



Vorhersage der Grundwasserqualität reduziert Gesundheitsrisiken

Michael Berg, Joel Podgorski
Abteilung Wasserressourcen und Trinkwasser

Grundwasser – einige Fakten

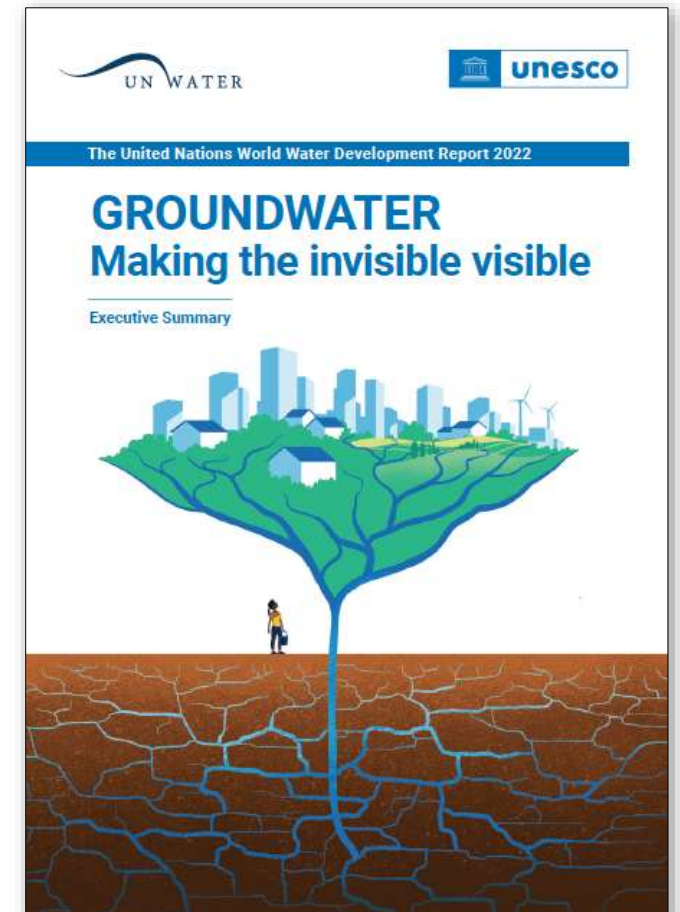
- 99% des flüssigen Süsswassers der Erde ist Grundwasser (UNESCO, 2022)
- 80% des Trinkwassers der Schweiz ist Grundwasser
- 4 Milliarden Menschen sind auf Grundwasser angewiesen
- 2,1 Milliarden Menschen nutzen unbehandeltes Grundwasser (WHO, 2017)
- Qualität und Quantität sind entscheidend → **global rückläufig**



AWEL Kt. Zürich, Wasser und Gewässer 2022

**«Die Bedeutung des Grundwasserschutzes
nimmt als Folge des Bevölkerungswachstums
und des Klimawandels zu»**

UN World Water Development Report 2022



SDG-Indikatoren für Wasserqualität

SDG 6.3.2

- Nur 3 Hauptindikatoren für die Grundwasser-Überwachung
- Leitfähigkeit, pH und Nitrat (nur 1 chem. Parameter)
- Viele Länder sind mit der Berichterstattung dieser 3 Parameter in Verzug

Wichtige Parameter in SDGs bisher nicht berücksichtigt

Hohe Arsen- und Fluorid-Konzentrationen sind weltweit das grösste Gesundheitsproblem

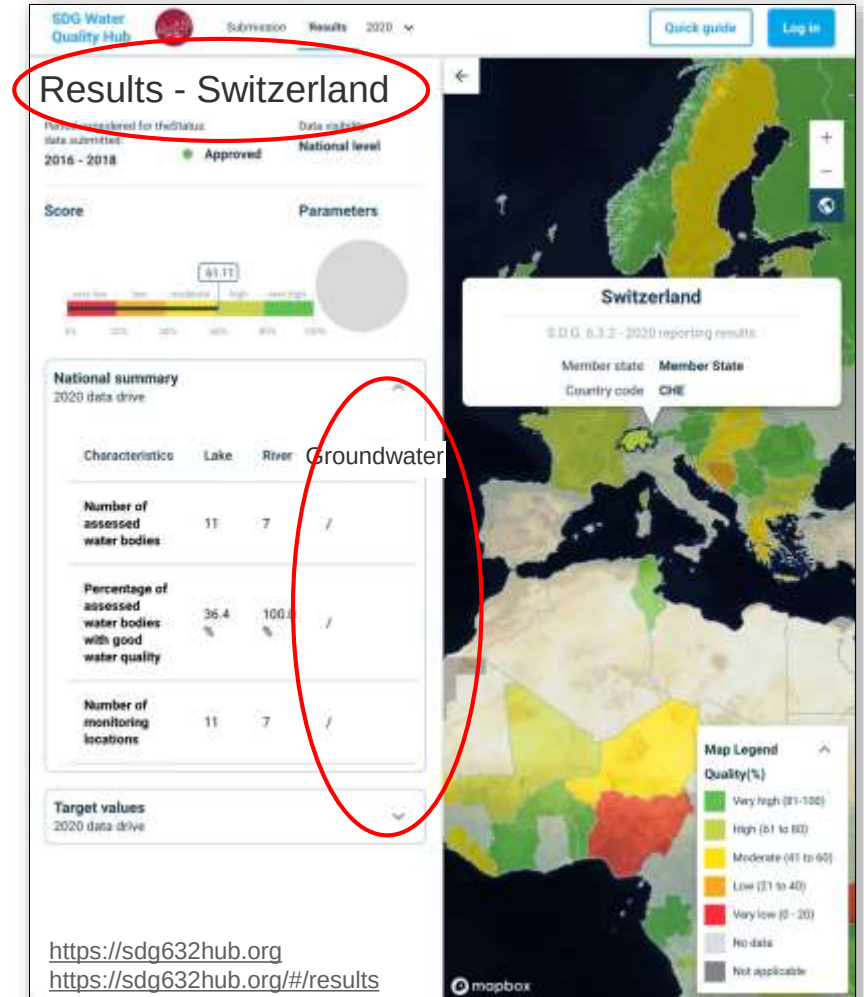
Auslöser sind geogene (natürliche) Faktoren

Krankheiten manifestieren sich erst nach mehreren Jahren

Abkürzungen: **As** = Arsen

F = Fluorid

SDG Water Quality Hub



Status am 12. Sep. 2023

Globale As und F Problematik

Rund 400 Millionen Menschen sind betroffen (5% der Weltbevölkerung)



Grundwasser vielerorts
direkt genutzt als

Trinkwasser



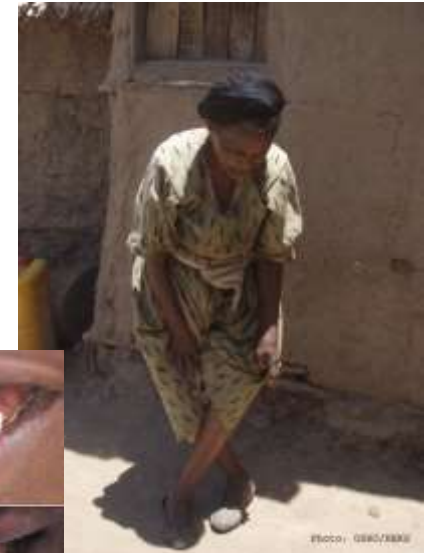
zum Kochen



Arsen
schwere chronische
Erkrankungen der
Haut, Atemwege,
Kreislauf, Krebs
WHO: 10 µg/L



Fluorid
führt zu
Zahnmissbildung
und Knochen-
verkrüppelung
WHO: 1.5 mg/L



As-belastetes Grundwasser

Zunahme von betroffenen Gebieten

entdeckt vor 1990

entdeckt 1990-2000

entdeckt 2001-2010

>2010 ??



Legende

Land
Anzahl Personen

Kann man belastete Regionen vorhersagen?

Natürliche Faktoren der Arsen-Anreicherung im Grundwasser

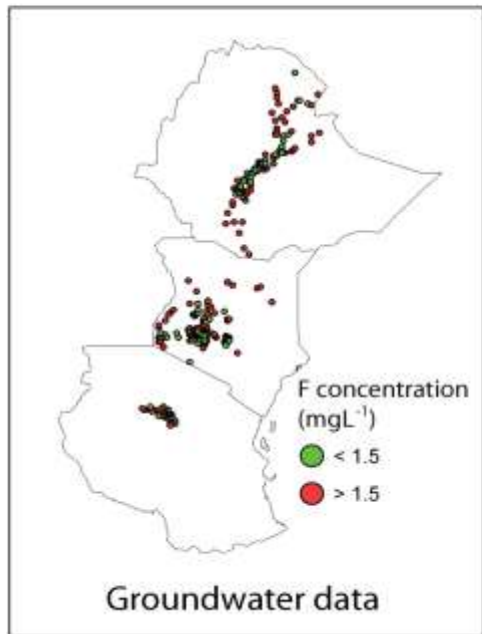
- Aquifere mit viel organischem Material
- junge Sedimente (Holozän)
- Schwemmland-Ebenen

Schwemmland-Ebenen / Flussdeltas in Asien

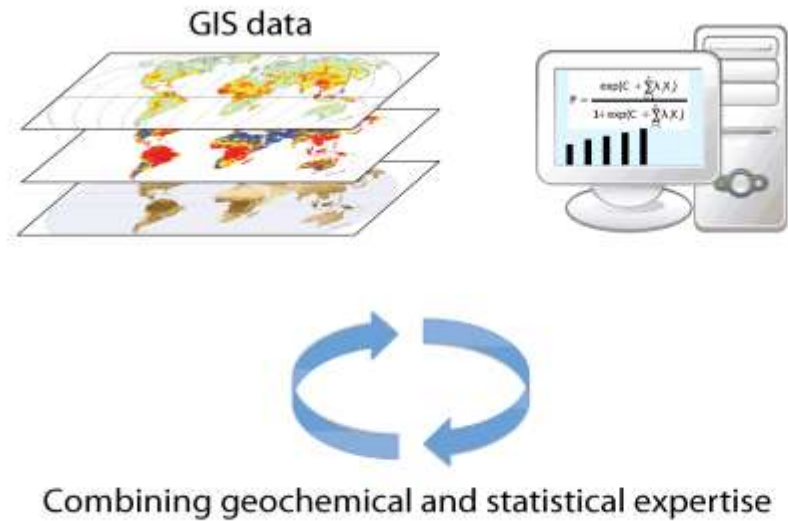


Geostatistische Vorhersage-Modellierung

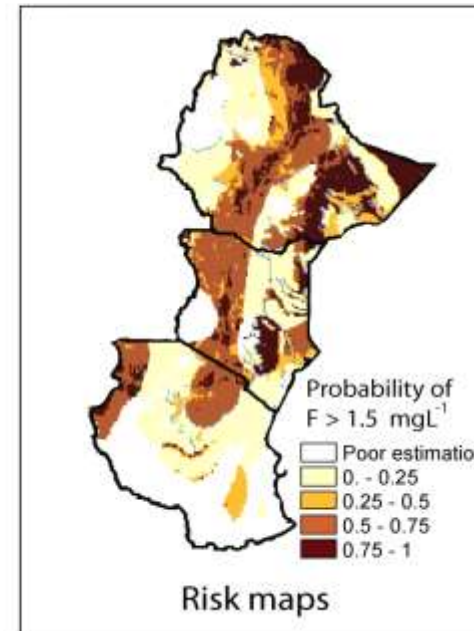
gem. Konzentrationen



Geo-statistische Modellierung



Risiko Vorhersage



Massnahmen



Relevante GIS Daten

- zunehmend online verfügbar
- häufig kostenlos

→ Vorhersage auch für Regionen mit bisher unbekannter Grundwasserqualität

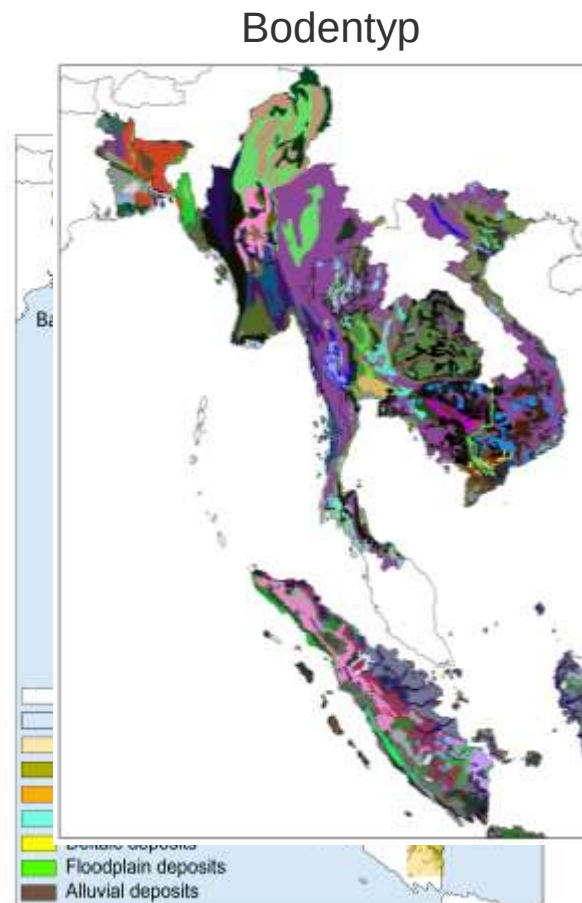
Geostatistische Vorhersage-Modellierung

Variablen haben mehrheitlich geologische
Zeitskalen



Geostatistische Vorhersage-Modellierung

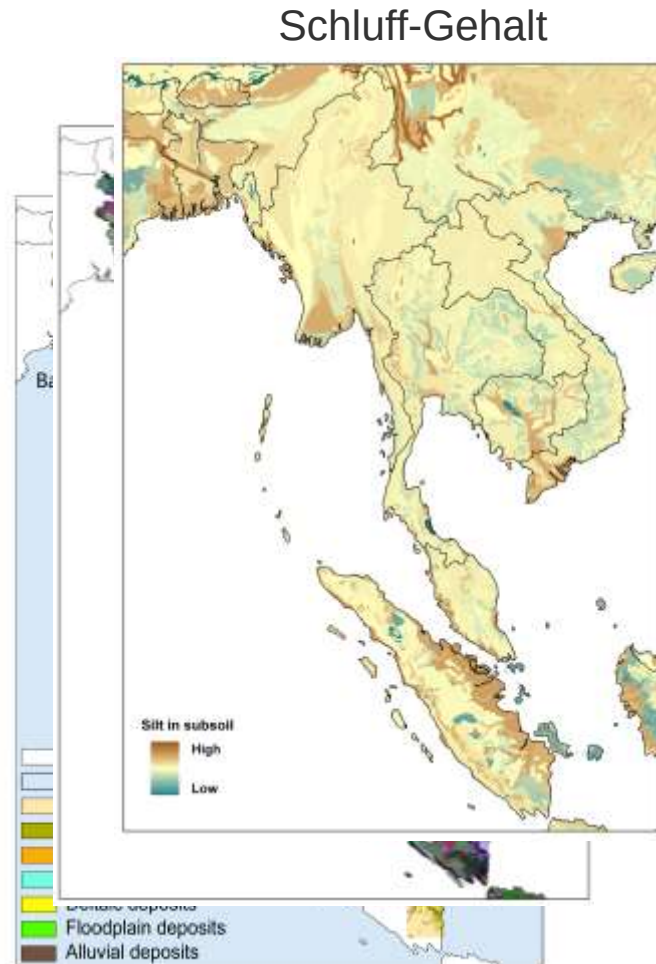
Variablen haben mehrheitlich geologische
Zeitskalen



Winkel et al., Nature Geoscience 2008

Geostatistische Vorhersage-Modellierung

Variablen haben mehrheitlich geologische Zeitskalen



Winkel et al., Nature Geoscience 2008

sowie:

organischer Gehalt in Unterboden

Flussablagerungen

Topographie

Klima

... und viele mehr



- Ermittlung der statistischen Zusammenhänge der Variablen mit As im Grundwasser
- Methoden des maschinellen Lernens (Logistic Regression, Random Forest)
- Kalibrierung anhand gemessener Konzentrationen (öffentliche und private Grundwasserbrunnen)

Vorhersage Südostasien

Wahrscheinlichkeit
As > 10 µg/L

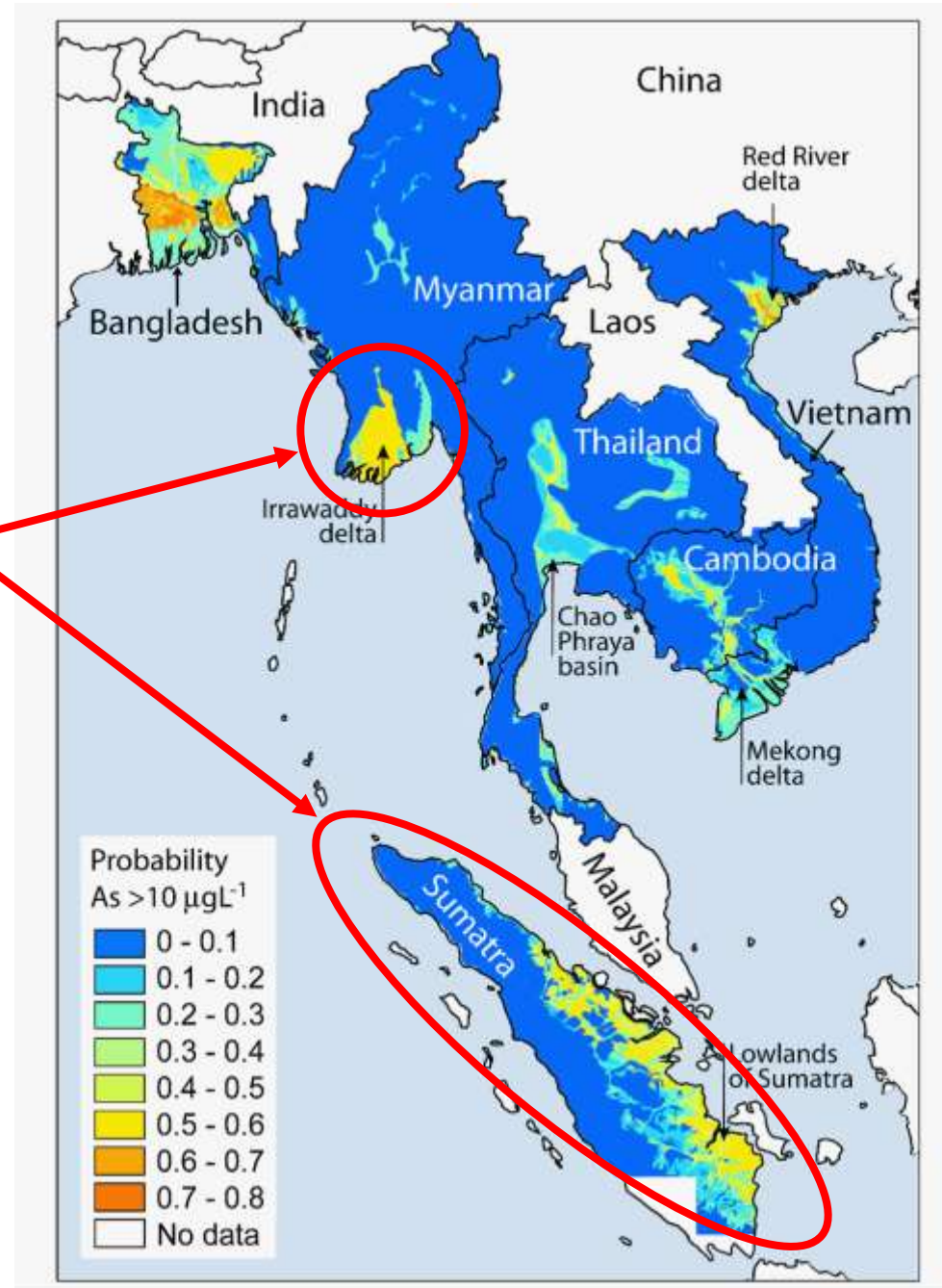
zusätzliche
Risikogebiete?

Vorhersage in Myanmar und
Sumatra inzwischen bestätigt

Winkel et al., Appl Geochem 2008

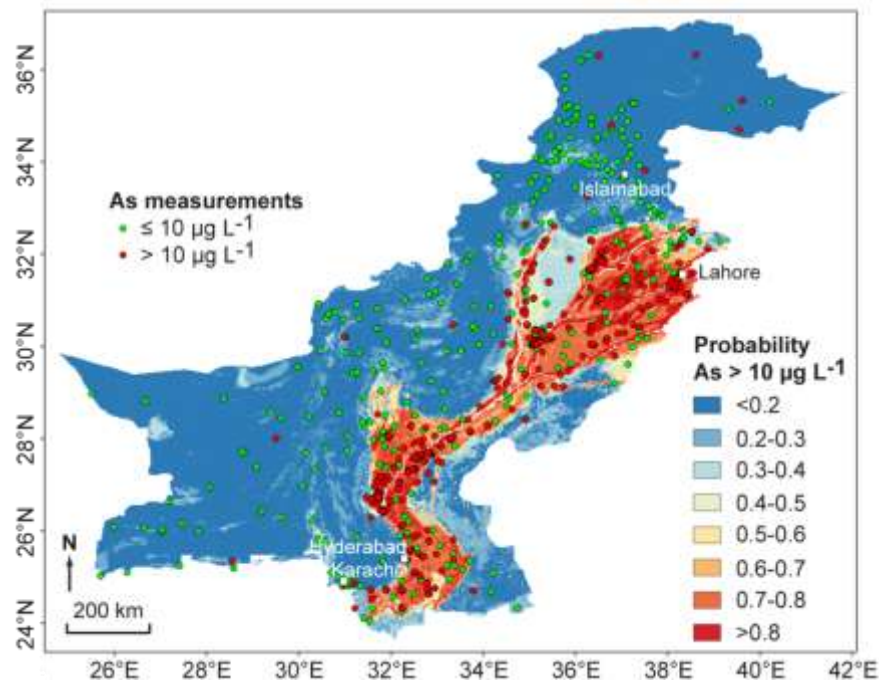
van Geen et al., Stoten 2014

Pincetti-Zúniga, Richards, et al.,
Appl Geochem 2020



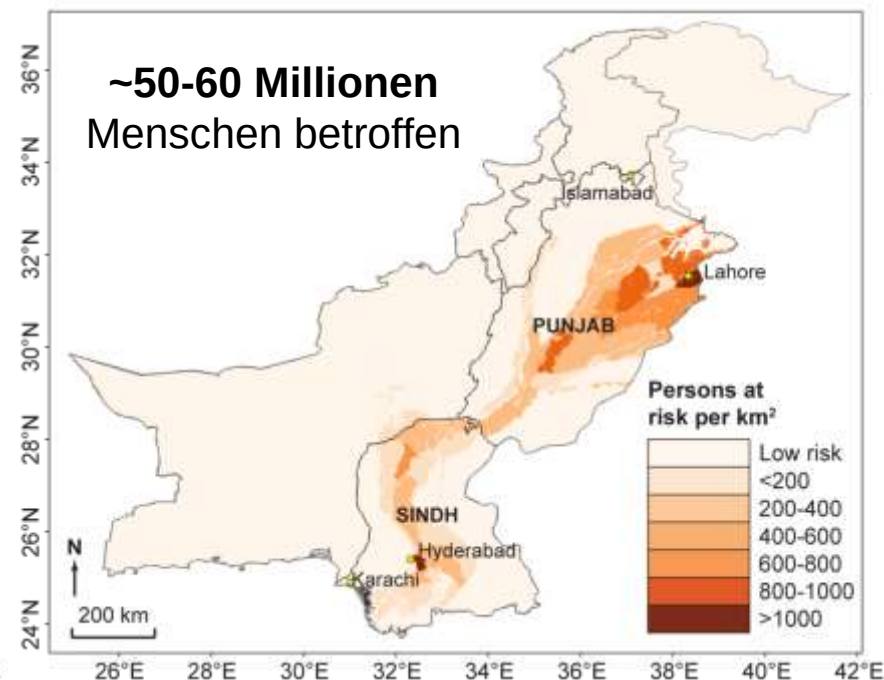
Pakistan, Arsen

Wahrscheinlichkeit von As > 10 µg/L
im Grundwasser



Podgorski et al.,
Science Advances 2017

Vorhersage gefährdeter Personen
As > 10 µg/L



COMSATS
University



Auswirkungen in Pakistan:

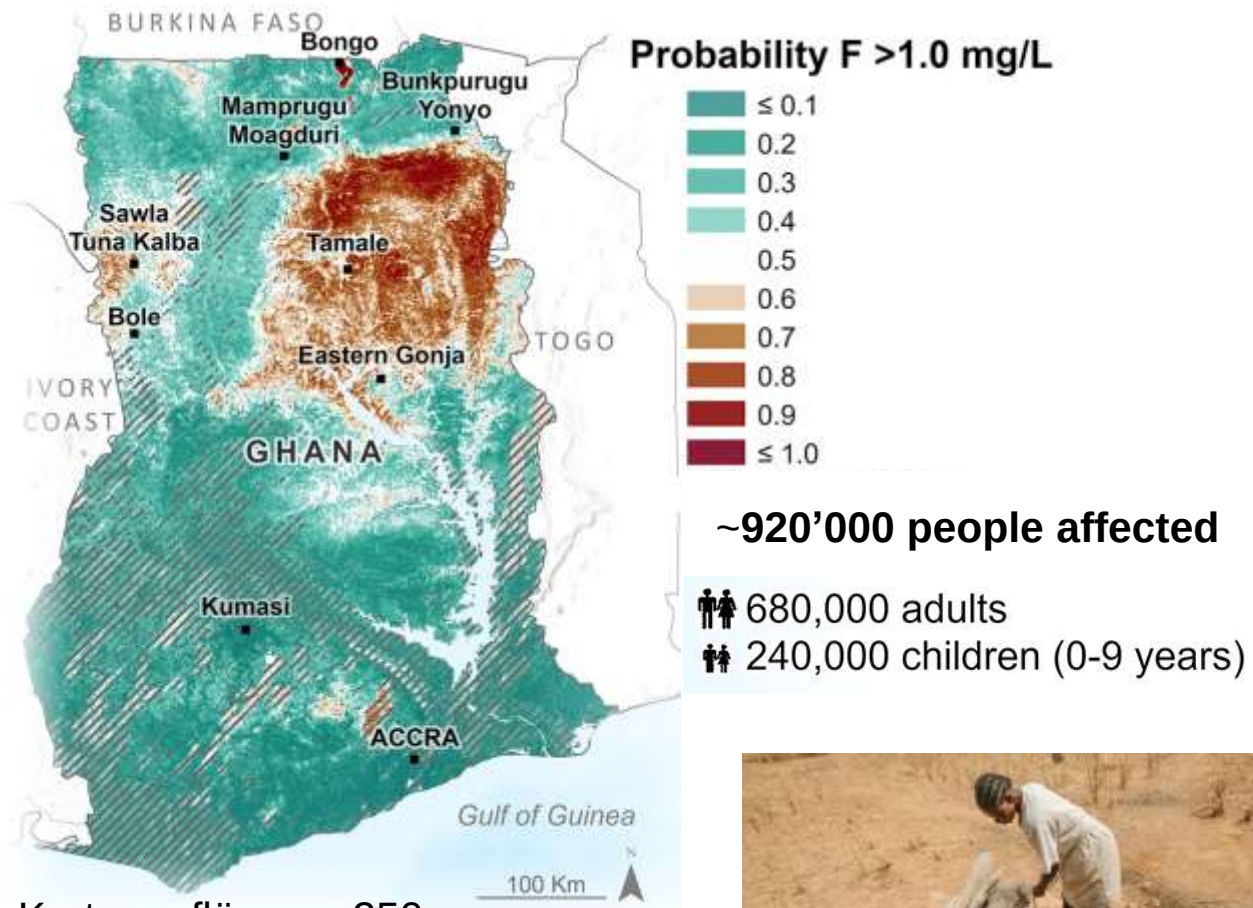
- politische Diskussionen
- breites Bewusstsein
- Sofortmassnahmen
- Folgestudien

Pakistan, Arsen

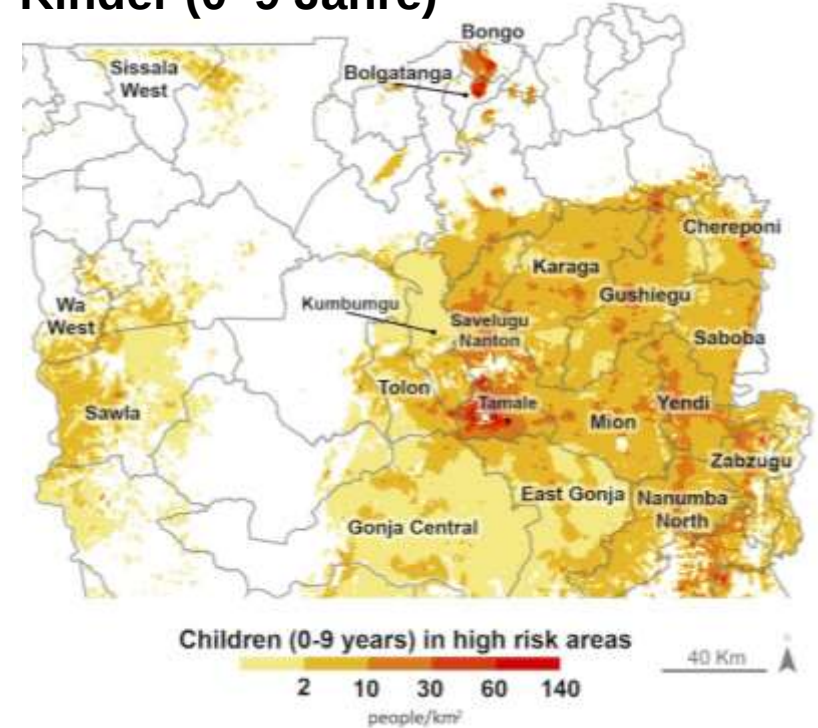
- Die Studie löste in den Medien intensive Debatten und Podiumsgespräche aus
- Der Oberste Gerichtshof Pakistans äusserte sich sehr besorgt zum Gesundheitsrisiko
- Eine WHO-Sonderdelegation reiste nach Pakistan, um Massnahmen zu unterstützen
- Die pakistanische Regierung initiierte einen nationalen Aktionsplan und landesweite Grundwasserstudien



Ghana, Fluorid



Kinder (0–9 Jahre)



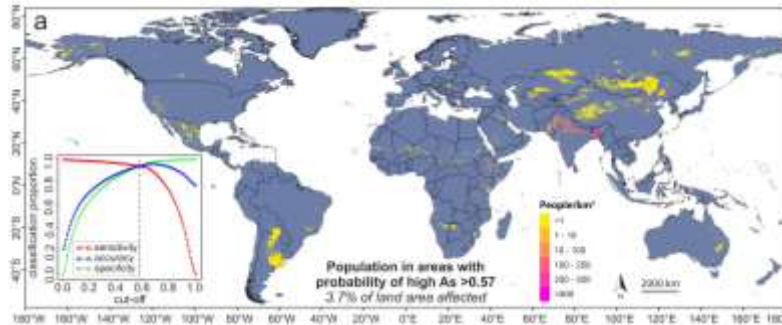
Ghana Water
Research Institute

Fotos: Flickr, Axel Fassio/CIFOR

Globale Risikomodellierung

“Arsen-Globus”

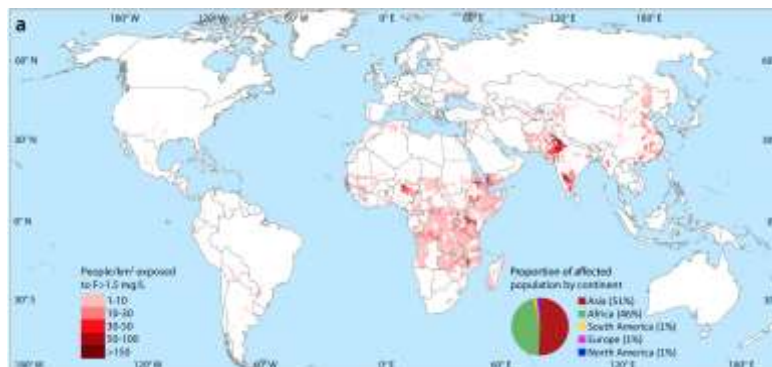
220 Mio. Menschen betroffen



Podgorski and Berg, *Science* 2020

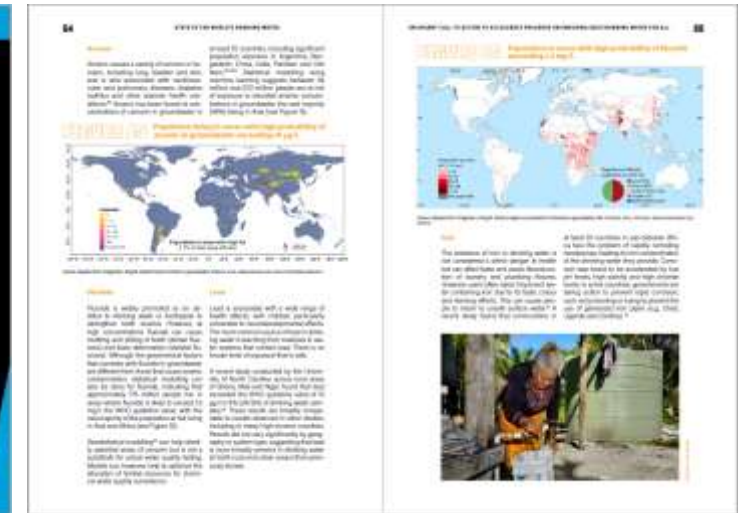
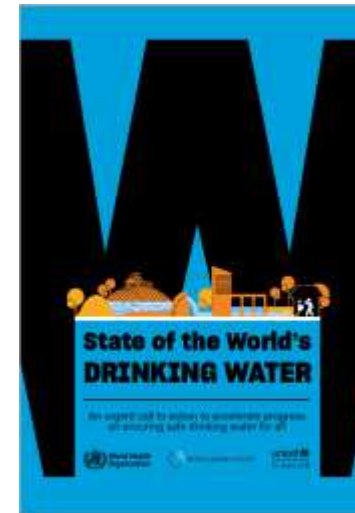
“Fluorid-Globus”

180 Mio. Menschen betroffen



Podgorski and Berg, *Nature Comms.* 2022

WHO, UNICEF 2022, *State of the World's Drinking Water*

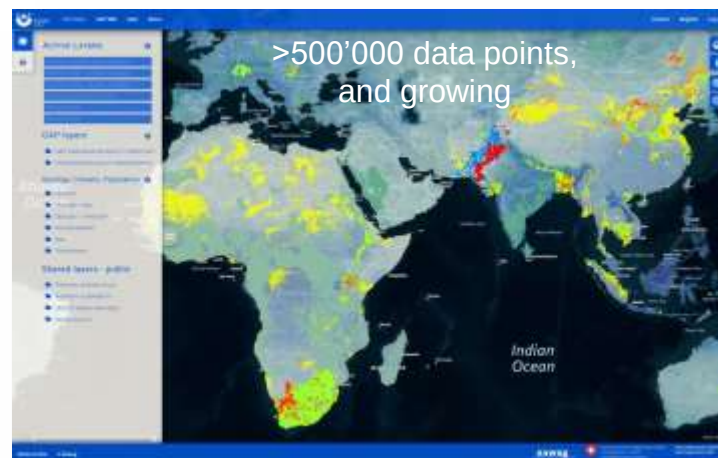


- Karten und Resultate wichtig für Wasserbehörden, UN Organisationen, Hilfswerke, Forschung, Vollzug, ...
- Stösst Abhilfemassnahmen an

Groundwater Assessment Platform

www.gapmaps.net

- kostenfreie GIS Plattform für Wasserfachleute
- Visualisierung von Grundwassermessdaten (bisher ca. 500'000 Datenpunkte)
- Sämtliche Vorhersage-Karten in hoher Auflösung (bis 250 m)

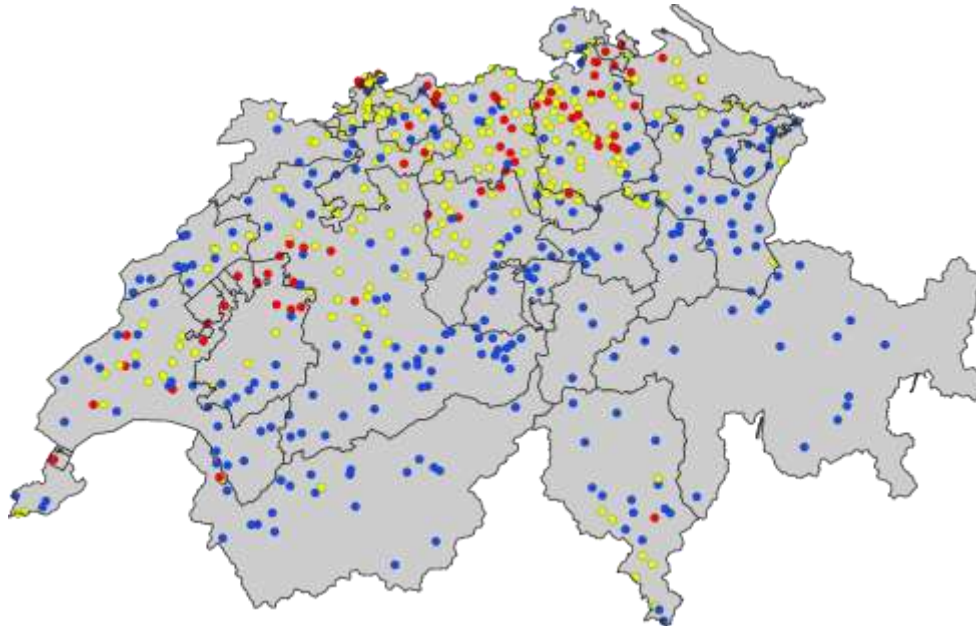


 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC

Schweiz – Nitrat im Grundwasser

Gemessene Konzentrationen



**NO₃⁻ Konzentration
mg/L**

● 0 - 10

● 10 - 25

● >25

Grenzwert: **25 mg/L**

(num. Anforderung GSchV)

Daten von: BAFU/NAQUA_{SPEZ} 2014

Modellierung

Machbarkeitsstudie
Modell v0



→ erst drei GIS-Parameter
einbezogen

**Probability
NO₃⁻ >25 mg/L**

■ <5%

■ 10%

■ 30%

■ 50%

■ >80%

Ausblick Nitrat-Modellierung Schweiz

- Besseres Verständnis der Variabilität von Nitrat im Grundwasser
- Identifikation komplexer Zusammenhänge von Geologie, Klima und Bodenverhältnissen
- Kopplung mit Oberflächengewässer, Biosphäre, Atmosphäre
(Projekt mit EPFL, ETHZ, PSI und WSL)



Satellitenbild, swisstopo.ch

Fazit

- Vorhersagemodellierung von Grundwasserqualität gewinnt zunehmend an Bedeutung
- Ermöglicht die Früherkennung in Gebieten ohne bisherige Messdaten
- Wichtige Grundlage für Entscheidungsträger und für Massnahmen zur Reduktion von Gesundheitsrisiken, aber auch zur Bestätigung von sauberem Grundwasser
- Nitratmodellierung ist vielversprechend für ein besseres Verständnis der Variabilität im Grundwasser
→ im Allgemeinen auch wichtig für das Monitoring von SDG 6.3



Vielen Dank



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC



Joel Podgorski



Lenny Winkel



Dahyann Araya