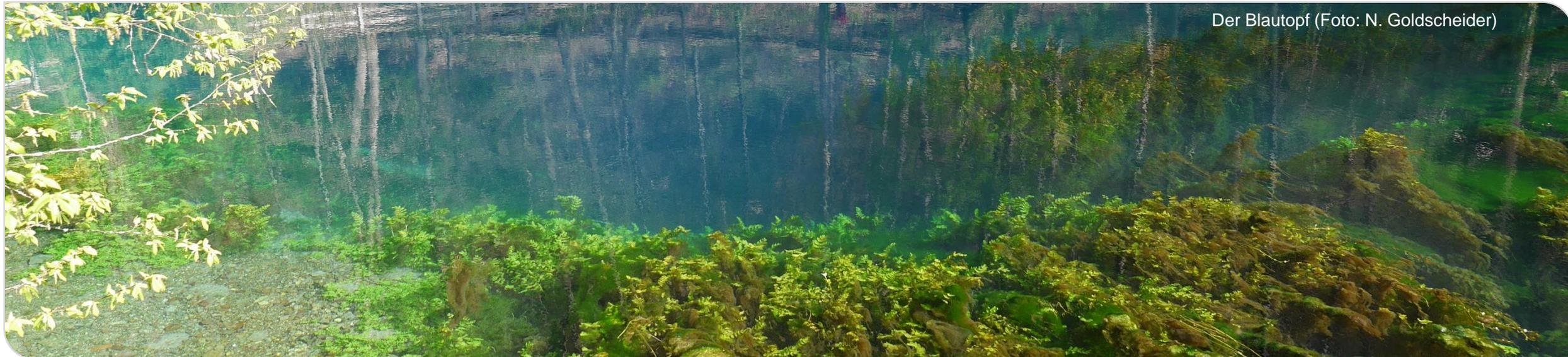


Klimawandel und Grundwasser: Prozesse, Trends, Prognosen **und Lösungsbeiträge**

Prof. Dr. Nico Goldscheider



Wasserbedarf pro Person

Typische Bandbreite, weltweit

Trinkwasserbedarf Täglich: Jährlich:	2-5 L 0.7-2 m³
Haushaltsbedarf* Täglich: Jährlich: <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: 20px;">* Das Wasser, das im Haushalt verwendet wird, ist auch Trinkwasser, zumindest in Deutschland.</div>	30-200 L (Deutschland: ca. 125 L) 10-80 m³
Wasserbedarf für Nahrungsmittelproduktion* Täglich: Jährlich: <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: 20px;">* Wichtiger Unterschied: Handelt es sich um Regenwasser (unproblematisch) oder künstliche Bewässerung (kritisch)?</div>	3300-4100 L 1200-1500 m³

Global gesehen ist das Wasserproblem vor allem ein Ernährungsproblem → „virtuelles Wasser“

Wasserfußabdruck Deutschland

Stark plakatives und vereinfachtes
(teils irreführendes) Konzept



- Vor allem „virtuelles Wasser“ für Ernährung (**Landwirtschaft**) und Produkte (**Industrie**).
- Ein erheblicher Teil davon ist „importiertes virtuelles Wasser“ (z.B. Tomaten aus Spanien).
- Nur ca. 125 L im Haushalt und nur 2-5 Liter zum Trinken.

Wichtige Unterschiede und Fragen:

- Handelt es sich um Regenwasser? (Apfel aus Streuobstwiese)
- oder um Bewässerungslandwirtschaft? (Tomate aus Spanien)

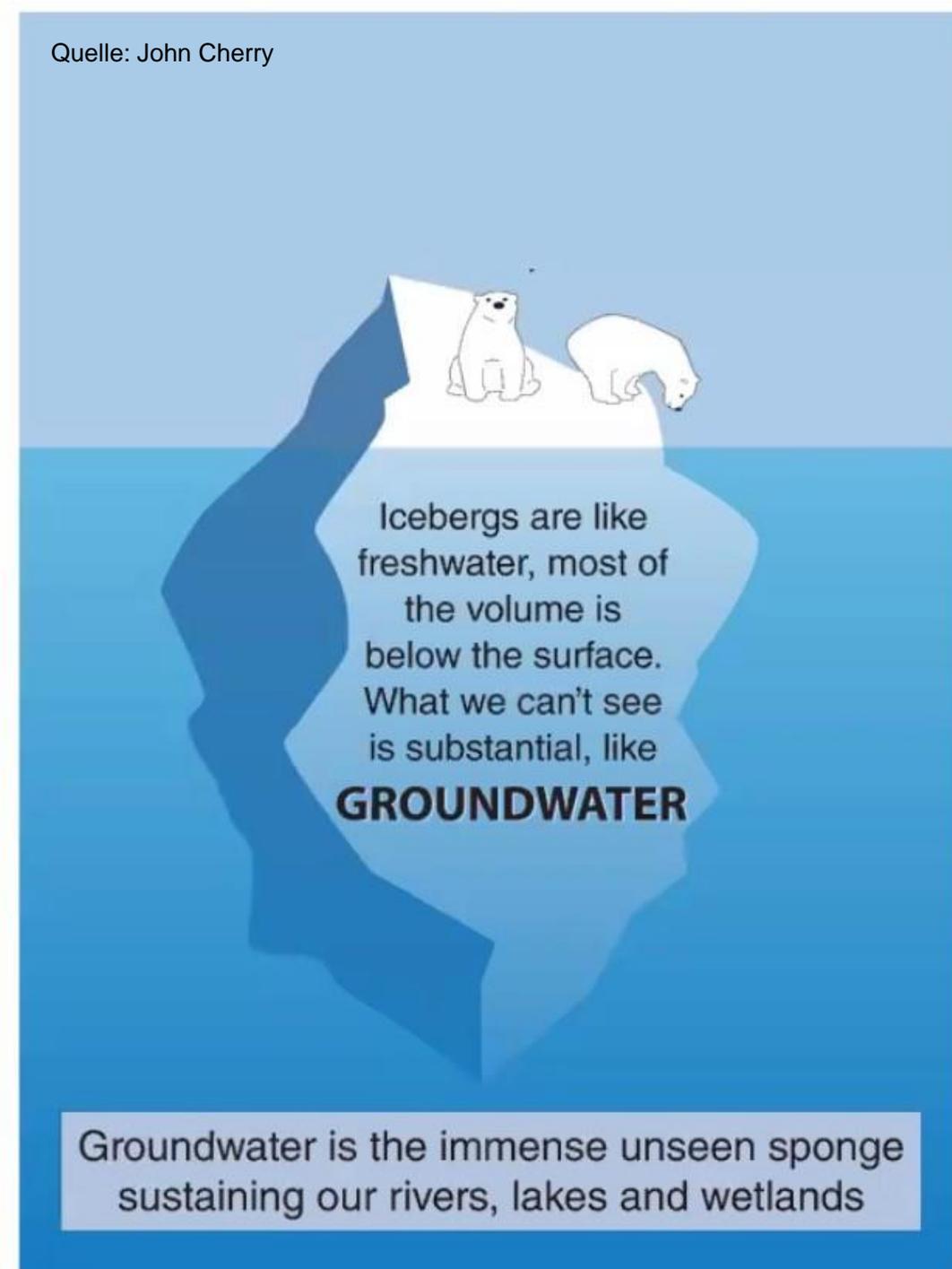
- Ist das Wasser nach der Nutzung noch vor Ort vorhanden? (Kühlwasser)
- oder geht es durch Verdunstung verloren? (Bewässerungslandwirtschaft)

- Wird das Wasser durch die Nutzung kontaminiert? (WC im Haushalt)
- oder bleibt es weitgehend sauber? (Kühlwasser)

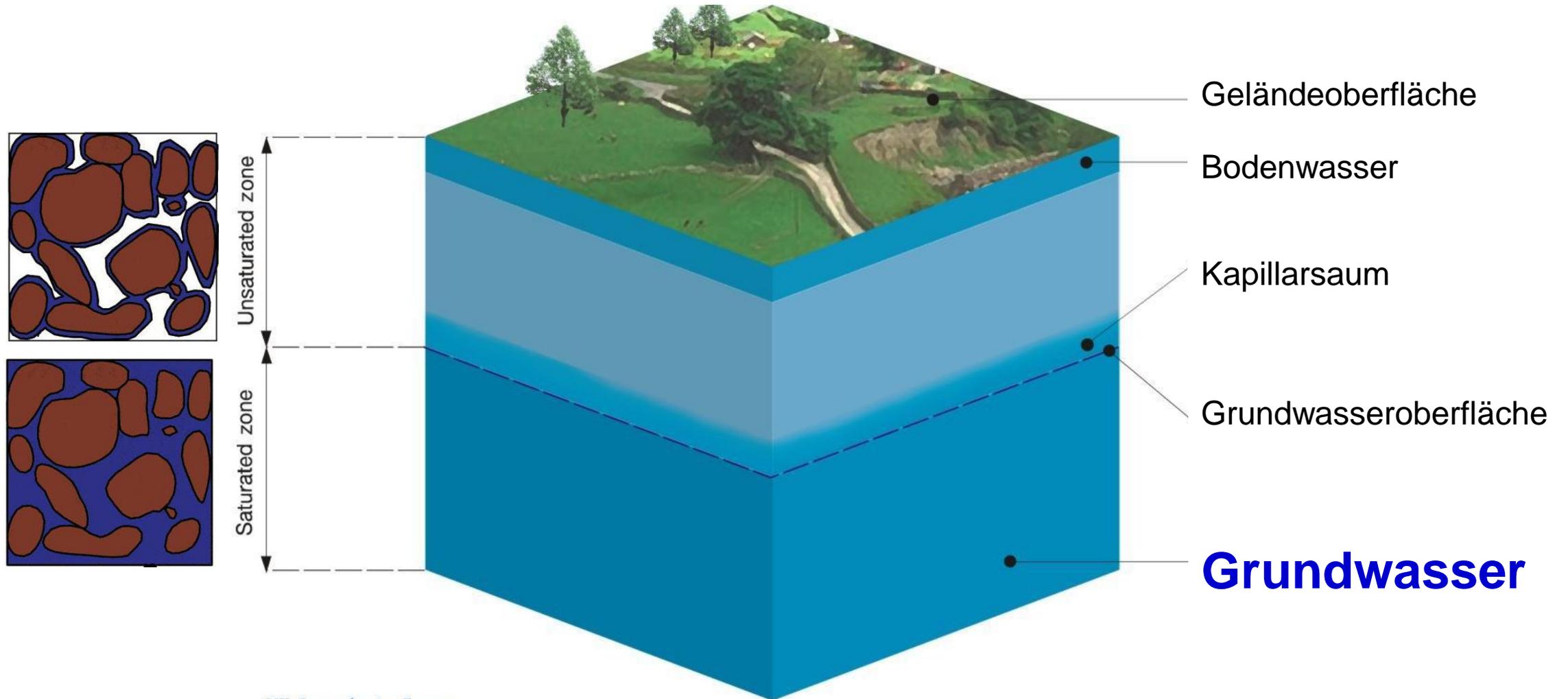
Grundwasser

- Süßwasserressourcen sind wie Eisberge: Das meiste Wasser befindet sich verborgen unter der Oberfläche – das Grundwasser.
- Grundwasser ist ein riesiger Speicher, der unsere Quellen, Bäche, Flüsse, Seen und Feuchtgebiete mit Wasser versorgt, auch in Trockenzeiten.

Rund 50% der globalen Wasserversorgung hängt vom Grundwasser ab.



Blockbild eines Grundwasserleiters



UK Groundwater Forum

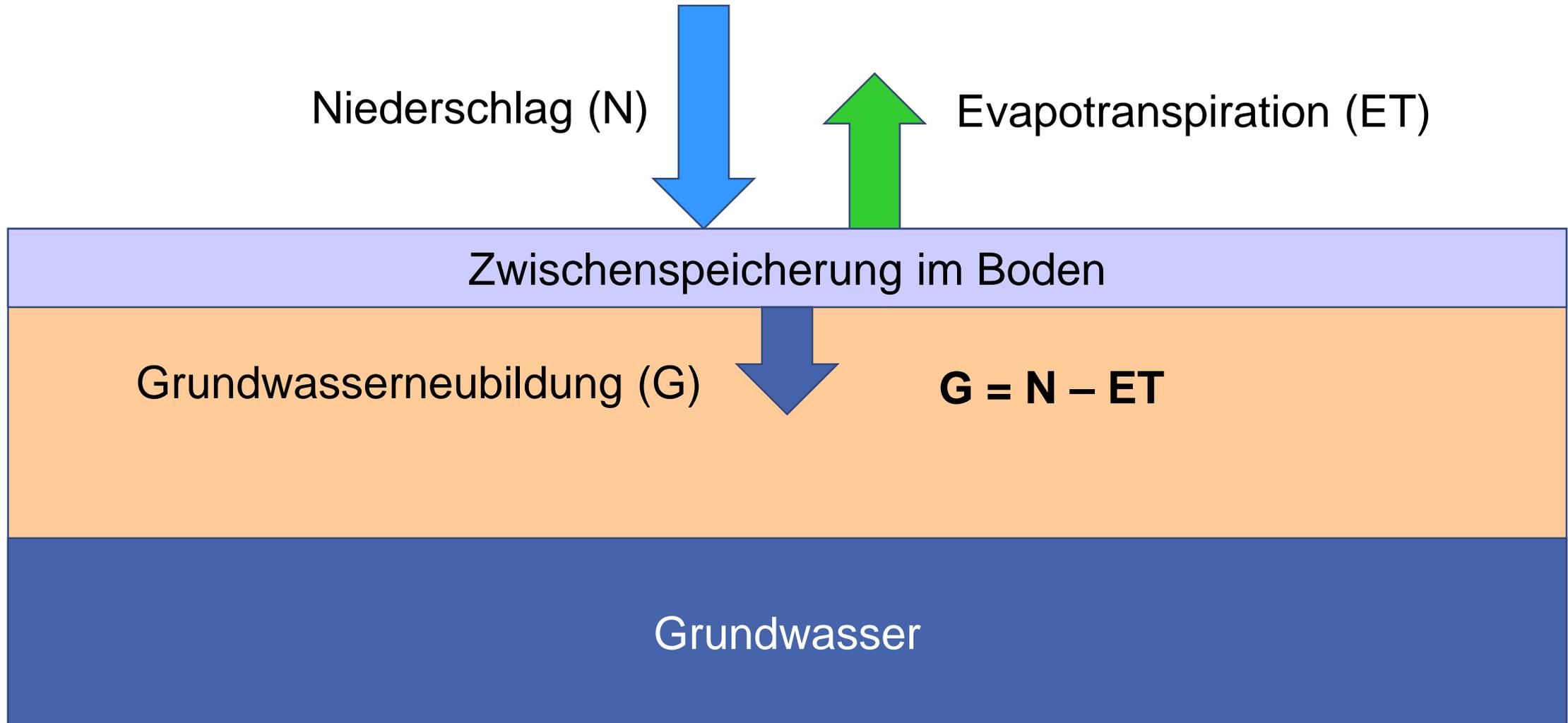
Grundwasserneubildung

- Grundwasser entsteht durch versickerndes Regenwasser, abzüglich der Menge, die durch Pflanzen verdunstet (oder oberflächlich abfließt).
- Grundwasser ist daher Teil des **Wasserkreislaufs**.
- Nachhaltigkeit: Nicht mehr Grundwasser entnehmen, als langfristig neugebildet wird (und Wasser für **Ökosysteme** übrig lassen).

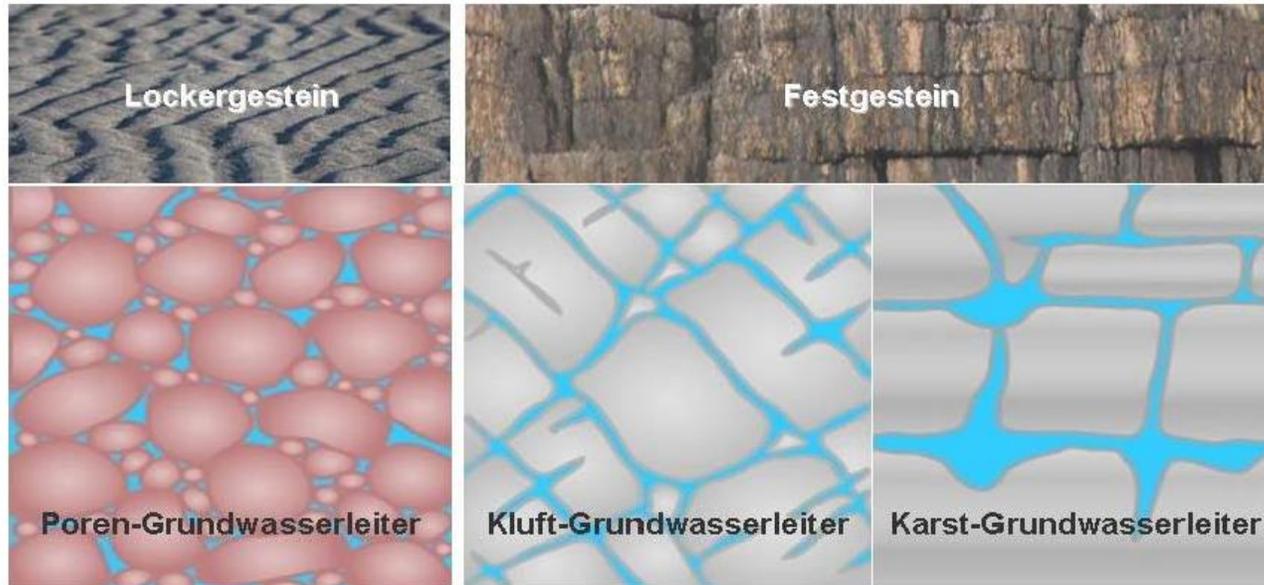


Grundwasserabhängiges
Ökosystem: Plitvicer Seen,
Kroatien

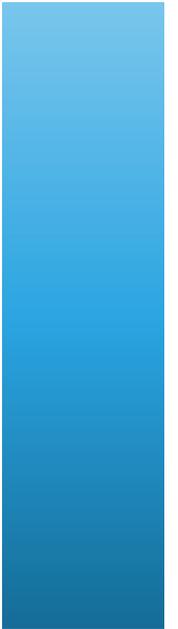
Grundwasserneubildung



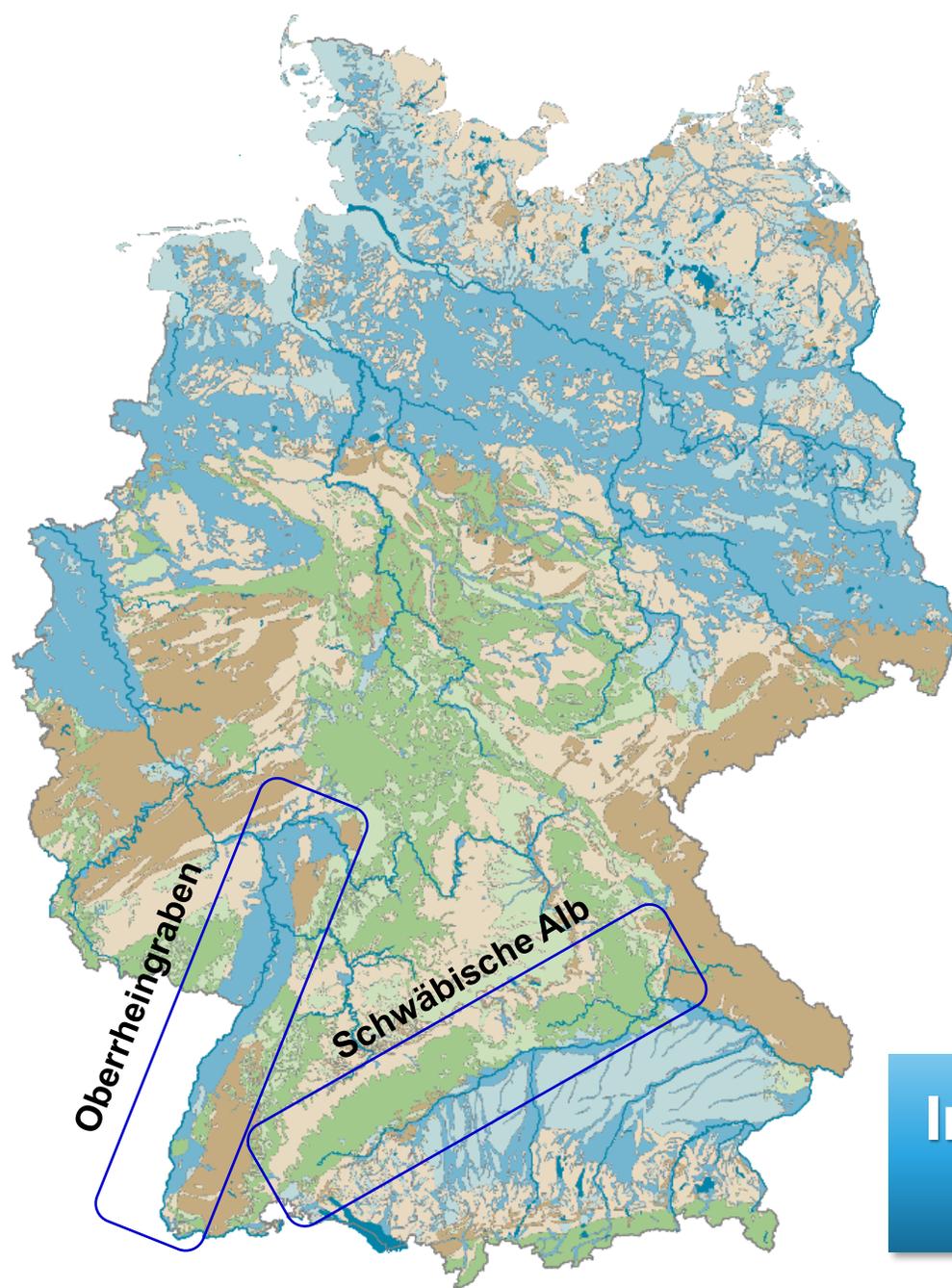
Typen von Grundwasserleitern



- Porengrundwasserleiter (Sand, Kies)
- Kluftgrundwasserleiter (Sandstein, Basalt)
- Karstgrundwasserleiter (Kalkstein)
- Grundwassergeringleiter (Ton, Salz, Granit)



Grundwasservorkommen in Deutschland und BaWü



Grundwasserleiter nach Art der Hohlräume, Ausdehnung und Ergiebigkeit

Porengrundwasserleiter

-  Ausgedehnte und sehr ergiebige Grundwasservorkommen
-  Lokale oder unzusammenhängende Vorkommen höherer Produktivität bzw. ausgedehnte, aber nur durchschnittlich ergiebige Grundwasservorkommen

Kluft- und Karstgrundwasserleiter

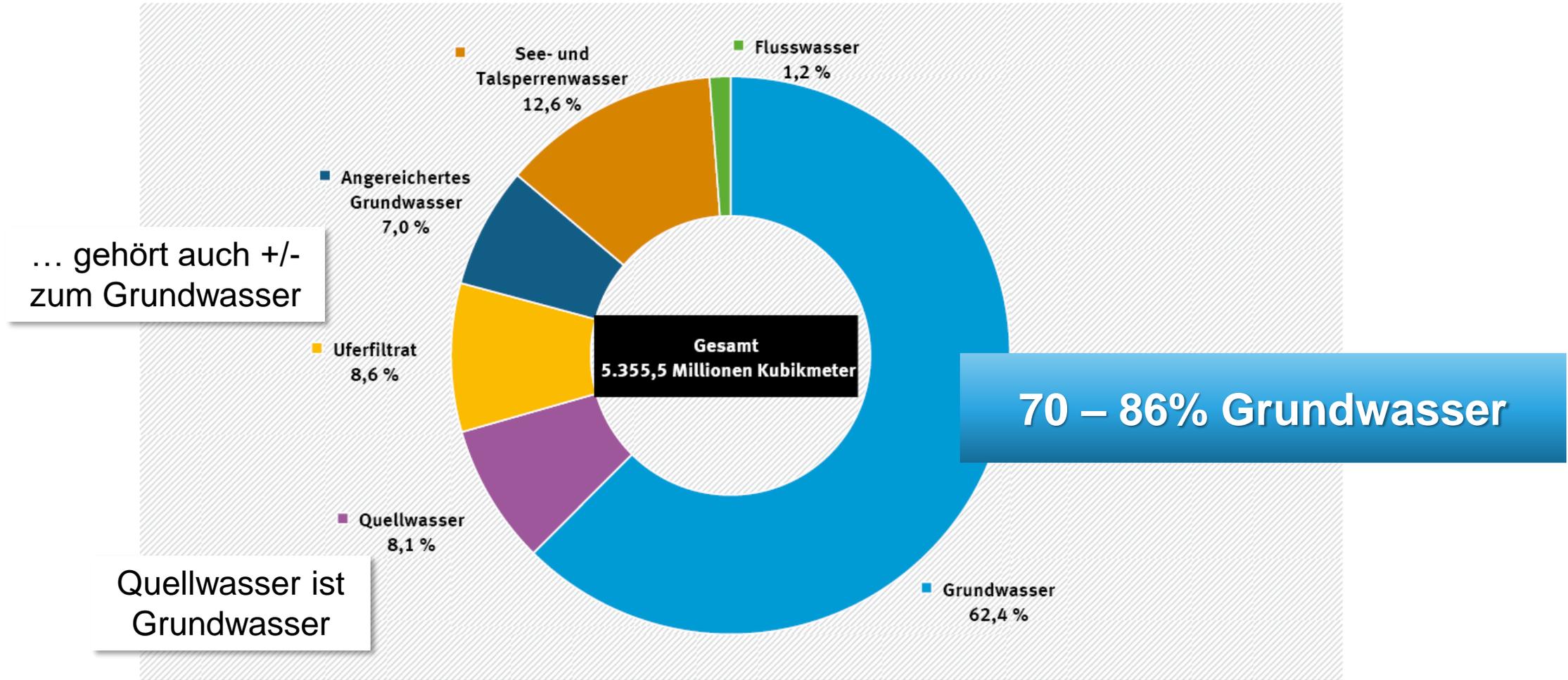
-  Ausgedehnte und sehr ergiebige Grundwasservorkommen
-  Lokale oder unzusammenhängende Vorkommen höherer Produktivität bzw. ausgedehnte, aber nur durchschnittlich ergiebige Grundwasservorkommen

Grundwassergeringleiter, porös oder klüftig

-  Untergeordnete Grundwasserleiter mit lokalen und begrenzten Vorkommen, aber ergiebigere Grundwasservorkommen in tieferen Aquiferen nicht ausgeschlossen
-  Gesteine ohne nennenswerte Grundwasservorkommen, auch in der Tiefe unergiebig

In Deutschland trägt Grundwasser über 70% zur öffentlichen Wasserversorgung bei.

Grundwasser und Wasserversorgung in Deutschland



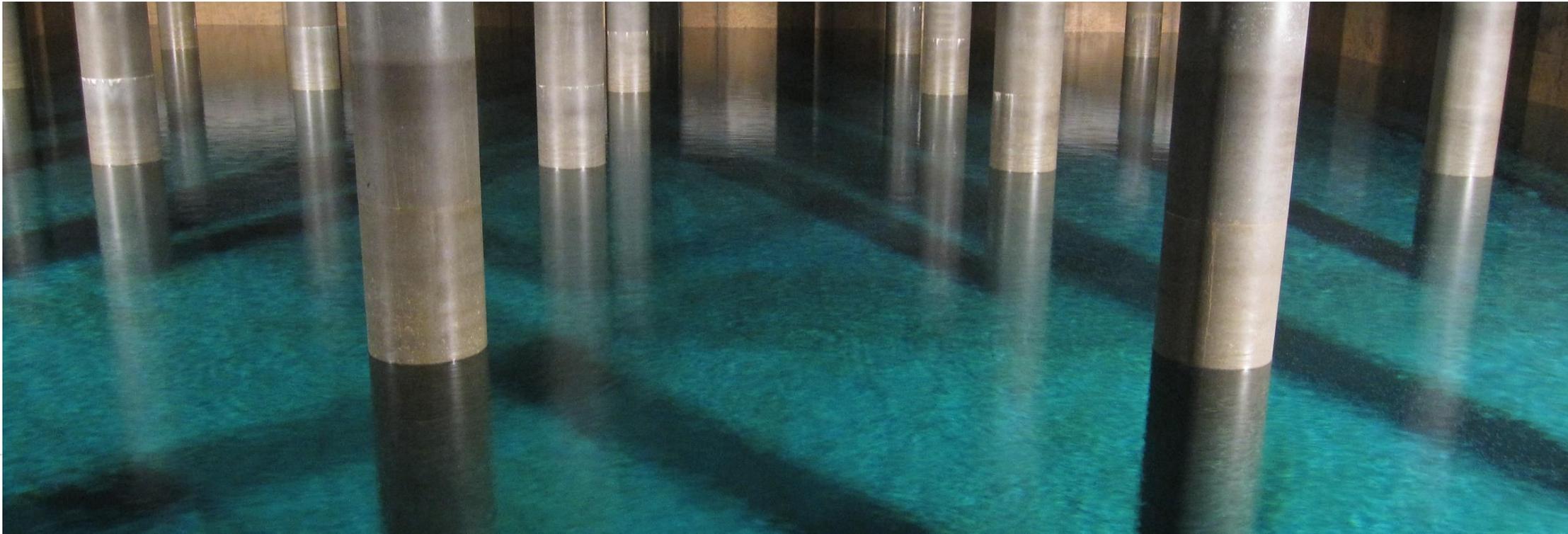
*Einschließlich der Wassermenge, die durch Unternehmen

Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 19 Reihe 2.1.1 Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserbeseitigung - Öffentliche Wasserversorgung 2022

Wassernutzung und Wasserdargebot in Deutschland

- **20 Mrd. m³ Wasser** werden pro Jahr genutzt, das sind **11 %** des natürlichen Wasserdargebots von 176 Mrd. m³.
- Die restlichen 89 % stehen also der Natur zur Verfügung.
- ➔ **Wassernutzungsindex** (ab 20% Wasserstress)

Foto: Goldscheider



Natürliches Wasserdargebot in Deutschland

Wasserbilanz für Deutschland

Wasserhaushaltsgrößen in Milliarden Kubikmeter (Mrd. m ³) ¹⁾	Mittel 1991–2020	Mittel ³⁾ 1961–1990	2000	2001	2002	2003	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Niederschlag ²⁾	283	282	300	332	364	217	279	260	251	262	307	210	263	252
Zufluss von Oberliegern	69	71	78	84	87	55	80	64	60	71	60	59	66	62
Gebietsbürtiger Abfluss oberirdisch vom Bundesgebiet	97	107	105	108	148	88	111	78	85	90	90	81	75	74
Verdunstung	181	169	177	173	187	174	182	197	185	179	202	158	199	203
<i>davon Verdunstung aus Wasserverbrauch</i>	4,5	3,9	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Evapotranspiration	176	165	172	168	182	169	177	192	180	174	197	153	194	198
Erneuerbare Wasserressourcen	176	188	206	248	269	103	182	132	131	159	170	116	135	116
Wasserdargebot	176													

max – min

> 7 unterdurchschnittliche Jahre

6% weniger

Davon werden aktuell rund 20 Mrd. m³/Jahr genutzt (11,4%).

¹⁾ Werte gerundet

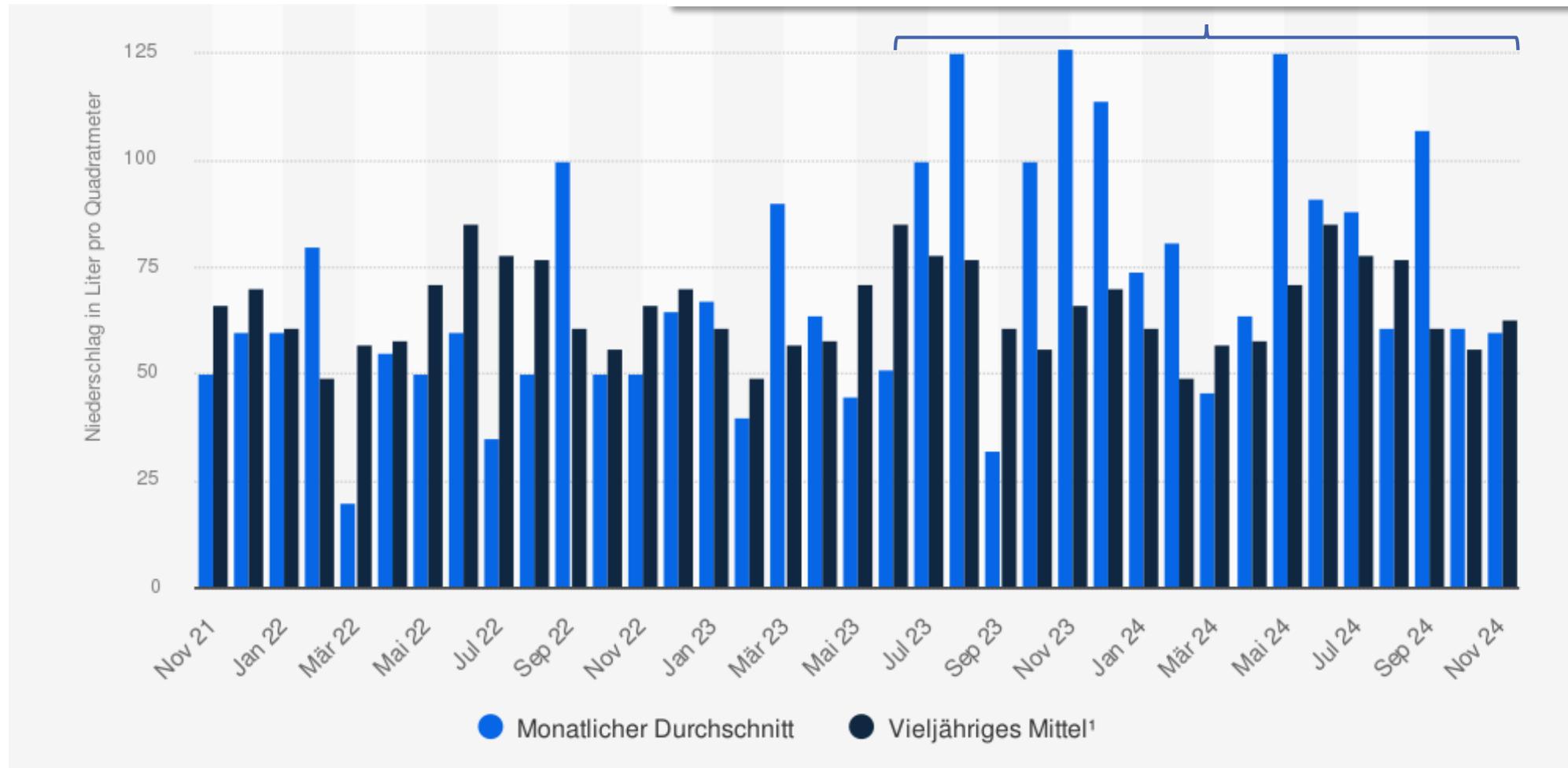
²⁾ vieljähriger Mittelwert und Einzeljahre auf der Grundlage unkorrigierter Stationsniederschlagsdaten

³⁾ methodisch und datentechnisch abgestimmt mit neuer Referenzperiode

kursiv = Schätzwerte

Monatsniederschläge Deutschland, 2021 bis 2024

Seit Juli 2023 waren 13 von 17 Monaten „zu nass“, teils +91%



Mengenmäßiger Zustand der Grundwasserkörper 2021



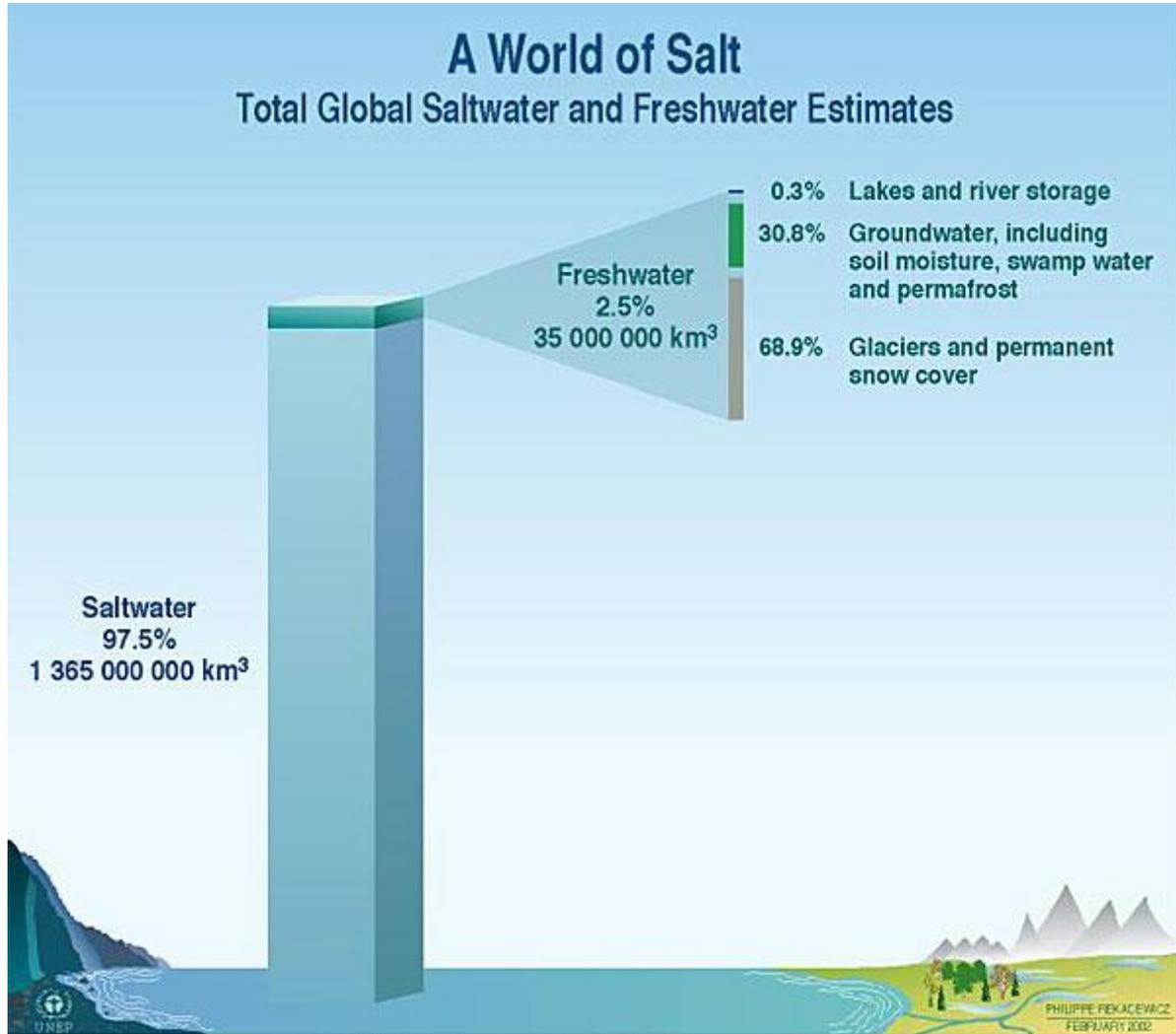
Bewertungskriterien:

- Nachhaltigkeit: Entnahmen müssen unter der Neubildungsrate liegen.
- Grundwasserspiegel darf nicht absinken und keinen vom Menschen verursachten Veränderungen unterliegen.
- Nur 4,8% verfehlen den guten mengenmäßigen Zustand.

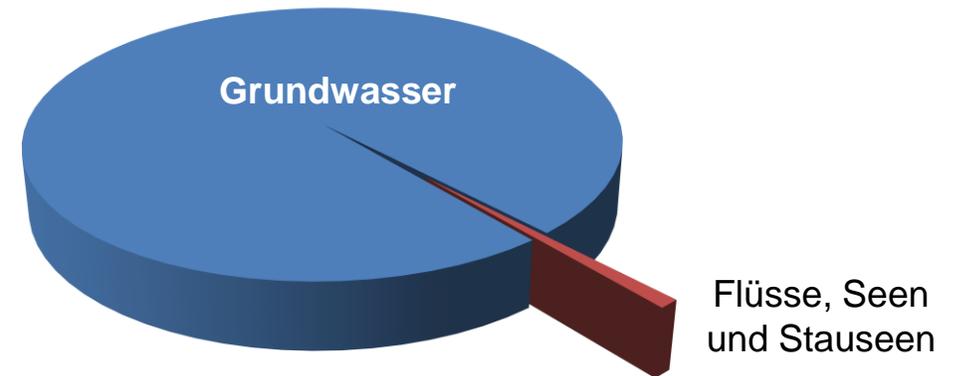
Problemgebiete:

- v.a. Regionen mit **Braunkohleabbau** (also nicht klimatisch bedingt)

Grundwasser und globale Wasserressourcen



Rund 99% des nicht gefrorenen Süßwassers sind Grundwasser; nur 1% ist Oberflächenwasser.

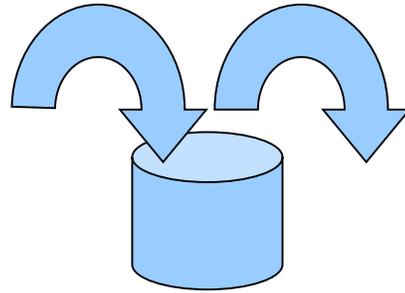


Grundwasser – eine unerschöpfliche Wasserressource?

Volumen vs. Erneuerungsrate

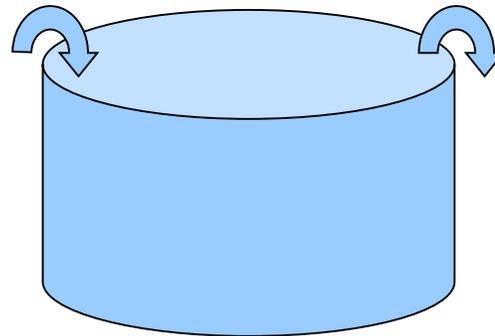
Oberflächenwasser

- Volumen ca. 100.000 km³
- Hohe Erneuerungsrate



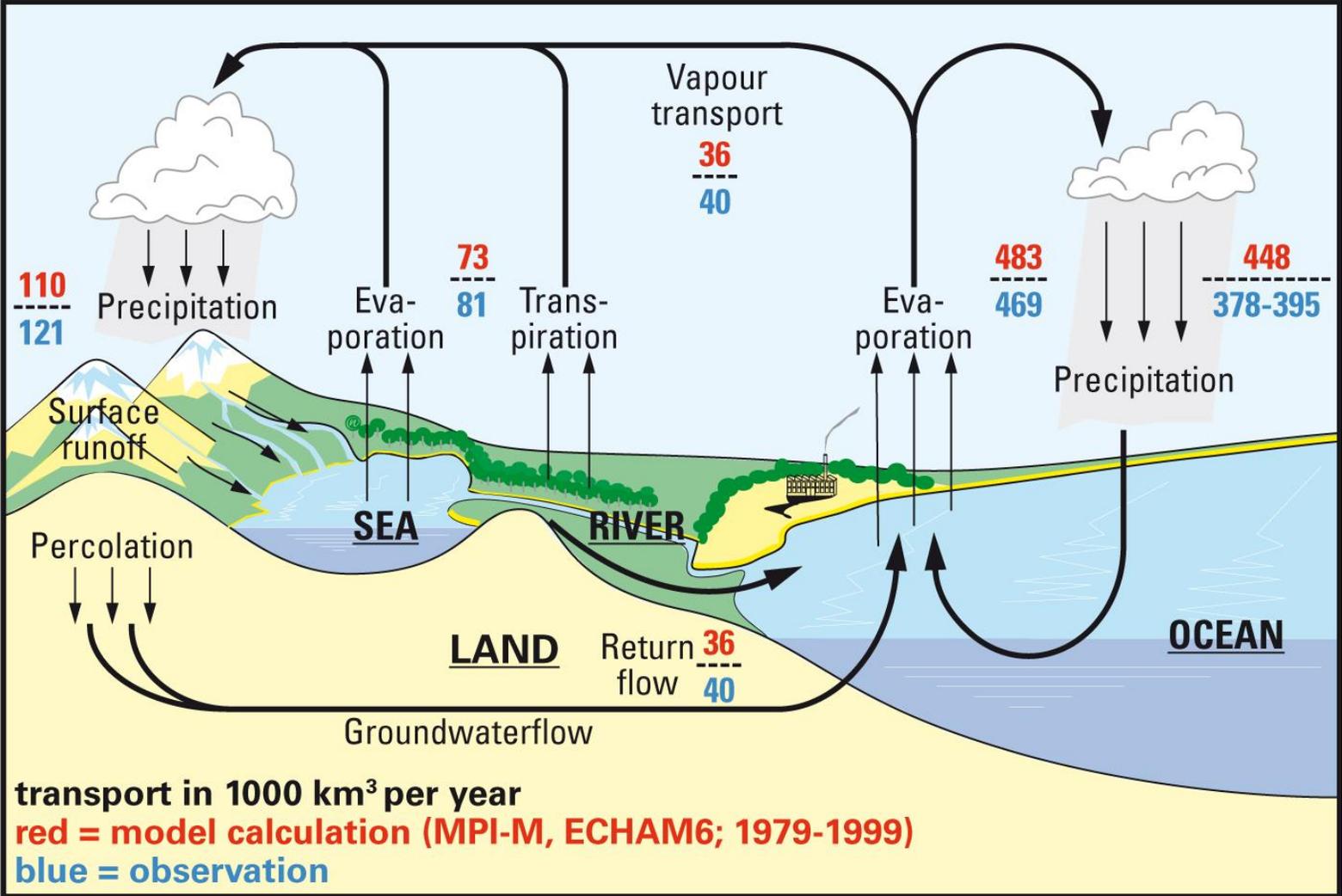
Grundwasser:

- Volumen ca. 10.000.000 km³
- Geringere Erneuerungsrate



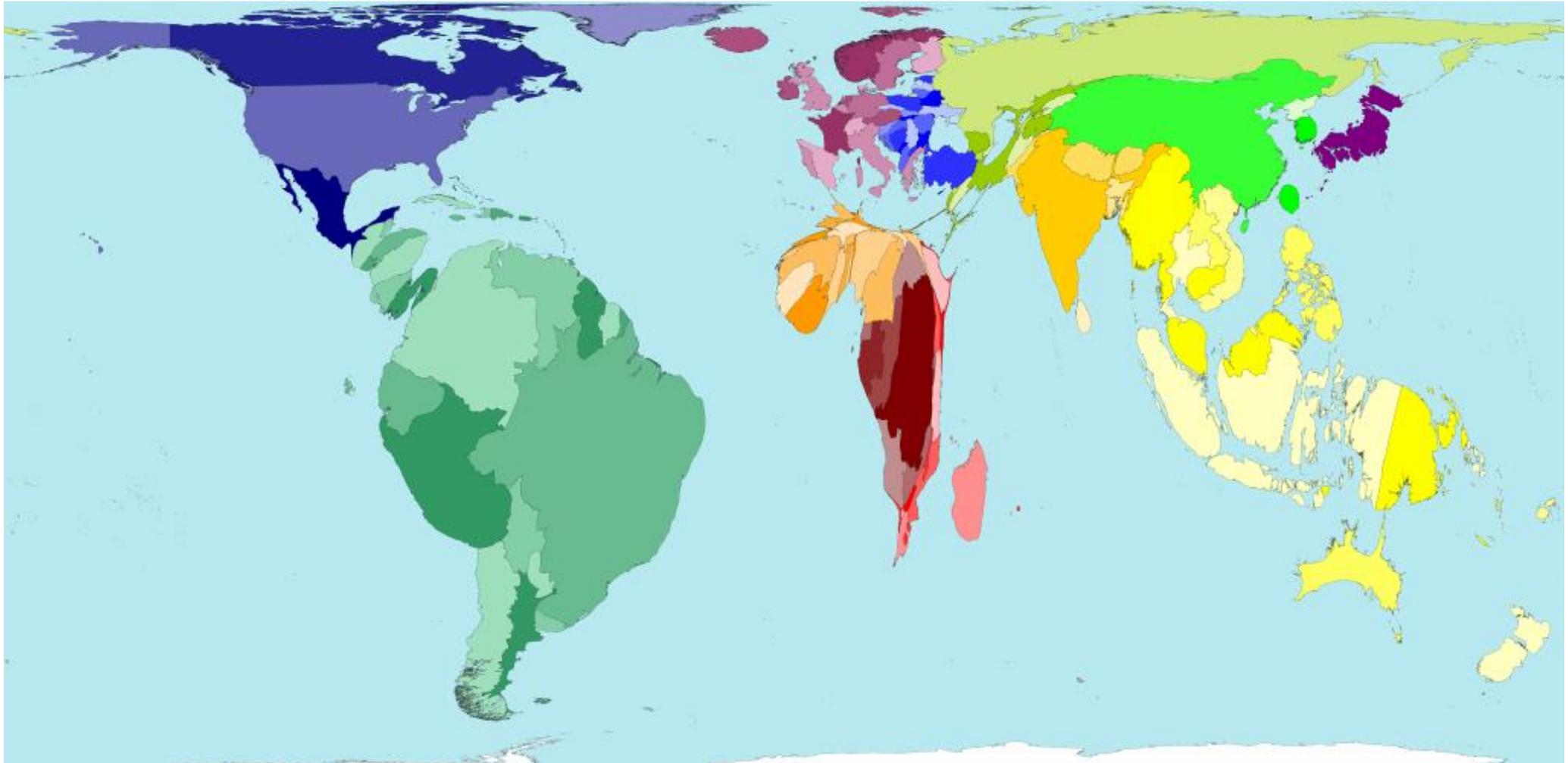
- Die Erneuerungsrate ist die Grundlage der nachhaltigen Wasserbewirtschaftung.
- Grundwasser ist keine unerschöpfliche Wasserressource.

Der globale Wasserkreislauf in Zahlen

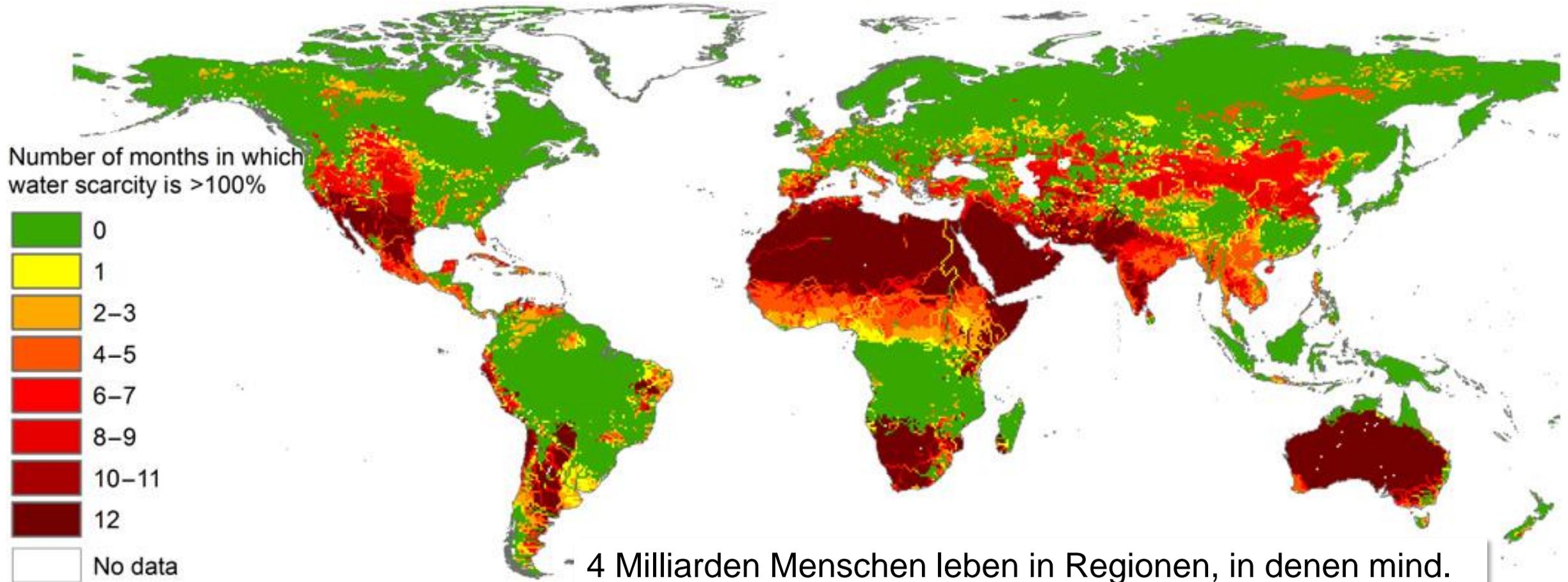


Σ 550.000 km³/a

Ungleiche Verteilung der Süßwasserressourcen

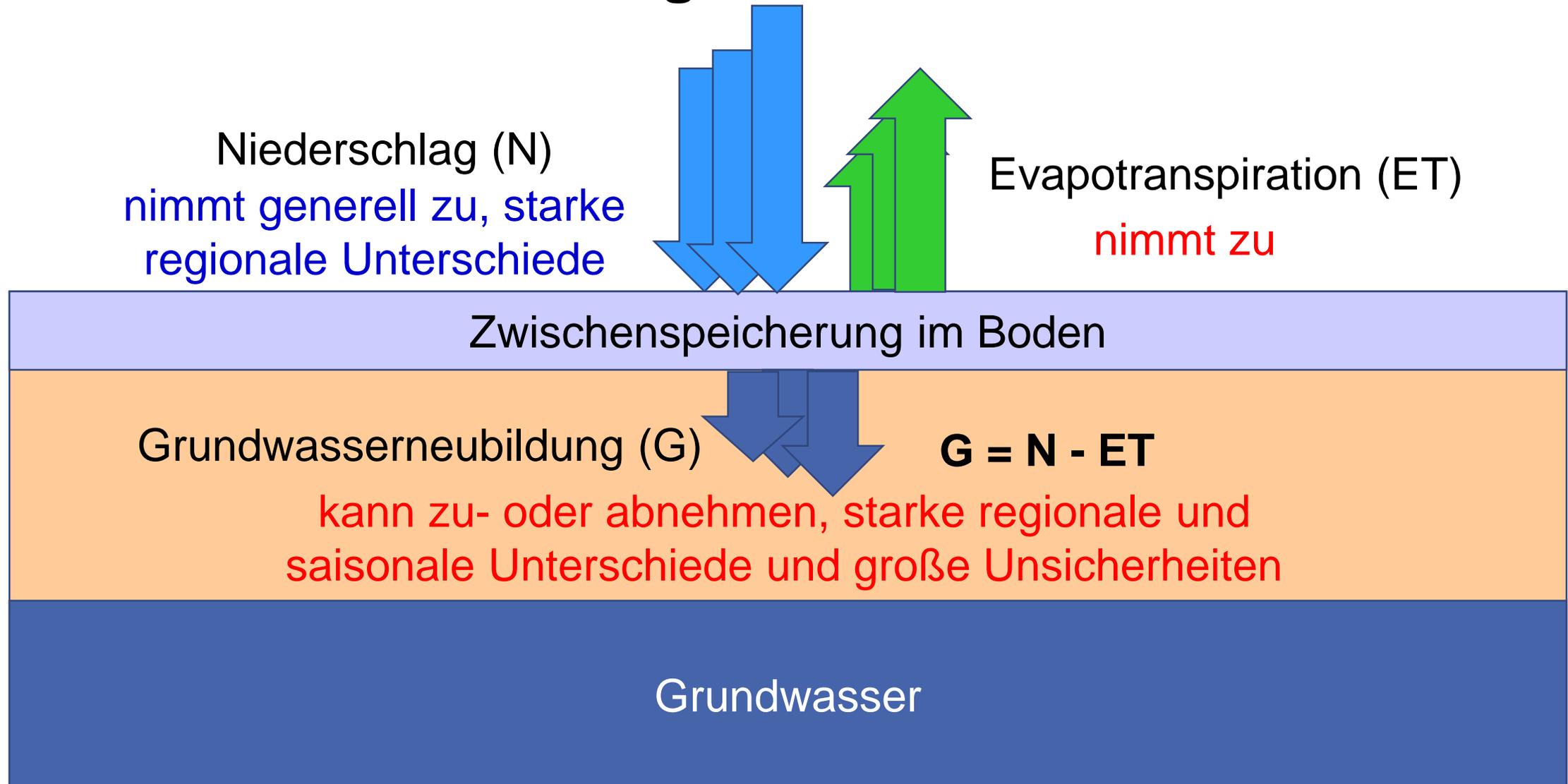


Globaler Wasserstress

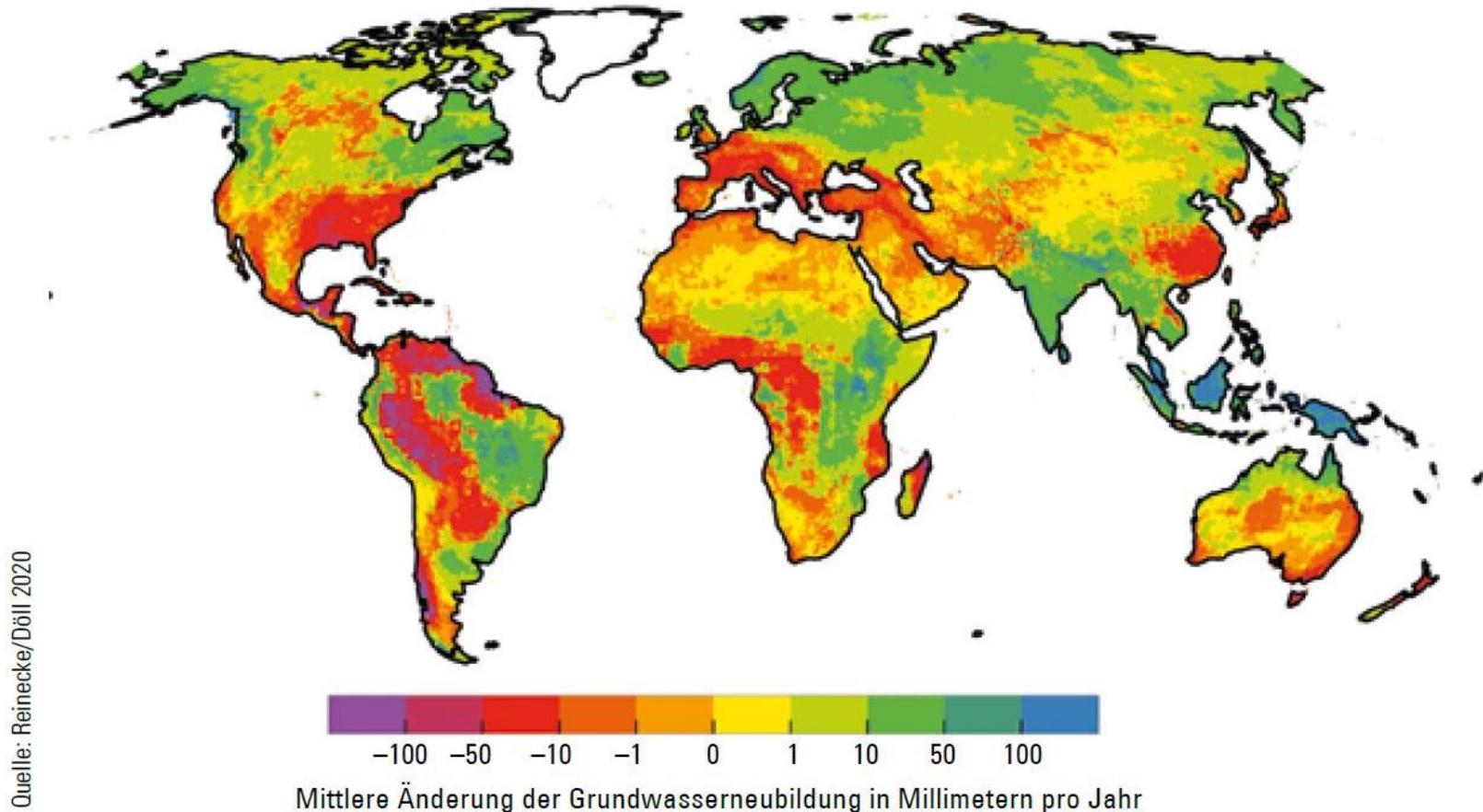


4 Milliarden Menschen leben in Regionen, in denen mind. einen Monat pro Jahr schwerer Wassermangel herrscht, die Hälfte davon in Indien und China.

Grundwasserneubildung und Klimawandel



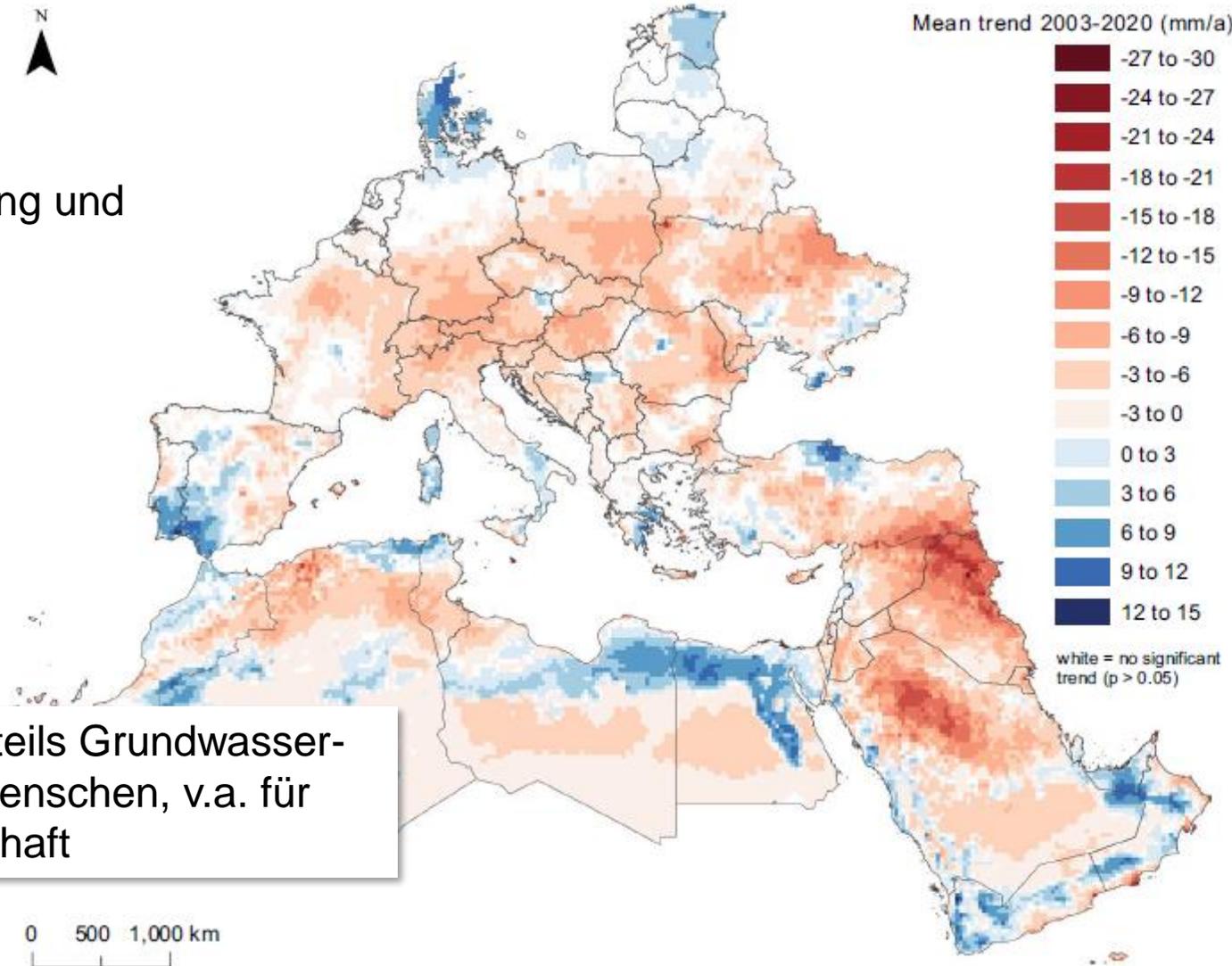
Prognostizierte Änderung der Grundwasserneubildung



Bei einer globalen Mitteltemperatur, die 3°C höher ist als 1850, würde sich die GWN in weiten Teilen der Welt deutlich von den heutigen Werten unterscheiden (Reinecke & Döll 2020)

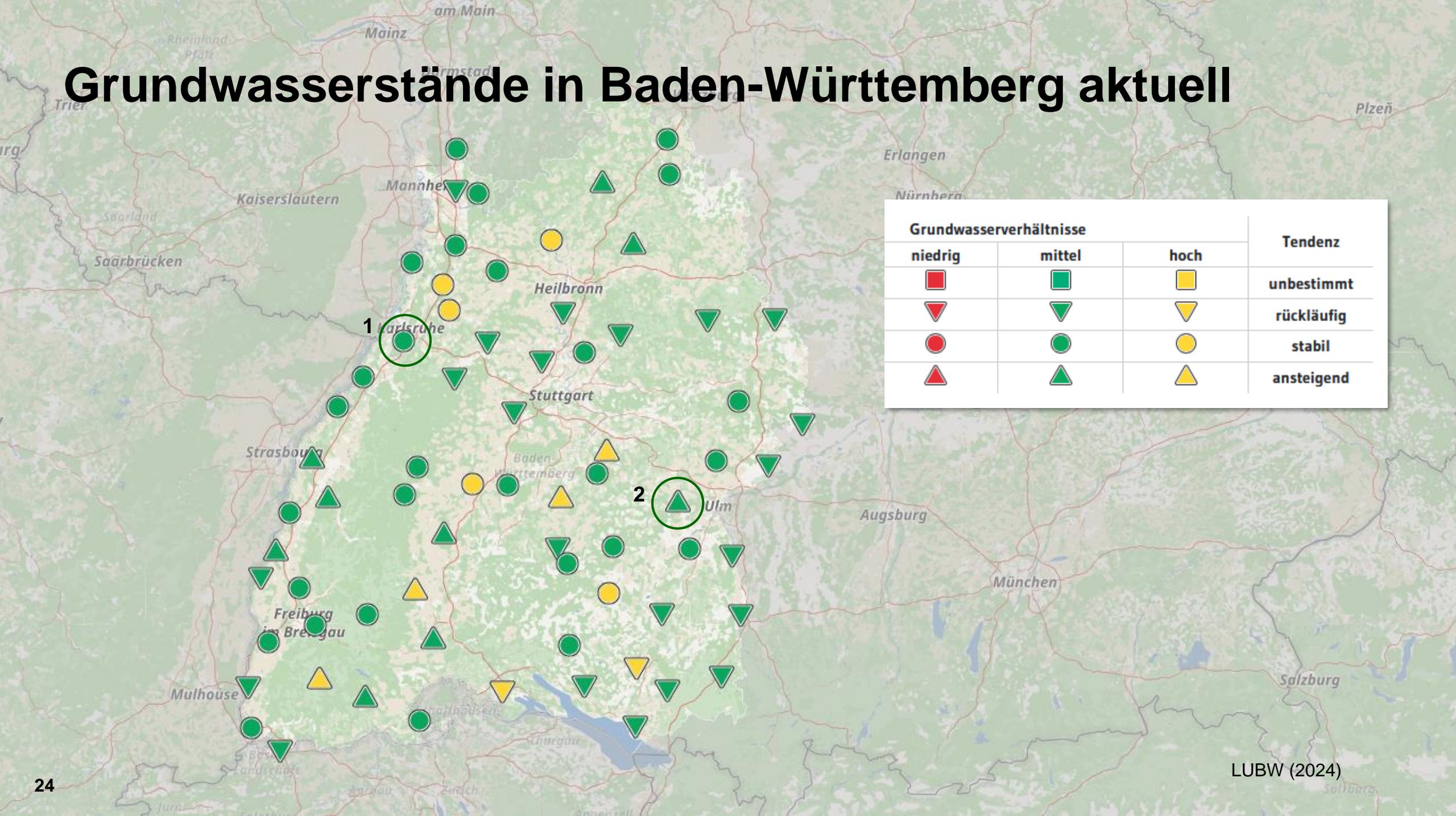
Beobachtete Änderung der Grundwasserspeicherung

Satellitengestützte Messung und Berechnung, 2003-2020



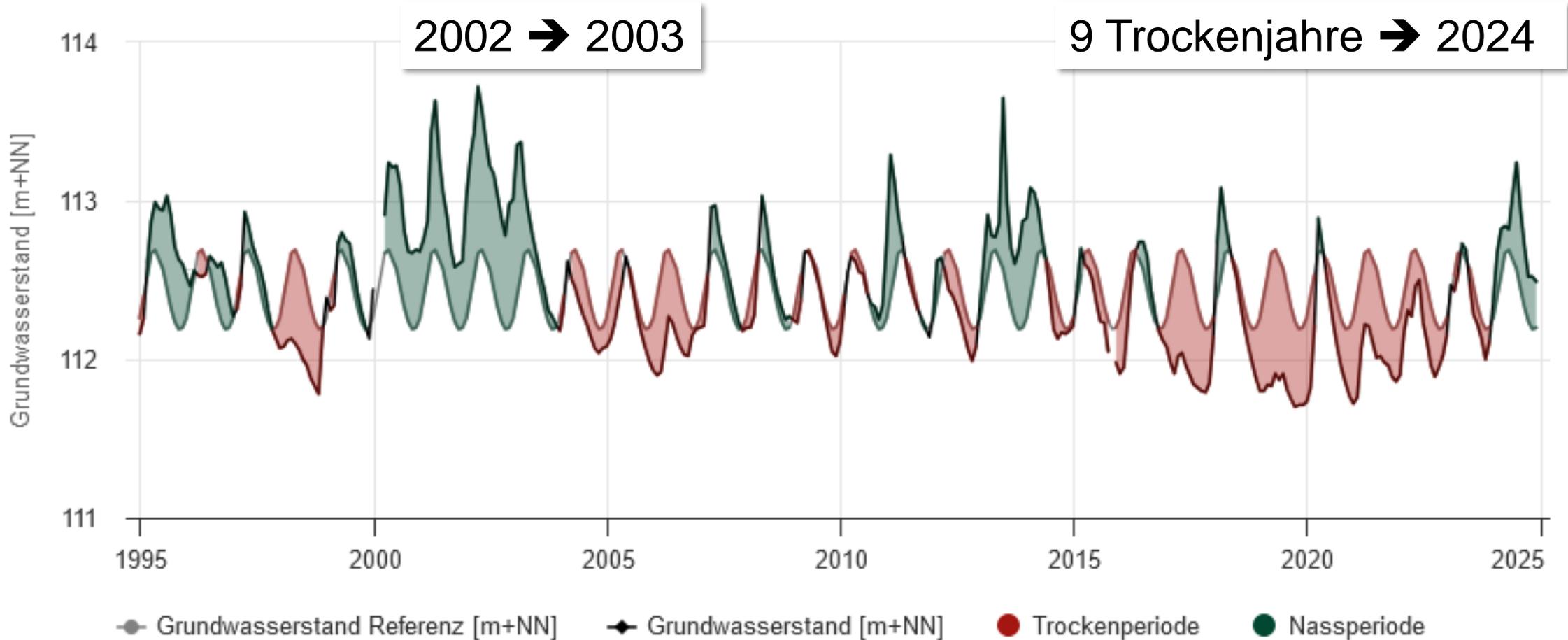
Teils klimatisch bedingt, teils Grundwasser-Entnahmen durch den Menschen, v.a. für Bewässerungslandwirtschaft

Grundwasserstände in Baden-Württemberg aktuell

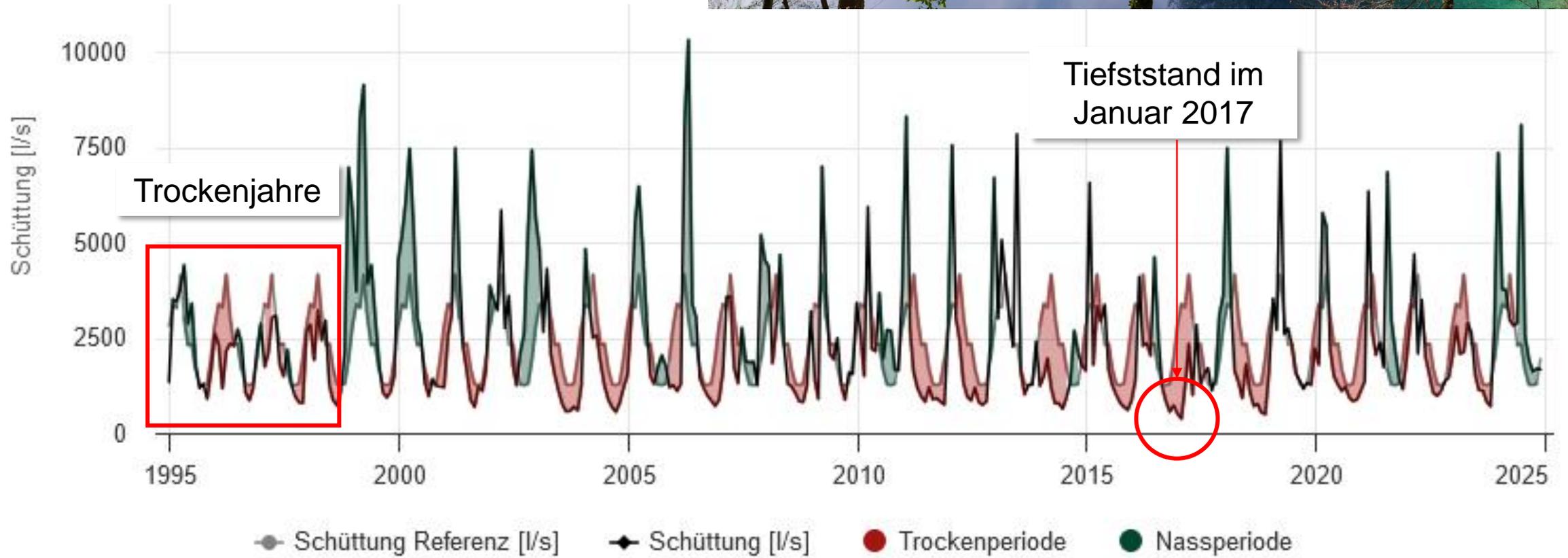


Grundwasserverhältnisse			Tendenz
niedrig	mittel	hoch	
■	■	■	unbestimmt
▼	▼	▼	rückläufig
●	●	●	stabil
▲	▲	▲	ansteigend

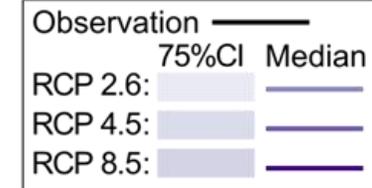
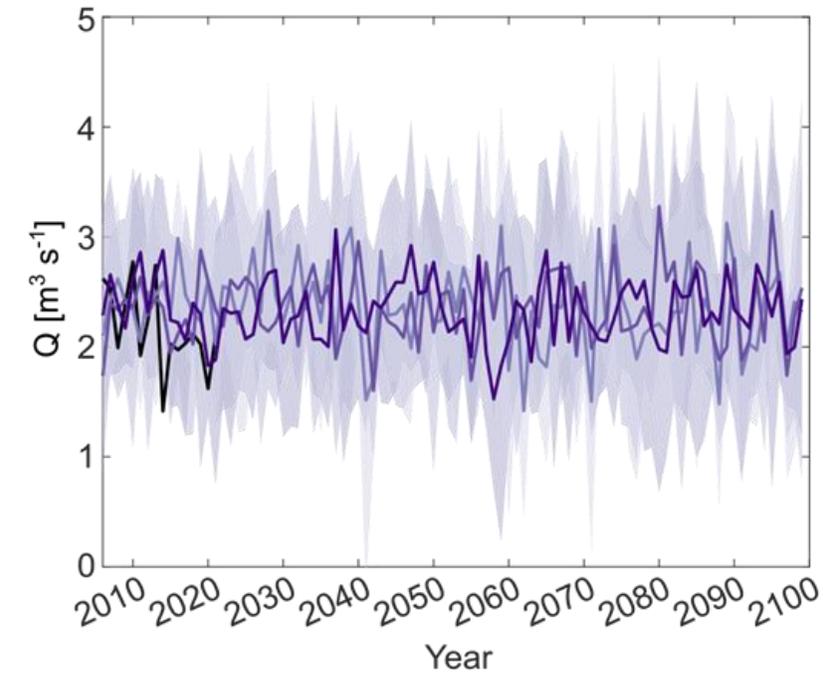
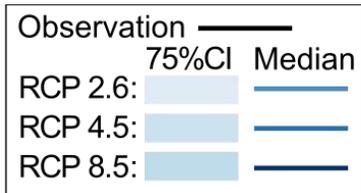
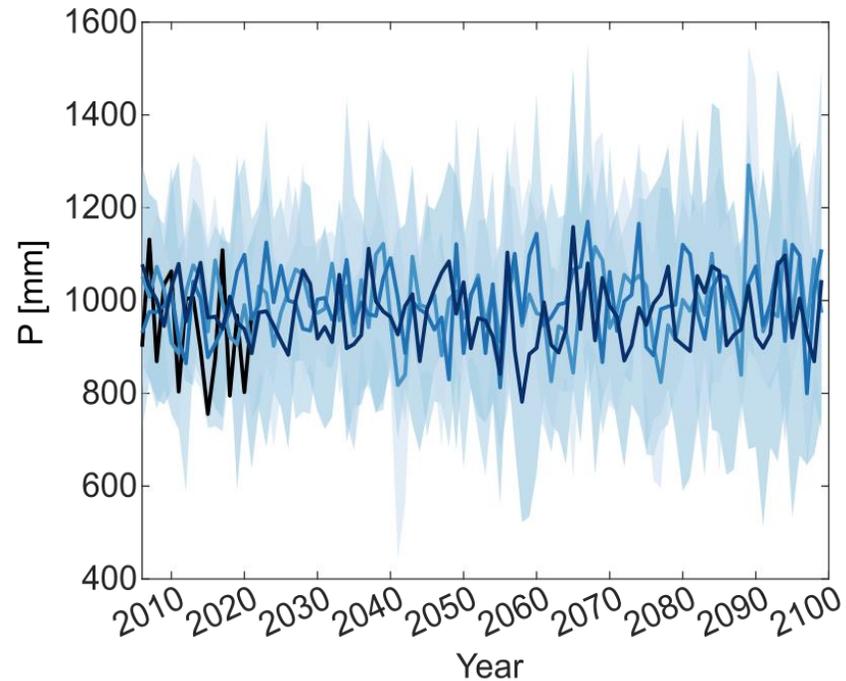
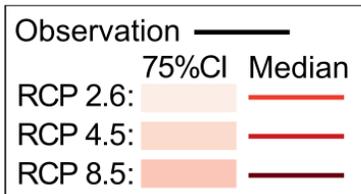
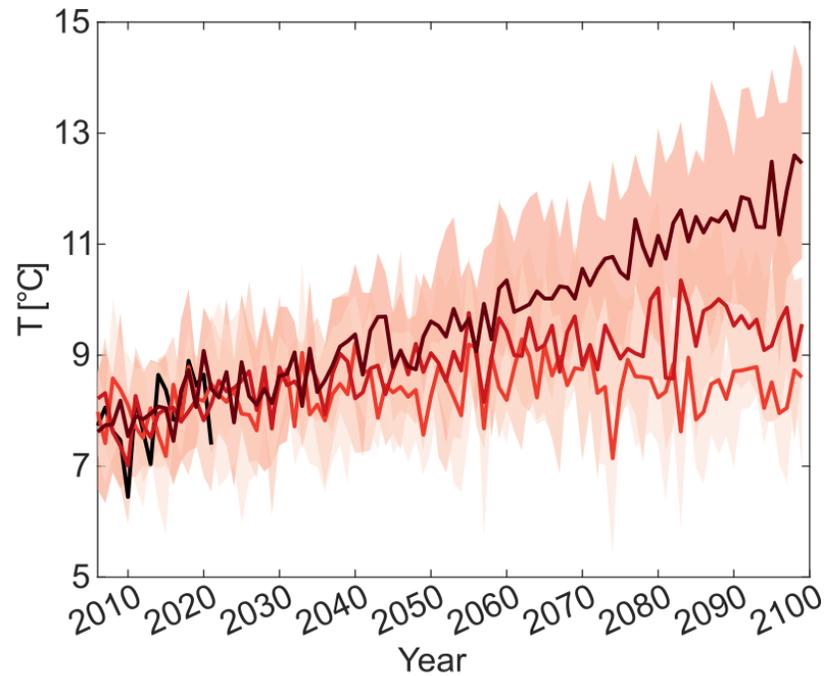
Beispiel: Grundwassermessstelle im Oberrheingraben



Beispiel: Quellschüttung Blautopf



Projektion von Klima und Quellschüttung des Blautopfs bis 2100



- Klare Zunahme von T, hohe Variabilität und Unsicherheit von P und Q
- Abnahme der maximalen und minimalen Schüttungen

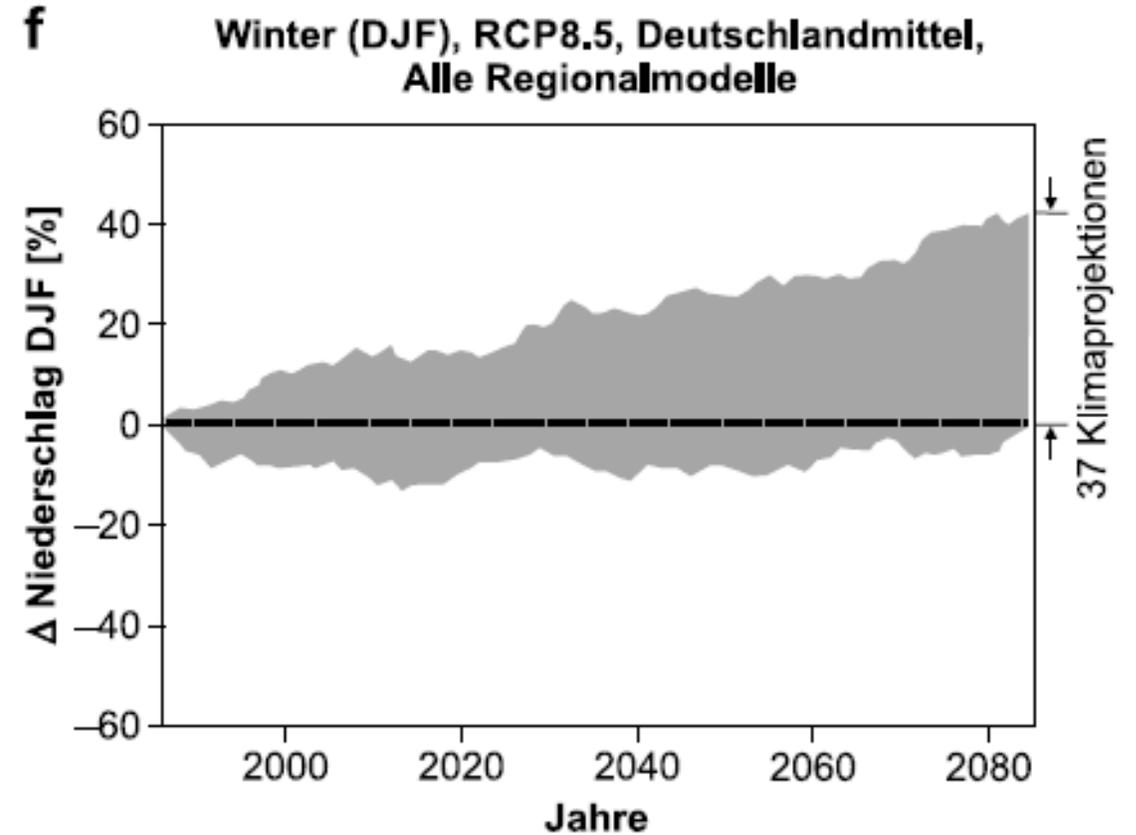
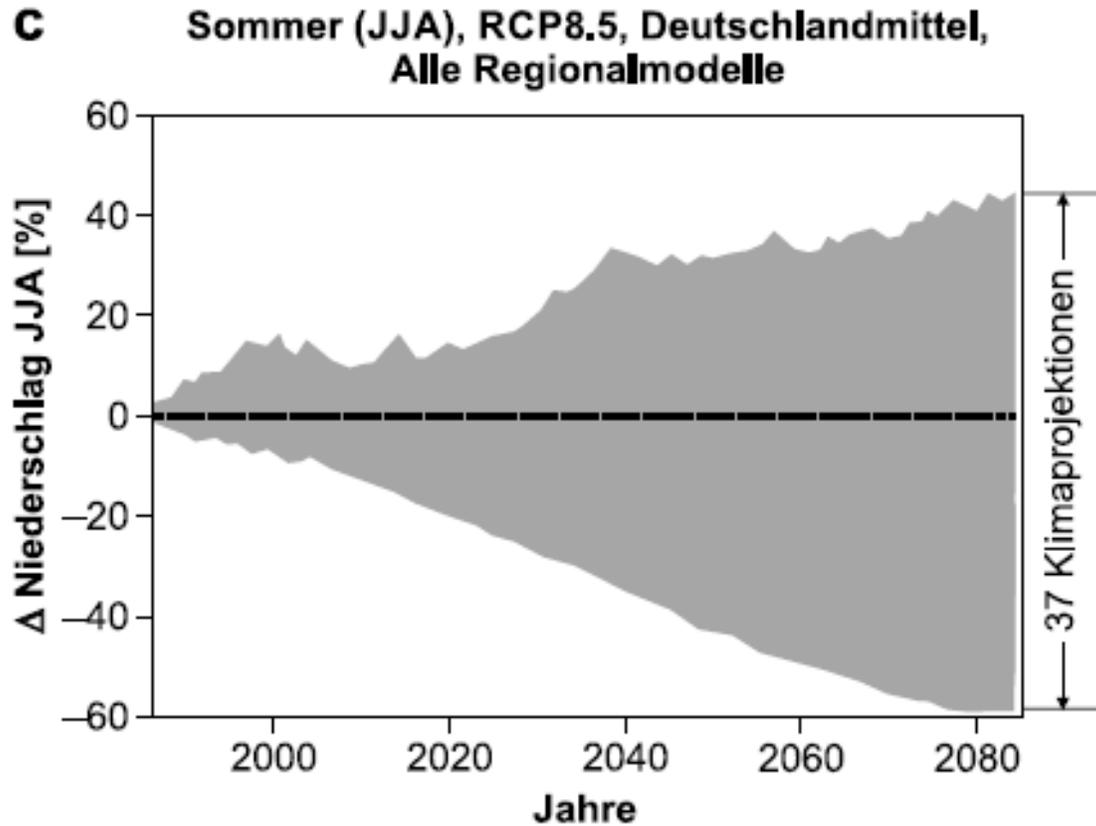
Änderung von Temperatur und Niederschlag (Deutschland)

Änderung	Klimakennwerte (Ensemble-Median)	RCP2.6	RCP8.5	Vorteil RCP2.6 gegenüber RCP8.5
↑	Jährliche mittlere Temperatur [°C]	+1	+4	4 mal kleiner
↑	Anzahl der Sommertage ($T_{\max} > 25 \text{ °C}$)	+10	+46	4,5 mal kleiner
↑	Anzahl der Hitzetage ($T_{\max} > 30 \text{ °C}$)	+4	+19	4 bis 5 mal kleiner
↓	Anzahl der Eistage ($T_{\max} < 0 \text{ °C}$)	-8	-19	2,5 bis 5 mal kleiner

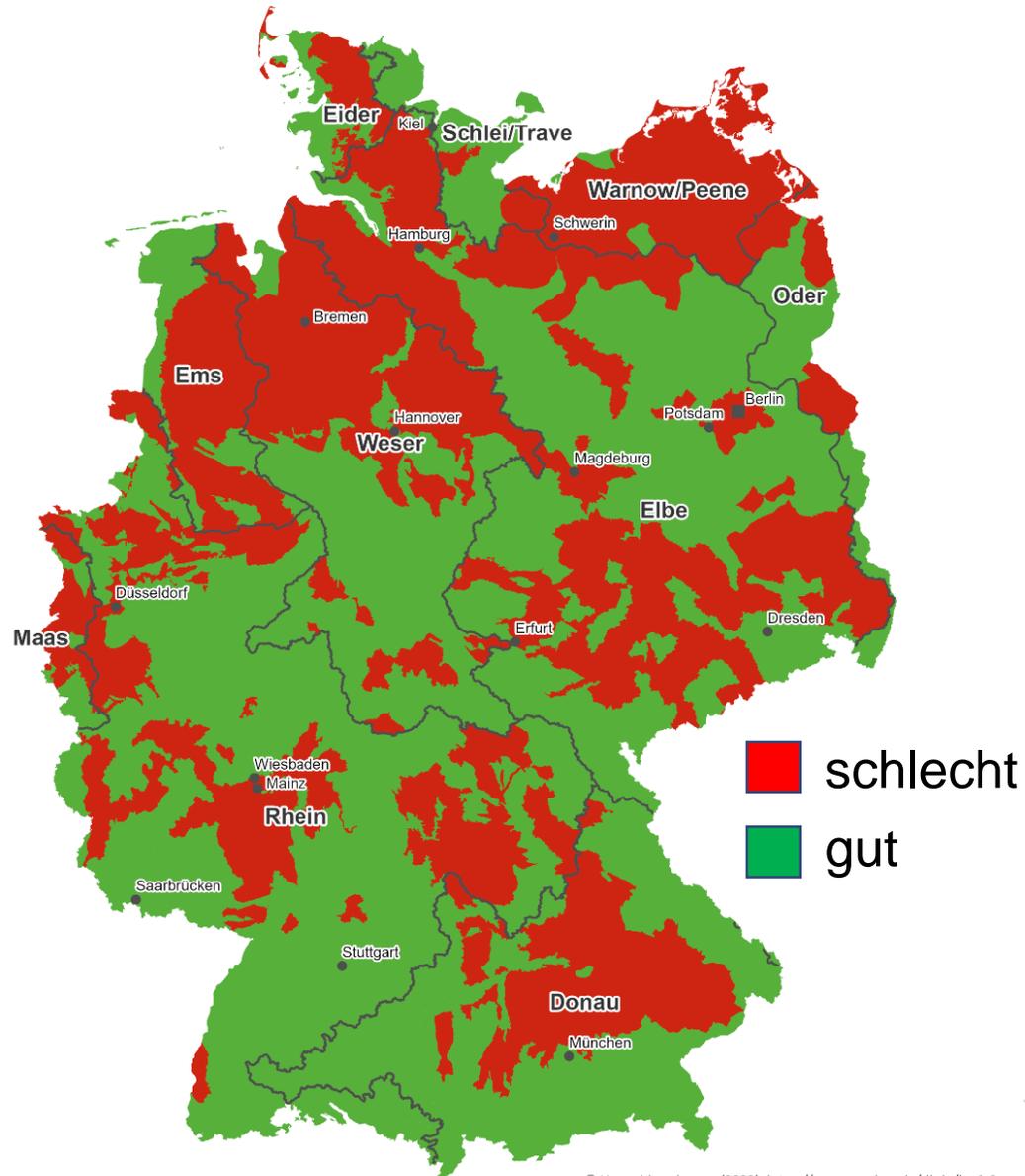
Änderung	Klimakennwerte	RCP2.6	RCP8.5	Vorteil RCP2.6 gegenüber RCP8.5
↓↑	Anzahl nasse Tage, Sommer ($N > 20 \text{ mm}$)	-30 % bis +30 %	-50 % bis +120 %	3 bis 4 mal kleiner
↓↑	Niederschlagsmenge, Sommer	-30 % bis +10 %	-60 % bis +10 %	2 bis 3 mal kleiner
↑	Anzahl nasse Tage, Winter ($N > 20 \text{ mm}$)	0 % bis +40 %	+20 % bis +130 %	4 bis 5 mal kleiner
↓↑	Niederschlagsmenge, Winter	-15 % bis +18 %	0 % bis +40 %	2 bis 3 mal kleiner

Abb. 2 Vergleich (2071–2100 mit 1971–2000) der Veränderungen ausgesuchter temperatur- und niederschlagsbasierter Kennwerte für Deutschland. (Datenquelle: ReKliEs-De 2017)

Vergleich Sommer – Winter (Deutschland)



Chemischer Zustand des Grundwassers



- 32,7% der Grundwasserkörper sind in einem schlechten chemischen Zustand.
- Hauptproblem: Nitrat
- Hauptquelle: intensive Landwirtschaft
- Hinsichtlich Nitrat ist Deutschland innerhalb der EU am schlechtesten (nach Malta).
- Andere Problemstoffe: Versalzung, Pestizide, PFAS (z.B. durch Umweltkriminalität in der Region Rastatt)

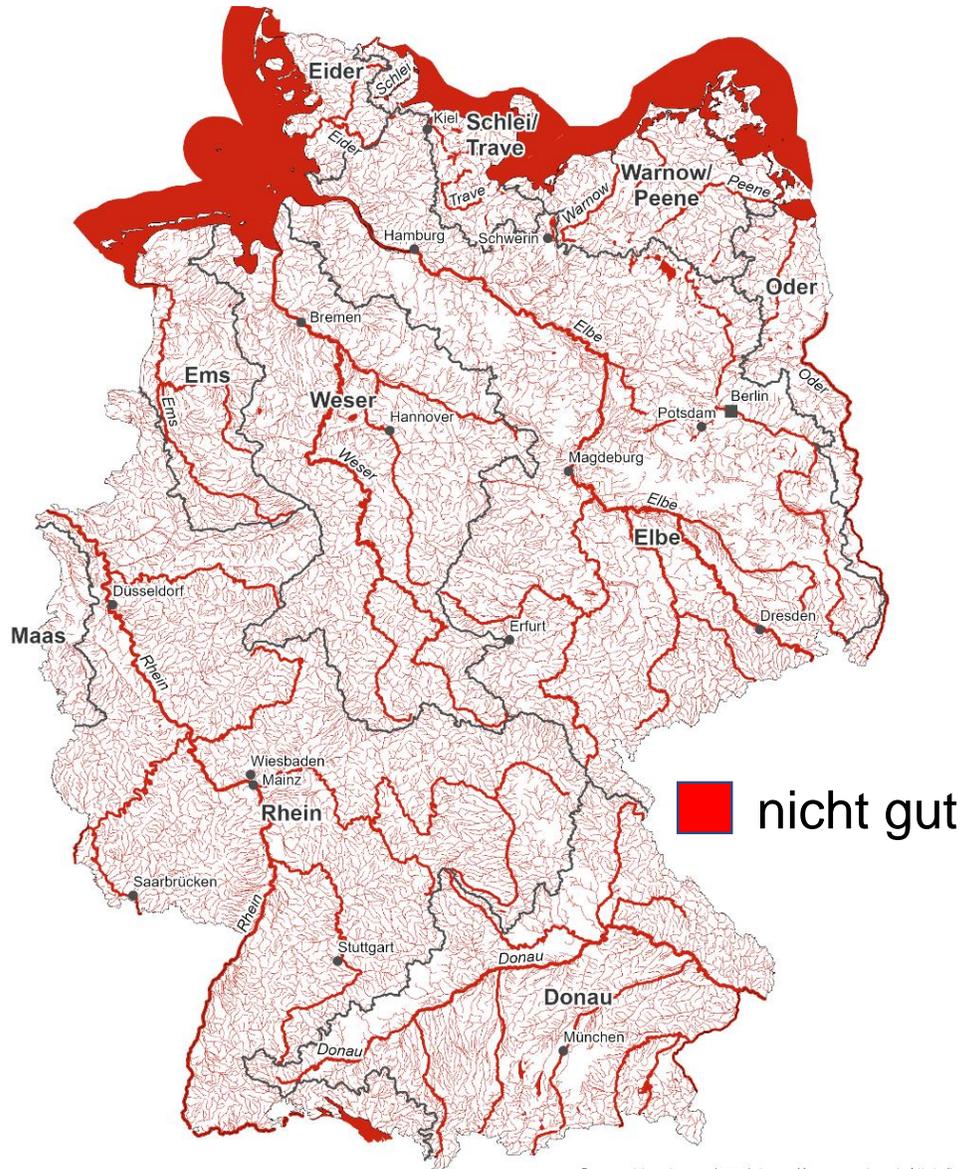
PFAS = Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen

Bioenergie, Biodiversität & Grundwasser

- 2020 betrug die Maisanbaufläche für Bioenergie in Deutschland 27.205 km² (Statistisches Bundesamt); das entspricht in etwa der Fläche von Brandenburg.
- Ökologisch sind diese Flächen wertlos.
- Mais benötigt viel Stickstoff, wovon erhebliche Teile als Nitrat ins Grundwasser gelangen (und Pestizide, etc.).
- Mais ist sehr bewässerungsintensiv.



Chemischer Zustand der Oberflächengewässer



- Nicht gut = mindestens eine Umweltqualitätsnorm bzw. ein Grenzwert wird nicht eingehalten
- 100% nicht gut; 0% gut.
- Hauptgrund: **Quecksilber** aus Kohlekraftwerken
- Weitere Problemstoffe: Pestizide, Feuerlöschmittel, Holzschutzmittel

Grenzwert für Quecksilber: 20 ng/g Fisch

Lösungsbeiträge – was Deutschland tun kann

- Weitere Flächenversiegelung vermeiden; stattdessen Flächen entsiegeln.
- Erhalt der natürlichen Lebensräume, großflächige Naturschutzgebiete.
- Besonders Wälder erhalten und schützen; Aufforstung wo sinnvoll und möglich; natürliche Waldentwicklung ermöglichen.
- Wasserspeicherung im Grundwasserleiter: gezielter Rückhalt und Versickerung von Regenwasser („Schwammstadt“).
- Bioenergie nur zur Verwertung von Abfallstoffen, aber kein Anbau von Bioenergiepflanzen; weg von Mais-Monokulturen.
- Wassersparende und wasserschonende Agrarproduktion. Nur sehr gezielte landwirtschaftliche Bewässerung (möglichst nicht aus dem Grundwasser).
- **Was die Wasserversorger tun können:** Vortrag Prof. Dr. Frieder Haakh

Lösungsbeiträge – was jeder tun kann

- Wasserbewusste Ernährung, also möglichst saisonal, regional und fleischarm (lieber Kartoffeln als Avocado).
- Den Rasen in trockenen Sommern nicht gießen, sondern vertrocknen lassen (er wird wieder grün, wenn es wieder ausreichend regnet).
- Regenzisternen und Regenwasser-Versickerungsanlage im Garten installieren (spart Geld und hilft gegen Dürre und Hochwasser).
- Nutzflächen rund ums Haus entsiegeln (Garageneinfahrt, etc.).
- Die üblichen Wassersparmaßnahmen im Haushalt (die aber quantitativ recht wenig bringen und teils auch Nachteile haben).
- Für die Jüngeren: Hydrogeologie (oder ein anderes Wasserfach) studieren.

Hydrogeologie ist die Wissenschaft vom Grundwasser



**Fachsektion
Hydrogeologie**

<https://fh-dggv.de/>

Hydrogeologische Exkursion in die
Alpen, Studiengang Angewandte
Geowissenschaften am KIT

Foto: N. Goldscheider

