1. Kongreß "Kunststoffe in der Geotechnik" (K-GEO 88)
Hamburg im September 1988

Geotechnische Aspekte beim Bau geneigter Kombinationsdichtungen für Schlicklagerstätten

von

G. von Bloh, S. Kohlhase und P.-G. Tamminga

1.Kongreß "Kunststoffe in der Geotechnik" (K-GEO 88) in Hamburg am 29./30.9.1988

"Geotechnische Aspekte beim Bau geneigter Kombinationsdichtungen für Schlicklagerstätten"

Dipl.-Ing. G. von Bloh , Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau, Universität Hannover

Prof.Dr.-Ing. S. Kohlhase , FRANZIUS-INSTITUT für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover

Dipl.-Ing. P.-G. Tamminga , Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Landwirtschaft, Amt für Strom- und Hafenbau

1. Einleitung

In Hamburg fallen jährlich rund 2 Millionen m³ Baggergut aus Unterhaltungsarbeiten der Wasserstraßen und Hafenbecken an. Das Baggergut ist z.T. kontaminiert und erfordert besondere Entsorgungsmaßnahmen. Aus diesem Grund und um die Ablagerungsmöglichkeit für die kommenden 2 Jahrzehnte zu garantieren, werden zur Zeit die Voraussetzungen für den Bau einer hügelförmigen Lagerstätte geschaffen. Die Abb. 1 zeigt einen Querschnitt des Aufbaus der Lagerstätte. Im Anschluß an die Profilierung des vorhandenen Geländes ist der Bau der Basisdichtung vorgesehen. Die Basisdichtung besteht aus einer 1,5 m starken Schlickschicht als mineralische Dichtung mit darüberliegender Kunststoffdichtungsbahn. Diese Form des Aufbaus wird als Kombinationsdichtung bezeichnet und bietet nach H. AUGUST (1987) eine praktisch vollkommene Schadstoffsperrschicht, die einen Austritt von im Schlick enthaltenen Schadstoffen in das Grundwasser verhindern soll. Oberhalb der Kombinationsdichtung wird eine Zwischendichtung eingebaut und darüber der Schlick mit zwischenliegenden Filtern abgelagert.

Die Basisdichtung und die darüberliegenden Schichten sollen mit einer maximalen Neigung von 1:16 hergestellt werden. Die planmäßige Neigung ermöglicht einen natürlichen Abfluß von Sicker- und Konsolidationswasser zu Sammlern am Lagerstättenrand.

Bei der Beurteilung der Standsicherheit sind aufgrund der Neigung der Lagerstätte Bruchmechanismen mit ebenen Gleitflächen im Bereich der Kunststoffdichtung und des angrenzenden mineralischen Dichtungsmaterials zu untersuchen. Zur Gewährleistung der Standsicherheit muß sowohl eine ausreichende Scherfestigkeit im Schlick als auch zwischen Dichtungsbahn und Schlick nachgewiesen werden. Detail A der Abb. 1 stellt die in einem Vertikalschnitt der Böschung angreifenden Kräfte dar. Die Gewichtskraft G entspricht der Auflast des über dem betrachteten Schnitt liegenden Bodens. In der Gleitfuge wirken die Normalkraft N und böschungsparallel die Scherkraft T.

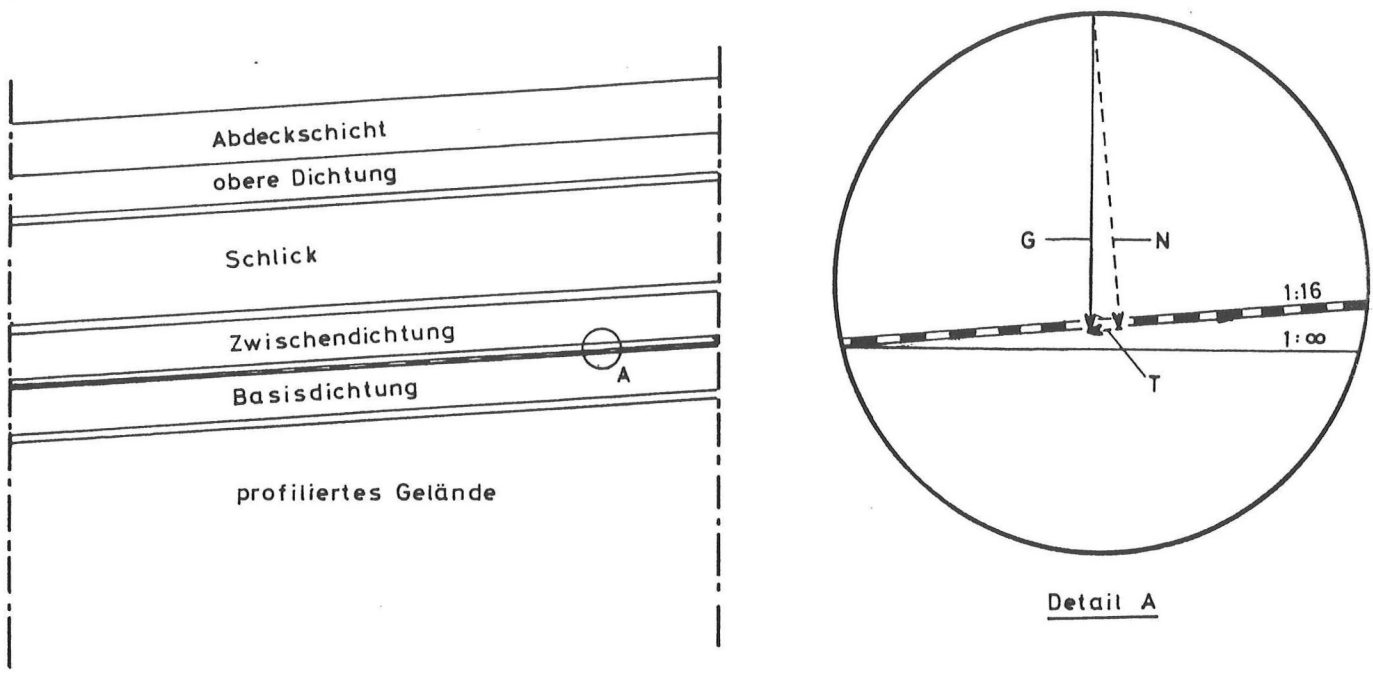

Abb. 1 Querschnitt des Lagerstättenaufbaus

Um Berechnungsgrundlagen für den zuletzt genannten Nachweis zu schaffen wurden vom FRANZIUS-INSTITUT für Wasserbau und Küsteningenieurwesen im Zusammenarbeit mit dem Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau und der Abteilung Strombau des Amtes Strom- und Hafenbau, Hamburg, eine Laborversuchsserie zur Bestimmung des Reibungsverhaltens zwischen verschiedenen Kunststoffdichtungsbahnen und Schlick durchgeführt. Zu einer Versuchs-

serie gehörten i.a. Scherversuche mit drei verschiedenen Laststufen und unterschiedlichen Schergeschwindigkeiten.

2. Versuchsdurchführung und -auswertung

Zur Bestimmung des Reibungsverhaltens wurden dränierte direkte Scherversuche durchgeführt. Hierzu wurden die Proben der mineralischen Dichtung in einer Laboreinrichtung mit einer Last gleich der im Scherversuch gewählten Normalspannung vorkonsolidiert. Die Vorkonsolidation in externen Zellen war aus Gründen des betrieblichen Ablaufs notwendig. Die Abb. 2.1 zeigt die Einrichtung zur Vorkonsolidation mit den Hauptabmessungen und der Belastungseinrichtung. Die Probe hat eine Grundfläche von 46 cm * 31 cm und kann mit maximal 250 kN/m² vorbelastet werden.

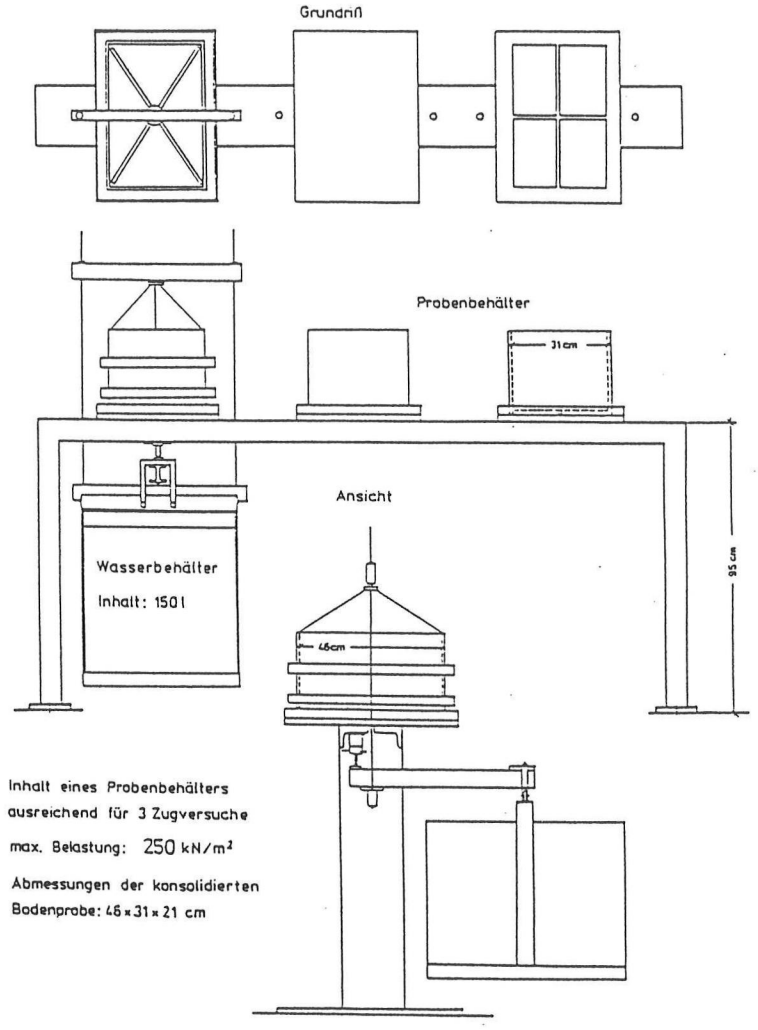

Abb. 2.1 Laboreinrichtung zur Konsolidation (entn. aus [1])

Im Anschluß an die Vorkonsolidation wird die Probe in das Kastenschergerät eingebaut. Der direkte Scherversuch im Kastenschergerät dient der versuchstechnischen Ermittlung des Scherwiderstandes zwischen Dichtungsbahn und mineralischer Dichtung. Die Abmessungen der Scherfläche betragen 30,5 cm * 30,5 cm . Je nach durchgeführtem Versuch wird zwischen zwei Aufbauten des Versuchsstandes unterschieden.

Die Abb. 2.2 zeigt den Versuchsaufbau für Scherversuche mit Schlick. Hier wird der vorkonsolidierte Schlick in einem Stück in den unteren beweglichen Behälter, welcher die gleiche Grundfläche wie die Vorkonsolidationszelle hat, eingebaut. Die nach oben überstehende Probe wird entsprechend den Abmessungen des darüber befindlichen Rahmens bearbeitet und über einen Belastungsstempel mit der gewählten Normalspannung beaufschlagt. Die Scherung wird durch Verschieben des unteren Behälters mit konstanter Geschwindigkeit eingeleitet. Der obere Rahmen ist an einer Kraftmeßdose befestigt, welche die im Boden aktivierte Scherkraft aufnimmt. Die Aufzeichnung der gemessenen Kräfte erfolgt analog in einem Kraft-Weg-Diagramm.

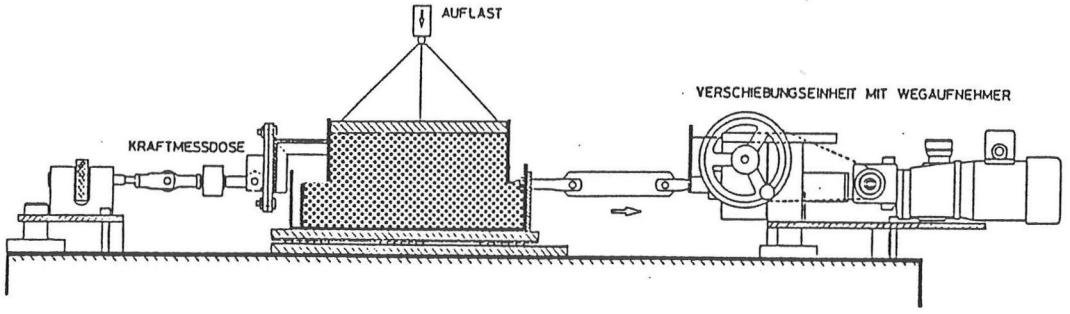

Abb. 2.2 Schergerät für Versuche mit Schlick (entn. aus [1])

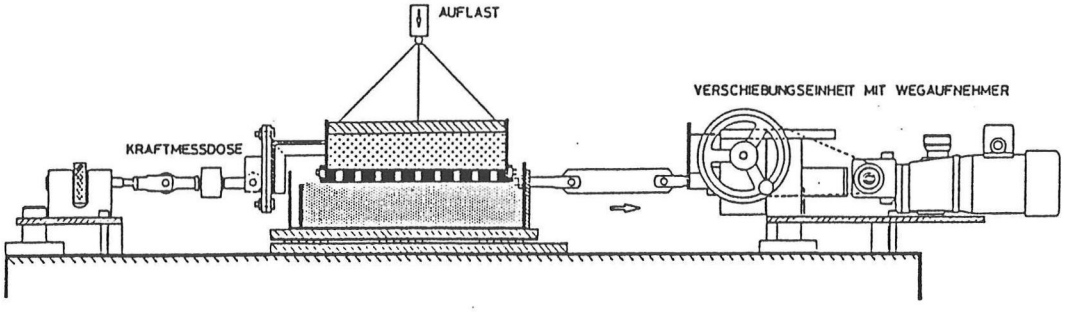

Abb. 2.3 Schergerät für Versuche Schlick gegen Dichtungsbahn (entn. aus [1])

Die Abb. 2.3 zeigt den Versuchsaufbau für Scherversuche Schlick gegen Dichtungsbahn. Hierbei wird der vorkonsolidierte Schlick nur in den unteren beweglichen Behälter eingebaut. Der obere Rahmen wird mit der Dichtungsbahn bespannt und mit Sand verfüllt. Die Konstruktion ist so gewählt, daß sich eine erzwungene Scherfuge in Höhe der Grenzschicht Schlick - Dichtungsbahn einstellt. Die Aufzeichnung der gemessenen Kräfte erfolgt in gleicher Weise wie bei dem Scherversuch mit Schlick.

Bei den Versuchsreihen wurden in der Regel Normalspannungen von 50, 100 und 200 kN/m² entsprechend den zu erwartenden Auflasten im Endzustand der Lagerstättenerrichtung mit 2,4 mm/h abgeschert. Die Abschergeschwindigkeit wurde in Anlehnung an die EAU 1985 für direkte Scherversuche bei bindigen Böden gewählt. Die geringe Schergeschwindigkeit soll das Auftreten festigkeitsmindernder Porenwasserüberdrücke, insbesondere in der Grenzschicht Schlick-Dichtungsbahn, verhindern. Weitere Versuche mit Schergeschwindigkeiten von 1,2 bis 9,6 mm/h sollten den Einfluß von geschwindigkeitsabhängigen Zähigkeiten des bindigen Bodens auf die Versuchsergebnisse aufzeigen.

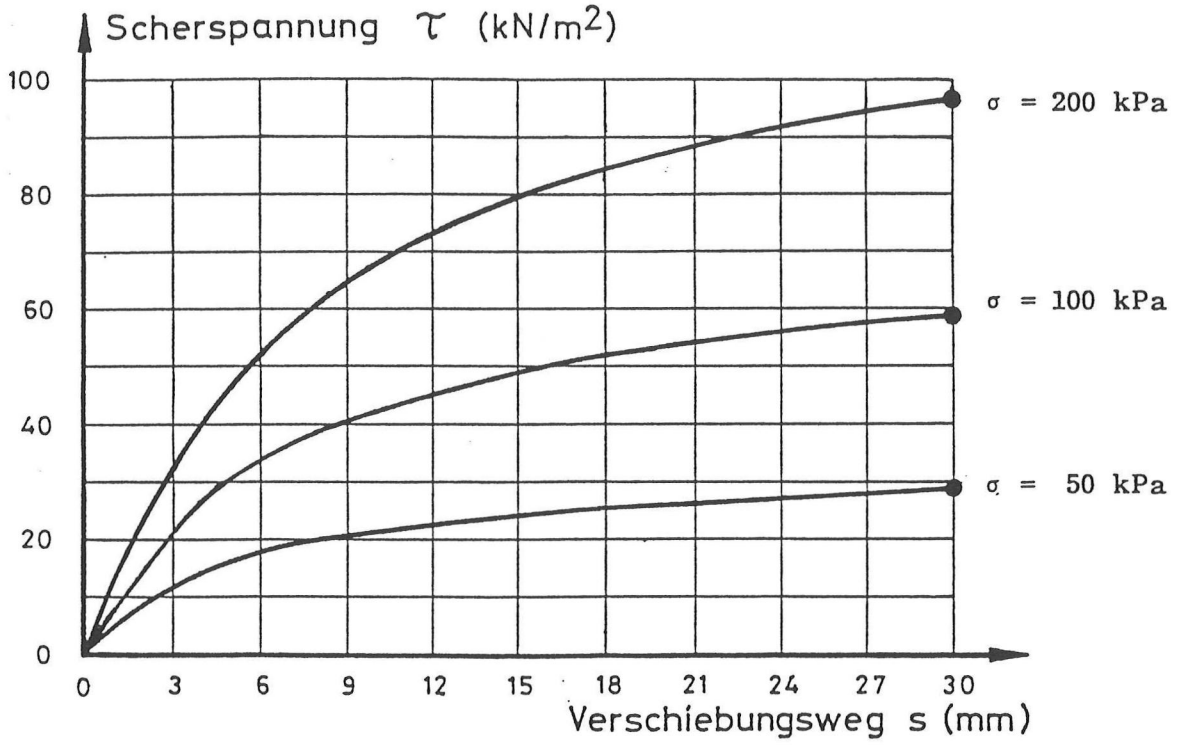

Abb. 2.4 Scherspannungs-Verschiebungs-Diagramm (entn. aus [1])

Aus den gemessenen Kräften lassen sich unter Berücksichtigung der Scherfläche die Scherspannungen berechnen. Auf Abb. 2.4 ist der Verlauf der Scherspannung mit zunehmenden Scherweg für einen Versuch mit Normalspannungen von 50, 100 und 200 kN/m² dargestellt. Bis auf eine Ausnahme wurden Scherspannungs-Verschiebungsdiagramme wie in der abgebildeten Form, d.h. ohne ausgeprägte Bruchscherspannung, ermittelt. Zur Vergleichbarkeit wurde als Bewertungskriterium für das Reibungsverhalten die Gleitscherspannung bei einer Verschiebung von 30 mm entsprechend 10 % der Scherflächenlänge gewählt.

3. Untersuchte Kunststoffdichtungsbahnen

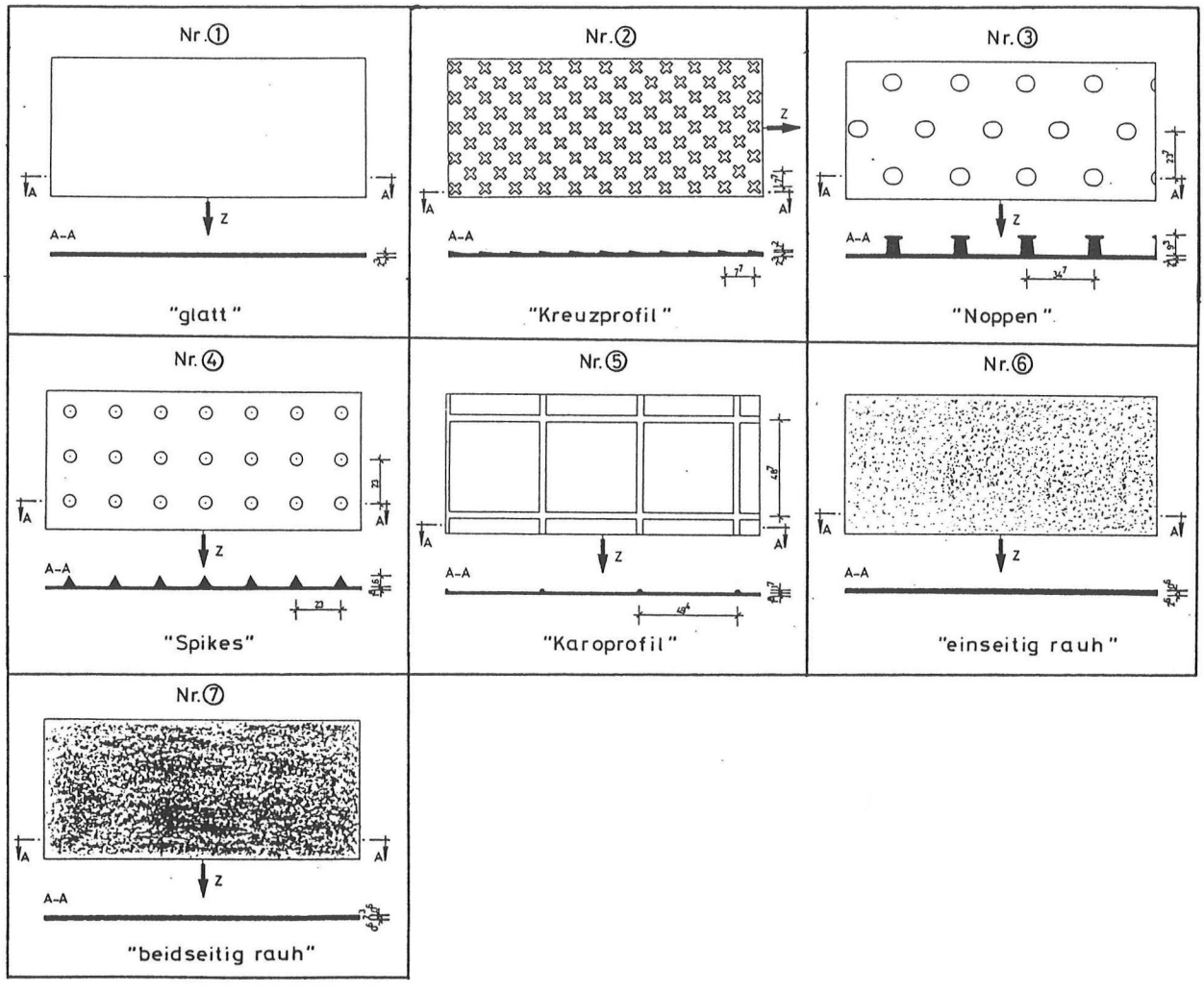

Abb. 3 Untersuchte Kunststoffdichtungsbahnen

Die Abb. 3 zeigt die verwendeten Kunststoffdichtungsbahnen in der Draufsicht und im Schnitt mit den dazugehörigen Hauptabmessungen der Strukturierung. Der mit Z bezeichnete Pfeil entspricht der Zugrichtung des beweglichen Behälters im Kastenschergerät. Es handelt sich um eine glatte und 6 profilierte Dichtungsbahnen. Bei den Scherversuchen wurde die strukturierte Seite der Dichtungsbahnen in den Schlick gepreßt und das Reibungsverhalten untersucht. Durch die Wahl der Scherfläche von 30,5 cm * 30,5 cm wird jeweils ein repräsentativer Ausschnitt hinsichtlich der Strukturierung der Kunststoffdichtungsbahn bei den Scherversuchen verwendet.

4. Versuchsergebnisse

4.1 Schlick der mineralischen Dichtung

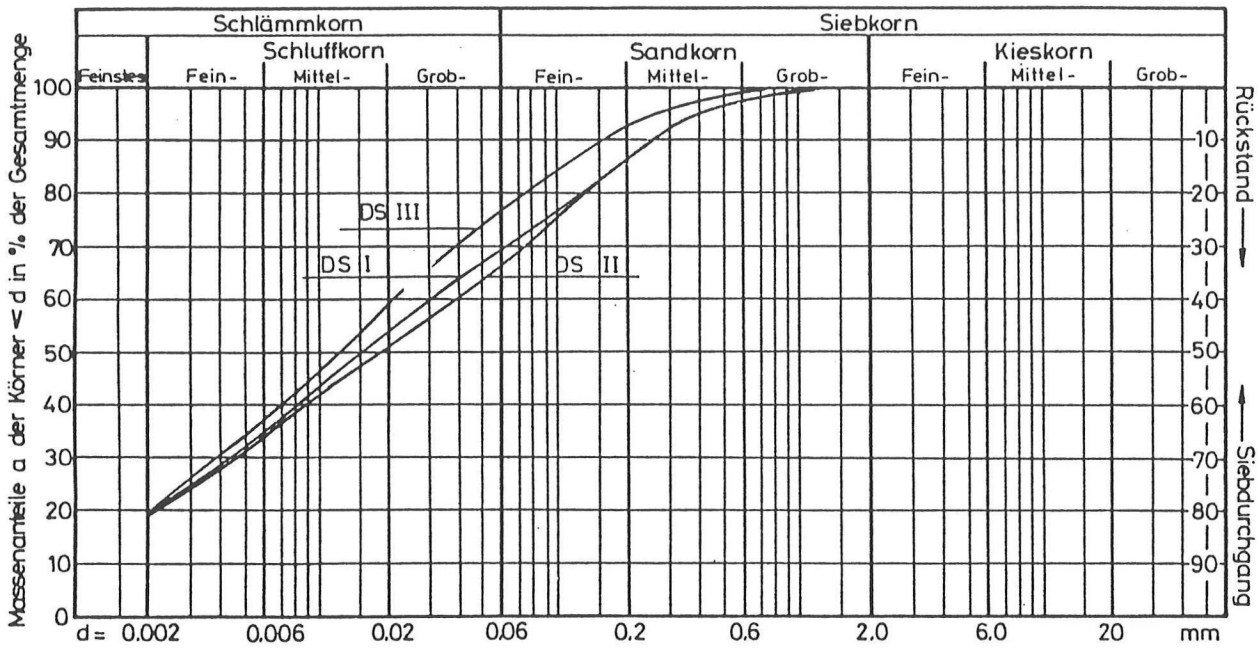

Abb. 4.1 Körnungslinien der mineralischen Dichtung(entn. aus [1])

Zur Untersuchung kam ein repräsentativer Schlick, wie er für den Bau der mineralischen Dichtung vorgesehen ist. Die Abb. 4.1 gibt die an drei Stichproben ermittelten Körnungslinien wieder. Der Feinkornanteil mit einem Durchmesser kleiner 0,063 mm liegt zwischen 65 und 75 Gewichtsprozent der Gesamtprobe. Der Ausgangswassergehalt des untersuchten Schlicks betrug 80 bis 100 Gewichtsprozent bezogen auf die Trockenmasse. Somit liegt der Wassergehalt

des Dichtungsschlicks erheblich über dem Wassergehalt des üblicherweise verwendeten Materials mineralischer Dichtungen.

4.2 Scherversuche mit Schlick

Wie bereits erläutert, ist die Scherfestigkeit von Schlick ebenso bedeutsam wie die Scherkraftübertragung zwischen Schlick und Dichtungsbahn. Zur Ermittlung der Scherfestigkeit des Schlicks wurden drei Versuchsreihen mit je 3 Laststufen bei einer Schergeschwindigkeit von 2,4 mm/h durchgeführt. Der Einfluß der Schergeschwindigkeit auf die Ergebnisse wurde durch weitere Versuche mit Geschwindigkeiten von 1,2, 4,8 und 9,6 mm/h ermittelt. In Abb. 4.2 sind die berechneten Scherspannungen in Abhängigkeit von der aufgebrachten Normalspannung dargestellt. Die Versuchsergebnisse zeigen, daß eine Variation der gewählten Schergeschwindigkeiten in den angegebenen Grenzen keinen Einfluß auf die Scherfestigkeiten haben. Die Abweichungen in den Ergebnissen der Scherversuche sind auf die Inhomogenität des Schlicks zurückzuführen. Für die weitere vergleichende Betrachtung mit den Ergebnissen aus Scherversuchen von Schlick gegen Dichtungsbahn werden daher die schraffiert eingezeichneten Bereiche zwischen Minimal- und Maximalwerten herangezogen.

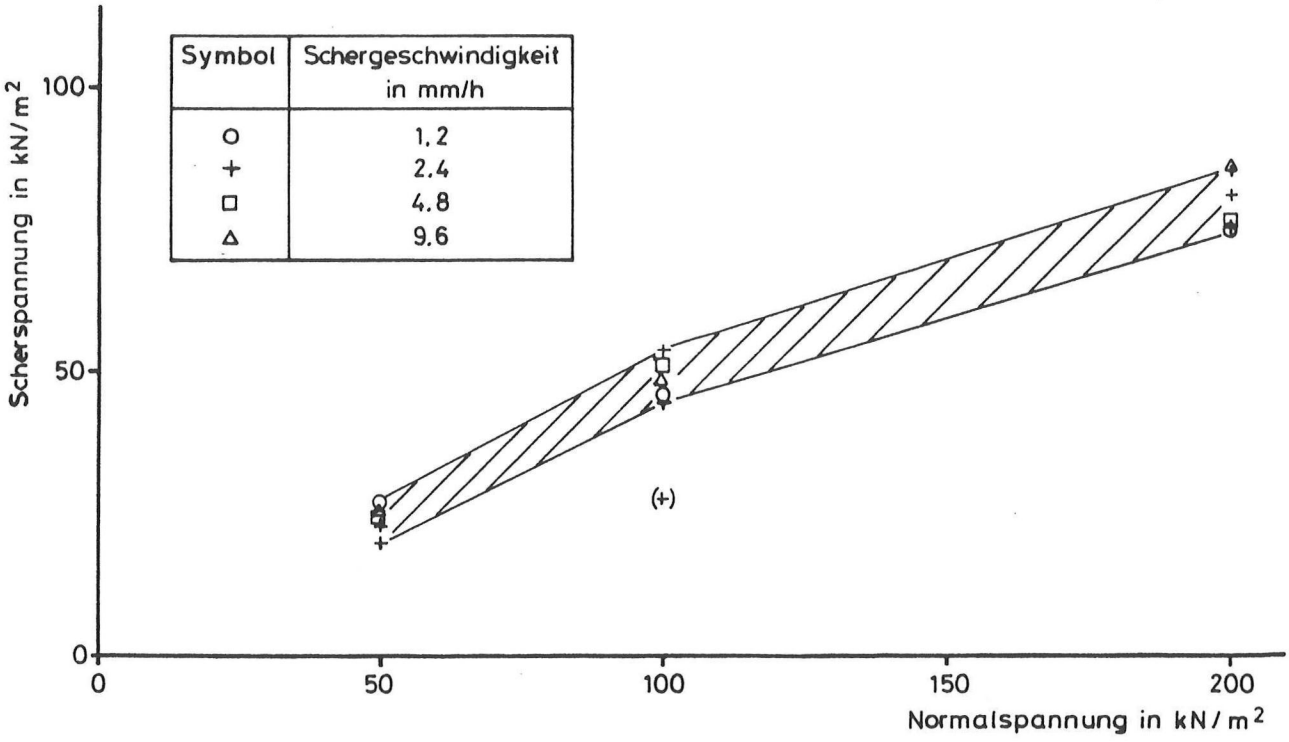

Abb. 4.2 Ergebnisse der Scherversuche mit Schlick

4.3 Scherversuche Schlick gegen Dichtungsbahn

Der Einfluß der Schergeschwindigkeit wurde parallel zu den Versuchen beim Schlick ebenfalls bei 2 ausgesuchten Dichtungsbahnen untersucht. Die Scherversuche wurden bei einer Normalspannung von 50 kN/m² mit Geschwindigkeiten von 1,2, 2,4 und 4,8 mm/h mit den Dichtungsbahnen Nr. 3 (Noppen) und 6 (einseitig rauh) durchgeführt.

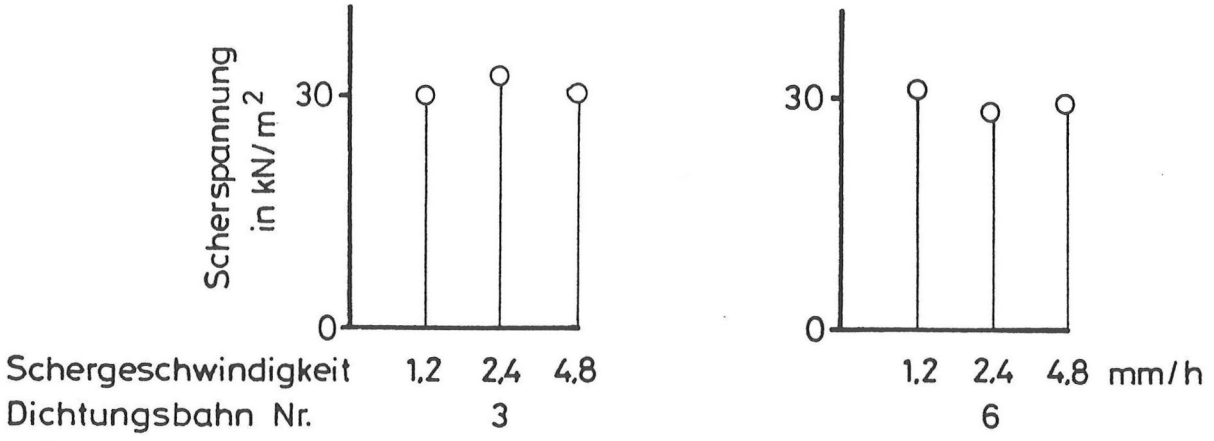

Abb. 4.3 Scherversuche Schlick - Dichtungsbahn mit unterschiedlicher Schergeschwindigkeit

Wie die Abb. 4.3 zeigt, konnte eine geschwindigkeitsabhängige Scherfestigkeitsentwicklung nicht ermittelt werden. Aus diesem Grund wurden die weiteren Versuche bei einer konstanten Schergeschwindigkeit von 2,4 mm/h vorgenommen.

In der Abb. 4.4 sind die Ergebnisse aus den Scherversuchen mit Schlick gegen Dichtungsbahnen aufgetragen. Zur Vergleichbarkeit wurden die ermittelten Scherfestigkeiten der einzelnen Dichtungsbahnen in den jeweiligen Laststufen gegenübergestellt. Die schraffierten Bereiche entsprechen den Scherfestigkeiten des Schlicks.

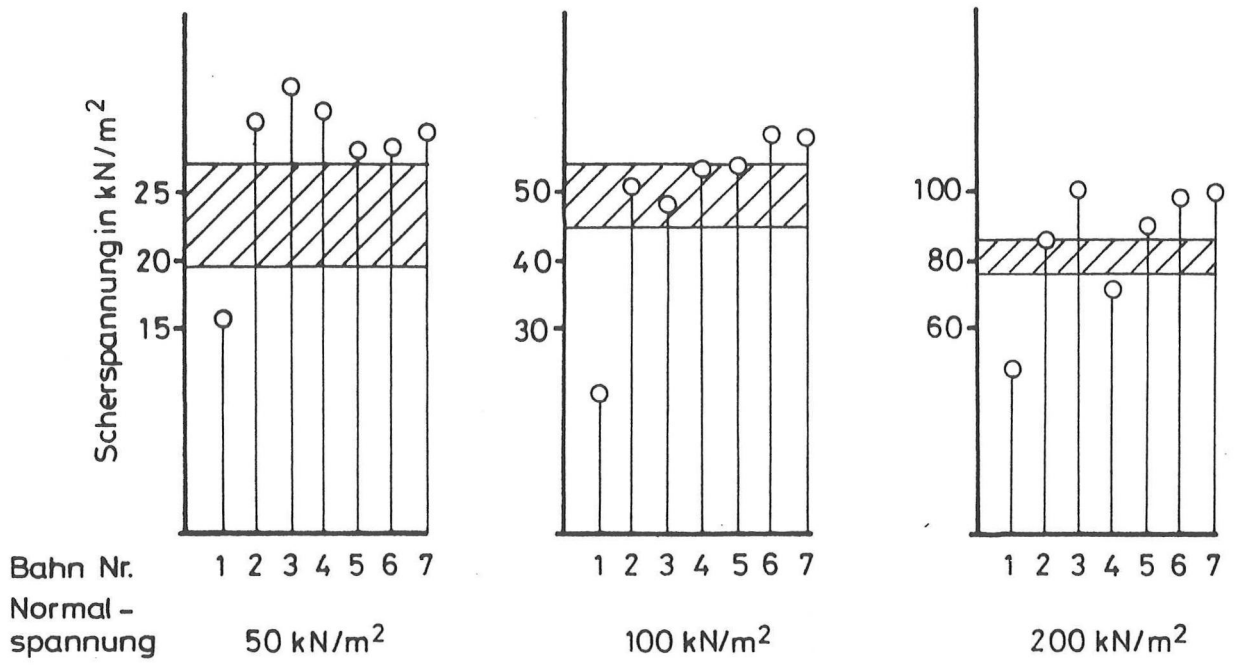

Abb. 4.4 Ergebnisse der Scherversuche Schlick - Dichtungsbahn

Die glatte Dichtungsbahn erreicht bei keiner Normalspannung die Scherfestigkeiten des Schlicks, während die strukturierten Dichtungsbahnen gleiche oder höhere Werte liefern. Eine Ausnahme liegt für die Dichtungsbahn mit Spikes (Abb. 3,Nr. 4) bei einer Normalspannung von 200 kN/m² vor. Der geringe Wert ist vermutlich auf eine nicht ausreichende Konsolidierung zurückzuführen, da der Ausbauwassergehalt im Verhältnis zu den übrigen Ausbauwassergehalten bei der Normalspannung von 200 kN/m² erheblich höher lag. Somit wurde ein Teil der Auflast vom Porenwasser getragen und konnte nicht reibungswirksam werden.

Durch die Profilierung der Dichtungsbahnen werden die Scherfestigkeiten des Schlicks erreicht bzw. sogar überschritten, wobei die Art der Profilierung nach den bisher vorliegenden Erkenntnissen nur eine geringe Rolle spielt. Sowohl die Dichtungsbahn Nr. 3 mit tief (9,3 mm) in den Schlick eindringenden Noppen als auch die Dichtungsbahnen Nr. 6 und 7 mit einer rauhen Oberfläche von maximal 0,6 mm Eintiefungen liefern Werte über denen des Schlicks, weshalb weitere Überprüfungen - auch in großmaßstäblichen Feldversuchen - vorgesehen sind.

5. Zusammenfassung

Für den Bau geneigter Kombinationsdichtungen sind genaue Kenntnisse über das Reibungsverhalten zwischen Kunststoffdichtungsbahn und mineralischer Dichtung aus Gründen der Standsicherheit erforderlich. Die im Rahmen der Planung einer Schlicklagerstätte im FRANZIUS-INSTITUT durchgeführten Scherversuche gaben den Anlaß für den vorliegenden Beitrag. Es werden das Schergerät sowie die Durchführung der Scherversuche erläutert. Die Ergebnisse der Untersuchung von 7 Kunststoffdichtungsbahnen mit unterschiedlicher Strukturierung werden vorgestellt.

Bei weitergehenden Überprüfungen des Reibungsverhaltens von Kunststoffdichtungsbahnen gegen Schlick sind auch großmaßstäbliche Feldversuche vorgesehen, über die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung leider noch nicht berichtet werden konnte.

6. Literatur

[1] KOHLHASE, S. und SAATHOFF, F.
Geomechanische Untersuchungen für die Schlicklagerstätte "Francop"
- Untersuchungsbericht für Phase 1 -
FRANZIUS-INSTITUT für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Juli 1987, unveröffentlicht

[2] GUDEHUS, G.
"Bodenmechanik", F. Enke Verlag, Stuttgart 1981

[3] AUGUST, H. und TATZKY, R.
"Kombinationsdichtung - Eine Schadstoffbarriere zur Abdichtung von Deponien und Altlasten -"
enthalten in "Altlasten" von
Thome-Kozmiensky (Hrsg.), EF-Verlag, Berlin 1987

(4) Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen", EAU 1985, 7.Auflage, Berlin 1985