Leibniz Universität Hannover

Sickervorgänge in Seedeichen

- Eigenschaften von Kleiabdeckungen und ihre Auswirkungen auf die Standsicherheit der Binnenböschung -

Martin Achmus, Martin Pohl, Helmut Temmler

Hintergrund

Fachausschuss für Küstenschutzwerke
der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT)
und der Hafentechnischen Gesellschaft e.V. (HTG)

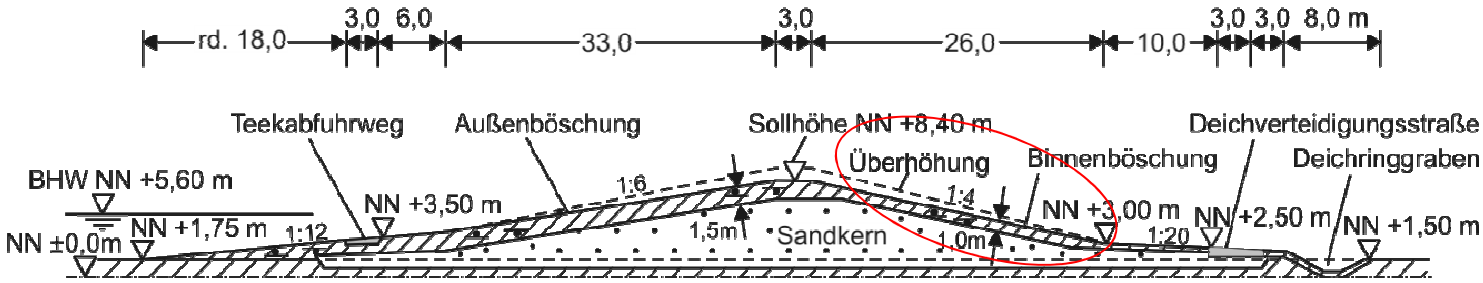
Erweiterung der EAK: Arbeitsgruppe „Sickervorgänge im Deich“

Gliederung

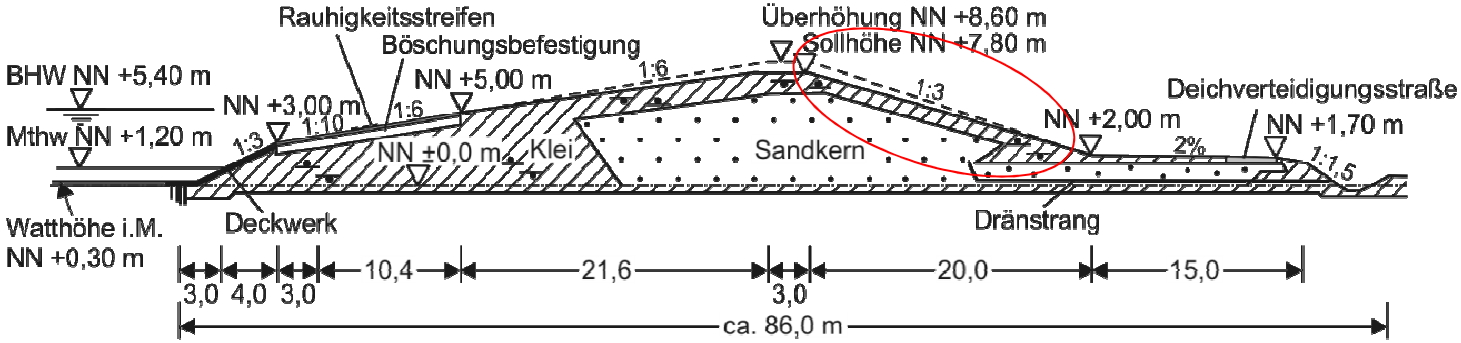
- Anforderungen an Kleiböden für den Deichbau
- Eigenschaften von gealterten Kleideckschichten
- Standsicherheit der Deckschicht
  - * Hangparalleles Gleiten
  - * Abheben

Deichquerschnitte

Vorlanddeich an der Leybucht

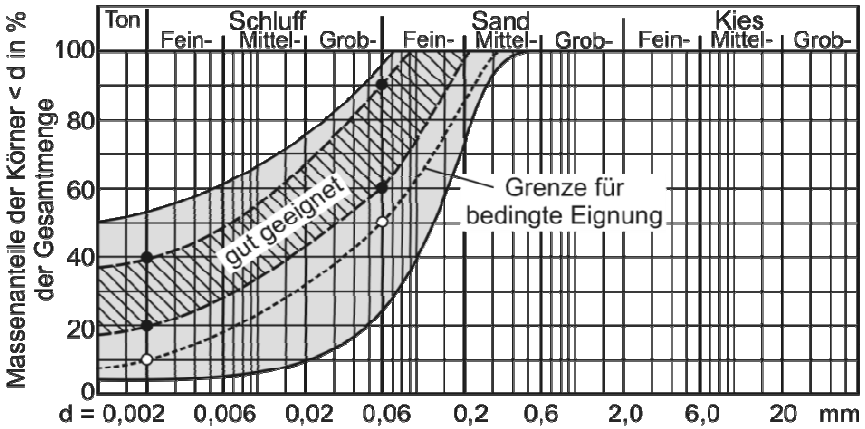


Schardeich Norden-Westermarsch



(aus EAK 2002)

Eignung von Kleiböden



Anforderungen:

- Ausreichend kohäsiv, aber
- nicht zu stark schrumpfend und
- geeignet als Substrat für Grasnarbe

Bodeneigenschaft	Grenzwerte		
	gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet
Bodenart	schluff./ton. Klei	sand. Klei	st. sand. Klei
a) Tonanteil (d < 0,002 mm / %)	20-40	15-20	10-15
b) Sandanteil (d > 0,063 mm / %)	10-40	25-50	30-50
c) Fließgrenze w_L (%)	35-70	30-55	25-40
Plastizitätszahl I_p (%)	20-45	15-20	10-15
d) Einbauwassergehalt w (%)	25-60	25-50	25-45
e) Trockendichte ρ_d (t/m^3)	1,10-1,45	1,15-1,50	1,25-1,55
f) Anfangsscherfestigkeit c_u (kPa)	$\geq$ 25	$\geq$ 30	$\geq$ 40
g) Glühverlust V_{gl} (%)	$\leq$ 10	$\leq$ 10	$\leq$ 5

Empfohlene Grenzwerte für Klei als Deichabdeckung
(Tab. G3 aus Empfehlungen G 2002 der EAK 2002).

Bewertung nach Weißmann

Parameter:
1) Wasserdurchlässigkeit k_f
2) Zerfallszeit t_{30}
3) Schrumpfmaß V_s
4) Plastizitätszahl I_p

Bewertungsfaktoren
B_1
B_2
B_3
B_4

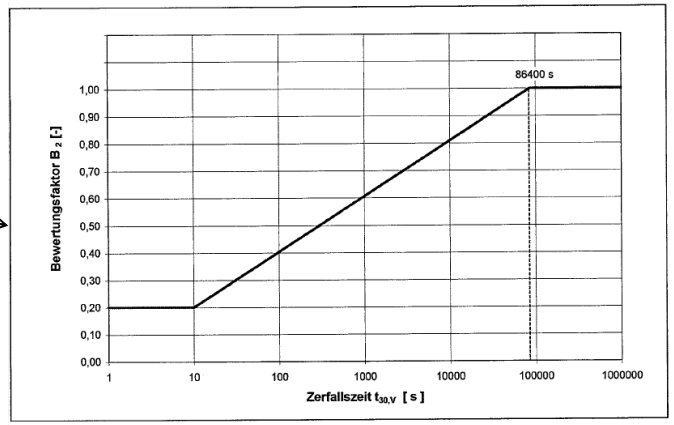


Abb.4.2: Bewertungsfaktor B_2 für die Zerfallszeit $t_{30,V}$

Bewertungszahl : $N = \sqrt[4]{B_1\ B_2\ B_3\ B_4}$

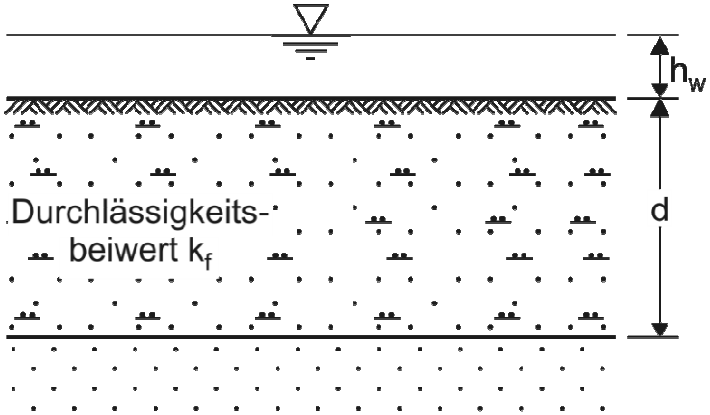
>0,85: sehr gute Eignung
>0,75: gute Eignung
<0,5 nicht empfehlenswert

Kritik: * Bewertungsfunktionen müssen erfahrungsbasiert gewählt werden
*** Parameter nicht signifikant aussagekräftiger**

→ Allenfalls als Ergänzung, nicht aber als Ersatz für das EAK-Verfahren

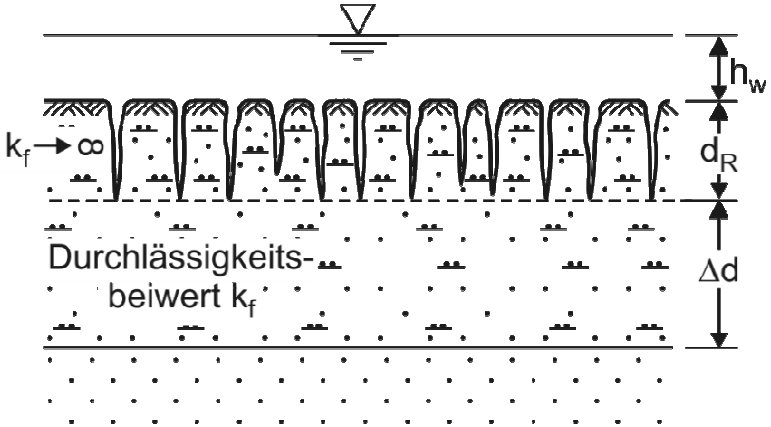
Durchlässigkeit von bindigen Deckschichten

Homogene Deckschicht



$$q = k_f \frac{h_w + d}{d}$$

Modellvorstellung von C. Pohl (2010)



$$q = k_f \frac{h_w + d_R + \Delta d}{\Delta d}$$

Struktur einer gealterten Deckschicht

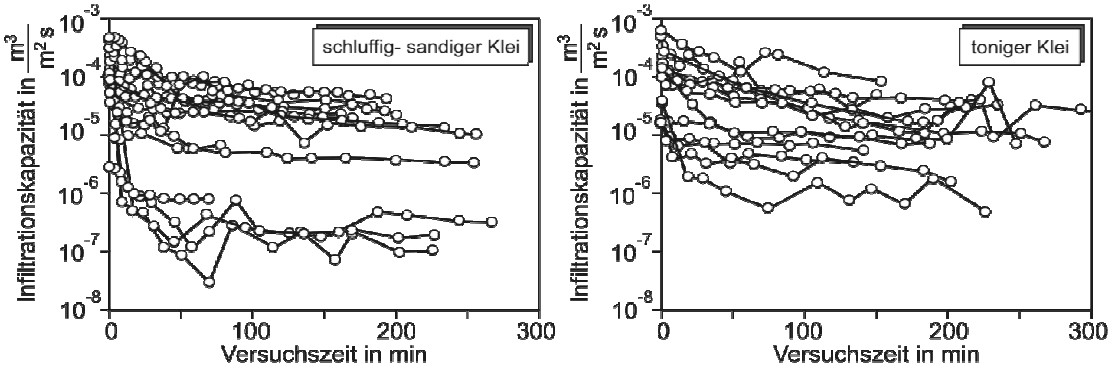
Tiefe unter Geländeoberkante (m)	Beschreibung
0 bis 0,05 m	Sehr lockere Anordnung kleiner Aggregate, welche durch Wurzeln zusammengehalten werden
0,05 bis 0,20 m	Locker angeordnete Aggregate mit Abmessungen zwischen 0,1 und 3 cm; offener Porenraum (zwischen den Aggregaten) rd. 20 bis 30%
0,20 bis 0,40 m	Locker angeordnete Aggregate mit Abmessungen zwischen 3 und 6 cm; offener Porenraum rd. 5 bis 20%
0,40 bis 0,80 m	Eng angeordnete, langgestreckte Aggregate mit Abmessungen zwischen 5 und 15 cm; offener Porenraum rd. 2 bis 5%
größer 0,8 m	Struktur mit überwiegend vertikalen Rissen

Typische Bodenstruktur einer bindigen Deckschicht nach van Hoven et al. (2008).

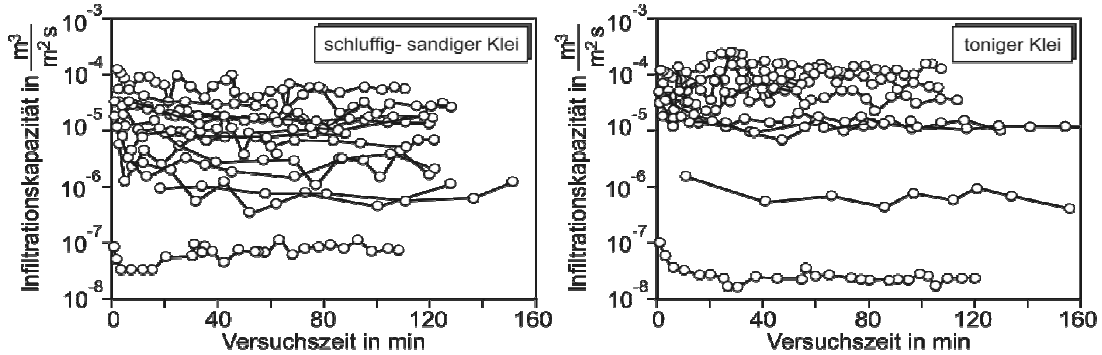
- kohärentes Gefüge erst in großen Tiefen
- k_f des ungerissenen Bodens ist nicht maßgebend

Quelle: TAW 1996

Ergebnisse von Infiltrationsversuchen



Richwien & Weißmann (1996; 1998)

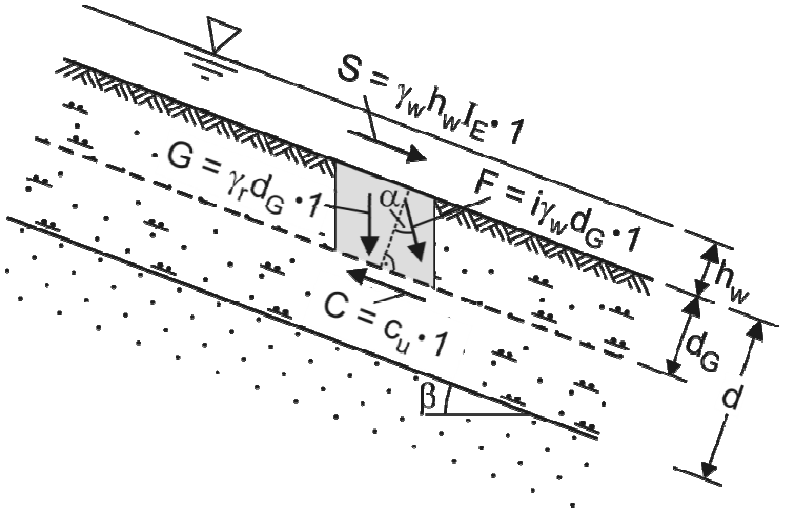


Temmler (2007)

- Große Schwankungsbreiten der Infiltrationskapazität
- Keine signifikante Abhängigkeit von der Art des Kleis

→ Entweder konservativ mit 10^{-4} $m^3/(m^2s)$ rechnen oder Feldversuche

Standsicherheit: Hangparalleles Gleiten



$$\mu = \frac{\gamma_G\,(\gamma_r d_G\ sin\beta\ +\ i\,\gamma_w\,d_G sin\alpha\,) + \gamma_Q \gamma_w h_w I_E}{\frac{c_u}{\gamma_{cu}}}$$

c_u ist abhängig vom Wassergehalt und damit vom Infiltrationsvorgang

$$c_u(w) = c_u(w_p)^{I_c}$$

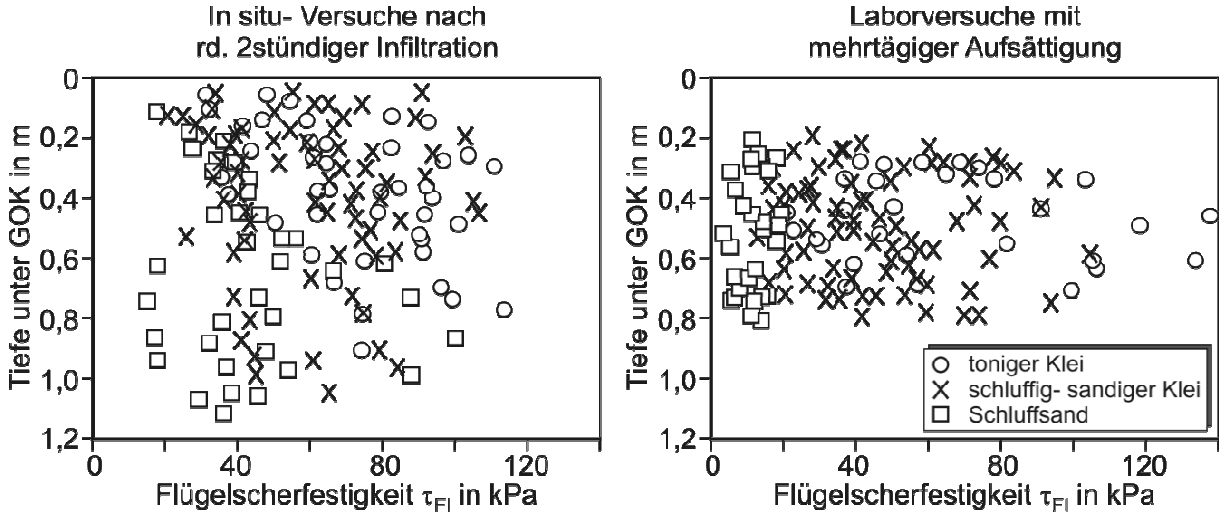
Standsicherheit: Hangparalleles Gleiten

$$\mu = \frac{\gamma_G\,(\gamma_r d_G\, sin\beta \;+\; i\,\gamma_w d_G sin\alpha\,) + \gamma_Q \gamma_w h_w I_E}{\frac{c_u}{\gamma_{cu}}}$$

Erforderliche Scherfestigkeiten für 1:3 Böschung:

* c_u > 13 kPa für d_G = 1,5 m
* c_u > 10 kPa für d_G = 1,0 m

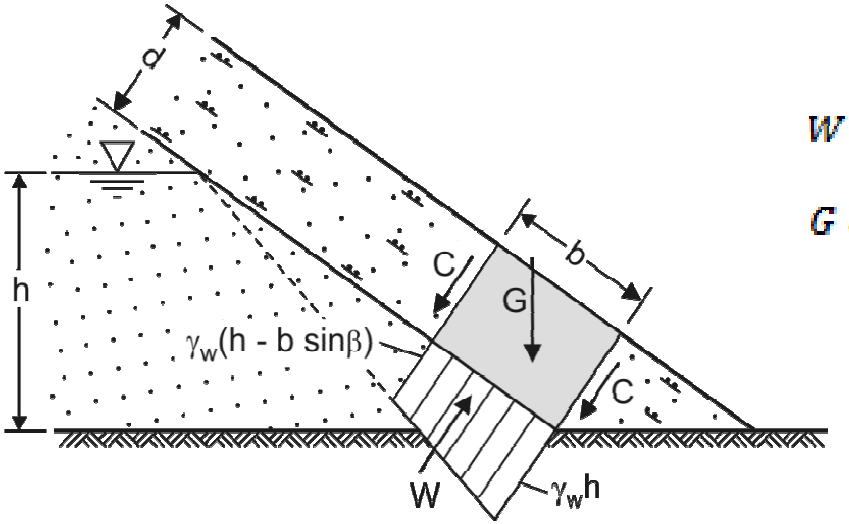
Messwerte für gesättigte Scherfestigkeiten:



(Temmler 2007)

→ Sofern geeigneter Klei verwendet wird, scheint hangparalleles Gleiten kein Problem zu sein

Standsicherheit: Abheben der Deckschicht



$$W = \gamma_w \, (h - 0{,}5 \, b \, sin\beta) \, b$$

$$G \, cos\beta + 2 \, C = \gamma_r \, b \, d \, cos\beta + 2 \, c_u \, d$$

$$\mu = \frac{\gamma_{G,inf} \, G \, cos\beta + \gamma_Q \, W}{2 \, C/\gamma_{cu}} = \frac{\gamma_{G,inf} \, \gamma_r \, b \, d \, cos\beta + \gamma_Q \gamma_w \, (h - 0{,}5 \, b \, sin\beta) \, b}{2 \, \frac{c_u}{\gamma_{cu}} \, d}$$

→ zul h

Erfahrungen/ Beobachtungen (Temmler 2004; 2007):

- Ungünstige Wasserstände treten nur bei fehlender Entwässerung auf
- Erheblicher Sturmfluteinfluss nur bei ungeeigneten Abdeckböden

→ Kleiqualität beeinflusst die Standsicherheit nur geringfügig; diesbezügliche funktionale Bemessung der Deckschicht erscheint verzichtbar

Schlussfolgerungen

- Die Infiltrationskapazität einer aggregierten Kleideckschicht liegt nach Messergebnissen meist zwischen 10^{-4} und 10^{-5} $m^3/(s\ m^2)$ und ist offenbar weitgehend unabhängig von der genauen Zusammensetzung des Deckschichtmaterials.

- Eine mit geeignetem Material ausgeführte Kleideckschicht hat nach vorliegenden Messergebnissen auch bei Sättigung noch eine ausreichend große Scherfestigkeit, um das Abrutschen der Deckschicht zu verhindern.

- Für den Nachweis gegen Abheben der Kleideckschicht durch zu hohen Wasserstand im Deichkern sind die Entwässerungs-bedingungen entscheidend und nur untergeordnet die Durchlässigkeit der Deckschicht.

→ Weitere Forschung zu den Eigenschaften gealterter Kleideckböden ist wünschenswert

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!