

Prof. Dr. Christian Wolkersdorfer

Abriss der Hydrogeologie

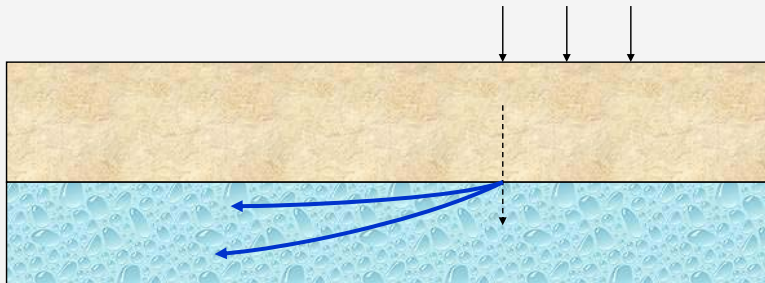
Gesättigte und ungesättigte Zone

Veranstaltung im Wintersemester 2008/2009

Präsentation basiert auf
„Einführung Hydrogeologie“
Prof. Dr. habil Broder J. Merkel (Bergakademie Freiberg)



- Einführung
- Was ist ein Aquifer?
- Warum fließt Grundwasser?
- Wie bestimmt man Porosität und Permeabilität?
- **Gesättigte und ungesättigte Zone**
- Brunnen und Pumpversuche
- Pumpversuchsauswertung und Grundwasserneubildung
- Wasser: Das universelle Lösungsmittel
- Wechselwirkungen Wasser – Gestein
- weitere Wasserinhaltsstoffe
- Grundwassermodellierung
- Grundwasserschutz und Management
- Grundwassersanierung
- Regionale Beispiele



- vertikale Strömung in der ungesättigten Zone
- mehr oder weniger horizontale Strömung im Grundwasser

$$v_A = \frac{k_f \cdot \Delta i}{n_e}$$

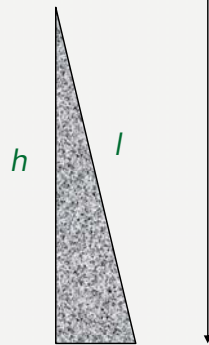
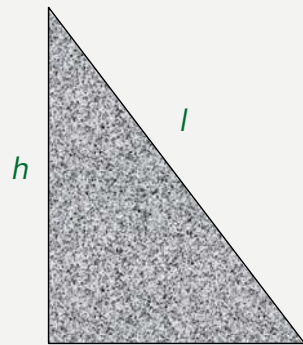


$k_f = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$; $h = 10 \text{ m}$; $n_e = 0,18$

aber Δi ?



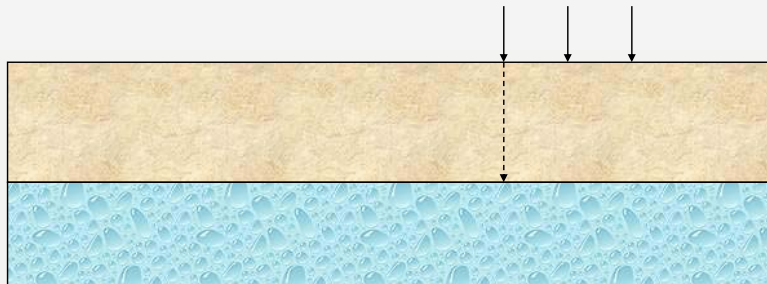
$$\Delta i = \frac{h}{l}$$



$$\Delta i = \frac{h}{l} = 1$$

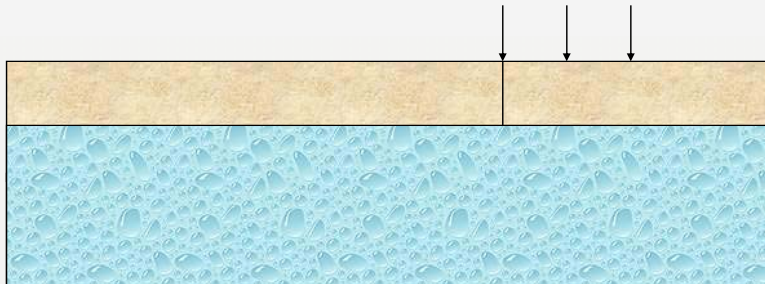


$$k_f = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}; h = 10 \text{ m}; l = 10 \text{ m}; n_e = 0,18$$



$$v_A = \frac{k_f \cdot \Delta i}{n_e} = \frac{10^{-3} \cdot 1}{0,18} = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1} = 20 \text{ m h}^{-1}$$

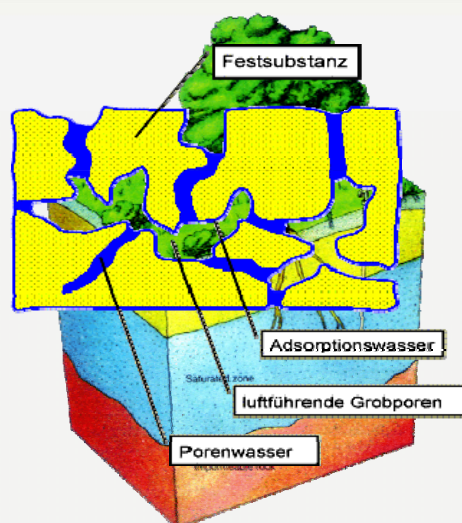
Regen erreicht nach 30 Minuten den Grundwasserspiegel?



unter günstigen Bedingungen reagiert der Grundwasserspiegel nach Tagen oder Wochen!



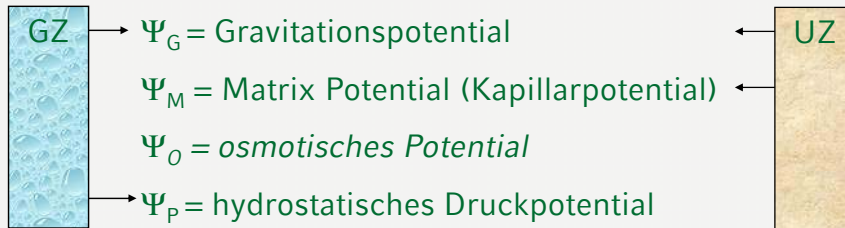
- die Berechnung!
- ungesättigte Zone:
 - 3-Phasen-System
- gesättigte Zone / Grundwasserraum:
 - alle Hohlräume sind mit Wasser gefüllt und die Hohlräume sind miteinander verbunden



2- oder 3-Phasen-System:

Hydrosphäre – Lithosphäre (– Atmosphäre)

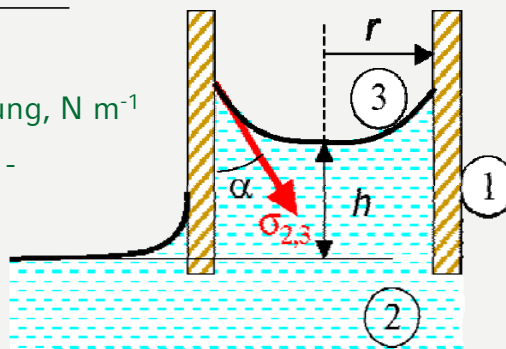
$$\Psi = \Psi_G + \Psi_M + \Psi_O + \Psi_P$$



Kapillarität ist eine Kombination aus Oberflächenspannung von Fluiden und der Benetzbarkeit von festen Oberflächen

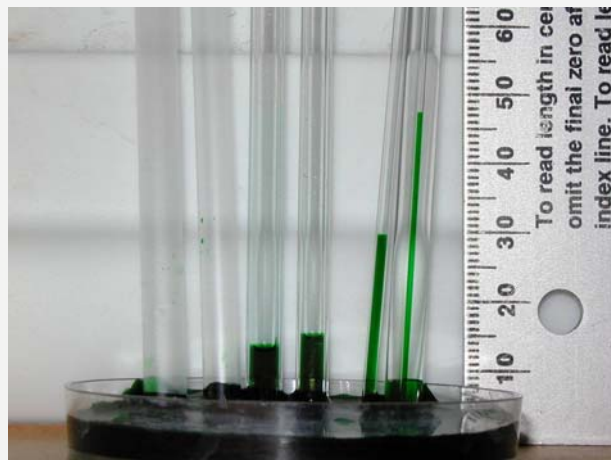
$$h = \frac{2 \cdot \sigma_{2,3} \cdot \cos \alpha}{r \cdot \rho \cdot g} = \frac{1,53 \cdot 10^{-5} \text{m}^2}{r}$$

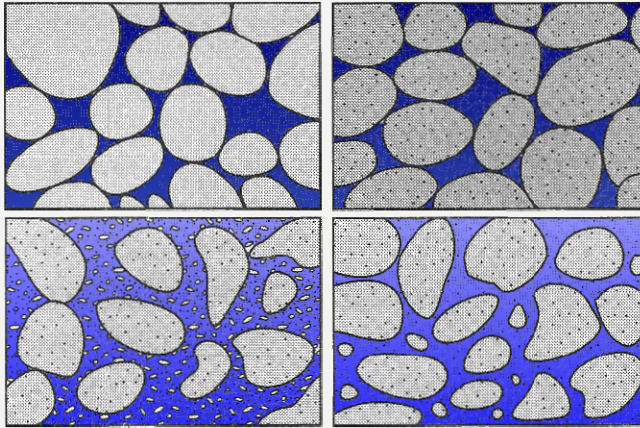
- $\sigma_{2,3}$ Oberflächenspannung, N m^{-1}
- α Benetzungswinkel, -
- ρ Dichte, kg/m^3
- g Schwerkraft, m/s^2
- r Kapillarradius, m





- Kommunizierende Röhren



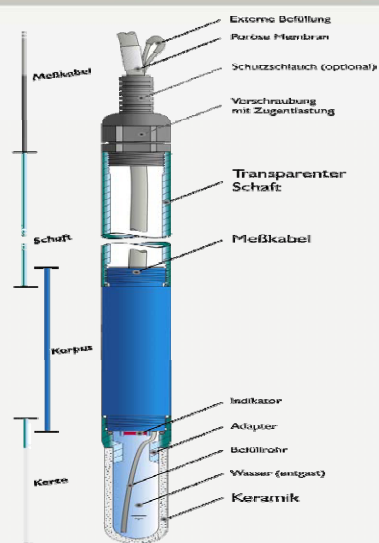


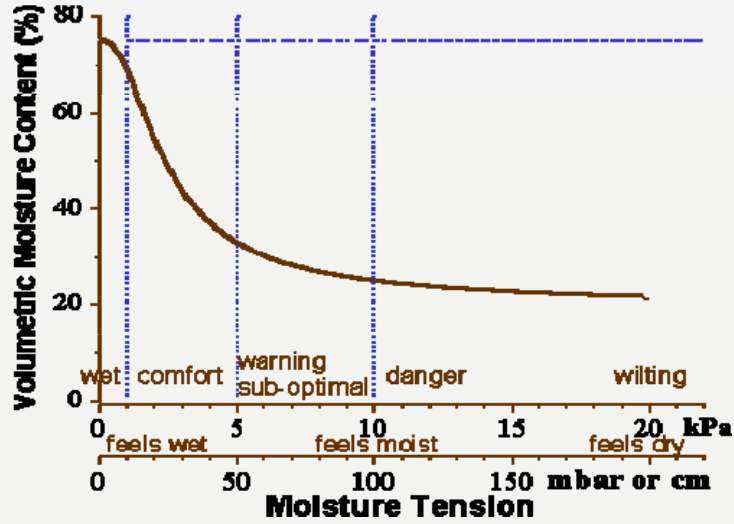
$$d_p \approx 0,2 d_k$$



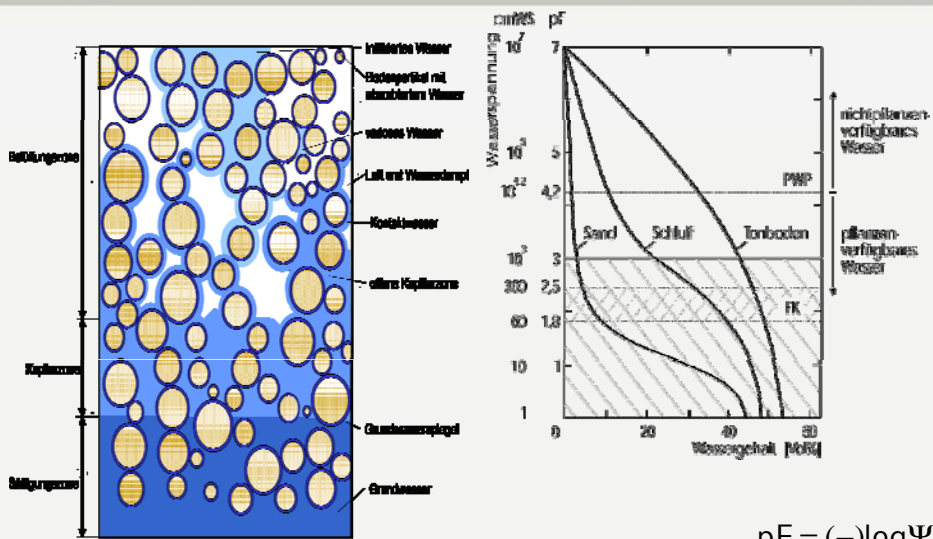
Bodenart	Korndurchmesser, mm	Kapillare Steighöhe, mm
Kies	> 2	< 20
Sand grob	2,0 – 0,6	50 – 150
Sand mittel	0,6 – 0,2	100 – 300
Sand fein	0,2 – 0,06	150 – 1 000
Schluff	0,06 – 0,002	1 000 – 10 000
Ton	< 0,002	> 10 000

- Bodenwasserspannung (moisture tension)
- meistens Unterdruck
 - Manometer
 - Druckübertragung
 - Kontaktkörper zur ungesättigten Zone (Boden)
 - Keramikkörper
- 1 hPa = 1 mbar



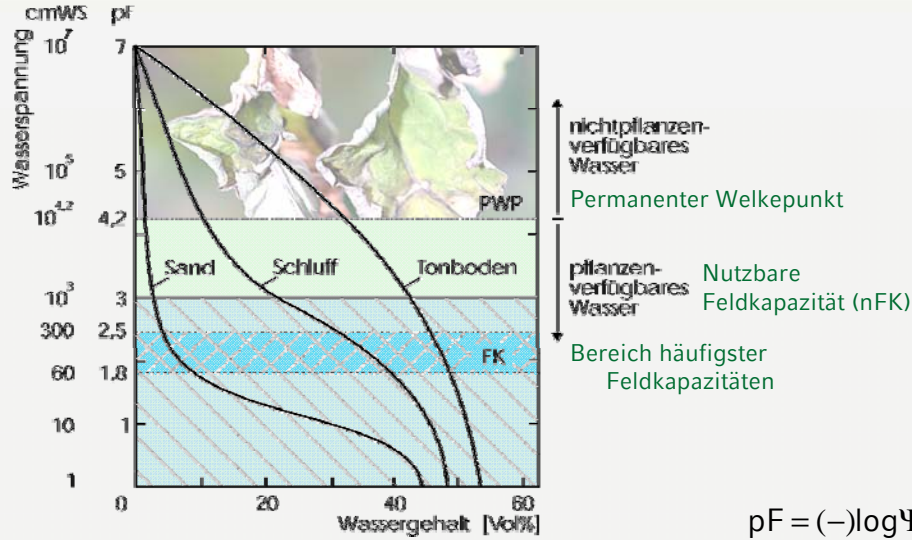


Heiner Lieth: University of California



$$pF = (-)\log\Psi$$

UMS, München



UMS, München (Grafik); Klaus Schneider (Foto)



	Saugspannungsbereich		Äquivalentdurchmesser der Poren in µm	Art der Poren	Unterteilung des Bodenwassers	Unterteilung der Speicherkapazität
	cm WS (mbar)	pF-Wert (lg mbar)				
Totwasser	>15000	>4,2	<0,2	Fein-Poren	nicht pflanzenverfügbar	Totwasser nutzbare Feldkapazität maximale Wasserkapazität
nFK	300-15000	2,5-4,2	10-0,2	Mittel-Poren	pflanzenverfügbar	
FK	60-300	1,8-2,5	50-10	Grob-poren	langsam beweglich	
LK	<60	<1,8	>50	Größt-poren	schnell beweglich	Sickerwasser Luftkapazität bzw. Grund-/Stauwasser

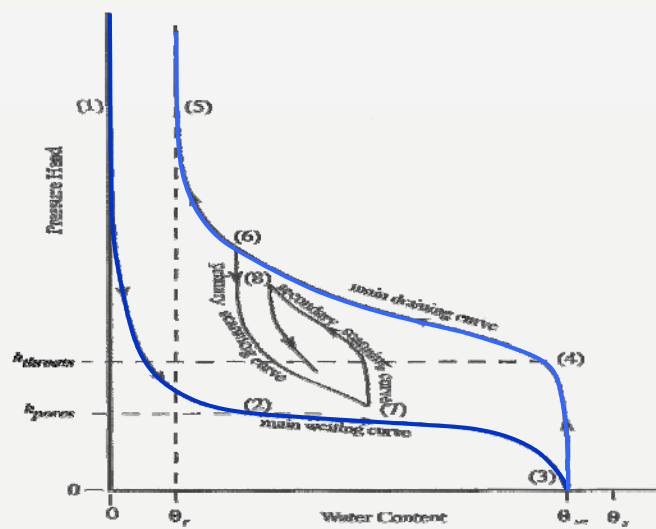
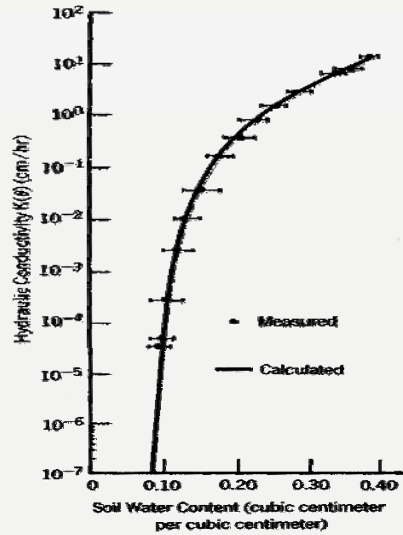
GPV = Gesamtporenvolumen

Erklärung der Abkürzungen:

pF = Saugspannungswert in cm WS (cm Wassersäule) oder in lg mbar; FK = Feldkapazität; nFK = nutzbare Feldkapazität; PWP = Permanenter Welkepunkt = Totwasseranteil bei pF >4,2; LK = Luftkapazität, GPV = Gesamtporenvolumen



- 7 Größenordnungen als Funktion des Wassergehaltes
- abhängig vom Boden





- Gravitativ
- Time Domain Reflektometrie (TDR)
- Frequenz Domain Reflektometrie (FDR)
- Neutronensonde
- Gipsblöcke
- indirekt: Tensiometer



Dielektrizitätszahl ϵ_0 ist mit 80,1 sehr viel größer als die von Mineralen (2 ... 5)

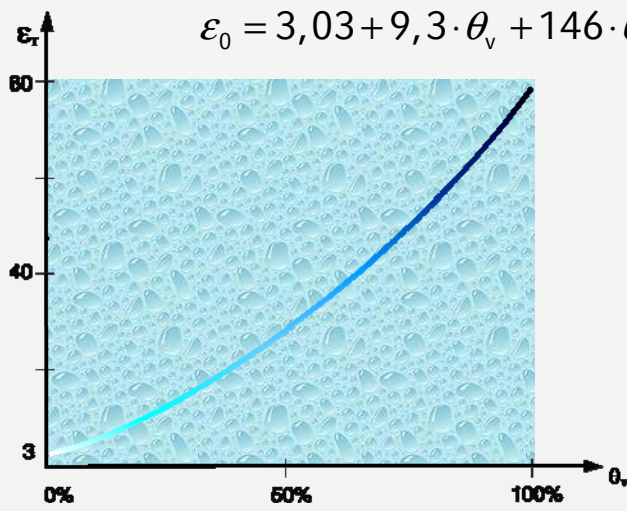
Geschwindigkeits- / Laufzeitmessung eines hochfrequenten elektromagnetischen Impulses

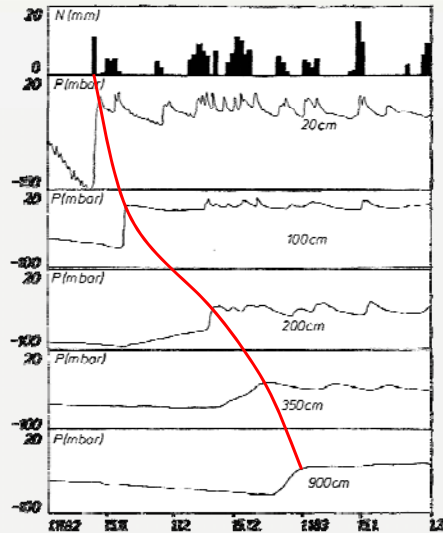
$$c = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

c	Geschwindigkeit Impuls
c_0	Lichtgeschwindigkeit
μ_0	magnetische Permeabilität
t	Zeit
l	Länge

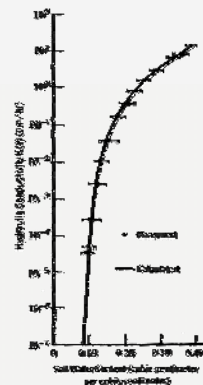
$$\epsilon_0 = \left(c_0 \frac{t}{2 \cdot l} \right)^2$$

FDR frequency domain reflectometry



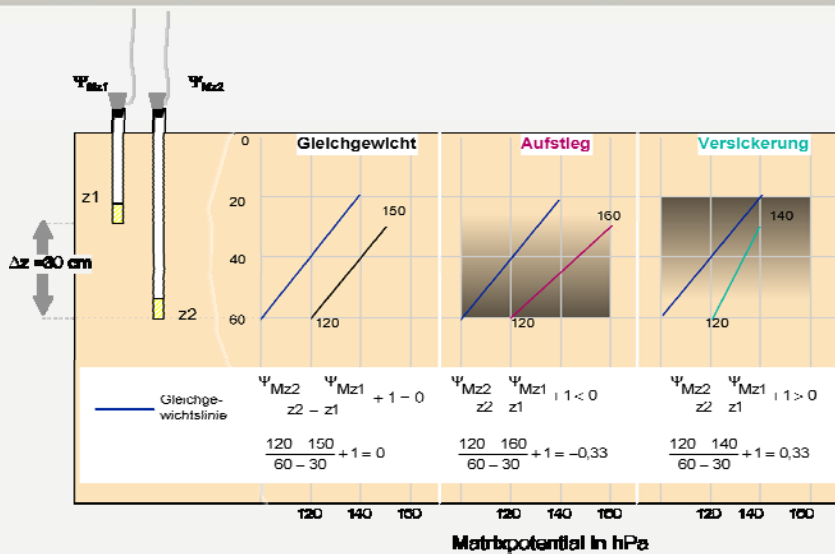


- ... ein trockener oder ein feuchter Boden?
 - der feuchte Boden
 - warum?
 - Gradient und Durchlässigkeit
- Oberflächenabfluss in ariden Gebieten schon bei relativ geringen Niederschlagsintensitäten (Benetzungswiderstand)





- Gesättigte Zone
 - k_f ist Konstante
 - Temperatur, Inhaltsstoffe haben nur geringen Einfluss auf k_f -Wert
 - Ungesättigte Zone
 - k_u (auch: k_Ψ , $k_{\Psi M}$) extrem nicht-lineare Funktion des Wassergehaltes
- und ...
- $\Psi = \Psi_{\text{Gravitation}} + \Psi_{\text{Matrix}}$ (Kapillarität)
 - höhere Gradienten in der ungesättigten Zone





$$v_f = -k_f \frac{dh}{dl} = -k_f \Delta i \quad \text{DARCY: gesättigt}$$

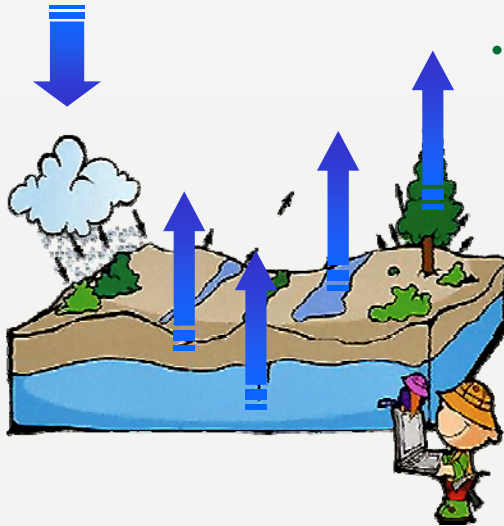
$$v_f = -k_{\Psi_M} \frac{d\Psi_M}{dx} \quad \text{DARCY-
BUCKINGHAM:
ungesättigt}$$



$$q_\theta = -k_{\Psi_M} \cdot \frac{d\Psi_H}{dx} \quad \text{DARCY-
BUCKINGHAM}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial q_{\theta_z}}{\partial z} \left[+ \frac{\partial q_{\theta_x}}{\partial x} + \frac{\partial q_{\theta_y}}{\partial y} \right] \quad \text{Kontinuitäts-
gleichung}$$

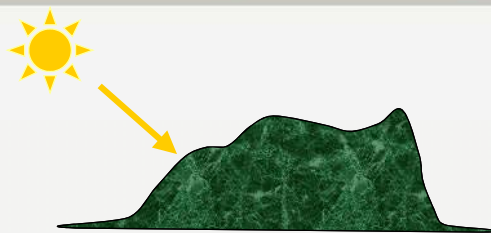
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k_{\Psi_M} \left(\frac{\partial \Psi_M}{\partial z} - 1 \right) \right] \quad \text{RICHARDS
Gleichung}$$



- nicht nur von der Oberfläche
 - auch aus der ungesättigten Zone
 - aus Grundwasser
 - über Wurzeln und Blattoberflächen



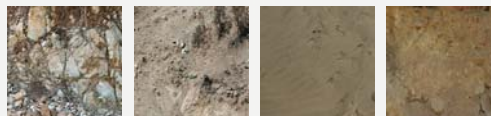
Strahlung & Luftfeuchtigkeit (slope & aspect)

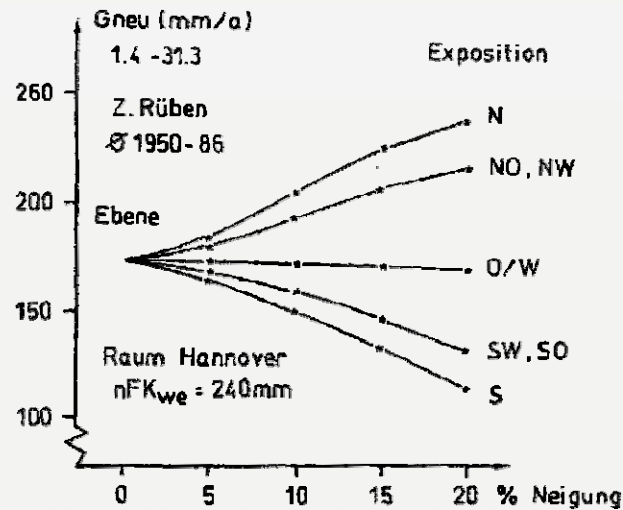


Vegetation



Boden





- die ungesättigte Zone ist ein Dreiphasensystem
- nichtlineare Abhängigkeit der Durchlässigkeit als Funktion des Wassergehaltes
- Gravitations- und Matrixpotential
- Bewegung überwiegend vertikal $\uparrow \downarrow$
- verschiedene Messmethoden (Tensiometer, TDR, Neutronensonde)
- Variationen des Bodenwassergehaltes kontrollieren Infiltration und Verdunstung \rightarrow Grundwasserneubildung