

Tone als Barrieregesteine bei Mülldeponien Geotechnische Untersuchungen an Tonen aus Göllersdorf und Hennersdorf

Dipl.Ing.-A.R.KNAAK

1. Allgemeines und Aufgabenstellung

Es sollte anhand ausgewählter Tongesteine untersucht werden, inwieweit die Durchströmung des Barrieregesteins mit verschiedenen Prüflüssigkeiten eine Veränderung der geotechnischen, geochemischen sowie mineralogischen Eigenschaften desselben bewirken kann.

Um anhand der erhaltenen Ergebnisse ein umfassendes Bild von der behandelten Problematik zeichnen zu können, ist es jedoch unerlässlich, die Resultate der geotechnischen Versuche in Zusammenhang mit denen der geochemischen und mineralogischen Analysen zu betrachten. Letztgenannte wurden am Institut für Bodenforschung und Baugeologie der Universität für Bodenkultur erstellt und sind in den betreffenden Arbeiten von F.Ottner (1990) und B.Knaak (1992) dokumentiert.

Die erwähnten "ausgewählten Tongesteine", die in diesem Projekt untersucht wurden, stammen aus Göllersdorf, Hennersdorf, Mannersdorf und Freydegg (alle vier Standorte befinden sich in Niederösterreich). Die Versuche mit den Materialien aus Mannersdorf und Freydegg wurden in der Diplomarbeit von R.Rohrhofer abgehandelt. In der vorliegenden Arbeit stehen die Standorte Göllersdorf und Hennersdorf im Vordergrund.

2. Versuchsprogramm

Die Problematik der geotechnischen Eigenschaften eines Barrieregesteins und deren Veränderungen im Zuge der Durchströmung mit verschiedenen relevanten Prüf- oder Sickerflüssigkeiten wurde anhand eines Versuchsprogrammes aufgearbeitet, das folgende Punkte umfaßt:

A) Bestimmung der wesentlichen geotechnischen Parameter des Ausgangsmaterials;

es sind dies:

- die Kornverteilungskurve,
- die Atterbergschen Zustandsgrenzen,
- die Trockendichte und der Wassergehalt,
- die Feststoffdichte, sowie
- die Proctorwerte.

B) Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit

- von ungestörten Proben bei einer *normal* auf die geologische Schichtung gerichteten Durchströmung,
- von ungestörten Proben bei Durchströmung *parallel* zur geologische Schichtung und
- von künstlich verdichteten Proben.

C) Langzeit-Durchlässigkeitsversuche mit ungestörten Proben zur Bestimmung und Beobachtung der Durchlässigkeit mit verschiedenen Prüfflüssigkeiten, nämlich

- entionisiertem Wasser (H_2O)
- 1 normale Salzsäure (HCl)
- 1 normale Natronlauge (NaOH)
- synthetischem Sickerwasser (SIWA)
- 0,05 molare Bleichloridlösung ($PbCl_2$)

Die Eluate dieser Versuche wurden am Institut für Bodenforschung und Baugewologie hinsichtlich ihrer Leitfähigkeit, ihres pH-Wertes, sowie verschiedener Ionenkonzentrationen und Auslaugungsraten untersucht.

Eine genaue Beschreibung der Prüfflüssigkeiten ist ebenfalls in der Arbeit von Ottner (1990) enthalten.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1. Ton aus Göllersdorf

Bodenklassifizierung nach ÖNORM B 4400

Mittelplastischer Ton (TM)

Kornverteilung

Fein-Sand 1,3%
Schlufffraktion 64,4%
Tonfraktion 33,0%

Atterbergsche Zustandsgrenzen

Fließgrenze $w_L = 49,1\%$
Ausrollgrenze $w_P = 20,8\%$
Bildsamkeitszahl $I_P = 28,4\%$

Bodenbezeichnung

Stark bildsamer Ton im halbfesten Zustand (bT,ha)

Feststoffdichte, Trockendichte und Wassergehalt

Feststoffdichte $\rho_{s_f} = 2,76 \text{ g/cm}^3$
Trockendichte $\rho_d = 1,94 \text{ g/cm}^3$
Wassergehalt $w = 14,6 \%$
Zustandszahl $I_C = 1,22$

Proctorwerte

Proctordichte $\rho_{p_r} = 1,705 \text{ g/cm}^3$
Proctorwassergehalt $w_{p_r} = 18,9 \%$

Durchlässigkeit der ungestörten Proben

a) Durchlässigkeit bei Durchströmung mit Wasser:

Durchlässigkeitsbeiwert bei Durchströmung

normal zur Schichtung $k_v = 4,5 \cdot 10^{-11}$ m/s

parallel zur Schichtung $k_h = 3,7 \cdot 10^{-11}$ m/s

Aus den Ergebnissen lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Durchlässigkeit vertikal und parallel zur sedimentären Schichtung des Materials ableiten.

b) Durchlässigkeit bei Durchströmung mit verschiedenen Prüfflüssigkeiten:

Es wurden Langzeitversuche (teilweise 2 Parallelversuche; die angegebenen Werte sind dann gemittelt) mit ungestörten Proben durchgeführt. Die Durchströmung erfolgte jeweils normal zur Schichtung.

H₂O (entlüftetes und entionisiertes Wasser) $k = 4,5 \cdot 10^{-11}$ m/s

NaOH (1 normale Natronlauge) $k = 8,4 \cdot 10^{-12}$ m/s

HCl (1 normale Salzsäure) $k = 1,4 \cdot 10^{-11}$ m/s

PbCl₂ (0,005 molare Bleichloridlösung) $k = 4,7 \cdot 10^{-11}$ m/s

SIWA (synthetisches Sickerwasser) $k = 5,7 \cdot 10^{-12}$ m/s

Durchlässigkeit der künstlich verdichteten Proben

Bei einem Teil der künstlich verdichteten Proben lag der Einbauwassergehalt entweder in der Größenordnung des Proctor-Wassergehaltes, oder variierte mit $w = w_{p_r} \pm 3$ %. Innerhalb dieser Gruppen wurden wiederum Proben mit unterschiedlichen relativen Dichten D_{p_r} hergestellt.

Eine Auswertung mit der Beziehung

$$\log (k/v_b) = \log (k_0/v_b) + b_D \cdot (D_{Pr} - 1)$$

k_0Durchlässigkeitsbeiwert bei einer relativen Dichte von $D_{Pr} = 100 \%$

v_bBezugsgeschwindigkeit (hier: 1 m/s)

b_D Beiwert zur Charakterisierung des Einflusses der Verdichtung auf die Durchlässigkeit

ergibt für $w = w_{Pr}$:

$$k_0 = 3,4 \cdot 10^{-11}$$

$$b_D = - 2,5$$

Der geringe Wert (absolut) von b_D zeigt, daß beim Ton die Abhängigkeit der Durchlässigkeit von der Verdichtung sehr schwach ausgeprägt ist; wesentlich schwächer als dies bei Schluffen und gemischtkörnigen Böden der Fall ist.

3.2. Ton aus Hennersdorf

Bodenklassifizierung nach ÖNORM B 4400

Ausgeprägt plastischer Ton (TA)

Kornverteilung

Fein-Sand 2,6 %

Schlufffraktion 61,3 %

Tonfraktion 36,5 %

Atterbergsche Zustandsgrenzen

Fließgrenze $w_L = 57,3\%$

Ausrollgrenze $w_P = 25,6\%$

Bildsamkeitszahl $I_P = 31,7\%$

Bodenbezeichnung

Stark bildsamer Ton im halbfesten Zustand (bT,ha)

Feststoffdichte, Trockendichte und Wassergehalt

Feststoffdichte $\rho_{os} = 2,77 \text{ g/cm}^3$

Trockendichte $\rho_d = 1,76 \text{ g/cm}^3$

Wassergehalt $w = 17,5 \%$

Zustandszahl $I_C = 1,15$

Proctorwerte

Proctordichte $\rho_{Pr} = 1,608 \text{ g/cm}^3$

Proctorwassergehalt $w_{Pr} = 21,9 \%$

Durchlässigkeit (der ungestörten Proben) bei Durchströmung mit verschiedenen Prüfflüssigkeiten:

Es wurde mit jeder der folgenden Prüfflüssigkeiten je ein Langzeit-Durchlässigkeitsversuch durchgeführt. Die Durchströmung der Proben erfolgte ausnahmslos schicht-normal (nSS).

H₂O (entlüftetes und entionisiertes Wasser) $k = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$

HCl (1 normale Salzsäure) $k = 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$

PbCl₂ (0,005 molare Bleichloridlösung) $k = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$

SIWA (synthetisches Sickerwasser) $k = 5,8 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$

3.3. Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse

Der Ton aus Göllersdorf ist ein mittelplastischer Ton (TM), das Material aus Hennersdorf ist ein Ton von ausgeprägter Plastizität (TA). Damit hängen auch Unterschiede in den Ergebnissen der geotechnischen Versuche zusammen; eine Gegenüberstellung der Durchlässigkeitsbeiwerte ist in der folgenden Tabelle enthalten:

Bodenkennwert	Einheit	Ton aus Göllersdorf	Ton aus Hennersdorf	Verhältnis $k_{\text{Hennersdorf}}/k_{\text{Göllersdorf}}$
Ungestörte Proben				
Durchl.-Beiwert für				
H ₂ O	k (m/s)	4,5 · 10 ⁻¹¹	5,3 · 10 ⁻¹¹	1,2
NaOH	k (m/s)	8,4 · 10 ⁻¹²		
HCl	k (m/s)	1,4 · 10 ⁻¹¹	1,5 · 10 ⁻¹¹	1,1
PbCl ₂	k (m/s)	4,7 · 10 ⁻¹¹	1,5 · 10 ⁻¹⁰	3,2
SIWA	k (m/s)	5,7 · 10 ⁻¹²	5,8 · 10 ⁻¹¹	10,2

Die größte Differenz zeigen die Ergebnisse der Durchlässigkeitsversuche an ungestörten Proben mit synthetischem Sickerwasser als Prüfflüssigkeit. Bei den übrigen Versuchen weisen die Ergebnisse keine nennenswerten Unterschiede auf.

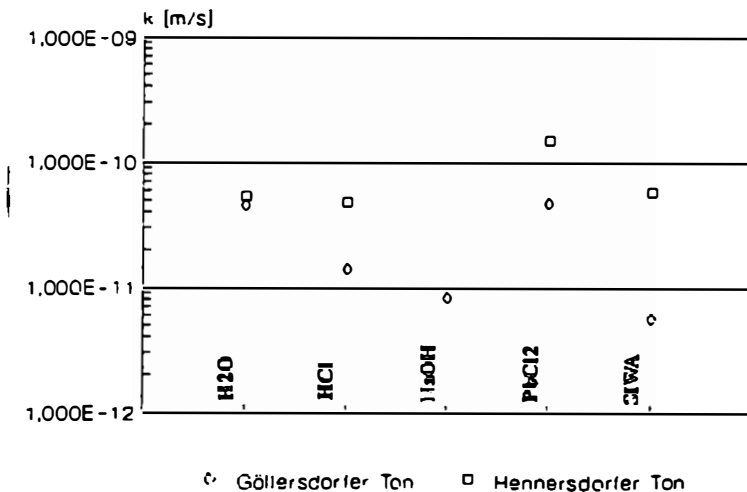
Die Ergebnisse der Langzeit-Durchlässigkeitsversuche mit verschiedenen Prüfflüssigkeiten liefern keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen deren Chemismus und der Entwicklung des k-Wertes. Auch unterscheiden sich die Ergebnisse der Versuche mit den Flüssigkeiten NaOH, HCl, PbCl₂ und SIWA nicht wesentlich von den Parallelversuchen mit entionisiertem Wasser (der Vergleichsfaktor liegt bei ± 10). Das Verhältnis $k_{\text{Hennersdorf}} : k_{\text{Göllersdorf}}$ ist relativ klein (1,2 bis 10,2).

Die hohe Beständigkeit des Durchlässigkeitsbeiwertes des Göllersdorfer Tons gegenüber dem Angriff durch Säuren und Laugen zeichnet dieses Material als besonders geeignet aus was seine Qualität als Barrieregestein angeht. Auch zur Herstellung einer mineralischen Basisabdichtung ist der Göllersdorfer Ton gut geeignet: Der geltende Höchstwert für die Durchlässigkeit einer mineralischen Basisabdichtung von $k \leq 10^{-09}$ m/s wird bei allen Proben mit einer relativen Dichte von $D_{Pr} \geq 97\%$ unterschritten. Besonders hervorzuheben ist, daß der

Einbauwassergehalt des Materials dabei innerhalb der untersuchten Grenzen von $w_{\text{Einbau}} = w_{p,r} \pm 3\%$ keinen feststellbaren Einfluß auf das Durchlässigkeitsverhalten des Tones hat.

Der Ton aus Hennersdorf weist bei den Langzeit-Durchlässigkeitsversuchen ebenfalls einen sehr kleinen k-Wert auf und erfüllt mit allen vier Prüfflüssigkeiten die Forderung von $k \leq 10^{-9}$ m/s.

In Bild 1 sind die Ergebnisse der Langzeit-Durchlässigkeitsversuche bezogen auf die verwendeten Prüfflüssigkeiten graphisch dargestellt.



4. Zusammenfassende Bemerkungen

Die aus den Tongruben Göllersdorf und Hennersdorf entnommenen Proben waren relativ homogen, da sie aus jeweils einer Entnahmestelle (Fläche ca. 2,0 m²) entnommen wurden. Die für die geotechnischen Standardversuche ermittelten Streuungen geben somit nicht die In-situ-Streuung (inhärente Variabilität) im Bereich der gesamten Tongrube wieder.

Um die chemische Analyse der durch die Probe sickernden Prüfflüssigkeit ohne deren Verfälschung durch Kontakt mit Metallteilen zu ermöglichen, wurden die Versuche in Dreiaxialzellen durchgeführt. Dafür wurden an den ursprünglichen Zellen alle Metallteile (Hähne, Tüllen u.a.) durch Kunststoffelemente ersetzt. Die Verwendung der Dreiaxialzellen ergibt nun aber eine Beeinträchtigung der Aussagekraft der erhaltenen Durchlässigkeit der Proben. Bei einem Feststoffaustrag aus der Probe ergibt sich eine Verringerung der Dichte und damit zusammenhängend eine - zwar nicht genau bestimmbare, aber sicher vorhandene - Vergrößerung der Zusammendrückbarkeit des Korngerüsts. Da der Seitendruck (Zellendruck σ_3) konstant bleibt, wird das Korngerüst deshalb im Zuge des Feststoffaustrages vertikal und horizontal zusammengedrückt.

Diese Verhältnisse entsprechen nicht jenen im Feld, da dort durch einen Feststoffaustrag keine seitliche, sondern nur eine vertikale Zusammendrückung erfolgt.

Ein weiterer Unterschied zwischen den Versuchsbedingungen und den Verhältnissen in situ ergibt sich aus der Anwendung eines hohen Versuchsgradienten, dem in der Regel nur ein sehr kleiner Gradient in situ gegenübersteht. Durch den hohen Gradienten ergibt sich eine zusätzliche vertikale Zusammendrückung. Für künftige Untersuchungen wäre daher zu überlegen, diese in Form von Kompressionsversuchen auszuführen. Wählt man dabei eine sehr kleine Normalspannung so liegt man auf der sicheren Seite.

Bei einer Bewertung der Ergebnisse der verschiedenen Langzeitversuche ist der erwähnte Einfluß der Versuchsrandbedingungen (Zellendruck σ_3 und Gradient i) zu berücksichtigen.

Neben dem Einfluß der Kompression infolge des Feststoffaustrages durch die verschiedenen Prüfflüssigkeiten können aber auch Ausfällungen und Feststoffumlagerungen im Probekörper die Durchlässigkeit stark beeinflussen.

Die im Zeitverlauf an einigen Stellen ersichtlichen kurzfristigen Veränderungen sind auf versuchstechnische Ursachen oder auch auf Meßungenauigkeiten (Ablesefehler) zurückzuführen.

Bei den untersuchten Tonen aus Göllersdorf und Hengersdorf zeigte sich im Verlauf der Versuche keine signifikante Änderung der Durchlässigkeit.

5.Literatur

KNAAK, A.R. 1991: Tone als Barrieregesteine bei Mülldeponien, Geotechnische Untersuchungen an Tonen Göllersdorf und Hennersdorf; Flugasche und REA-Produkt des Wärmekraftwerks Dürnrrohr als Dichtschichtmaterial bei Mülldeponien - Diplomarbeit, Institut für Geotechnik, Univ.für Bodenkultur, Wien.

OTTNER, F., 1991: Mineralogische und geochemische Untersuchungen an tonigen Barrieregesteinen von Deponieanlagen Dissertation, Inst.f.Bodenforschung und Baugeologie , Univ.f.Bodenkultur, Wien.

PREGL, O. 1989: Handbuch der Geotechnik Bd. 19/1, Abfall und Umweltschutz, Institut für Geotechnik, Univ.für Bodenkultur, Wien.

**Autor: Dipl. -Ing. A.Rüdiger KNAAK
Institut für Geotechnik
Universität für Bodenkultur
Gregor Mendelstr. 33
1180 WIEN**