

E 2-15 Systemdurchlässigkeit von mineralischen Abdichtungen

Stand: GDA 1997

1 Allgemeines

Die Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes für mineralische Abdichtungsmaterialien erfolgt nach DIN 18130, Teil 1 unter Berücksichtigung der deponiespezifischen Angaben in E 1-3 bei einem hydraulischen Gradienten $i=30$. Dabei wird vernachlässigt, dass die Durchlässigkeit im Bereich des Anfangsgradienten, d. h. außerhalb des Gültigkeitsbereiches des Gesetzes von Darcy, deutlich niedriger liegt. Die Existenz eines strömungslosen Bereiches kann jedoch nicht als gesichert angesehen werden und sollte in Berechnungen nicht berücksichtigt werden [1]. Im Zuge der Bauausführung wird die Qualitätssicherung nach E 5-2 vorgenommen, wobei entsprechend Bauentwurf und den behördlichen Vorgaben bestimmte Durchlässigkeitsbeiwerte, z. B. $5 \cdot 10^{-10}$ m/sec, nicht überschritten werden dürfen. Bei der Bauausführung muss somit unter Berücksichtigung der natürlichen Schwankungen der Kennwerte, insbesondere der plastischen Eigenschaften und der Konsistenz sowie der Proctordichte ein im Durchschnitt niedrigerer Durchlässigkeitsbeiwert erreicht werden, um trotz der Schwankungen der Durchlässigkeiten den geforderten k-Wert einzuhalten.

Baupraktische Hinweise, wie durch Qualitätslenkung mit Hilfe bodenphysikalischer Kennwerte der plastischen Eigenschaften die Qualitätssicherung unterstützt werden kann, sind in E 5-2, Abschnitt 3 und E 5-8 angegeben. Im Hinblick auf die maßgebende Systemdurchlässigkeit wird in dieser Empfehlung als Prüfstrategie eine statistische Methode vorgeschlagen, mit deren Hilfe die Auswirkung lokal begrenzter Überschreitungen des Durchlässigkeitsbeiwertes beurteilt werden kann.

2 Statistische Auswertebedingungen und Systemdurchlässigkeit

Die Übertragbarkeit von Laborversuchen auf Feldbedingungen setzt voraus, dass sowohl die bodenphysikalischen Kennwerte aus der Eignungsprüfung nach E 3-1, als auch der Zerkleinerungsgrad des Bodens vor der Verdichtung beim Versuchsfeldbau nach E 3-5 und die Makroporenfreiheit nebst dichter Grobkorneinbettung in die bindige Matrix der mineralischen Dichtung bei der Qualitätssicherung nach E 5-2 vergleichbar sind. Außerdem ist die Schichtverzahnung sicherzustellen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Schwankungen des Durchlässigkeitsbeiwerts der eingebauten mineralischen Dichtung ausreichend gut durch eine Log-Normalverteilung beschrieben werden können [2], [3]. Unter dieser Annahme kann eine Durchlässigkeit geschätzt werden, die für die eingebaute Lage mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit α nicht überschritten wird (α % Fraktile der Verteilung). Dabei sollte die der Schätzung zugrundeliegende Anzahl der Messungen berücksichtigt werden (Konfidenzschätzer).

Die Kenntnis der Art der Verteilung der k-Werte ist Voraussetzung für die Abschätzung der Systemdurchlässigkeit der Gesamtschicht unter Berücksichtigung der räumlichen Schwankungen der Durchlässigkeit. Diese Systemdurchlässigkeit kann dann mit Anforderungen etwa aus TA Abfall oder TA Siedlungsabfall verglichen werden (vgl. auch E 5-8).

Eine solche Abschätzung erfolgte mit dem in Bild 2-15.1 dargestellten Blockmodell einer mehrlagigen Deponieabdichtung [3].

Mittels einer Monte-Carlo-Simulation wird die Schwankung der Durchlässigkeit einer mineralischen Abdichtung simuliert und auf diese Weise jedem der Blöcke ein k-Wert zugewiesen. Somit ergibt sich eine Vielzahl möglicher Fließwege durch die mineralische Abdichtung. Die Durchlässigkeit der einzelnen Fließwege wird durch eine mittlere Durchlässigkeit abgeschätzt, die aus den Durchlässigkeiten der den Fließweg bildenden Blöcke berechnet wird. Der Fließweg mit der höchsten Durchlässigkeit k_{\max} wird gespeichert. Durch häufige Wiederholung dieses Vorganges kann eine maximale Systemdurchlässigkeit der Abdichtung berechnet werden, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird (z.B. 95%). Diese Systemdurchlässigkeit kann dann mit den Anforderungen aus den Regelwerken verglichen werden. Mit Hilfe dieser Vorgehensweise ist es möglich, die Qualität der Dichtung konservativ mit einer Systemdurchlässigkeit abzuschätzen. Untersuchungen zeigten, dass eine hohe Qualität der Lagen vorausgesetzt, durch den Einbau von vier Lagen ein weitgehender Ausgleich der Schwankungen der k-Werte erfolgt, eine fünfte und sechste Lage bewirken dagegen kaum noch Verbesserungen der Systemdurchlässigkeit.

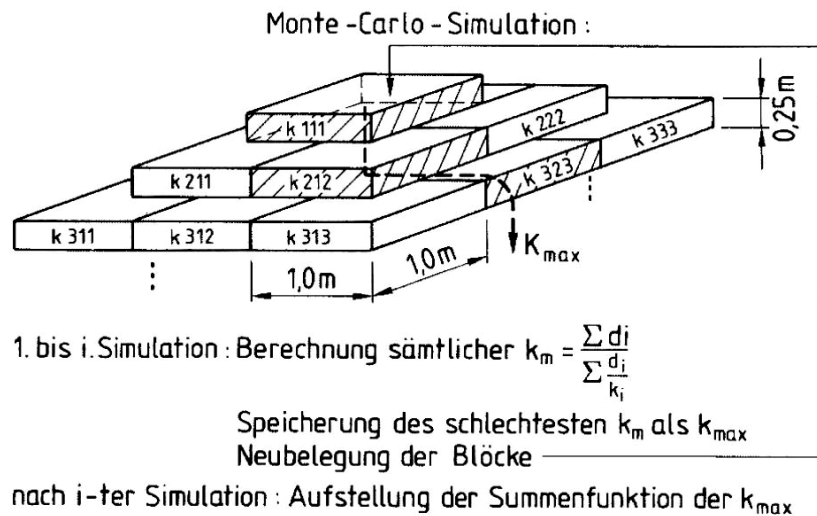


Bild 2-15.1: Blockanordnung des dreidimensionalen Fließmodells nach [3] und Ablaufschritte der Monte-Carlo-Simulation

Als Faustregel für eine hohe Qualität der Lagen kann gelten: Der Erwartungswert der gemessenen Durchlässigkeiten liegt um einen Faktor 3-5 unterhalb der zugelassenen Durchlässigkeit.

Der Erwartungswert $E(x)$ berechnet sich zu:

$$E(x) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

Dabei werden μ und σ^2 wie folgt geschätzt:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \ln k_j \quad \text{mit } k_j \text{ gemessene } k\text{-Werte}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\ln k_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \ln k_j \right)^2$$

Hierbei werden Ungenauigkeiten nicht berücksichtigt, die sich durch die Schätzung von μ und σ^2 bei nur wenigen Daten (< 25 Daten).

Soll ein Konfidenzschätzer berücksichtigt werden, sei auf [3] verwiesen.

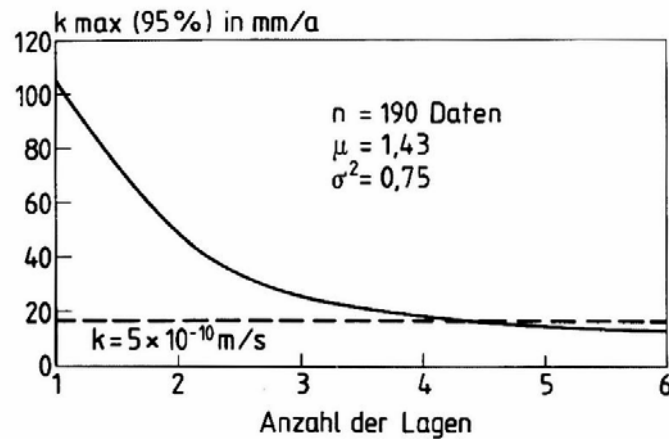


Bild 2-15.2: Einfluss der Lagenanzahl auf das 95%-Fraktile der maximalen Systemdurchlässigkeit für ein Deponiebeispiel [3]

Als Beispiel ist in Bild 2-15.2 für einen Deponiedatensatz von 190 k-Werten der Einfluss der Lagenanzahl auf die Systemdurchlässigkeit dargestellt. Hier zeigt sich, dass für diesen Fall die geforderte Durchlässigkeit von $5 \cdot 10^{-10}$ m/s bereits bei vier Lagen nahezu erreicht ist, während eine fünfte und sechste Lage die Systemdurchlässigkeit kaum verringert.

3 Regressionsgleichungen für die Abschätzung von Durchlässigkeiten

Eine Möglichkeit, einen quantitativen Zusammenhang zwischen bodenphysikalischen Kennwerten, Verdichtungsgrad und dem k-Wert darzustellen, bietet die Verwendung von Regressionsgleichungen, wie sie z. B. in [4] und [5] aufgeführt sind. Vorteile solcher Ansätze liegen darin, die umfangreichen und langdauernden k-Wert-Versuche zum Teil durch einfachere Versuche zu ersetzen und dennoch ausreichende Information über die Durchlässigkeit der Dichtung zu erhalten.

Es existieren zur Zeit noch wenig Erfahrungen mit Regressionsgleichungen, aus denen sich Bedingungen ablesen lassen, unter denen diese Gleichungen zuverlässige Ergebnisse liefern. Folgende Aussagen lassen sich jedoch nach [4] und [5] treffen:

- Sowohl die Bodenkennwerte wie Fließgrenze, Ausrollgrenze und Plastizitätszahl (d. h. der plastischen Eigenschaften) und die Korngrößenverteilung, als auch die Zustandskennwerte wie Wassergehalt, Konsistenz oder Trockendichte müssen in den Regressionsgleichungen berücksichtigt werden.
- Regressionsgleichungen gelten nicht über beliebige Schwankungsbreiten der an der Regression beteiligten Kennwerte.
- Für feinkörnige und gemischtkörnige Böden müssen unterschiedliche Regressionsgleichungen verwendet werden.

Ein im Rahmen der Eignungsprüfung des mineralischen Abdichtungsmaterials hergeleiteter Regressionsansatz kann somit wertvolle Hinweise auf material- und einbautypische Schwankungen der Durchlässigkeiten im Feld liefern. Insbesondere kann die erreichte Systemdurchlässigkeit auch für den Fall sicher beurteilt werden, dass einzelne Versuchsergebnisse nicht den geforderten Grenzwert einhalten.

Außerdem kann durch die statistische Beschreibung der Durchlässigkeit eine Kontrolle der Abdichtungsqualität im Vergleich zwischen Versuchsfeld und Baufeld vorgenommen werden.

Analoge Zusammenhänge bestehen zwischen Verdichtungsgüte (Proctordichte) bzw. Plattendruckwert (E_v -Modul) und Bodenart, sowie Bodenzustand. Aufgrund umfangreicher Untersuchungen wurde deshalb in der Neufassung der ZTVE-StB94 [6] diesen statistischen Zusammenhängen sowohl bei der Anwendung der Prüfstrategien, als auch bei der Festlegung von zulässigen Grenzwertüberschreitungen (Mindest-Quantile) Rechnung getragen. Allgemein ist somit anzustreben, im Sinne E 5-2, Abschnitt 3 bzw. E 5-8, durch eine größere Stichprobenzahl mit einfachen Kontrollmethoden eine verbesserte Qualitätssicherung zu erreichen. Da es sich bei dem zum Einbau kommenden mineralischen Dichtungsmaterial um gleichmäßigeres Material handelt, als es im allgemeinen Erdbau zum Einsatz kommt, sollte im Deponiebau im Sinne der obigen Ausführungen jedoch nur eine Quantile von 5 % zugelassen werden. Neuere Versuchsergebnisse zu diesen Zusammenhängen sind in E 5-8 behandelt.

Literatur zu E 2-15:

- [1] SCHILDKNECHT, F., SCHNEIDER, W: Über die Gültigkeit des Darcy-Gesetzes in bindigen Sedimenten bei kleinen hydraulischen Gradienten - Stand der wissenschaftlichen Diskussion. Geologisches Jahrbuch C 48, Hannover, 1987.

- [2] BENSON, C. H.: A Stochastic Analysis of Water and Chemical Flow through compacted soil liners. Dissertation at University of Texas at Austin, USA, 1989.

- [3] HEIBROCK, G., DEMMERT, S.: Auswirkungen von Schwankungen der Durchlässigkeit von mineralischen Abdichtungen. Festschrift Hans Ludwig Jessberger. Schriftenreihe des Instituts für Grundbau der Ruhr-Universität Bochum, Heft 20, 1992.

- [4] WANG, M. C., HUANG, C. C.: Soil compaction and permeability prediction models. Journal of Environmental Engineering, Vol. 110, No. 6., 1984.

- [5] MITCHELL, J. K: Fundamentals of soil behaviour. Wiley, New York, 1976.

- [6] ZTVE-STB 94: Zusätzliche technische Vertragsbedingungen für Erdarbeiten im Straßenbau. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 1994.