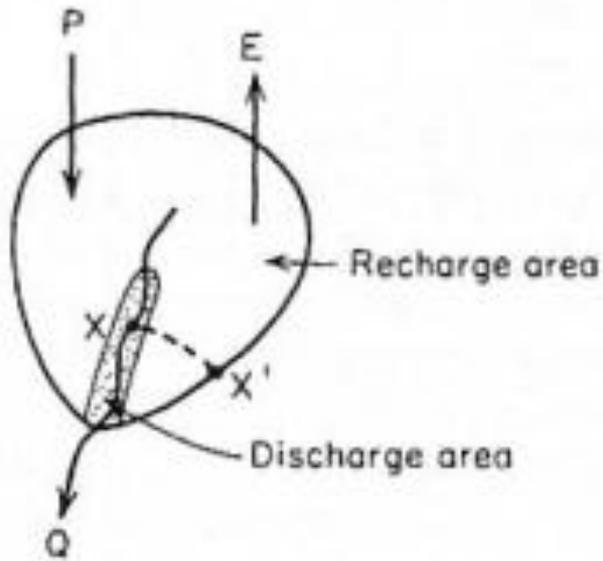


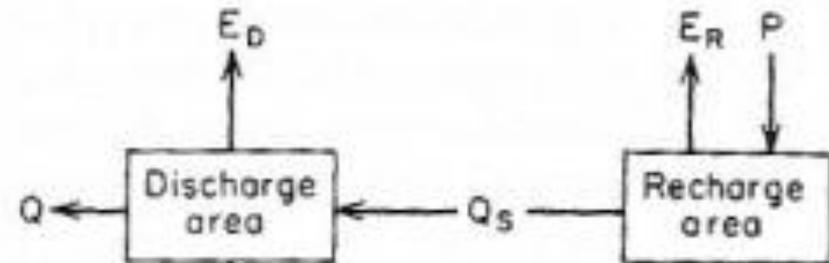
Vorlesung
Übungen

Eigene
Arbeit

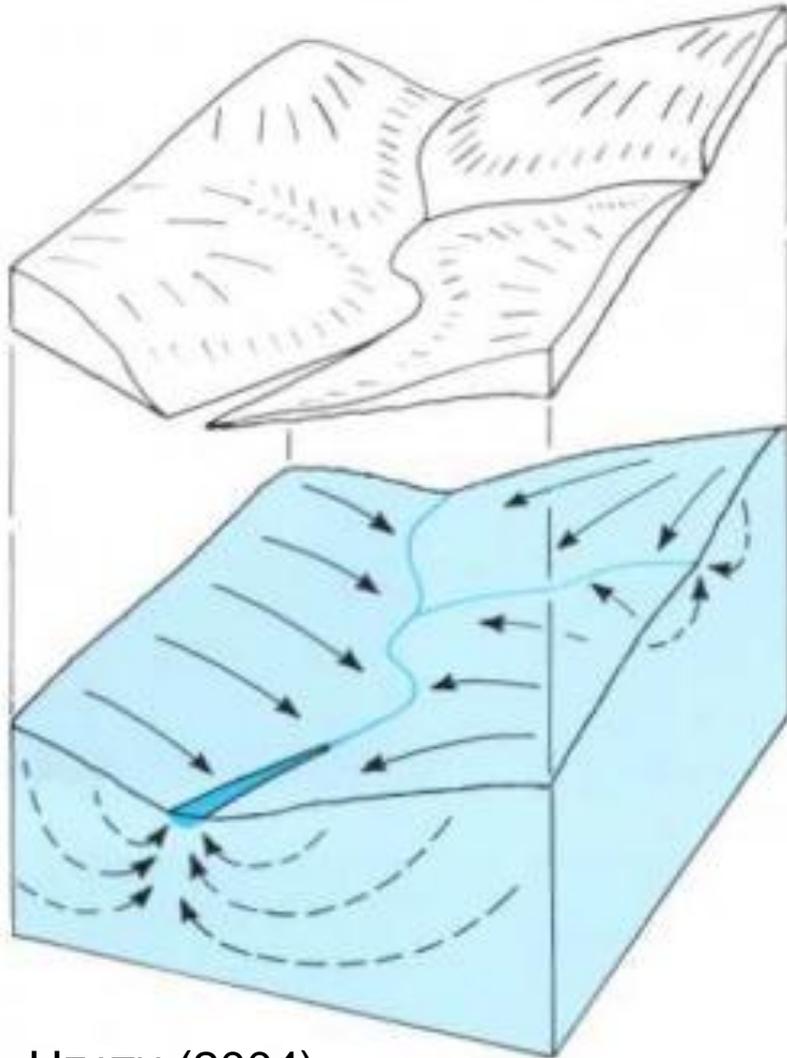
Gruppenarbeit



(a)



FREEZE & CHERRY (1979)



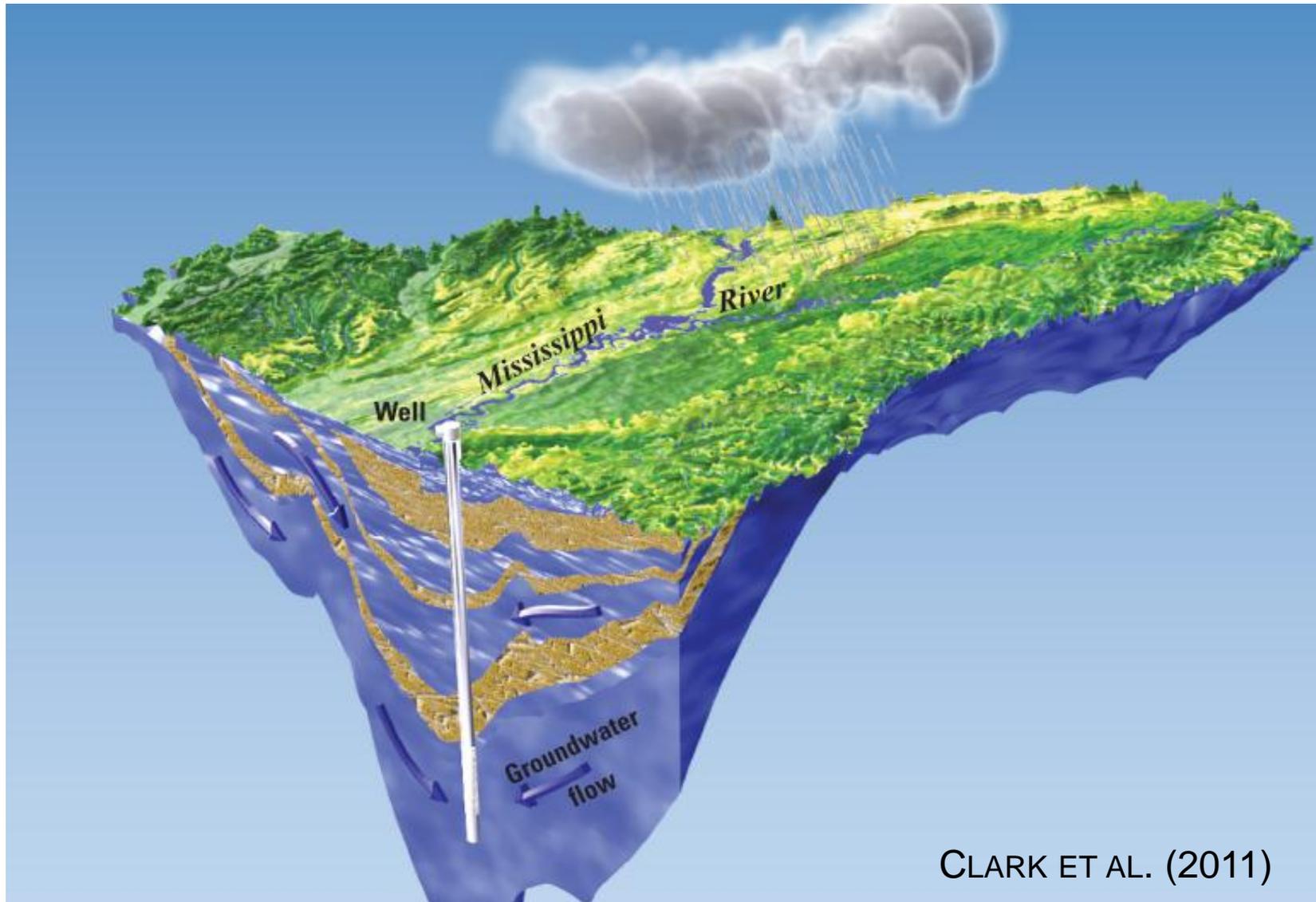
HEATH (2004)

Grundwasser ist meist nicht sichtbar

Management beruht auf Konzepten und Veranschaulichung (Modellierung) des Unsichtbaren.

Missmanagement auch ...

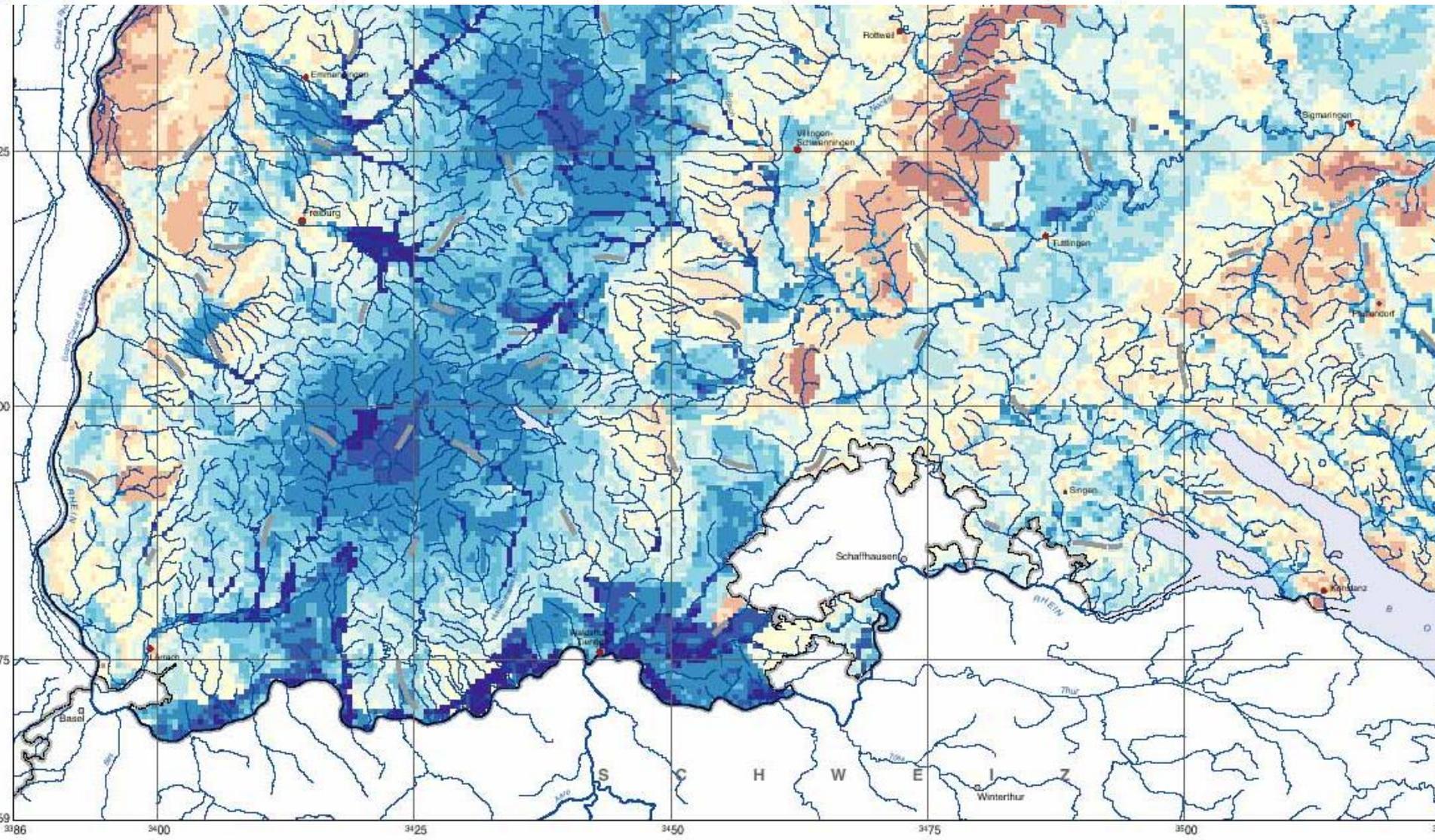
Ziel: Die Grundlagen der Hydrologie



CLARK ET AL. (2011)

Mittlere jährliche Grundwasserneubildung [mm]

Struktur: 1. Rein (Grundwasserneubildung)

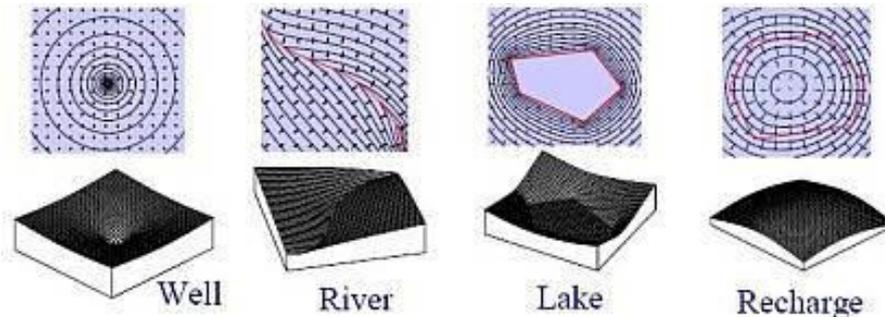


Darcy's Law

Das Gesetz von Darcy lautet:

$$v_f = \frac{Q}{A_x} = -K_{hx} * \frac{dh}{dx}$$

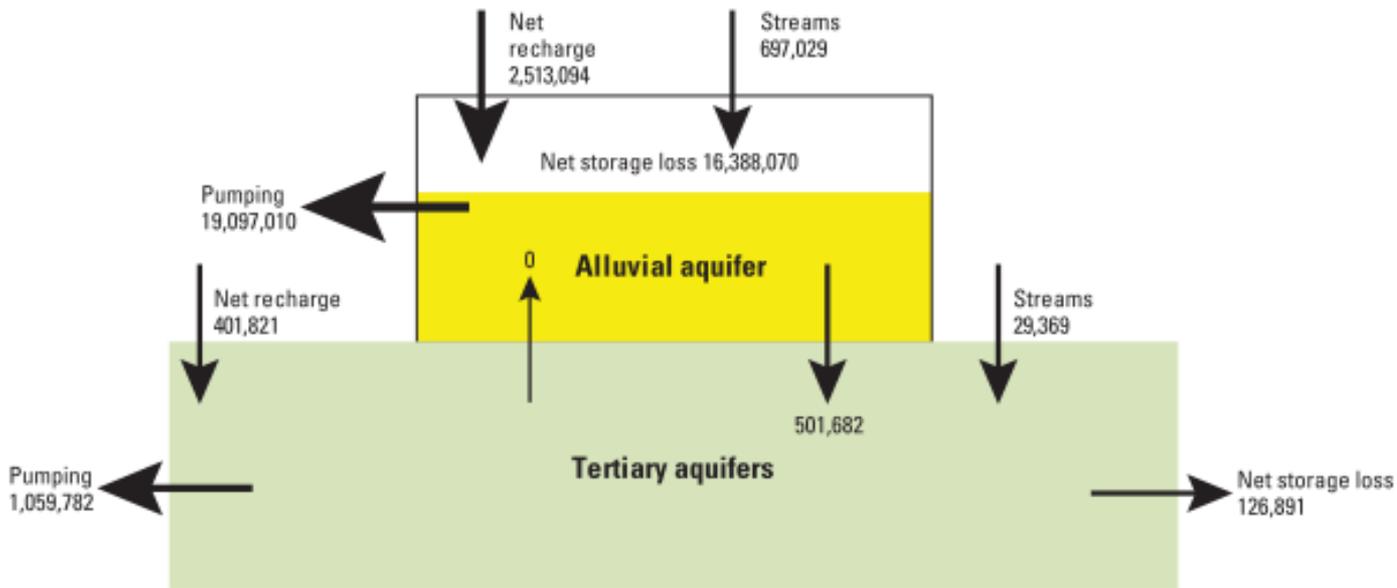
Hierbei sind v_x spezifischer Abfluss oder Filtergeschwindigkeit (engl. specific discharge) mit der Einheit $[LT^{-1}]$ als m/s . Hierbei ist K_x die hydraulische Leitfähigkeit und der Term dh/dx stellt den Gradienten dar. Der Gradient hat keine Einheit, er kann angegeben werden zum Beispiel über den Höhenunterschied der Wasserspiegeloberfläche über eine gewissen Distanz: z. Bsp. $5m/100m = 0.05$. Ist der Gradient 1, so entspricht der spezifische Abfluss der hydraulischen Leitfähigkeit K_{hx} .



3. Speicherung und Bilanz

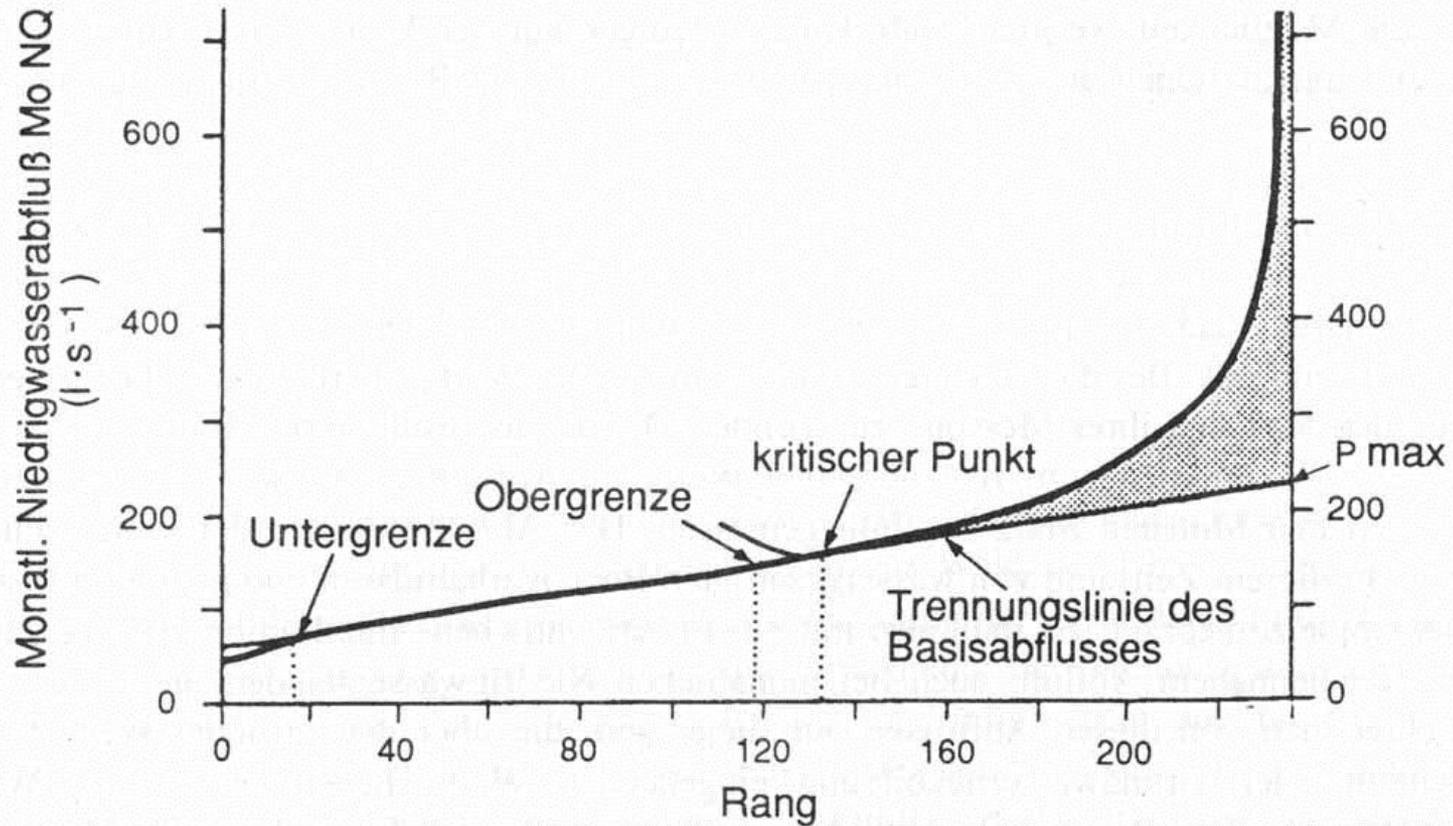
GWN über Hydrologische Bilanzen

$$\text{GWN} = \text{N} - \text{A} - \text{V} \pm \Delta S$$



CLARK ET AL. (2011)

4. Raus: Quellen, Abfluss

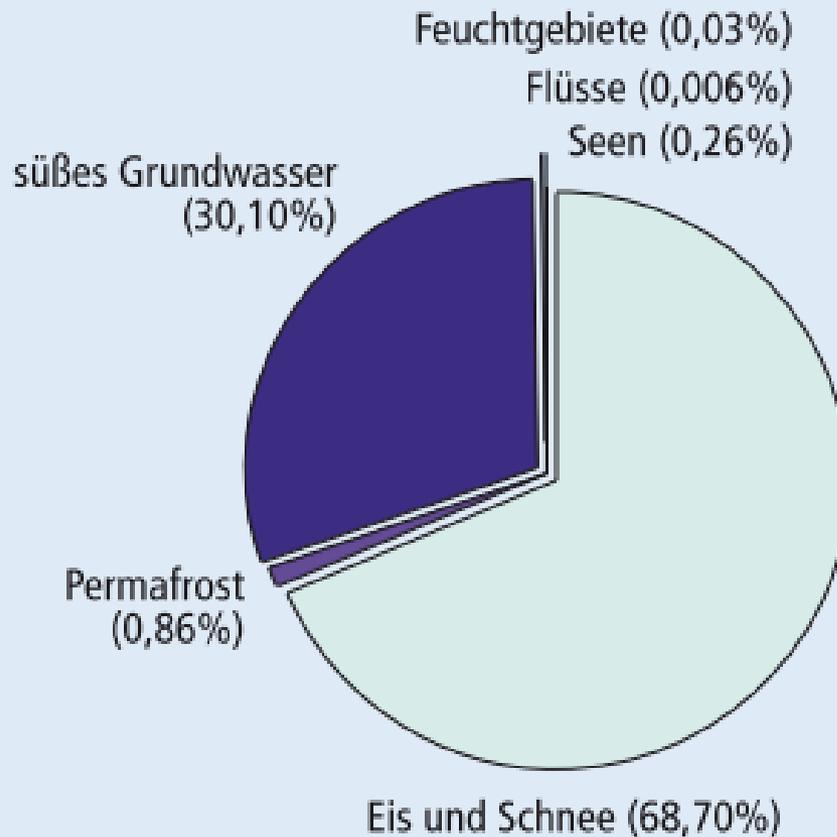


Ermittlung der Grundwasserneubildung nach dem Demuth-Verfahren (schematisch)

- **Hydrologisch**: (oft wichtigstes) Speicherglied des Wasserhaushalt eines Einzugsgebiets
- **Landschaftsökologisch**: oberflächennahes GW beeinflusst Landschaftselemente
Herkunftsraum von Abflusskomponenten: Niedrigwasser, Hochwasser
- **Wassernutzung (Ressource!)**: Grundwasserdynamik, Wasserversorgung (immer mehr Grundwasser); in BRD ca. 75 % der öffentlichen Wasserversorgung
- **Energie**: Geothermische Nutzung

Probleme: Wasserquantität und Wasserqualität

Süßwasserressourcen der Erde



Quelle: nach UNESCO 2003

Grundwasser macht **100 x so viel** der Ressourcen aus, **wie Flüsse, Feuchtgebiete und Seen** zusammen (0,3 %)

30,1 % aller Süßwasser-Reserven

Eis und Schnee und Permafrost 69,6 %

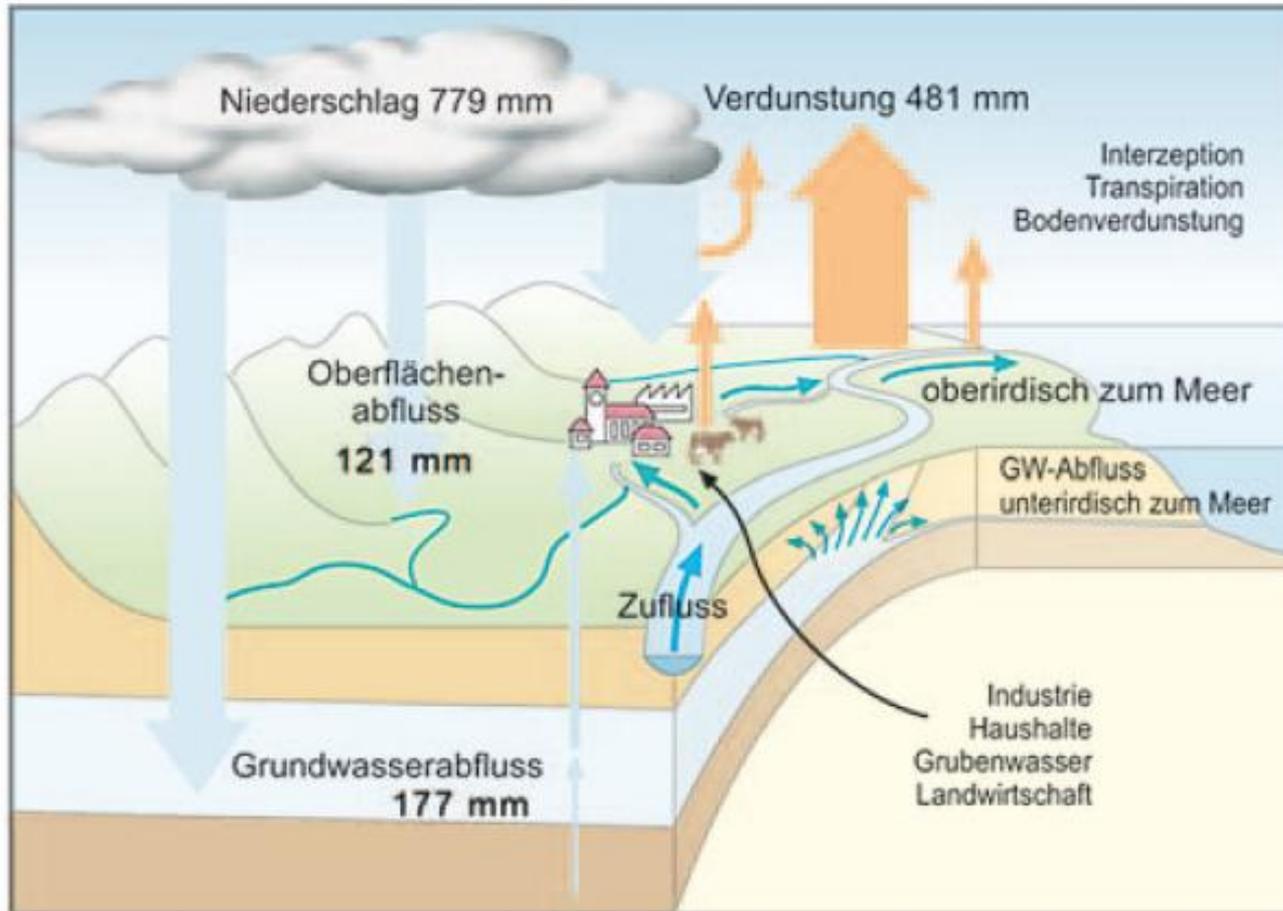
Element of water budget	Europe	Asia	Africa	North America	South America	Australia
Total precipitation (volume over given continent (km ³))	7,162	32,590	20,780	13,810	29,255	6,405
Total precipitation (% of total global precipitation)	6.51	29.63	18.89	12.55	26.60	5.82
Evapotranspirative loss (% of total precipitation lost to actual evapotranspiration)	57	60	77	69	65	69
Available freshwater (% of total precipitation becoming surface runoff and groundwater recharge)	43	40	23	31	35	31
Surface runoff						
As % of total precipitation	28	30	15	21	22	24
As % of available freshwater	65	75	65	68	63	77
Total annual volume (km ³)	2,005	9,777	3,117	2,900	6,436	1,537
Groundwater recharge						
As % of total precipitation	15	10	8	10	13	7
As % of available freshwater	34	26	35	32	36	24
Total annual volume (km ³)	1,047	3,389	1,673	1,370	3,686	476
Groundwater discharge						
To rivers						
% of available freshwater	21	15	8	18	16	10
Total annual volume (km ³)	646	1,955	382	771	1,638	198
Submarine outflows						
% of available freshwater	13	11	27	14	20	14
Total annual volume (km ³)	401	1,433	1,291	599	2,048	278

7 bis 15 % des Niederschlages werden Grundwasser.

Das entspricht ca. 24-36 % der Frischwasserreserven.

Der Speicher wird hier nicht einbezogen!

YOUNGER (2006)



**Grundwasser-
abfluss 177 mm/a**

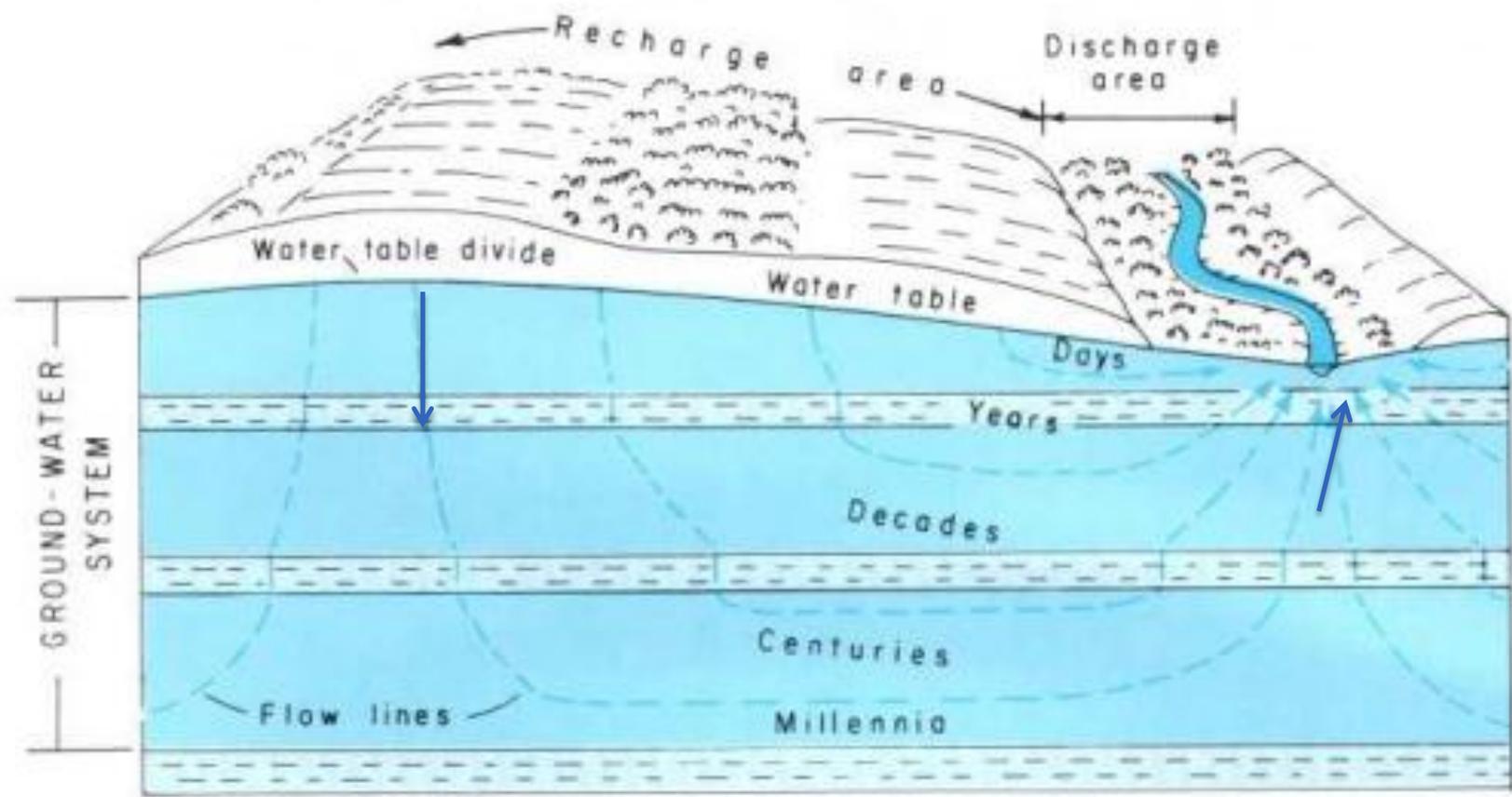
**Oberflächenabfluss
121 mm/a**

*Grenze ist unscharf:
Abfluss speist sich
aus Grundwasser*

*Hilfsmittel:
Hydrologischer Atlas
Deutschland (2003)*

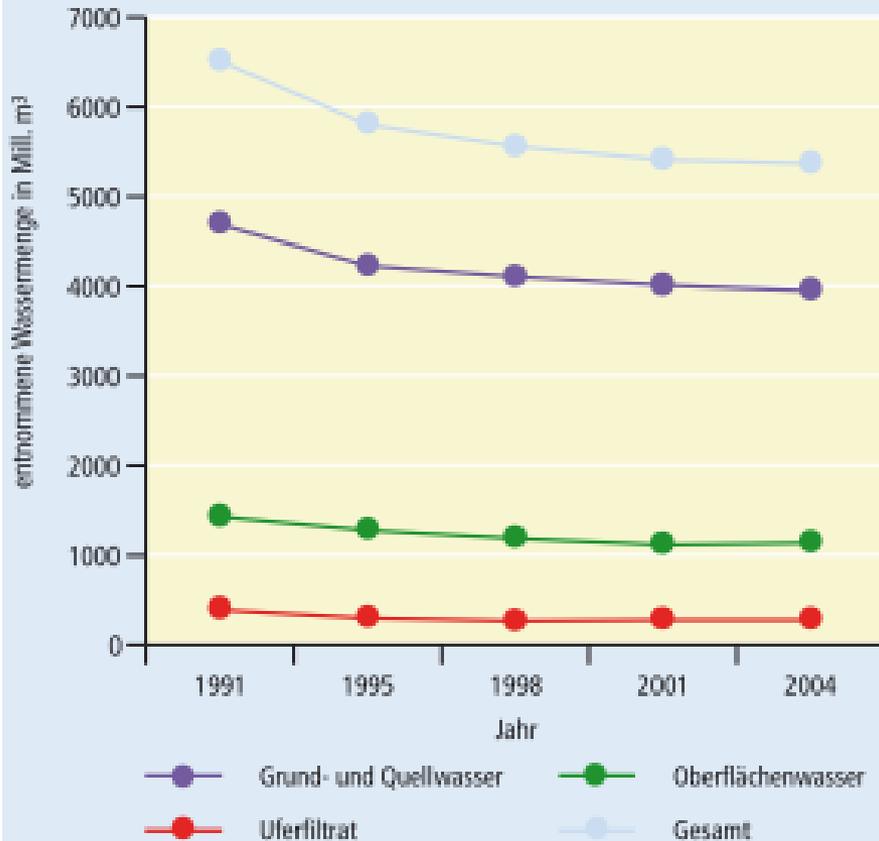
Quelle: Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD), BMU 2003

Bedeutung von Grundwasser: Speicher



HEATH (2004)

Entnommene Wassermenge für die Öffentliche Wasserversorgung getrennt nach Wasserarten



Quelle: Umweltbundesamt (UBA), 2007

Zwei Drittel des genutzten Wassers sind Grundwasser.

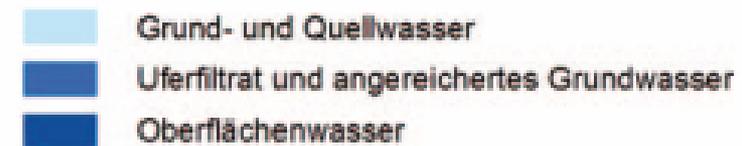
Genaugenommen mehr: Denn Quell- und Oberflächenwasser sind teilweise grundwasserbürtig.



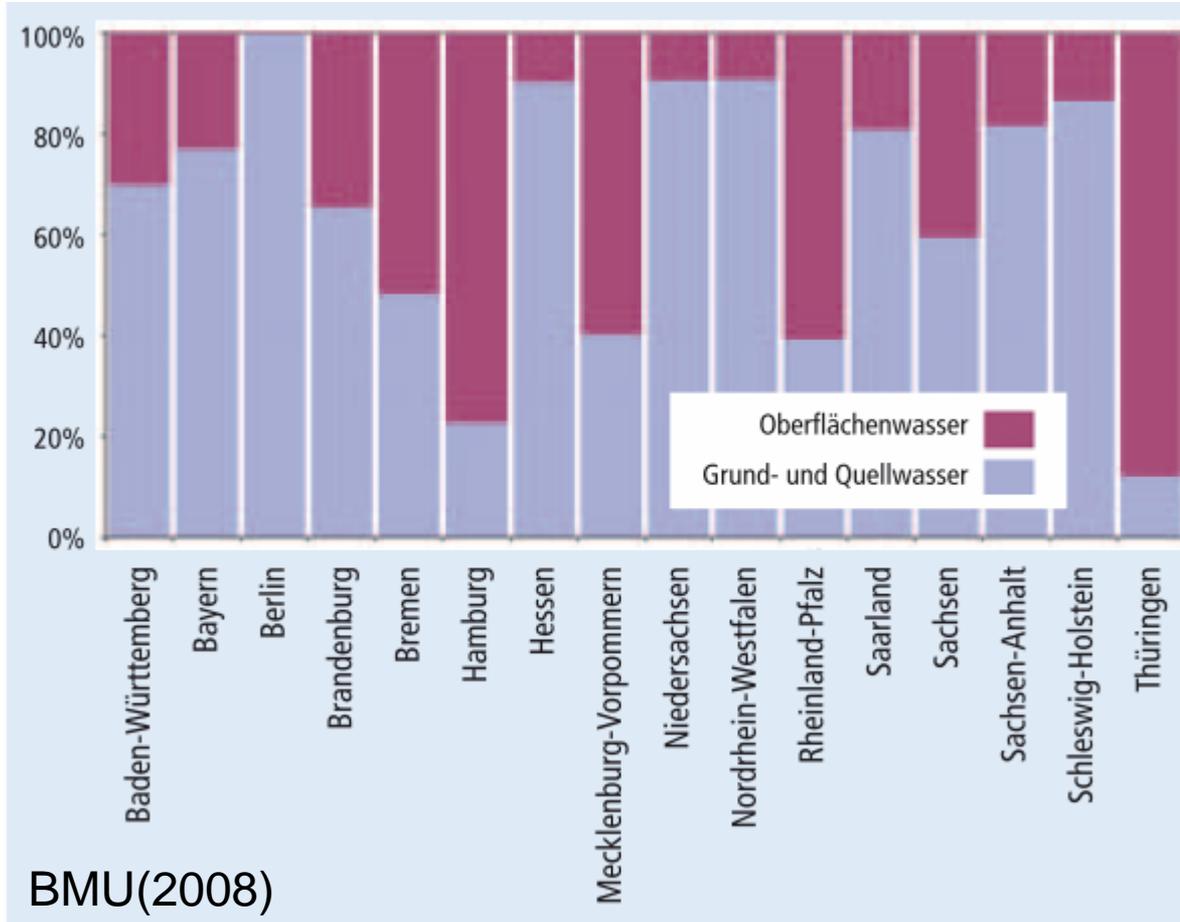
BMU (2008)

Anteile des Grundwassers an der gesamten Wasserversorgung:

Baden-Württemberg
70,9 %
Hamburg
100 %

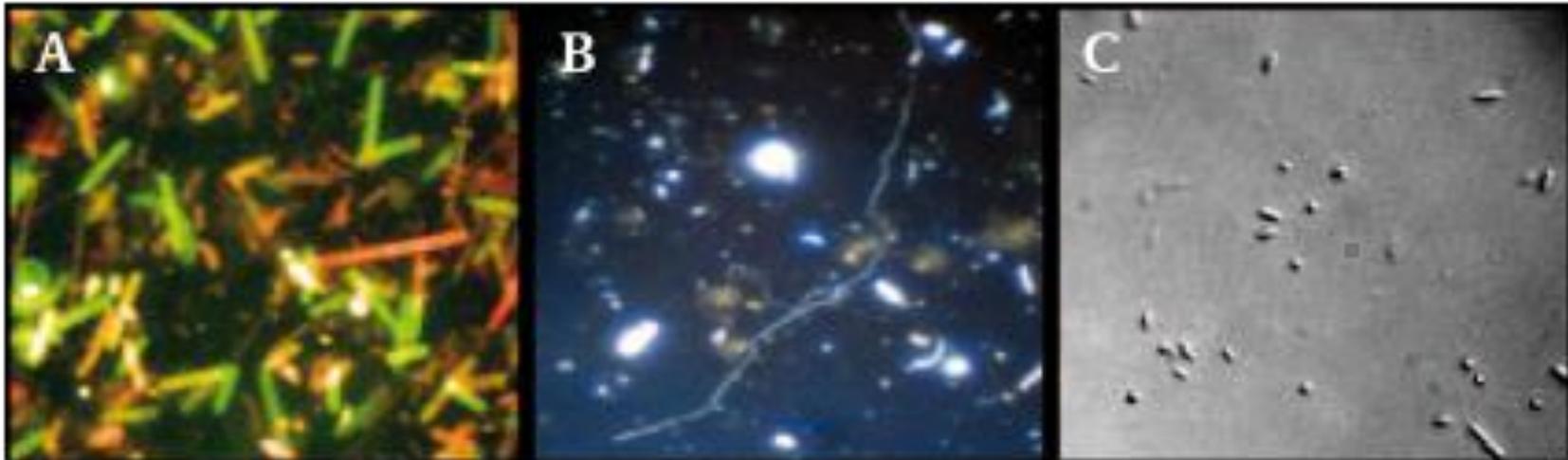


Nutzung je nach Bundesland, Beispiel Berlin und Thüringen, Baden-Württemberg



*Industrie nutzt
überwiegend
Oberflächen-
wasser*

*In Freiburg
Rhodia nutzt
Grundwasser
aus dem
Mooswald*



BMU (2008)

Bakterienhäufigkeiten und -größen im Vergleich

- (A) Bakteriengemeinschaft aus der Übergangsschicht zu Salzwasser unterhalb eines Sees (gefärbt mit Acridin Orange);
- (B) Bakterien in einem organisch verschmutzten Grundwasserleiter (gefärbt mit DAPI);
- (C) Bakterien in einem natürlichen Grundwasser (Phasenkontrastaufnahme)

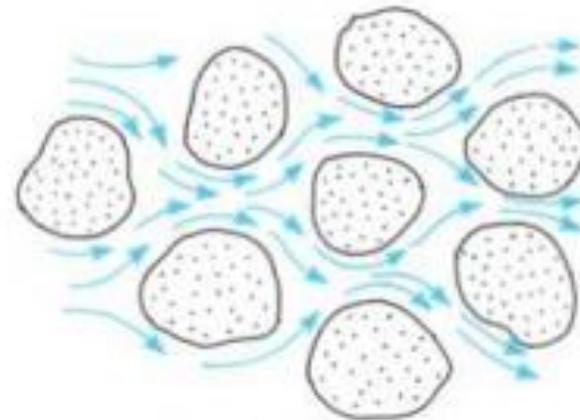


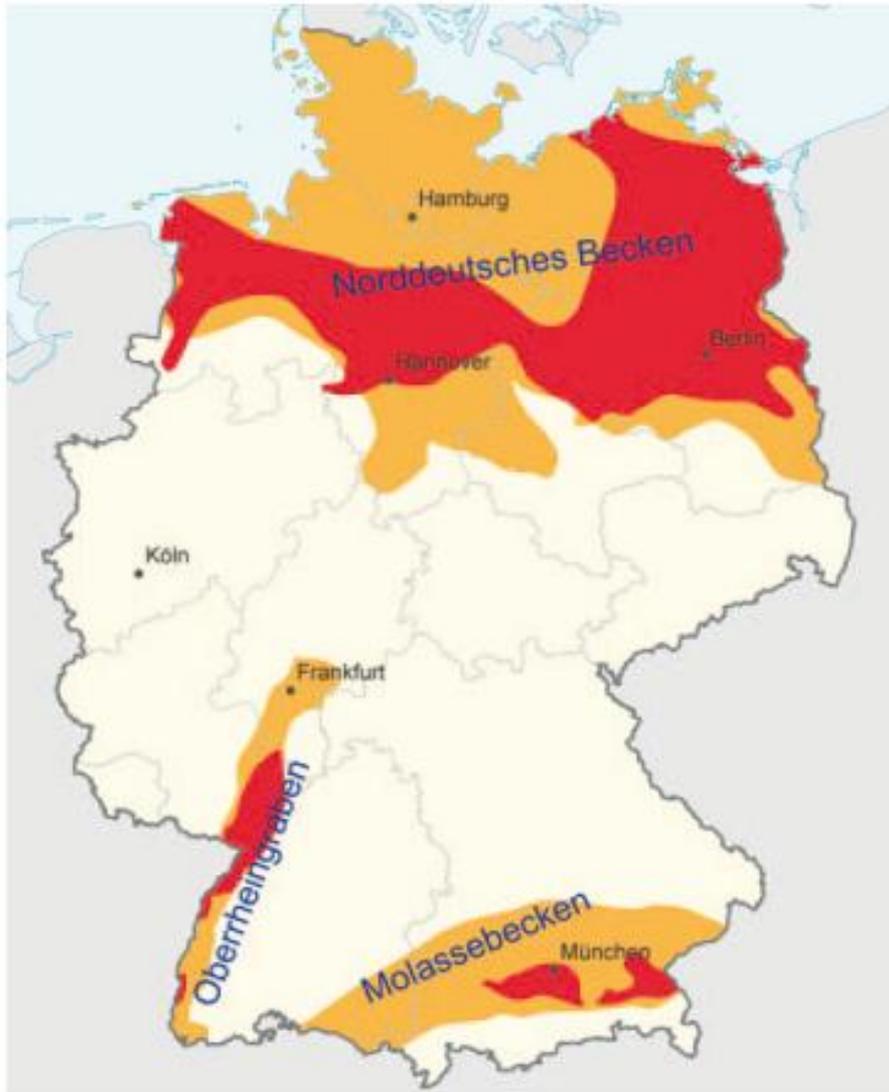
*Grundwasser hat ein hohes
Reinigungs- und Selbstreinigungs-
Vermögen.*

*Bakterien, meist an den Sedimenten
Haftend (**Biofilm**), bauen organische
Substanz ab und wandeln chemische
Stoffe um.*

**Bakteriengemein-
schaft im Grundwasser
(Phasenkontrastauf-
nahme)**

BMU (2008)





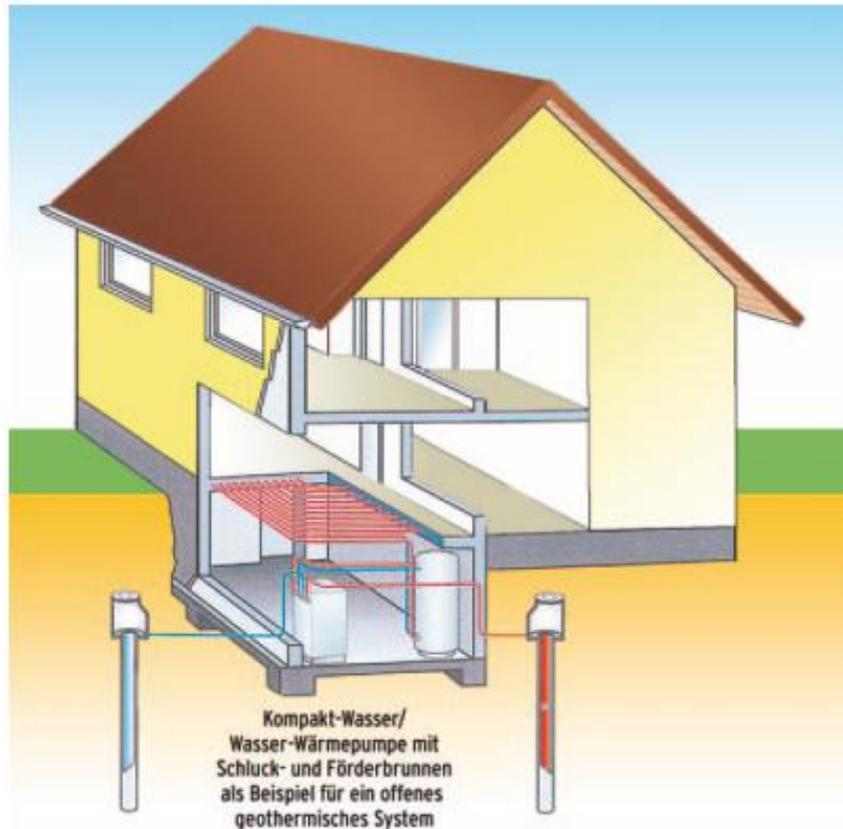
Geothermische
Nutzung des
Grundwassers:

- **Flach**
- **Tief**

Nutzung nur in 3
Gebieten möglich:
SW, SE, Norden

Übersicht über Gebiete, die für eine tiefe hydrogeothermische Nutzung möglicherweise geeignet sind:
Regionen mit Aquiferen, deren Temperatur über 100 °C (rot), bzw. über 60 °C (gelb) beträgt; 100 °C ist für eine Stromerzeugung, 60 °C für die direkte Wärmenutzung erforderlich

Quelle: Schulz, R., Agemar, T., Alten, A.-J., Kühne, K., Maul, A.-A., Pester, S. & Wirth, W. (2007): Aufbau eines geothermischen Informationssystems für Deutschland. Erdöl Erdgas Kohle 123, 2: 76-81; Hamburg.



*Geothermische
Nutzung des
Grundwassers:*

- **Flach: (offen),
geschlossen**
- *Tief*

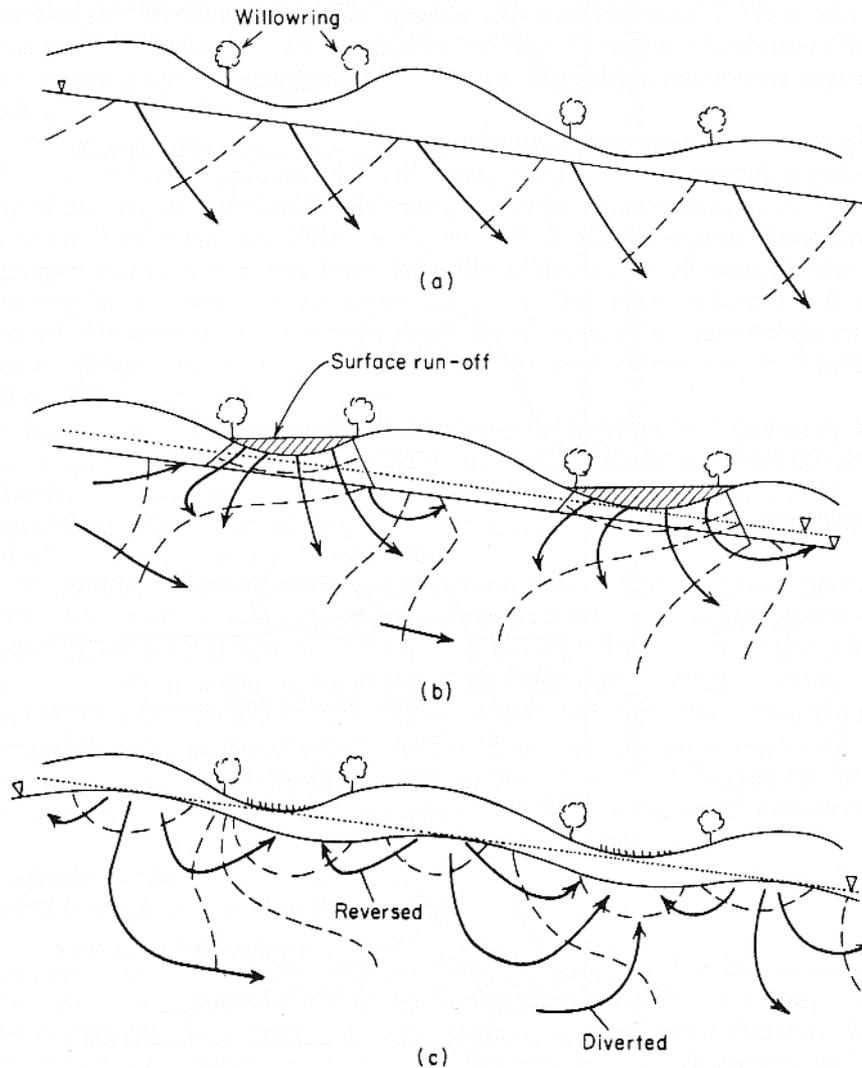
*Problem: Erwärmung
oder Abkühlung des
flachen Grundwassers*

BMU(2008)



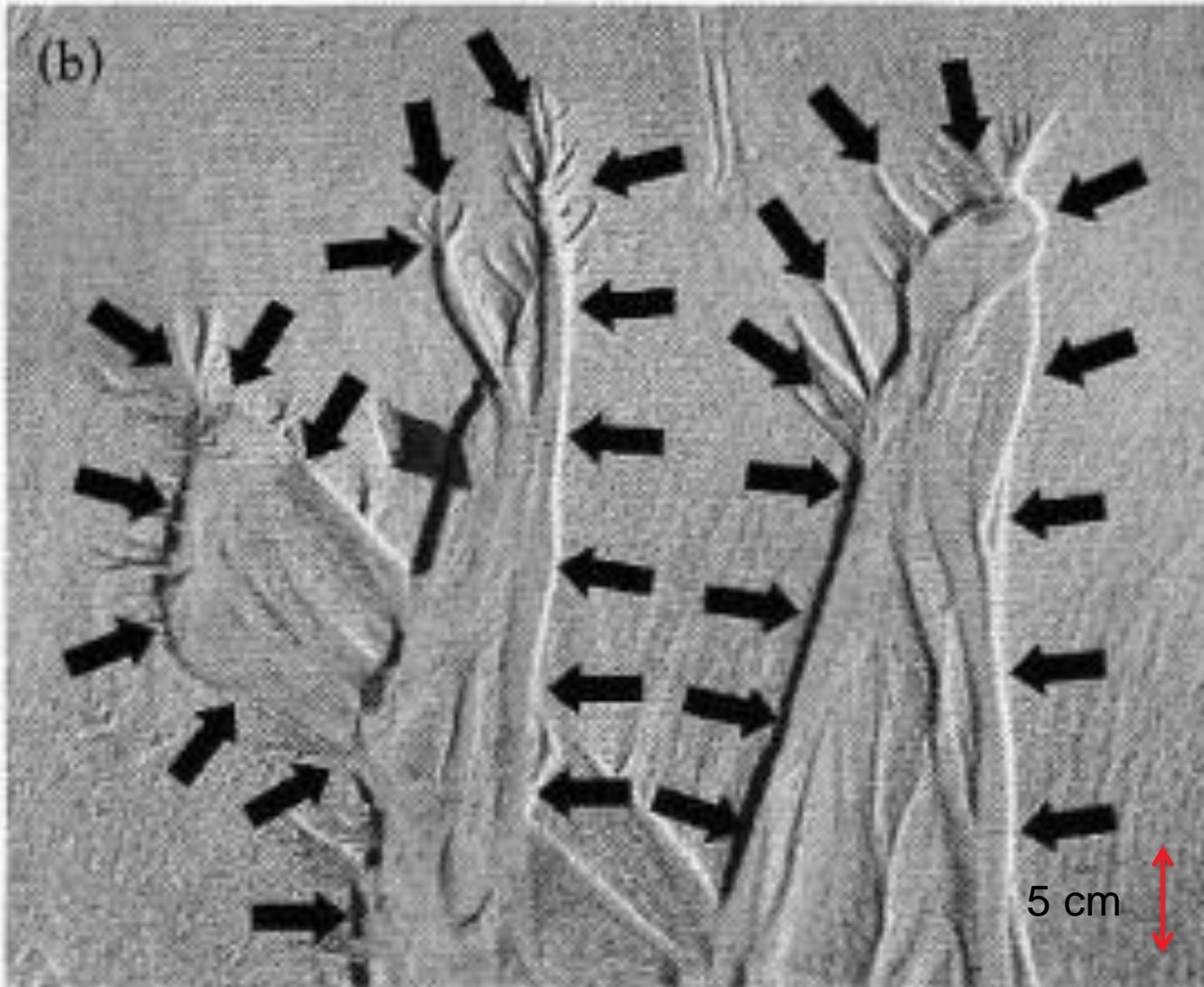
Moorlandschaft in Niedersachsen

BMU (2008)



- *Grundwasserregime können saisonal und jährlich wechseln*
- *und laterale und vertikale Umverteilung bewirken.*
- *Zu beachten bei Standortstudien*

FREEZE & CHERRY (1979)



Grundwasser bildet Formen:

- **Quelltrichter**
- **Täler**
- **Auen**
- **Pfannen**



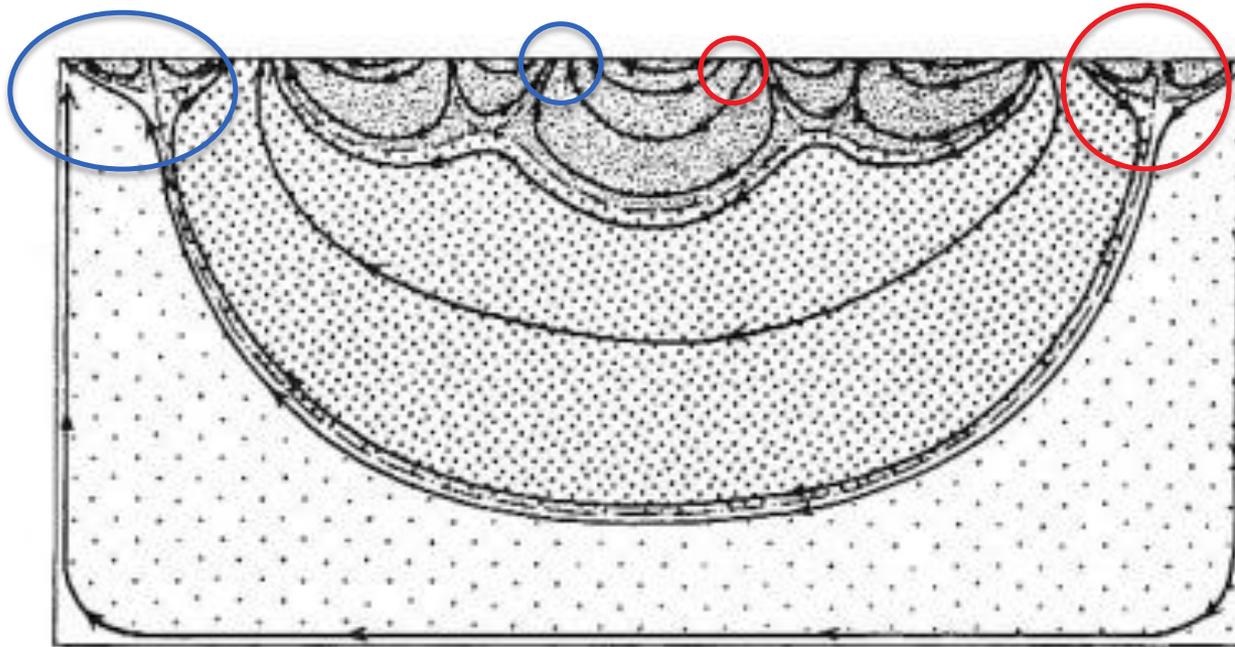


YOUNGER (2006)

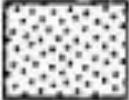
Grundwasser
kann
Erdrutsche
auslösen.

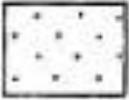
Grundwasser
verringert die
innere Reibung
und Stabilität.

**South-Wales,
Alberfan, 1966**



 Region of local system of groundwater flow

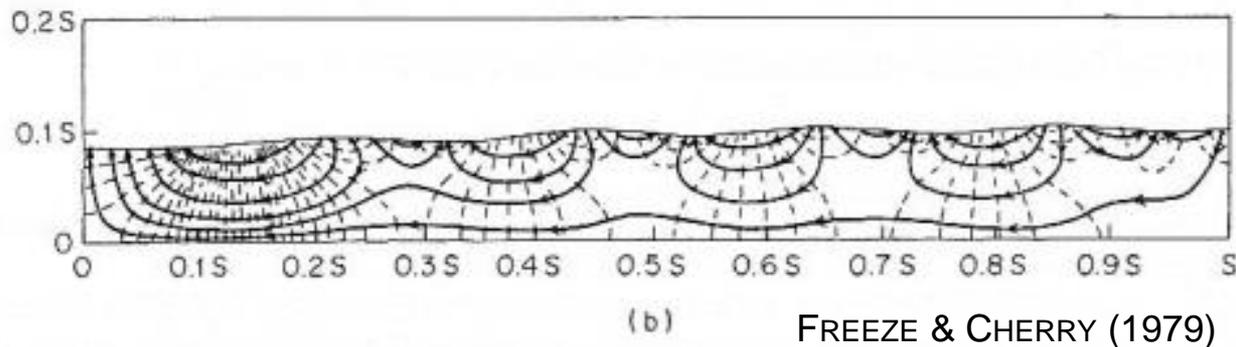
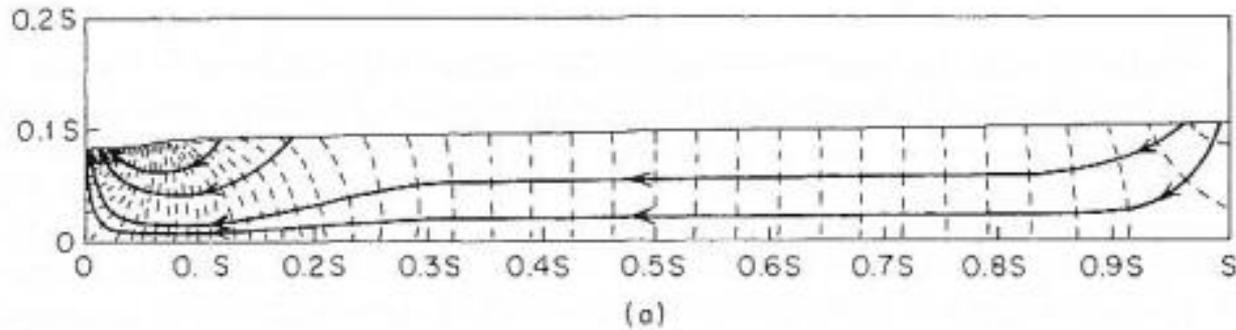
 Region of intermediate system of groundwater flow

 Region of regional system of groundwater flow

FREEZE & CHERRY (1979)

Grundwasser kann aufsteigen:

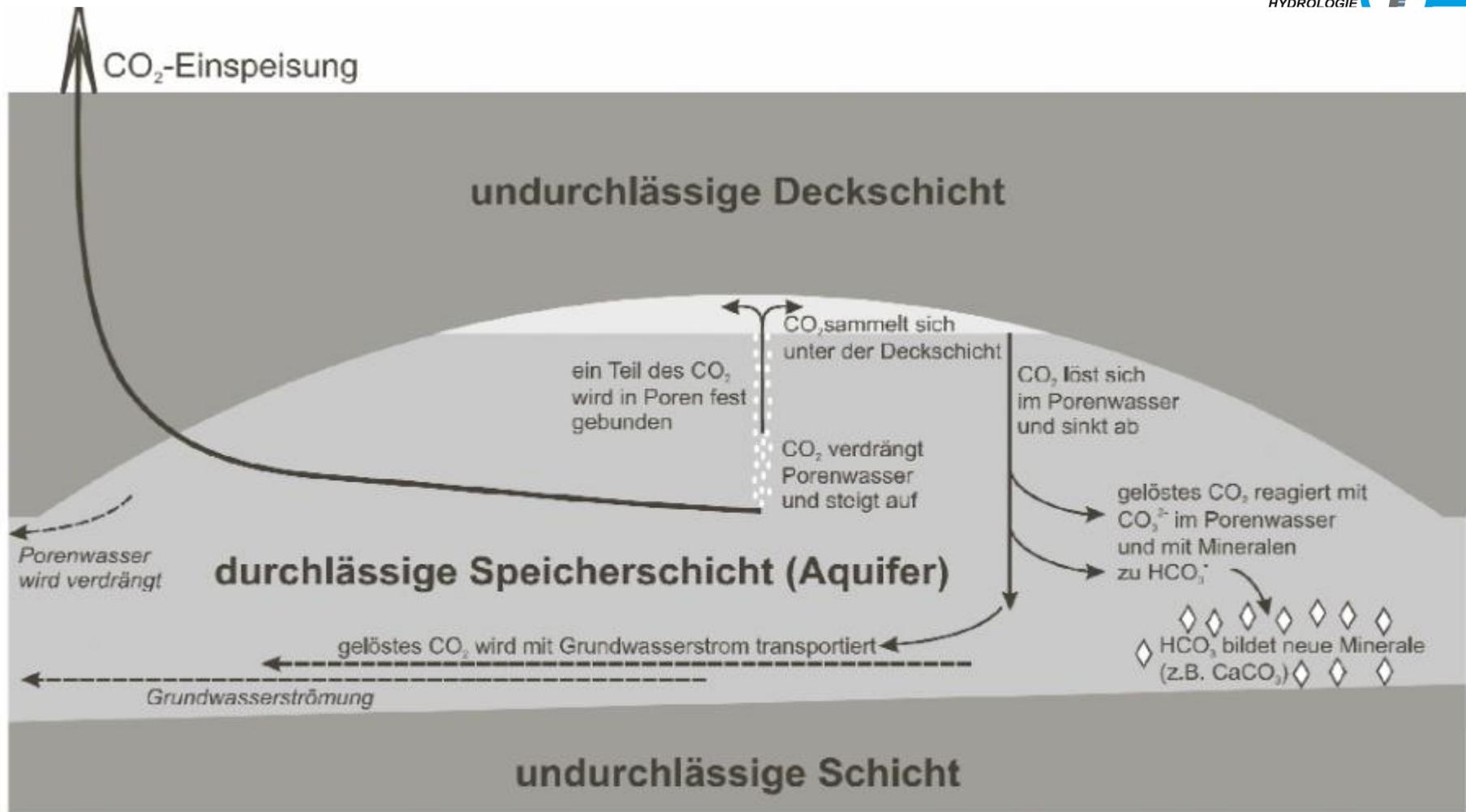
- Wichtig für das **Monitoring**
- Messe ich **lokale oder regionale Bedingungen**



FREEZE & CHERRY (1979)

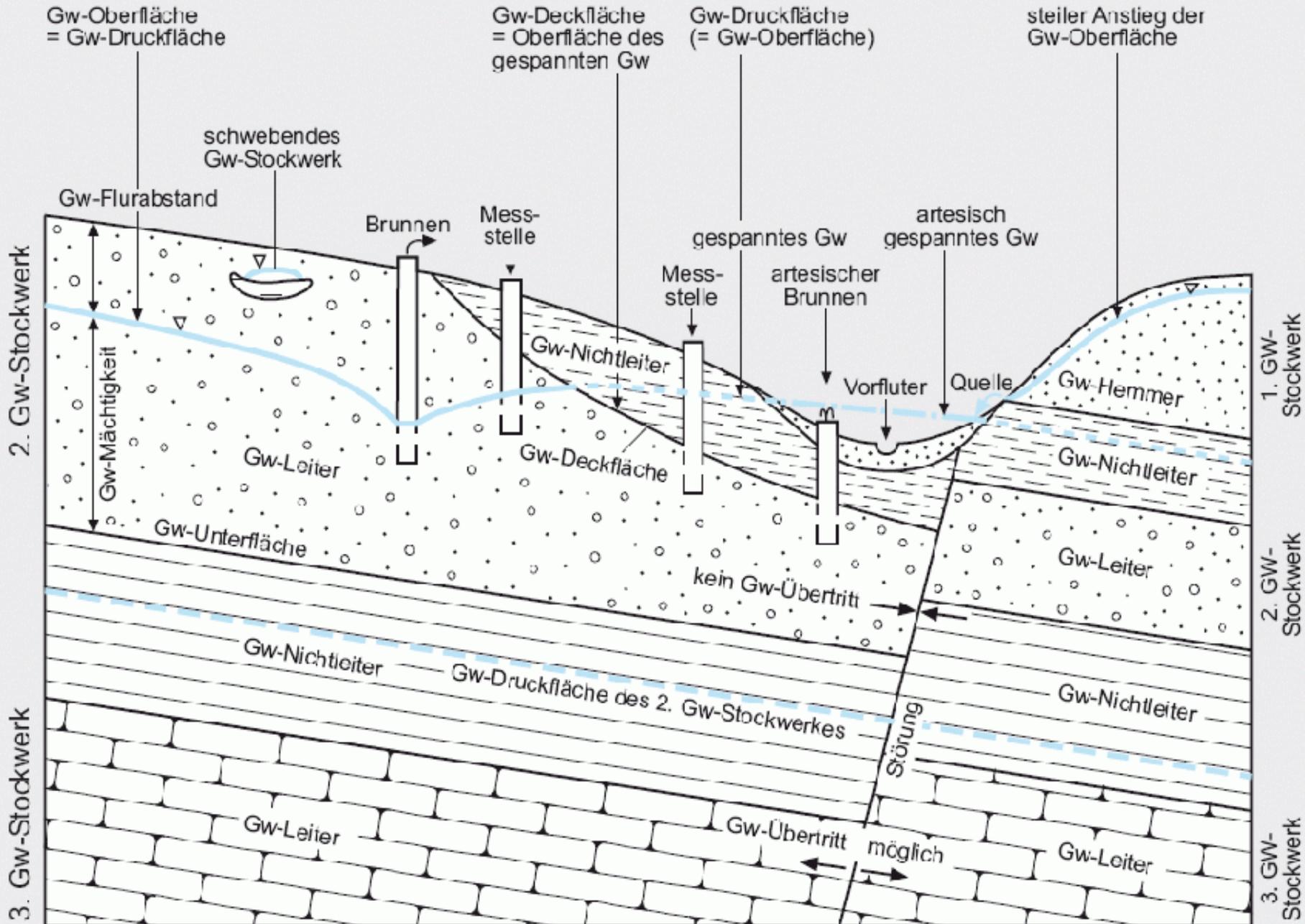
Denken Sie daran (oben), wenn Sie messen:

- Konzept: Wo bin ich?
- Grundwasser bedenken (nicht nur Einzugsgebiet)



Quelle: UBA-Forschungsvorhaben, CO₂-Abscheidung und Speicherung im Meeresuntergrund, Forschungskennzahl (FKZ) 206 25 200, noch nicht veröffentlicht

Begriffe: Skizze



Gw-Oberfläche
= Gw-Druckfläche

Gw-Deckfläche
= Oberfläche des
gespannten Gw

Gw-Druckfläche
(= Gw-Oberfläche)

steiler Anstieg der
Gw-Oberfläche

schwwebendes
Gw-Stockwerk

Gw-Flurabstand

Brunnen

Mess-
stelle

gespanntes Gw

artesisch
gespanntes Gw

2. GW-Stockwerk

Gw-Mächtigkeit

Gw-Leiter

Gw-Deckfläche

Mess-
stelle

artesischer
Brunnen

Vorfluter

Quelle

Gw-Hemmer

1. GW-
Stockwerk

Gw-Nichtleiter

Gw-Nichtleiter

Gw-Unterfläche

kein Gw-Übertritt

Gw-Leiter

2. GW-
Stockwerk

Gw-Nichtleiter

Gw-Druckfläche des 2. Gw-Stockwerkes

Gw-Nichtleiter

3. GW-Stockwerk

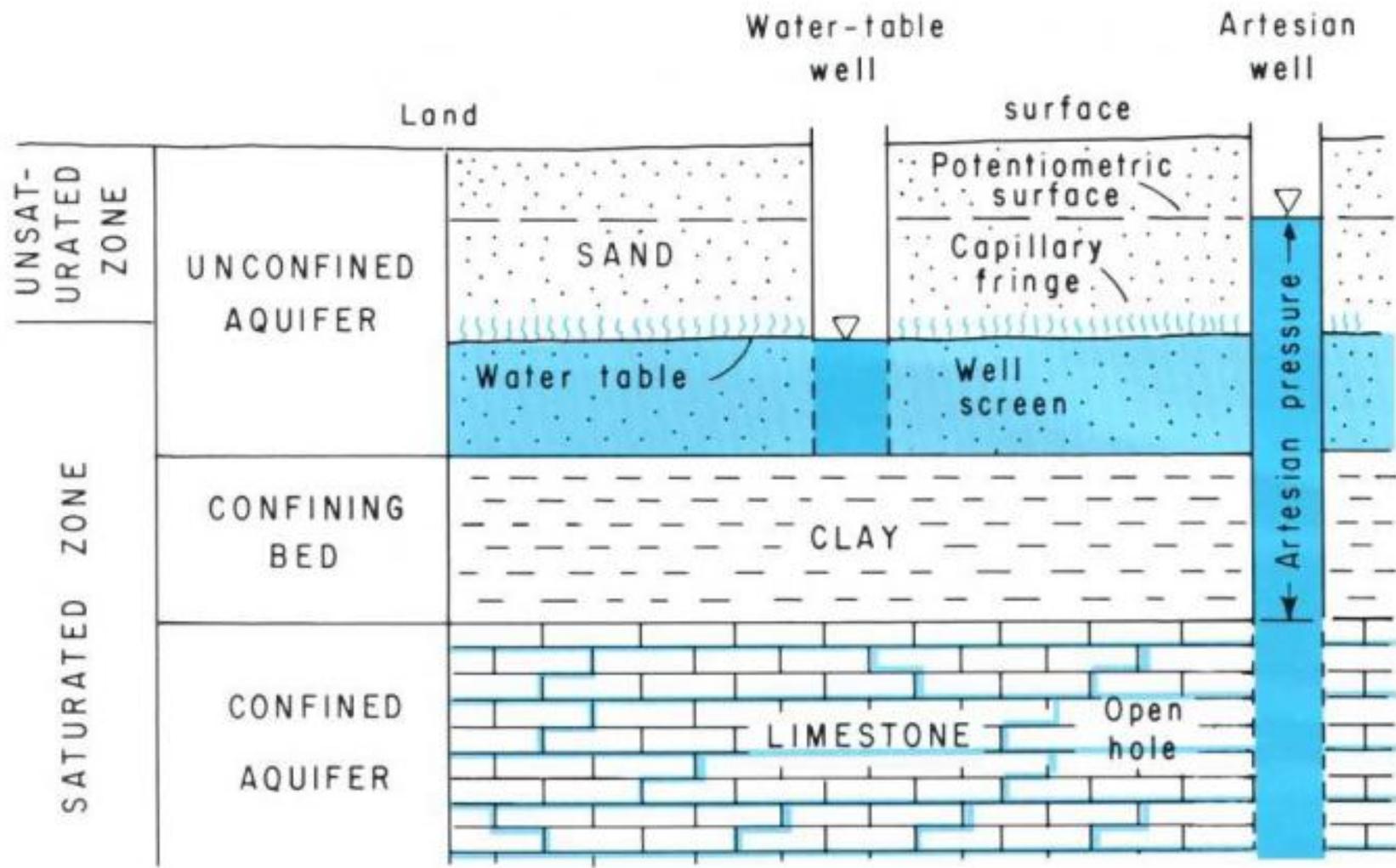
Gw-Leiter

Gw-Übertritt
möglich

Gw-Leiter

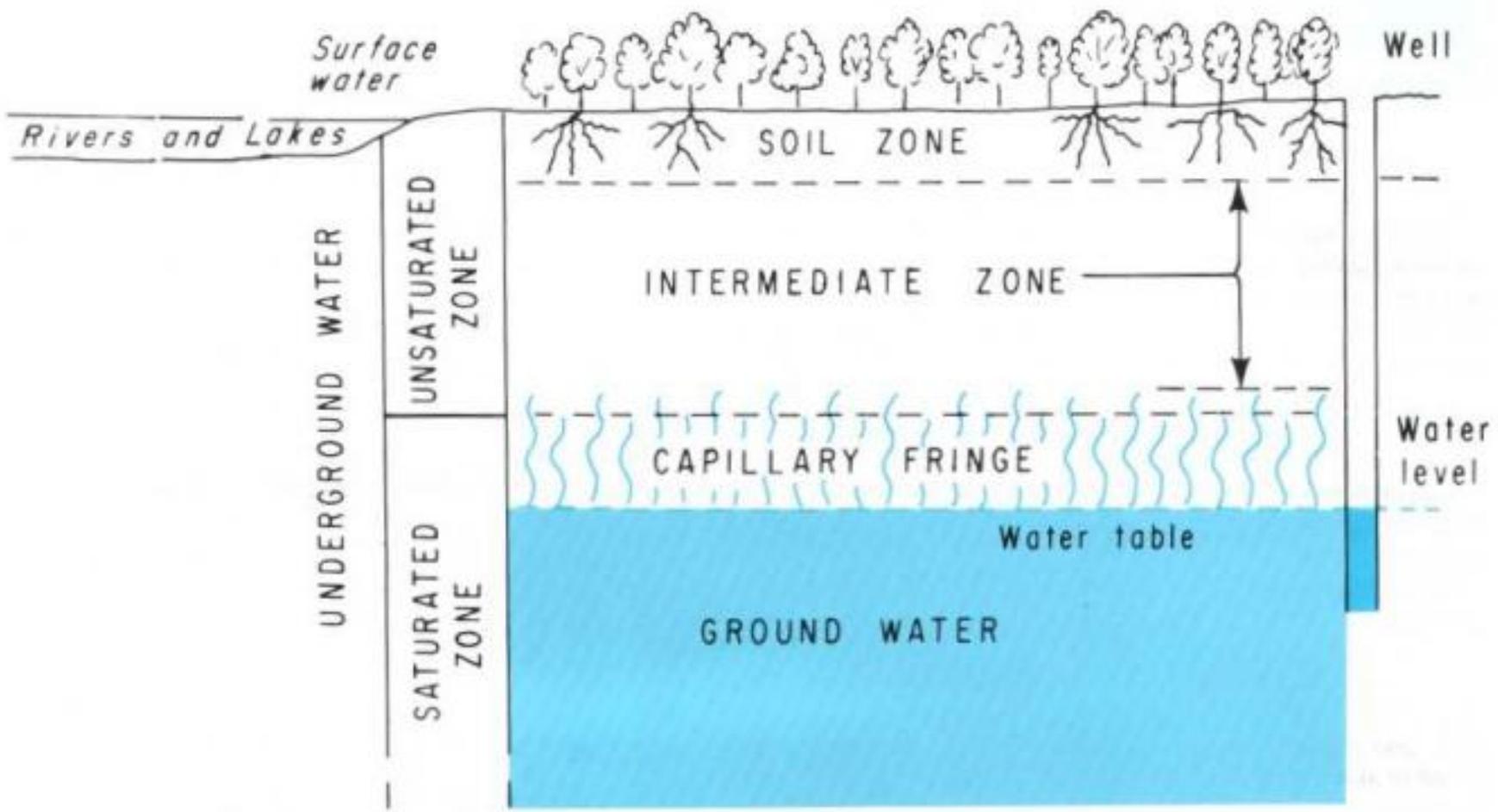
3. GW-
Stockwerk

Störung



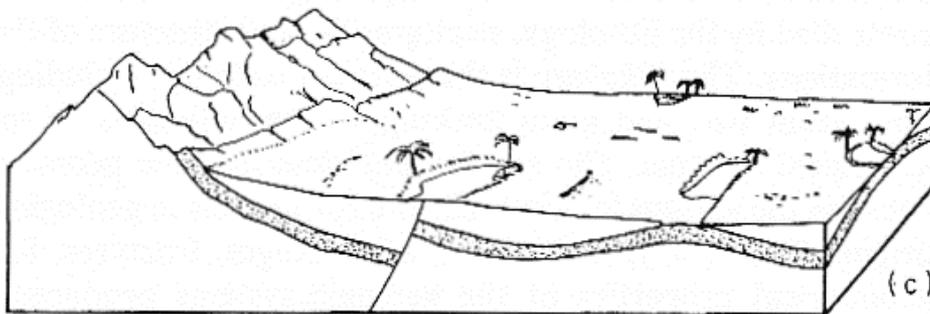
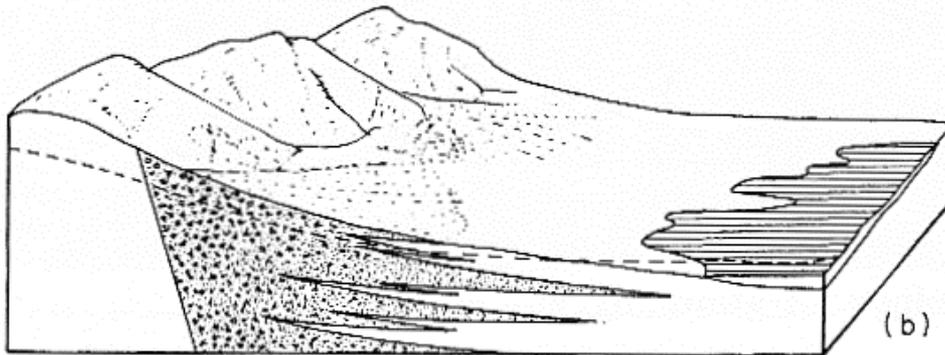
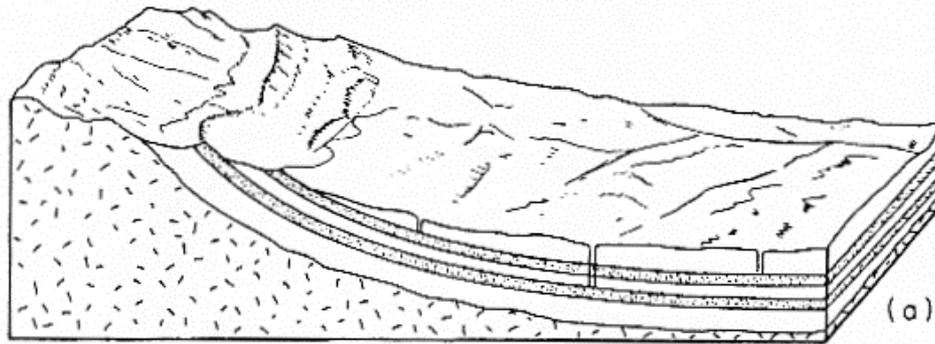
HEATH (2004)

Begriffe: Aquifer (Engl.)



HEATH (2004)

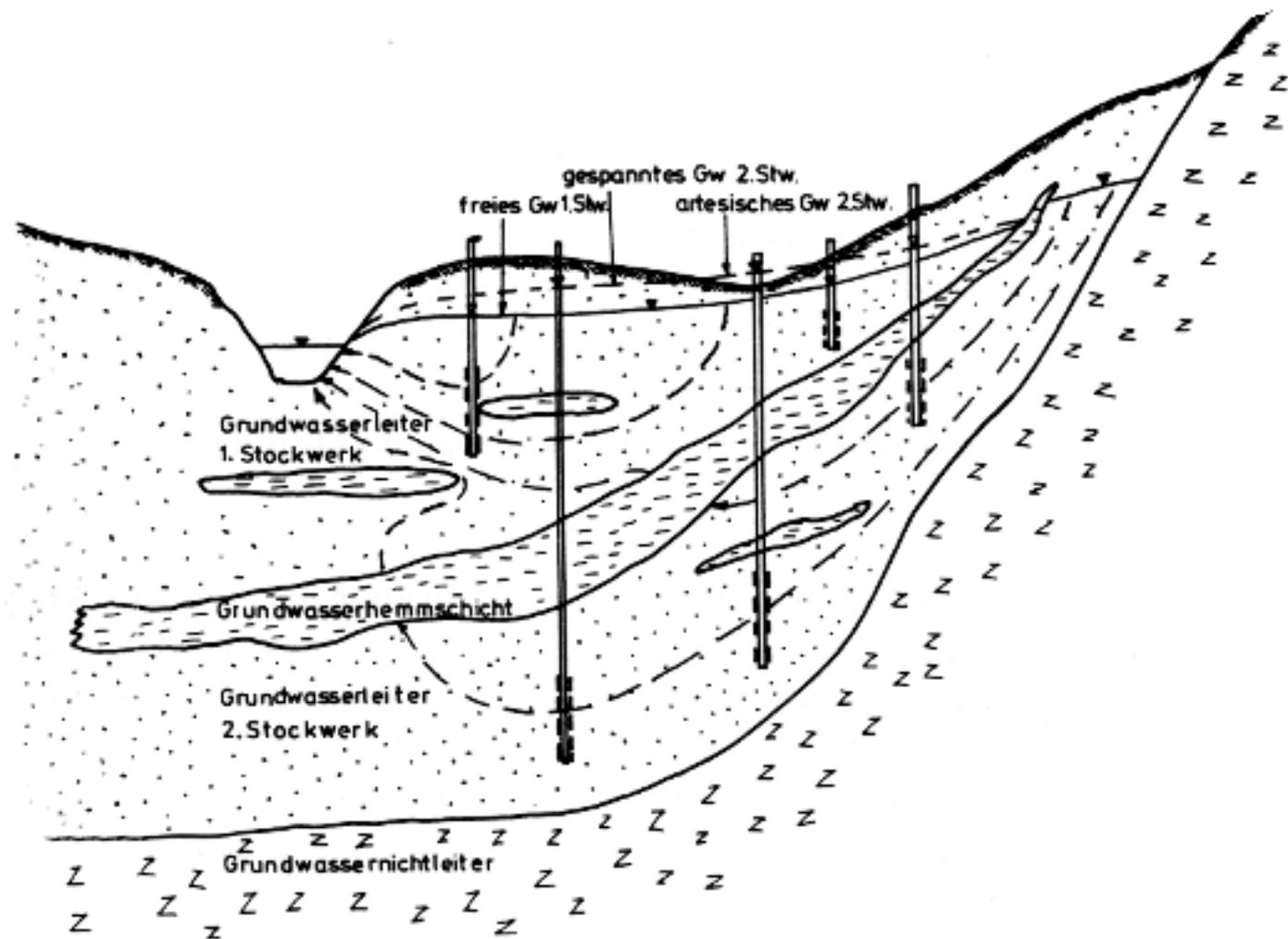
- Definition: Wasser, welches die Hohlräume zusammenhängend erfüllt und sich ausschließlich unter dem Einfluss der Schwerkraft bewegt (DIN 4049)
- „Relativ“ leicht beweglich (vgl. Bodenwasser)
Fließrichtung und Fließgeschwindigkeit sind vom hydraulischen Potentialfeld bestimmt (Gravitation)
- Grundwasserleiter: **Aquifer**
- Grundwasserhemmschicht: **Aquitard**
- Grundwassernichtleiter: **Aquiclude**



FREEZE & CHERRY (1979)

Topographisch und morphologisch ähnliche Gebiete können eine unterschiedliche Grundwasserhydrologie aufweisen:

- **Geschichtetes Becken (a)**
- **Verzahnte Sedimente (b)**
- **Brüche, Störungen, Quellen, Arteser (c)**



HÖLTING (2001)

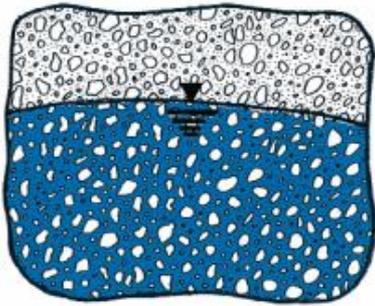
Series	Group	Formation	Thickness (m)	Lithologies	Hydrostratigraphic classification	Notes on groundwater occurrence/quality
Pliocene	Umala	Khari	30000 m	Sandstones, mudstones, and acidic ashflow tuffs	Aquifers	Mainly thin (20 m) sandstone aquifers, mostly confined by mudstones or tuffs. Best yields in sub-tuff aquifers. Water quality very good.
		Khuchiquiña	500–1000 m	Laminated mudstones, rare thin distal acid tuffs and tuffaceous sandstones	Aquitards	Very little groundwater present. The few sandstones are too thin and too heavily-cemented to yield much water.
		Mekha	700–1800 m	Laminated mudstones with gypsum beds, acid tuffs and rare sandstones	Aquitards	Low-permeability mudstones predominate; gypsum beds are thin and non karstified. The few wells in these strata contain highly mineralized water.
~ Unconformity ~						
Miocene	Corcoro	Totora	4000 m	Muddy sandstones and sandy mudstones with acid tuffs	Aquitards	Little evidence of groundwater in these strata; sandstones too poorly sorted/too cemented to store much groundwater.
		Huayllamarca	2000–5000 m	Arkosic sandstones with lenses of cupriferous mudstone	Aquifers	Thick, fractured sandstone units contain significant quantities of groundwater, but pollution associated with copper mines renders this of dubious quality.
		Chuquichambi	500 m	Gypsum and gypsiferous mudstones and sandstones	Aquitards	Severely deformed (décollemeitzone); Low-permeability mélange of mudstone and gypsum. Any water likely of poor quality.

YOUNGER(2006)

Chronostratigraphic units		Lithostratigraphic units	Hydrostratigraphic units	Rock types	
System	Age (Ma)	Series	Formation/member	Aquifer or aquitard?	
Neogene	67	Miocene and Pliocene	Hofuf	Hofuf aquitard	Mudstone
			Dam	Hasa aquifer	Limestone
			Hadruk		
Paleogene	67	Eocene	Dammajin	Umm Er Radhuma aquifer	Limestone
			Ibb		
Cretaceous	67	Paleocene	Umm Er Radhuma	Umm Er Radhuma aquifer	Limestone
			Aruma		
		Campanian	Aruma	Aruma aquitard	Mudstone
			Wasia	Wasia aquifer	Sandstone
		Albian	Wasia	Biyadh aquifer	Sandstone
			Biyadh		
			Opfian	Buwaib	Buwaib aquitard
Neocomian	Yamama				
Jurassic	140	Upper	Sulayy	Layla aquifer	Limestone
			Hith		
			Arab		
			Jubaila		
		Middle	Hanifa	Tuwayq aquitard	Mudstone
			Tuwayq Mountain		
Triassic	204	Lower	Dhurma	Az Zulfi aquifer	Limestone
			Marat	Marat aquitard	Mudstone
			Upper	Minjur	Al Suwaidi aquifer
Triassic	245	Middle	Jilh	Jalah aquifer	Mudstone
			Jilh	Jalah aquifer	Sandstone
			Jilh	Shamasiyah aquifer	Mudstone
Triassic	245	Lower	Sudair	Sudair aquitard	Mudstone
			Sudair	Sudair aquitard	Mudstone

Es kann mehrere Stockwerke geben, die komplex miteinander interagieren können:

- **Eigene Wasserstände**
- **Eigene Wasserchemie**
- Nicht oder teilweise verbunden
- Auch Fließrichtung kann anders sein



Porengrundwasserleiter

Porengrundwasser

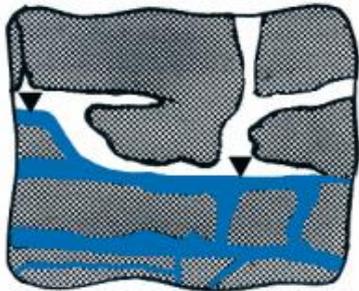
Lockergesteine



Kluftgrundwasserleiter

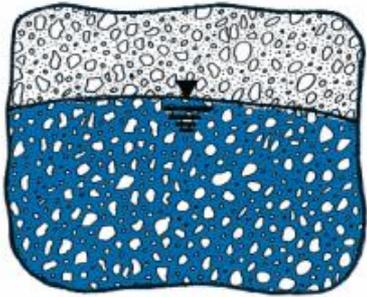
Kluftgrundwasser

Festgesteine



Karstgrundwasserleiter

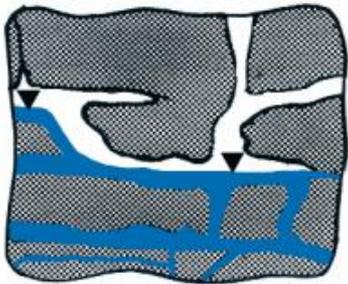
Karstgrundwasser



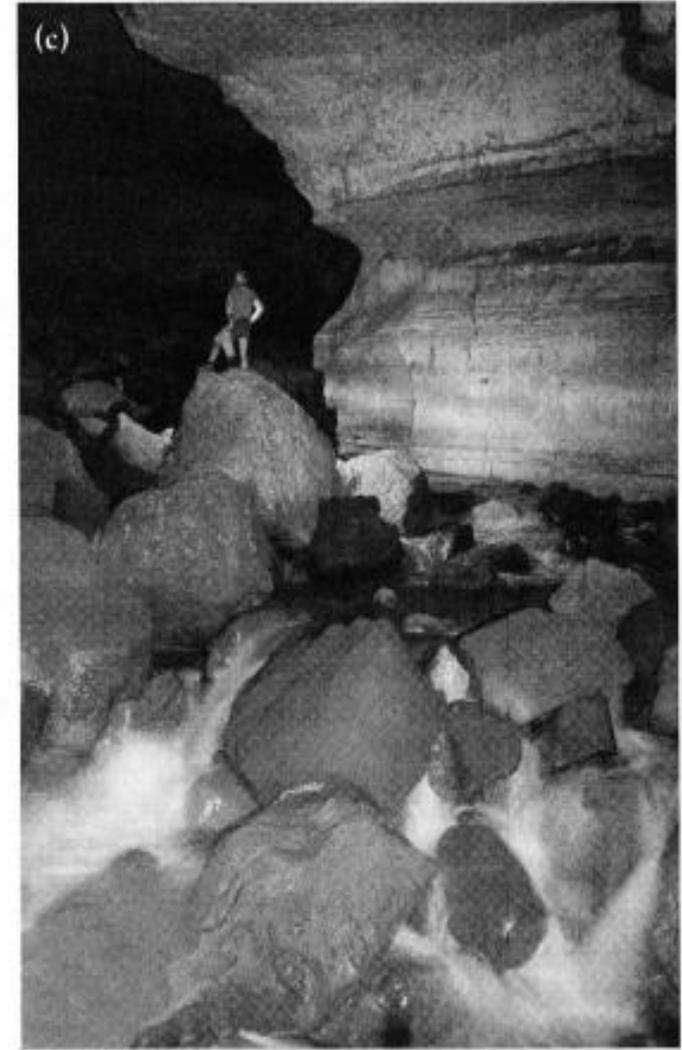
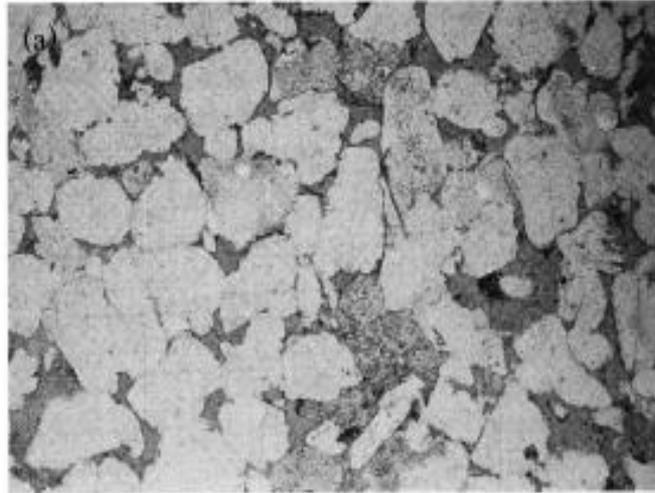
Porengrundwasserleiter



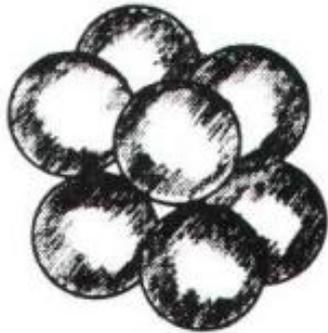
Kluftgrundwasserleiter



Karstgrundwasserleiter

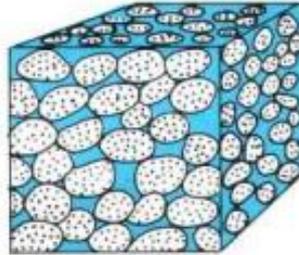


YOUNGER (2006)

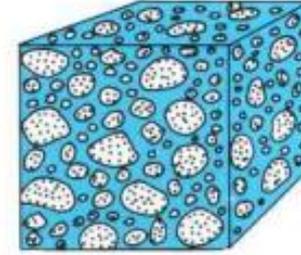


POROUS MATERIAL

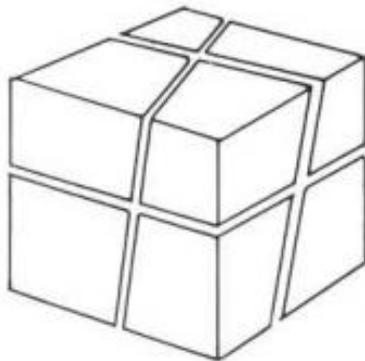
PRIMARY OPENINGS



WELL-SORTED SAND



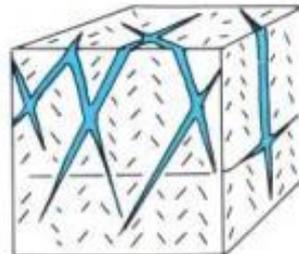
POORLY-SORTED SAND



FRACTURED ROCK

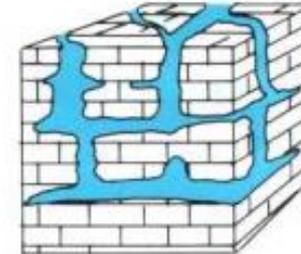
(1)

SECONDARY OPENINGS



FRACTURES IN
GRANITE

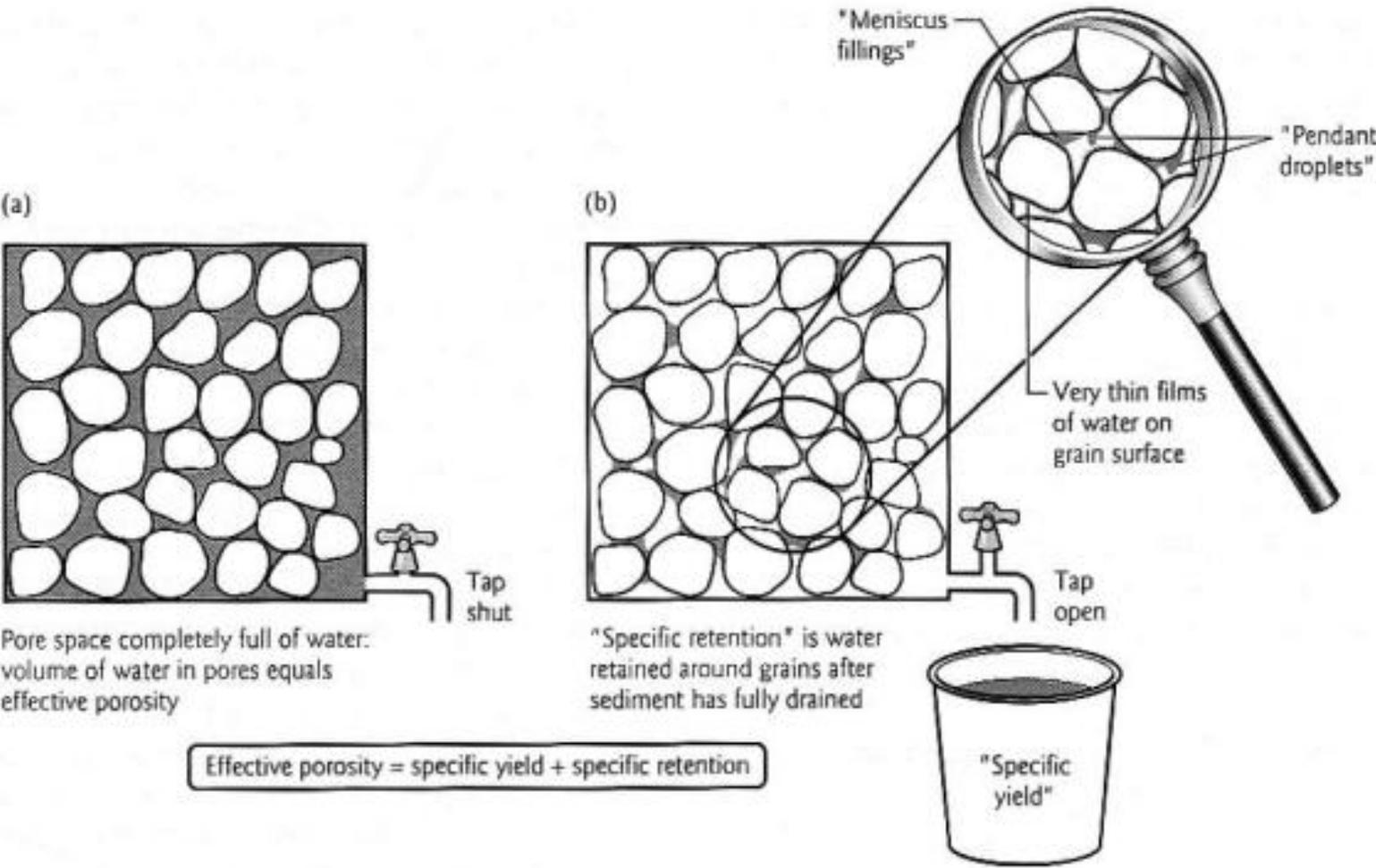
(2)



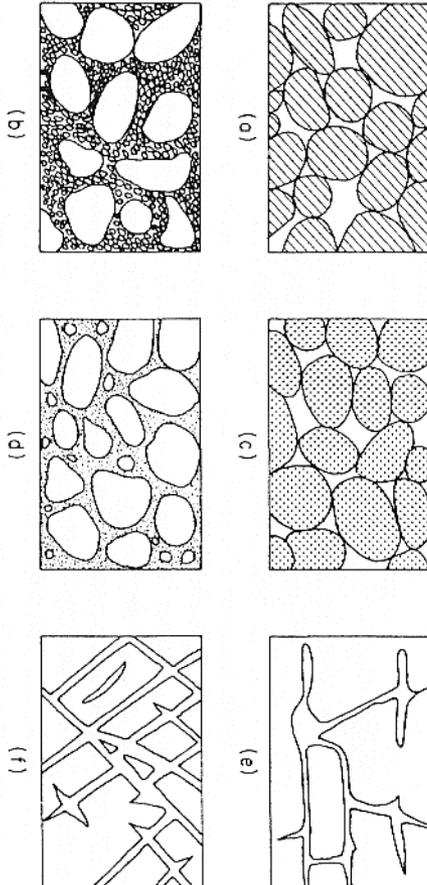
CAVERNS IN
LIMESTONE

HEATH (2004)

Effektive Porosität & Speicherkoeffizient



YOUNGER (2006)

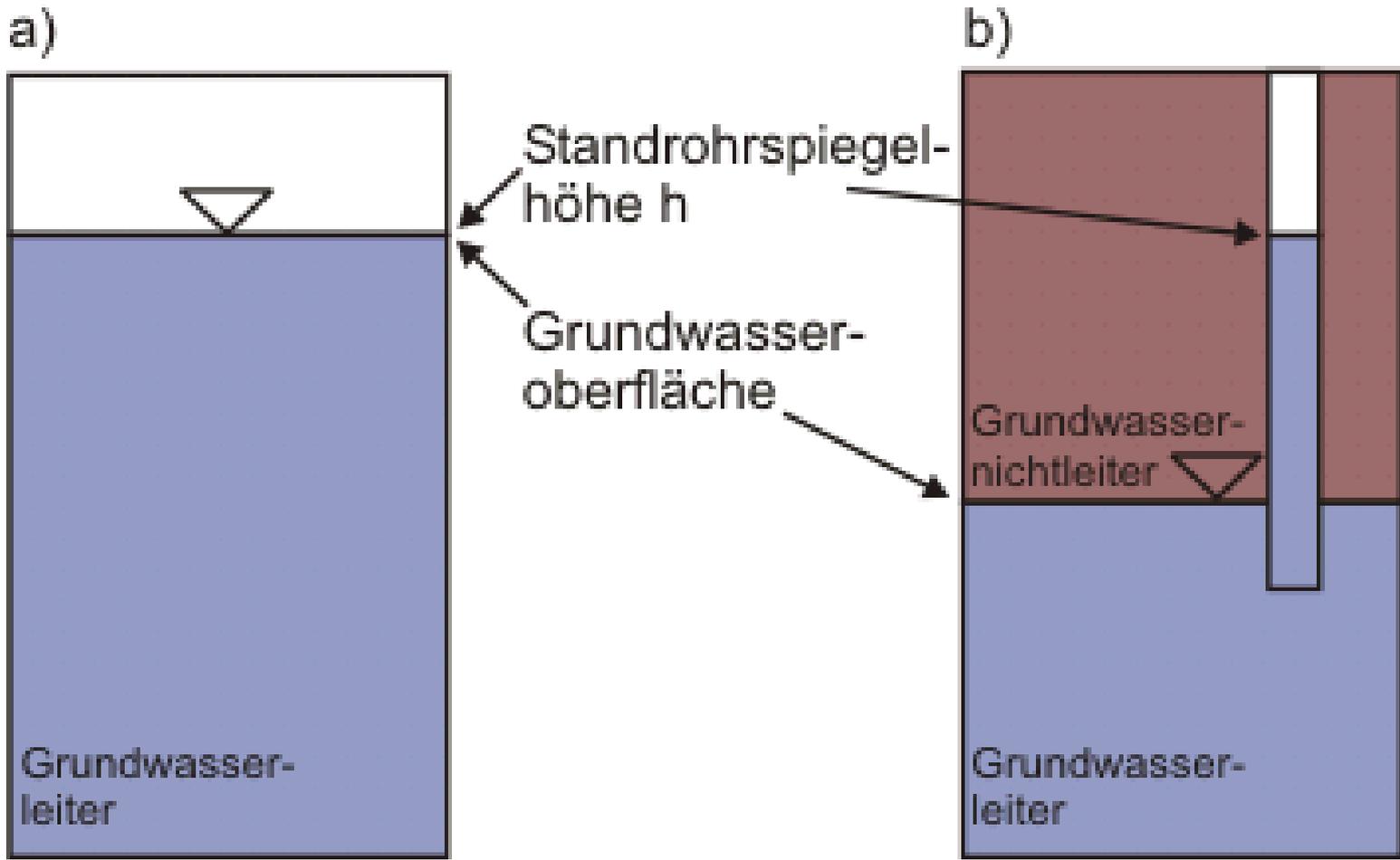


	$n(\%)$
Unconsolidated deposits	
Gravel	25–40
Sand	25–50
Silt	35–50
Clay	40–70
Rocks	
Fractured basalt	5–50
Karst limestone	5–50
Sandstone	5–30
Limestone, dolomite	0–20
Shale	0–10
Fractured crystalline rock	0–10
Dense crystalline rock	0–5

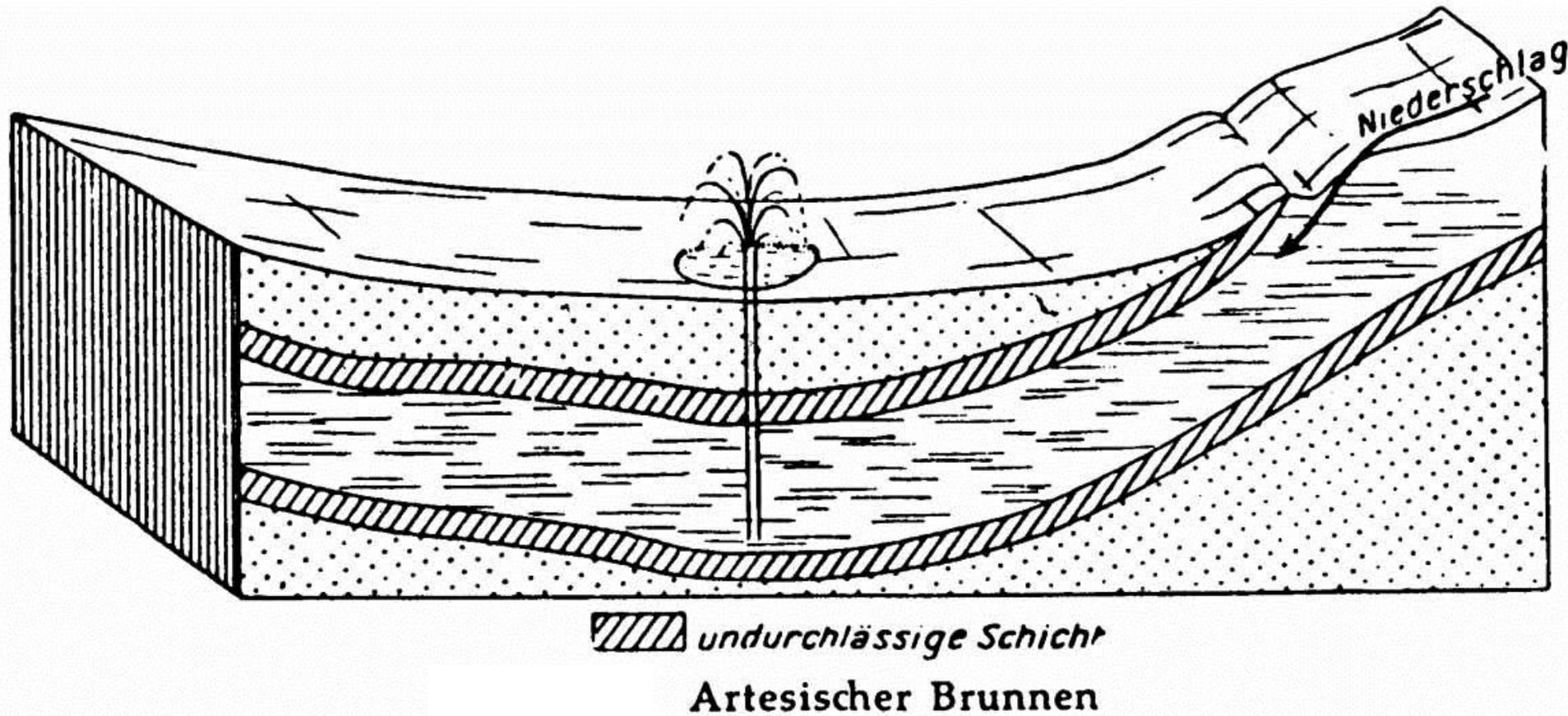


HEATH (2004)

Grundwasserspiegel: Frei und gespannt



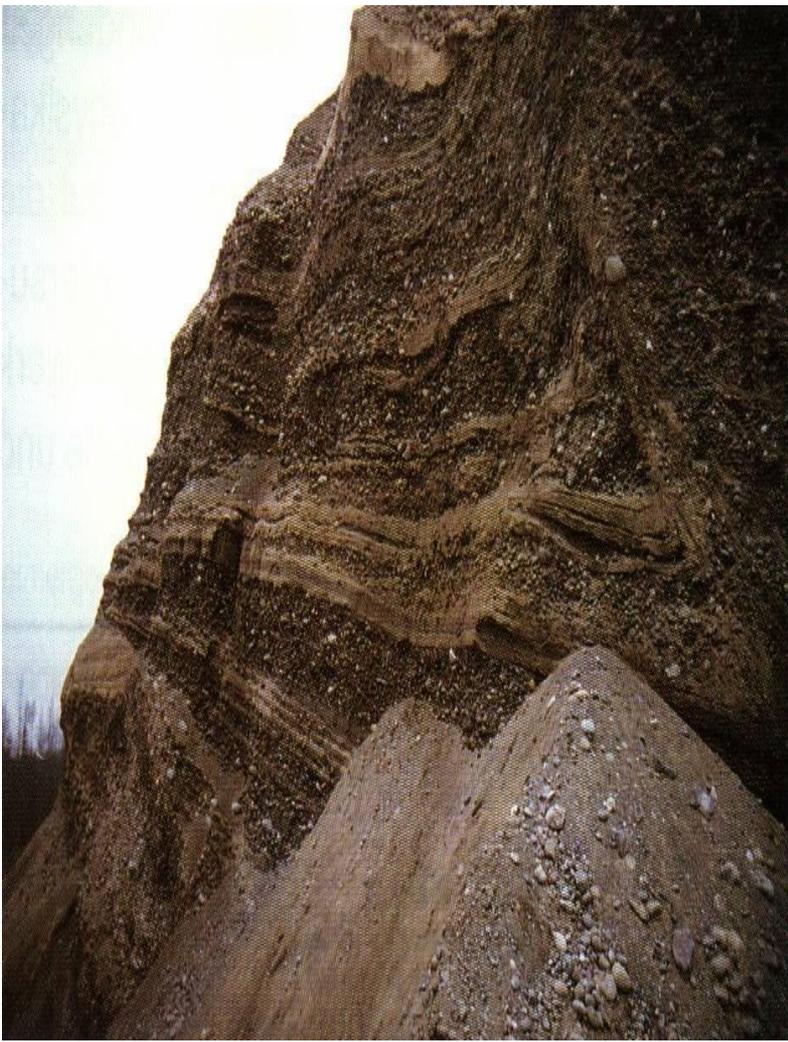
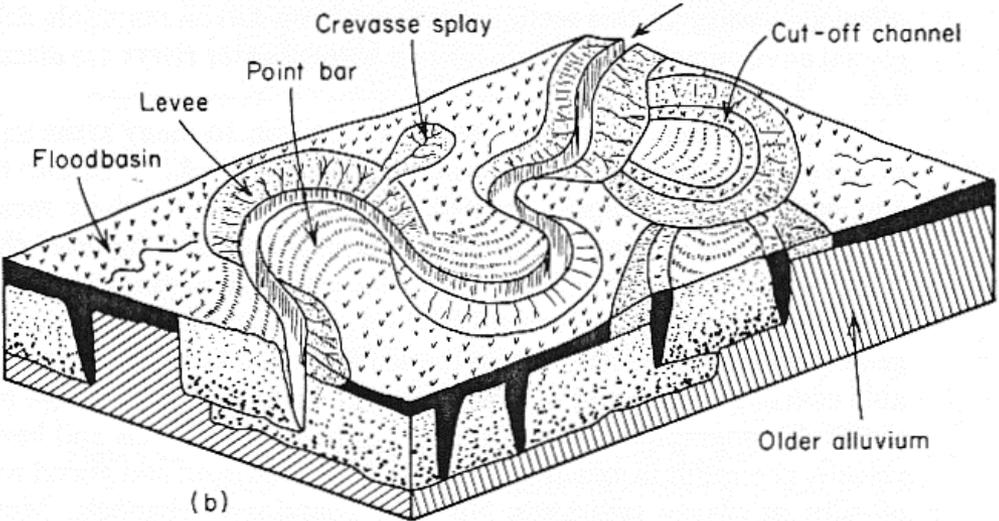
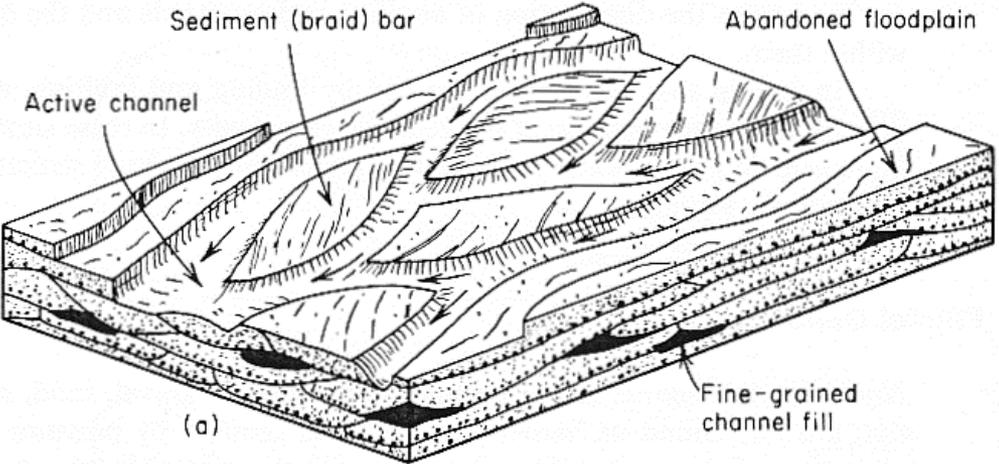
- **Freies Grundwasser:** über Poren und Klüfte in direktem vertikalen Kontakt mit der Atmosphäre
- **Gespanntes Grundwasser:** durch Aquitarde oder Aquiclude am Aufstieg gehindert; hydrostat. Druck an Grundwasserdeckfläche ist höher als Atmosphärendruck; Grundwasserdruckfläche ist höher als Grundwasseroberfläche
- **Artesisch gespanntes Grundwasser:** Wasserspiegel im Standrohr steigt über Gelände



HÖLTING (2001)

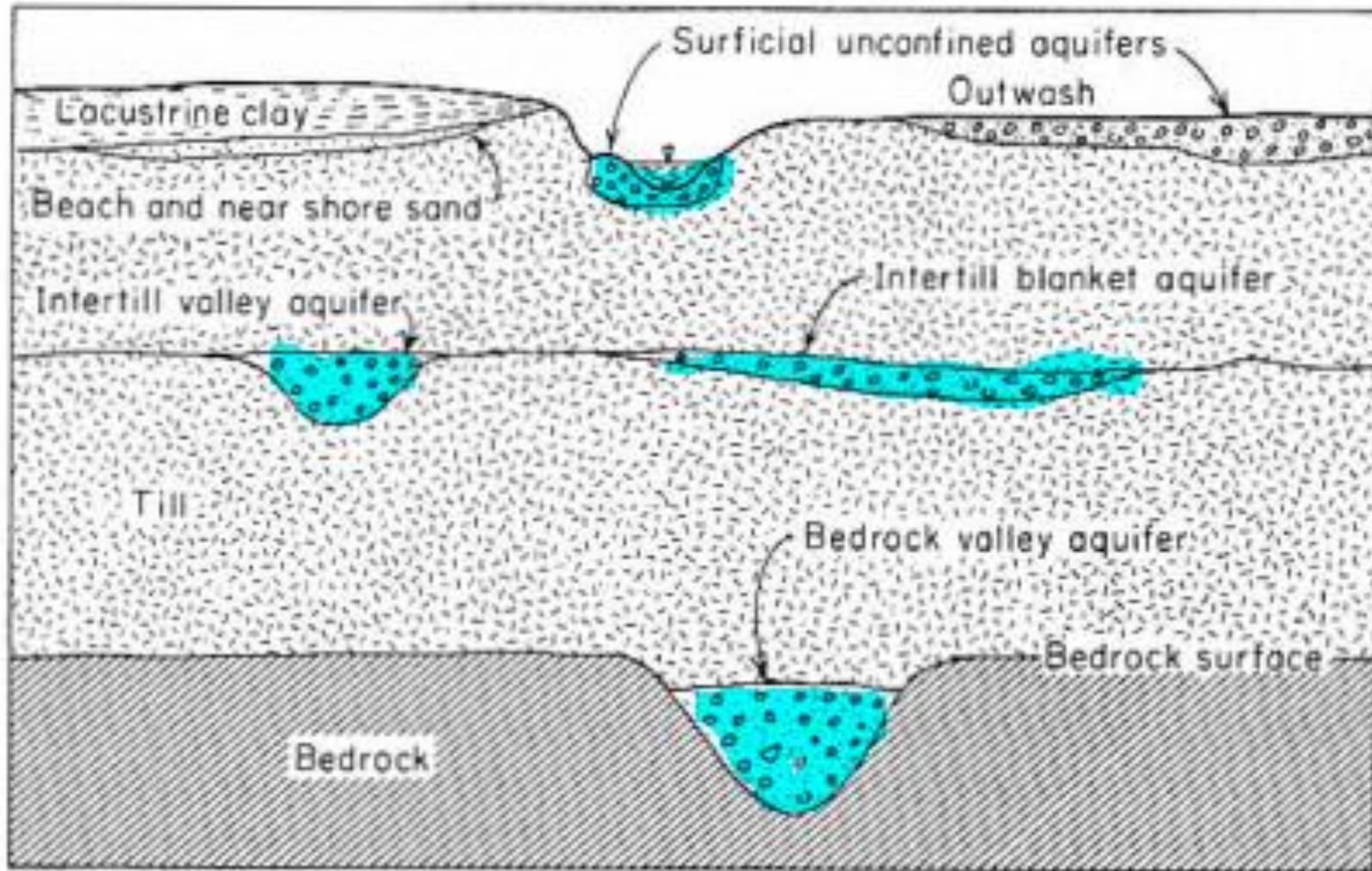
1. **Phreatisches Wasser** im ‚aktuellen‘
Wasserkreislauf
2. **Fossiles Wasser**: Paläowasser, keine Verbindung
mit aktuellem und rezentem Hydrologischem
System
3. **Juveniles Wasser**: aus chem. Prozessen
im Erdinnern entstanden,
+- festgelegt

Heterogenität von Porenaquiferen



FREEZE & CHERRY (1979)

Paläochannel und Rinnen (glazial)



HEATH (2004)

- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2008)
Grundwasser in Deutschland. 1. Auflage Berlin, 69 Seiten.
- CLARK B.R., HART R.M. GURDAK J.J. (2011) Groundwater Availability of the
Mississippi Embayment. USGS Water Resources Programme, Professional
Paper 1785, Little Rock, ed., 62 p.
- DOMENICO P.A. & SCHWARTZ, F. (1990): Physical and Chemical Hydrogeology.
Wiley, 824 p.
- FREEZE R.A, CHERRY J.A. (1979) Groundwater. Prentice & Hall, 1979, 5th ed., 604
p.
- HEATH R. (2004) Basic Groundwater Hydrology. Water Supply Papers 2220,
United States Geological Survey, 10th revision, Denver, 86 pages.
- HÖLTING R. (2001) Hydrogeologie. Eine Einführung in die allgemeine und
angewandte Hydrogeologie. Springer, 5. Auflage, 441 Seiten
United States Geological Survey, 10th revision, Denver, 86 pages.
- YOUNGER P. (2006) Groundwater in the Environment. Wiley, 1st ed. 336 p.