



Einfluß von großen hydraulischen Gradienten auf die Bestimmung von Durchlässigkeitsbeiwerten bei gemischtkörnigen und feinkörnigen Böden

Hans-Georg Kempfert, Elfriede Ott und Jana Mickley

1 Einleitung

Die Überprüfung der Durchlässigkeit nach *DIN 18 130* bereits während der Herstellung mineralischer Basis- und Oberflächenabdichtungen von Deponien, liefert einen wesentlichen Beitrag zur Qualitätssicherung und damit zur Langzeitbeständigkeit der Abdichtung. Eine Qualitätslenkung innerhalb des Bauprozesses setzt aber auch schnelle und zuverlässige Prüfergebnisse *in situ* und im Labor voraus. In den für den Deponiebau maßgebenden Richtlinien und Vorschriften werden derzeit Durchlässigkeitsprüfungen mit einem hydraulischen Gradienten von $i = 30$ mit der Begründung empfohlen, daß durch höhere Gradienten die Struktur der Probe zerstört wird. Aufgrund des hohen Zeitaufwandes sind diese Empfehlungen als Qualitätslenkungskriterium im o.g. Sinne kaum anwendbar, sondern stellen eher eine Dokumentation der erreichten Werte im nachhinein dar.

Durch umfangreiche Untersuchungen an verschiedenen Erdstoffen ist der Einfluß des Gradienten auf die Durchlässigkeit untersucht worden. Da die Prüfung der Durchlässigkeit von vielen Faktoren wie z.B. dem verwendeten Prüfgerät, der Einbaudichte mit dem dazugehörigen Wassergehalt, dem Sättigungsgrad, der Korngrößenverteilung u.a. beeinflusst wird, wurden verschiedene Versuchsreihen unter Berücksichtigung dieser Einflüsse durchgeführt. Im Vordergrund stand dabei die Entwicklung einer Beziehung zwischen der Korngrößenverteilung eines Erdstoffes und des maximal möglichen Gradienten, der keinen Einfluß auf die Größe des k -Wertes hat. Es erfolgten Untersuchungen an feinkörnigen und gemischtkörnigen Böden, die an unterschiedlichen Geräten mit unterschiedlichen Einbaudichten hergestellt wurden. Weiterhin wurde der Einfluß des Sättigungsdruckes auf den Durchlässigkeitsbeiwert geprüft. Ergebnisse aus der Literatur wurden in die Bewertung mit einbezogen.

Beiträge aus der Umweltgeotechnik

Heft 9

März 2001

2 Einfluß des hydraulischen Gradienten auf die Strömung im Boden

2.1 Gesetz von Darcy und Strömungsbereiche

Bekanntlich wird bei Strömungen im Boden das Gesetz von Darcy für die Filtergeschwindigkeit v aus dem Produkt des Durchlässigkeitsbeiwertes k und dem hydraulischen Gefälle i zugrunde gelegt

$$v = k \cdot i \quad \text{in} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]. \quad (2.1)$$

Gleichung (2.1) gilt nur für laminare Strömung, Strukturbeständigkeit und Volumenkonstanz der Probe sowie für eine konstante Beschaffenheit des durchströmenden Fluids. Um die Durchströmung durch Luftschlüsse und durch auftretende Kapillarkräfte nicht zu behindern, muß der Boden wassergesättigt sein, *Gabener (1983)*.

Neben dem linearen Bereich (Darcy) wird in strömungslosen, prälinearen, postlinearen sowie turbulenten Bereich unterschieden. Im linearen Bereich steigt mit wachsendem hydraulischen Gefälle die Fließgeschwindigkeit. Bei feinkörnigen, bindigen Böden ist z.B. der lineare Bereich erst vorhanden, wenn der Übergangsgradient i_e erreicht wird, der den Übergang vom prälinearen zum linearen Bereich bildet. Der Gradient i_e stellt den Übergang zwischen dem linearen und dem postlinearen Bereich dar, bei dessen Überschreitung in grobkörnigen Böden turbulente Strömung auftritt, *Hardt (1985)*.

Die im Deponiebau verwendeten feinkörnigen, bindigen Böden weisen bei der Durchströmung mit kleinen hydraulischen Gradienten kein lineares Verhalten zwischen dem Gradienten i und der Filtergeschwindigkeit v auf. Der Grund dieses Verhaltens sind die elektromolekularen Anziehungskräfte des an die Bodenteilchen gebundenen Wassers, das eine Behinderung der Strömung durch die Porenkanäle zur Folge hat. In *Gabener (1986)* wird der Zusammenhang zwischen Filtergeschwindigkeit und hydraulischem Gefälle bei kleinen Gradienten aufgezeigt. Der dort dargestellte prälineare Bereich wird im allgemeinen durch eine Parabel beschrieben, die sich dann bei dem Übergangsgradienten i_e an die Gerade $v = k \cdot (i - i_e)$ anschließt. Dabei wird der Gradient i_0 , der sogenannte Anfangsgradient, durch Extrapolation aus dem Verlauf der Gerade im linearen Strömungsbereich bestimmt. Der Parabelverlauf nach *Hansbo* beginnt im Koordinatenursprung, wohingegen der Parabelverlauf nach *Kézdi (1970)* erst ab einem Gradienten $i = i_0$, dem Schwellenwert, beginnt. Für ein Druckgefälle $i \leq i_0$ sind keine Wasserbewegungen im Boden vorhanden. Bei Tonen mit Durchlässigkeitsbeiwerten im Bereich zwischen $4,7 \cdot 10^{-9}$ m/s und $2,2 \cdot 10^{-11}$ m/s treten keine strömungslosen Bereiche auf,

für Böden mit k -Werten $\leq 10^{-12}$ m/s kann dies jedoch aufgrund der meßtechnischen Randbedingungen nicht völlig ausgeschlossen werden, siehe *Gabener (1986)*.

2.2 Durchlässigkeitsverhalten bei großem hydraulischen Gefälle

Eine Abgrenzung zwischen laminarer und turbulenter Strömung hat *Ohde (1956)* getroffen. Danach herrscht laminare Strömung, wenn Gleichung (2.2) gilt

$$i < \frac{0,1}{d_w^3} = i_{gr} \quad (2.2)$$

mit d_w = wirksamer Korndurchmesser, der in der Regel $d_{10} < d_w < d_{40}$.

Der Zusammenhang zwischen dem hydraulischen Gradienten und dem wirksamen Korndurchmesser nach Gleichung (2.2) wird in Bild. 2.1 deutlich. In anderer Literatur wird bei bindigen Böden keine Abgrenzung des Gradienten zwischen linearem und turbulentem Bereich getroffen, da nach *Hardt (1985)* und *Horst (1997)* turbulente Strömung niemals erreicht werden kann.

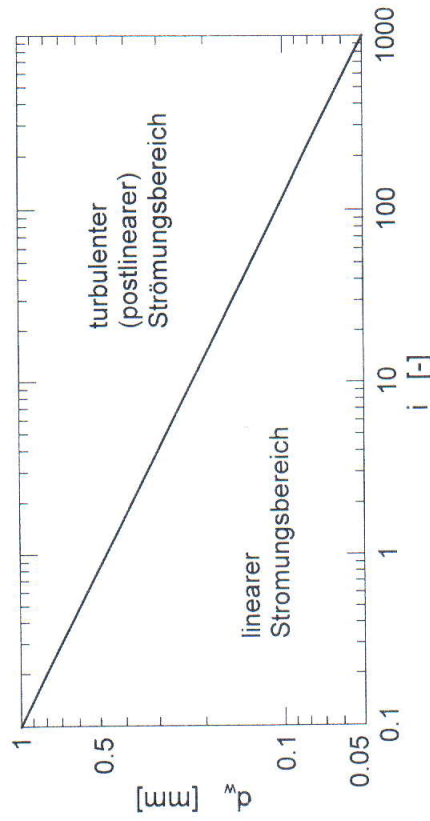


Bild 2.1: Abgrenzung zwischen linearem und turbulentem Strömungsbereich, nach *Ohde (1956)*

Horst (1997) führte an einem Ton Versuche mit Gradienten bis $i = 500$ durch, siehe Bild 2.2. Bei diesen Untersuchungen wurden insgesamt 6 Bodenproben bei gleichen Bedingungen eingebaut und mit unterschiedlichen Gradienten durchströmt. Die aufgeführten Gradienten von