

Eintrag, Verhalten und Abbau von Nitrat im Grundwasser

– Einsatz von Prognosemodellen –

Hannover – 04. Juni 2014

Dr. Christine Kübeck und Dr. Axel Bergmann



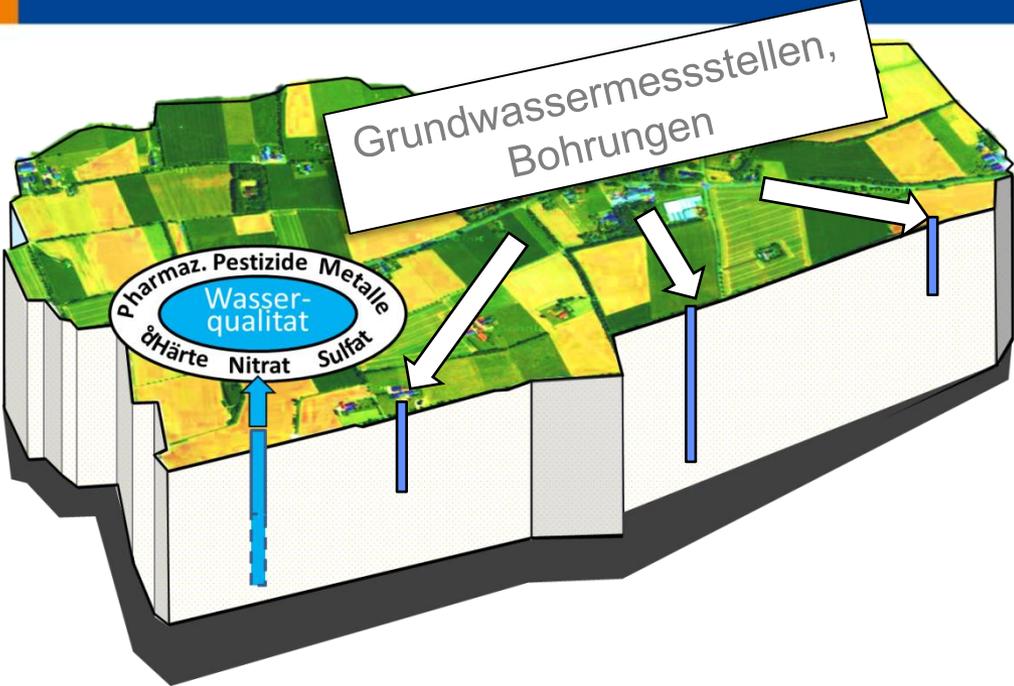
Institut an der
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken



1. Hintergrund und Zielsetzung
2. Charakterisierung und Quantifizierung des Nitratabbauvermögens (**DVGW-Projekt**)
 - Fragestellung
 - Vorgehensweise
 - Modellergebnisse
3. Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserbeschaffenheit (**BMBF-Projekt**)
 - Problemstellung
 - Modellergebnisse
4. Zusammenfassung

1 Hintergrund und Zielsetzung



Nutzung von Grundwasserressourcen zur Trink- und Brauchwassergewinnung:

- Rohwasserquantität und -qualität



- Frühzeitiges Erkennen von **Entwicklungstrends** in der Grundwassersystemen
- Aber:** Grundwassersysteme sind „black box“ Systeme

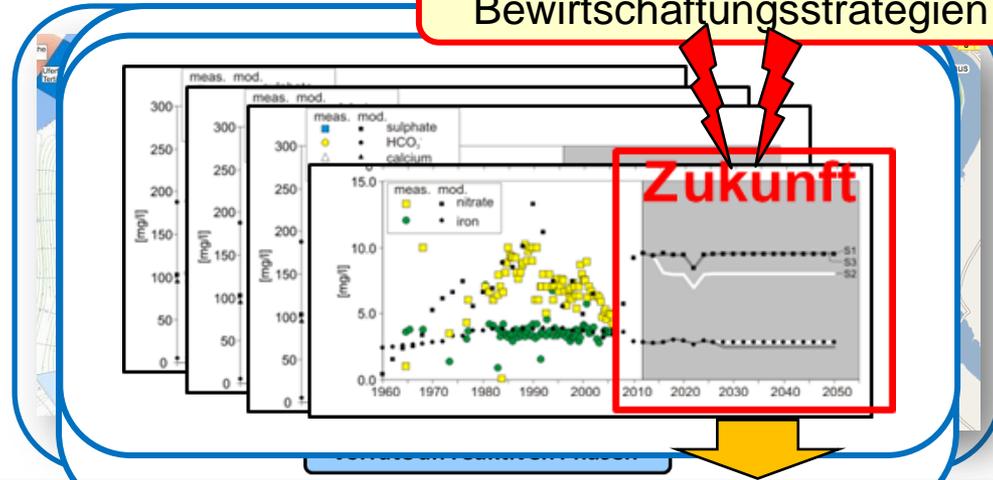
- **Maßnahmen** rechtzeitig einleiten
- Abschätzung der **Effizienz** möglicher Maßnahmen
- (Kosten/Nutzen) Informationen über Messstellen/Brunnen
- **Planungssicherheit**

Bsp. Nitratproblematik

Ableitung von Maßnahmen/Strategien zum Schutz daher schwierig

1 Hintergrund und Zielsetzung

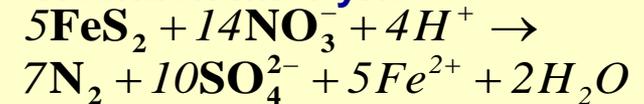
Klimawandel, Landnutzung
Bewirtschaftungsstrategien



Entwicklung effizienter Schutzmaßnahmen/
Anpassungsstrategien

Bsp. Nitratproblematik
Nitratabbaukapazität im GWL

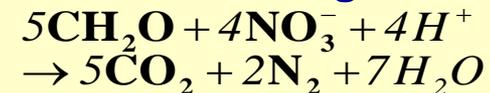
Reaktion mit Pyrit



Folgereaktionen

- Freisetzung von **Eisen** und **Sulfat**
- Schwermetalle: Mn, As, Ni, Co etc.
- pH-Wert Absenkung => Calcitlösung

Reaktion mit org. Kohlenstoff



Folgereaktionen

- Freisetzung von **CO₂** (=>pH-Wert)
- Freisetzung von **Huminstoffen**
- sorbierte Substanzen: **Uran, org. Schadstoffe**

■ **Modelle** als ein **Hilfsmittel** zur:

- flächenhaften **Erfassung und Auswertung** von Informationen (Geosystem)
- **Erfassung aller Prozesse** im Grundwasserleiter (Hydraulik/Hydrochemie)
- Berechnung von **Prognoseszenarien** unter sich ändernden Umweltbedingungen

2 Nitratabbauvermögen - Fragestellung

Forschungsprojekt: „Konsequenzen nachlassenden Nitratabbauvermögens in Grundwasserleitern (2013)“ im Auftrag des DVGW und 16 beteiligten Wasserversorgungsunternehmen

Angesprochen: Wassergewinnungen in ländlichen Regionen

- Wie kann das Nitratabbauvermögen im Grundwasserleiter charakterisiert und quantifiziert werden?
- Wie lange reicht das Nitratabbauvermögen bei welchen Eintragsfrachten aus, um eine bestimmte Nitratkonzentration im Rohwasser einzuhalten?
- Welche Bewirtschaftungsstrategien in Wassergewinnungsgebieten sind nachhaltig und welche nicht?
- Zu welchen Kosten lässt sich der Aufbrauch des Abbauvermögens verzögern? In welcher Relation stehen diese Aufwendungen zu den ggf. durch aufbereitungs-technische Lösungen verursachten Kosten?
- Welche wasserwirtschaftlichen Konsequenzen und welcher Handlungsbedarf ist daraus abzuleiten? Was ist zu tun?

2 Nitratabbauvermögen

energie|wasser praxis 2/2014, 36-42

FORSCHUNG & ENTWICKLUNG

Konsequenzen nachlassenden Nitratabbaus in Grundwasserleitern

In einem vom DVGW und von Wasserversorgungsunternehmen finanzierten Forschungsvorhaben wurde eine **Methodik zur Charakterisierung und Quantifizierung des Nitratabbauvermögens in Porengrundwasserleitern** entwickelt und die **qualitativen, technischen und wirtschaftlichen Konsequenzen eines fortschreitenden Aufbrauchs des Nitratabbauvermögens** für die Wasserversorgung bewertet.

Deutscher Verein des
Gas- und Wasserfaches e.V.
DVGW
FORSCHUNG

www.dvgw-forschung.de

Abschlussbericht Konsequenzen nachlassenden Nitratabbauvermögens in Grundwasserleitern

August 2013

Dr. Axel Bergmann
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserfor-
schung, Mülheim an der Ruhr (IWW)

Dipl.-Geol. Leonardo van Straaten
CONSULAQUA Hildesheim - GEO INFOMETRIC, Hildesheim

Prof. Dr. Wolfgang van Berk
Technische Universität Clausthal, Institut für Endlagerfor-
schung, Clausthal-Zellerfeld (TUC)

Prof. Dr. Peter Dietrich
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH,
Leipzig (UFZ)

Dr. Uwe Franko
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH,
Leipzig (UFZ)

Dipl.-Geol. Joachim Kiefer
DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe (TZW)

IWW

CONSULAQUA
GEO INFOMETRIC

TU Clausthal

HELMHOLTZ
ZENTRUM FÜR
UMWELTFORSCHUNG
UFZ

TZW
Technologiezentrum
Wasser

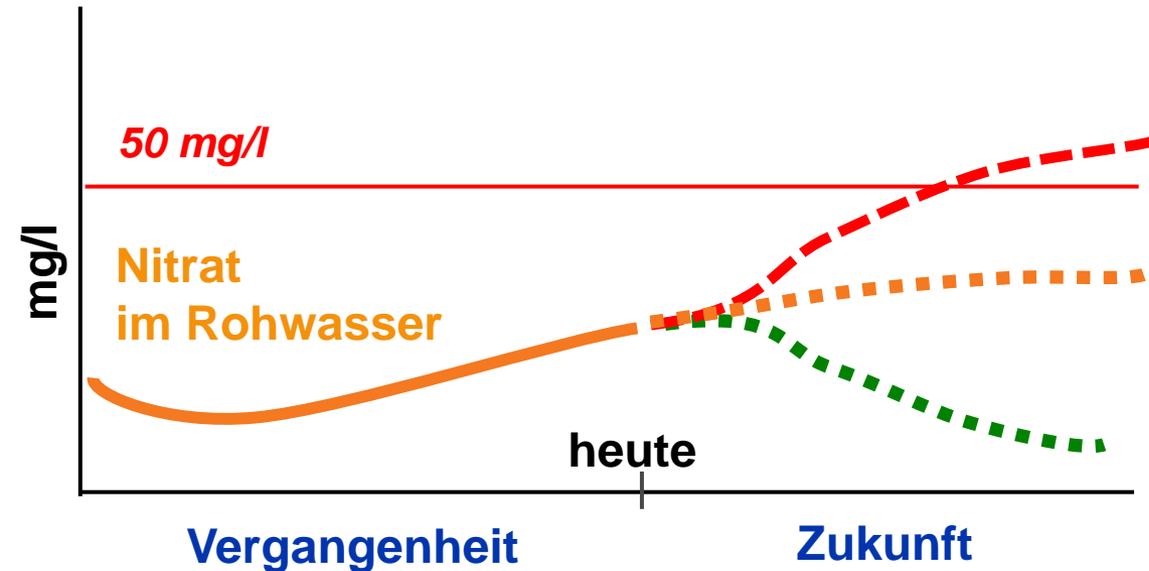
www.dvgw.de

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

IWW

2 Nitratabbauvermögen



Entwicklung der N-Einträge

„worst case“:
max. N-Eintrag + 20%

„status quo“:
konstante N-Einträge

„best case“:
W-104 „sofort“

Anhand von Prognosemodellen wurde untersucht:

→ Zusammenspiel aus der Entwicklung der N-Einträge und dem Verlust an Abbauvermögen (Pyrit/Corg)

→ N-Eintragsszenarien

„worst case“

„status quo“

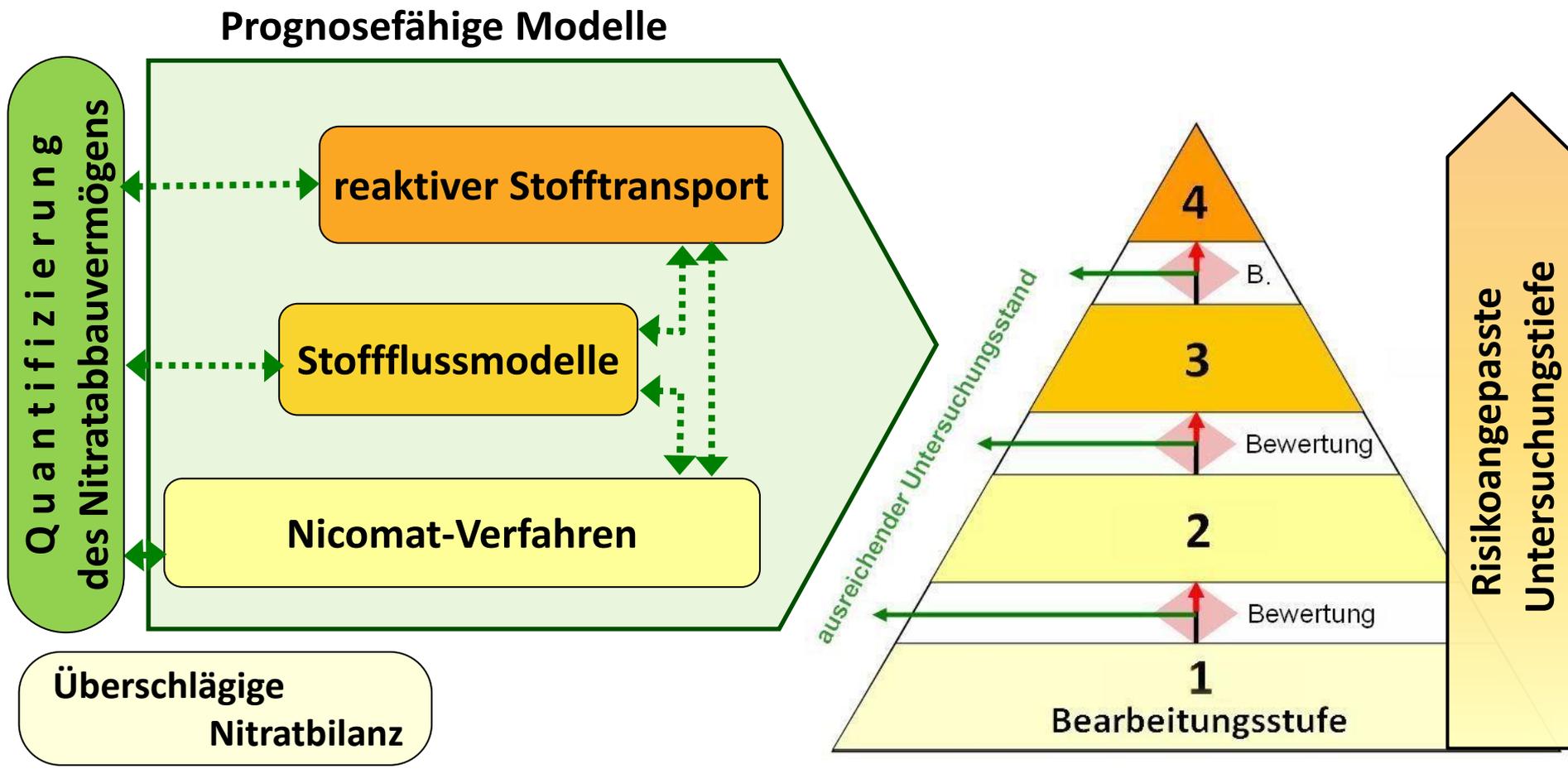
„best case“

→ Entwicklung anderer Beschaffenheitsparameter insbesondere pH-Wert, Fe, Mn, Sulfat, H⁺karbonat etc.

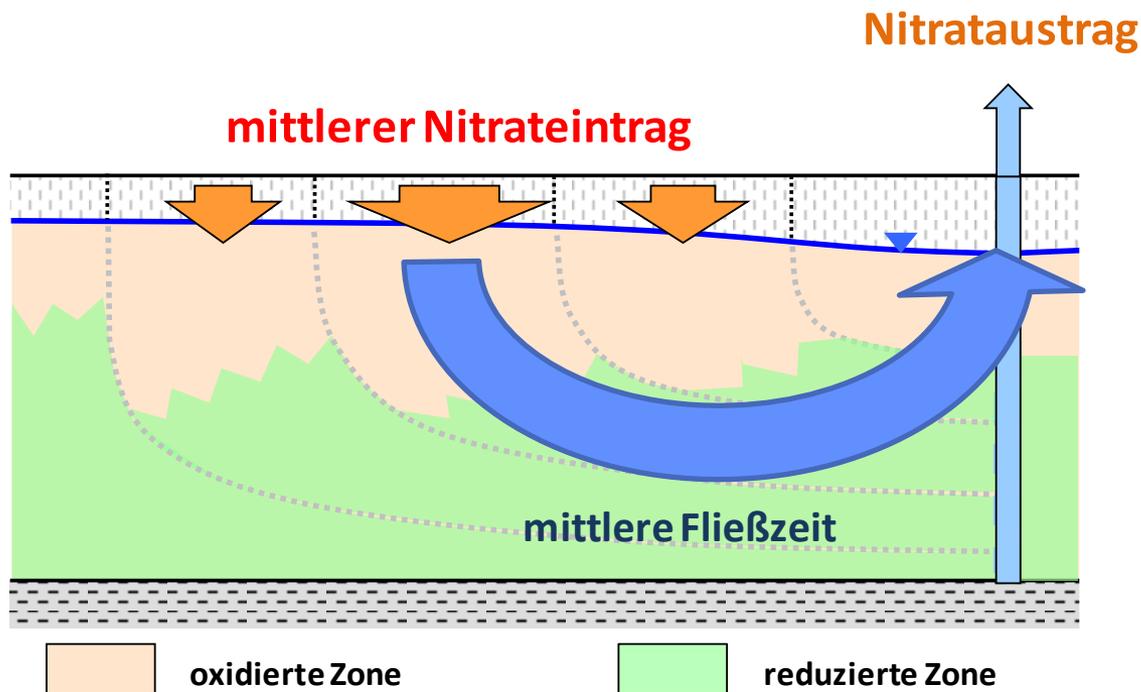
2 Nitratabbauvermögen - Modellbasiertes Bewertungsschema

Bewertung der Nachhaltigkeit von Landnutzungen/Bewirtschaftung

- hinsichtlich der zu erwartenden Nitratkonzentrationen im Sicker- und Rohwasser
 - nachhaltig, wenn NO_3^- kleiner 37,5 mg/l
- höhere Bewertungsstufe notwendig, wenn Nachhaltigkeit nicht bewertbar



2 Nitratabbauvermögen - Bewertung der Nachhaltigkeit – Stufe 1



Stufe 1: Nitratbilanz

Differenz zur Austragskonzentration (-fracht) im Rohwasser

→ Abbauleistung

- flächennutzungs- und neubildungsgewichtet

Modell: einfache Bilanzierungsrechnung (Excel-Datenblatt)

2 Nitratabbauvermögen - Bewertung der Nachhaltigkeithaltigkeit – Stufe 1

WEITER **Auswertung**

Wasserwirtschaft
Wassergewinnungsgebiet
Bezugsjahr der Grundwasserneubildung
mittlere Nitratkonzentration im Grundwasser
mittlere Fördermenge im Grundwasser
mittlere Grundwasserneubildung
 Infiltration
Einzugsgebietsgröße
mittlere Mächtigkeit des Grundwasserleiters
effektive Porosität
mittlere Aufenthaltszeit
Unterscheidung von Grundwasserleitern

Bezeichnung
Kanal

Angaben bezogen auf die Grundwasserneubildung

Flächeanteile in Prozent im Einzugsgebiet

Stickstoffeintrag

Infiltration

Kanal

IWW
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

Wassergewinnungsgebiet: Testgebiet

Hydrogeologische Basisdaten

verfügbare Grundwasserressource im WGG: 15,000,000 m³

Gesamtfördermenge im Bezugsjahr 2020: 1,300,000 m³/a
davon Gesamtanteil der Infiltration: 100,000 m³/a

Nitrateintrag über die Neubildung im Bezugsjahr 2008

Acker	12.5 t N/a
Grünland	7.5 t N/a
Wald	2.5 t N/a
Siedlung	2.5 t N/a
Gesamt	25 t N/a

Überschlägige Nitratbilanzierung

Stickstoffeintrag über Neubildung im Bezugsjahr 2008	25 t N/a
mittlere Nitratkonzentration im Grundwasser	92 mg/l
Stickstoffeintrag über Infiltration im Bezugsjahr 2008	0.45 t N/a
mittlere Nitratkonzentration im Oberflächenwasser	20 mg/l
Stickstoffaustrag über das Rohwasser im Bezugsjahr 2020	8.81 t N/a
mittlere Nitratkonzentration im Rohwasser	30 mg/l
Abbauleistung im Grundwasserleiter	16.65 t N/a
als Anteil des Stickstoff-Gesamteintrags	65.42 %
als Nitratkonzentration im Rohwasser	5.67 mg/l

Bewertung * **nicht bewertbar, weitere Untersuchungen sind notwendig**

Aufgrund der hohen Nitratreinträge in das Grundwasser von > 37,5 mg/l ist die Bewirtschaftung als nicht nachhaltig einzustufen. Die Nitratkonzentration im Rohwasser ist zum betrachteten Zeitpunkt < 37,5 mg/l.

Aus der Nitrat-Bilanz ergibt sich eine signifikante Beeinflussung der Rohwasserbeschaffenheit durch den Nitratabbau im Grundwasserleiter und den Zustrom infiltrierenden Oberflächenwassers.

Weiterführende Untersuchungen hinsichtlich eines nachlassenden Nitratabbauvermögens im Grundwasserleiter sowie die modellbasierte Erarbeitung nachhaltiger Bewirtschaftungsstrategien werden empfohlen.

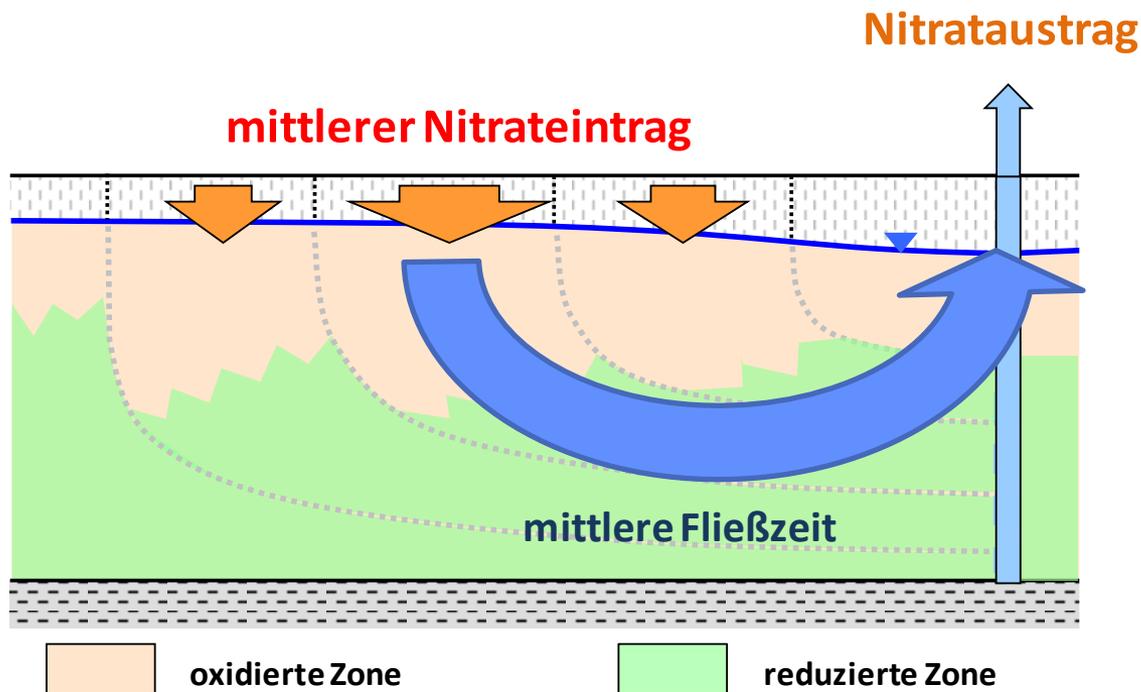
*Die Bewertung der Bewirtschaftung im WGG bezieht sich ausschließlich auf den betrachteten Zeitraum sowie die vorgegebenen Systembedingungen. Grundlage für diese Betrachtung ist eine Nitrat-Bilanzierung, die sich von der prozessorientierten Betrachtung mittels Stoffflussmodellen oder reaktiven Stofftransportmodellen z. T. wesentlich unterscheiden kann. Die Nitrat-Bilanzierung dient damit als erste Einschätzung der Nitratlfrachten sowie der Abbauleistung im Grundwasserleiter des WGG.

DRUCKEN

Vergleich öffnen **ZURÜCK**

Projekt speichern **Projekt schließen**

2 Nitratabbauvermögen - Bewertung der Nachhaltigkeit – Stufe 1



Modell: einfache Bilanzierungsrechnung (Excel-Datenblatt)

Stufe 1: Nitratbilanz

Differenz zur Austragskonzentration (-fracht) im Rohwasser

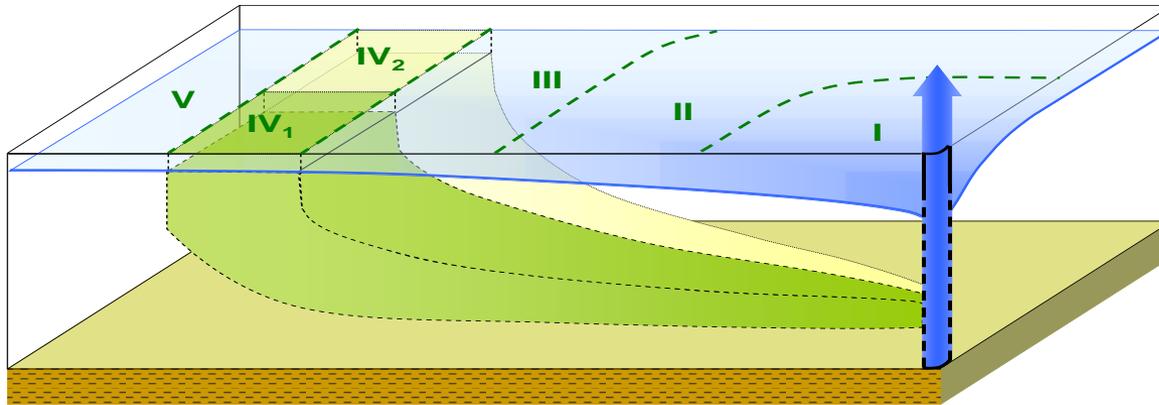
→ Abbauleistung

- flächennutzungs- und neubildungsgewichtet

Modell

- + geringer Daten- und Ressourcenaufwand
- gibt die Zehrung des Nitratabbauvermögens nicht wider
- zeitlich und räumlich nicht aufgelöst

2 Nitratabbauvermögen - Bewertung der Nachhaltigkeit – Stufe 4



Stufe 4: Prognosebasierte Bewertung

→ Denitrifikationsprozesse und Zehrung der Gehalte an Pyrit und C_{org} werden im Raum und in der Zeit abgebildet

→ Reaktionskinetik von C_{org}

Modell: Reaktive Stofftransportmodellierung

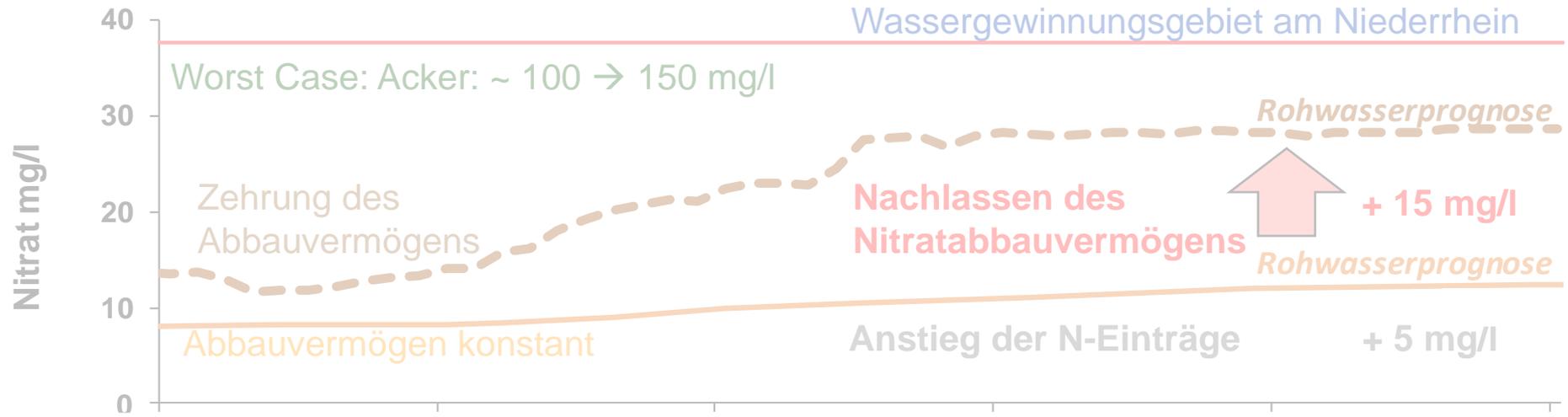
- Zweischnittverfahren aufgesetzt auf hydraulische Modellierung
 - Nutzung von Fließzeitzone
 - Hydraulische Modelle: SPRING, FEFLOW, MODFLOW etc.
 - Hydrochemisches Modell: PHREEQC
- Gekoppelte hydraulische und hydrochemische Modellierung
 - MODFLOW und PHREEQC

Modell

- + hohe Rechengenauigkeit und Prognosefähigkeit
- relativ hoher Daten- und Ressourcenaufwand

2 Nitratabbauvermögen - Modellergebnisse

Unterschiedliche Ergebnisse der Modelle



Auswirkung untersch. Landnutzungen (Intensivierung/Extensivierung)

3 Auswirkungen des Klimawandels



dynaklim Projekt

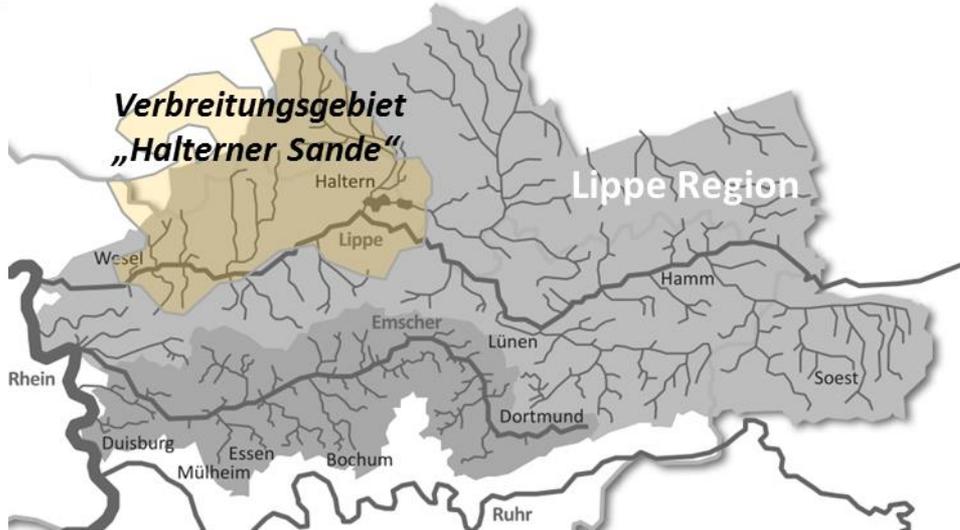
Dynamische Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region

Ziele

- Untersuchung der Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels auf die **Verfügbarkeit und die Nutzung des Wassers** in der Region
- und die damit verbundenen **Folgewirkungen** auf Wirtschaft und Gesellschaft
- Entwicklung von **Anpassungsstrategien** an den prognostizierten Klimawandel in einem industriell geprägten Ballungsraum

Teilprojekt: „Konkurrierende Wassernutzungen“

3 Auswirkungen des Klimawandels



Wetterchaos treibt Agrarpreise
(Quelle: Handelsblatt)

Regionale Auswirkungen

- heißere Sommer mit Starkregenereignissen und mildere Winter
- leichter Anstieg der Jahresniederschlagssumme, aber höhere Verdunstung (durch \uparrow Temperaturen)
- Änderung des Niederschlagsmusters mit länger anhaltenden sommerlichen Trockenperioden

Projektregion „Emscher-Lippe“

Temperatur-Anstieg

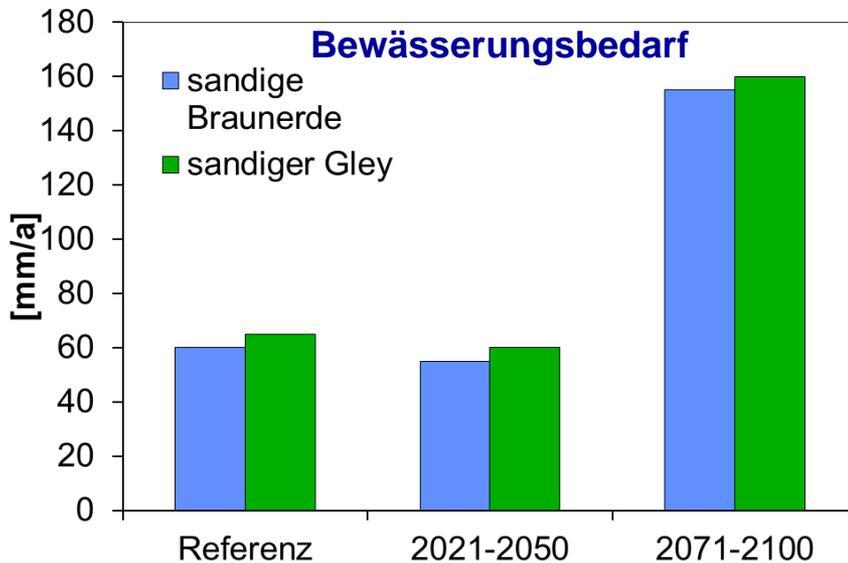
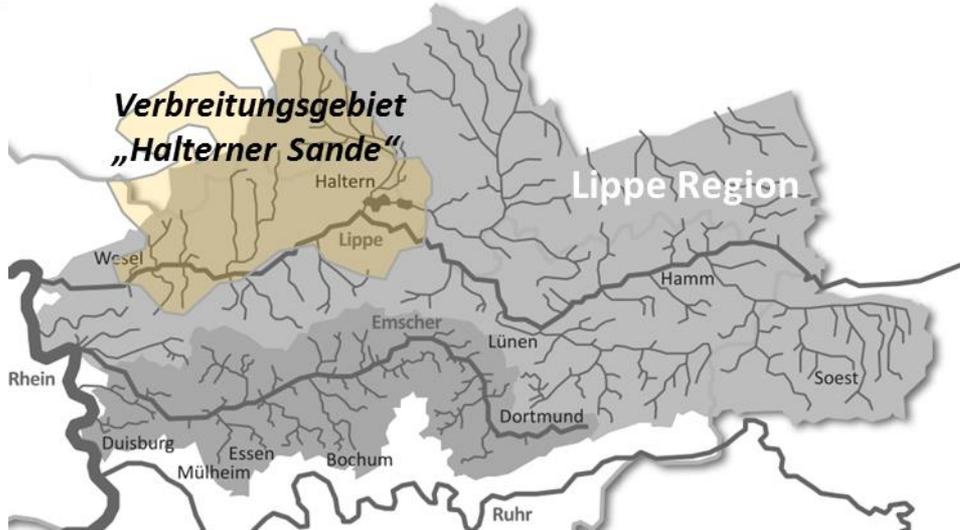
- 1961-1991: $0,8^\circ \text{C}$
- 1991-2100: $> 3^\circ \text{C}$

Datenbasis: Regionales Klimamodell CLM
Quirnbach et al. (2012)

Zeitraum	Niederschlag	Verdunstung Acker
2021-2050	+5,4%	+4,5%
2071-2100	+1,5%	+15,2%

GW-Strömungsmodell ewlw Barein et al. (2013)

3 Auswirkungen des Klimawandels



Modellierung mit CANDY

Regionale Auswirkungen

- heißere Sommer mit Starkregenereignissen und mildere Winter
- leichter Anstieg der Jahresniederschlagssumme, aber höhere Verdunstung (durch \uparrow Temperaturen)
- Änderung des Niederschlagsmusters mit länger anhaltenden sommerlichen Trockenperioden

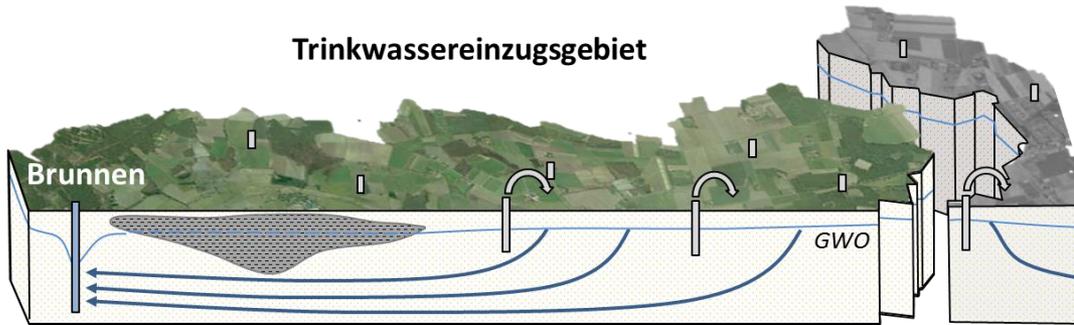
Folgen für die Landwirtschaft

- *Trockenperioden und Starkregenereignisse im Wechsel*
 - unvollständiger Nährstoffentzug
 - erhöhte Auswaschung von Nitrat mit dem Sickerwasser
- **zunehmendes Risiko von Wasserknappheit**
 - erhöhter Beregnungsbedarf

Verschärfung der Nitratproblematik

3 Auswirkungen des Klimawandels - Modellergebnisse

„Referenzzustand“



Grundwasserneubildung

Referenzzustand : **215 mm/a**
(1961-1990) (\emptyset Beregnung: 5 mm)

Nahe Zukunft : **229 mm/a**
(2021-2050) (\emptyset Beregnung: 13 mm)

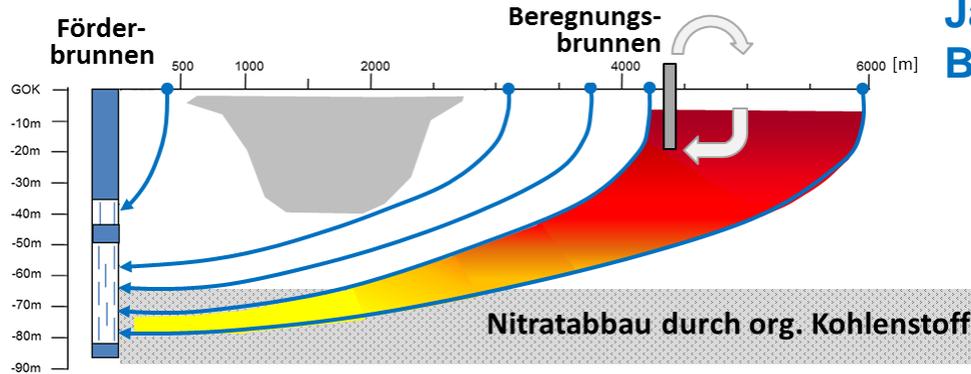
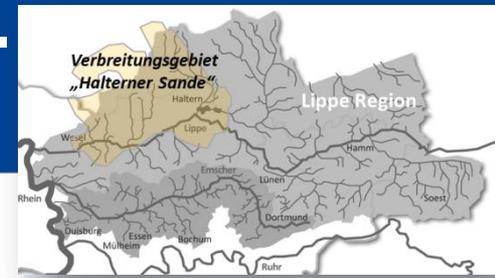
Ferne Zukunft : **172 mm/a**
(2071-2100) (\emptyset Beregnung: 50 mm)

Bei gleichbleibender Rohwasserförderung Defizit von **2,4 Mio m³/a**

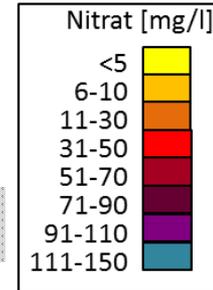
- Ausweitung des Einzugsgebietes nach Norden um **1/5 der Gesamtfläche**
- Absenkung des GW-Spiegels
- Beeinflussung von Oberflächengewässern



3 Auswirkungen des Klimawandels - Modellergebnisse

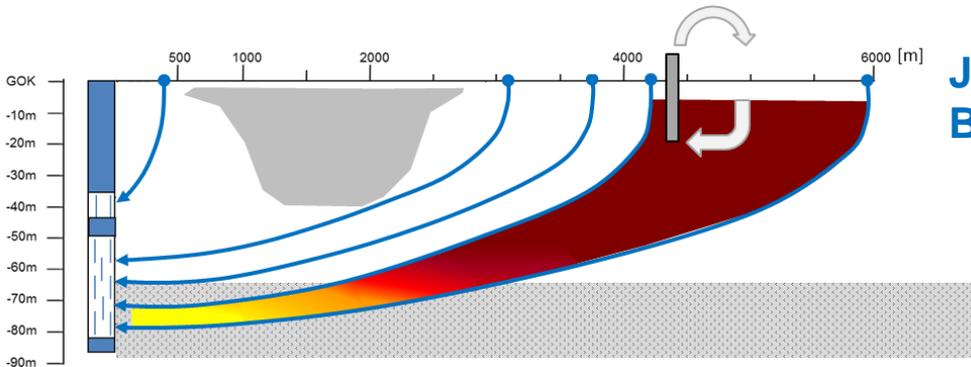


Jahr: 1975
Beregnung: 30 mm/a



Bsp. Tiefbrunnen in den Halterner Sanden

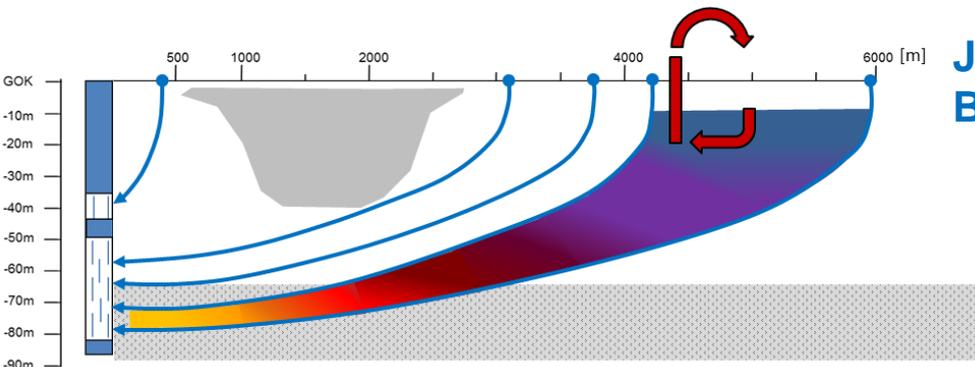
- Nitrat im oberflächennahen GW von 50 mg/l



Jahr: 2085
Beregnung: 30 mm/a

Gleichbleibende Landnutzung / Bewirtschaftung

- Anstieg der Nitratkonzentration auf 85 mg/l

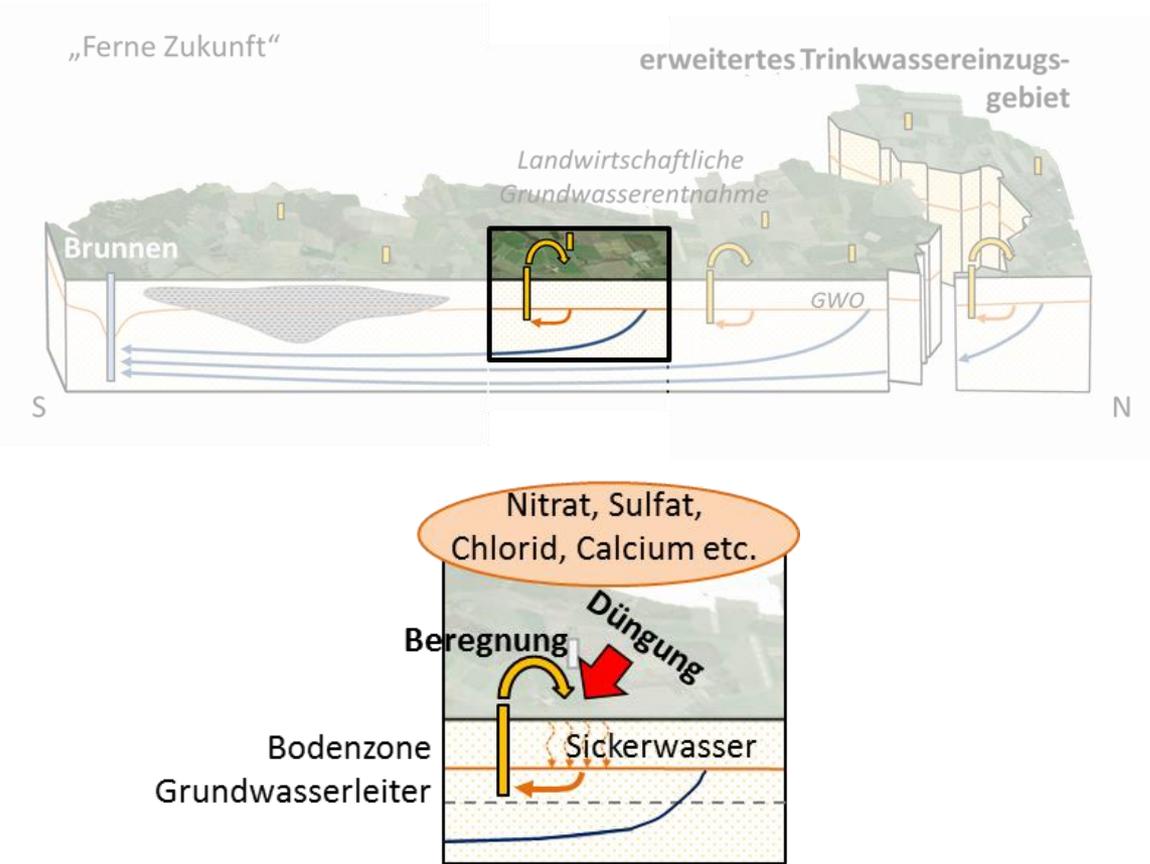


Jahr: 2085
Beregnung: 117 mm/a

Erhöhung der Beregnung

- Anstieg der Nitratkonzentration auf über 130 mg/l

3 Auswirkungen des Klimawandels - Modellergebnisse

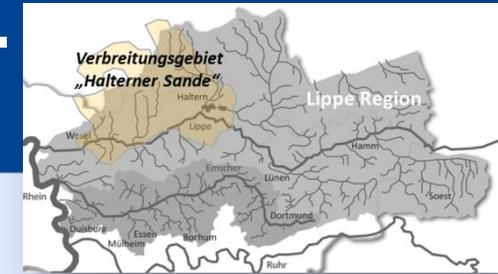
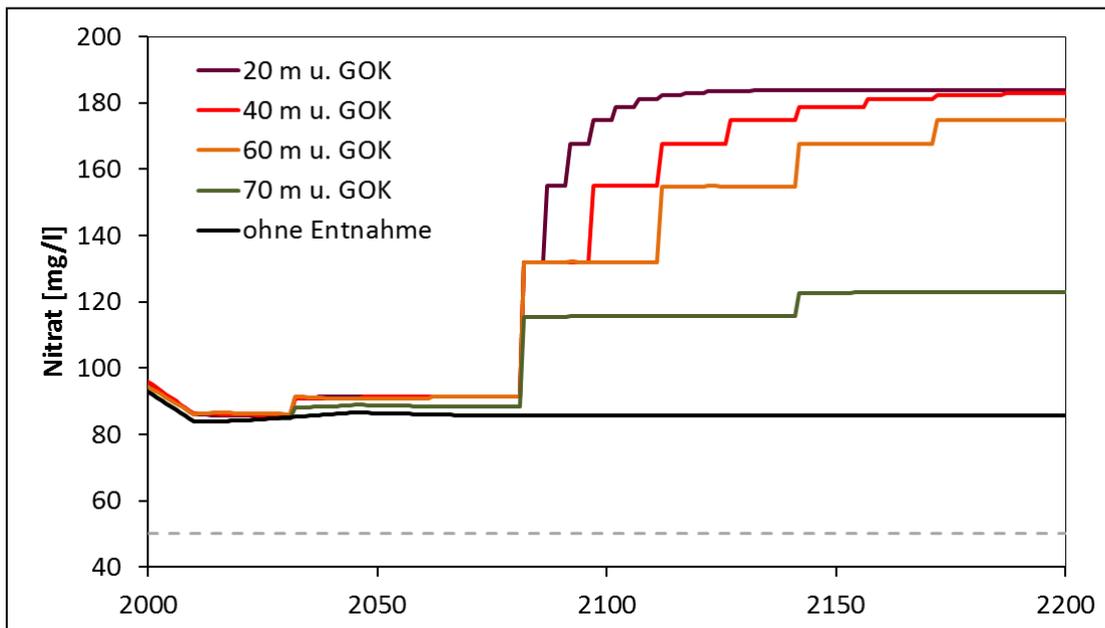
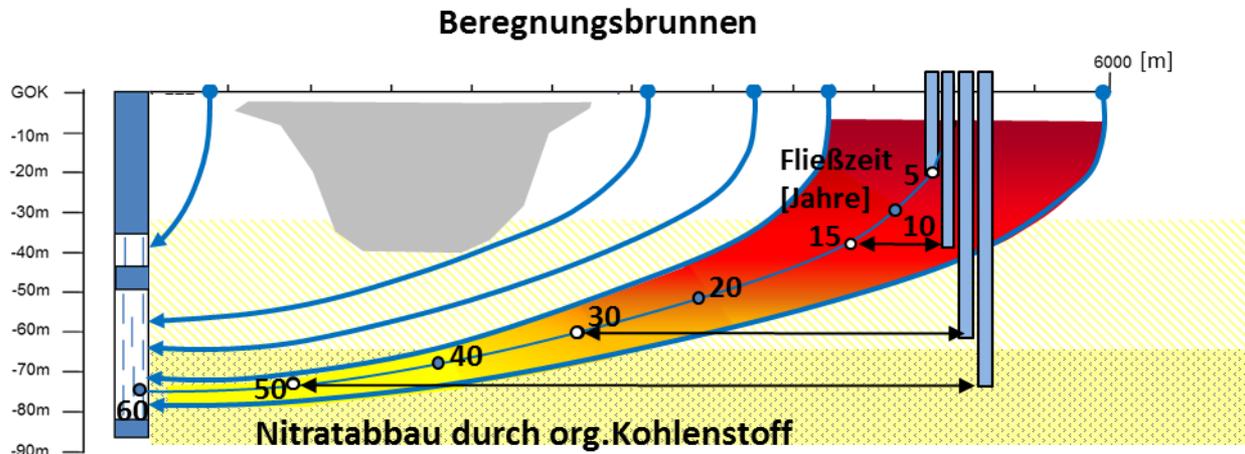


Folgen eines klimawandelbedingten Anstiegs der Beregnungsgaben:

- mit GW gelöste Nährstoffe auf den Boden aufgebracht
- a) oxidiertes, nitratführendes GW
 - „Kreislaufführung“ => Anstieg der Nährstoffe im Sickerwasser
 - Berücksichtigung bei Düngung
 - N bei Düngung
 - problematisch Sulfat, Chlorid, Calcium, H'carbonat, etc.
 - Verschlechterung der Grundwasserqualität
 - Beeinflussung des Bodens

Auswirkungen des Klimawandels - Modellergebnisse

„Referenzzustand“ (1975) (schematische Darstellung)



Prognoserechnungen

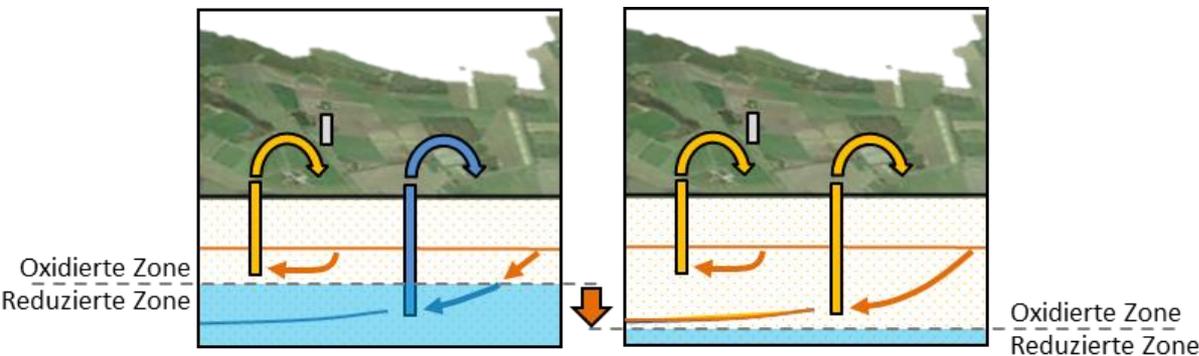
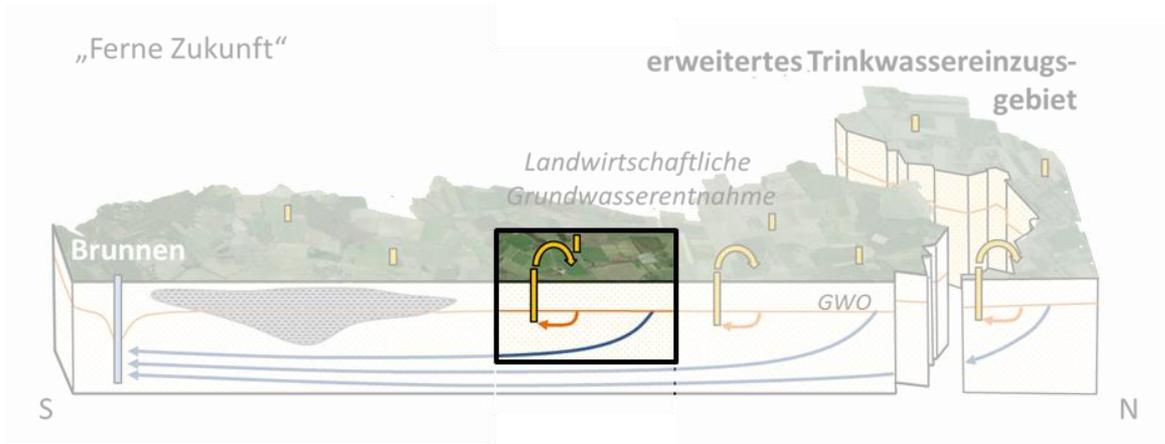
- Entwicklung der Nitrat-Konzentration im oberflächennahen GW (GWO)
- abhängig von Entnahmetiefe des Wassers zur Beregnung

(hypothetisches Modell)

Modellergebnisse

- mit Entnahme aus zunehmender Tiefe langsamerer Anstieg der Nitrat-Konz.
- Zirkulationszeit nimmt zu
- Entnahme > 70 m u.GOK reduziert GW

3 Auswirkungen des Klimawandels - Modellergebnisse



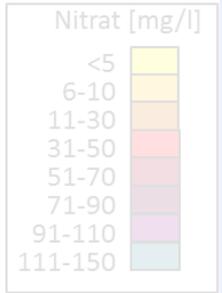
Folgen eines klimawandelbedingten Anstiegs der Beregnungsgaben:

- Mit GW gelöste Nährstoffe auf den Boden aufgebracht
- b) reduziertes, eisenreiches GW
 - Beeinträchtigung der Bodenzone durch die Ausfällung von Eisenhydroxid
 - hohe Sulfat- und H'karbonatkonzentrationen werden im „Kreislauf“ geführt
 - Verlagerung der Redoxfront in die Tiefe
 - Verringerung des Nitratabbaupotentials im GWL

3 Auswirkungen des Klimawandels - Modellergebnisse



Jahr: 1975
Beregnung: 30 mm/a



Bsp. Tiefbrunnen in den Halterner Sanden

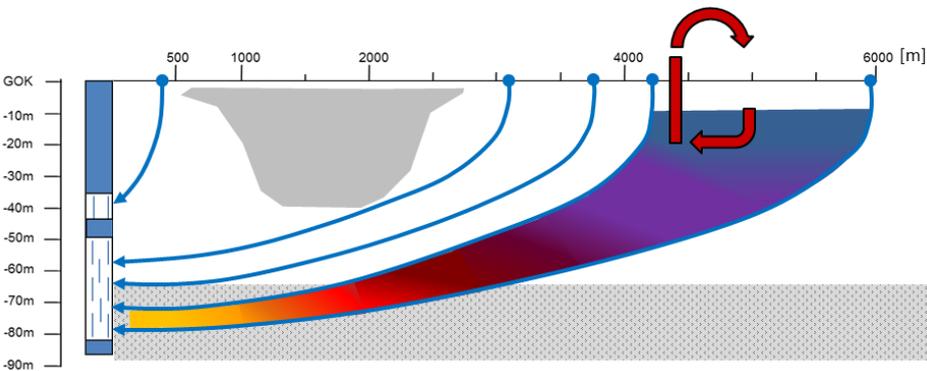
- Nitrat im oberflächennahen GW von 50 mg/l



Jahr: 2085
Beregnung: 30 mm/a

Gleichbleibende Landnutzung / Bewirtschaftung

- Anstieg der Nitratkonzentration auf 85 mg/l

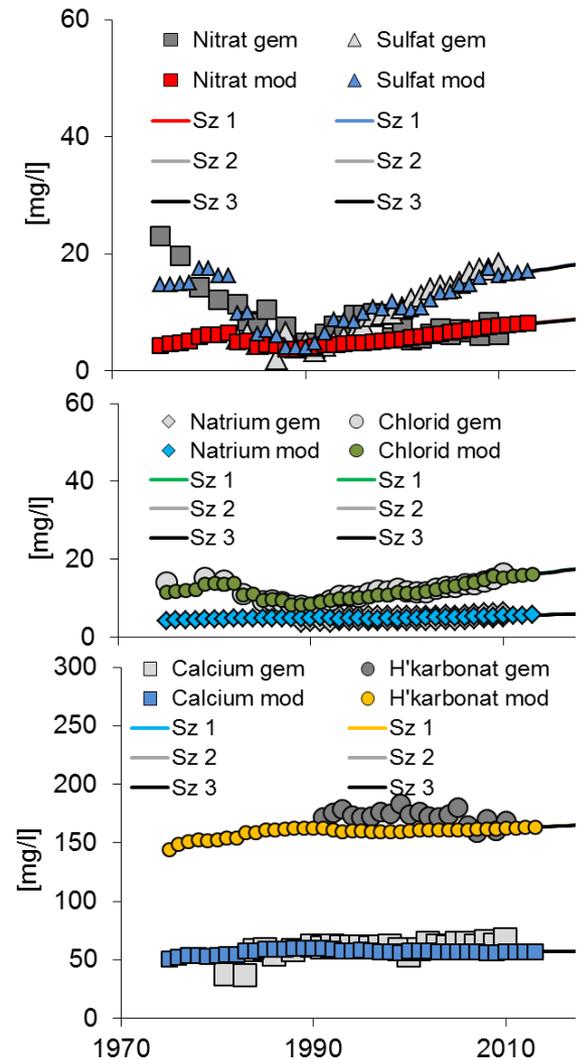


Jahr: 2085
Beregnung: 117 mm/a

Erhöhung der Beregnung

- Anstieg der Nitratkonzentration auf über 130 mg/l

3 Auswirkungen des Klimawandels - Modellergebnisse



Prognoserechnungen

- zeitliche Entwicklung der Rohwasserbeschaffenheit
- in Abhängigkeit von Stoffeintrag

Klimaszenarien

(2012-2021)

Sz 1: Referenz:
unveränderte Bedingungen

Sz 2: steigende Temperaturen:
30 % höherer Nitrat-
abbau in der Bodenzone

Sz 3: Starkregen und
Trockenperioden:
um 30 %
höherer Stoffaustrag

3 Auswirkungen des Klimawandels - Modellergebnisse



Dynamische Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region (Ruhgebiet)

Home Impressum Sitemap

SEARCH

Klimawandel in der Region

Pilotprojekte

Roadmap 2020

Plattformen

Service



Startseite

Klimawandel in der Region

Über dynaklim

Konzept

Aktivitäten

Pilotprojekte

Roadmap 2020

Projektkoordination

Netzwerk und Partner

Plattformen

Wasserhaushalt, Infrastruktur

Wirtschaftliche Entwicklung

Organisation & Finanzierung

Zivilgesellschaft, Partizipation

dynaklim-Publikationen

2013



Nr. 45 Dezember 2013 Modellierung und Prognose der durch den Klimawandel verursachten Änderungen der Wasserquantität und -qualität (PDF, 3534 KB)



Nr. 44 Dezember 2013 Modellierung des Stickstoff- und Kohlenstoffhaushaltes unter landwirtschaftlichen Nutzflächen im Zeichen des Klimawandels (PDF, 3317 KB)



Nr. 43 November 2013 Bilanzierung des Grundwasserzustroms zur Lippe (PDF, 1422 KB)

www.dynaklim.de

Wir danken

- dem BMBF für die finanzielle Förderung des Verbund-Forschungsvorhabens *dynaklim* (Förderkennzeichen: 01LR0804),
- sowie den Projektpartnern

EMSCHER LIPPE
WASSERTECHNIK GmbH eww WASSERTECHNIK GmbH

RWW

Landwirtschaftskammer
Nordrhein-Westfalen

IWW

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

4 Zusammenfassung

- **Anhand von Prognoseszenarien werden langfristige Trends in der Quantität und Qualität von Boden-/Grund-/Rohwasser berechnet**
- **Leistungsfähigkeit der Methodik und Modelle**
 - Identifizierung und Quantifizierung der Prozesse in Raum und Zeit
 - Quantifizierung des Nitratabbauvermögens in Grundwasserleitern
 - Prognose der Auswirkungen einer veränderten landwirtschaftlichen Flächennutzung und des Klimawandels auf die Rohwasserbeschaffenheit
- **Güte der Modellergebnisse hängen von der für das Wassergewinnungsgebiet zur Verfügung stehenden Datenbasis ab**
 - schrittweise Vorgehensweise
 - Plausibilitätsprüfungen zu jedem Schritt
 - Wahl eines an die Fragestellung und Datenbasis angepassten Modells
 - gewählte Prognoseszenarien sollen die zukünftige Entwicklung wiedergeben

4 Zusammenfassung

■ Nutzen für die Wasserwirtschaft

- **Instrumentarium für eine Gefährdungs- und Risikobewertung**
 - Erkennen sensibler Bereiche in Wassergewinnungsgebieten
- **Kommunikations- und Planungsinstrumentarium für eine mittel- bis langfristig vorausschauende Planung und Umsetzung von Grundwasserschutzstrategien**
 - gezielter Einsatz der Finanzmittel für Grundwasserschutzmaßnahmen
 - Wirkung von Handlungsoptionen, z.B. Kauf oder Extensivierung von Flächen, können bzgl. ihrer Wirkungen auf die Nitratbelastung des Rohwassers bewertet werden

KONTAKT

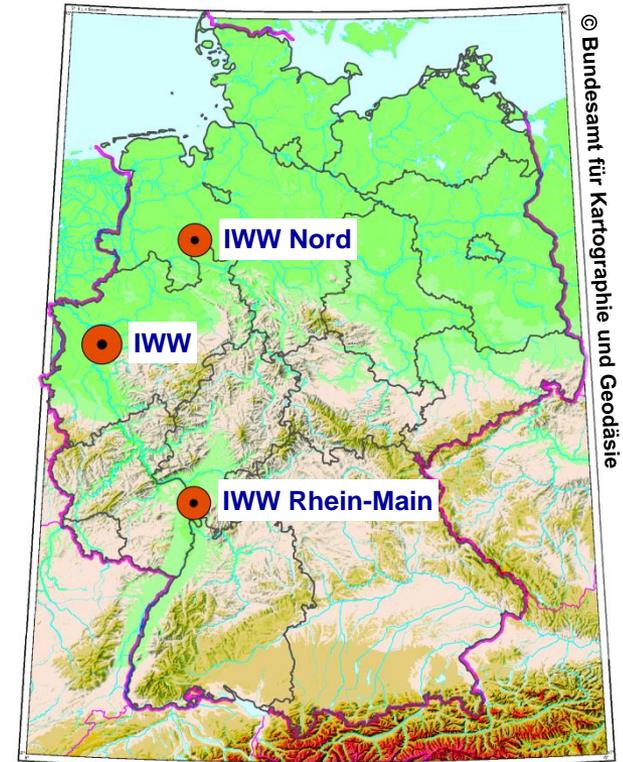
Dr. Christine Kübeck
IWW Rhein-Main, Justus-von-Liebig-Str. 10
64584 Biebesheim am Rhein

Telefon | +49 (0) 208 403 03 611

Fax | +49 (0) 208 403 03 690

E-Mail | c.kuebeck@iww-online.de

Web | www.iww-online.de



IWW RHEINISCH-WESTFÄLISCHES INSTITUT FÜR WASSER
BERATUNGS- UND ENTWICKLUNGSGESELLSCHAFT MBH
REGIONALSTANDORT IWW RHEIN-MAIN

