1. Methoden und Ergebnisse
2. Denitrifikationsbedingungen im Aquifer
3. Relevanz der Ergebnisse

GROWA+NRW2021:

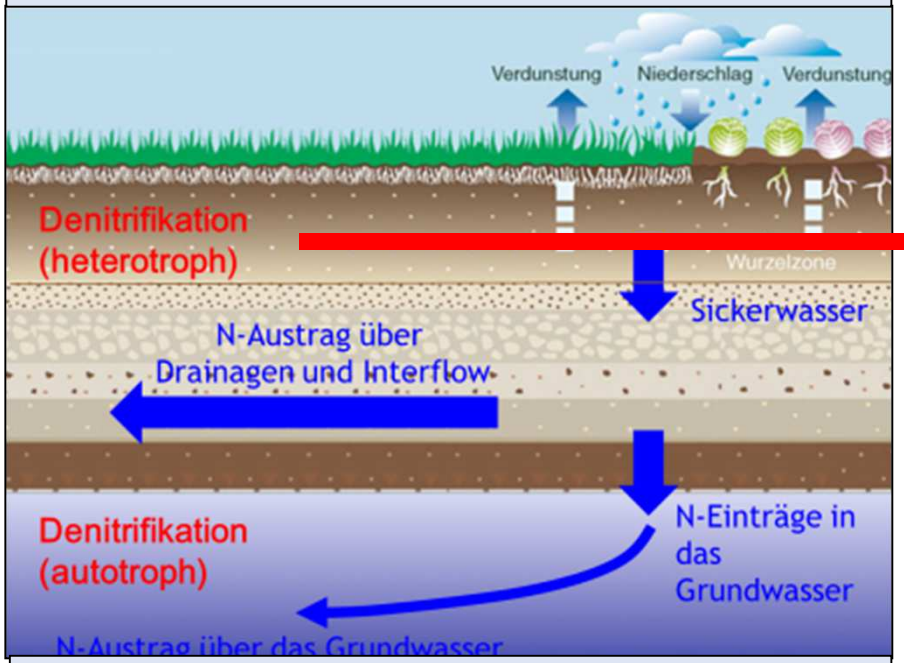
MODELLSYSTEM RAUMIS-MGROWA-DENUZ-WEKU



Verweil- und Fließzeiten und die Denitrifikationsbedingungen im Boden und im Grundwasser sind wichtige Gebietsparameter zur Modellierung der diffusen N-Austräge

NITRATABBAU IM GRUNDWASSER

WEKU: Berechnung der Fließzeiten und Denitrifikation im Grundwasser

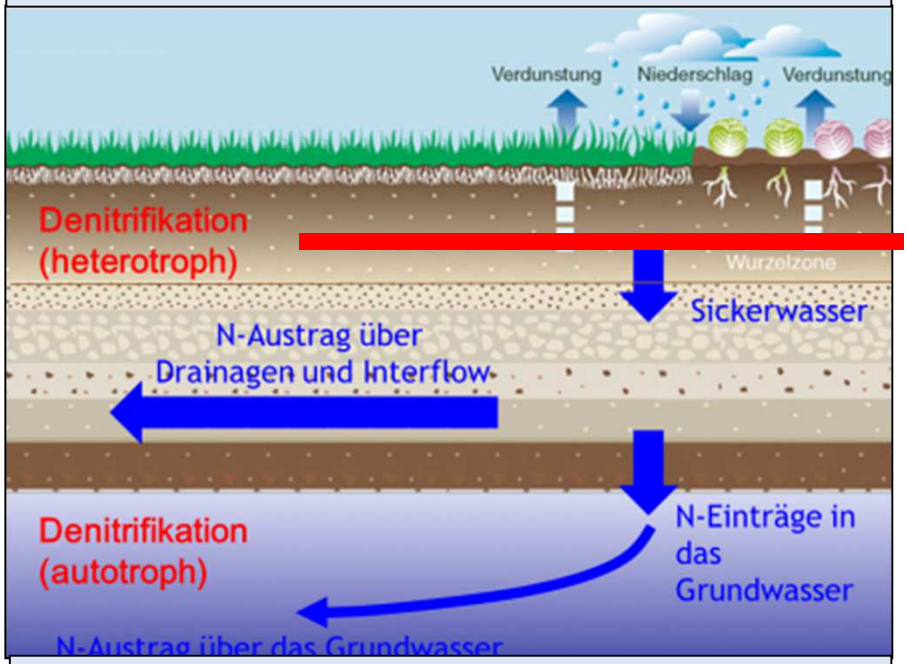


WEKU-Modellergebnis: N-Einträge in Vorfluter aus dem Grundwasser

- 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 irreversibel**
  - ➢ 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

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

$$k_n = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$$

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

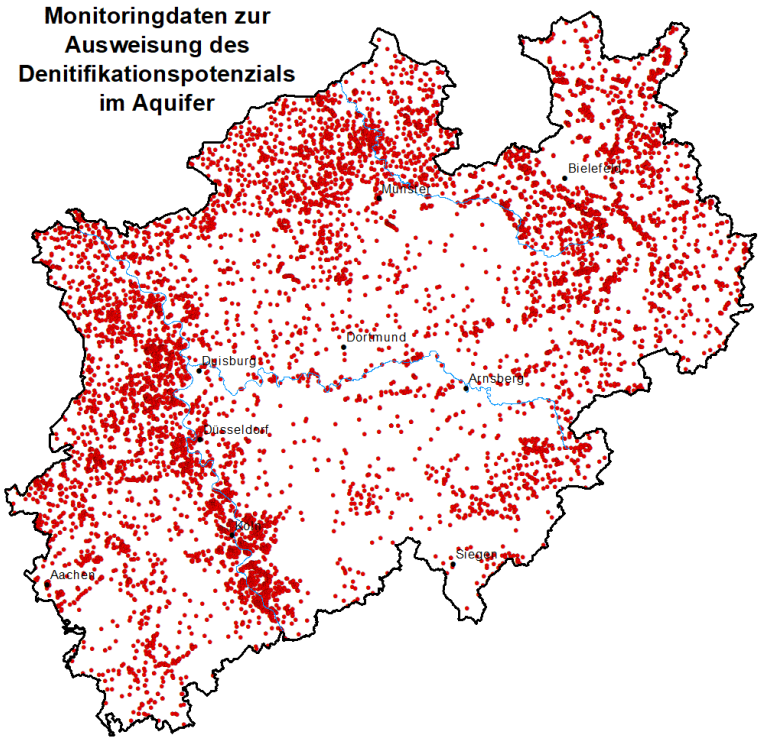
Parameter	Reduziertes Grundwasser
Eisen - Fe^{2+}	> 0,2 mg/L
Mangan – Mn^{2+}	> 0,05 mg/L
Nitrat - NO_3^-	< 1 mg/L
Sauerstoff - O_2	< 2 mg/L
Gelöster organischer Kohlenstoff – DOC	> 1,5 mg/L

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 O2 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, das 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

DATENQUELLEN UND REGIONALE VERTEILUNG DER GRUNDWASSERMESSSTELLEN



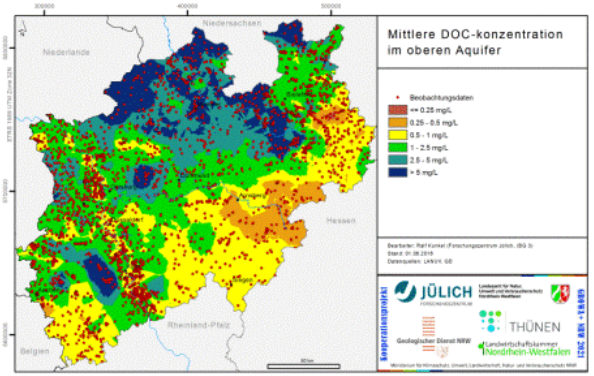
- LANUV: HYGRIS C
  - *89.223 Grundwasseranalysen (2000-2005)*
  - *5.789 Messstellen (alle oberer Aquifer, z.T. mit klassifizierten Tiefenangaben)*
- GD NRW:
  - *13.323 Messstellen mit je 1 Gw-analyse (keine Tiefenangaben)*
- Pre-processing:
  - Elimination unrealistischer Einzelwerte
  - Medianbildung für die Konzentrationen der Redoxindikatoren (Fe, Mn, DOC, NO3, O2) bei Messstellen mit Mehrfachbeprobungen
- Messstellendichte regional unterschiedlich

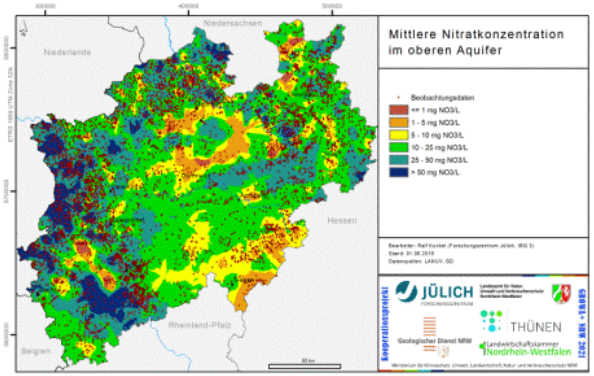
- Es verbleibt jeweils ein Messwert pro Parameter und Messstelle
- Anzahl der Messstellen zur Ausweisung des Nitratabbauvermögens im Grundwasser je nach Parameter zwischen 3.696 und 9.195

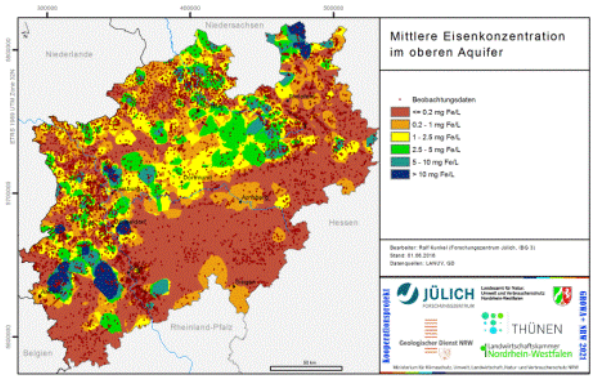
AUSWEISUNG DES NITRATABBAUVERMÖGENS IM GRUNDWASSER NRWS

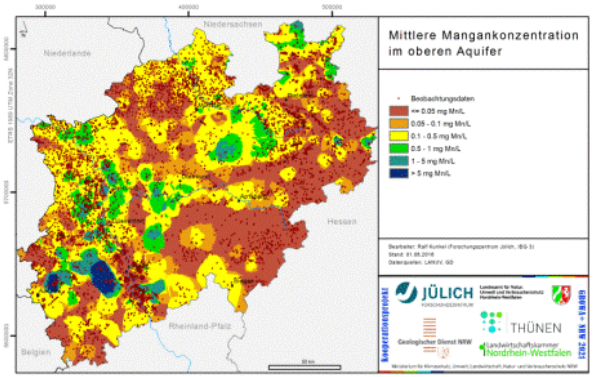
1. Regionalisierung (Kriging) der gemessenen Konzentrationswerte
2. Klassifizierung der regionalisierten Werte und Zuordnung von Punktzahlen
3. Addition der Punktwerte (Überlagerung im GIS) → Nitratabbauvermögen
4. Zuweisung von Halbwertszeiten der Denitrifikation im Grundwasser

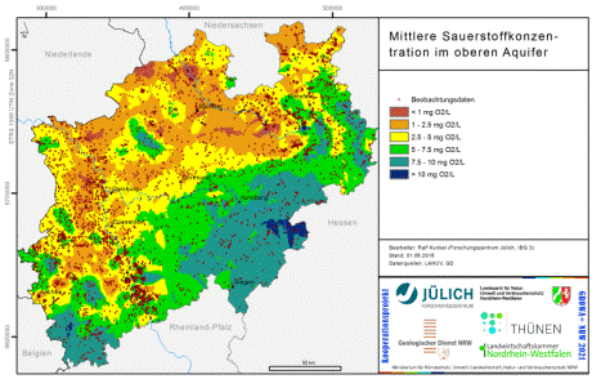
REGIONALISIERTE KONZENTRATIONSWERTE







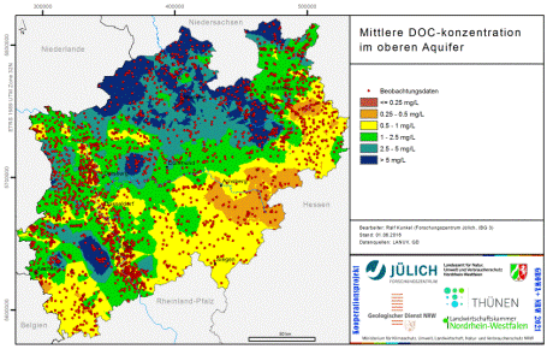




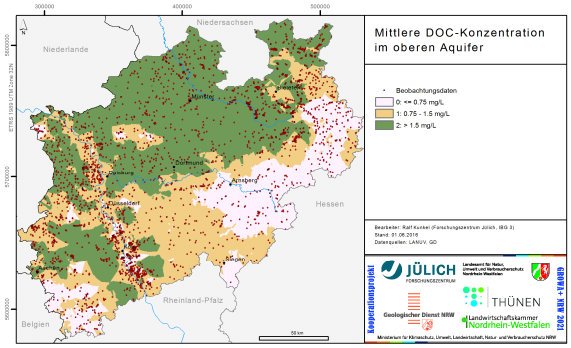
- Bei der Regionalisierung der Einzelparameter kommt es zu regionalen Unschärfen
- Erst aus dem Zusammenspiel der regionalisierten Konzentrationswerte der einzelnen Redox-Parameter im Raum lassen sich Rückschlüsse auf das Redox-Milieu ziehen

KLASSIFIZIERUNG DER REGIONALISERTEN WERTE

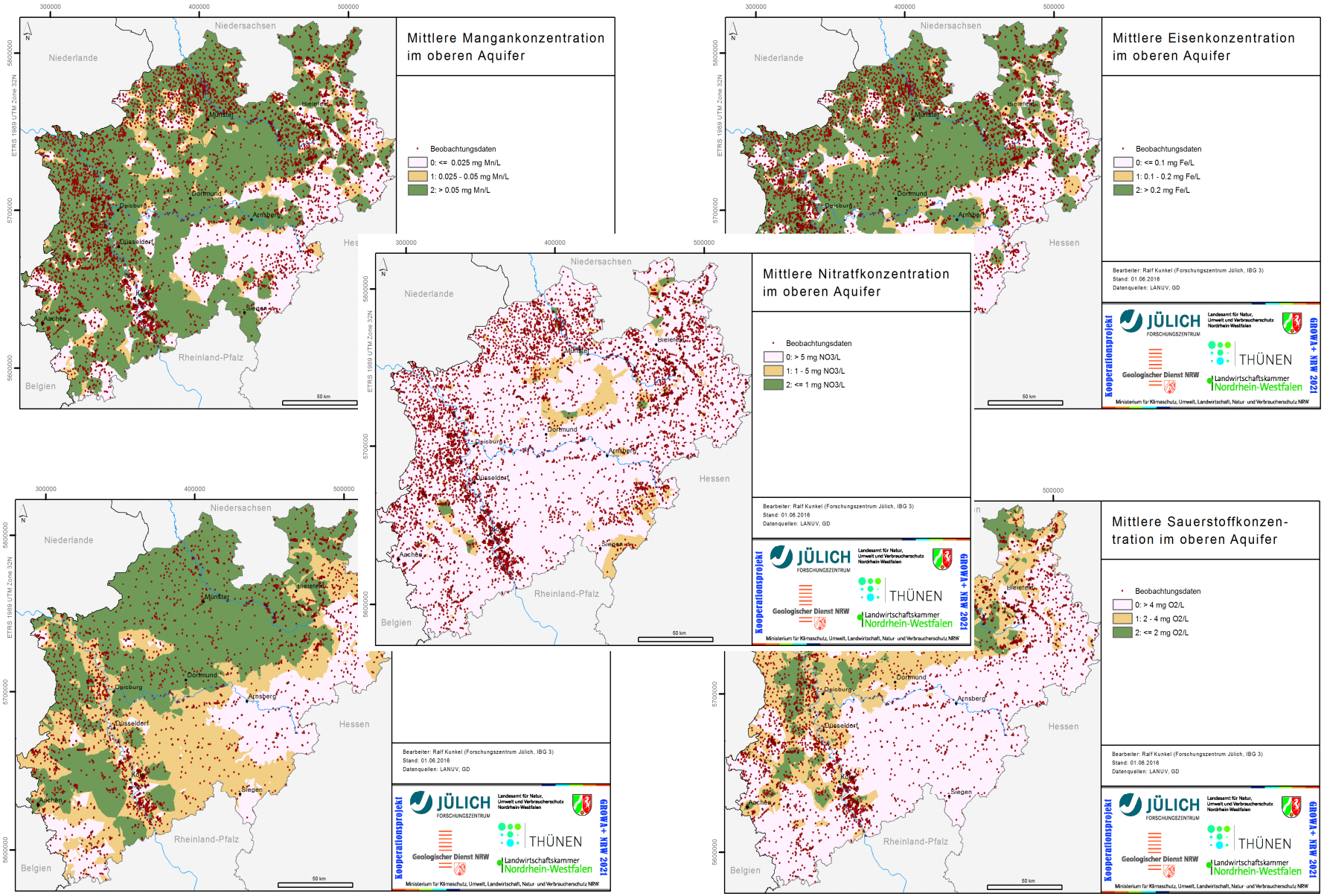
Parameter	Nitratabbauvermögen (Punkte)		
Name	**0 (gering)**	**1**	**2 (hoch)**
Farbgebung			
Fe^{2+}	< 0,1 mg/L	> 0,1 – 0,2 mg/L	> 0,2 mg/L
Mn^{2+}	< 0,025 mg/L	0,025 – 0,05 mg/L	> 0,05 mg/L
DOC	< 0,75 mg/L	> 0,75 – 1,5 mg/L	> 1,5 mg/L
NO_3	> 5 mg/L	> 1 – 5 mg/L	< 1 mg/L
O_2	> 4 mg/L	> 2 – 4 mg/L	<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



Beispiel

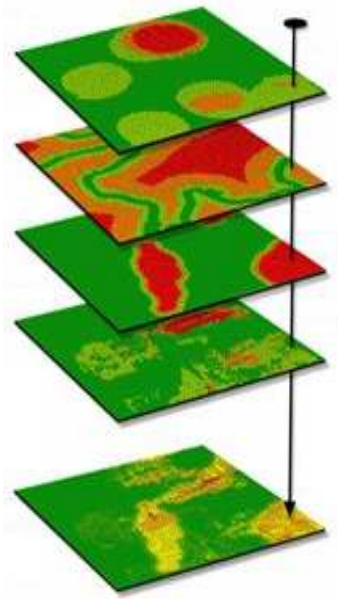


KLASSIFIZIERUNG DER REGIONALISIERTEN KONZENTRATIONSWERTE



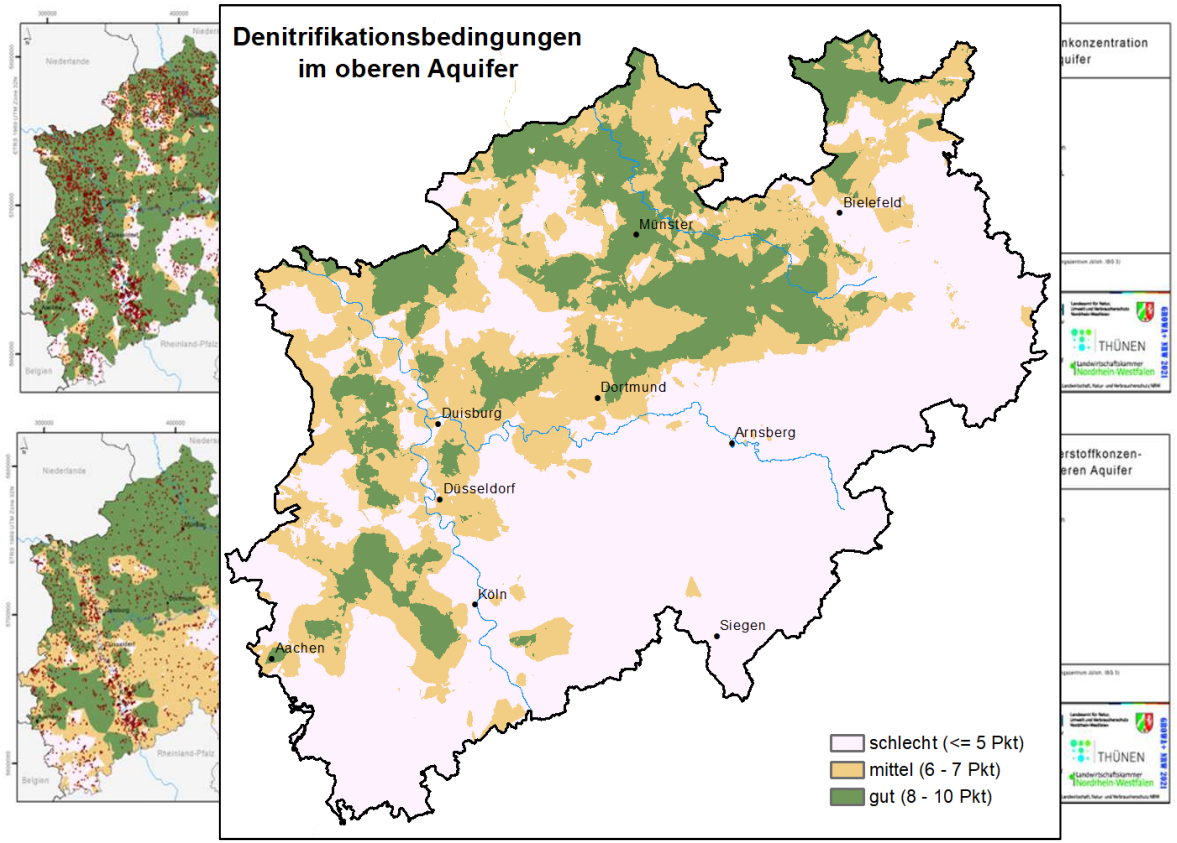
ABLEITUNG DER DENITRIFIKATIONSBEDINGUNGEN IM AQUIFER

Überlagerung der klassifizierten Konzentrationsbereiche der Einzelparameter im GIS



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

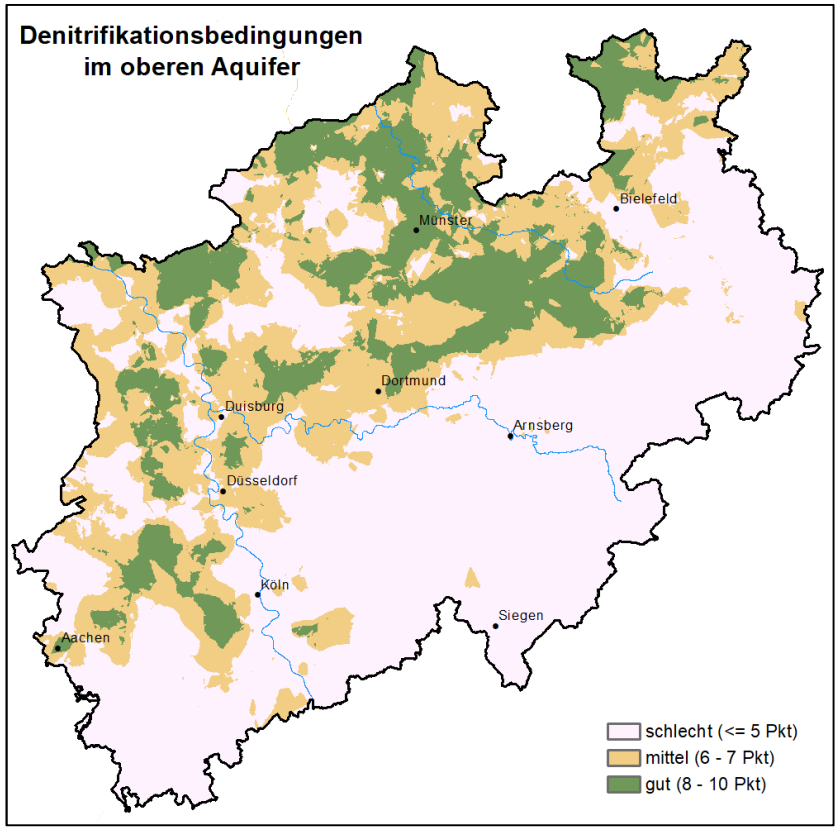
- $\overline{NAV}$: *mittleres Nitratabbauvermögen*



Addition der Punktzahlen → Nitratabbaubedingungen

JÜLICH
Forschungszentrum

ZUORDNUNG VON HALBWERTZEITEN DER DENITRIFIKATION AN AUSGEWIESENE DENITRIFIKATIONSBEDINGUNGEN



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

Halbwertzeiten der Denitrifikation im Grundwasser werden zur Berechnung der grundwasserbürtigen N-Einträge in die Vorfluter benötigt:

→ (indirekte) Validierung / „Nach-Justierung“ an Messwerten im Vorfluter

→ direkte Validierung / „Nach-Justierung“ im LANUV anhand von N2/Ar-Messungen

GLIEDERUNG DES VORTRAGS

Verweil- und Fließzeitenermittlung

1. Methoden und Ergebnisse

   Teil 1: Verweilzeiten in der ungesättigten Zone

   Teil 2: Fließzeit des Grundwassers im oberen Aquifer bis Vorflutereintritt

   Teil 3: Verweil- und Fließzeiten bis zum Erreichen von Brunnen / Messstellen im GWK

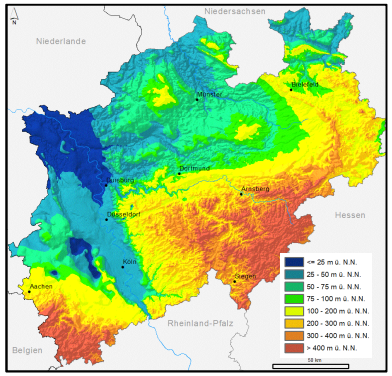
2. Relevanz der Modellergebnisse

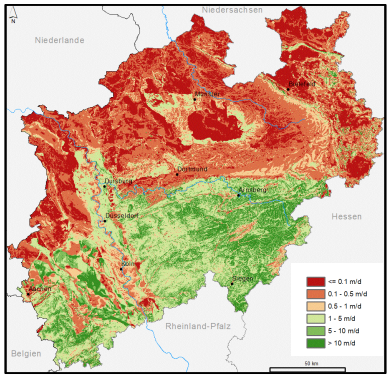
Nitratabbau im Grundwasser

1. Methoden und Ergebnisse
2. Denitrifikationsbedingungen im Aquifer
3. Relevanz der Ergebnisse

WEKU: NITRATABBAU IM GRUNDWASSER

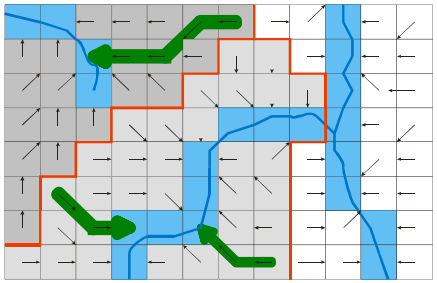
Grundwasseroberfläche



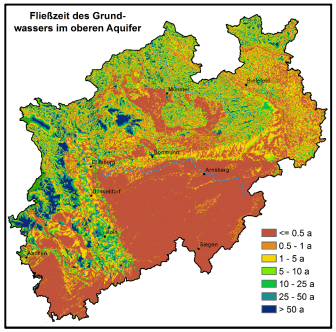


Abstandsgeschwindigkeit

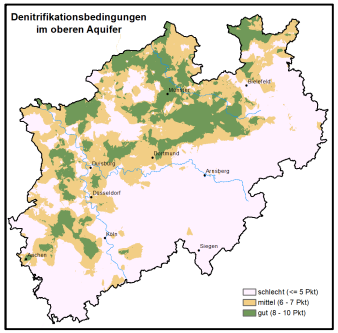
Fließstrecke bis Vorfluter

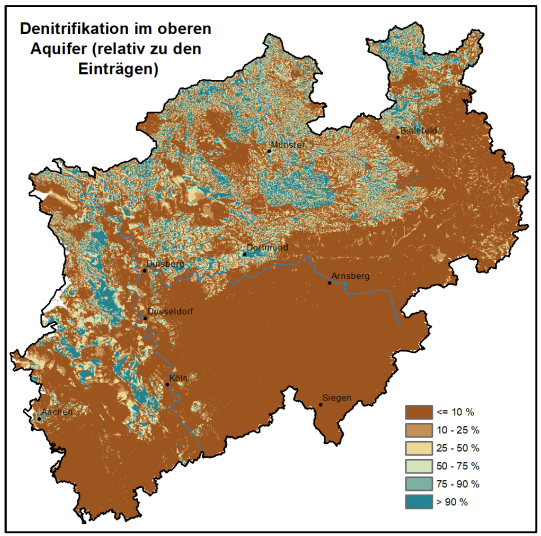


Fließzeit



Denitrifikationsbed.





Question