

# Auswirkung von Kationenaustauschvorgängen auf die Dichtungswirksamkeit von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (Bentonitmatten)

FA 5.113

Forschungsstelle: Technische Universität München, Lehrstuhl und Prüfamf für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik (Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. R. Floss)

Bearbeiter: Heyer, D./ Ranis, D.  
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn  
 Abschluss: April 2001

## 1. Allgemeines

### Wirkungsweise der Geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD) – Kationenaustausch

Bei geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD) ist Ton mit produktspezifisch unterschiedlichen Verfahren zwischen zwei Geotextillagen als Pulver oder Granulat fixiert. Die dauerhafte abdichtende Wirkung der GTD ist auf die Eigenschaften der üblicherweise eingesetzten Tonmineralmischung Bentonit zurückzuführen. In Bentonitmatten kommen sehr stark quellfähige und sehr gering durchlässige Natriumbentonite und weniger stark quellfähige Calciumbentonite mit etwas höherer Wasserdurchlässigkeit zum Einsatz. Die Zufuhr von Calcium-Ionen, beispielsweise aus kalkreichen Sickerwässern oder auch Salzlösungen (z.B.  $\text{CaCl}_2$ ) bewirkt innerhalb weniger Monate bis einiger Jahre durch Kationenaustausch eine allmählich Umwandlung von Natriumbentonit in Calciumbentonit. Das Quellvermögen von Bentonit ist mit Kohlenwasserstoffen sehr gering und mit Salzlösungen gegenüber Wasser verringert. Rissbildungen im Ton der GTD infolge Austrocknungen sind bei hohem Quellvermögen des Bentonites in einem hohen Maße reversibel (Rissheilung).

## 2. Aufgabenstellung

### Einsatz der GTD

Bentonitmatten werden in Deponieabdichtungssystemen, Abdichtungen im Wasserbau, für Teiche und Becken sowie auch zum Grundwasserschutz an Verkehrswegen eingesetzt. Die 1982 von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen aufgestellten "Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten" (RiStWag) sehen bei ungünstigen, d.h. wasserdurchlässigen, Untergrundverhältnissen Abdichtungsmaßnahmen gegen eine Verunreinigung des Grundwassers durch straßenspezifische Schadstoffe vor. Im Zuge der Überarbeitung der RiStWag wird die Eignung und das Anforderungsprofil für den Einsatz von Bentonitmatten alternativ zu den bisher verwendeten mineralischen Abdichtungen und Kunststoffdichtungsbahnen erarbeitet.

In dem früheren Forschungsvorhaben FA 5.103 wurden die Anforderungen an das Abdichtungssystem definiert und Versuchstechniken entwickelt, die eine Prüfung von Bentonitmatten hinsichtlich dieser Anforderungen ermöglichen. Die generelle Eignung von Bentonitmatten zum Grundwasserschutz an Straßen wurde festgestellt, wobei der Einfluss des Kationenaustausches bei Natriumbentoniten auf die Langzeitbeständigkeit noch unberücksichtigt blieb.

In der vorliegenden Arbeit sollten Versuchstechniken zur Zeitrafung des Kationenaustausches entwickelt werden, die eine künstliche und beschleunigte Umwandlung von Natrium- in Calciumbentonit ermöglichen. sollte Das Durchlässigkeitsverhalten von im Labor kationenaustauschter und feldentnommener, in-situ gealterter Bentonitmatten insbesondere nach der Beanspruchung durch Trocken-Nass-Wechsel, war mit modifizierten Ver-

suchstechniken zu untersuchen. Die Randbedingungen, die zur Austrocknung führen, sollten durch die Freilegung mehrjährig eingebauter Bentonitmatten sowie durch Simulationen in Klimäräumen bestimmt werden.

## 3. Untersuchungsmethodik

### 3.1 Aufgrabungen von GTD

Zur Simulation möglichst naturähnlicher Bedingungen bei Laborversuchen und zur Rückbindung von Laborergebnissen an die Verhältnisse in der Natur wurden insgesamt sieben Freilegungen von Bentonitmatten an Straßen oder Regenwasserrückhaltebecken an Straßen vorgenommen.

Bezüglich der Wassergehaltsverteilung der feldentnommenen Bentonitmattenproben stellte sich außer beim direkten Wassereinstau nur die eingeschränkte Korrelation eines höheren Wassergehaltes bei mächtigerer Überlagerungsdicke dar. Klare Korrelationen von Schwankungen des Wasseraufnahmevermögens und damit des Kationenaustausches mit der Einbausituation waren nicht möglich. Nach den Permittivitätsbestimmungen ist bei allen untersuchten feldentnommenen Proben bei einsetzender Wasserzufuhr mindestens eine 7-fache Überschreitung des Anforderungswertes von  $\psi = 1,0\text{E-}07$  1/s gegenüber Wasser zu erwarten. Die Endwerte der Permittivitätsbestimmungen, bei denen durch Quellung in unterschiedlichem Umfang eine Selbstheilung erfolgt ist, überschreiten den Anforderungswert lediglich bei zwei der Aufgrabungen um mehr als den Faktor 3. Hierbei haben die Proben mit niedrigen Entnahmewassergehalten, die bei geringer Überdeckungsmächtigkeit vermutlich auch häufige Trocken-Nass-Wechsel erfuhr, die höchsten Permittivitäten. Insbesondere auf Grundlage der Aufgrabungen kann festgestellt werden, dass eine hinreichend große Überdeckung von Bentonitmatten als Grundvoraussetzung zur Vermeidung oder Verringerung einer Austrocknung und somit von schädlichen Rissbildungen anzusehen ist. Eine schon aus Gründen des Schutzes gegen mechanische Beschädigung der Dichtungsmatte durch Fahrzeugeinwirkung vorzusehende Mindestüberdeckung von ca. 0,8 m ist, abhängig von der Einbausituation, als unterste Grenze anzusehen.

### 3.2 Prüfverfahren

Die Quellfähigkeit von Natriumbentonit und somit das Wasseraufnahmevermögen im Enslin-Versuch kann als ein einfaches Verfahren zur Quantifizierung eines Kationenaustausches Anwendung finden.

Zur Durchführung eines beschleunigten Kationenaustausches wird ein Versuch vorgeschlagen, bei dem Natriumbentonit unter Auflast einer Erstquellung mit einer Lösung von 20 g  $\text{CaCl}_2$  je Liter entmineralisiertem Wasser und einer anschließenden Lagerung in dieser Lösung unterzogen wird. Mit diesem Versuch ist innerhalb von 14 Tagen im Labor, auch an größeren Probestücken, ein beschleunigter Kationenaustausch von Tonmehlproben oder industriell gefertigten Bentonitmatten möglich. Um den Einfluss des Kationenaustausches auf die Permittivität und Scherfestigkeit zu untersuchen, können die bereits vorhandenen Prüftechniken (FA 5.103) auf derart behandelte Proben angewandt werden.

Es zeigte sich, dass erst wiederholte Austrocknungen mit Rissbildung und Wiederbefeuchtung in Verbindung mit künstlich beschleunigtem Kationenaustausch im Laborversuch zu einer Überschreitung der Permittivitätsanforderung führen. In Trocken-Nass-Wechsel-Versuchen wird bei Quellung mit 20 g  $\text{CaCl}_2$  je Liter innerhalb von zwei bis sechs Zyklen ein Kationenaustausch erreicht. Daher wird empfohlen, im Rahmen von Eignungsprüfungen Tondichtungsbahnen oder auch Tonmehle zwei

Versuchsreihen mit je vier Trocken-Nass-Wechsel-Zyklen zu unterziehen, wobei die Quellung in einer Versuchsreihe mit der  $\text{CaCl}_2$ -Lösung, in der zweiten Versuchsreihe mit Wasser erfolgen würde. Je Zyklus wird eine Trockenrissdokumentation und eine überschlägige Permittivitätsbestimmung durchgeführt. Abschließende Permittivitätsbestimmungen in der Triaxialzelle zeigen den Einfluss des Kationenaustausches. Die Versuche können bei entsprechender Einspannung mit Proben von nur 15 cm Durchmesser erfolgen.

Der Umwandlungsgrad feldentnommener Natriumbentonitproben kann durch eine vollständige Restumwandlung im Labor erfasst werden.

#### 4. Untersuchungsergebnisse

##### Vergleich der Ergebnisse von Labor- und Feldproben

Die feldentnommenen Proben mit 5 bis 7 Jahren Alter haben alle einen weit gehend abgeschlossenen Kationenaustausch, wobei das Wasseraufnahmevermögen mit den Werten nach dem beschleunigten Kationenaustausch im Labor korreliert. Die 1 bis 3 Jahre eingebauten Natriumbentonite weisen unterschiedliche Wasseraufnahmevermögen auf, die auf einen weit fortgeschrittenen bis teilweise vollständigen Kationenaustausch hinweisen. Die Wassergehalte der Bentonite im Feld gehen auch bei größerer Überdeckung ( $> \text{ca. } 0,5 \text{ m}$ ) in der Regel nicht deutlich über  $w = 100 \%$  hinaus. Dieser Wert hat dieselbe Größenordnung, wie die unter Auflast mit Salzlösung gequollenen Proben im Labor. Das Quellvermögen frischen Natriumbentonites von ca. 200 % unter Auflast ( $15\text{-}20 \text{ kN/m}^2$ ) wird von den kationengetauschten Bentoniten sowohl im Feld als auch im Labor nicht erreicht.

Ausgeprägte Trockenrisse wurden im Feld nur bei vergleichsweise geringen Wassergehalten zwischen 33 % und 55 % festgestellt, wobei die Trockenrissmuster vergleichbares Aussehen und vergleichbare Abmessungen wie die der Laborversuche hatten.

Die Endwerte der Permittivitätsuntersuchungen an künstlich im Labor gealterten Natriumbentonitproben gehen nicht über  $\psi = 6\text{E-}07 \text{ 1/s}$  hinaus. Der Großteil der feldentnommenen Proben besitzt Permittivitätsendwerte, die geringer als  $\psi = 3\text{E-}07 \text{ 1/s}$  sind, was gut mit den Laborversuchen korreliert. An Feldproben der zwei Entnahmestellen mit der längsten Einbaudauer wurden höhere Permittivitäten bis  $3\text{E-}05 \text{ 1/s}$  ermittelt. Inwieweit bei diesen 5 bis 7 Jahre mit geringer Überdeckung (weniger als ca. 0,5 m) eingebauten Bentonitmatten Trocken-Nass-Wechselbeanspruchungen, die über das Ausmaß der Laborversuche hinausgehen, weitere im Labor nicht simulierte chemische Prozesse oder ein Durchwurzelungseinfluss die Erhöhung der Permittivität bewirkten, konnte nicht abschließend geklärt werden.

#### 5. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Bentonitmatten auch unter Berücksichtigung von Kationenaustauschvorgängen zum Grundwasserschutz an Straßen in Wassergewinnungsgebieten geeignet sind. Die Eignung des jeweiligen Produkttypes ist mit Eignungsprüfungen unter Berücksichtigung der relevanten Beanspruchungsfälle nachzuweisen. Insbesondere bei zu geringer Überlagerungsdicke und Austrocknung zeigten feldentnommene Proben Überschreitungen der Permittivitätsanforderung. Die Austrocknung feldverlegter Bentonitmatten ist durch entsprechende Vorgaben zu Einbautiefen insbesondere deshalb zu vermeiden, da das Rissheilungsvermögen bei Benetzung mit Kohlenwasserstoffen auf Grund des reduzierten Quellvermögens vermindert ist.

Im Zuge des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens wurden Versuchstechniken zum beschleunigten Kationenaustausch im Labor und zum Einfluss von Trocken-Nass-Wechseln in Verbindung mit Kationenaustausch entwickelt. Die Ergebnisse der entwickelten Prüfverfahren wurden durch Erkenntnisse an Proben von Ausgrabungen mit guter Übereinstimmung bestätigt.  $\square$