

Grundwasserhydrologie (Master Hydrologie)

Grundwasserbewegung (Durch)

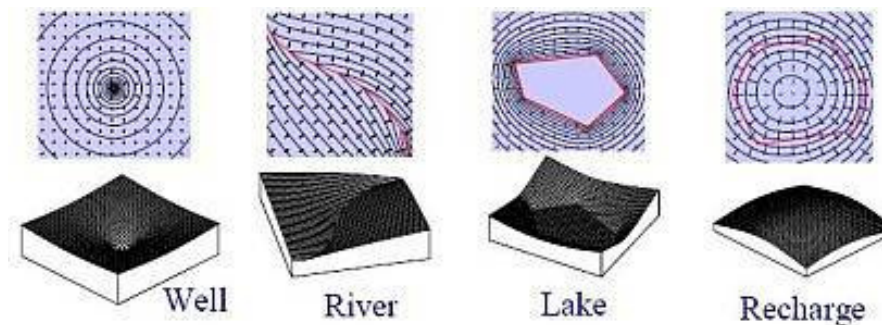
Dr. Christoph Külls
Wintersemester 2010/2011

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} .



Beispiel Zartener Becken

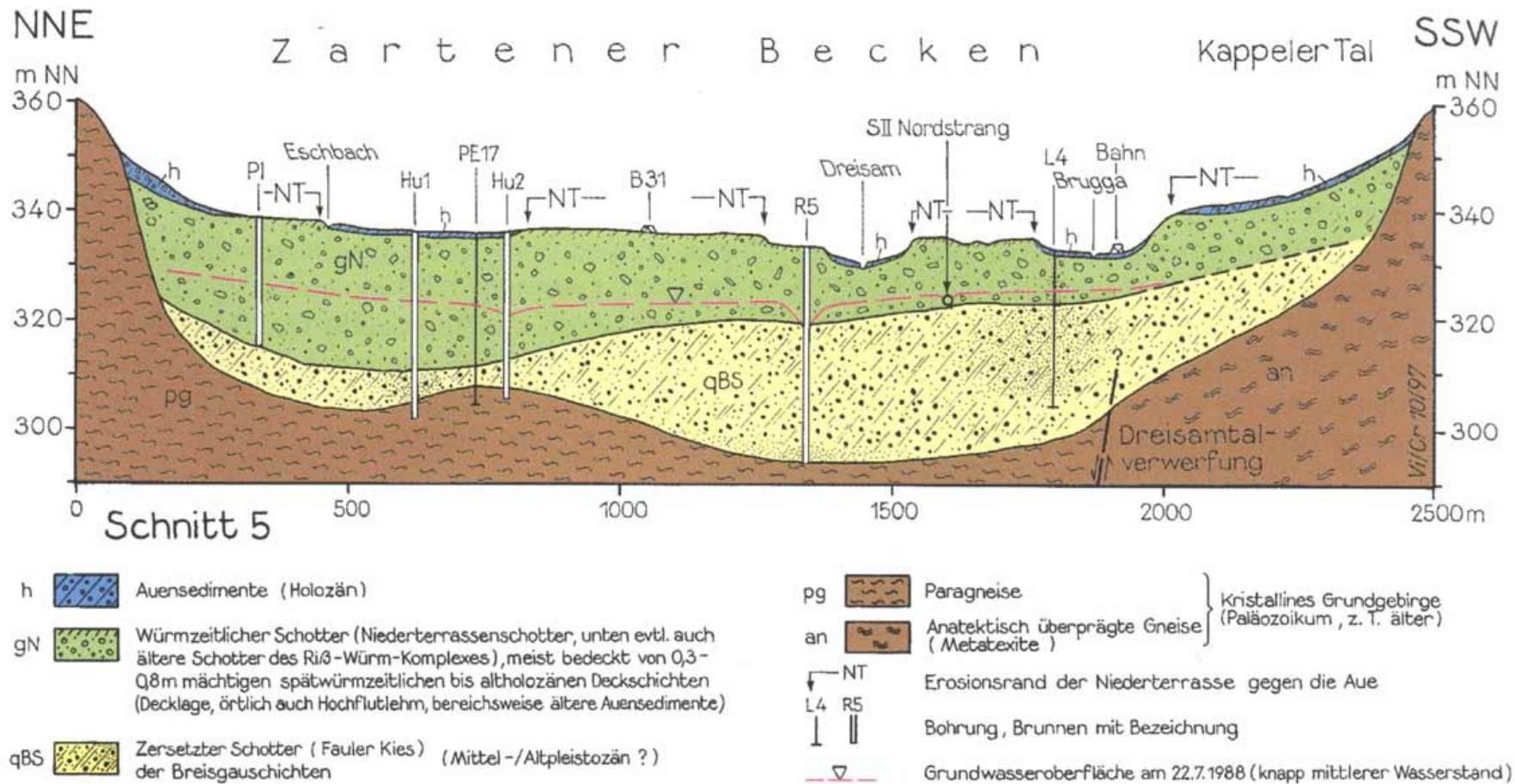
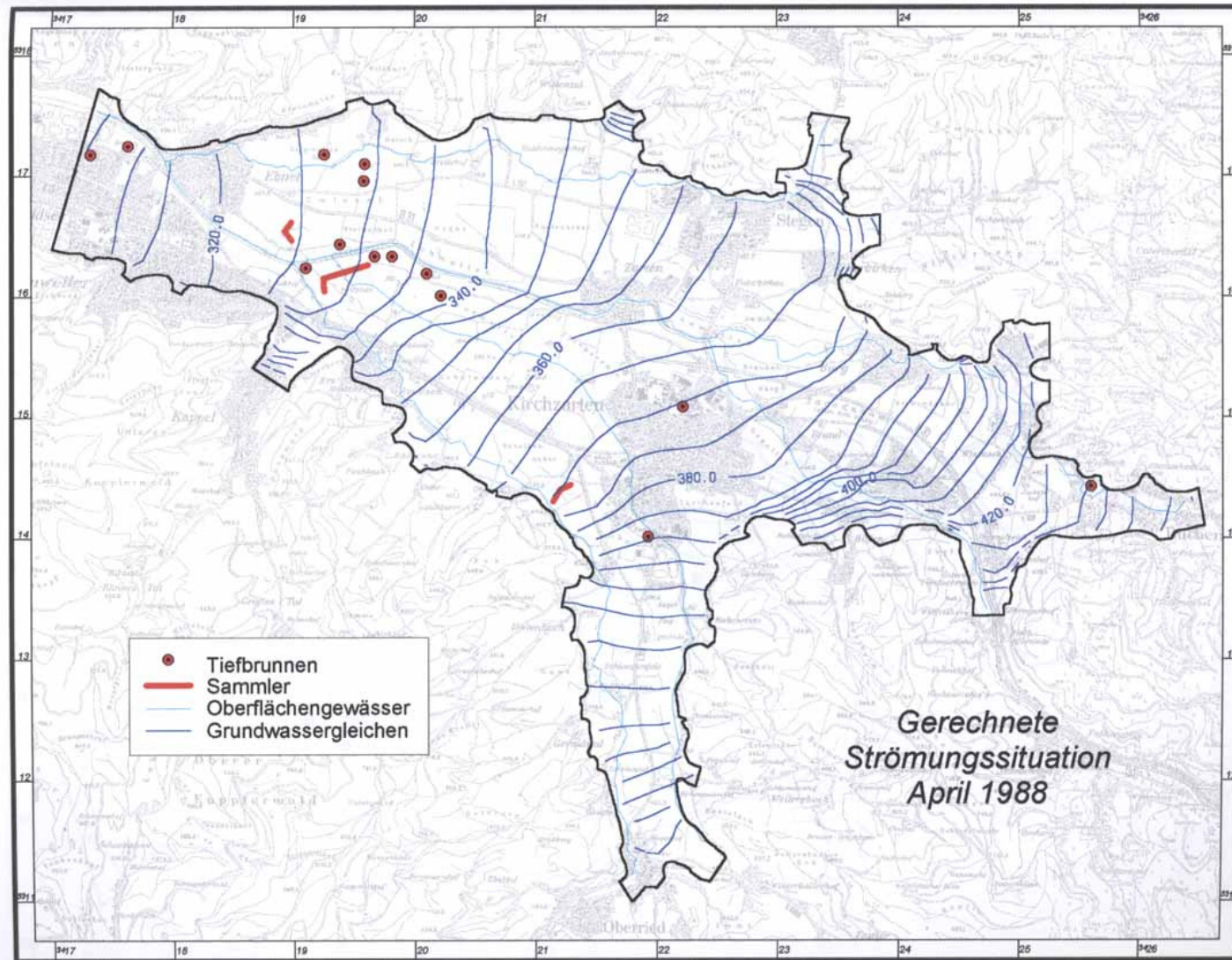


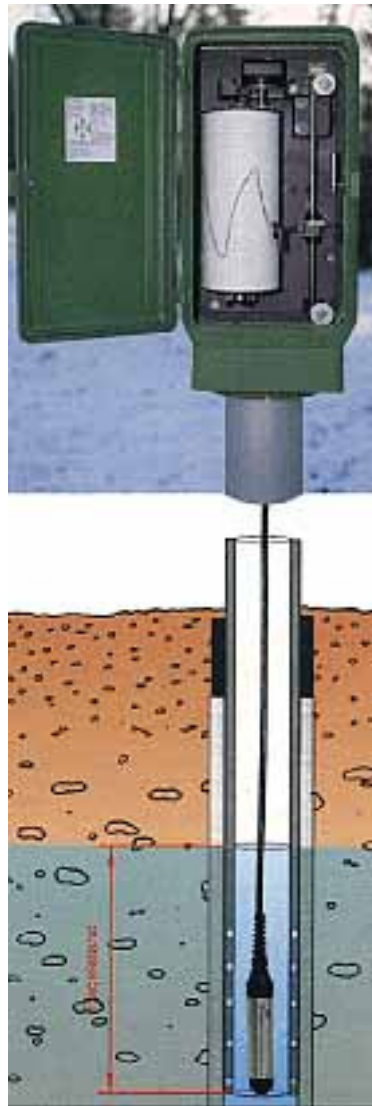
Abb. 8: Geologischer Schnitt (5fach überhöht) durch das Zartener Becken im Bereich der Fassungsanlagen des Wasserwerks Ebnet

Grundwassergleichen

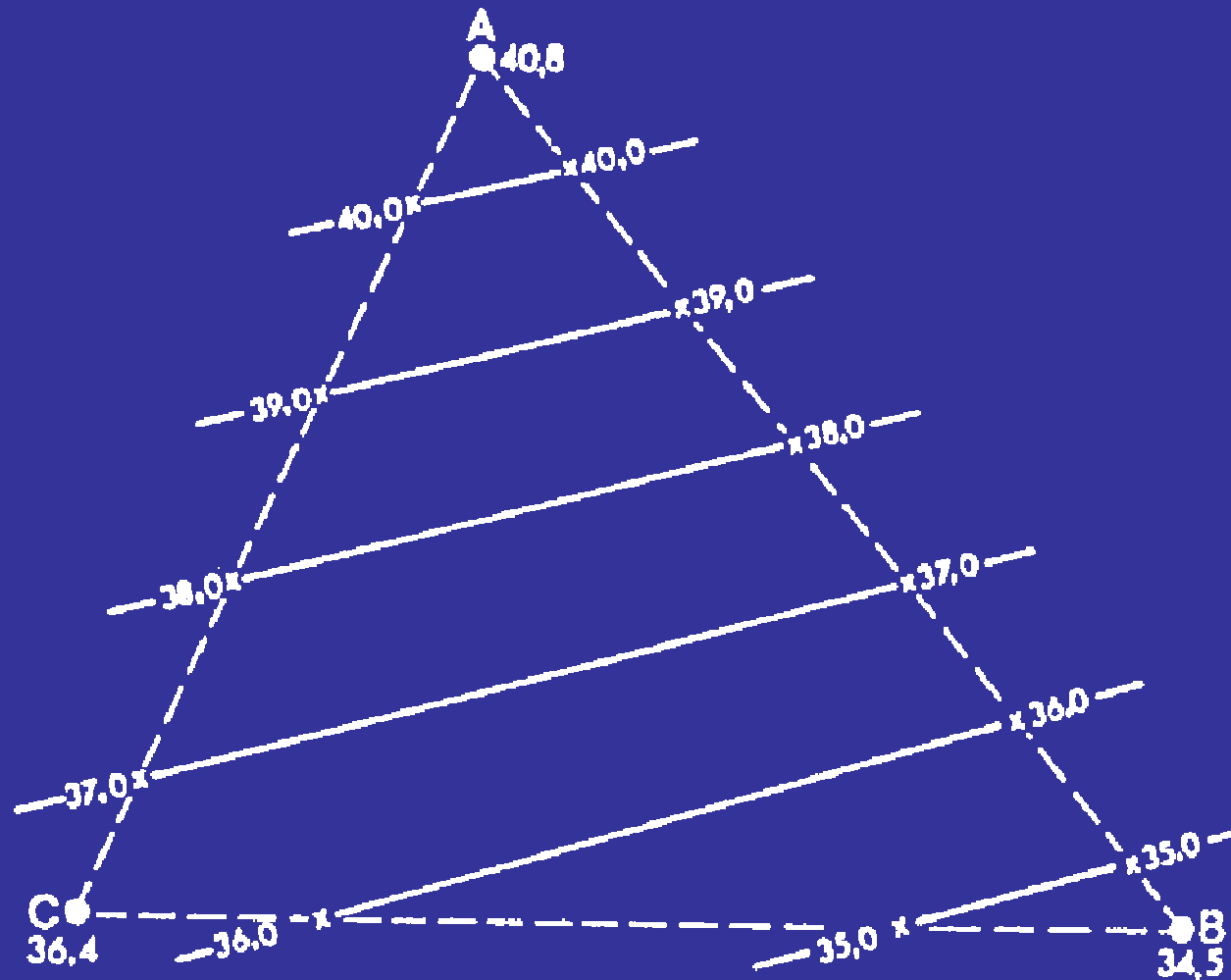
Abbildung 7.6: Gerechnete Strömungssituation April 1988.



Messvorrichtungen: Pegel, Grundwassermessstelle



Erstellung der Grundwassergleichen aus Messdaten

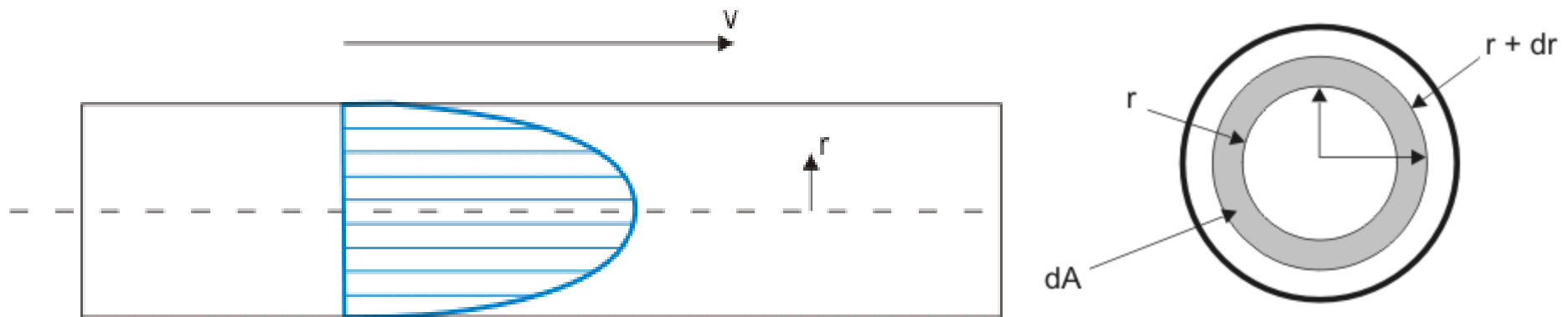


Aus: RICHTER/LILLICH (1975)

- Laterale und vertikale Bewegung
- Heterogene Struktur der Aquifere ist meist extrem
- „Grundwasserströmung“ obwohl Bewegung nicht sichtbar
- Bewegung im Porenraum oder Kluftraum
- In der Regel „laminare Strömung“ (Reynolds-Zahl Re im Fluid Wasser beträgt maximal 2320)
- Gesetz der Massenerhaltung

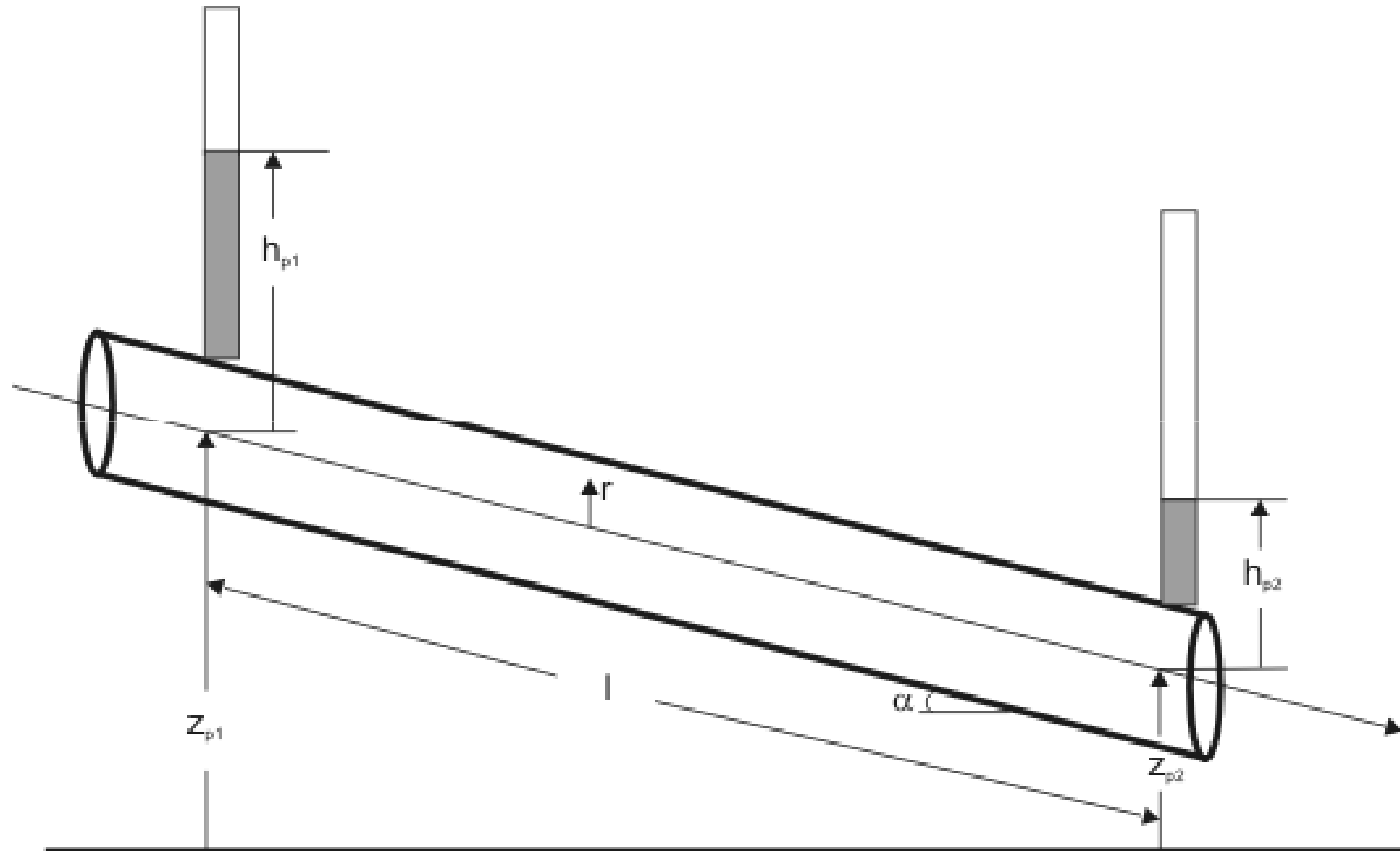
Der Fluss in einer einzelnen Pore: Hagen Poiseuille

- Der **Durchfluss Q** ist proportional der vierten Potenz des Radius. Kleine Veränderungen des Radius bedeuten große Veränderungen des Durchflusses. Darüber hinaus ist der Durchfluss von den Flüssigkeitseigenschaften Dichte und Viskosität beeinflusst.
- Die **mittlere Geschwindigkeit v_m** ist proportional dem Radius zum Quadrat.



- Laborversuche 19. Jh.: Strömungsgeschwindigkeit proportional dem hydraulischen Gradienten (Potentialgefälle)
- Durchflussmenge (Q) proportional zur Fläche (A) und Differenz der Potentialhöhen ($h_1 - h_2$), umgekehrt prop. zur Länge ($L_2 - L_1$)
- Proportionalitätskonstante (K) = hydraulische Leitfähigkeit, abhängig von den Eigenschaften der Matrix und des Wassers (Viskosität, Dichte)

Darcy Gesetz: Versuchsaufbau



Darcy Gesetz: Formel

Voraussetzung:
laminare Strömungsverhältnisse
Durchlässigkeit ~ Permeabilität
(gesteinsspezifische Konstante)

Definition: Permeabilität [K] = 1 DARCY (D)
1D=1cm³ Wasser in 1s durch Substrat von 1cm²

Durchlässigkeitsbeiwert [k_f]: beschreibt Reibung
eines vom Wasser durchflossenen Substrates
abhängig von:

- Wasser
- Grundwasserleitereigenschaften

$$v_f = -k_f * I$$

$$Q = v_f * A$$
$$= -k_f * I * A$$

v_f = Filtergeschwindigkeit

Q = Abfluss

k_f = hydraul. Durchlässigkeit

A = Fläche

$$\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Durchlässigkeit abhängig von

Klüfte und Spalten
Schieferungsfugen

Als tektonisch bedingte Trennflächen

Klüfte und Spalten

Infolge Gebirgsentspannung

Schichtfugen
Bankungsfugen

Entstanden durch Sedimentations-
unterbrechungen und / oder
diagenetische Vorgänge

Absonderungsfugen
Bankungsfugen

als Auswirkungen endogener
physikalischer Kräfte

Verwitterungsfugen
Lösungsfugen

als Auswirkungen exogener physikalischer
und chemischer Kräfte

Schätzung des k_f -Wertes

- a) Korngrößenverteilung
- b) Füllversuche (nur Festgesteine)
- c) Pumpversuche
- d) Flowmeter (v_a)
- e) Markierversuche
- f) Einbohrlochversuche

Transmissivität T

(engl.: transmissivity, franz.: transmissibilité)

Integral T über den Durchlässigkeitsbeiwert k_f eines Grundwasserleiters von der Grundwassersohle bis zur Grundwasseroberfläche, d.h. über die gesamte Grundwassermächtigkeit H.

$$T = k_f * H$$

... auf die Mächtigkeit des Grundwasserleiters bezogenes Maß der Gesamtdurchlässigkeit.

$$Re = \frac{\rho v l}{\eta}$$

η dynamische Viskosität [$N \cdot s / m^2$]

ρ Dichte [kg / m^3]

v Geschwindigkeit [m / s]

l charakteristische Länge [m]

Re < 2320  laminare Strömung

Re > 2320  turbulente Strömung

Gesamtporosität (P)

abgeschlossene Poren
nicht durchfließbar

verbundene Poren
,durchströmbar‘

nicht bewegliches
Haftwasser

frei bewegliches Haftwasser
effektive, nutzbarer
Porosität (n_e)

$P =$ absoluter Porenraum

$P^* =$ nutzbarer Porenraum

$n_e =$ nutzbarer Porenraum P^* / Gesamtvolumen

Bodenart	Hohlraumanteil n [%]
Tone	45 - 55
Schluff	40 - 50
Gleichförmiger Sand	30 - 40
Mittel- Grobsand	35 - 40
Fein- bis Mittelsand	30 - 35
Kies und Sand	20 - 35
Kies	25 - 40

Berücksichtigung der nutzbaren Porosität P^*

- $v_f = v_a n_e$ (m/s)

wobei gilt:

$$v_a = \frac{v_f}{n_e} \quad \left. \vphantom{\frac{v_f}{n_e}} \right\} \Rightarrow k_f = \frac{v_a * n_e}{I}$$