



Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

TU BERGAKADEMIE
FREIBERG



Einleitung 1

Grundlagen der Hydrologie
Primer in Hydrology

Struktur des Moduls

Was gibt es zu erwarten...

Wintersemester

- Vorlesung (2 SWS)
“Primer in Hydrology”
mittwochs 14:00
- Am Ende: Klausur
- Übung (1 SWS)
dienstags 14:00
- PVL als kleiner Bericht

Wie sieht es da
bei euch aus?

Sommersemester

- Vorlesung (1 SWS)
“Hydrologische
Messmethoden”
- Praktikum (1 SWS)
Anwendung der
Messungen

Struktur der Vorlesung



Ziel der heutigen Vorlesung

Einleitung zu Hydrologie und Wasserkreislauf



1

Wasser

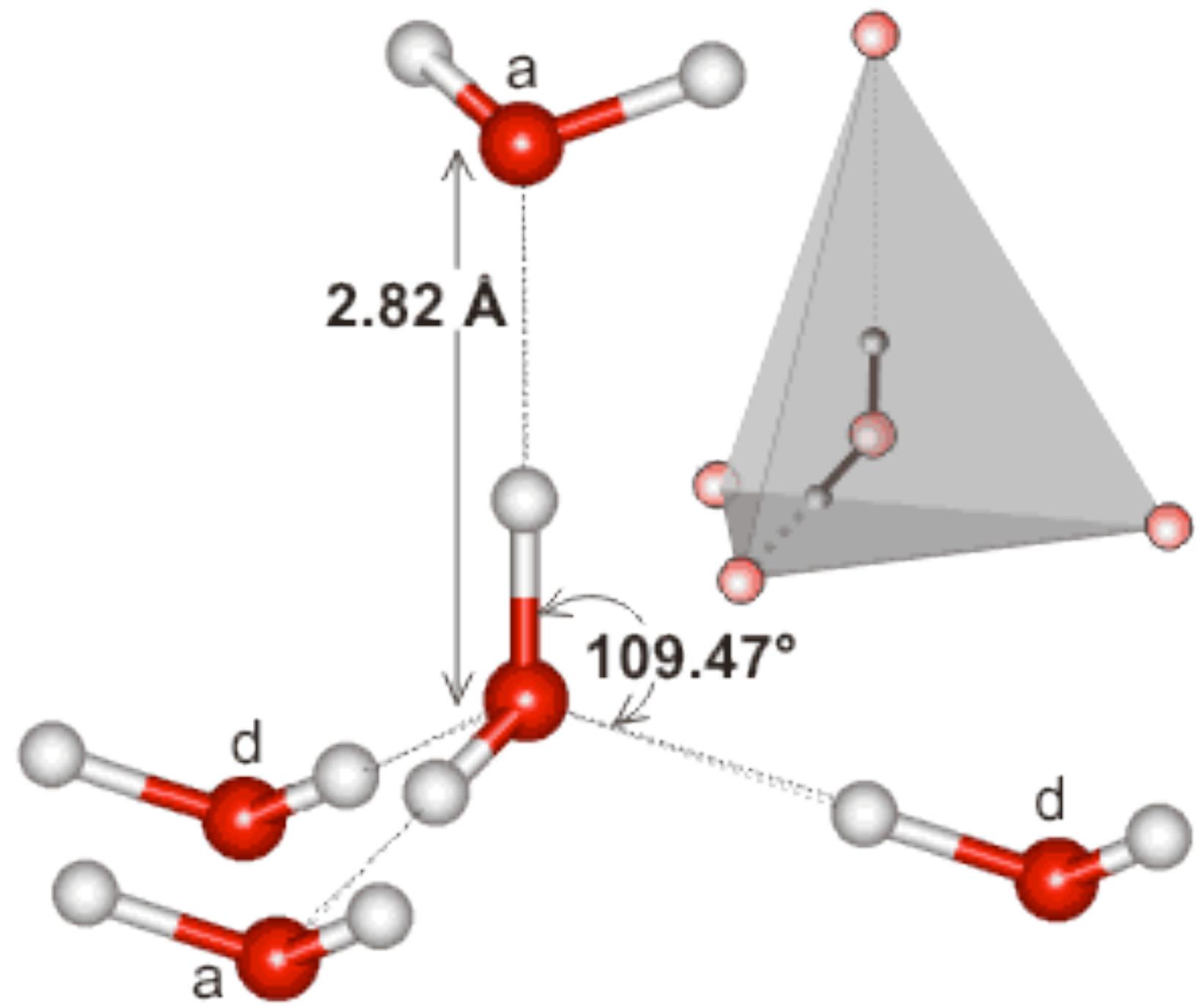
- ubiquitärer Stoff mit einigen “Anomalien”
dennoch limitierend für das Leben

Hydrologie

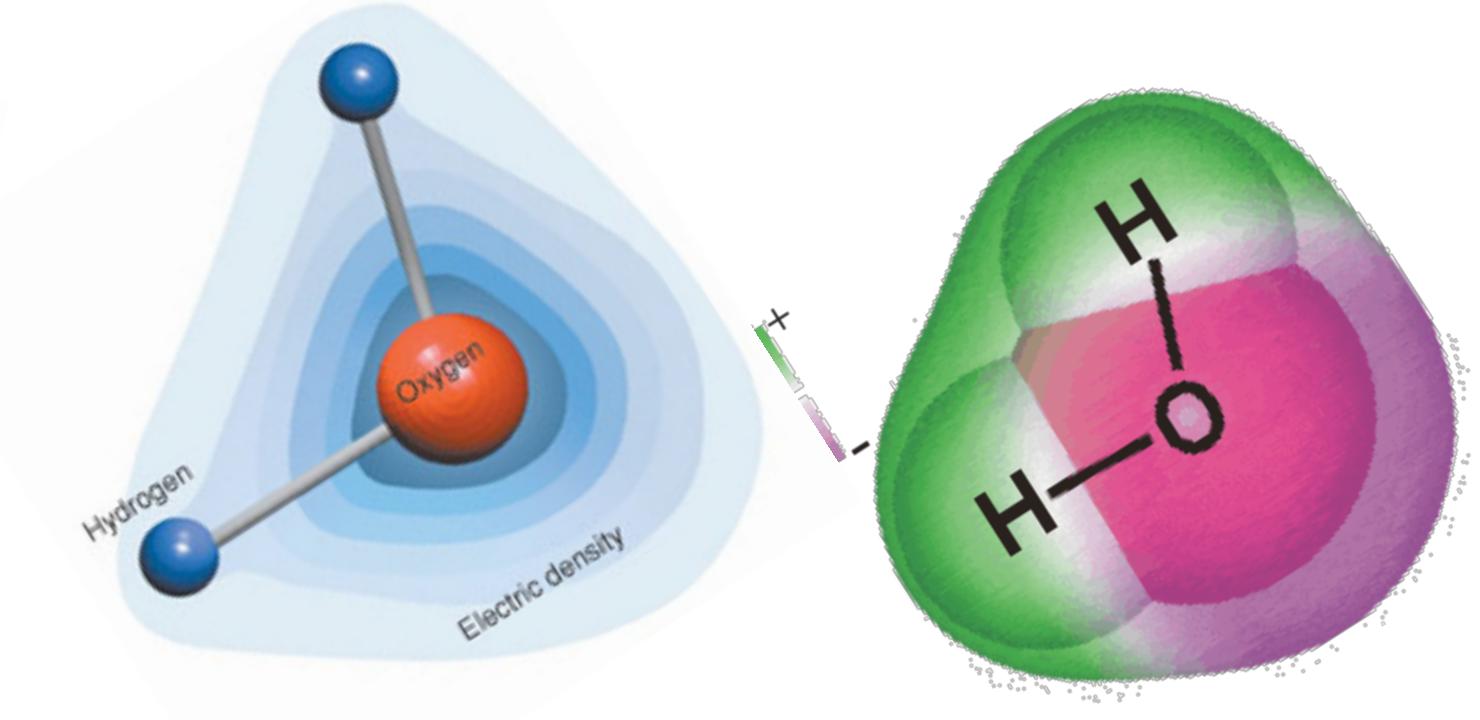
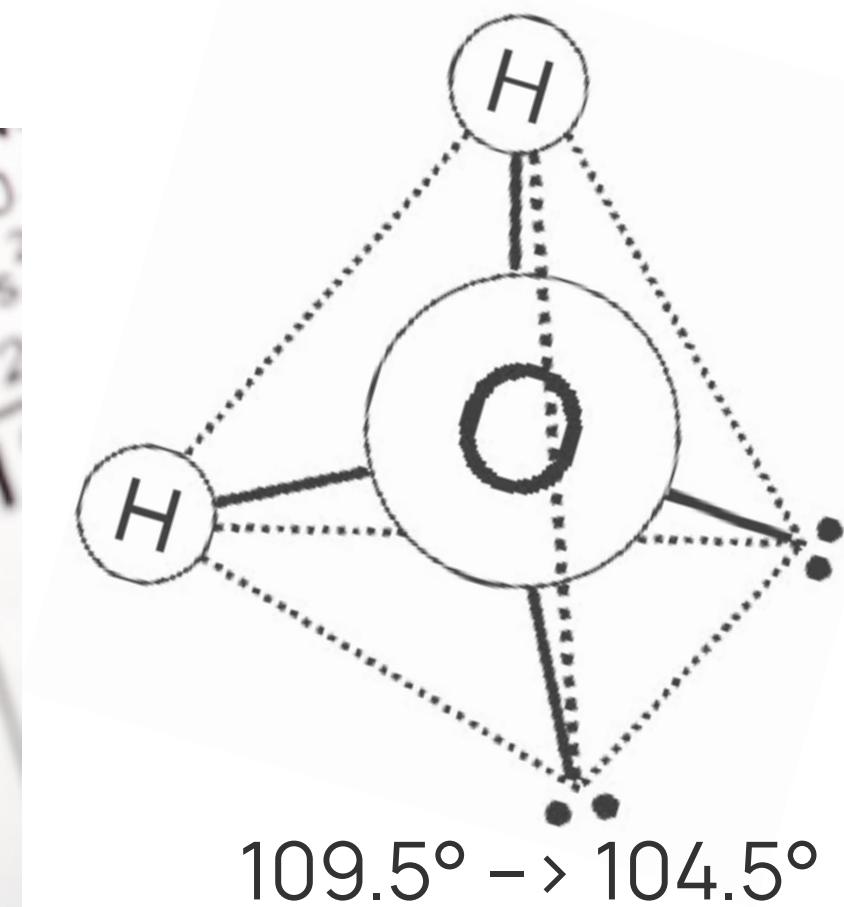
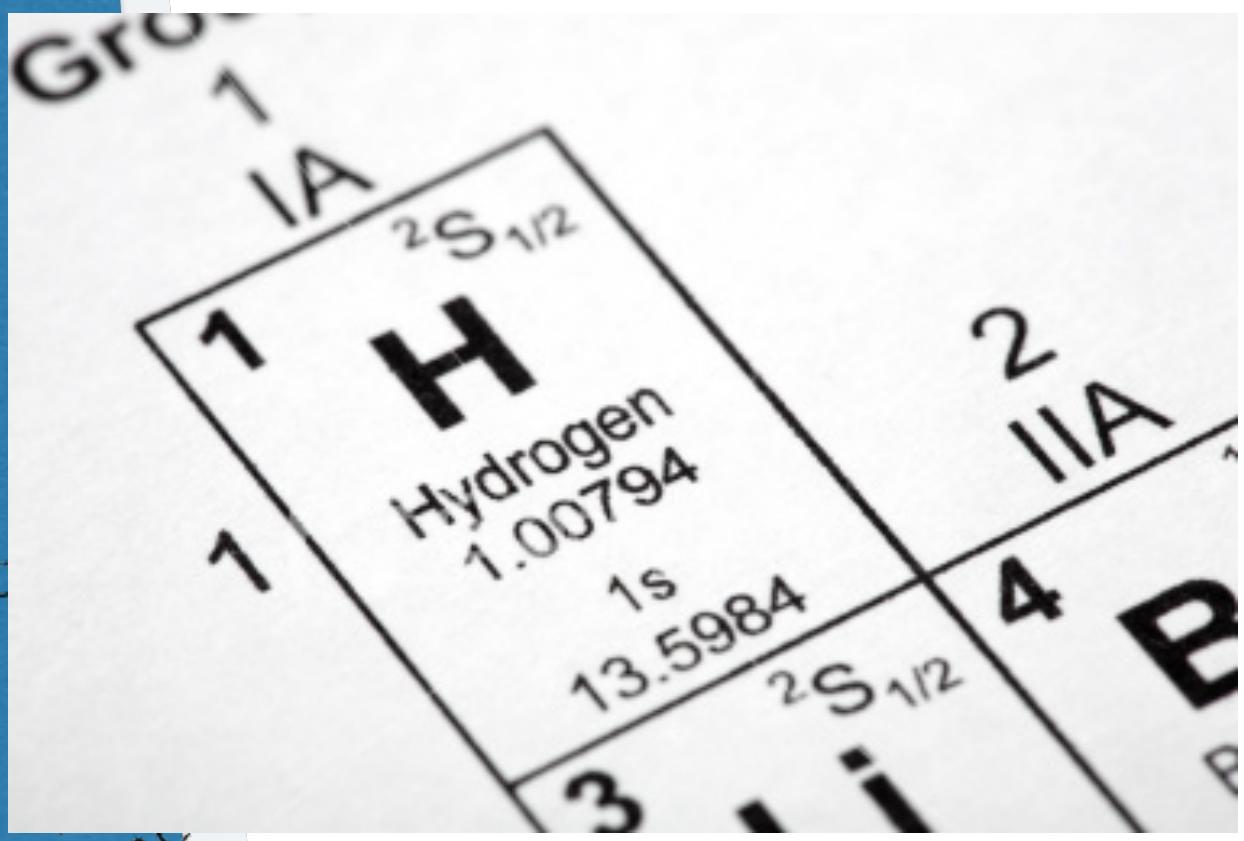
- Wissenschaft der Eigenschaften, Verteilung und Kreisläufe von Wasser auf und unter der Erdoberfläche sowie in der Atmosphäre
- Wasserkreislauf
- Wasserbilanz und Einzugsgebiet
- Hydrologie im Anthropozän

Wasser

Ein Versuch der Charakterisierung



- Tetraedrische molekulare Grundstruktur
- Dipol



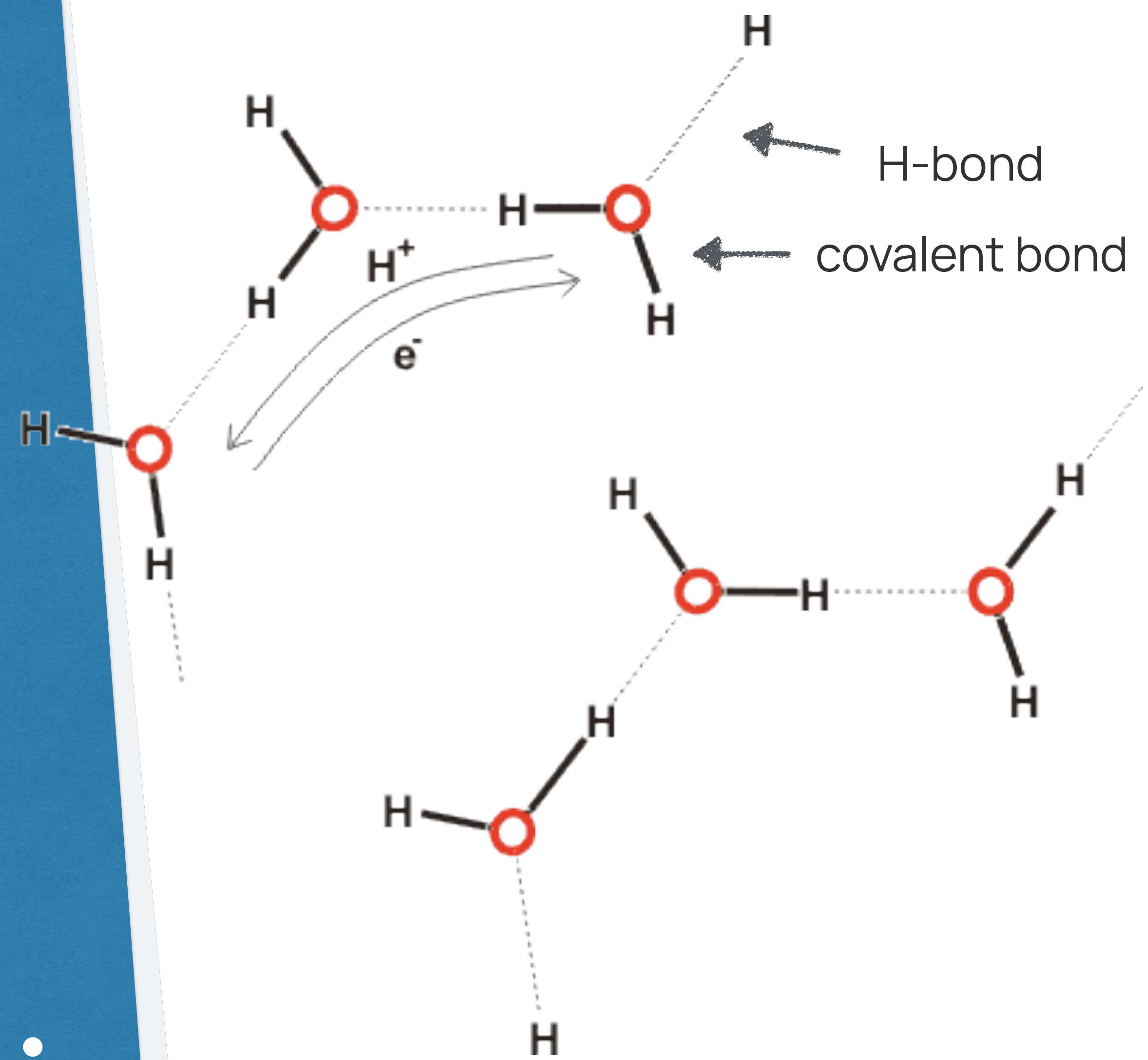
Wasser

Ein Versuch der Charakterisierung

- Tetraedrische molekulare Grundstruktur
- Dipol

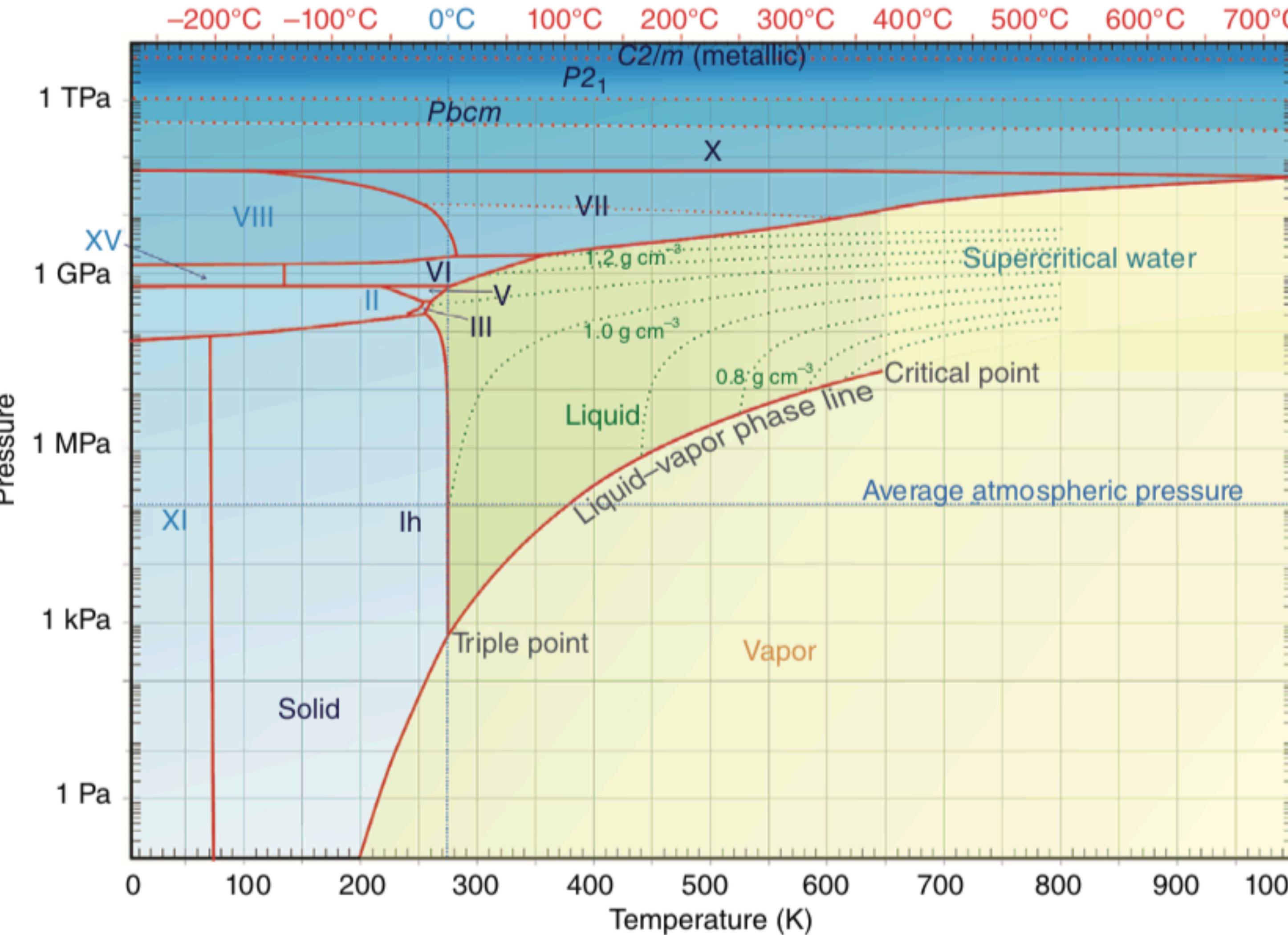
Fast soviele H-Brücken wie kovalente Bindungen

- Orientierung der H_2O Moleküle
- Anpassung der Bindungswinkel
- molekulare Ketten und komplexe Netzwerkstrukturen



Wasser

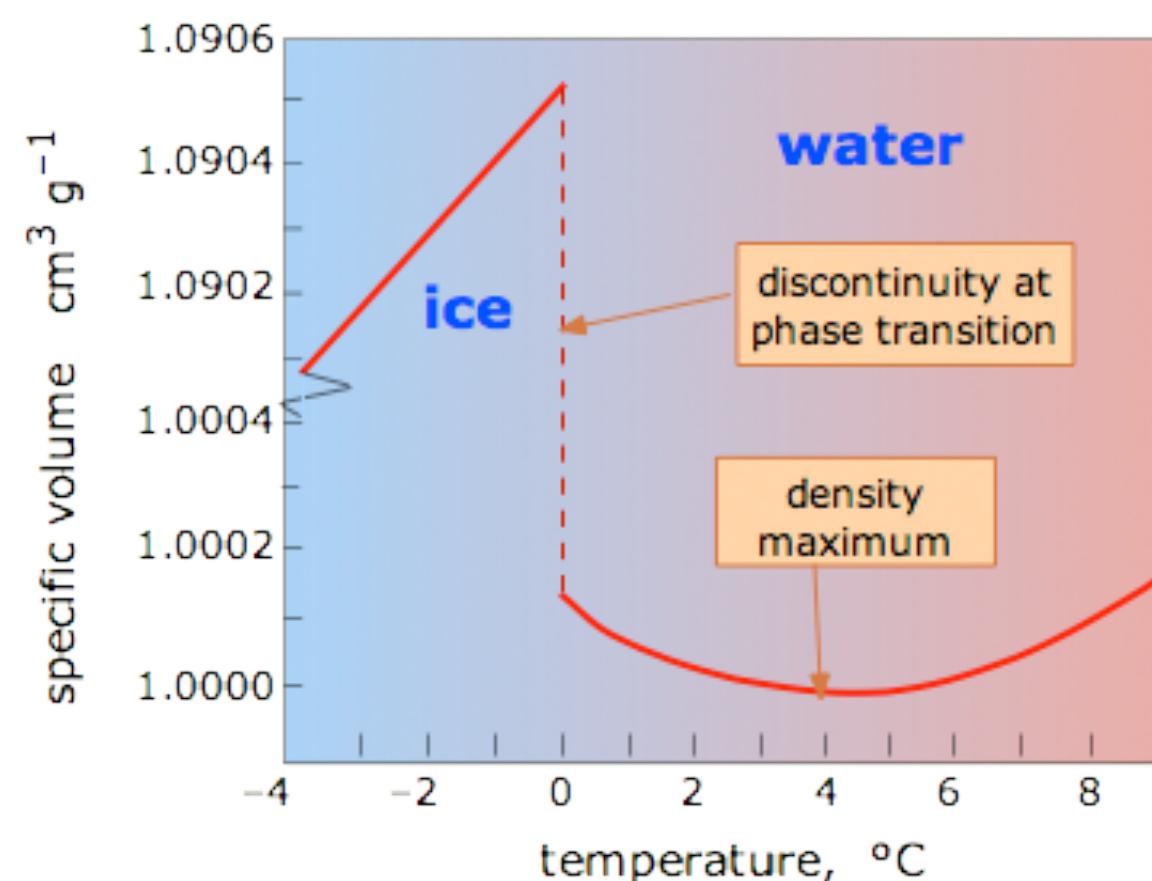
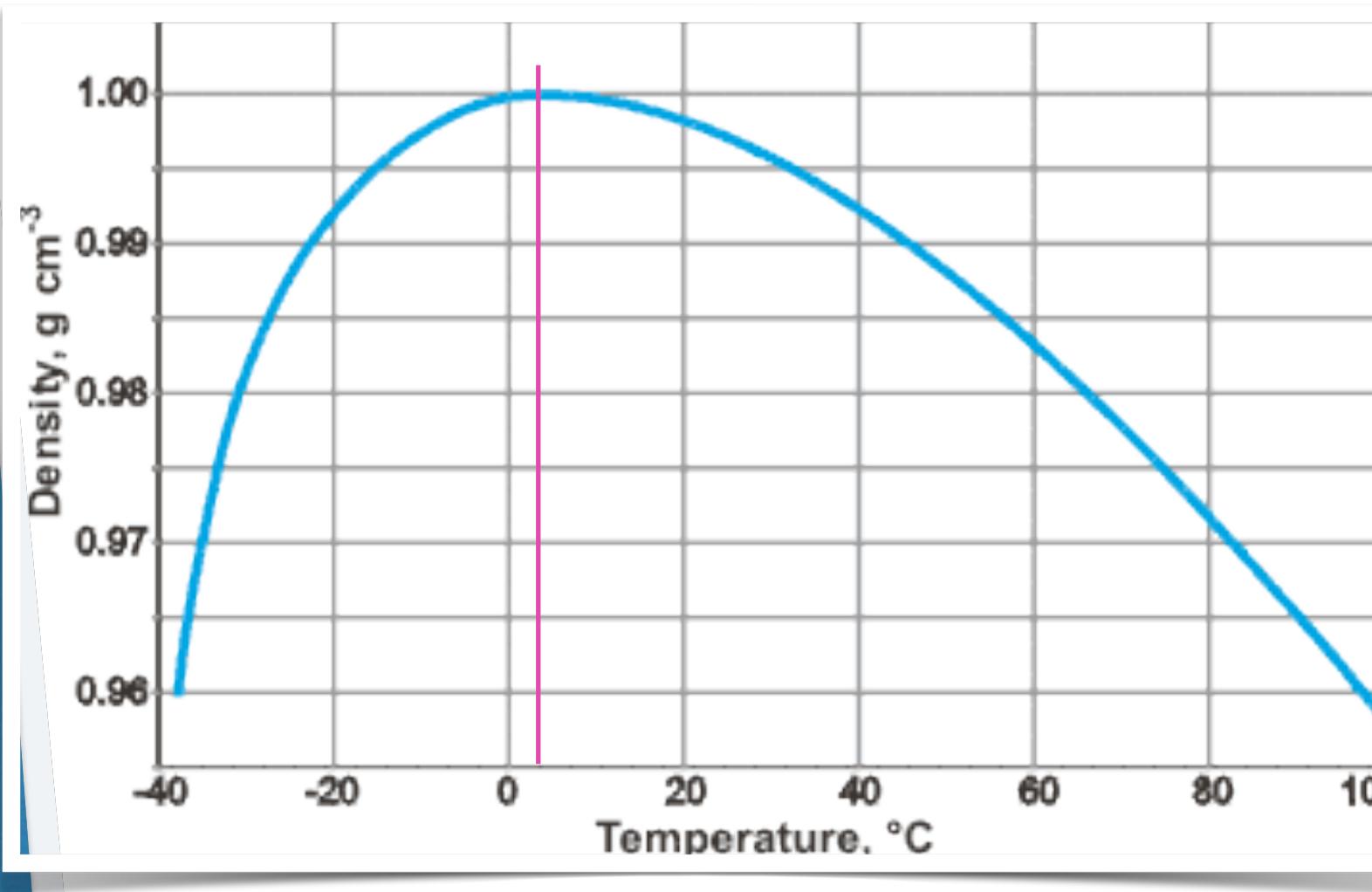
Ein Versuch der Charakterisierung



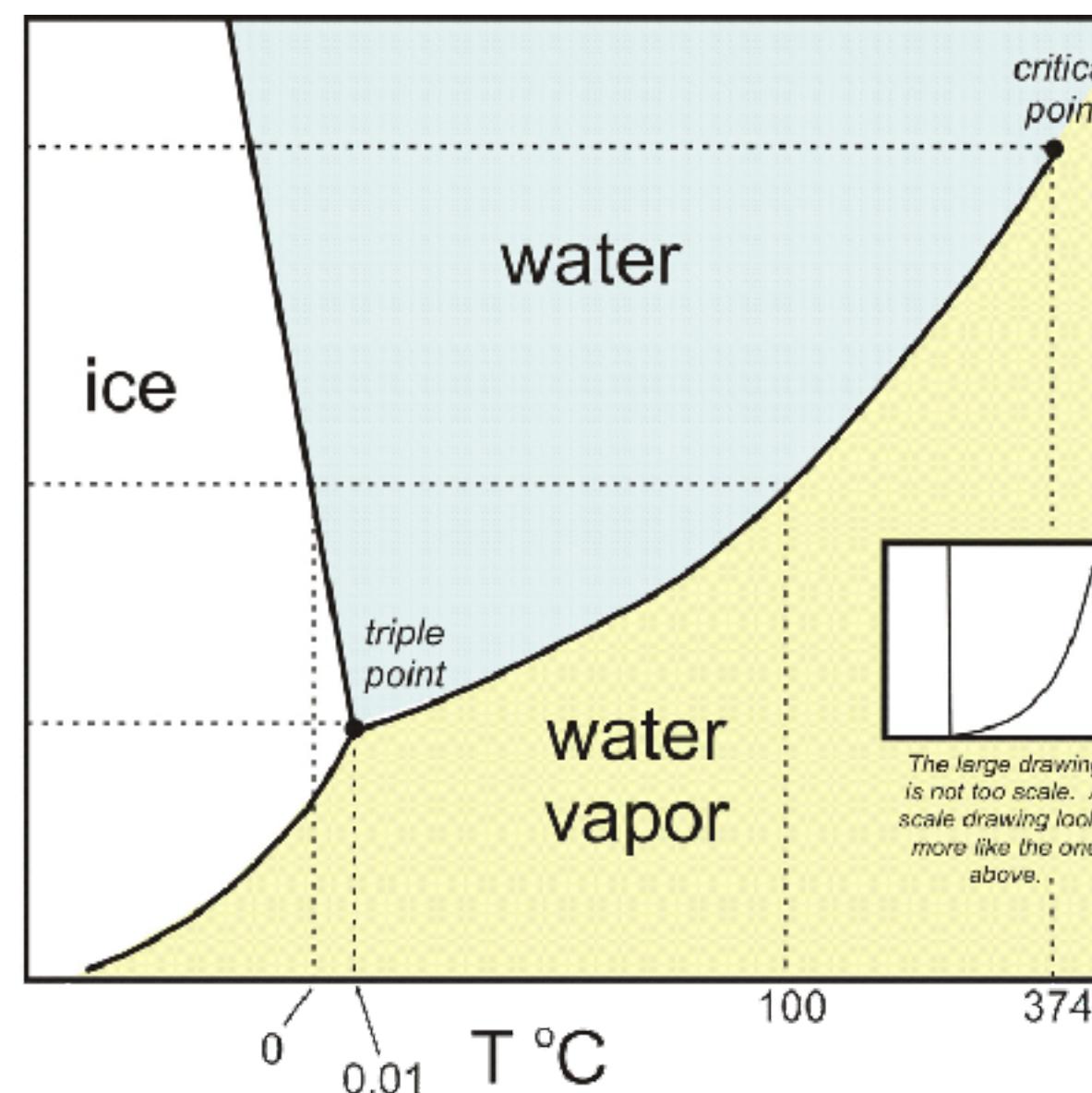
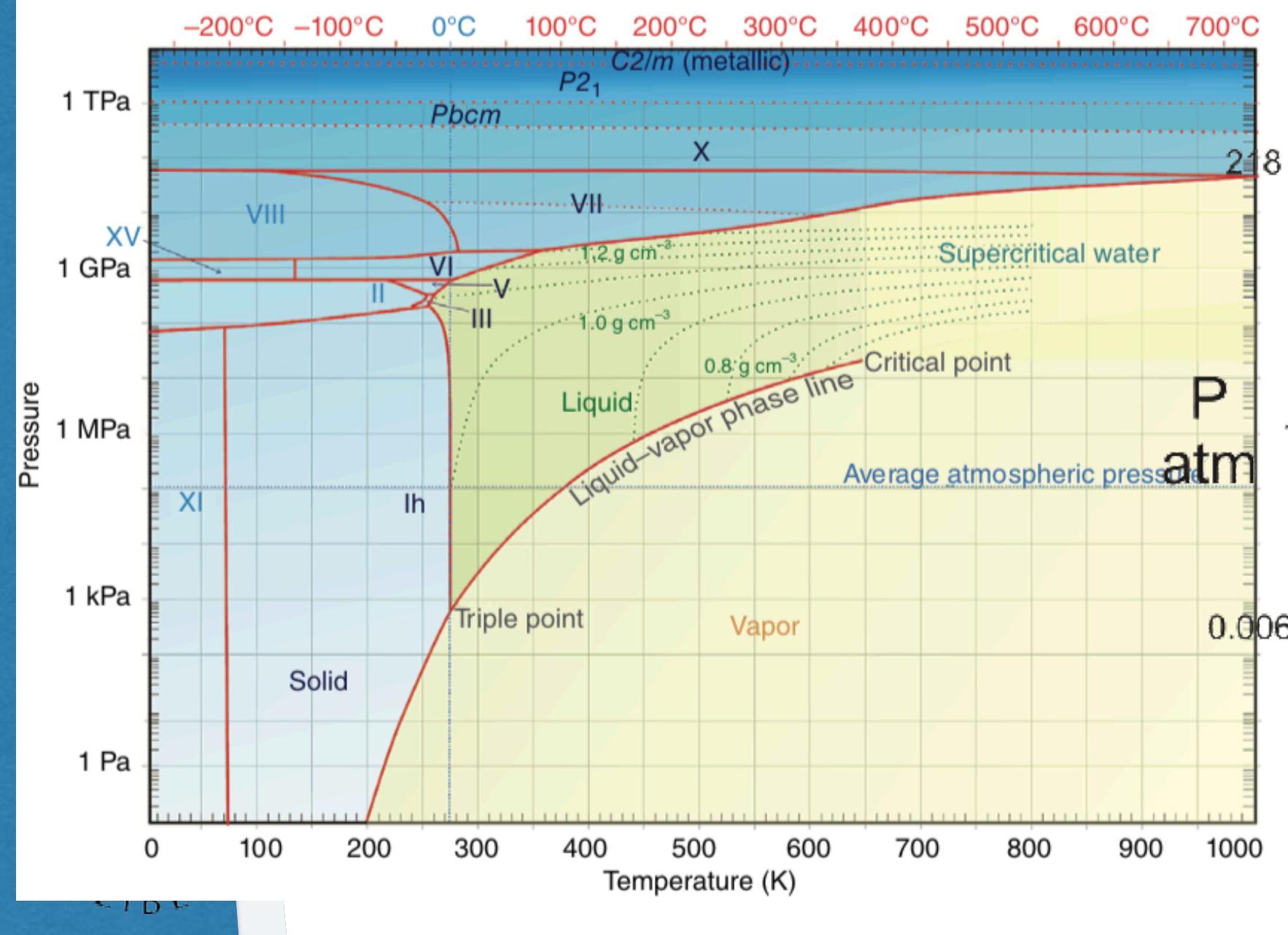
- Tetraedrische molekulare Grundstruktur
- Dipol
- kovalente & H-Bindungen
- alle 3 Aggregatzustände
- max. Dichte @ 4°C

Wasser

Versuch der Charakterisierung



- Tetraedrische molekulare Grundstruktur
- Dipol
- kovalente & H-Bindungen



- alle 3 Aggregatzustände
- max. Dichte @ 4°C
- Eis schmilzt mit Erhöhung des Druckes

Wasser

Ein Versuch der Charakterisierung



- adhesiv
- cohesiv
- Tetraedrische molekulare Grundstruktur
- Dipol
- kovalente & H-Bindungen
- alle 3 Aggregatzustände
- max. Dichte @ 4°C

Wasser

Ein Versuch der Charakterisierung

- adhesiv
- cohesiv
- kapillar
- :

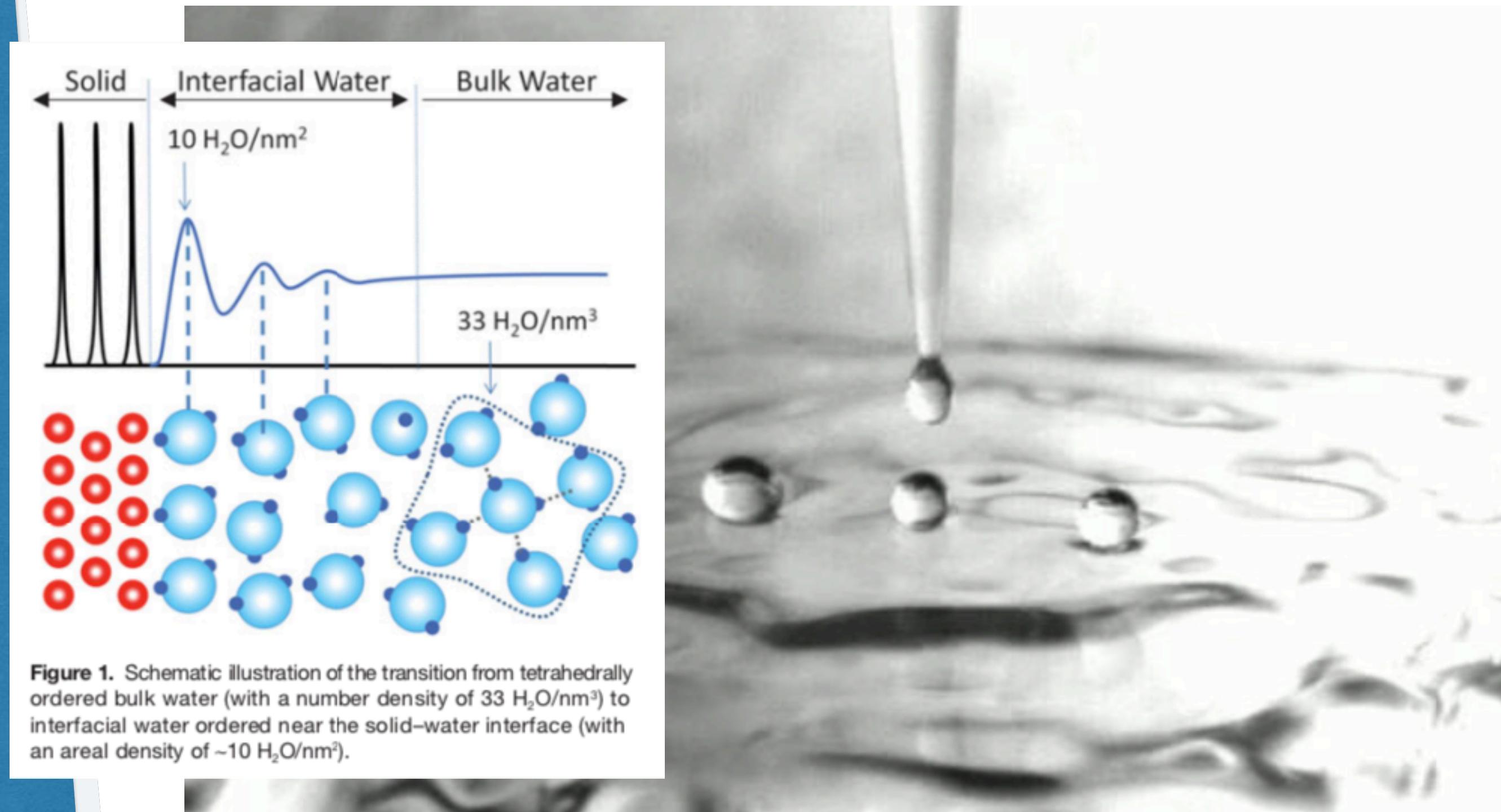


- Tetraedrische molekulare Grundstruktur
- Dipol
- kovalente & H-Bindungen
- alle 3 Aggregatzustände
- max. Dichte @ 4°C
- Eis schmilzt mit Erhöhung des Druckes

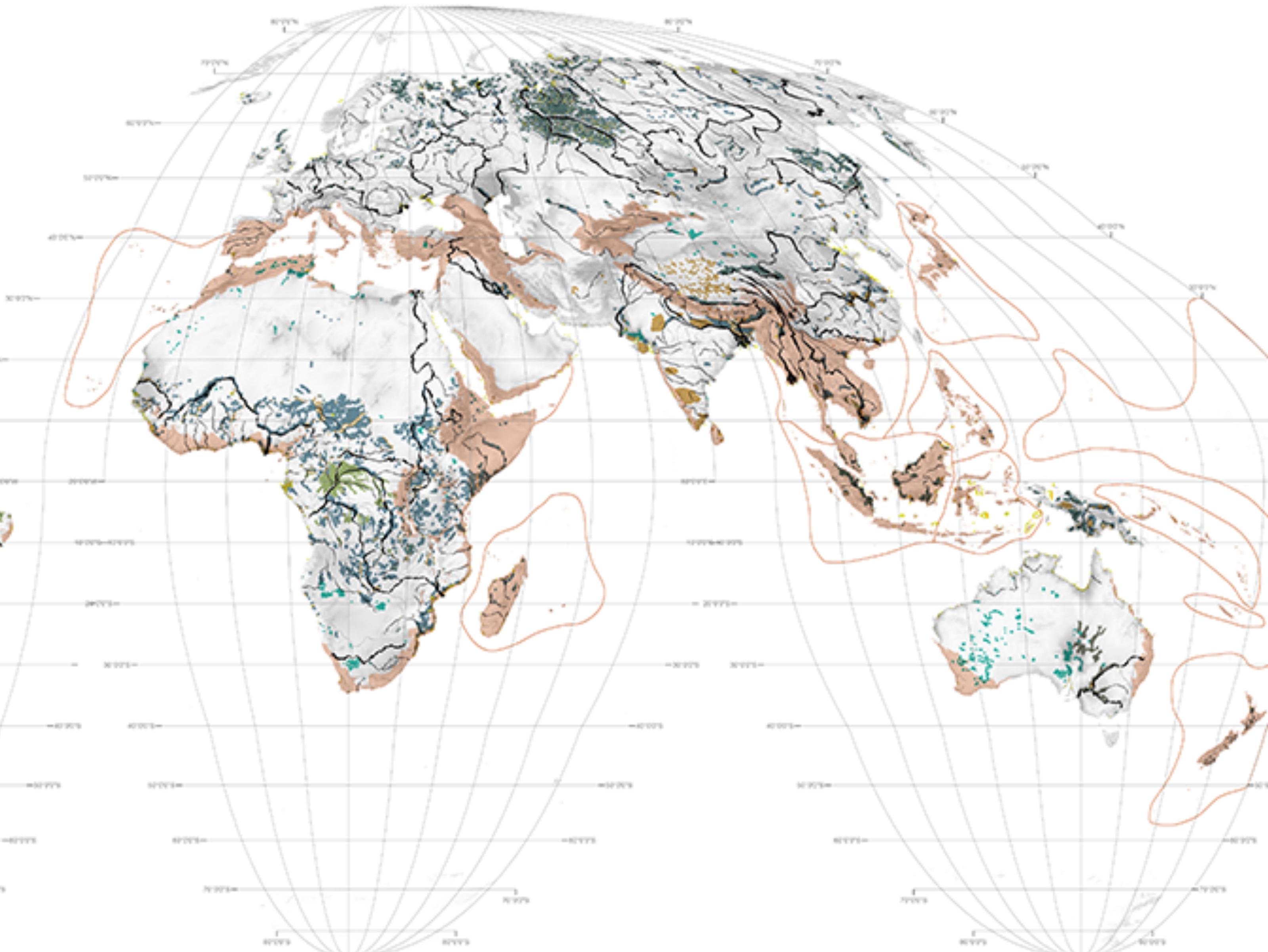
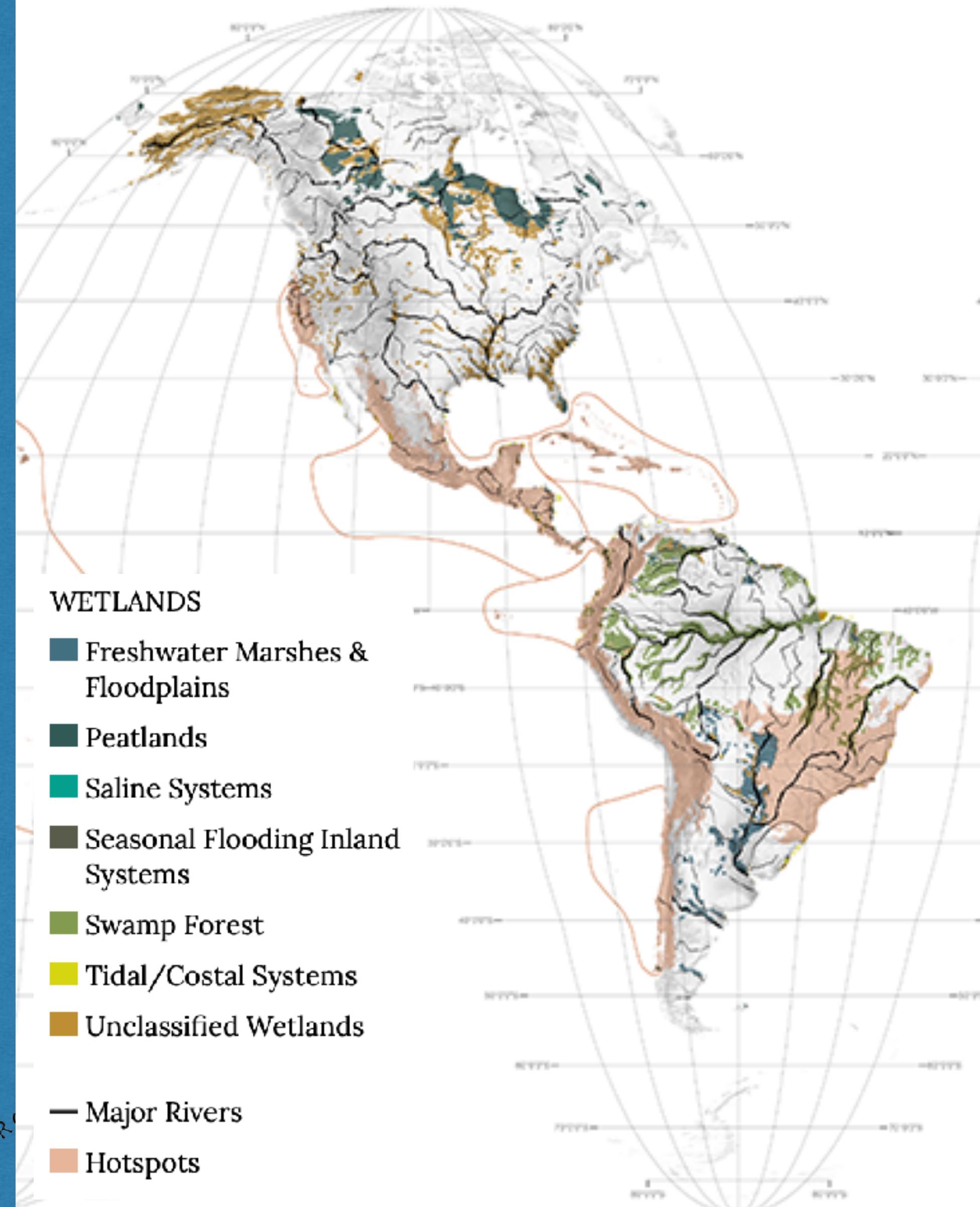
Wasser

Ein Versuch der Charakterisierung

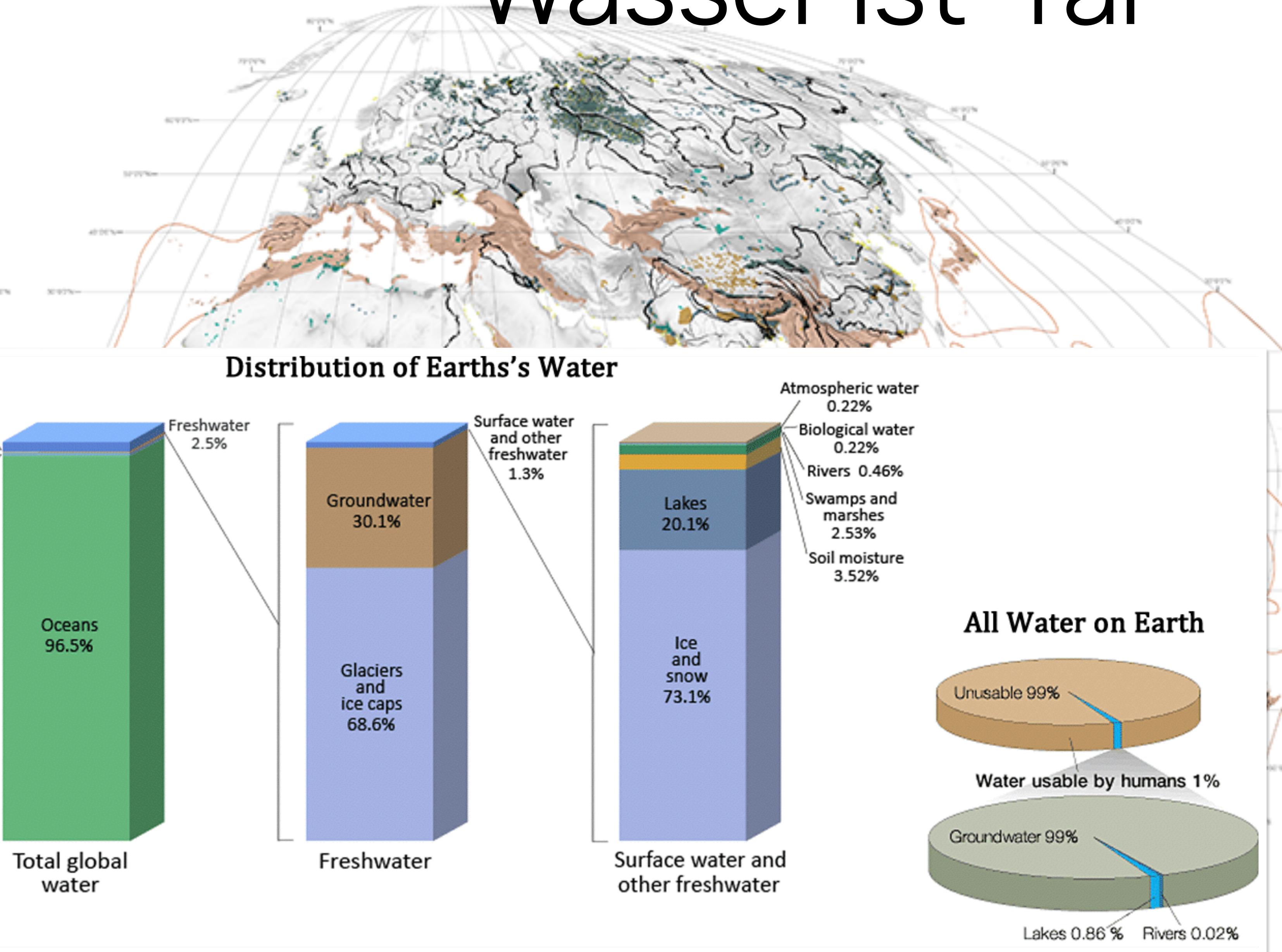
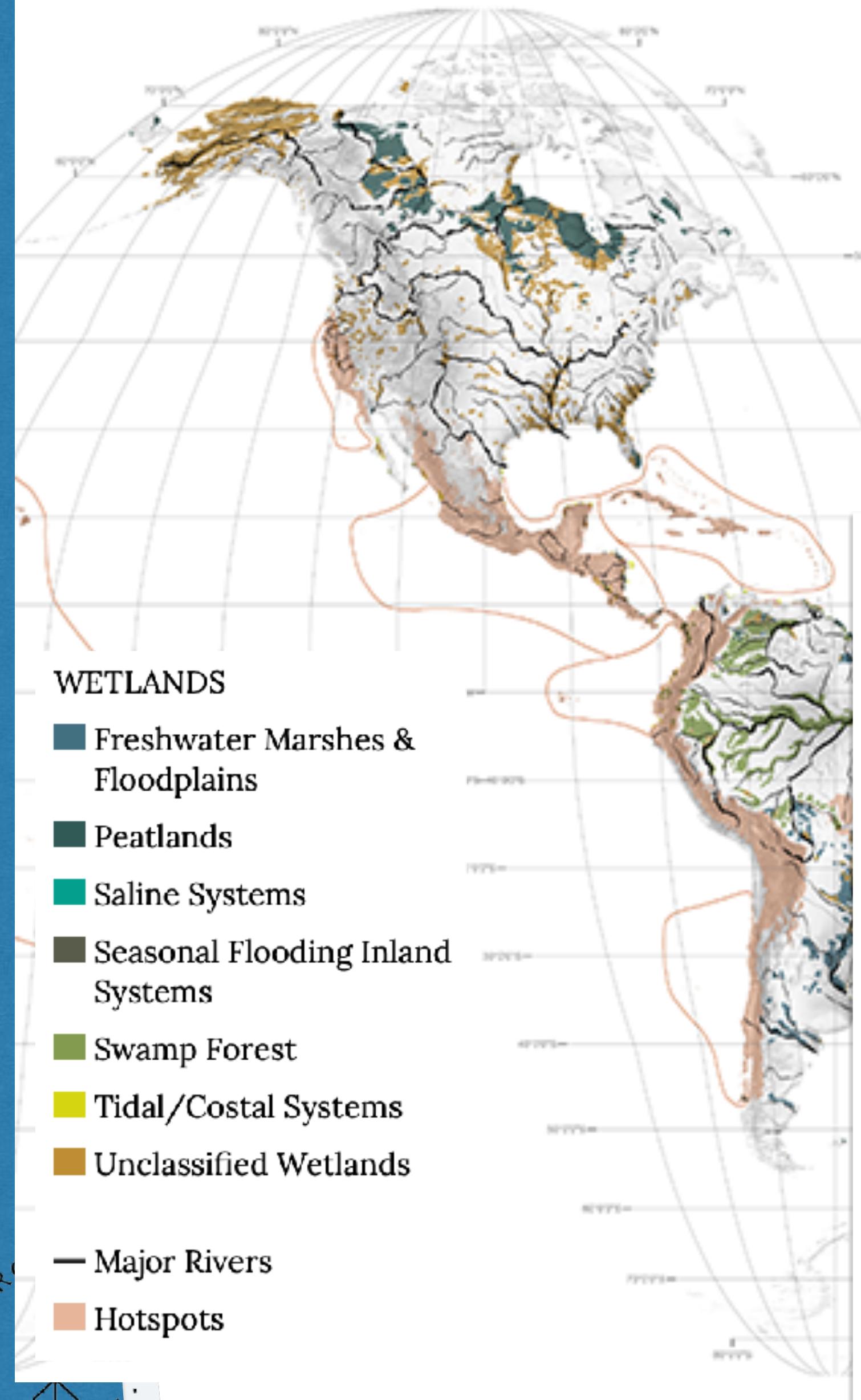
- Tetraedrische molekulare Grundstruktur
- Dipol
- kovalente & H-Bindungen



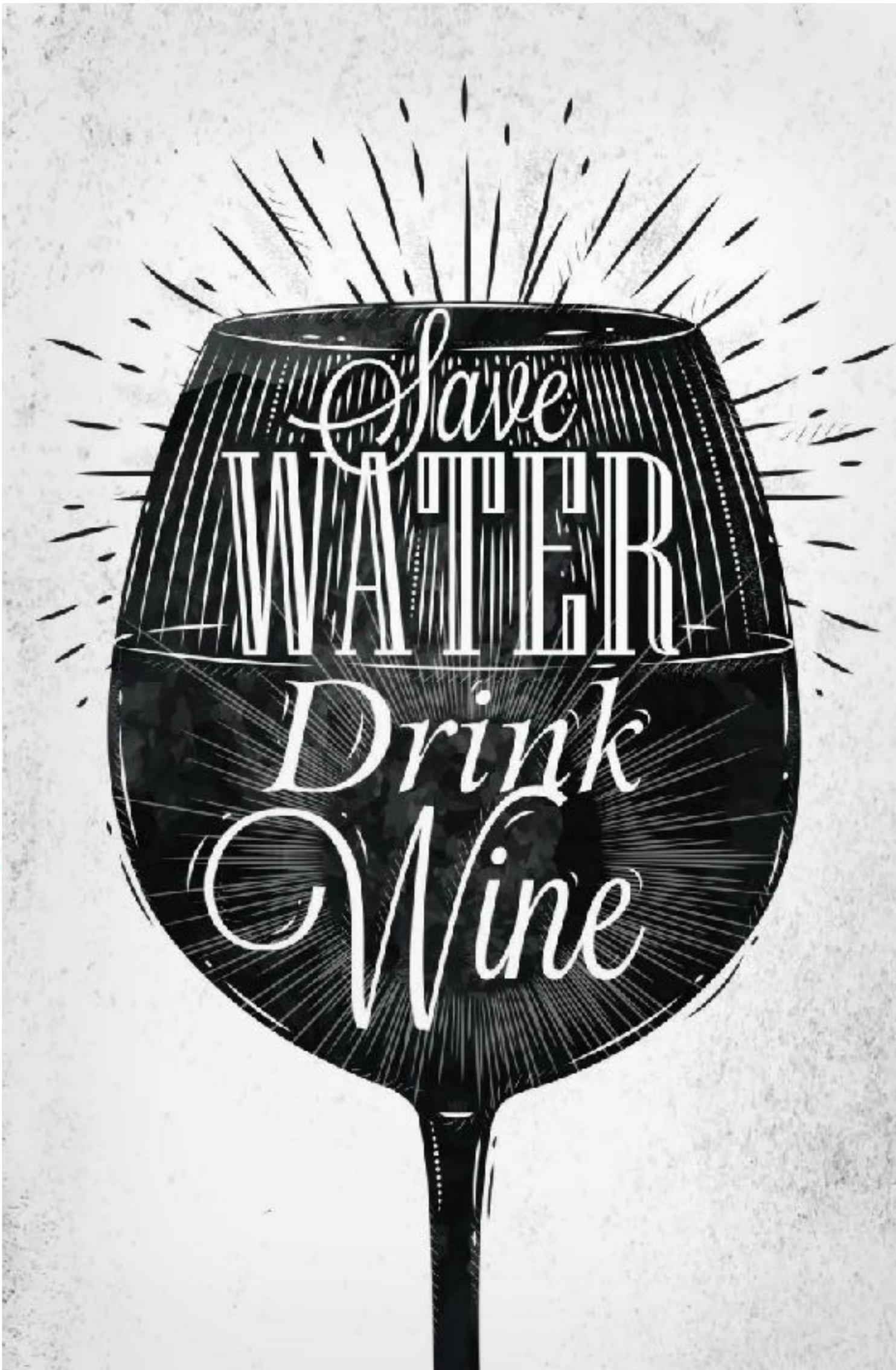
- universelles Lösungsmittel
- Wasser an Grenzschicht \neq allgem. Wasser
- adhesiv
- kohesiv
- kapillar
- Oberflächen- spannung
- alle 3 Aggregatzustände
- max. Dichte @ 4°C
- Eis schmilzt mit Erhöhung des Druckes



Wasser ist “rar”



Deshalb also?



Deshalb also?



720

*litres of water for
one bottle (750 ml) of
Wine*

Most of the water behind the wine is
for producing the grapes.
The water needed to produce and
recycle the bottle is not included.



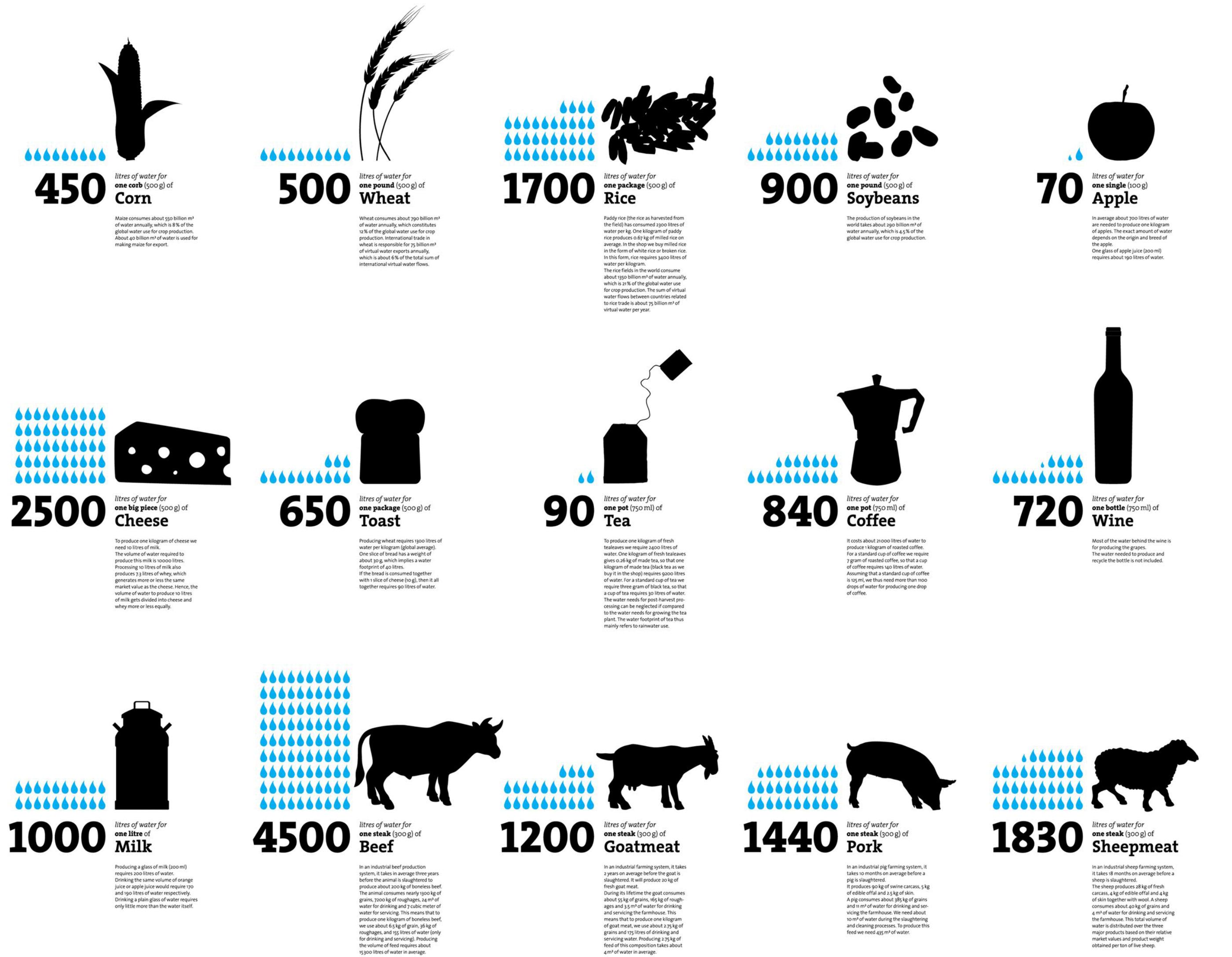
150

*litres of water for
one bottle (500 ml) of
Beer*

Most of the water behind the beer is for
producing the barley.
The water needed to produce and
recycle the bottle is not included.

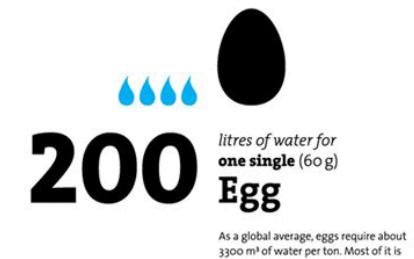
Virtual Water

Wasserverbrauch greifbar machen, aber...



Liter Wasser zur Erzeugung

- entlang gesamter Produktionskette
- äquiv. zu CO₂-Fußabdruck
- von Erzeugung/Region abhängig
- unscharf für Wasser-Probleme
- daher wenig Beitrag zur Lösung



200 litres of water for one single (60 g) Egg

As a global average, eggs require about 3300 m³ of water per ton. Most of it is required for feeding the chickens.

In an industrial chicken farming system, it takes 18 months on average before the chicken is slaughtered. It will produce 2 kg of meat and 10 kg of waste. A chicken consumes about 3 kg of grains and 30 litres of water for drinking and servicing the farmhouse. This means that to produce one kilogram of chicken meat, we use about 2 kg of grains and 20 litres of water. In average, producing two kilograms of feed of this composition takes about 3.9 m³ of water in average.

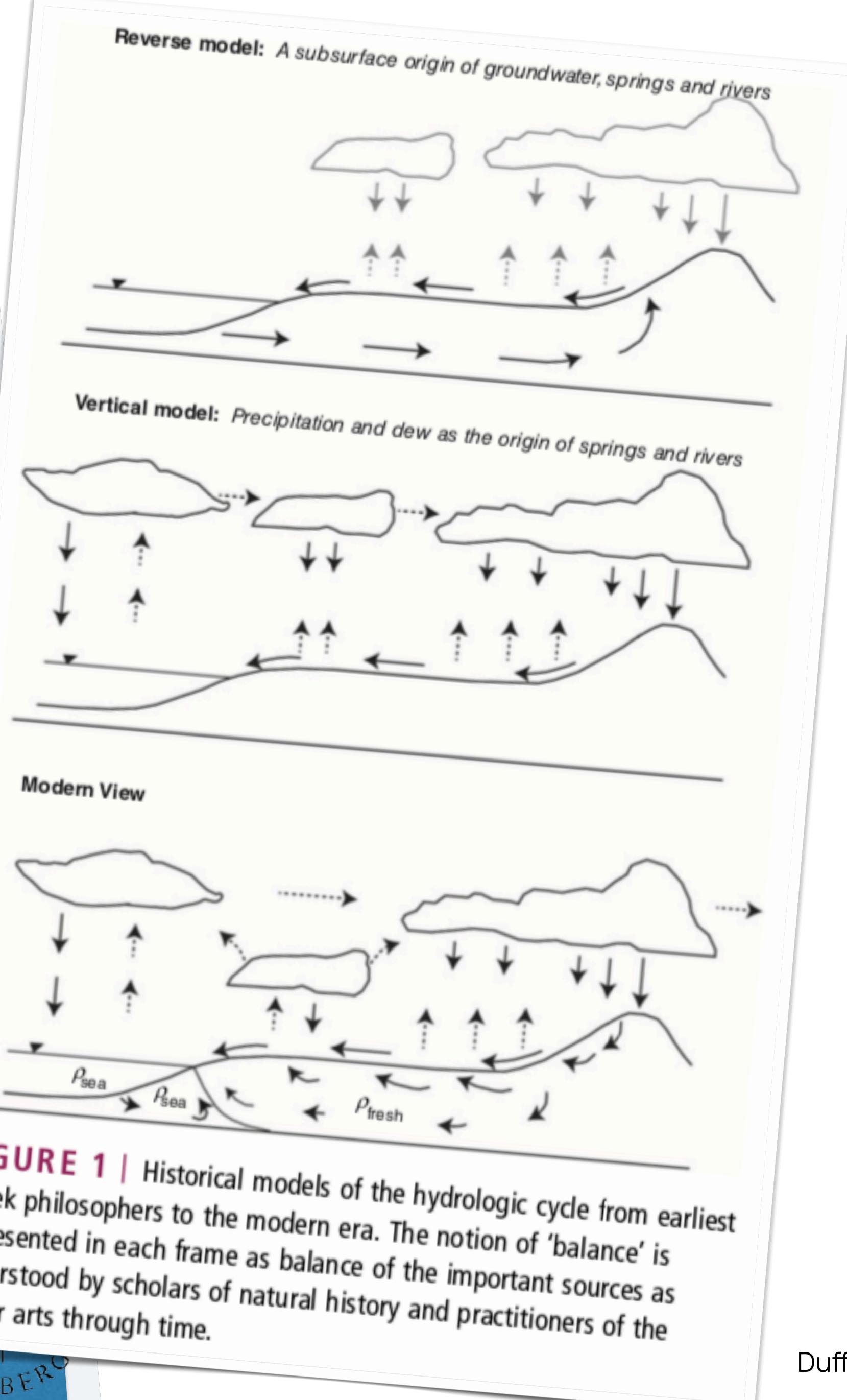
Wasser-Fußabdruck

Wasserverbrauch greifbar machen, aber...

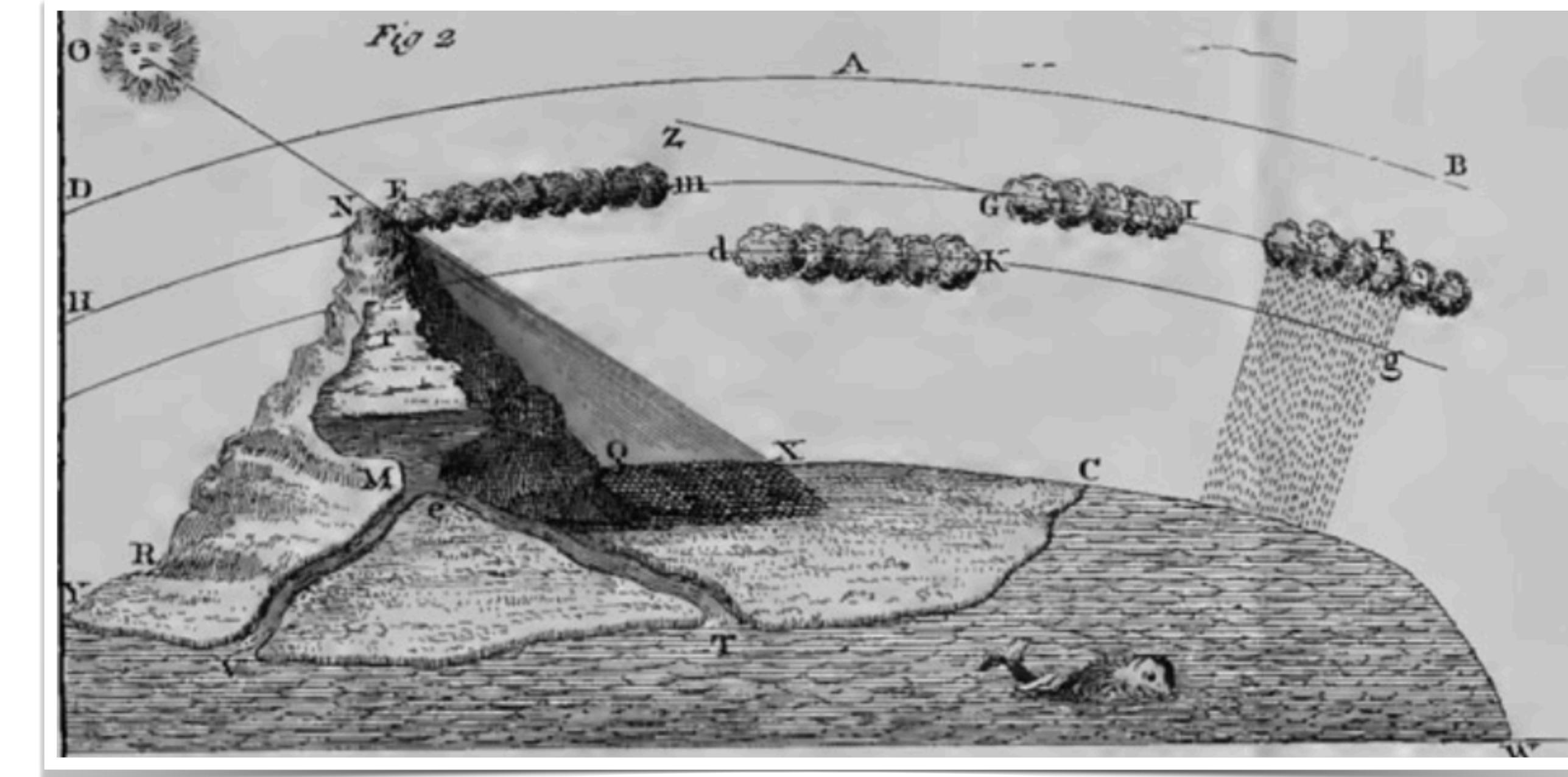
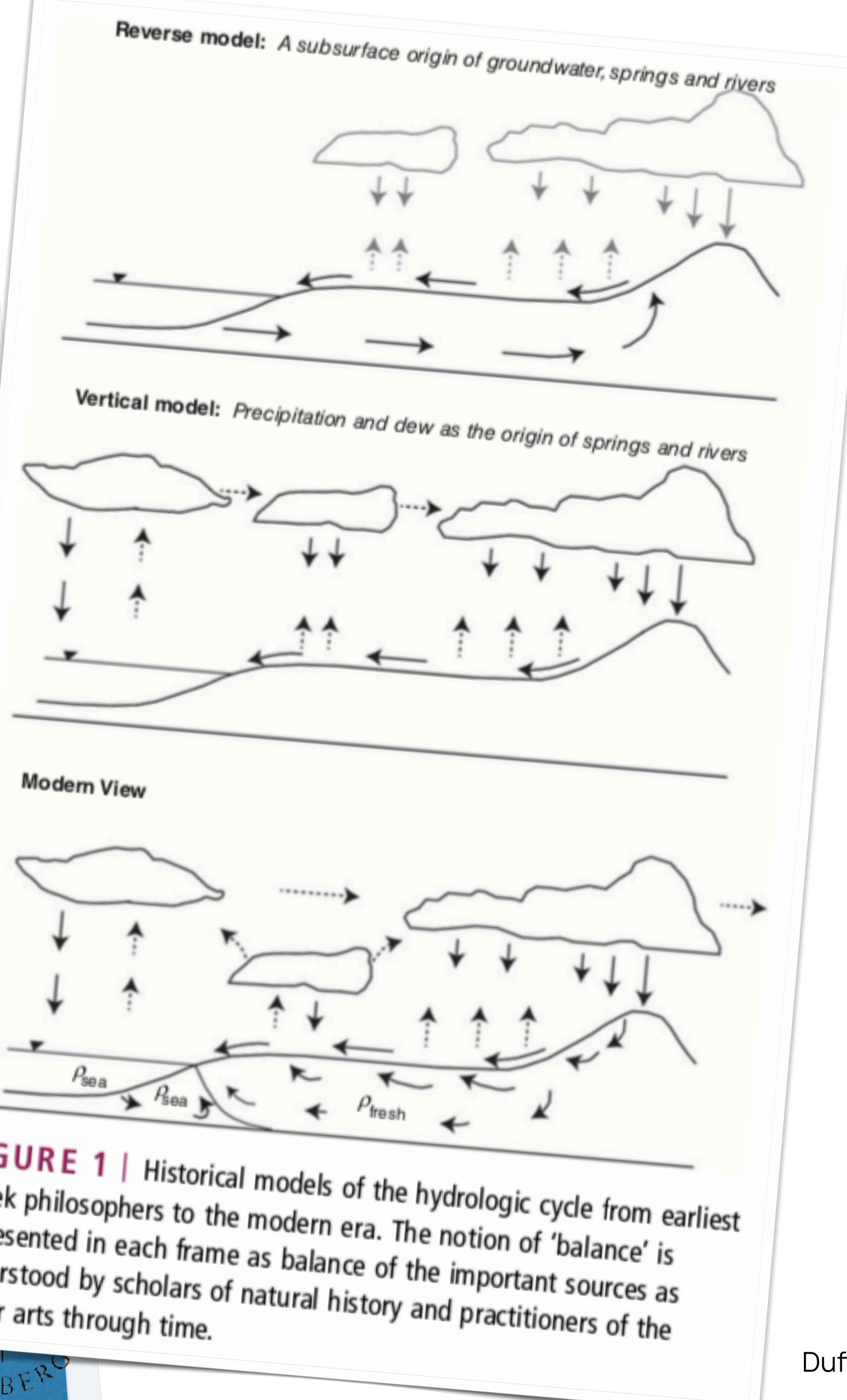
Grüner Fußabdruck <ul style="list-style-type: none">▶ Bodenfeuchte durch Niederschlag		
Blauer Wasser-Fußabdruck <ul style="list-style-type: none">▶ Oberflächenwasser▶ Grundwasser		
Grauer Fußabdruck <ul style="list-style-type: none">▶ gedachte Neutralisierung von Verschmutzungen		

grün/blau/grau
▪ Versuch einer Präzisierung
▪ die Probleme als Index
bleiben

Der Wasserkreislauf



Der Wasserkreislauf



Der Wasserkreislauf

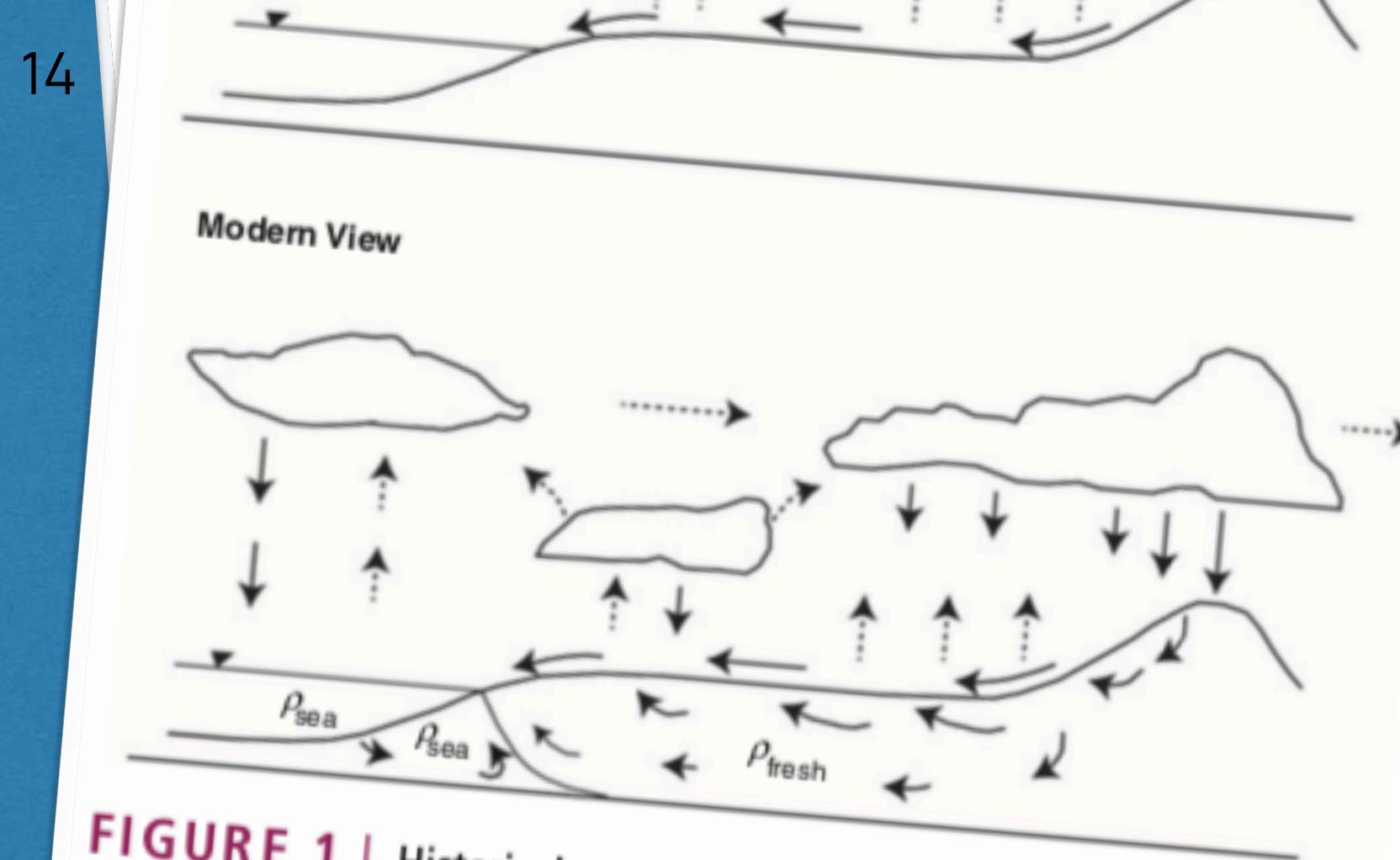
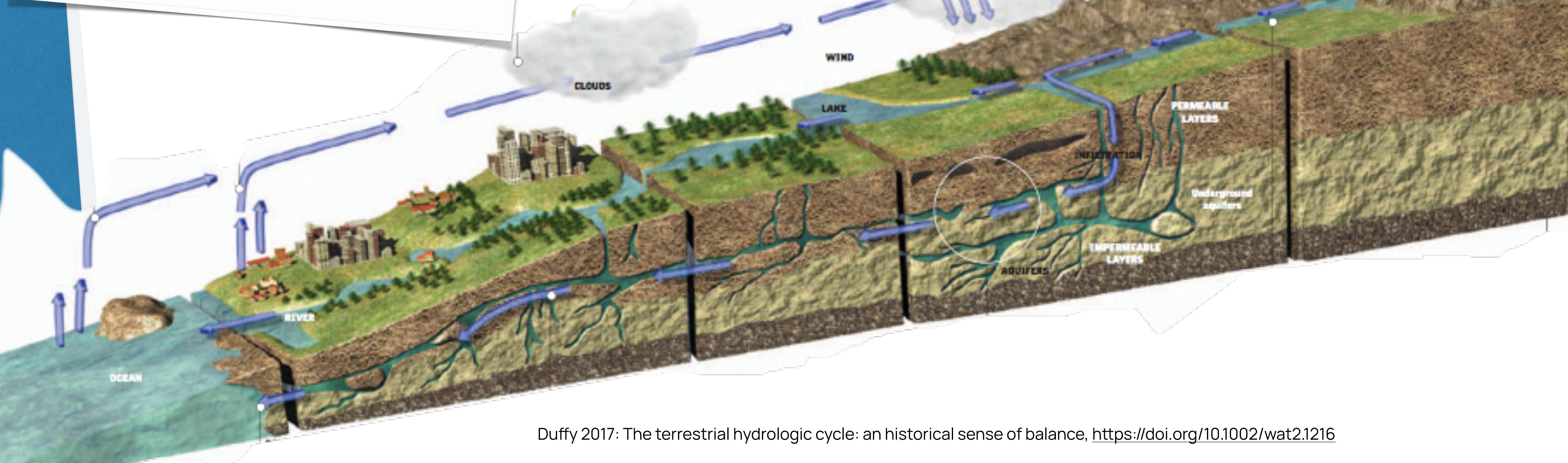
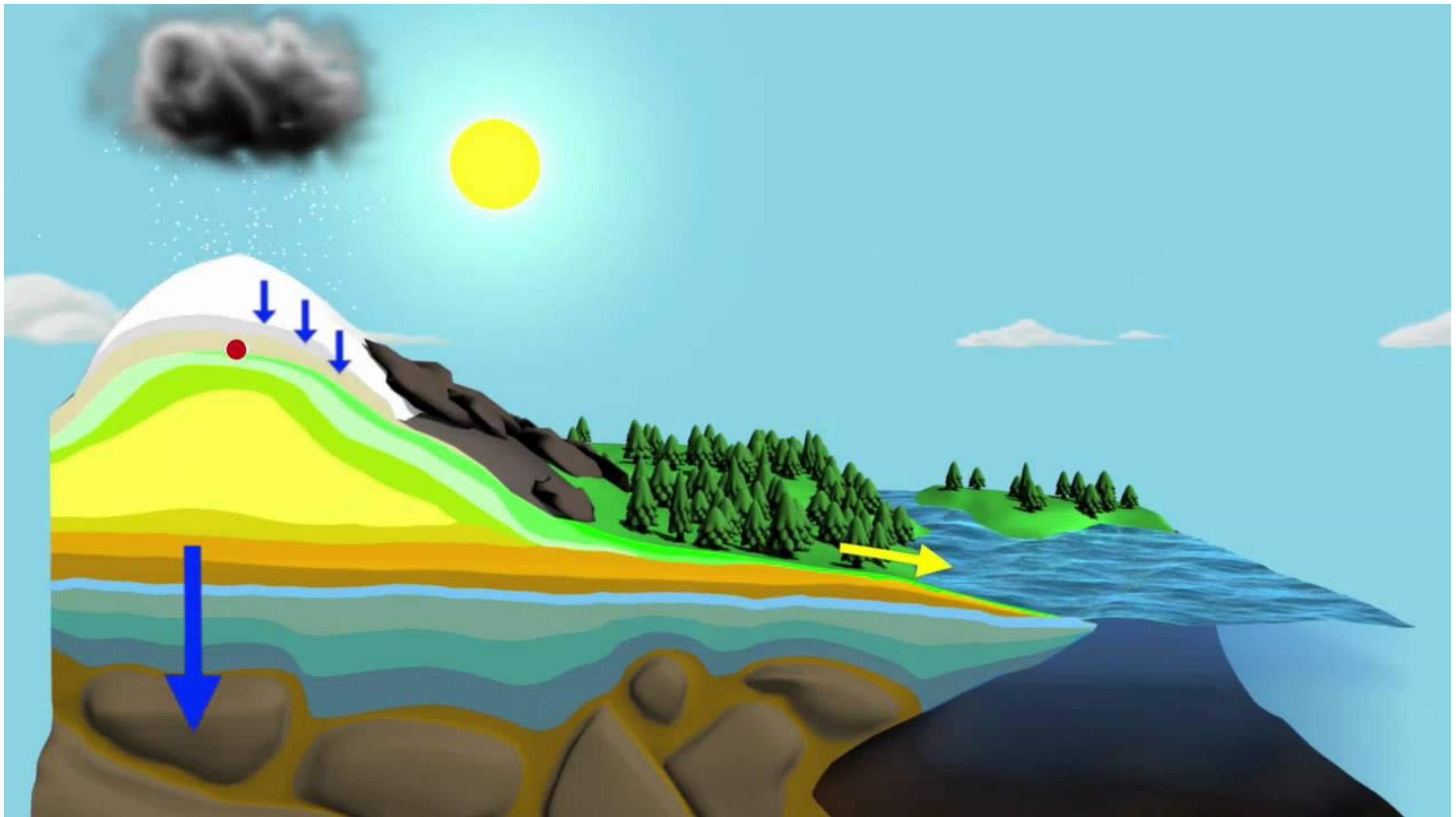


FIGURE 1 | Historical models of the hydrologic cycle from earliest Greek philosophers to the modern era. The notion of 'balance' is represented in each frame as balance of the important sources as understood by scholars of natural history and practitioners of the water arts through time.



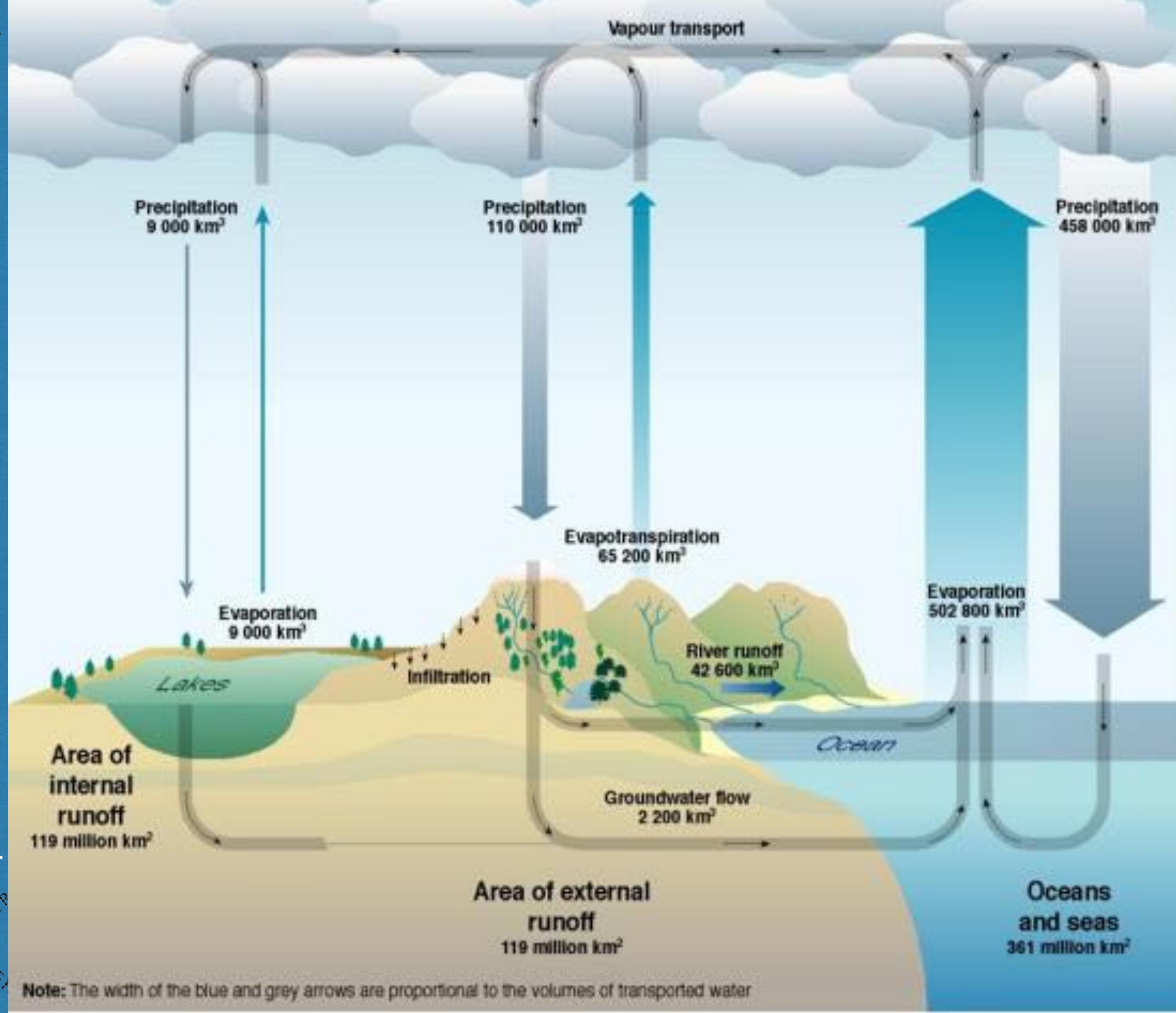
Der Wasserkreislauf

(als einfaches, natürliches System)



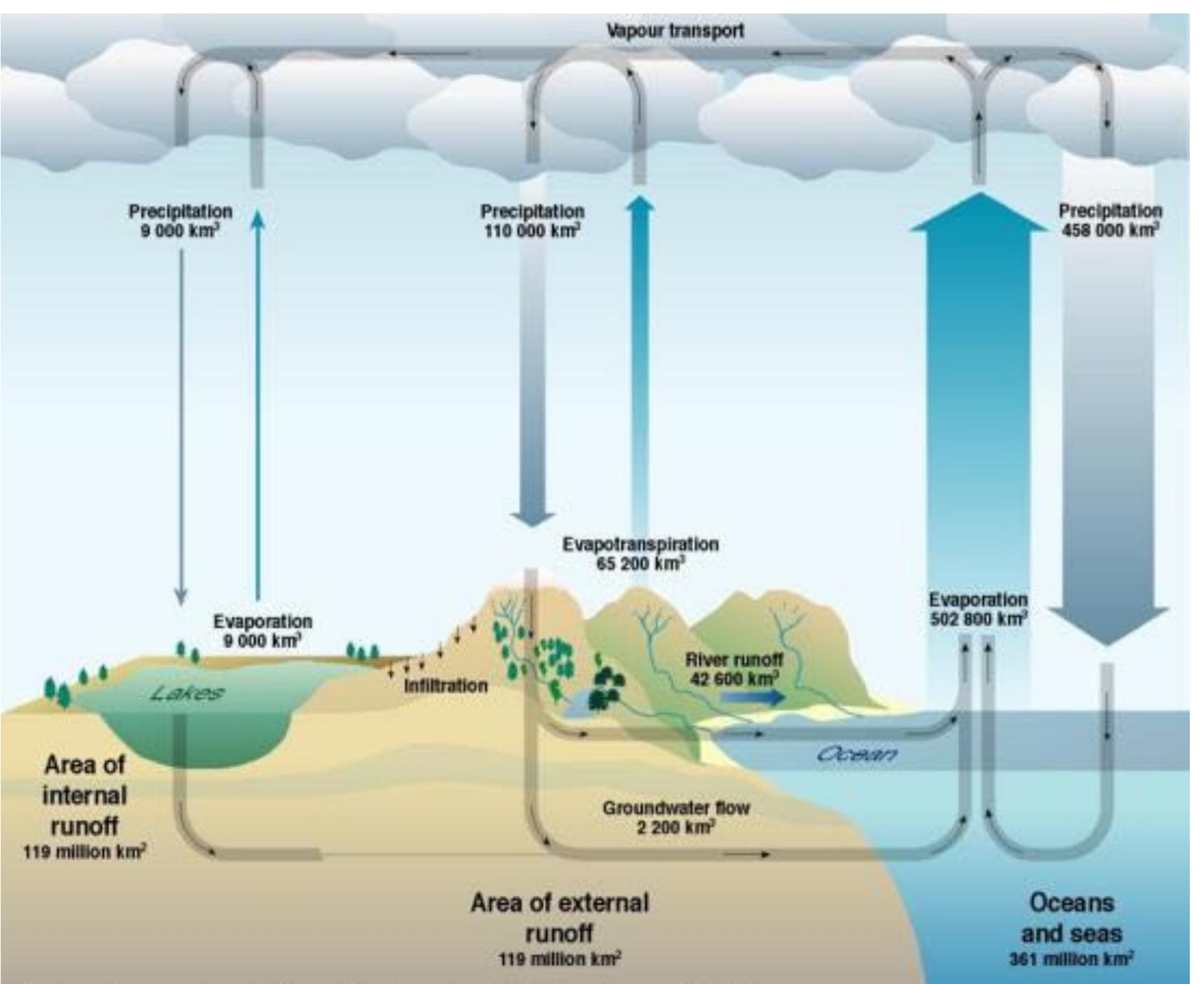
Globaler Wasser- kreislauf

geschätzte Flüsse

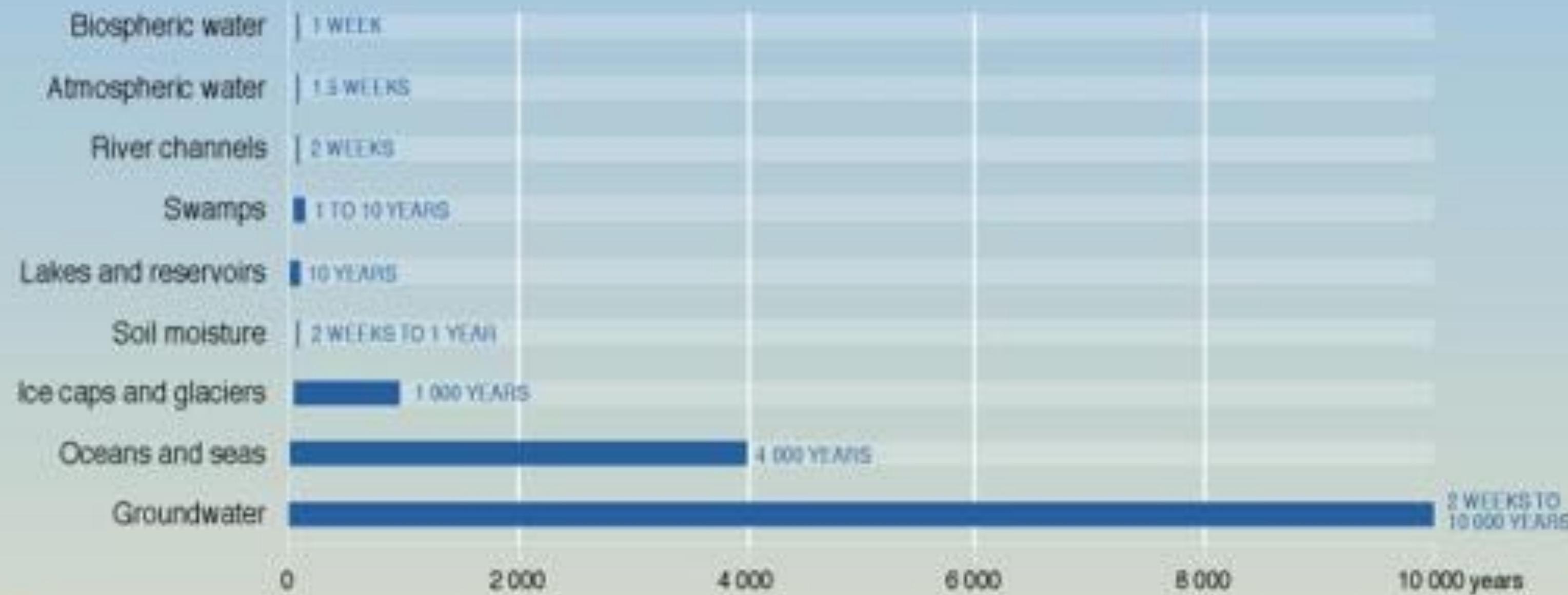


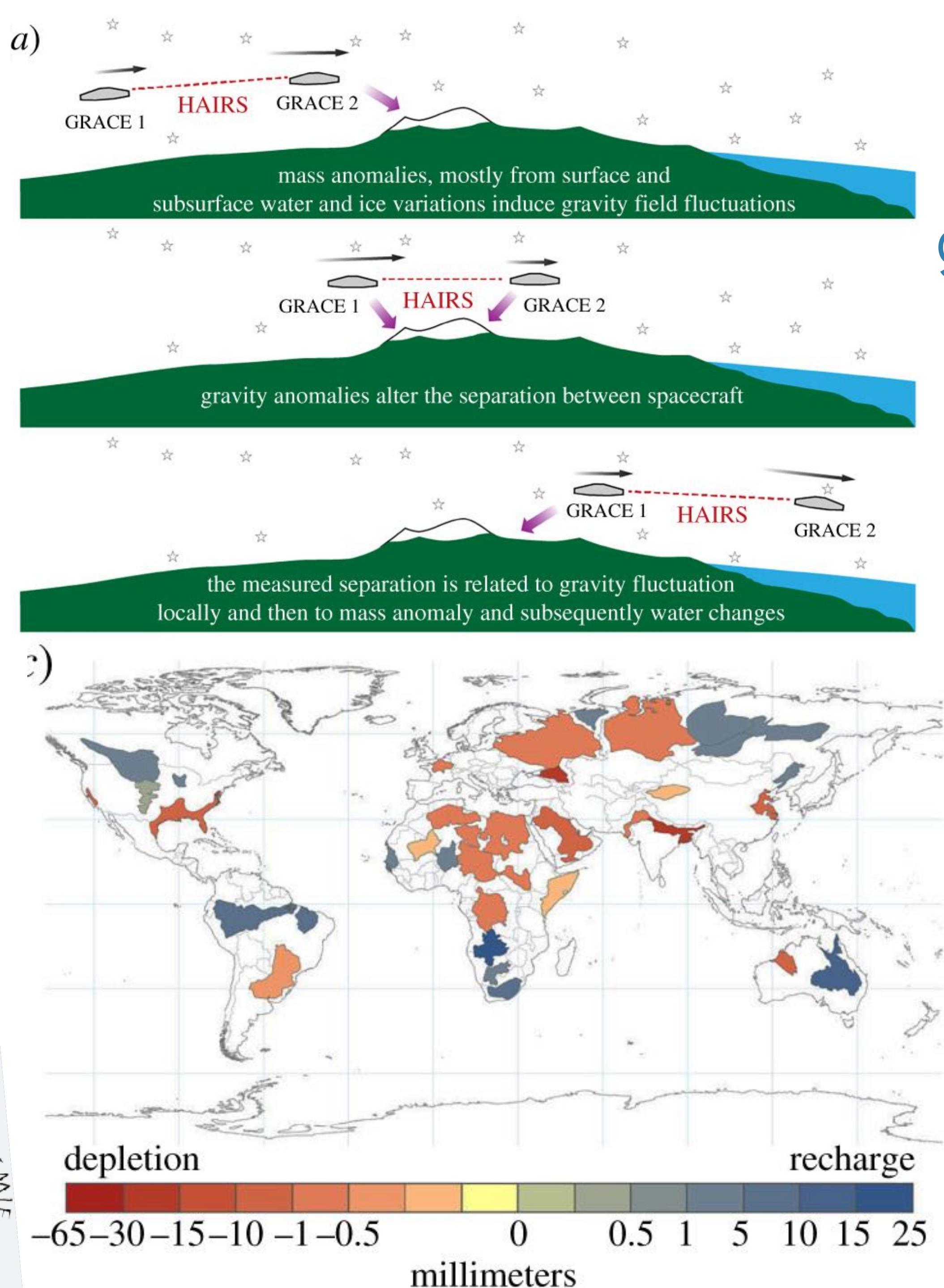
Globaler Wasser- kreislauf

geschätzte
Verweilzeiten



Estimated Residence Times of the World's Water Resources





Wasserkreislauf

genauere Schätzung unter Klimawandel

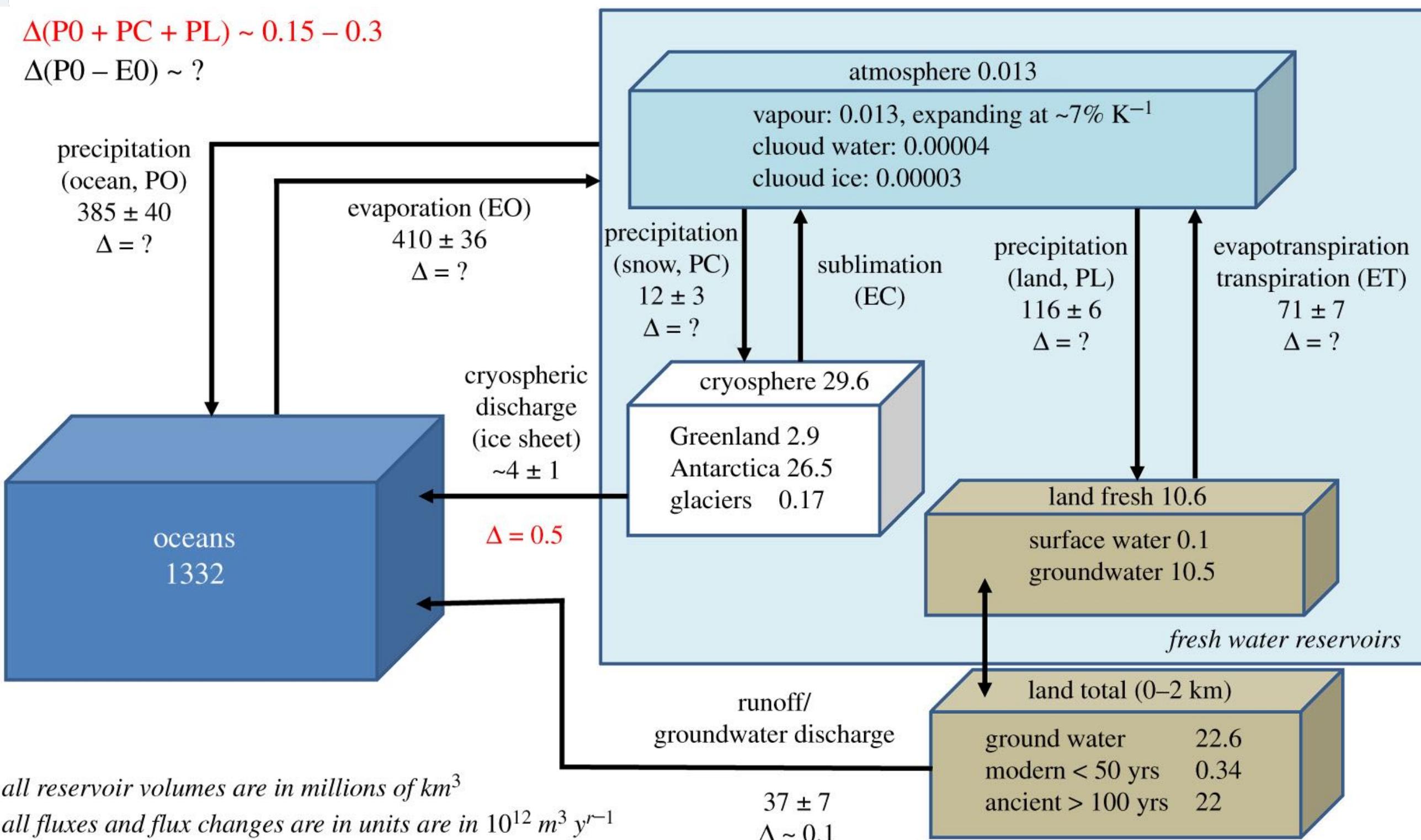
Untersuchung von

- Grace Satelliten Daten
- globalen Stationsdaten
- nur wenige Gebiete haben derzeit eine positive Wasserbilanz

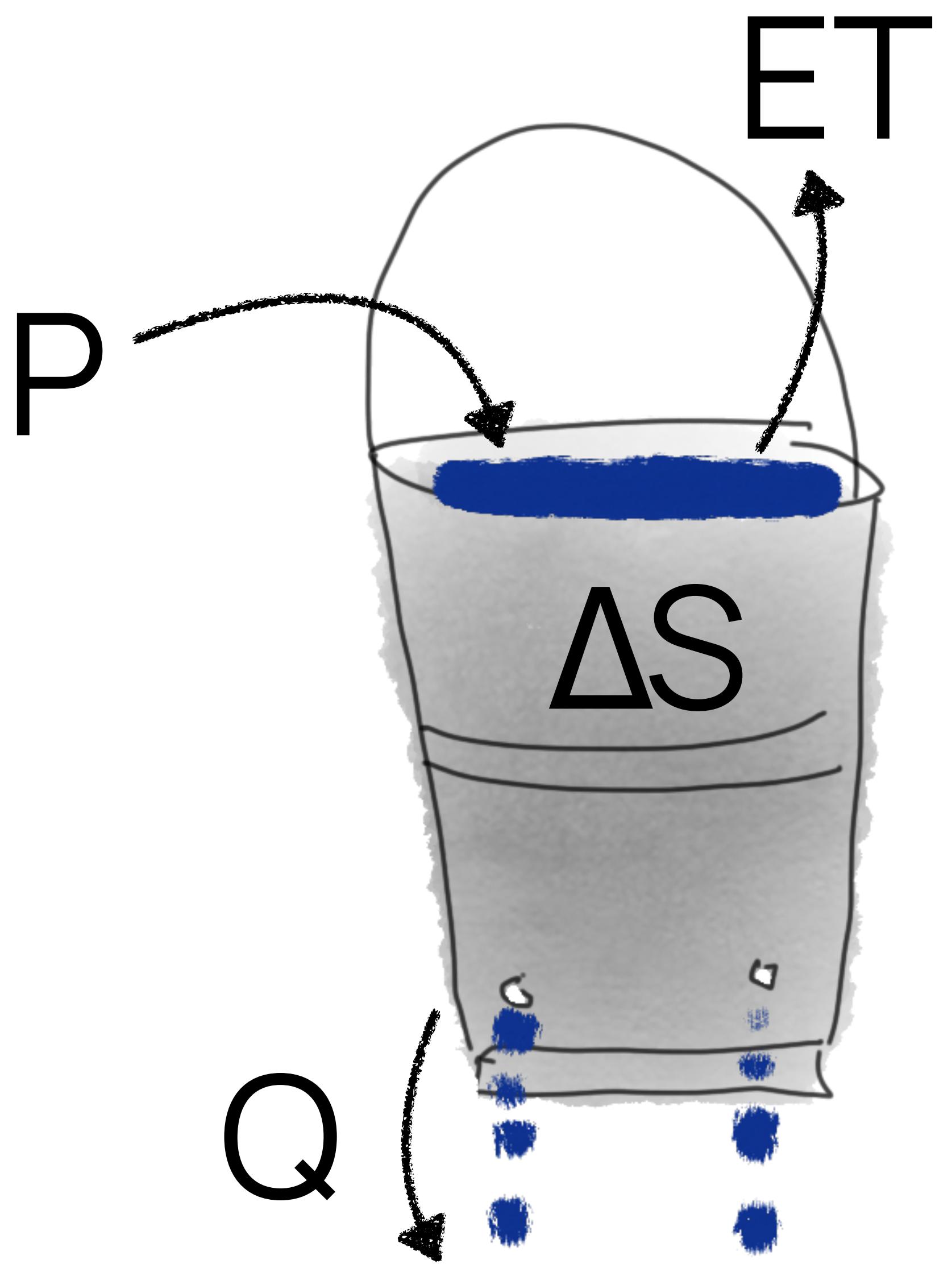
Rolle der einzelnen Elemente im Wasserkreislauf hervorgehoben

globaler Wasserkreislauf

genauere Schätzung unter Klimawandel



- ± 3300 a um alles Wasser der Ozeane zu verdunsten (heutige Rate)
- ± 190 a um alles Wasser an Land zu verdunsten (heutige Rate)
- ± 640 a bis alle großen Eismassen geschmolzen sind (heutige Schätzungen)
- dagegen: Jahresniederschlag entspricht ca. 38x der Wasserkapazität der Atmosphäre



Wasserbilanz

Das zentrale Werkzeug der Hydrologie

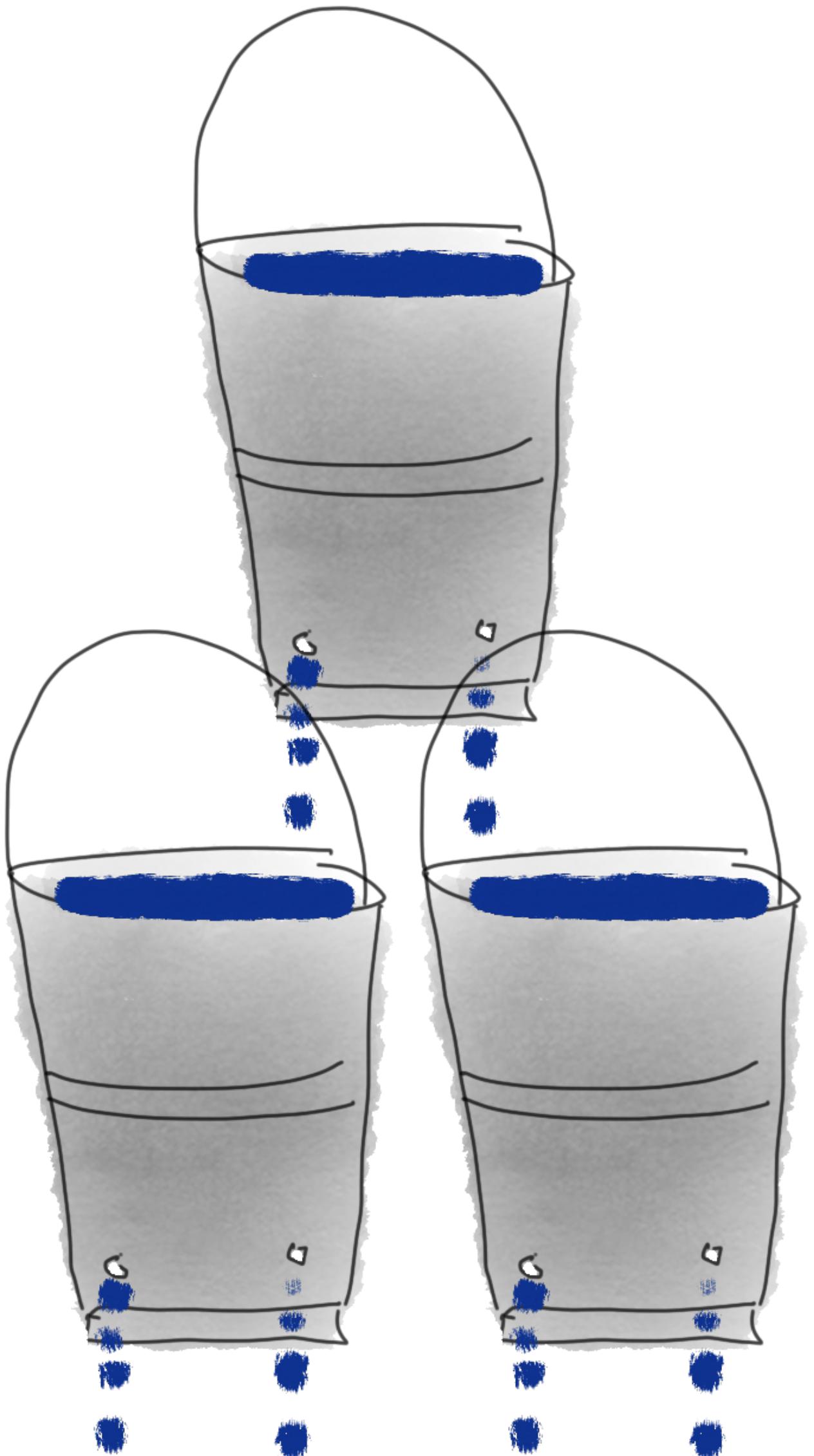
$$\Delta S = P - Q - ET$$

- ΔS :: Speicheränderung
- P :: Niederschlag
- Q :: Abfluss
- ET :: Verdunstung

Wasserbilanz

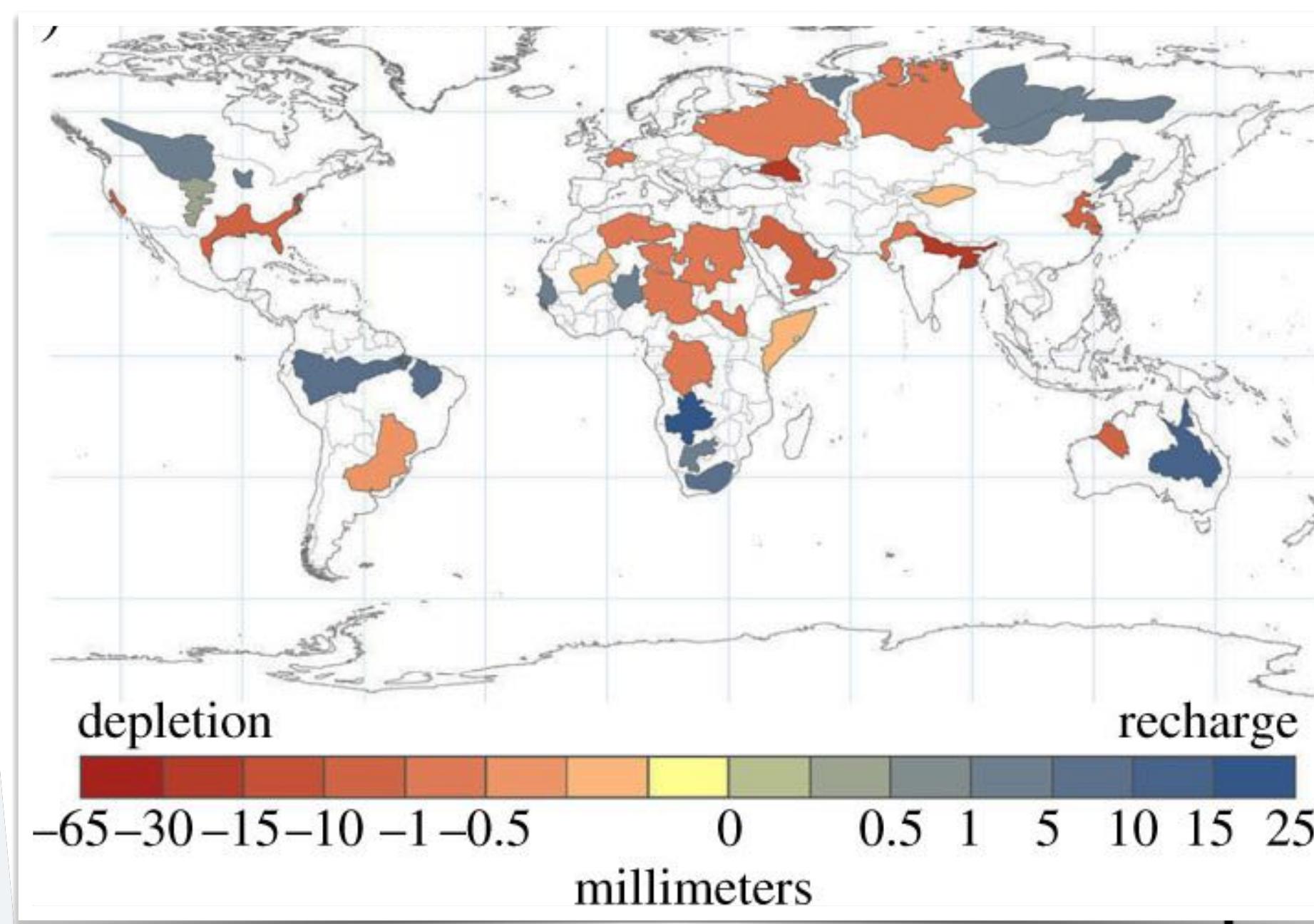
Das zentrale Werkzeug der Hydrologie

$$\Delta S = P - Q_{\text{Oberfläche}} \\ - Q_{\text{Grundwasser}} - ET$$

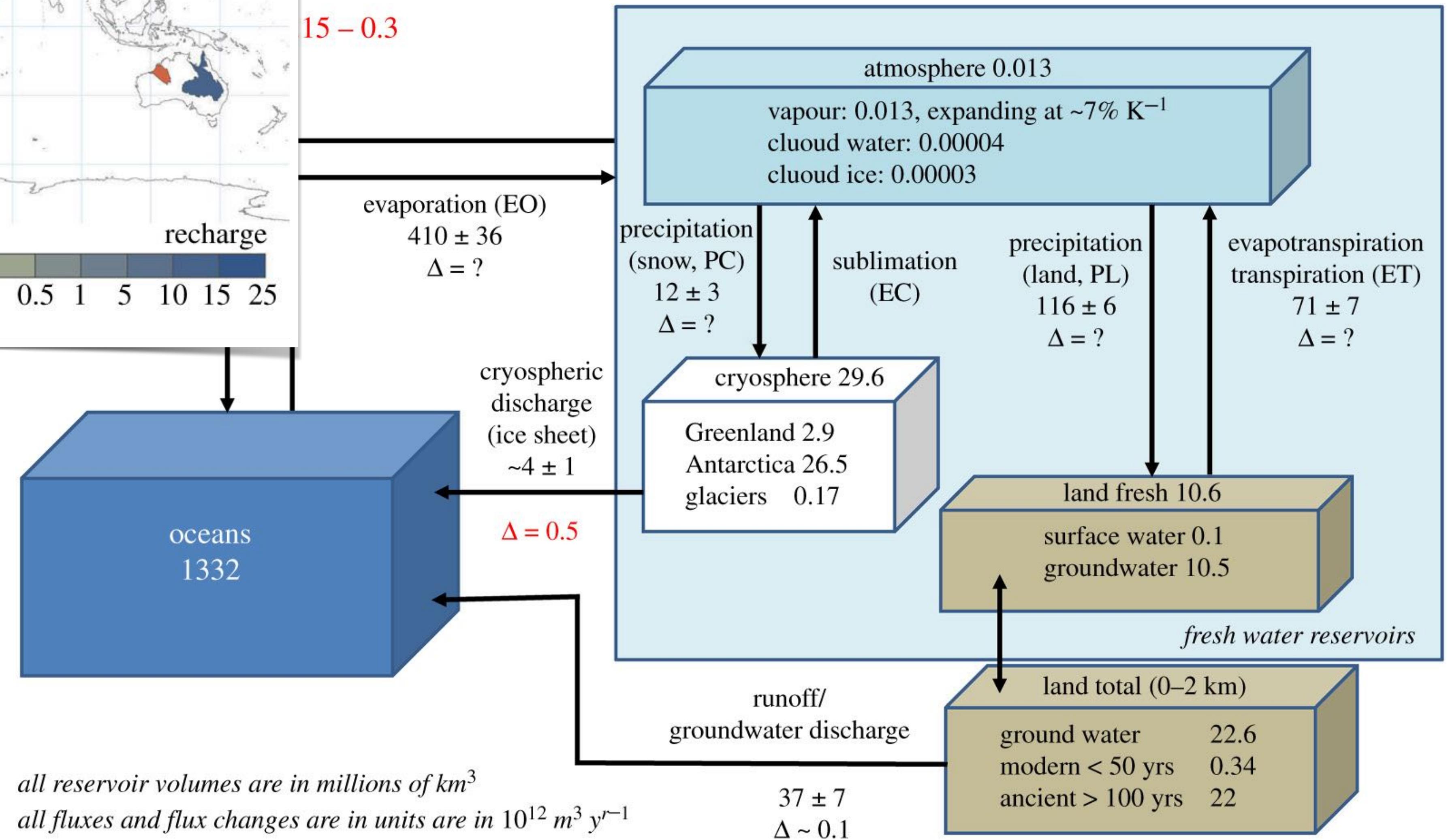


- ΔS :: Speicheränderung
- P :: Niederschlag
- Q :: Abfluss
- ET :: Verdunstung

Volumina? Unterschiede?



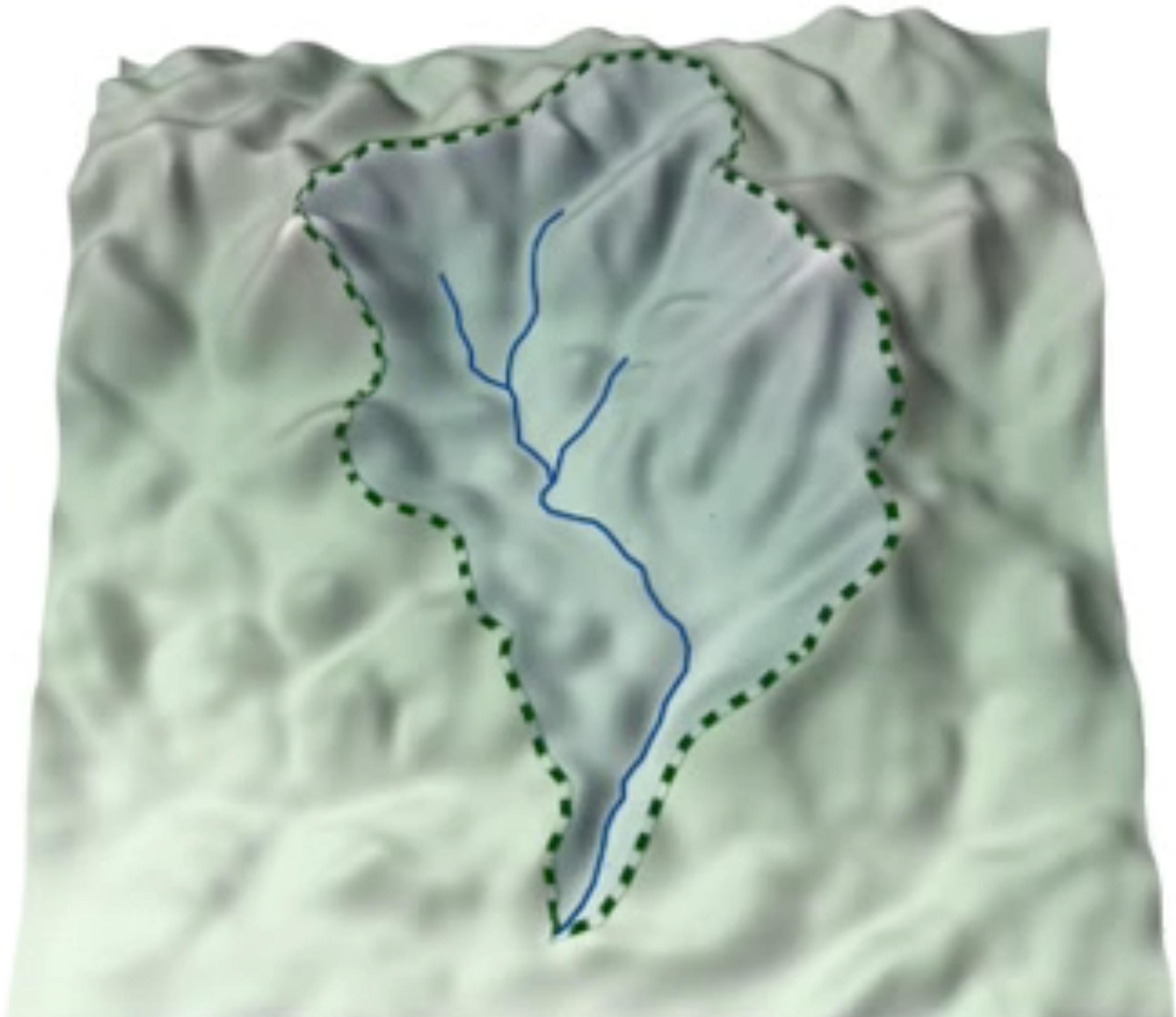
15 - 0.3



Wie kommen wir zu solchen Zahlen?

Einzugsgebiet

Das zweite zentrale Werkzeug der Hydrologie

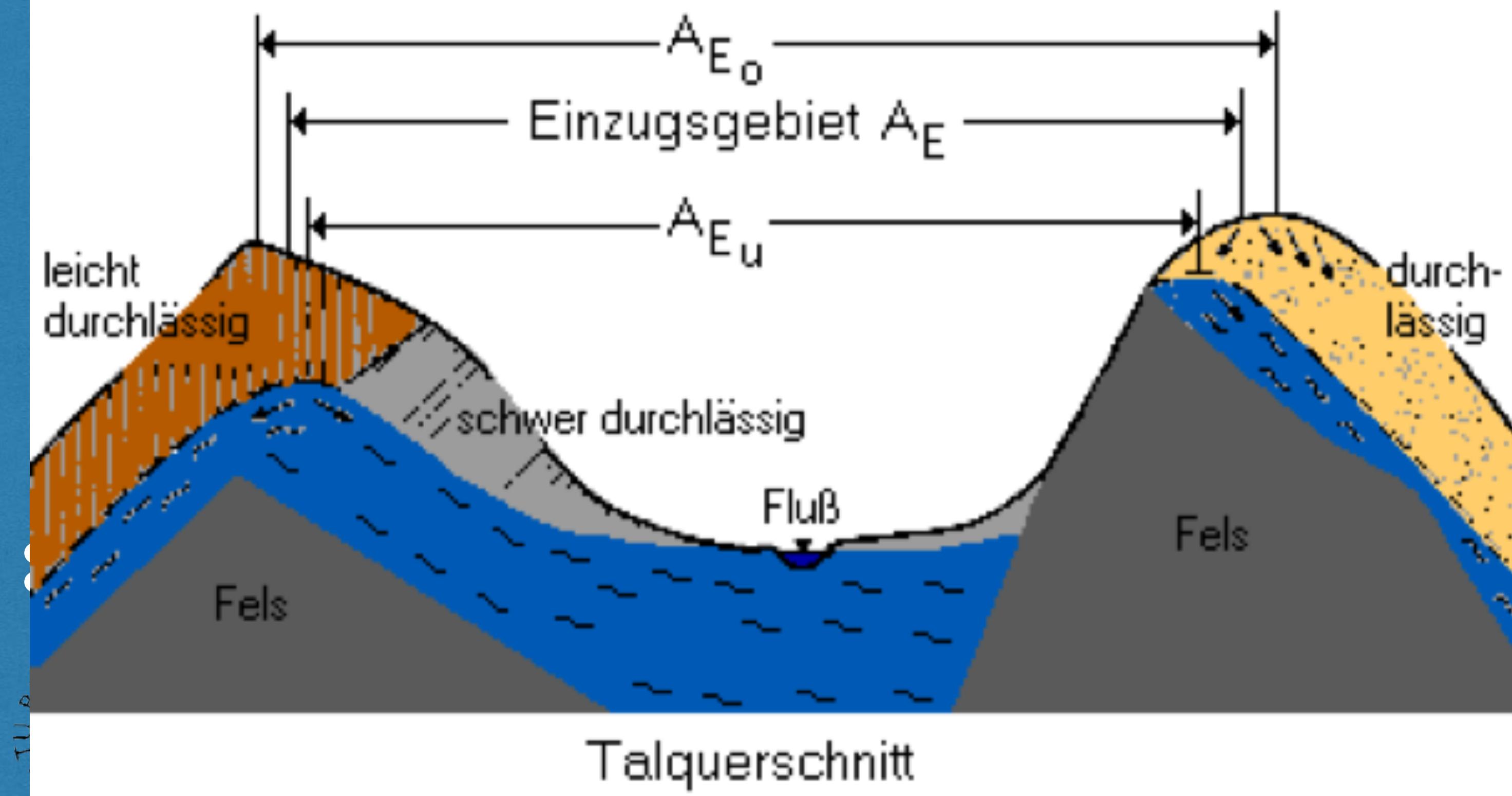
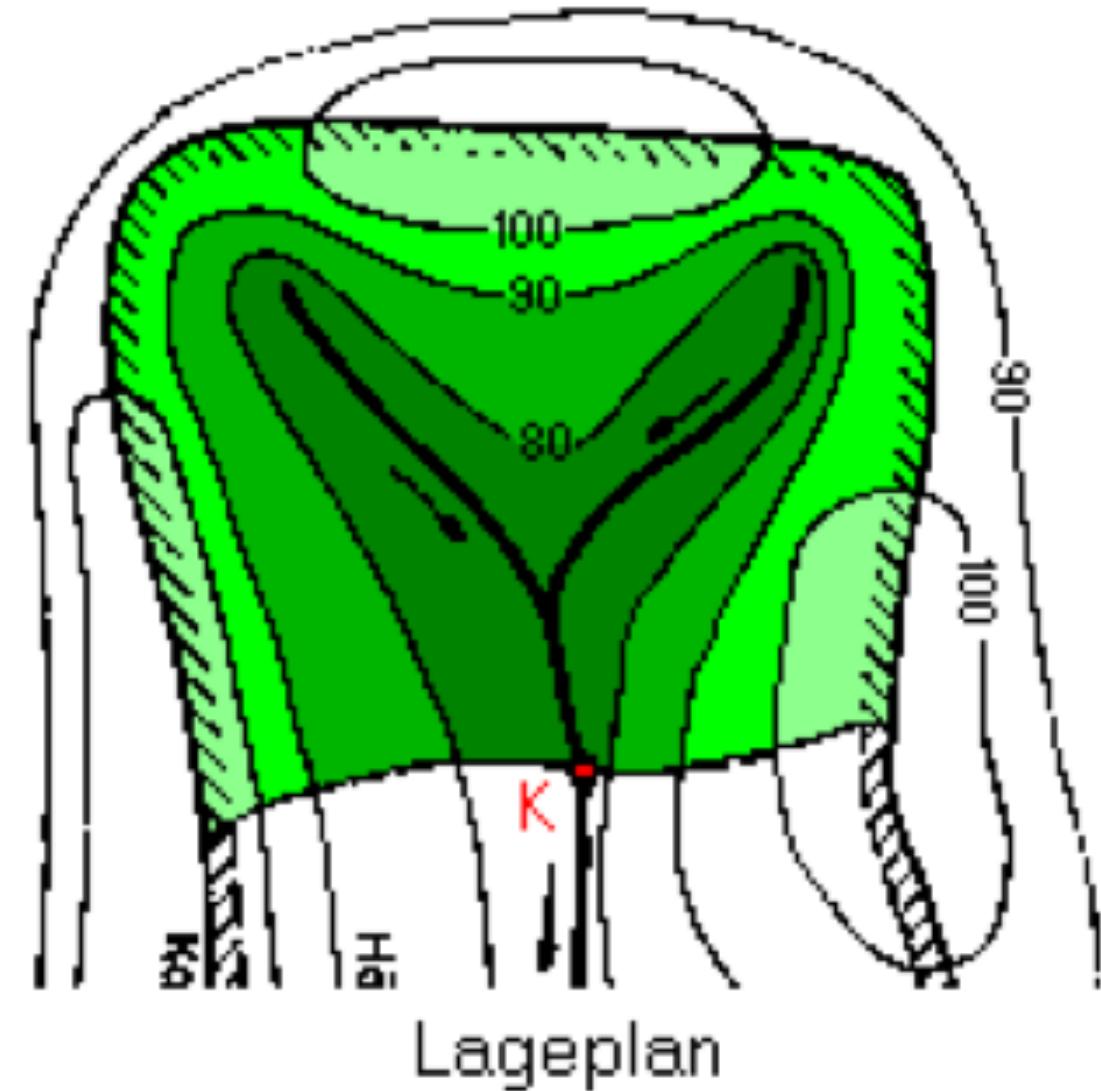


Definition des Gebietes, dass an einem Punkt entwässert

- Wasserscheide
 - Gewässer
 - Referenz-Pegel
-
- Achtung: oberflächliches (E_o), unterirdisches (E_u) und tatsächliches (E) Einzugsgebiet (EZG) stimmen nicht immer überein

Einzugsgebiet

Das zweite zentrale Werkzeug der Hydrologie



Definition des Gebietes, dass an einem Punkt entwässert

- Wasserscheide
- Gewässer
- Referenz-Pegel
- Achtung: oberflächliches (E_0), unterirdisches (E_u) und tatsächliches (E) Einzugsgebiet (EZG) stimmen nicht immer überein

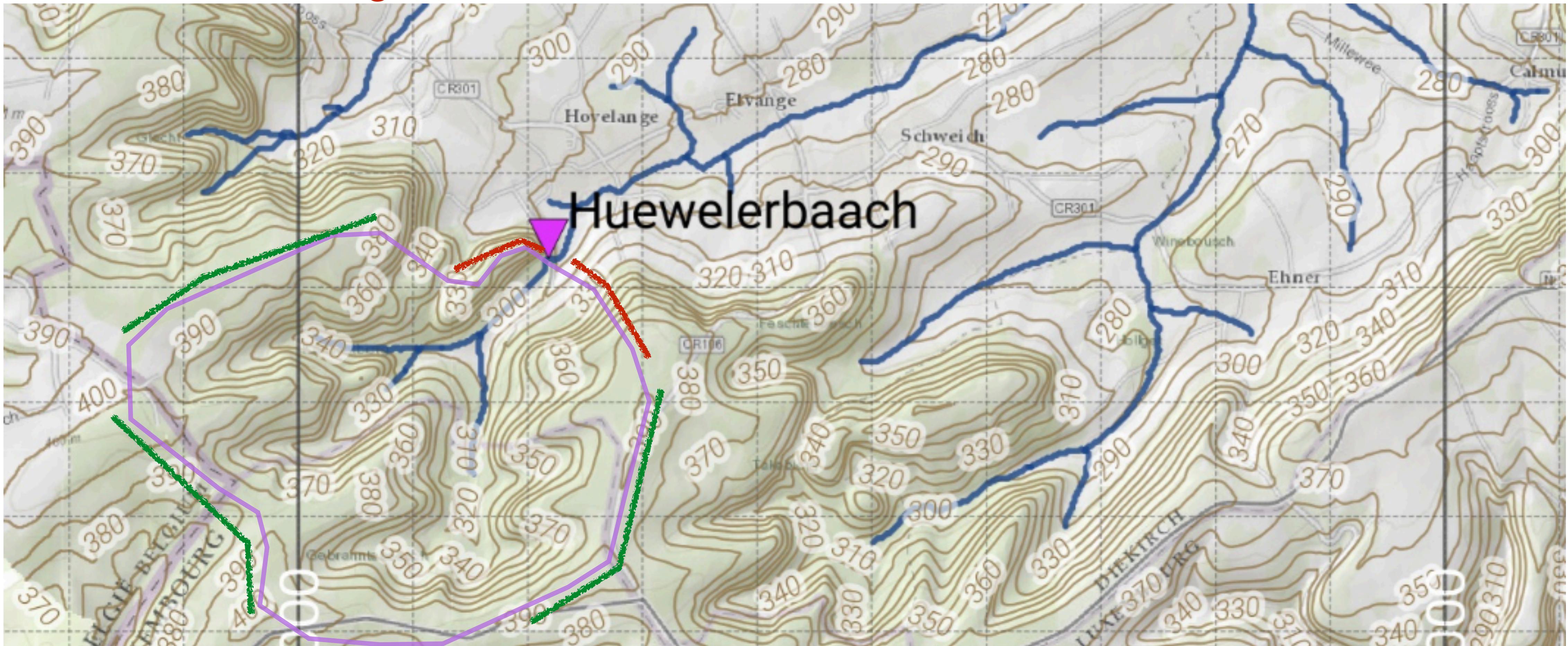
Einzugsgebiet

Zeichne das (oberflächliche) EZG für den Pegel Huewelerbaach



Einzugsgebiet

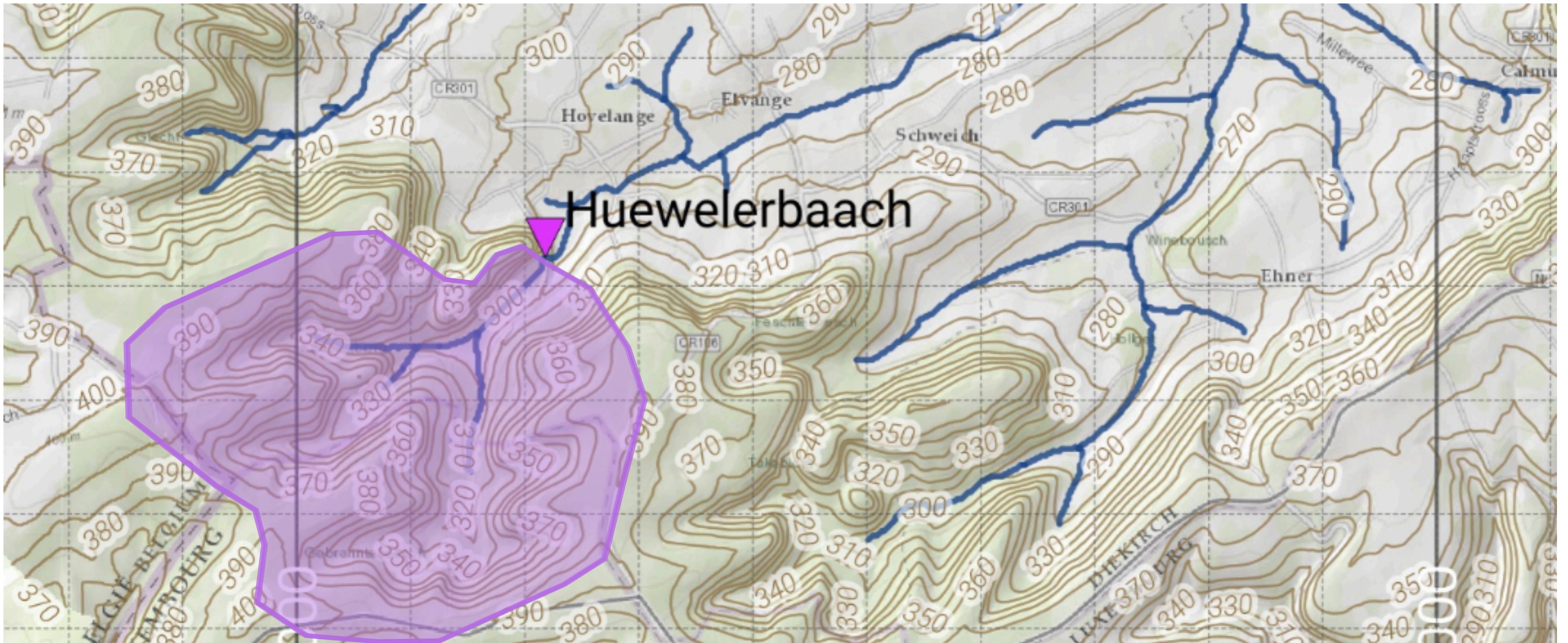
Zeichne das (oberflächliche) EZG für den Pegel Huewelerbaach mit Hangfalllinie abschließen



Rücken identifizieren

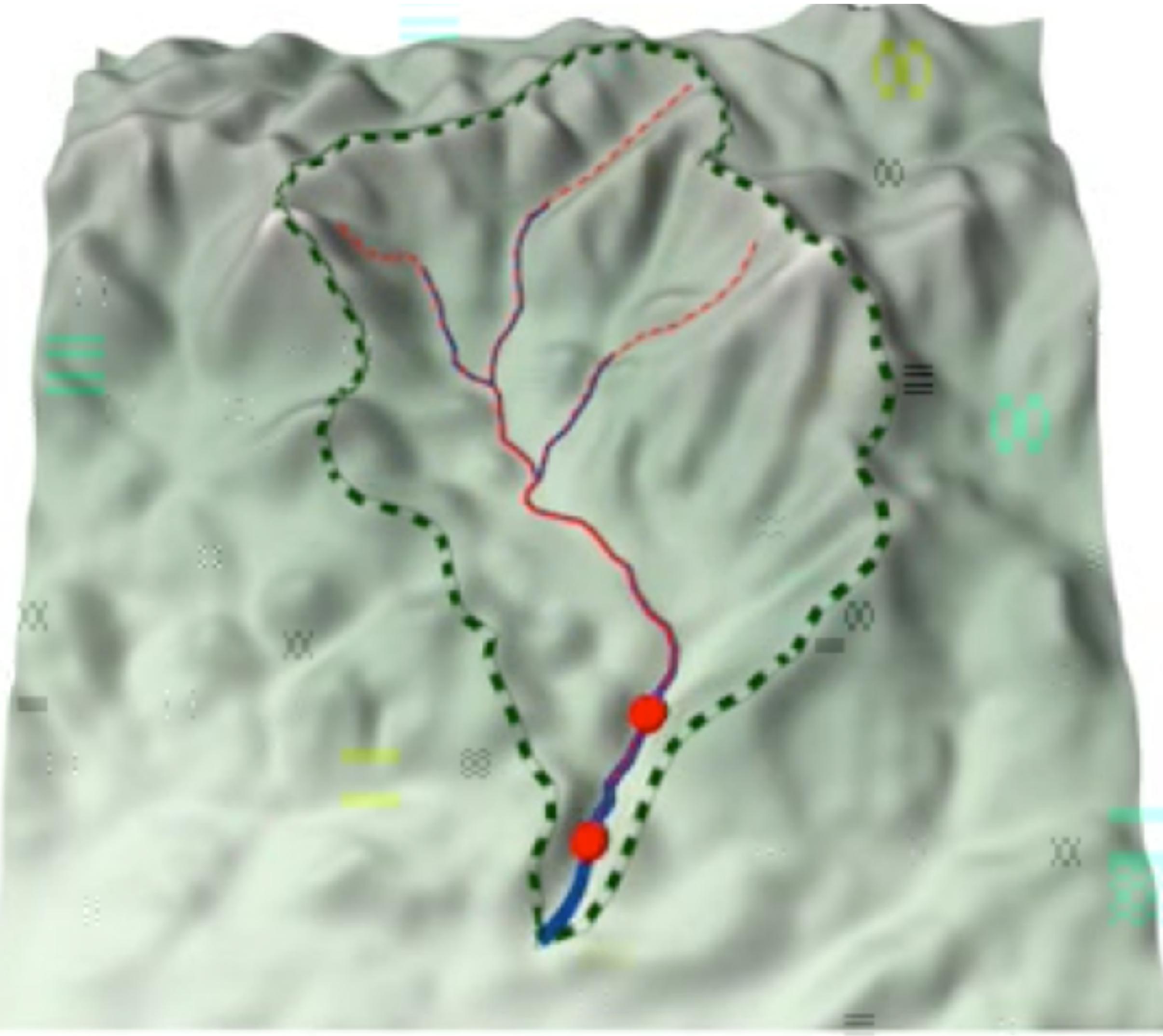
Einzugsgebiet

Zeichne das (oberflächliche) EZG für den Pegel Huewelerbaach



Einzugsgebiet

Welche Vorteile bringt das?



- Referenzfläche → Normierung aus $V \text{ (m}^3\text{)}/A \text{ (m}^2\text{)}$ wird $h \text{ (mm)}$!
- Massenbilanz kann geschlossen werden!
- Wasserbilanz ist auf lange Sicht ausgeglichen ($\Delta S=0$)

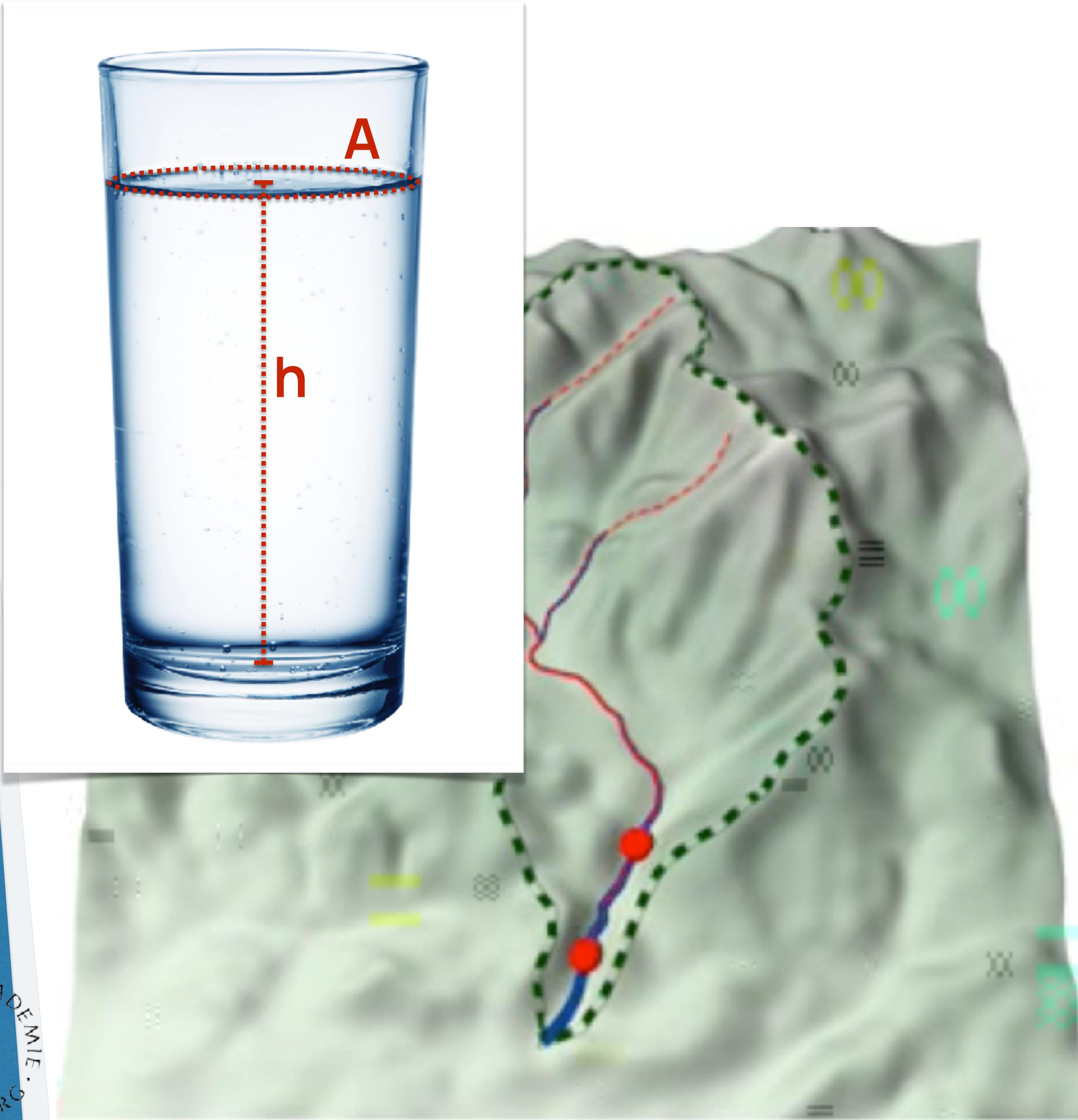
$$\Delta S = P - Q - ET$$

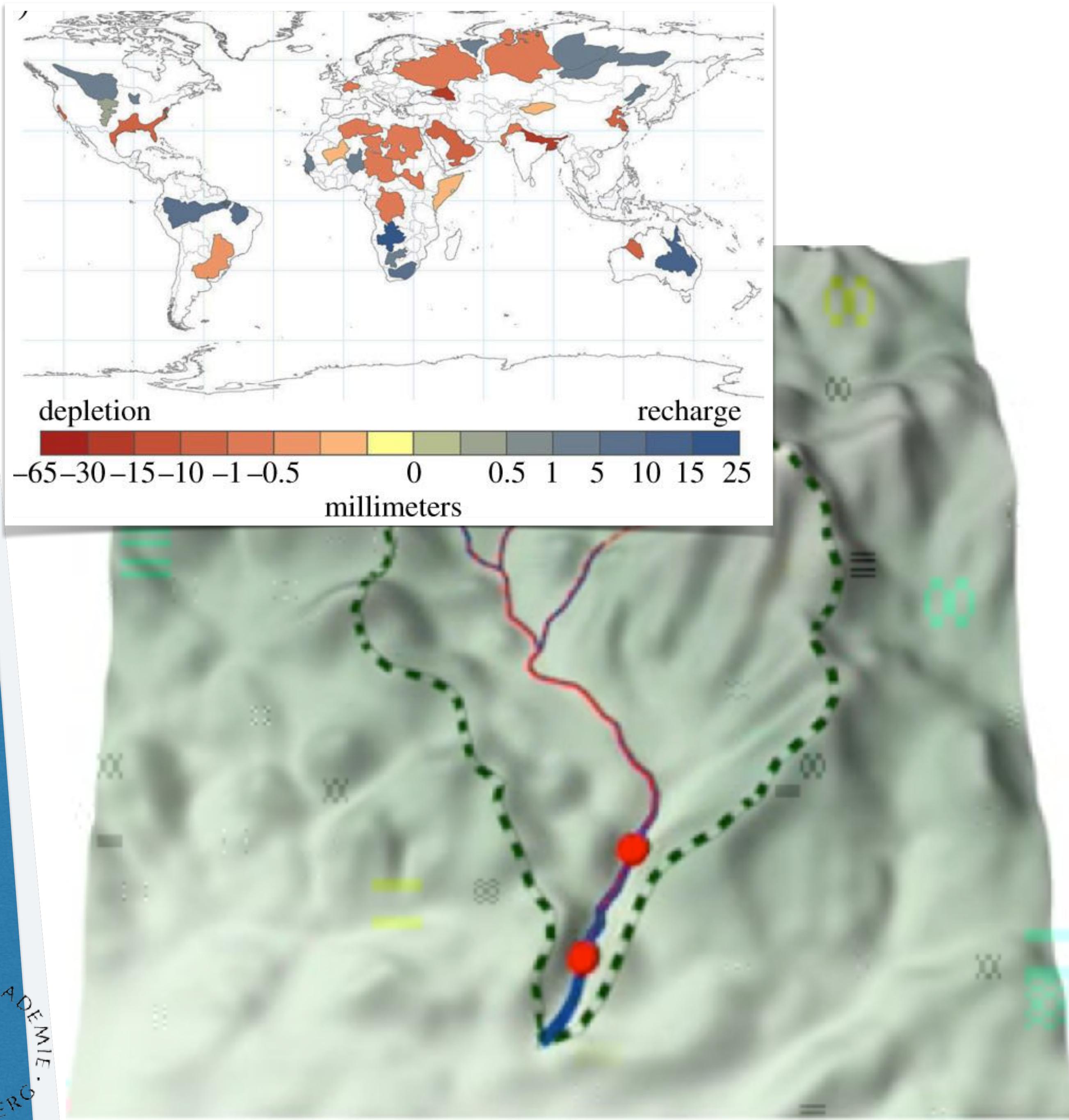
Einzugsgebiet

Welche Vorteile bringt das?

- Referenzfläche → Normierung aus $V (m^3)/A (m^2)$ wird $h (mm)$!
- Massenbilanz kann geschlossen werden!
- Wasserbilanz ist auf lange Sicht ausgeglichen ($\Delta S=0$)

$$\Delta S = P - Q - ET$$





Einzugsgebiet

Welche Vorteile bringt das?

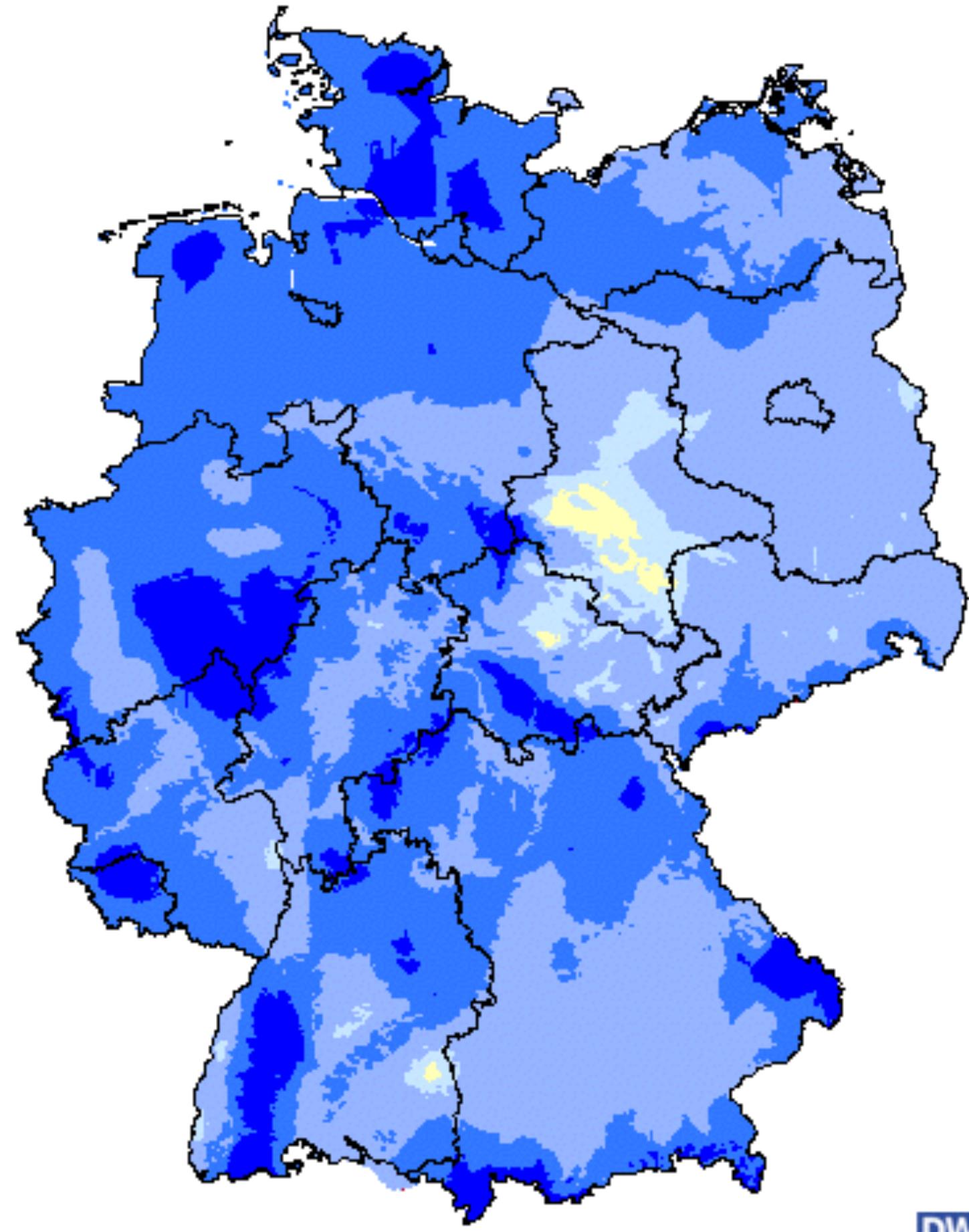
- Referenzfläche → Normierung aus $V (m^3)/A (m^2)$ wird $h (mm)$!
- Massenbilanz kann geschlossen werden!
- Wasserbilanz ist auf lange Sicht ausgeglichen ($\Delta S=0$)

$$\Delta S = P - Q - ET$$

Klimatische Wasserbilanz

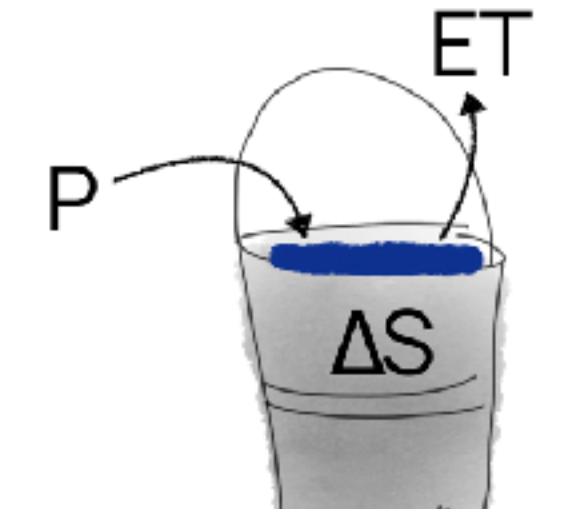
Klimatische Wasserbilanz mit Grasreferenzverdunstung
01.12.2021 – 28.02.2022

Abschätzung der allgemeinen Wassersituation



Deutscher Wetterdienst (erstellt 5.10.2022 7:17 UTC)
Geobasisdaten © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

$$\Delta S = P - ET_{pot}$$



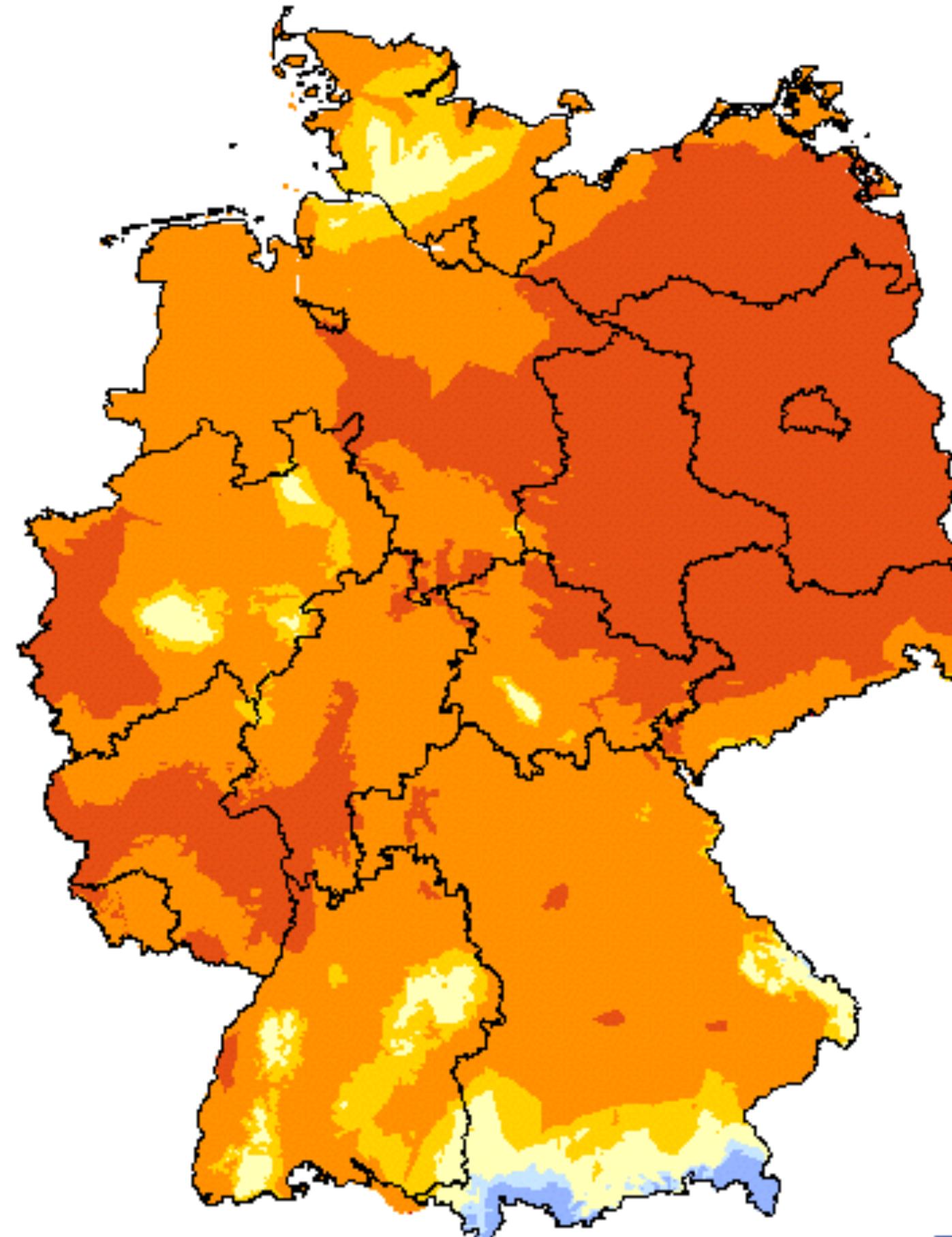
Dippoldiswalde 2022

- Winter: +111 mm
- Frühjahr: -103 mm
- Sommer: -150 mm
- Herbst: bisher +53 mm
- -89 mm fehlen für den Ausgleich!
- 2021 nur standen nur 83 mm für Abfluss und Grundwasserneubildung zur Verfügung
- aber Achtung! $ET_{pot} \neq ET_{act}$

Klimatische Wasserbilanz

Klimatische Wasserbilanz mit Grasreferenzverdunstung
01.03.2022 – 31.05.2022

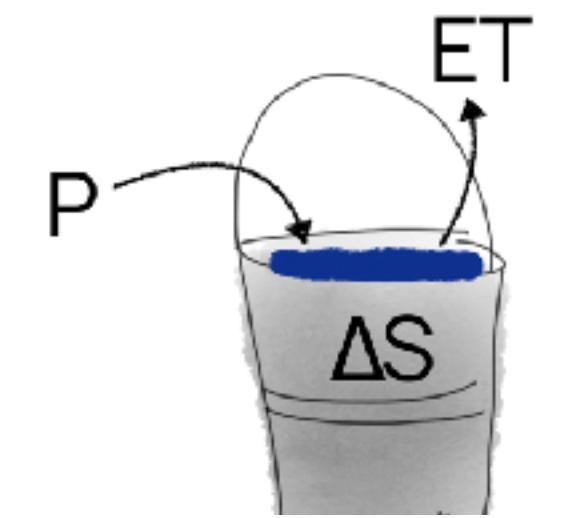
Abschätzung der allgemeinen Wassersituation



Deutscher Wetterdienst (erstellt 5.10.2022 7:17 UTC)
Geobasisdaten © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

<https://www.dwd.de/DE/leistungen/wasserbilanzq/wasserbilanzq.html>

$$\Delta S = P - ET_{pot}$$



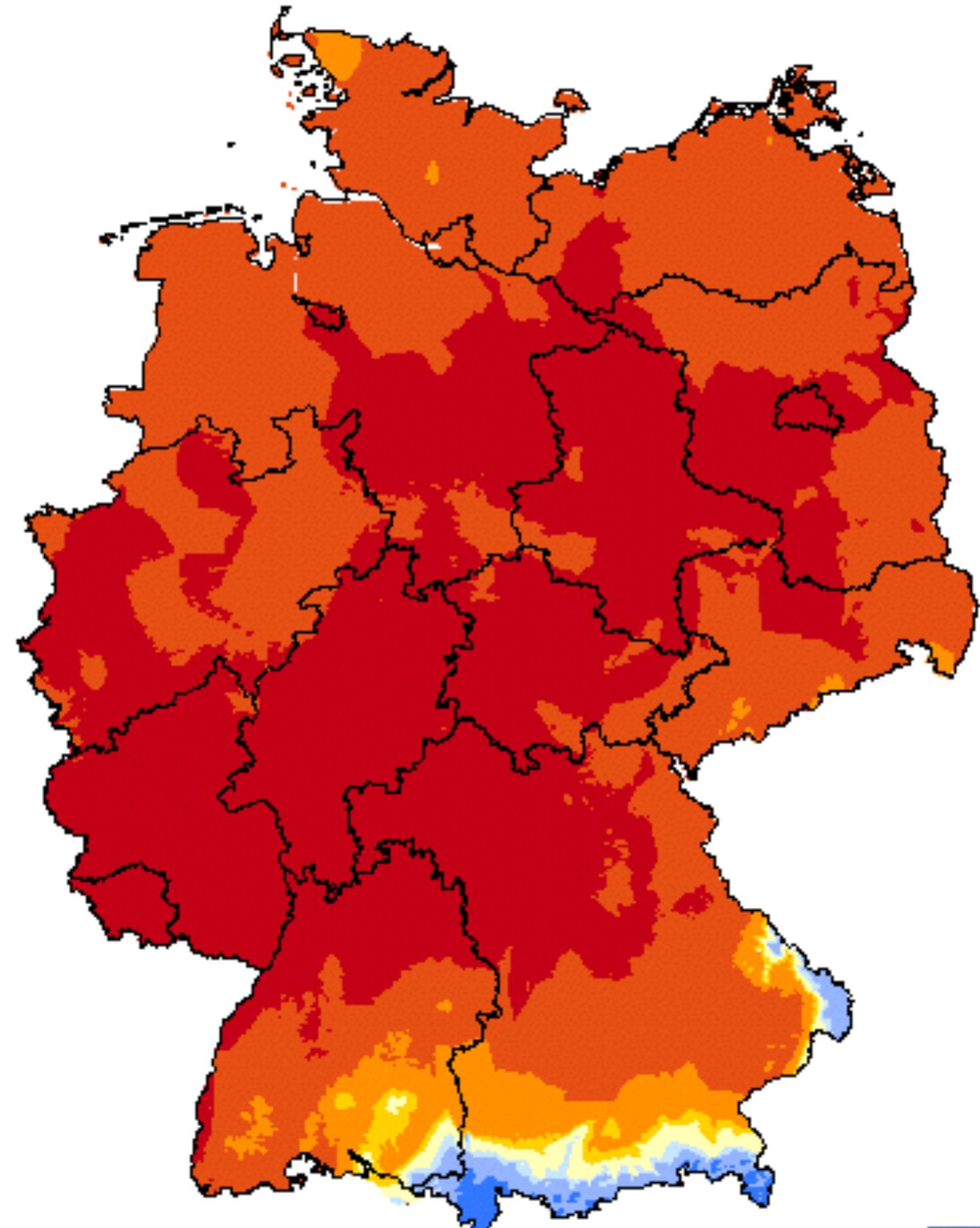
Dippoldiswalde 2022

- Winter: +111 mm
- Frühjahr: -103 mm
- Sommer: -150 mm
- Herbst: bisher +53 mm
- -89 mm fehlen für den Ausgleich!
- 2021 nur standen nur 83 mm für Abfluss und Grundwasserneubildung zur Verfügung
- aber Achtung! $ET_{pot} \neq ET_{act}$

Klimatische Wasserbilanz

Klimatische Wasserbilanz mit Grasreferenzverdunstung
01.06.2022 – 31.08.2022

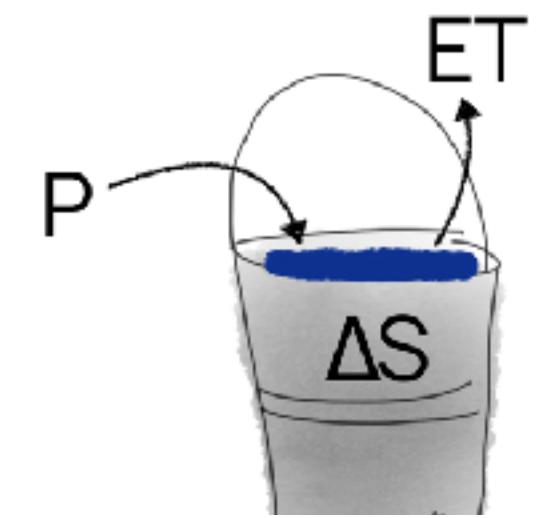
Abschätzung der allgemeinen Wassersituation



Deutscher Wetterdienst (erstellt 5.10.2022 7:17 UTC)
Geobasisdaten © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de)

<https://www.dwd.de/DE/leistungen/wasserbilanzq/wasserbilanzq.html>

$$\Delta S = P - ET_{pot}$$



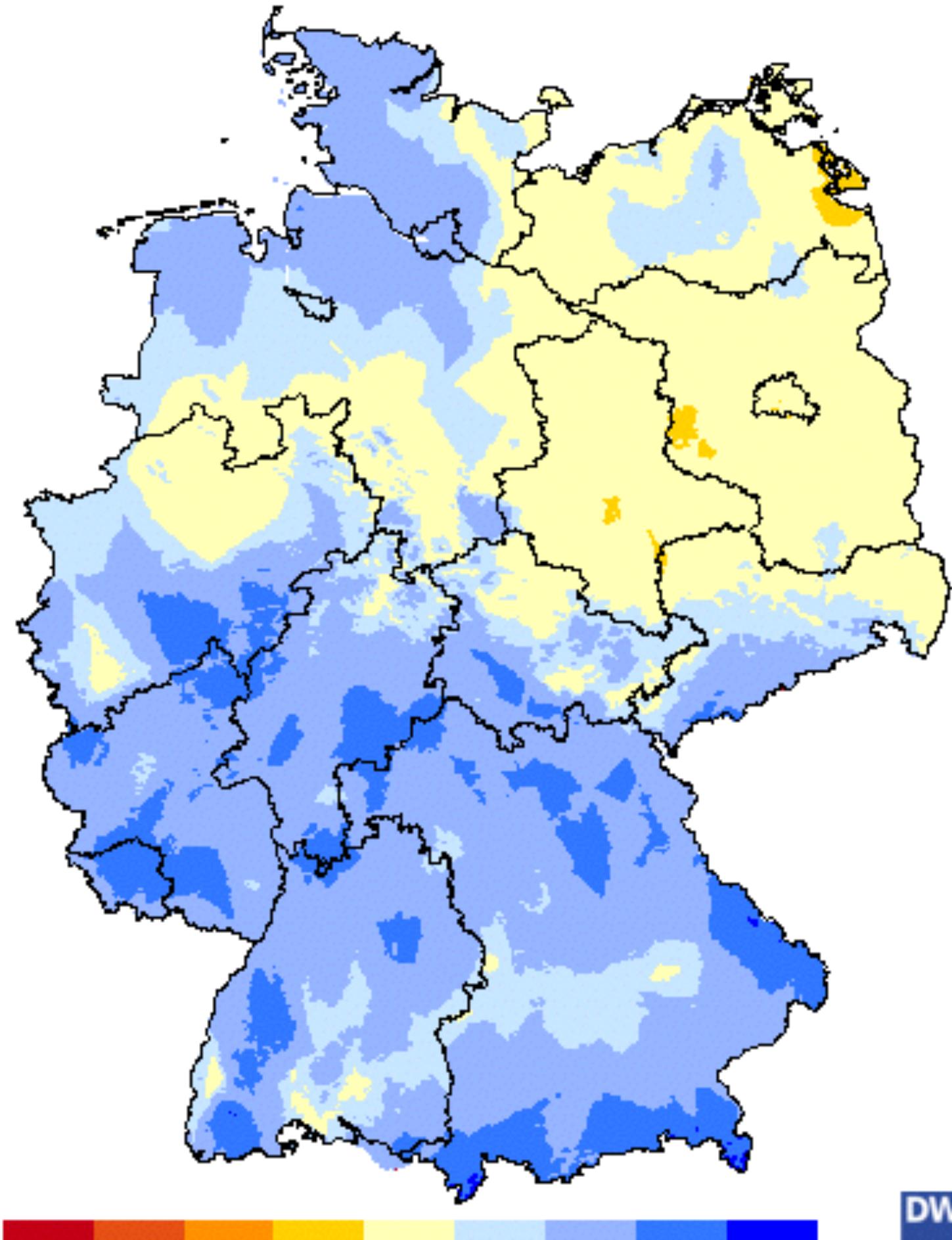
Dippoldiswalde 2022

- Winter: +111 mm
- Frühjahr: -103 mm
- Sommer: -150 mm
- Herbst: bisher +53 mm
- -89 mm fehlen für den Ausgleich!
- 2021 nur standen nur 83 mm für Abfluss und Grundwasserneubildung zur Verfügung
- aber Achtung! $ET_{pot} \neq ET_{act}$

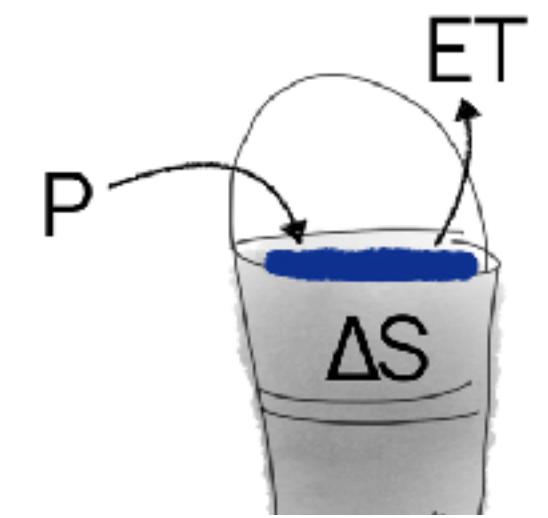
Klimatische Wasserbilanz

Klimatische Wasserbilanz mit Grasreferenzverdunstung
01.09.2022 – 18.10.2022

Abschätzung der allgemeinen Wassersituation



$$\Delta S = P - ET_{pot}$$

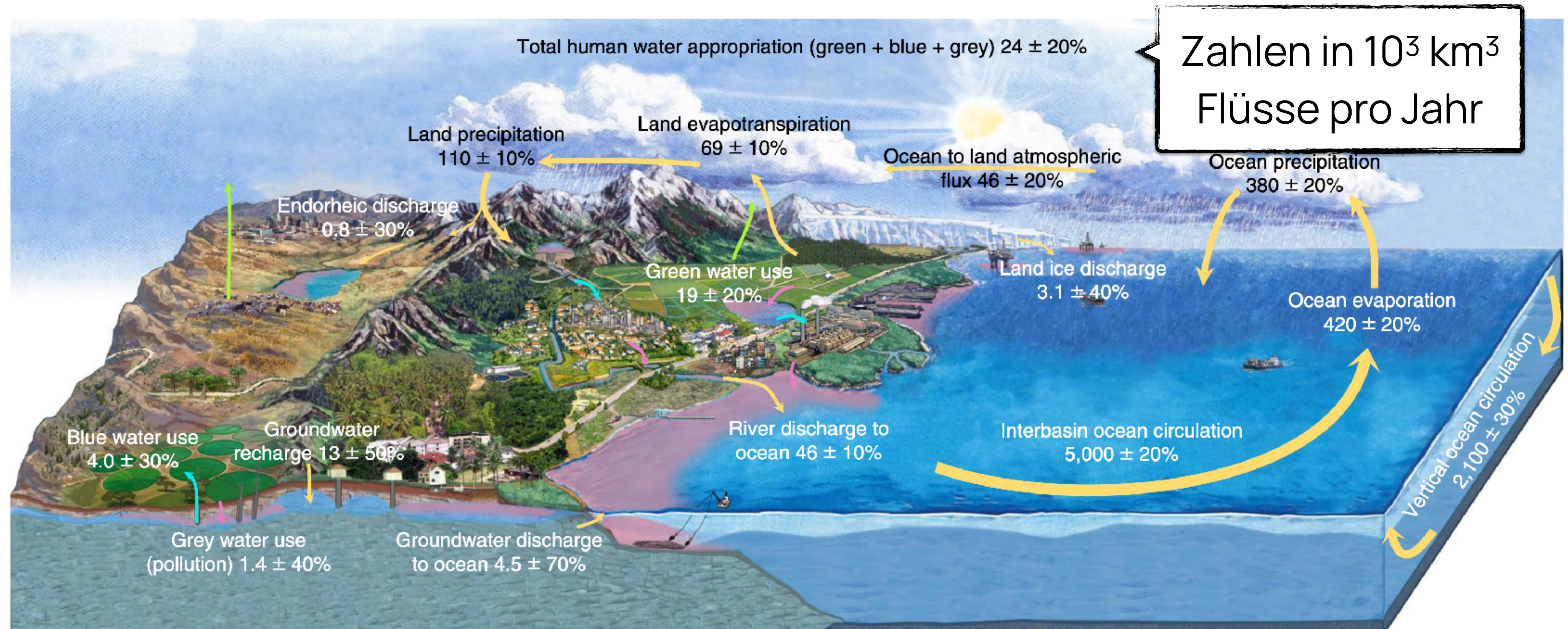


Dippoldiswalde 2022

- Winter: +111 mm
- Frühjahr: -103 mm
- Sommer: -150 mm
- Herbst: bisher +53 mm
- -89 mm fehlen für den Ausgleich!
- 2021 nur standen nur 83 mm für Abfluss und Grundwasserneubildung zur Verfügung
- aber Achtung! $ET_{pot} \neq ET_{act}$

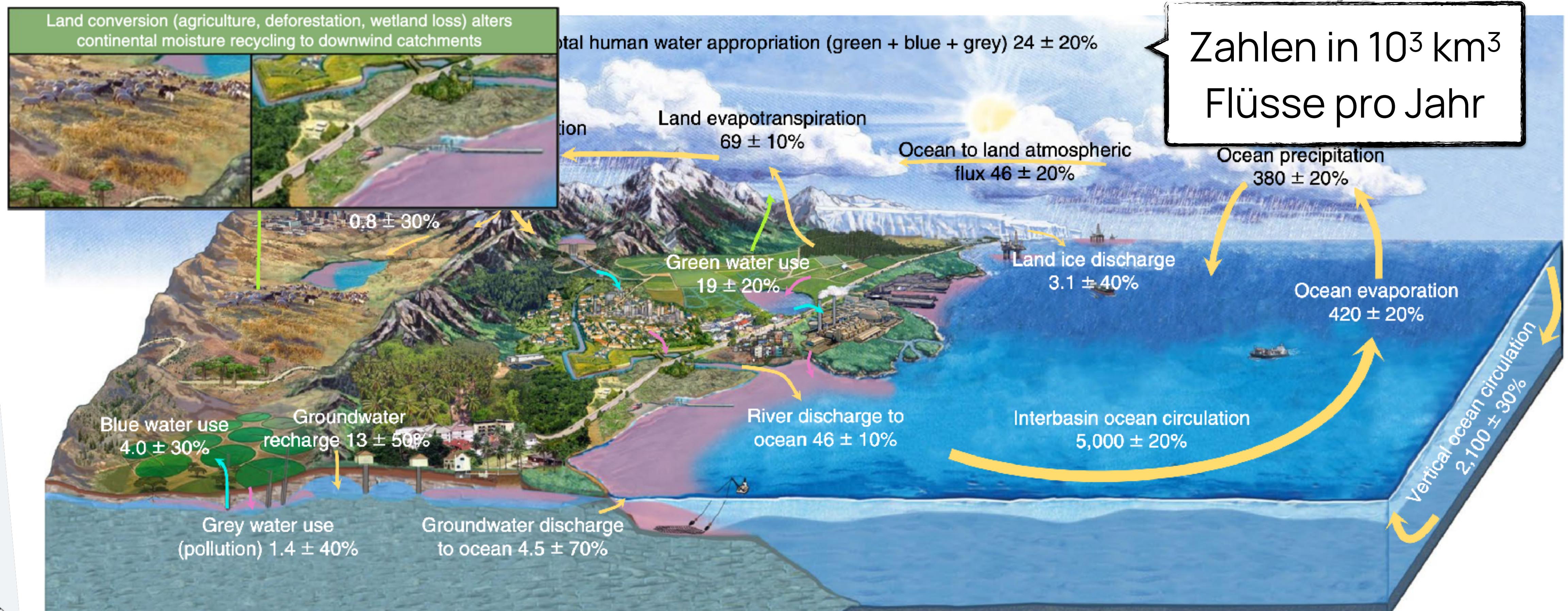
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



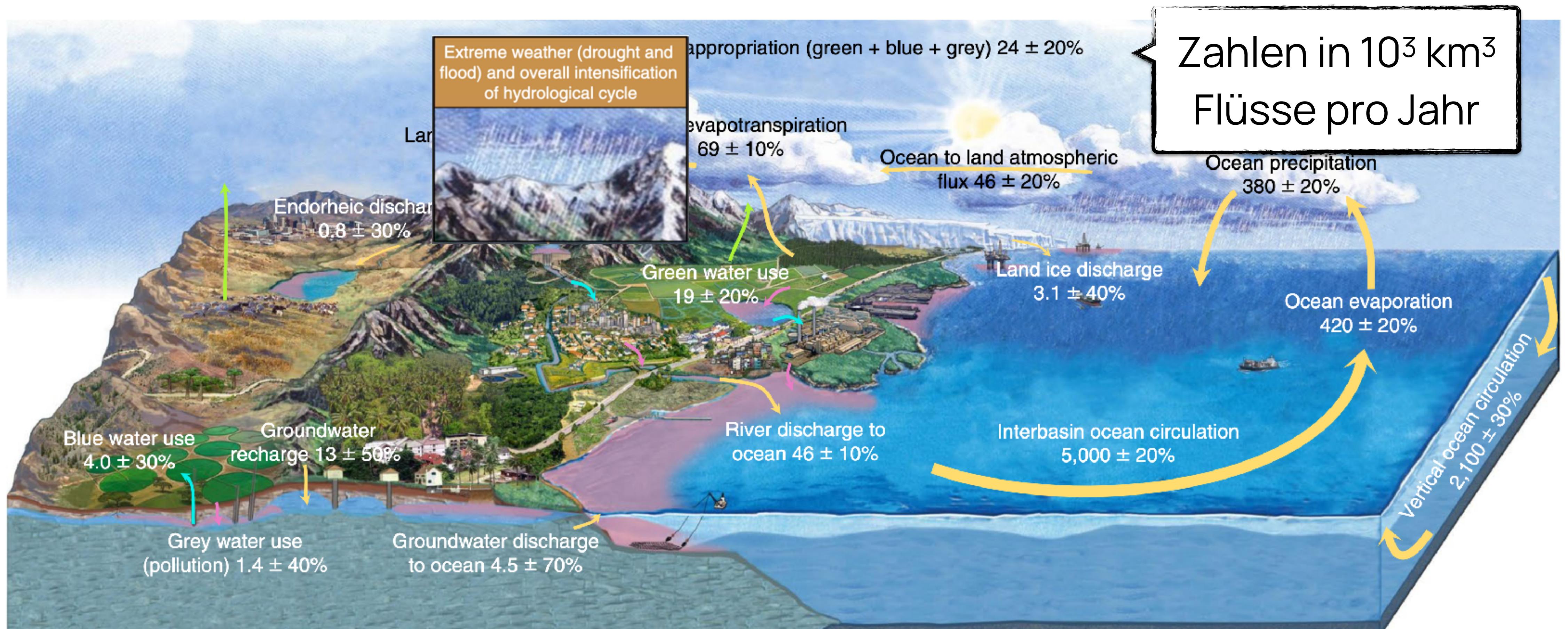
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



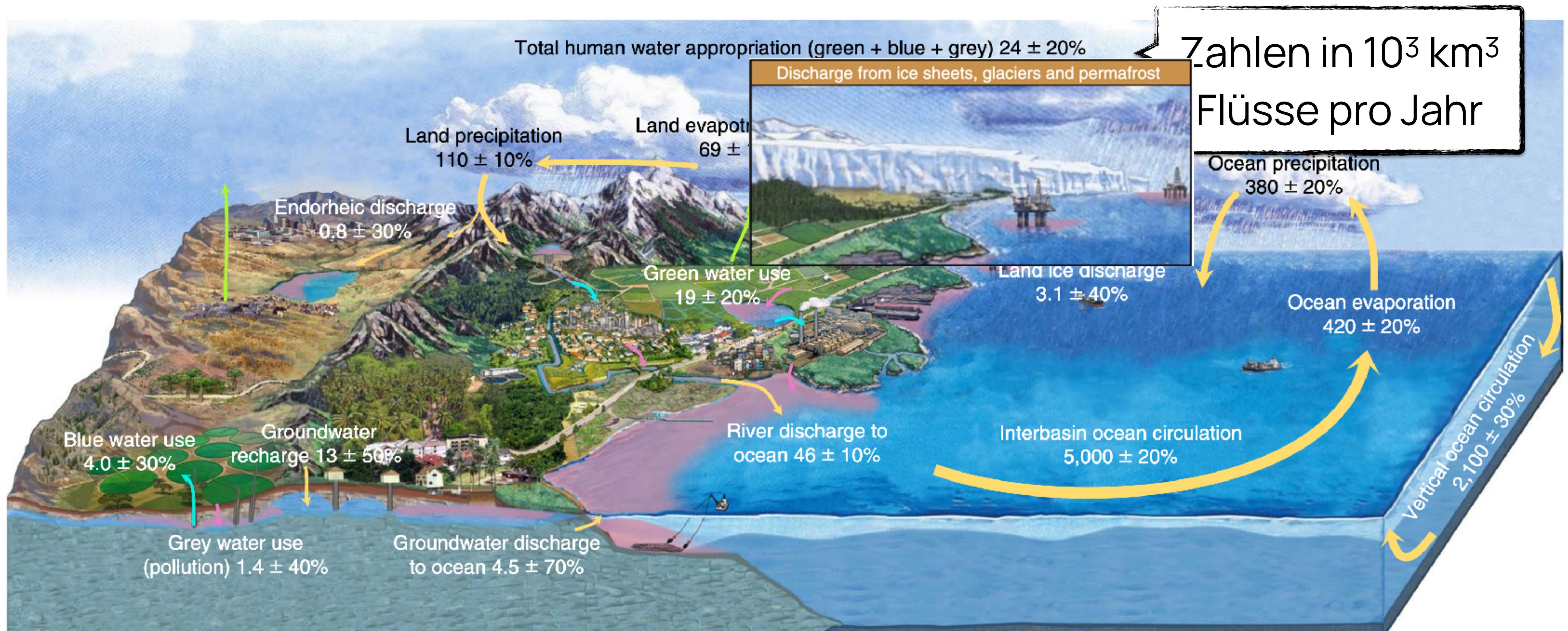
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



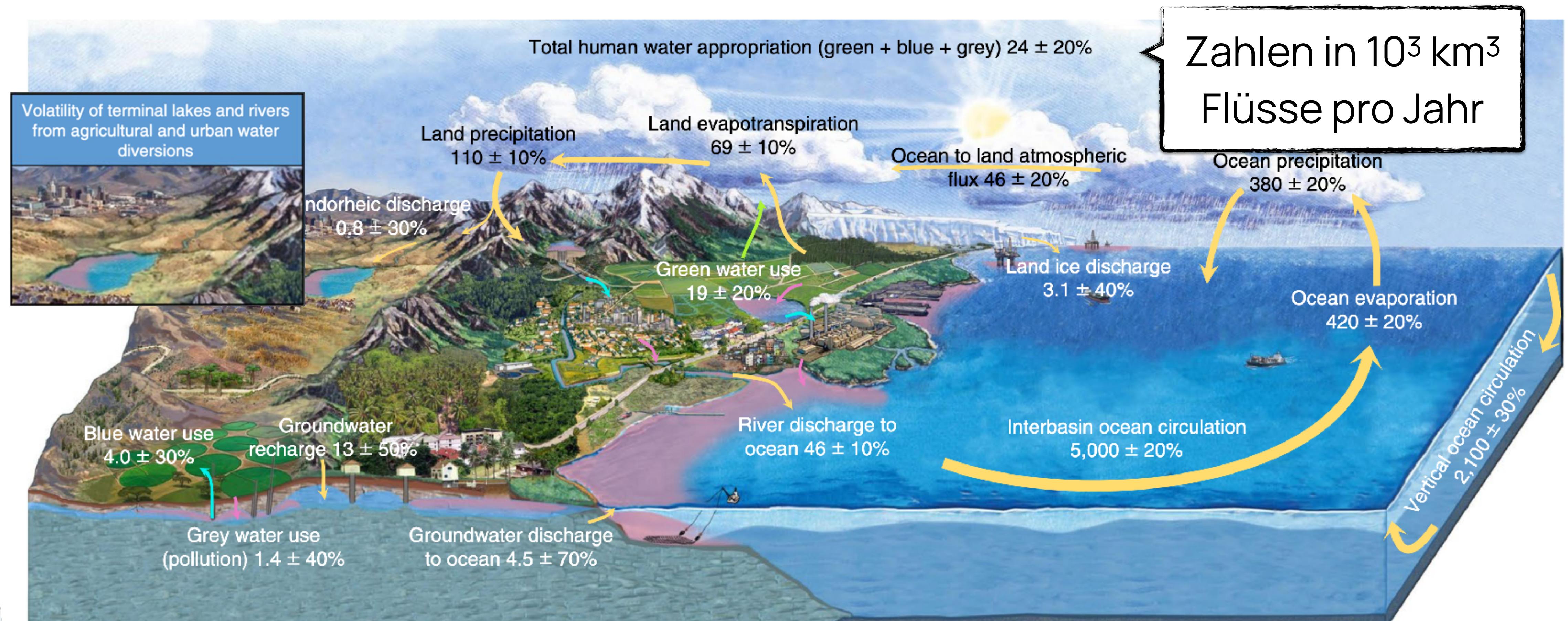
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



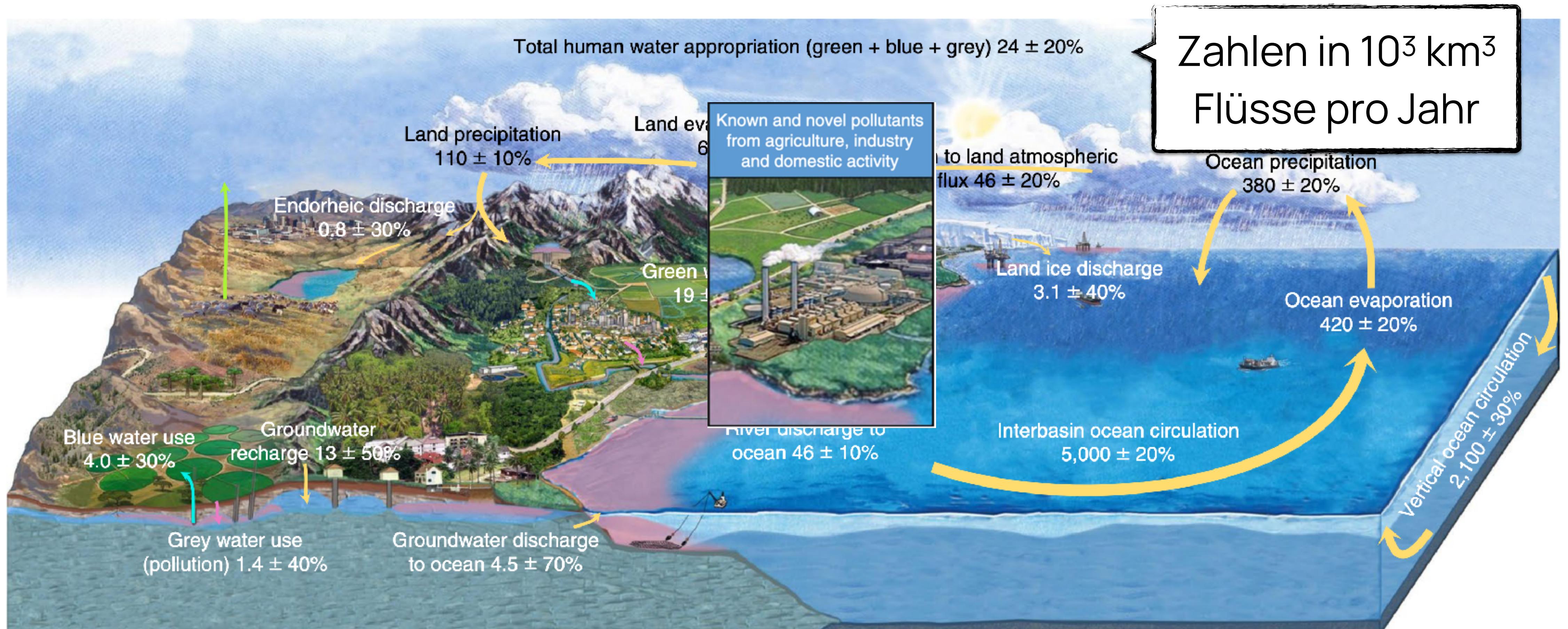
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



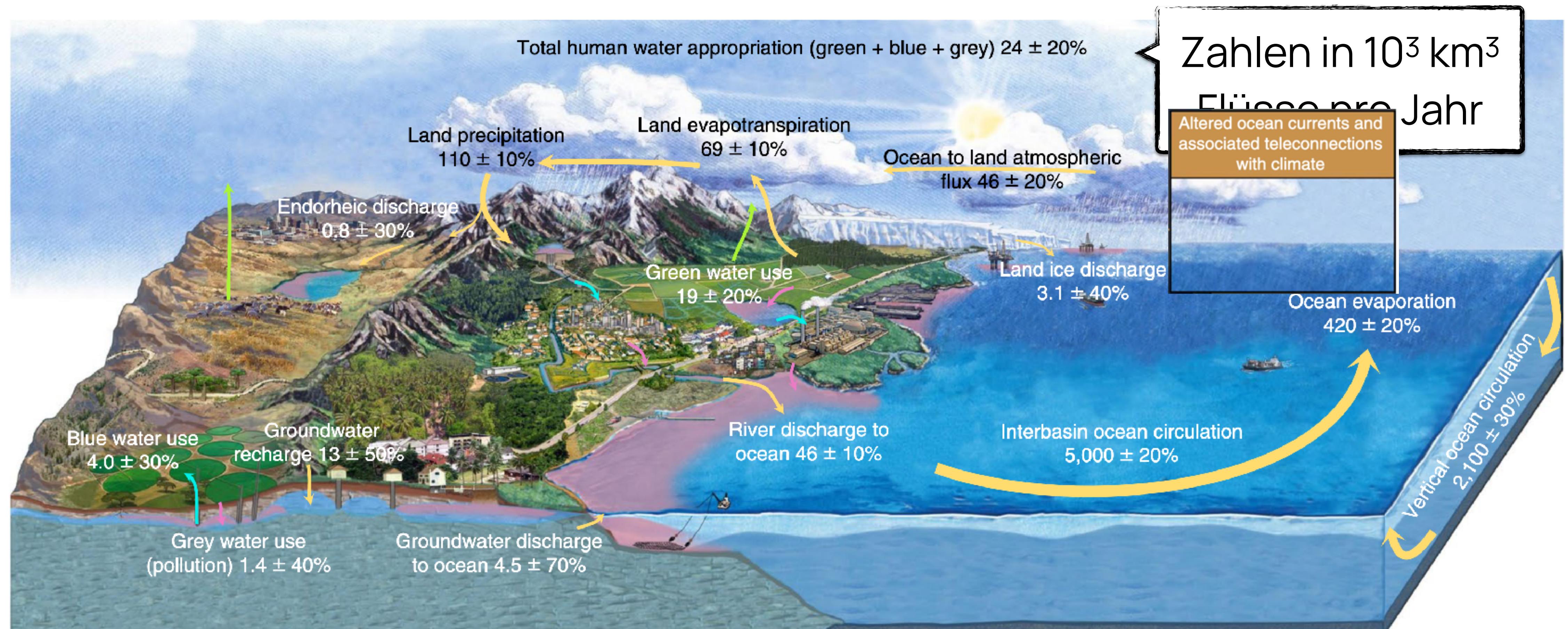
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



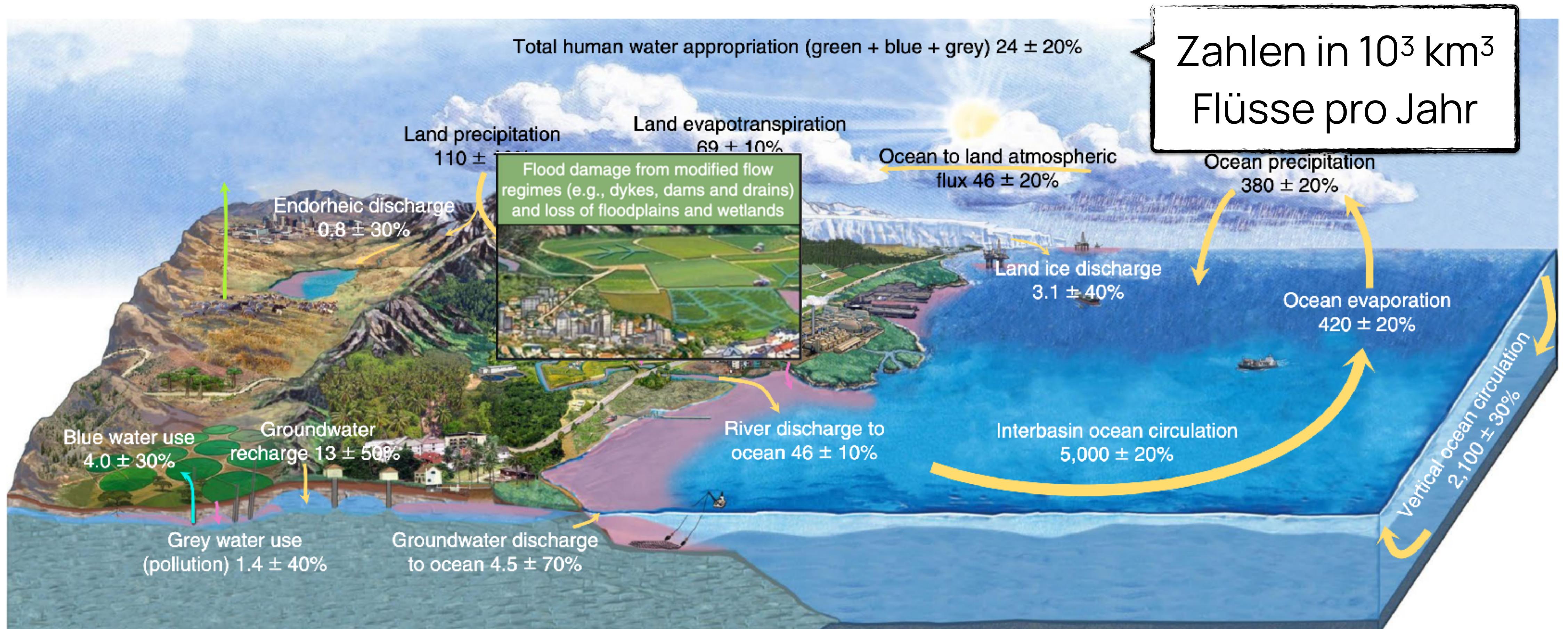
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



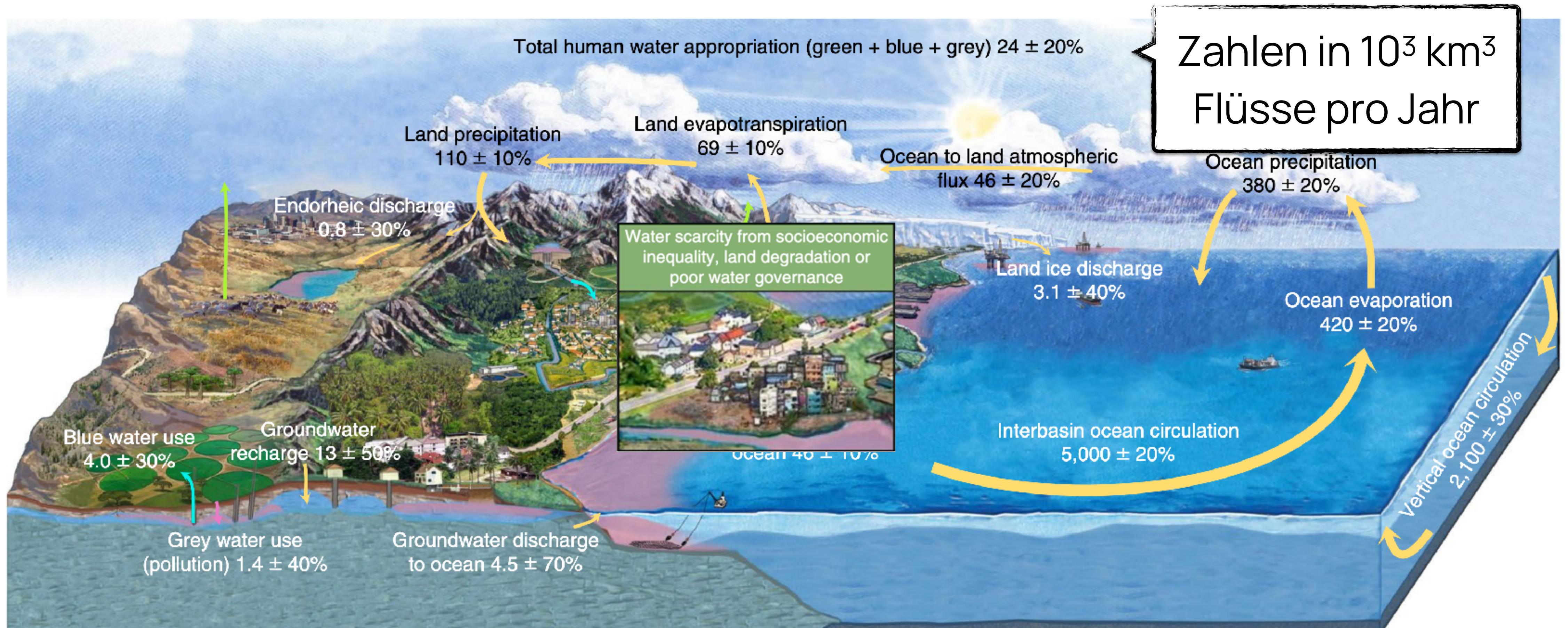
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



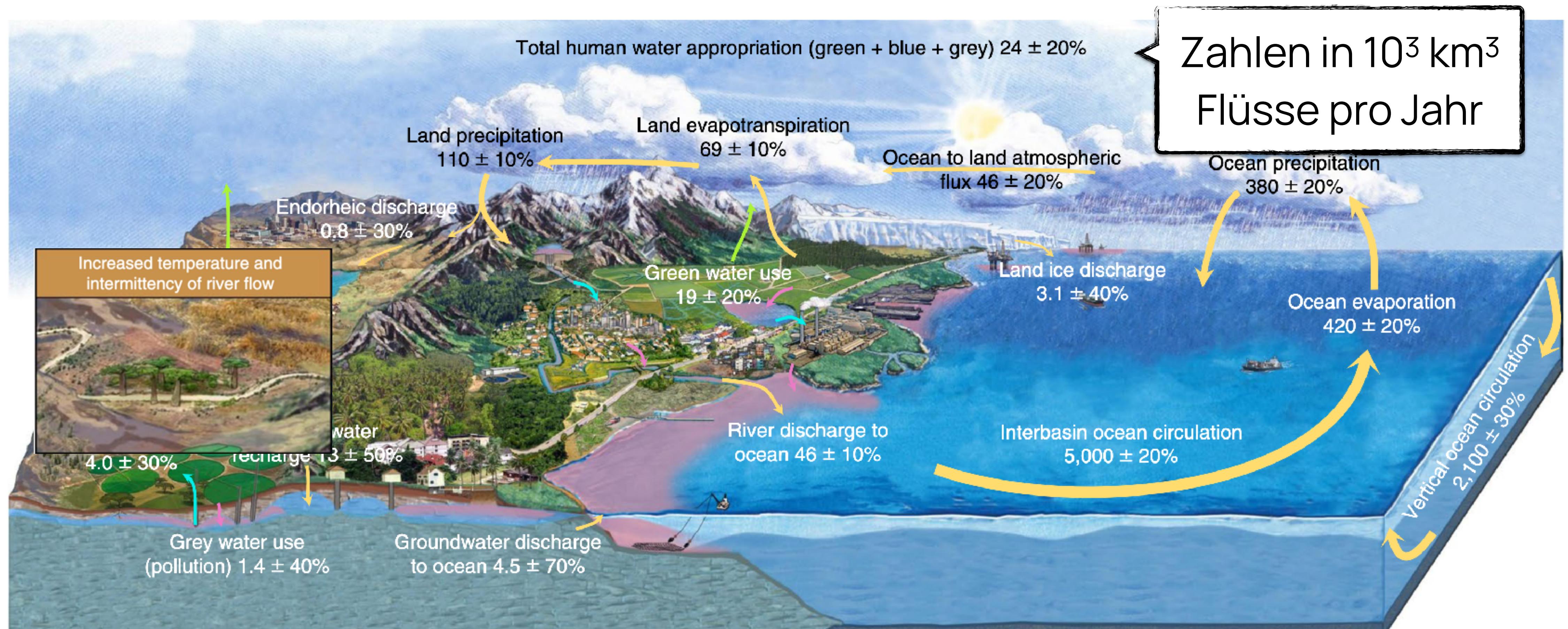
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



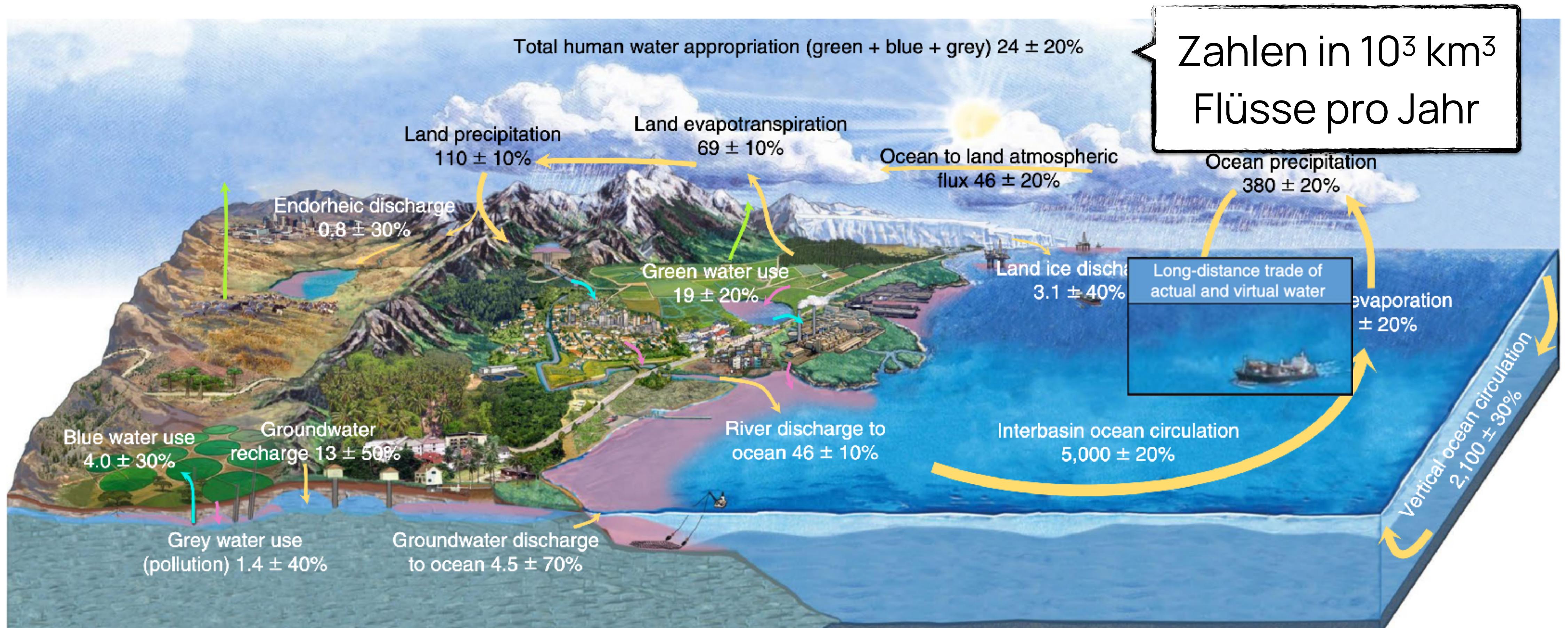
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



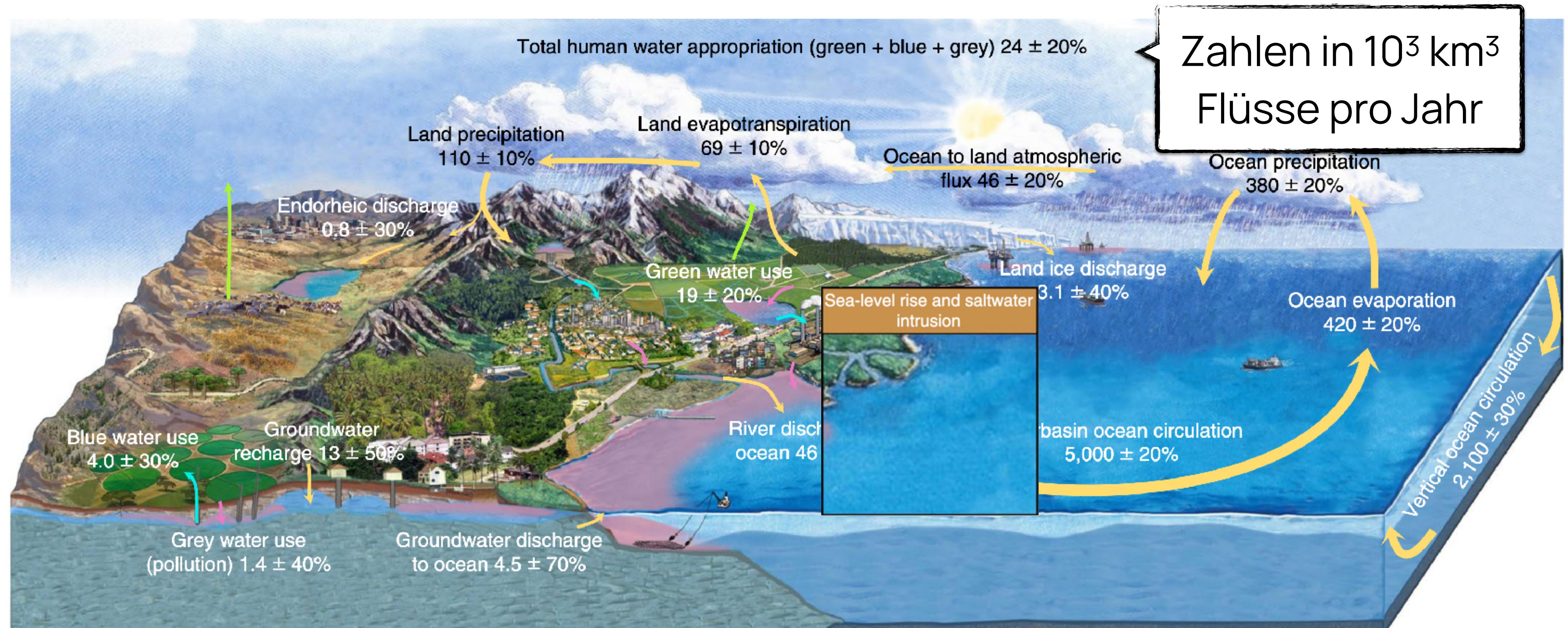
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



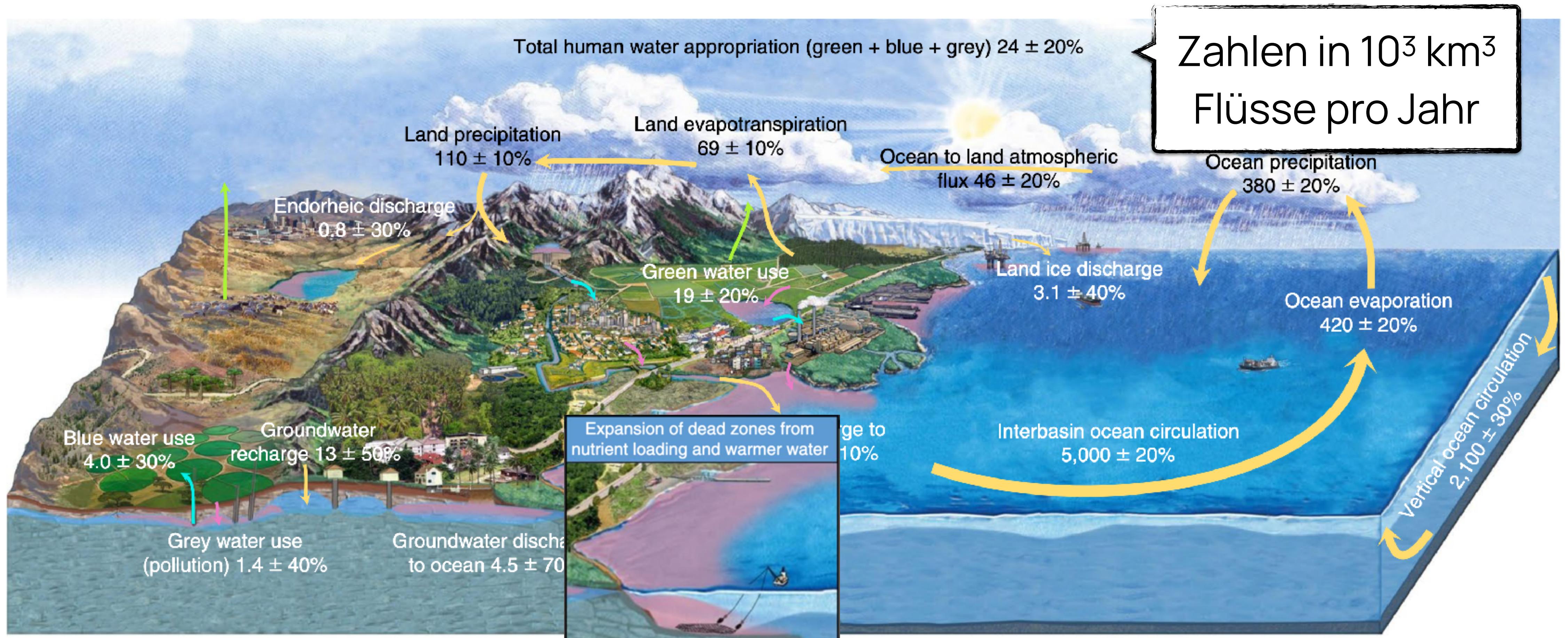
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



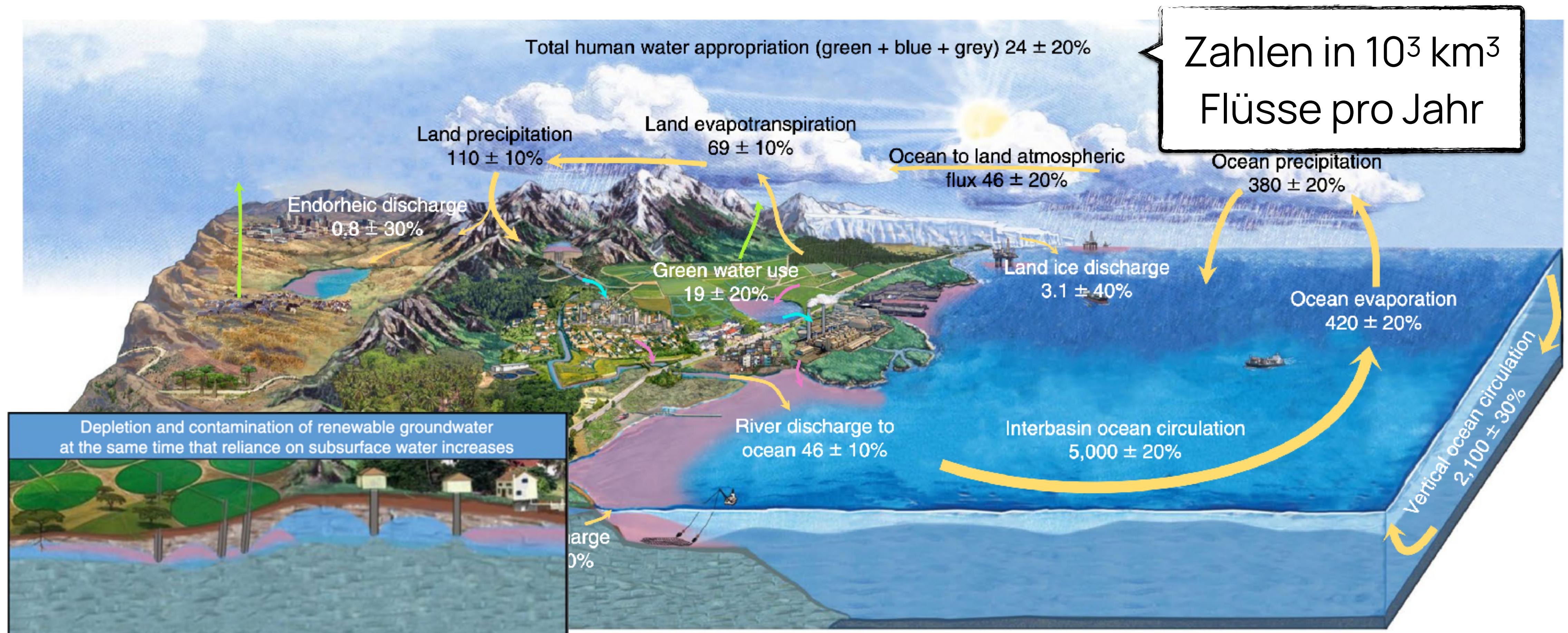
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



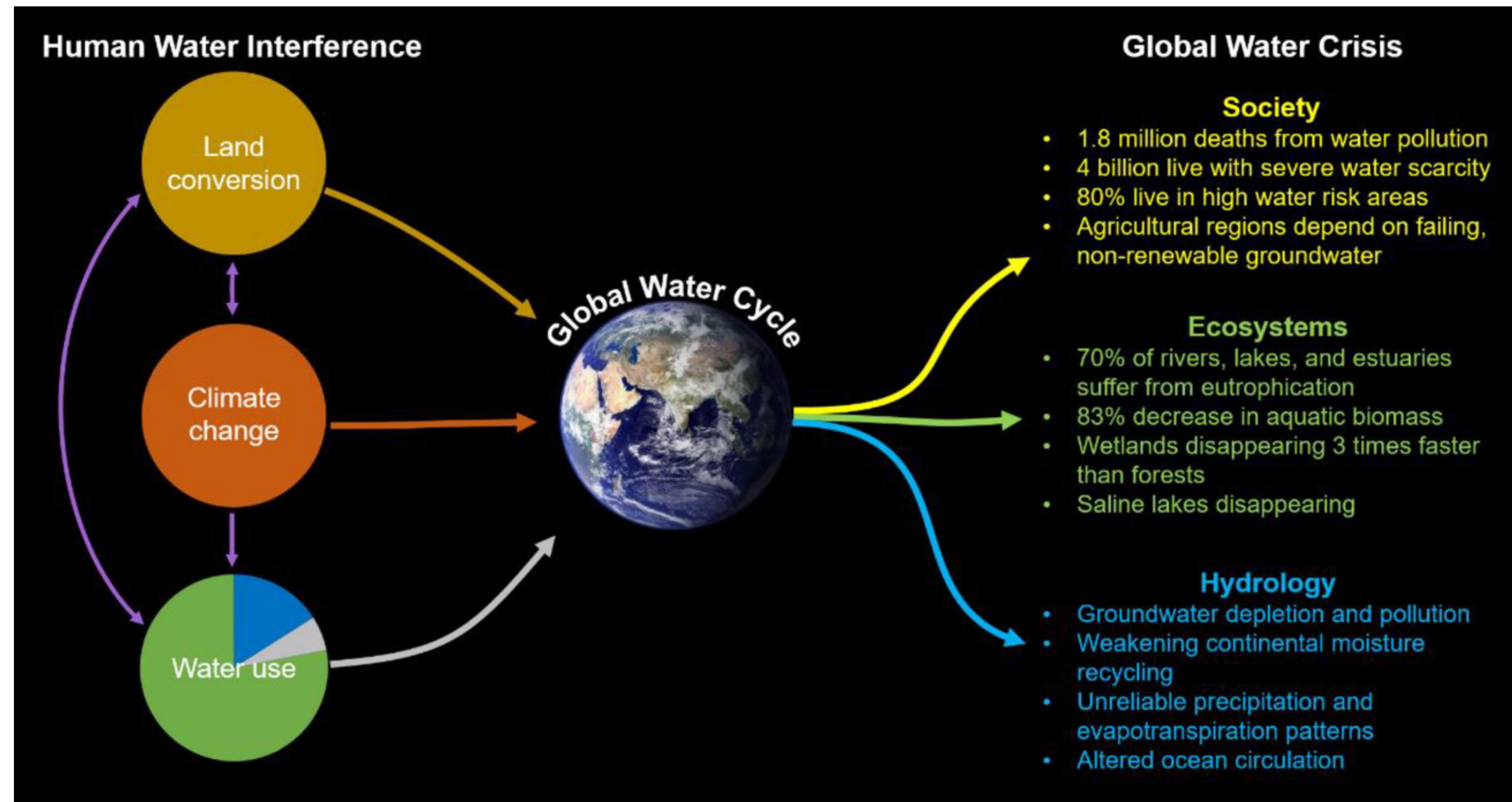
Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf

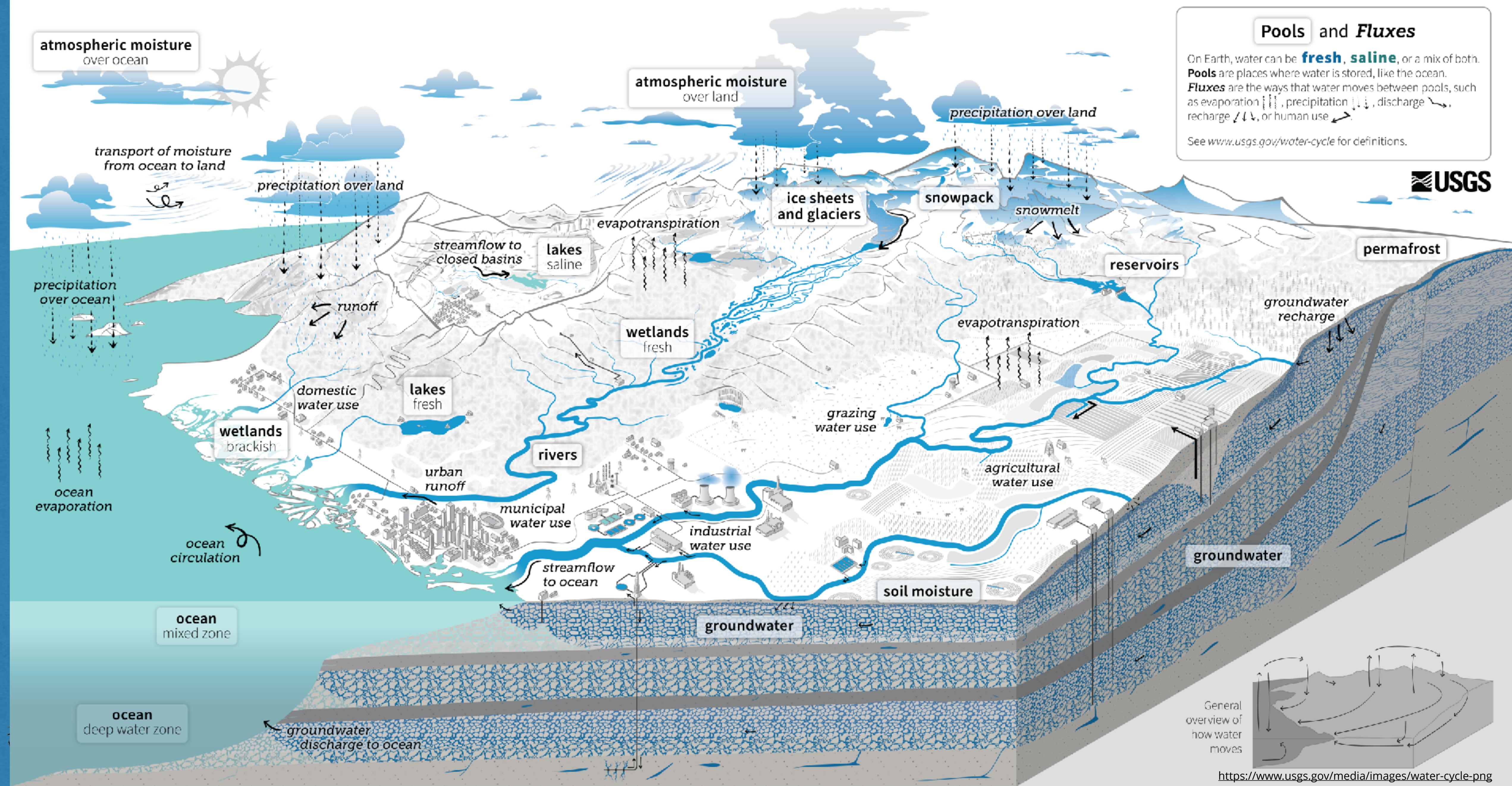


Hydrologie im Anthropozän

Versuch der Abschätzung des Einflusses der Menschen auf den Wasserkreislauf



updated water cycle from USGS



Hydrologische Systeme

als Ressourcen-Wissenschaft



zu viel Wasser

- Hochwasserschutz
- Risikoabschätzung

zu wenig Wasser

- Wassermanagement
- Optimierung

zu schmutzig

- Vermeidung von Verschmutzung

Hydrologische Systeme

als Erdsystem-Wissenschaft



Fluviale Strukturen

- Selbstorganisation auf allen Skalen

Biogeochemische Kreisläufe

- ohne Wasser?

Habitat

- Leben
- Produktion

Klimafaktor

- Speicher
- Antrieb

Hydrologische Systeme

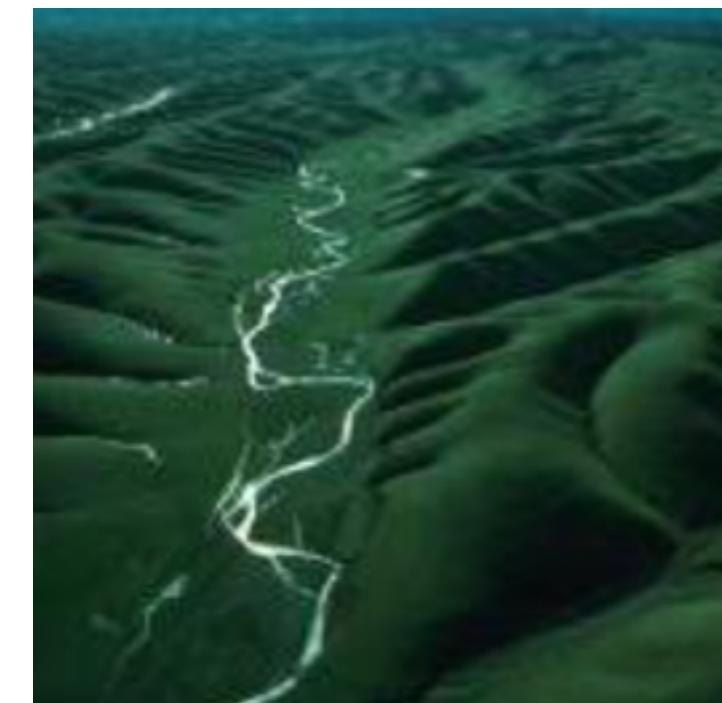
Prozesse + Landschaftsstruktur = Funktion

Was passiert bei Änderungen?

- Landnutzung
- Wassernutzung
- Klima

Wasser bildet sich seine Abflussbahnen

- Selbstähnlichkeit der Strukturen
- In Strukturen sehr viel effizientere Drainage



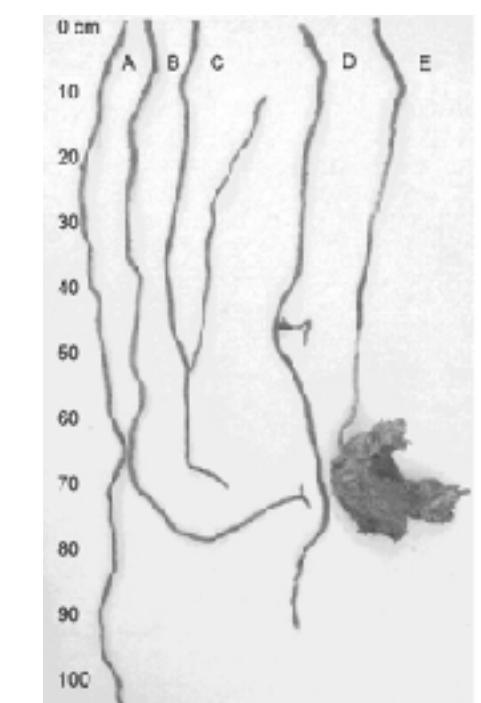
10.000 m



100 m



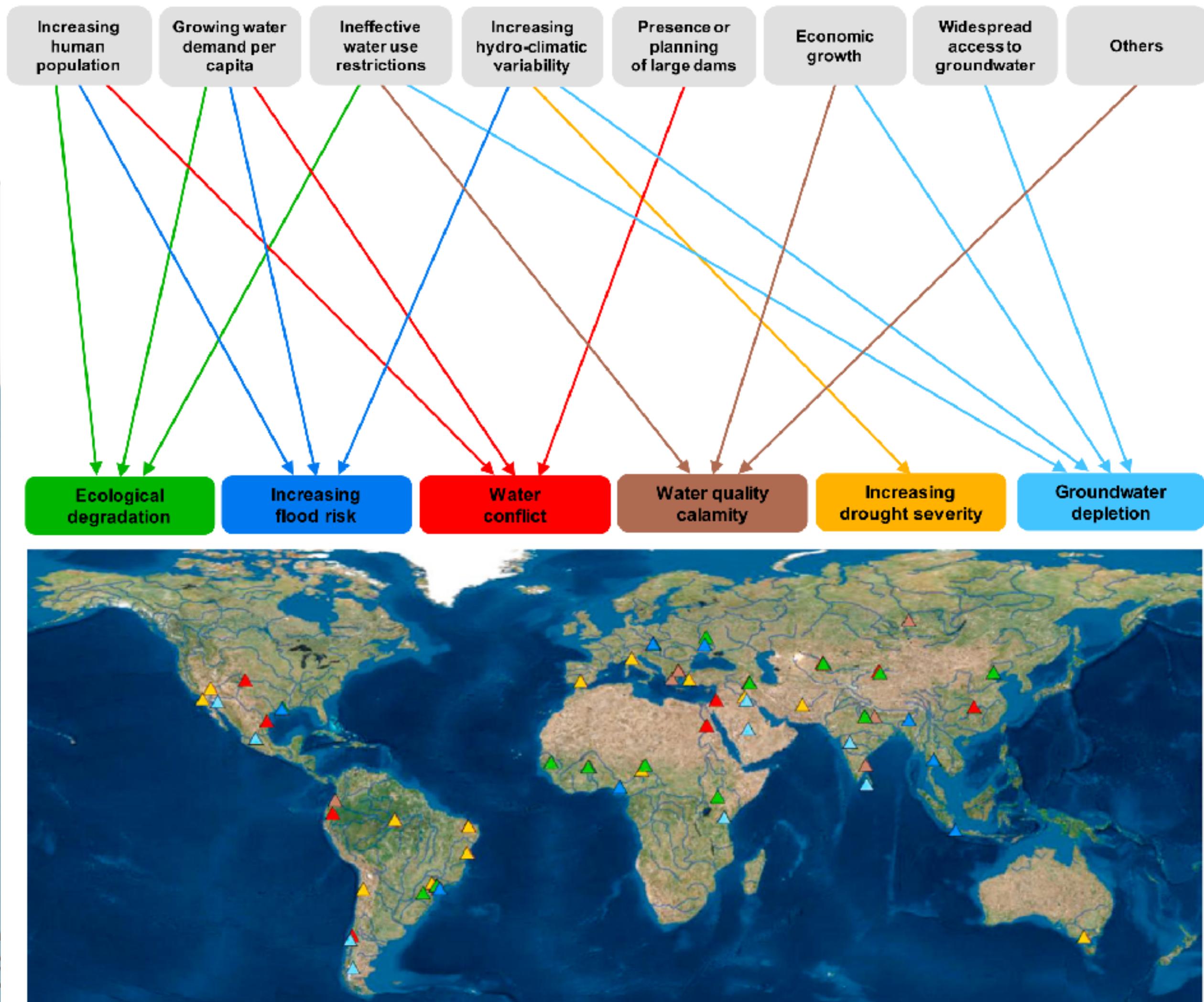
10 m



1 m

Wassermanagement

Hotspots von Wasserkrisen

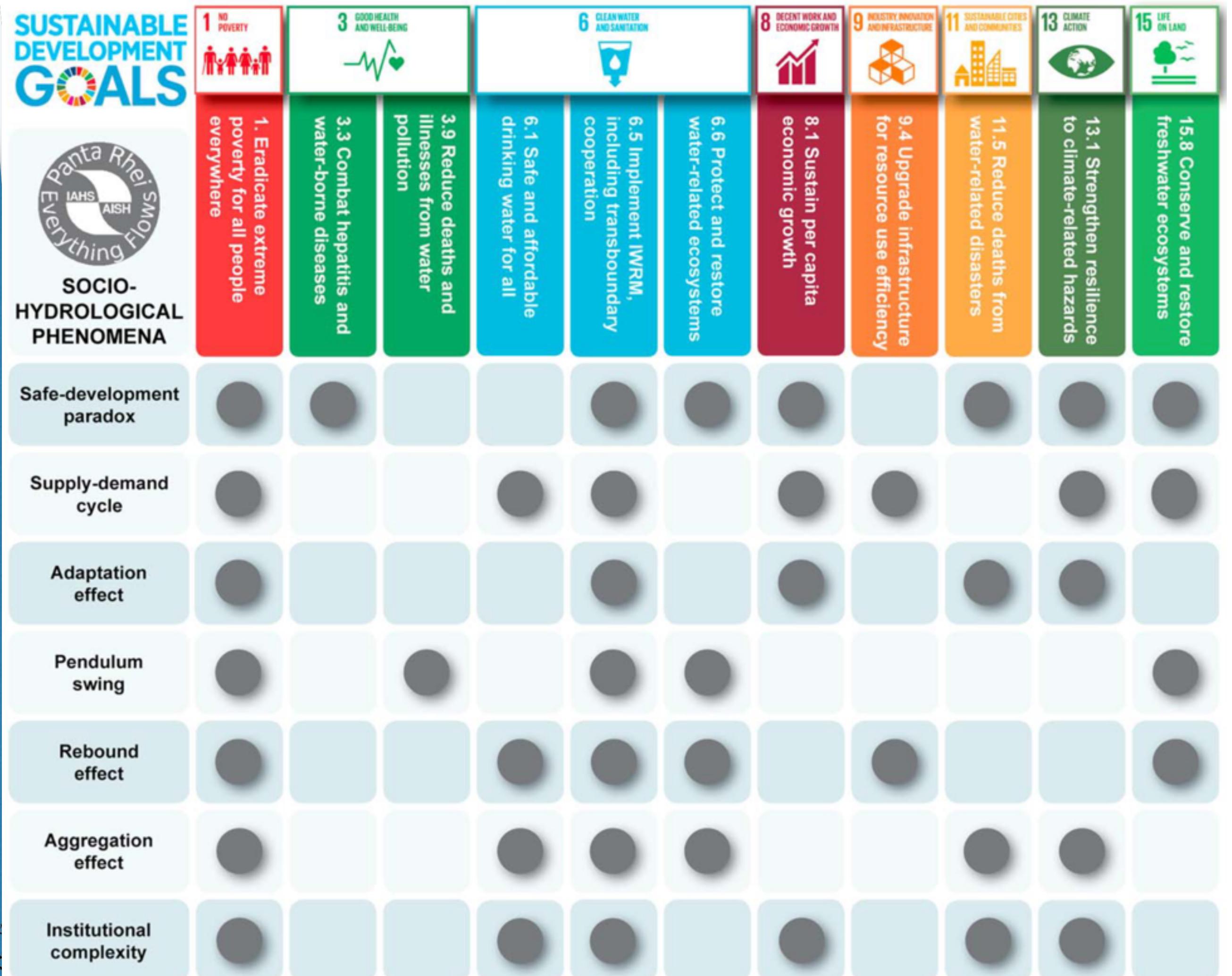


Hydrologische Fragen

- Erhaltung der Grundwasser
- Abmilderung von Extremen
- Verbesserung der Qualität
- Zugang zu Wasser
- Wasser und Ökologische Funktion

Wassermanagement

Sustainable Development Goals

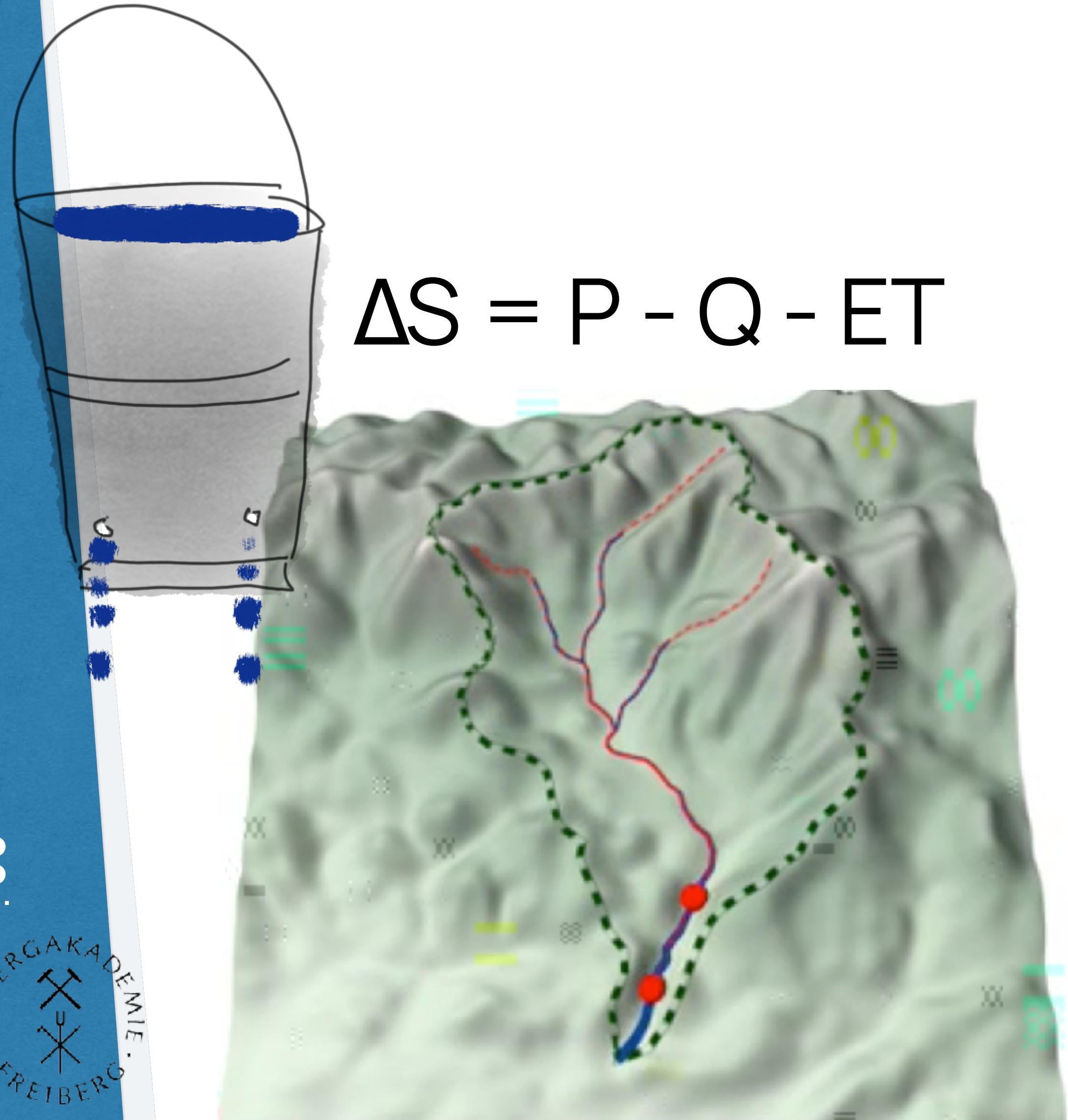


Hydrologische Fragen
zunehmend verwoben mit
sozialen Fragen

- Effekte nicht eindeutig
- Unbeabsichtigte Nebeneffekte
- Unterschiedliche Zeithorizonte

Wassermanagement

Hydrologie als Sozialwissenschaft



Das Einzugsgebiet verzerrt Raum und Zeit

- In fast allen Gebieten wird Grundwasser oder Gletscherwasser genutzt, welches selten in den Bilanzen auftaucht und sehr ungleich längere Zeitskalen mit sich bringt
- Annahme der geschlossenen Wasserbilanz hat sich vielfach als falsch erwiesen

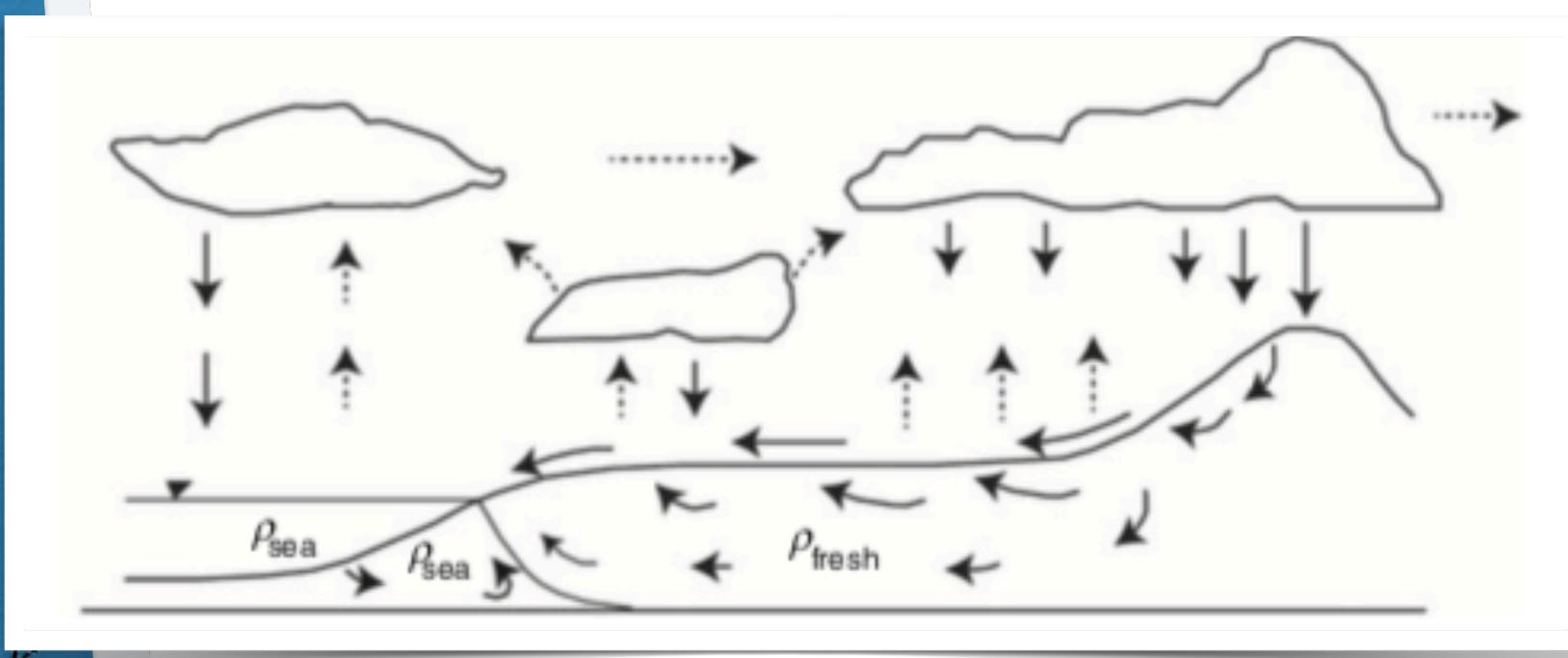
Viel Wassermenge, wenig Wasserqualität

- Wasser in nutzbarer Qualität ist (k)eine Selbstverständlichkeit

Zusammenfassung

Wasserkreislauf

- Massenbilanz
- verschiedene Speicher
- verschiedene Pfade
- verschiedene Verweilzeiten



Wasserbilanz

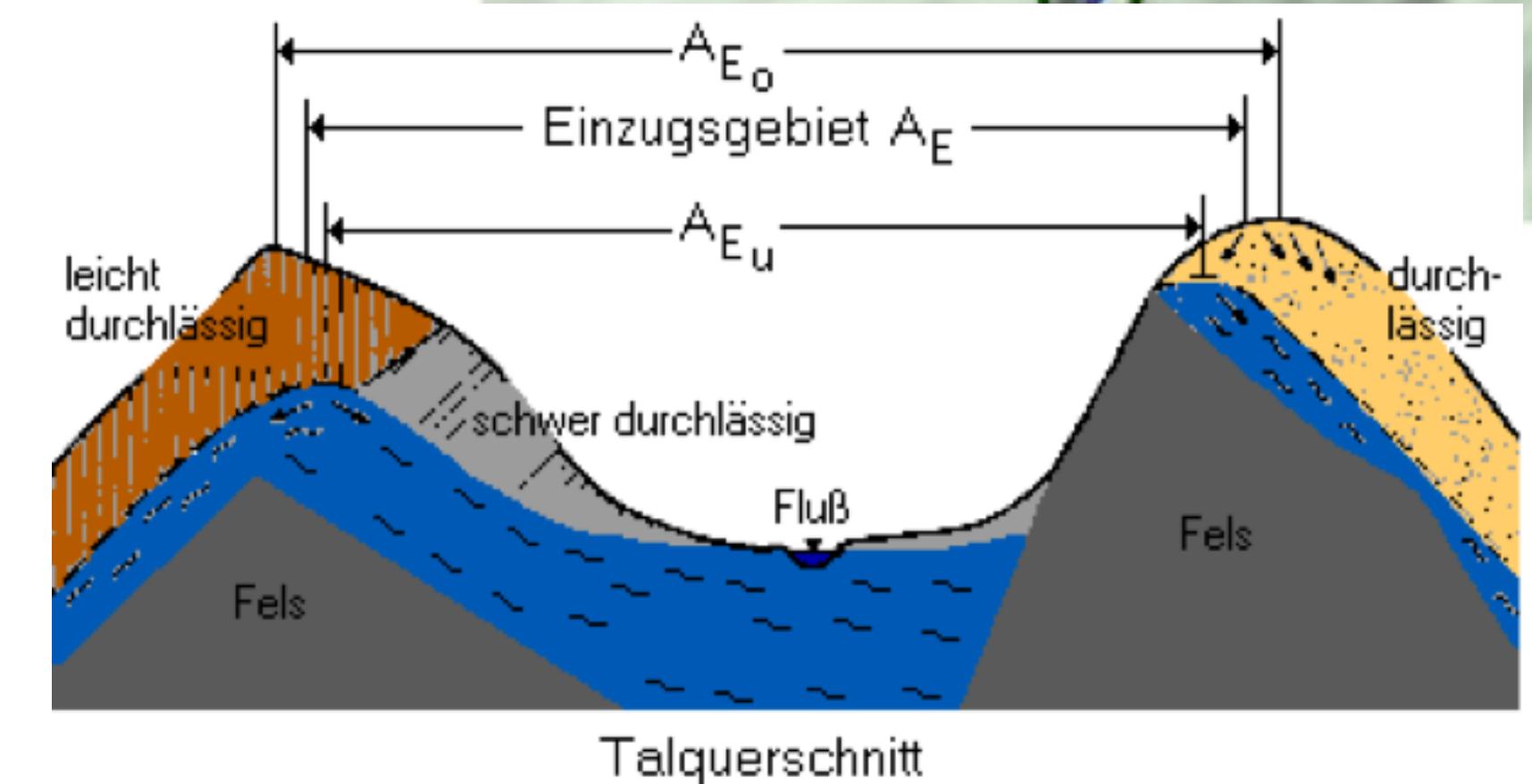
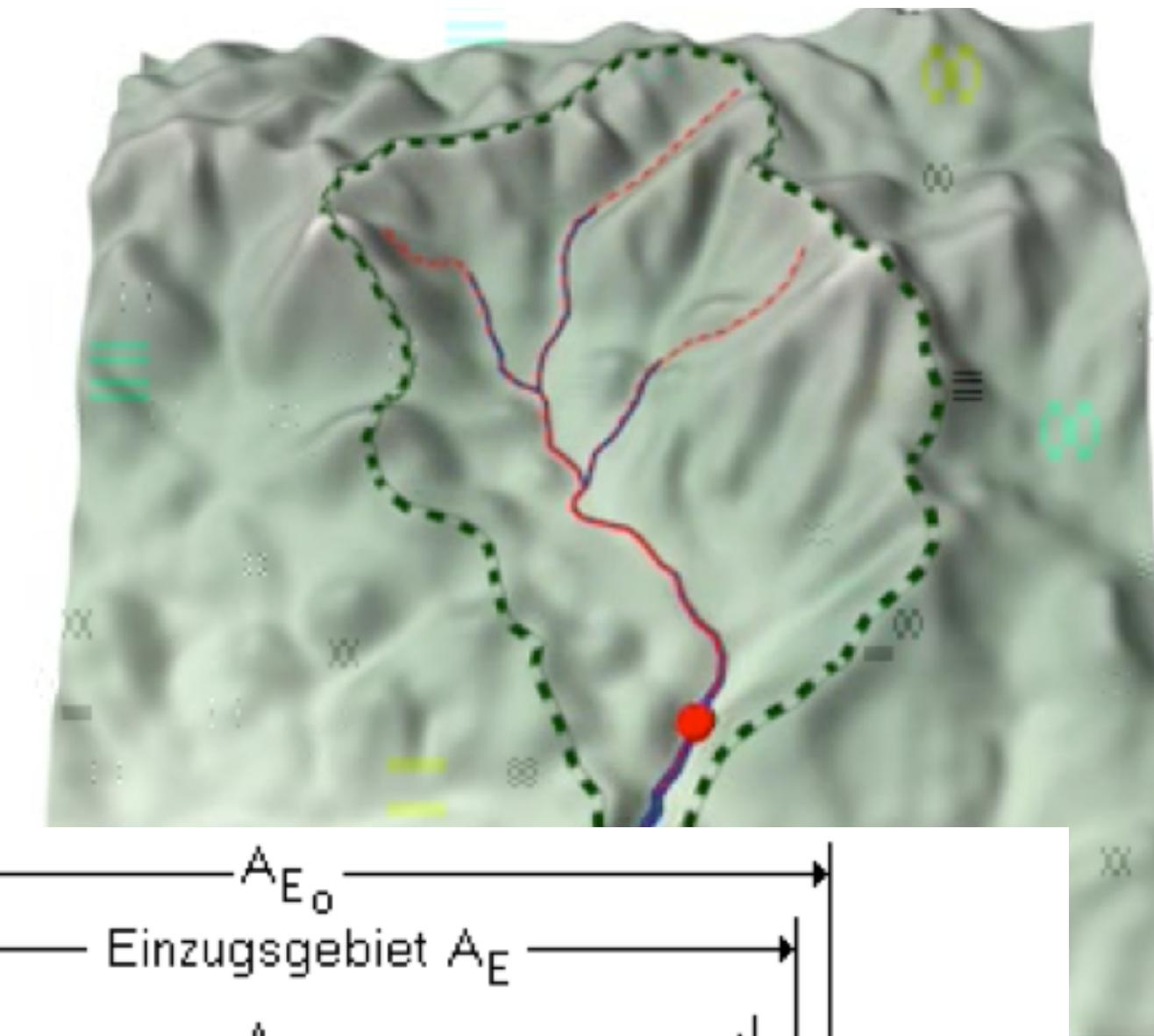
- Massenbilanz

$$\Delta S = P - Q - ET$$

- ΔS :: Speicheränderung
- P :: Niederschlag
- Q :: Abfluss
- ET :: Verdunstung

Einzugsgebiet

- Referenzfläche



Hydrologie



Wissenschaft der Eigenschaften, Verteilung und Kreisläufe von Wasser auf und unter der Erdoberfläche sowie in der Atmosphäre

