

Grundlagen der Hydrologie

3. Bodenfeuchte, Retention & Abflussbildung¹

Übung im WiSe 2022/23 - TU Bergakademie Freiberg

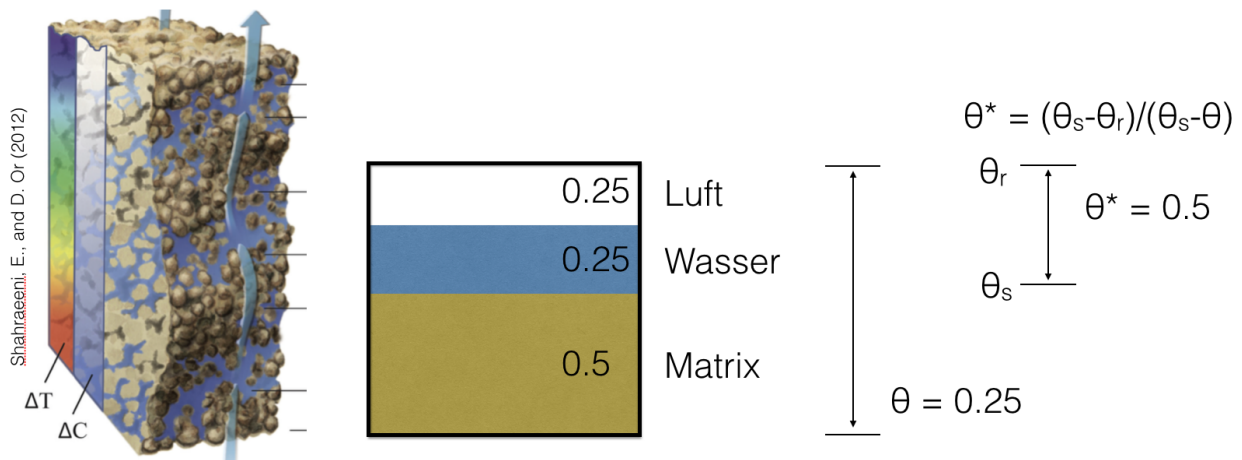
¹ Begleitend zur Vorlesung **Grundlagen der Hydrologie** von Jun.Prof. Dr. Conrad Jackisch, Rückfragen in der Vorlesung oder per eMail conrad.jackisch@tbt.tu-freiberg.de

Ziele der Übung sind das Verständnis der Konzepte und Beispiele zu:

- Boden als Mehrphasensystem Mineral-Luft-Wasser
- Kapillarität im porösen Medium
- Retentionsbeziehung (Wassergehalt – Saugspannung)
- Infiltration und Abflussbildung

Aufgabe 3.1: Porosität, Lagerungsdichte und gravimetrische Messung der Bodenfeuchte

Boden ist ein Mehrphasensystem in dem der mineralische Bodenkörper eine poröse Matrix bildet. Diese Poren sind wiederum mit einem Luft und Wasser Gemisch gefüllt. Abb. 1 fasst diese Abstraktion zusammen. Darin finden Sie die Referenz der wichtigen Begriffe Bodenfeuchte (θ , auch als Wassergehalt bezeichnet) und relative Sättigung (θ^*). Beide bestimmen den Anteil von Bodenwasser im Kontrollvolumen, wobei $\theta = V_{\text{Wasser}}/V_{\text{Probe}}$ bzw. $\theta^* = V_{\text{Wasser}}/V_{\text{Porenraum}}$.



Sie wollen im Labor den Wassergehalt θ und die Porosität über θ_s von Bodenproben bestimmen. Ihre Kollegin hat Ihnen dazu 2 Stechzylinder (Probe 260 und Probe 452) von einer Feldkampagne mitgebracht und seine Messungen bei Probennahme in die unten angegebene Tabelle eingetragen.

1. Bestimmen Sie den Wassergehalt bei Probennahme θ ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
2. Wie groß ist die Porosität angenommen mit θ_s ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
3. Bestimmen Sie die Lagerungsdichte BD (g cm^{-3})

Figure 1: Konzept der Bodenfeuchte mit θ_r (residualer Wassergehalt), θ_s (gesättigter Wassergehalt), θ (volumetrischer Wassergehalt) und θ^* (relative Sättigung).

4. Kontrollieren Sie Ihr Ergebnis mit dem Wissen, dass die mineralische Phase üblicherweise eine Dichte von 2.65 g cm^{-3} besitzt.
5. Wieviel Wasser müssen Sie der getrockneten Proben hinzugeben, um eine volumetrische Bodenfeuchte von $0.3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ einzustellen?

Probe	260	452
$m_{\text{tot, Feld}} [\text{g}]$	628.42	531.76
$m_{\text{tot, trocken}} [\text{g}]$	536.62	479.84
$m_{\text{tot, gesättigt}} [\text{g}]$	668.2	602.3
$m_{\text{Stechzylinder}} [\text{g}]$	194.0	191.0
$V_{\text{Stechzylinder/Probe}} [\text{cm}^3]$	250	250
$\theta_{\text{Feld}} [\text{m}^3 \text{ m}^{-3}]$	.....	.....
Porosität $[\text{m}^3 \text{ m}^{-3}]$	.....	.....
Lagerungsdichte $[\text{g cm}^{-3}]$	.....	.....
theoret. Porosität	.....	.....
(mit $\rho_{\text{Mineral}} = 2.65 \text{ g cm}^{-3}$)		

Aufgabe 3.2: Retentionsbeziehung zwischen Wassergehalt und Saugspannung

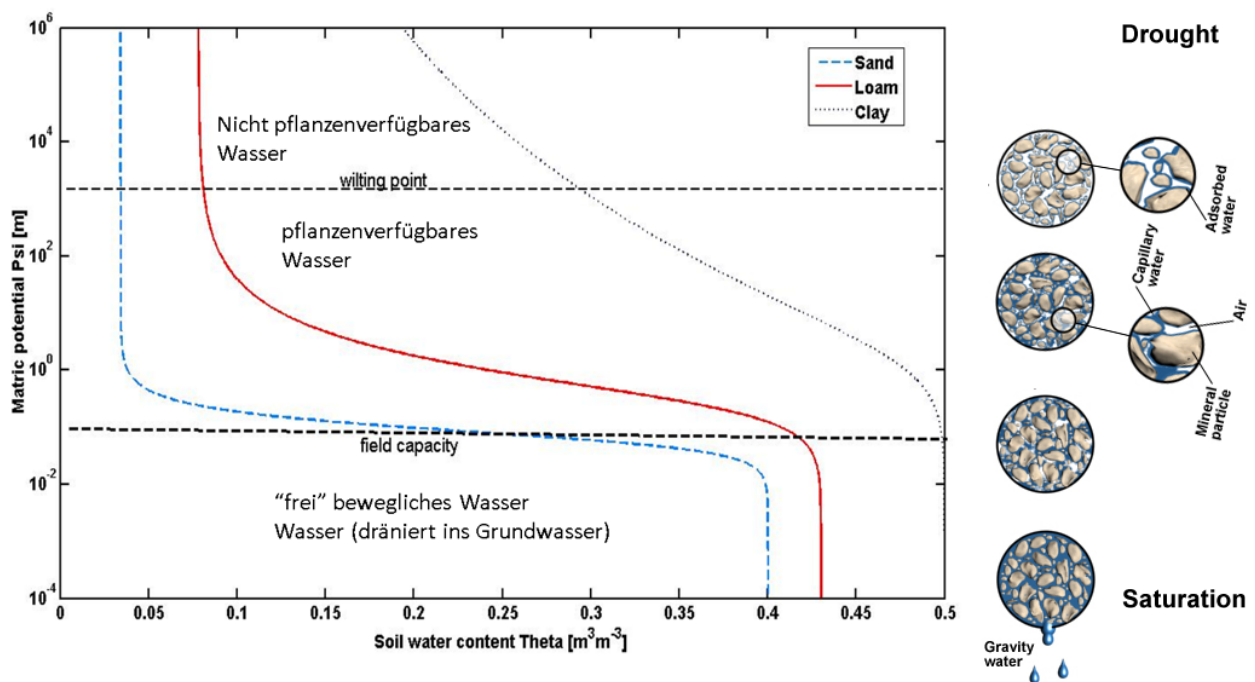


Figure 2: Retentionskurven typischer Böden

Abb. 2 zeigt typische Retentionskurven (auch pF oder pF-WG Kurve genannt) für Böden verschiedener Textur. Unter Textur verstehen wir die Verteilung der Korngrößen der Bodenmatrix, welche wiederum das Spektrum der Porenräume bestimmt. Es sind genau diese Poren, die eine Kapillarität ausbilden und damit

Wasser gegen die Schwerkraft oder gegen Verdunstung im Boden halten. Kleine Porenradii bedeuten hohe Kapillarität.

Diese Kapillareigenschaften sind noch einmal in Abb. 3 verdeutlicht.

1. Erklären Sie die Beobachtungen in Abb. 3 hinsichtlich Korngrößen, Porenraum, Kapillarität und der Retentionsbeziehung in Abb. 2.
2. Bestimmen sie folgende Kennwerte und ordnen Sie die Böden jeweils nach ihnen:

Gesamtporenvolumen V_{Poren}

Wassergehalt bei Feldkapazität $\theta(FC)$

Wassergehalt am permanenten Welkepunkt $\theta(WC)$

pflanzenverfügbares Wasser

3. Welche Bodenart produziert die meiste Drainage bzw. Grundwasserneubildung und damit den größten Basisabfluss?

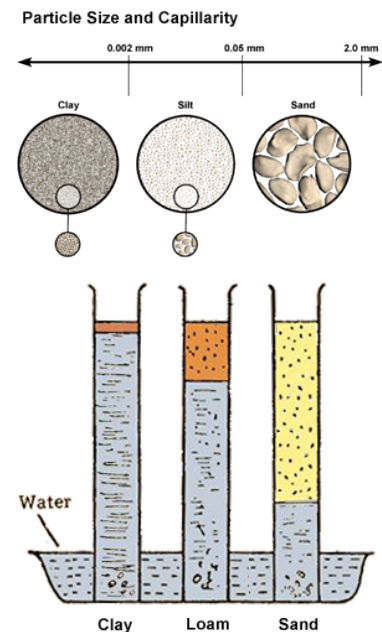


Figure 3: Poren und Kapillarität

	Sand	Lehm	Ton
V_{Poren}
$\theta(FC)$
$\theta(WP)$
pflanzenverfüg.

Aufgabe 3.3: Infiltration und Abflussbildung nach dem Horton Modell

Robert Horton hat in den 1930ern intensiv Infiltrationsprozesse untersucht. Er beobachtete, dass die Infiltrationskapazität exponentiell von einer initialen, maximalen Rate f_0 zu einer konstanten Rate f_c hin abnimmt. Daraus wurde das bekannte Horton-Modell für die Infiltrationsrate f_p mit der Rezessionskonstante k abgeleitet (Zeit ist t):

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt} \quad (1)$$

Das Zeitintegral von t_i bis $t_i + \Delta t$ der Infiltration ist damit wie folgt:

$$\int_{t_i}^{t_i + \Delta t} I(t_i) dt = [f_c \cdot \Delta t + k^{-1} \cdot (f_0 - f_c)(e^{-kt_i} - e^{-k(t_i + \Delta t)})] \quad (2)$$

Der Hortonsche Abfluss $Q_H(t_i)$ ist dann über die Bilanz von Niederschlag P und Infiltration I zu bestimmen:

$$Q_H(t_i) = \int_{t_i}^{t_i + \Delta t} P(t_i) dt - \int_{t_i}^{t_i + \Delta t} I(t_i) dt \quad (3)$$

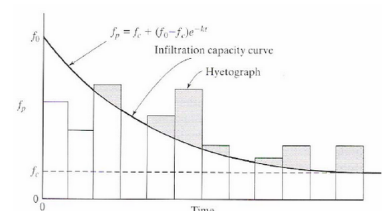


Figure 4: Horton Infiltrationsmodell

1. Berechnen Sie die Infiltration eines Niederschlagsereignis von 45 mm in 3h mit Hilfe des Horton Infiltrationsmodells. Unterscheiden Sie dabei die Fälle einer anfangs und einer endbetonten Verteilung der Niederschlagsintensität (P_A und P_E). Die unterschiedlichen Intensitätsverläufe finden Sie in unten stehender Tabelle.
2. Ermitteln Sie die Abflussbeiwerte.

Gegeben sind:

- Anfangsinfiltrationsrate $f_0 = 20 \text{ mm h}^{-1}$
- Endinfiltrationsrate $f_c = 5 \text{ mm h}^{-1}$
- Rezessionskonstante $k = 1 \text{ h}^{-1}$

Tipp: Berechnen Sie die akkumulierte Infiltration $\int I(t)$ mit dem Integral der Hortonformel über $\Delta t = 1, 2$ und 3 h (jeweils mit $t_i = 0 \text{ h}$). Errechnen Sie daraus den Zuwachs der akkumulierten Infiltration $\int I(t) = \int I(t_i) - \int I(t_{i-1})$. Die Berechnung der akkumulierten Infiltration kann rechnerisch oder graphisch erfolgen.

$t \text{ [h]}$	1	2	3
$P_A(t) \text{ [mm h}^{-1}\text{]}$	25	15	5
$P_E(t) \text{ [mm h}^{-1}\text{]}$	5	15	25
$\int I(t) \text{ [mm]}$	.....	.....	.....
$\Delta \int I(t) \text{ [mm]}$	.....	.....	.....
$P_A(t) - \Delta \int I(t) \text{ [mm]}$	.....	.....	.....
$P_E(t) - \Delta \int I(t) \text{ [mm]}$	.....	.....	.....

Aufgabe 3.4: Sättigungsdefizit und Sättigungsoberflächenabfluss

Die Bodenfeuchte θ in einem 1 m tiefen Lehm Boden beträgt $0.4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ in den unteren 0.5 m und $0.34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ in den oberen 0.5 m. Die Porosität des Bodens ist $\theta_s = 0.44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

1. Wie viel Niederschlag [mm] kann ein Quadratmeter dieses Bodens noch aufnehmen, bevor Sättigung des gesamten Profils eintritt?
2. Sie erwarten ein Niederschlagsereignis von insgesamt 100 mm. Berechnen sie die Menge an Sättigungsoberflächenabfluss (pro Quadratmeter). Nehmen Sie dazu an, dass während des Niederschlagsverlaufs der Boden komplett aufgesättigt wird.
3. Wie groß wäre das totale Hochwasservolumen, wenn diese Abflusshöhe in einem Einzugsgebiet von 150 km^2 produziert würde?

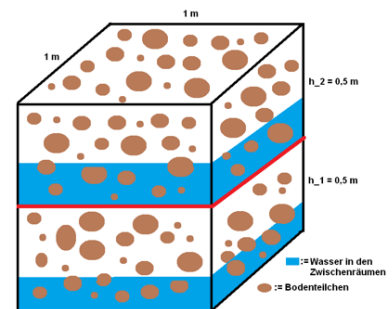


Figure 5: Skizze der Bodensäule