

**LAGA Ad-hoc Arbeitsgruppe  
„Deponietechnische Vollzugsfragen“**

**Themenbereich Oberflächenabdichtungen  
Kombikapillarsperre  
Beurteilung der grundsätzlichen Eignung**

**1. Thema und Bezug zur Deponieverordnung TASI**

Thema: Kombikapillarsperre (KKS)

Bezug: Deponieverordnung §12 Abs. 3 und § 14 Abs. 4 in Verbindung mit Anhang 1 Nr. 2 und TASI Nr. 10.4.1.4

System: Das System Kombikapillarsperre (KKS) besteht aus einer Kapillarsperre und einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB), die zwischen der Kapillarschicht (KS) aus Feinsand und dem Kapillarblock (KB) aus Kies angeordnet ist.

**2. Wirkungsweise**

Bei der Kombikapillarsperre (KKS) - mitunter auch als Kombikapillardichtung (KKD) bezeichnet - soll mit einer verminderten Zahl von Schichten ein Abdichtungssystem erstellt werden, das der Kombinationsabdichtung nach TA Siedlungsabfall bzw. Deponieverordnung für die Deponieklasse II gleichwertig ist. Dies soll mit der Kombination aus einer Konvektionssperre (Kunststoffdichtungsbahn, KDB) mit einer Kapillarsperre als mineralisches Element erreicht werden. Während der Lebensdauer der KDB übernimmt der Kapillarblock (KB) die Aufgabe der Ausgleichs- und ggfs. erforderlichen Gasdränschicht. Die Kapillarschicht (KS) fungiert in dieser Phase als Entwässerungsschicht. Sobald die KDB ihre Funktion z.B. alterungsbedingt nicht mehr erfüllen kann, soll die aus mineralischen Materialien bestehende Kapillarsperre die Abdichtungsfunktion übernehmen.

Eine Kapillarsperre besteht aus zwei Lagen nichtbindigen Bodenmaterials unterschiedlicher Körnung. Der unten gelegene, aus Kies bestehende KB wird von der feinsandigen KS überlagert. Voraussetzung für die abschirmende Wirkung einer Kapillarsperre unter ungesättigten Bedingungen ist das Vorhandensein eines deutlichen Porengrößensprungs an der Schichtgrenze zwischen KS und KB. Es stellen sich an der Schichtgrenze bei stationären hydraulischen Verhältnissen unterschiedliche Wassergehalte in den beiden Bodenmaterialien ein. Bei dann annähernd gleichen Kapillarkräften (Wasserspannungen) sind in der feinkörnigeren, sandigen Kapillarschicht deutlich mehr Poren mit Wasser gefüllt als im Kies. Unter diesen Bedingungen ist die ungesättigte Durchlässigkeit der KS deutlich größer als die des KBs, so dass bei geeigneter Hangneigung der erhöhte Wassergehalt in der KS lateral abgeführt werden kann, wodurch die Zusickerung von Niederschlagswasser in den Abfallkörper verhindert bzw. deutlich verringert wird.

### **3. Praxisanwendung, Erfahrungen, FE-Vorhaben**

Die KKS besteht aus zwei Abdichtungskomponenten, deren Eignung alleine oder in der Kombination mit anderen Abdichtungskomponenten in Deponieoberflächenabdichtungen als grundsätzlich nachgewiesen angesehen werden kann.

Die Kunststoffdichtungsbahn (KDB) ist eine Komponente der Regelabdichtungssysteme für Oberflächenabdichtungen für die Deponieklassen II und III. Von einer gemäß „Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für die Abdichtung von Deponien und Altlasten“ der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) zugelassenen und gemäß Zulassung verlegten KDB kann angenommen werden, dass sie für einen deutlich über 100 Jahren liegenden Zeitraum als Konvektionssperre eine sehr wirksame Abdichtungskomponente darstellt, die sowohl den Zutritt von Niederschlagswasser als auch Deponiegasemissionen sicher verhindert. Fragen des Qualitätsmanagements sowohl bei der Herstellung als auch der Verlegung einer KDB können beim Einsatz im Regelsystem als gelöst angesehen werden.

Die grundsätzliche Eignung der Kapillarsperre als Element in Deponieoberflächenabdichtungen wurde bereits von LAGA-Arbeitsgruppe „Infiltration von Wasser in den Deponiekörper und Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen“ [B1] wie folgt positiv beurteilt.

Für Kapillarsperren wurde ein Einsatzbereich für Böschungsneigungen zwischen 1 : 2,5 (Grenze der Herstellbarkeit und Standsicherheit) und 1 : 7 (Mindestgefälle für eine verlässliche Funktion) genannt, in dem bis zu 99% des eingesickerten Wassers lateral abgeführt werden können. Außergewöhnliche Niederschlagsereignisse können zwar die Funktionsfähigkeit in Abhängigkeit von den gegebenen Randbedingungen überfordern; jedoch gewinnt die Kapillarsperre nach Abklingen der hydraulischen Überlastung innerhalb weniger Tage ihre volle Funktionsfähigkeit zurück. Es wurde empfohlen, über einfachen Kapillarsperren eine ausreichend mächtige und optimierte Rekultivierungsschicht anzuordnen, die grundsätzlich die Funktion einer Wasserhaushaltsschicht übernehmen und damit hydraulische Durchbrüche verhindern soll. Darüber hinaus wurde die Möglichkeit angesprochen, ein Geotextil zwischen Kapillarsperre und Kapillarschicht einzubauen, um in der Bauphase der Verwehung des Feinmaterials aus der KS in den KB entgegenzuwirken und eine korrekte Ausbildung der Schichtgrenzen zu erleichtern. In Oberflächenabdichtungen von Deponien der Klasse I wurde die Möglichkeit gesehen, dass eine Kapillarsperre sowohl die Funktion der Entwässerungs- als auch der mineralischen Abdichtungsschicht übernehmen kann. Es wurde insbesondere als Vorteil angesehen, dass sich in Kapillarsperren keine austrocknungsbedingten Schrumpfrisse bilden können.

Über den Einsatz von Kapillarsperren als Komponente von Kombinationsdichtungen lagen im Jahr 2000 noch kaum Erfahrungen vor. Prinzipiell wurde aber in [B1] die Möglichkeit gesehen, dass eine Kapillarsperre in Oberflächenabdichtungen von Deponien der Klasse II, entweder unter oder über der Kunststoffdichtungsbahn eingebaut, die mineralische Dichtung ersetzen kann. Beim Einbau oberhalb der Kunststoffdichtungsbahn wurde die Möglichkeit gesehen, ebenfalls auch die Entwässerungsschicht zu ersetzen.

Zwischenzeitlich wurden Kapillarsperren sowohl unterhalb als auch oberhalb von Kunststoffdichtungsbahnen realisiert (s. Praxisbeispiele).

Im Übrigen wird auf das entsprechende Arbeitspapier der LAGA [B1] einschließlich der dort aufgeführten Literatur und Praxisbeispiele verwiesen.

Zusammenfassend sind folgende prinzipielle Vorteile der KKS gegenüber dem Regelsystem einer Oberflächenabdichtung für Deponien der Klasse II festzustellen:

- geringerer bautechnischer Aufwand gegenüber Regelaufbau nach DepV Anhang 1 bzw. TASI und daraus resultierende Kostenersparnis,
- einfacheres Qualitätsmanagement möglich und
- Unempfindlichkeit gegen Austrocknung.

Einschränkungen in der Leistungsfähigkeit einer KKS und dadurch ihrer Einsetzbarkeit gegenüber dem Regelsystem können sich durch die Nutzung der KS als Entwässerungsschicht ergeben. Dadurch dass deren Korngröße gegenüber einer Entwässerungsschichten entsprechend dem Regelsystem reduziert ist, ergeben sich Beschränkungen bei deren Leistungsfähigkeit und daraus resultierend der herstellbaren Böschungslängen. Gegebenenfalls kann es in der feinkörnigeren Entwässerungsschicht auch schneller zu Verockerungen und Verkrustungen kommen als in einer grobkörnigen Entwässerungsschicht.

#### **4. Klärungsbedarf im Hinblick auf die Vorgaben der Deponieverordnung bzw. TASI**

Die Wirksamkeit einer gemäß BAM-Richtlinie [1] hergestellten und eingebauten, unbeschädigten Kunststoffdichtungsbahn ist für einen Zeitraum von mindesten 100 Jahren unbestritten und bedarf in diesem Zusammenhang keiner eigenständigen Beurteilung. Es ist allerdings zu prüfen, ob die speziellen Einbaubedingungen d.h. insbesondere die Verlegung der Kunststoffdichtungsbahn auf dem relativ grobkörnigen Kapillarkblock negative Einflüsse auf deren Haltbarkeit hat.

Die grundsätzliche Eignung einer Kapillarsperre als Element in Deponieoberflächenabdichtungen wurde bereits von LAGA-Arbeitsgruppe „Infiltration von Wasser in den Deponiekörper und Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen“ beurteilt [B1]. Grundsätzliche Fragestellungen zur Eignung von Kapillarsperren, wie die z.B. Verockerung und Durchwurzelung oder die dauerhafte Wirksamkeit von Ableitungselementen wie mit Kunststoffdichtungsbahnen hergestellten Zwischenrigolen, sind nicht Gegenstand dieser Eignungsbeurteilung.

Im Rahmen dieser Beurteilung sind vorrangig die Punkte zu klären, die sich aus der Kombination der beiden Abdichtungskomponenten ergeben. Hierbei sind drei Zustände zu betrachten:

Zustand 1: Volle Wirksamkeit der KDB,

Zustand 2: Teilwirksamkeit der KDB und

Zustand 3: Nicht vorhandene KDB

### **Zustand 1 (KDB voll wirksam)**

Die Langzeitwirksamkeit der KDB darf gegenüber dem Einbau im Regelsystem nicht beeinträchtigt werden. Es war daher zu prüfen, ob die KDB in diesem Anwendungsfall besonderen Beanspruchungen ausgesetzt ist, die nicht über den üblichen Schutzwirkungsnachweis gemäß der BAM-Richtlinie [1] für den jeweiligen Einzelfall berücksichtigt werden. Unmittelbar unterhalb und oberhalb der KDB dürfen keine zusätzlichen Materialien (z.B. Vliese) erforderlich werden. Auswirkungen auf den Kapillarblock durch die Verlegung der KDB sind zu berücksichtigen (Schaffung von Unebenheiten durch Begehen oder Befahren, Eintrag von Fremdstoffen wie KDB-Abrieb bei der Vorbereitung von Extrusionsnähten, Kornzertrümmerung, etc.).

Die KS übernimmt in dieser Phase die Funktion der Entwässerungsschicht. Sie besitzt aufgrund der Konzeption als KS eine begrenzte Leistungsfähigkeit. Sie muss daher im jeweiligen Einzelfall unter Berücksichtigung der klimatischen Randbedingungen und der hydraulischen Eigenschaften der Rekultivierungsschicht (u.a. abhängig von Bodenart, Einbautechnik, Schichtdicke) so dimensioniert sein, dass es auch bei höheren Tageswerten der Absickerung aus der Rekultivierungsschicht in die Kapillarschicht als sie bei der Bemessung zu Grunde gelegt wurden, nicht zu Standsicherheitsproblemen der Entwässerungs- und Rekultivierungsschicht kommen kann.

### **Zustand 2 (Teilwirksamkeit der KDB)**

Es wurde unterstellt, dass die KDB geschädigt wird und Fehlstellen (Löcher, Risse) aufweist.

Es war daher zu prüfen, ob erstens die Kapillarsperre auch dann hinreichend wirksam ist, wenn die KDB nicht mehr vollflächig vorhanden ist und ob zweitens im Zuge der oxidativen Alterung verbleibende Reste der KDB die Trennfläche zwischen KS und KB stören.

Da erwartet wird, dass die Zerfallsprodukte der KDB eine eher körnige Struktur aufweisen, wird der zweiten Frage wenig Bedeutung beigemessen.

Die erste Frage kann jedoch nur positiv beantwortet werden, wenn das innerhalb der Kapillarschicht lateral auf einer noch intakten KDB abfließende Wasser auch über eine größere Fehlstelle in der gealterten KDB hinweg in der Kapillarschicht abfließt, ohne im Kapillarblock vertikal zu versickern. Voraussetzung dafür ist, dass sich in der Kapillarschicht auch über der intakten KDB ein wasserungesättigtes Fließen einstellt. Zusätzlich zu Großrinnenversuchen mit entsprechend unvollständigen Kunststoffdichtungsbahnen war folglich auch der Einfluss der KDB auf die Saugspannungsverteilung in der KS klären. Weiter musste geprüft werden, ob und welche Auswirkungen Luftdruckschwankungen oder ein Unterdruck unterhalb der

KDB (z.B. bei einer aktiven Entgasung) auf die Wasserspannung und den Sättigungsgrad in der Kapillarschicht und somit das Abflussverhalten in dieser Schicht haben.

### **Zustand 3 (Nicht vorhandene KDB)**

Für den theoretischen Fall, dass die KDB zwischen KS und KB vollständig „verschwunden“ sein soll, verbleibt als Abdichtungskomponente eine konventionelle Kapillarsperre. Zur grundsätzlichen Eignung einer Kapillarsperre wird auf [B1] verwiesen.

## **5. Beurteilung der grundsätzlichen Eignung**

Aufbauend auf den vom Antragsteller vorgelegten Unterlagen [B2] und [B3] wurden von der Unterarbeitsgruppe „Kombikapillarsperre“ der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ unter fachlicher Beratung durch externe Sachverständige weitere Untersuchungen zum Einfluss der Kunststoffdichtungsbahn auf die Saugspannungsverteilung in der Kapillarschicht (siehe Abschnitt 4, Phase 2) gefordert. Die Ergebnisse der durchgeführten Kipp-, Säulen- und Säulenversuche sowie weiterer Untersuchungen und Auswertungen sowie Stellungnahmen von Sachverständigen sind in [B4] bis [B10] zusammengestellt. Auf dieser Basis wird die grundsätzliche Eignung der KKS wie folgt beurteilt:

1. Auch mit einliegender KDB zwischen KB und KS findet ein ungesättigter Fluss in der KS statt, sofern die für eine Funktion von Kapillarsperren relevanten Randbedingungen (Korngrößen, Neigung, Wassermengen) gegeben sind. Da sich auch in Bereichen mit Fehlstellen in der KDB das ungesättigte Fließverhalten einer Kapillarsperre einstellt, wird von den externen Sachverständigen eine grundsätzliche Eignung der Kombikapillarsperre als gegeben angesehen [B10]. Dies steht allerdings unter dem Vorbehalt einer sorgfältigen Eignungsuntersuchung und Dimensionierung für den jeweiligen Einzelfall, wobei insbesondere der am Standort zu erwartende maximale Tageswert der Absickerung aus der Rekultivierungsschicht zu ermitteln, die laterale Dränkapazität der Kombikapillarsperre in Kippversuchen experimentell zu bestimmen und beides mit ausreichenden Sicherheitsreserven in der Bemessung zu berücksichtigen ist.
2. Auch ein Unterdruck im Deponiekörper (z. B. durch eine Aktiventgasung) wird sich nur in einem eng begrenzten Bereich um eine Fehlstelle in der KDB auswirken. Weil aber die grundsätzliche Fähigkeit der Kapillarschicht, Wasser lateral abzuführen erhalten bleibt, wird die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der KKS dadurch nicht in Frage gestellt [B 7].
3. Im Hinblick auf die mechanische Widerstandsfähigkeit der Kunststoffdichtungsbahn wurde der Einbau der KDB zwischen einem Kies der Körnung 2/8 mm als Kapillarsperre und einem Sand mit Größtkorn von 2 mm als Kapillarschicht in [B 6] als unbedenklich beurteilt. Für den Einbau der Kapillarschicht auf der KDB sind die Vorgehensweise sowie die Baugeräte und Mindestüberfahrhöhen vor Baubeginn festzulegen (s. u.). Sofern gröbere Körnungen zum Einsatz kommen sollen, wäre die Unbedenklichkeit im Hinblick auf den Schutz der KDB vorab nachzuweisen.

## 6. Einsatzbereich

- Einsatz als Oberflächenabdichtung bei allen Klassen oberirdischer Deponien möglich
- Der Einsatzbereich der KKS wird durch die Mindestneigung zur Sicherstellung einer ausreichenden lateralen Dränkapazität der Kapillarsperre (ca.1:7) und durch die Höchstneigung zur Gewährleistung der Standsicherheit (ca. 1:3 bei profiliertem KDB) begrenzt.

## 7. Hinweise zur Bemessung und baulichen Durchführung

- Die laterale Dränkapazität einer KKS ist in einer mindestens 5 m langen Kiprinne zu ermitteln, in deren oberem 2 m Abschnitt zwischen KS und KB eine zur Anwendung vorgesehene Kunststoffdichtungsbahn eingelegt ist. Die besonderen Anforderungen an die Versuchsdurchführung gemäß Anlage 1 sind zu beachten.
- Eine KKS ist wie eine Kapillarsperre gemäß GDA E 2-33 [2] zu planen und auszuführen. Ggf. erforderliche Zwischenfassungen und die Fassungen am Fuß der KKS müssen analog einer konventionellen Kapillarsperre gestaltet werden. In den Bereichen der Wasserfassungen, in denen auf KDB wassergesättigte Bedingungen zu erwarten sind, ist unter der KDB eine zusätzliche Abdichtung erforderlich.
- Die Kapillarschicht muss oberhalb einer intakten KDB die Funktion einer Entwässerungsschicht übernehmen. Anders als in einer konventionellen Kapillarsperre, deren Kapillarschicht nie wassergesättigt wird, da das Wasser zuvor vertikal in den Kapillarblock versickert, kann die Kapillarschicht der Kombikapillarsperre eingestaut werden, wenn über die Böschungslänge mehr Wasser in die Kapillarschicht zusickert als in dieser abfließen kann. Durch die Dimensionierung der Kombikapillarsperre und den weiteren Aufbau des Oberflächenabdichtungssystems, insbesondere der Rekultivierungsschicht, ist mit ausreichenden Sicherheitsreserven zu gewährleisten, dass auch in die Kapillarschicht zusickernde Wassermengen (infiltriertes Niederschlagswasser), die deutlich über den Bemessungswassermengen liegen, abgeführt werden können, ohne dass die Standsicherheit des Oberflächenabdichtungssystems gefährdet wird. Diesbezüglich sind in der Kombikapillarsperre größere Sicherheiten vorzusehen als in der konventionellen Kapillarsperre.
- Mit einer optimierten Rekultivierungsschicht (Wasserhaushaltsschicht) kann die Leistungsfähigkeit des Systems erhöht werden.
- Der Bauablauf ist so zu gestalten, dass die einzelnen Elemente der Kombikapillarsperre nicht beschädigt werden. Dafür sind die Vorgehensweise und Baugeräte vor Baubeginn festzulegen. Der bestimmungsgemäße Einbau der Kombikapillarsperre mit unbeschädigter Kunststoffdichtungsbahn zwischen Kapillarblock und Kapillarschicht einschließlich Wasserfassung muss in einem Probefeld mit den vorgesehenen Körnungen, Baugeräten und Mindestüberdeckungen nachgewiesen werden. Dazu ist das Probefeld zumindest bis zur Kunststoffdichtungsbahn (einschließlich) zurückzubauen und auf Beschädigungen der Kunststoffdichtungsbahn, Kornzertrümmerungen im Kapillarblock etc. zu überprüfen. Sofern Beschädigungen festgestellt werden, ist die Vorgehensweise zu modifizieren und der Probeeinbau zu wiederholen.

### **Beurteilungsgrundlagen:**

Der Beurteilung im Abschnitt 5 liegen folgende Unterlagen zugrunde:

- [B1]** LAGA – Arbeitsgruppe „Infiltration von Wasser in den Deponiekörper und Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen“  
„Themenbereich Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen: Kapillarsperre“; Beschluss der LAGA vom 08./09.02.2000
- [B2]** Dr.-Ing. U. Sehrbrock  
„Kurzbeschreibung der Kombikapillarsperre“; Braunschweig, 03.12.2003,
- [B3]** Prof. Dr. S. Wohnlich  
„Untersuchungsbericht Kombikapillarsperre –Großrinnenversuch“; Lehrstuhl für angewandte Geologie -Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum, vom 15.06.2004
- [B4]** Prof. Dr. S. Wohnlich  
„Untersuchungsbericht Kombikapillarsperre –Säulenversuch“; Lehrstuhl für angewandte Geologie -Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum, vom 08.02.2005
- [B5]** Prof. Dr. S. Wohnlich  
„Untersuchungsbericht Kombikapillarsperre –Großrinnenversuch 2 – Tracerversuche zur Lokalisierung des Durchflusses bei Leckagen in der Kunststoffdichtungsbahn“; Lehrstuhl für angewandte Geologie -Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum vom 08.02.2005
- [B6]** Dr. F. W. Knipschild  
„Mechanische Beanspruchung von Dichtungsbahnen in Kombi-Kapillar-Dichtungen – Stellungnahme GS-01/01/05“; Büro Dr. Knipschild vom 25.01.2005
- [B7]** Dr.-Ing. J. Weiß  
„Möglichen Auswirkungen von atmosphärischen Luftdruckschwankungen auf die Funktionsfähigkeit einer Kombi-Kapillardichtung“; CDM Amann Infutec Consult AG & Co. KG, Alsbach-Hähnlein vom 09.02.2005
- [B8]** Prof. Dr. S. Wohnlich

„Zusammenfassung der bisher durchgeführten Versuche zur Kombikapillardichtung“; Lehrstuhl für angewandte Geologie -Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum vom 17.10.2005

**[B9]** Prof. Dr. S. Wohnlich

„Untersuchungsbericht - Dichtigkeitsnachweis der Kombi-Kapillardichtung (KKD) 3. Kipprinnenversuch“, Lehrstuhl für angewandte Geologie -Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum vom 13.08 2007

**[B10]** Dr. habil. S. Melchior und Dr.-Ing. D. Jelinek

Gemeinsame Stellungnahme der externen Sachverständigen zum Bericht der Ruhr-Universität Bochum vom 13.08.2007, vom 07.10.2007

## Literatur

- [1] „Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für die Abdichtung von Deponien und Altlasten“ der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) herausgegeben vom Labor IV.32, Deponietechnik 2. überarbeitete Auflage, September 1999
- [2] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik  
GDA-Empfehlung E 2-33 „Kapillarsperren als Oberflächenabdichtungssystem“ (Entwurf)

## **Praxisbeispiele für Kapillarsperren mit Kunststoffdichtungsbahnen**

### **Bayern**

Deponie PWA Raubling, Kapillarsperre mit oberliegender KDB auf einer Deponie mit Reststoffen aus der Papierherstellung, 4 ha, 2001 - 2003

### **Niedersachsen**

Deponie Heinde, Lkr. Hildesheim, Kapillarsperre auf Kunststoffdichtungsbahn in der Oberflächenabdichtung einer Siedlungsabfalldéponie, 8,8 ha, 2005-2006

### **Nordrhein-Westfalen**

Zentraldeponie Emscherbruch, Kreis Recklinghausen, Kapillarsperre oberhalb der Kunststoffdichtungsbahn, 13,7 ha, 2001/2002

### **Sachsen**

Deponie Penig, Lkr. Mittweida, F+E Vorhaben mit Testfeld, , Kapillarsperre oberhalb der KDB einer Deponie der DK II, Neigung 1: 6,25 bis 1: 3,5, 2,2 ha, Volumen 250.000 t, 2000

## **Anforderungen an die Versuchsdurchführung zur Ermittlung der lateralen Dränkapazität einer Kombikapillarsperre**

### **1 Vorbemerkungen**

Diese Anlage ist Bestandteil der grundsätzlichen Eignungsbeurteilung der Kombikapillarsperre für den Einsatz in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien der Klassen I und II DepV vom 12.12.2007.

Zur Eignungsprüfung der in einer Baumaßnahme vorgesehenen Materialien und als Grundlage für die projektspezifische Bemessung des Systems sind Kipprinnenversuche durchzuführen. Nachfolgende Hinweise zur Durchführung von solchen Kipprinnenversuchen zur projektspezifischen Eignungsprüfung der Kombikapillarsperre sind zu beachten. Für die fachgerechte Durchführung der Kipprinnenversuche sind die im Projekt verantwortlichen Stellen zuständig.

Gleiches gilt für die hydrologische Bemessung der Kombikapillardichtung, der besondere Bedeutung zukommt, da Bemessungsfehler bei herkömmlichen Kapillarsperren und bei der Kombikapillarsperre sehr unterschiedliche Folgen haben können. Bei der herkömmlichen Kapillarsperre werden im Falle einer hydraulischen Überlastung des Systems die abfallrechtlichen Ziele der Abdichtungsmaßnahme ggf. verfehlt. Bei der Kombikapillarsperre kann eine Überlastung zu einem Volleinstau der Kapillarschicht führen, der ggf. die Standsicherheit des Oberflächenabdichtungssystems gefährdet, da eine vertikale Versickerung des aus den Deckschichten zusichernden Wassers in den Kapillarblock im Systemzustand mit intakter Kunststoffdichtungsbahn (KDB) durch die KDB verhindert wird. Bei der Bemessung müssen daher die Standsicherheit mitbeachtet und ausreichende Sicherheitsreserven vorgesehen werden.

### **2 Anforderungen an Kipprinnenversuche**

#### **2.1 Zielgröße**

Ziel der Durchführung eines Kipprinnenversuchs ist die Bestimmung der *lateralen Dränkapazität* des Systems. Die *laterale Dränkapazität einer Kapillarsperre (LDK)* ist nach [1] definiert als das Wasservolumen, das bei gegebener Böschungsneigung maximal pro Zeiteinheit in der Kapillarschicht lateral, d.h. in Böschungsfallrichtung abgeführt werden kann, bevor eine nennenswerte vertikale Absickerung von Wasser in den Kapillarblock auftritt. Die LDK wird auf eine Einheitsbreite der zu entwässernden Böschung bezogen und in der Einheit  $l/(m \times d)$  angegeben. Der Übergang von einer unerheblichen zu einer „nennenswerten“ vertikalen Absickerung von Wasser in den Kapillarblock ist nach [2] definiert als der Übergang von der Filmflussphase, während der das Wasser nur in dünnen Wasserfilmen entlang der Kornkontaktpunkte fließt, zur Porenflussphase, in der ganze Porenabschnitte wassergefüllt sind und am Fließgeschehen teilhaben.

Bei der Durchführung von Kipprinnenversuchen zur projektspezifischen Bestimmung der lateralen Dränkapazität der Kombikapillarsperre sind folgende Anforderungen einzuhalten:

## 2.2 Größe und technische Ausrüstung der Kiprinne

- Die Kiprinne muss mindestens folgende Maße aufweisen: Länge 5 m, Breite 0,4 m.
- Die Wasserzugabe erfolgt von der Stirnwand in die Kapillarschicht. Sofern die Wasserzugabe nicht von der Stirnwand aus, sondern am Rinnenkopf auf die Oberfläche der Kapillarschicht erfolgen soll, muss eine um mindestens 2 m längere Kiprinne benutzt werden.
- Die Oberfläche der Kapillarschicht ist durch eine Kunststoffolie abzudecken, um eine Verdunstung des Wassers aus der Kapillarschicht zu verhindern.
- Der Boden der Kiprinne muss im Abständen von rund 0,8 m durch senkrecht auf dem Boden aufgeschweißte Schotts gekammert und am jeweiligen Tiefpunkt der einzelnen Kammern mit Abflussöffnungen zur Ableitung des Wassers ausgestattet sein, um die vertikale Absickerung aus der Kapillarschicht in den Kapillarblock in Gefällerrichtung örtlich auflösen zu können. Die Kapillarblockkammern werden vom Rinnenkopf bis zum Tiefpunkt nummeriert. Bei einer 5 m langen Rinne ergeben sich fünf Kapillarblockkammern. Die fünfte Kammer ist 1 m lang und dient der Aufnahme der lateralen Abflüsse in der Kapillarschicht.
- Die Kunststoffdichtungsbahn ist bei einer 5 m langen Kiprinne von der Stirnseite der Rinne beginnend über eine Länge von 1,8 m zu verlegen, so dass die KDB über der dritten Kapillarblockkammer endet. Bei längeren Rinnen ist die KDB entsprechend zu verlängern. Die KDB wird rechtwinklig zur Rinnenneigung abgeschnitten und seitlich an den Rinnenwänden abgedichtet.
- Jeweils 20 cm vor dem Ende der zweiten und der dritten Kapillarblockkammer (1,4 m bzw. 2,2 m vom Rinnenkopf entfernt; die Angaben beziehen sich auf eine 5-m-Rinne) werden jeweils mindestens ein Tensiometer in die Kapillarschicht (jeweils 5 cm oberhalb der KDB bzw. des Kapillarblocks) eingebaut, um die Wasserspannung in der Kapillarschicht vor und nach dem Ende der KDB zu bestimmen.
- Folgende Größen sind automatisch mit einer stündlichen Auflösung zu messen und arbeitstäglich durch geeignete Verfahren als Gesamtfluss manuell zu kontrollieren: Wasserzugabe in die Rinne, lateraler Abfluss in der Kapillarschicht am Rinnenende, vertikale Absickerung in den Kapillarblock aus den vier Kapillarblockkammern. Ebenfalls stündlich sind die Tensiometermesswerte sowie die Lufttemperatur in Versuchshalle zu registrieren.

## 2.3 Versuchsdurchführung

- Die Herkunft der Materialien für Kapillarschicht und Kapillarblock ist durch bodenkundlich-geologische Materialbeschreibungen, durch eine Karte des Herkunftsorts, Fotos des Entnahmeorts sowie Lieferscheine zu dokumentieren. Das Fabrikat der KDB und deren Oberflächenstruktur sind zu nennen.
- An den Materialien für Kapillarschicht und Kapillarblock sind in Sinne einer Beweissicherung für die Versuchs- und die spätere Bauausführung folgende bodenphysikalischen Parameter durch Laborversuche zu bestimmen: Mineralzusammensetzung, Korngrößen-

verteilung (Nasssiebung), gesättigte Wasserdurchlässigkeit, Glühverlust, Kalkgehalt, Eisengehalt und Eisenfraktionen (oxalat- und dithionitlösliches Eisen). Kornformen und Kornoberflächen sind visuell im Auflichtmikroskop zu bestimmen. Die Filterstabilität der Materialien ist nachzuweisen. Bei begründetem Verdacht ist die Kornstabilität zu untersuchen.

- Das Einbauverfahren der Materialien in die Rinne ist zu dokumentieren. Die Verdichtungsgrade und die Wassergehalte von Kapillarblock und Kapillarschicht sind beim Ein- und Ausbau zu bestimmen.
- Die Neigungseinstellung der Kipprinne ist mit einer 4-m-Messlatte oder einer Schlauchwaage (Abstand mind. 4 m) mit Bezug auf die Schichtgrenze kontrollieren.
- Die Untersuchung hat mindestens für die flachste und für die steilste im Projekt vorkommende Böschungsneigung zu erfolgen. In beiden Fällen muss der untere Rinnenbereich ohne KDB das vom oberen Rinnenbereich in der Kapillarschicht auf der KDB zufließende Wasser mit ausreichender Kapazität im wasserungesättigten Zustand ohne nennenswerte vertikale Absickerung in den Kapillarblock ableiten können.
- Der Wasserfluss in Sanden und Kiesen unterliegt dem Einfluss der Hysterisis. Die laterale Dränkapazität ist für eine Rinnenneigung daher sowohl bei abnehmenden Wasserzugaberaten als auch bei steigenden Wasserzugaberaten zu bestimmen. Es wird eine Versuchsabfolge mit zunächst sinkenden und anschließend steigenden Wasserzugaberaten empfohlen. Die Änderung der Wasserzugaberate muss stufenweise erfolgen. Bei jeder Stufe ist für die Rinne ein Fließgleichgewicht zwischen zu- und ablaufendem Wasser nachzuweisen.

#### 2.4 Dokumentation der Versuchsdurchführung

- Die Versuchsdurchführung ist durch Tagesberichte oder eine EDV-Datei mit entsprechenden Einträgen zu dokumentieren. Dabei sind die wesentlichen Arbeitsschritte bei der Versuchsdurchführung sowie besondere Vorkommnisse mit Namen der Bearbeiter, Datum und Uhrzeit aufzuzeichnen.
- Die Kalibrierung der Messgeräte ist nachzuweisen.
- Über Laborversuche zur Bestimmung von Materialkennwerten sind vollständige Prüfprotokolle nach den jeweiligen DIN-Vorschriften anzufertigen.
- Der Ein- und Ausbau von Kapillarblock, Kunststoffdichtungsbahn und Kapillarschicht ist durch Fotos zu dokumentieren. Die Fotodokumentation muss Aufsichten auf die fertig abgezogene Oberfläche des Kapillarblocks vor Verlegung der KDB bzw. Kapillarschicht in allen 1-m-Abschnitten der Kipprinne enthalten.

#### 2.5 Auswertung der Versuchsergebnisse

Aus den Messwerten sind vollständige Wasserbilanzen für die gesamte Rinne über die gesamte Versuchsdauer sowie für die einzelnen Rinnenabschnitte für bestimmte Versuchszeiträume mindestens auf Tagewertbasis zu ermitteln. Die laterale Dränkapazität ist aus den

Wasserbilanzen der einzelnen Rinnenabschnitte abzuleiten. Als laterale Dränkapazität bei der eingestellten Rinnenneigung gilt der jeweils kleinere von zwei möglichen Werten:

- a) Maximaler lateraler Abfluss aus der Kapillarschicht, der vor einer Erhöhung der Bewässerungsrate, die zu einem Durchbruch in den Kapillarblock (Porenfluss) geführt hat, gemessen wurde.
- b) Maximaler lateraler Abfluss aus der Kapillarschicht, der nach einer Senkung der Bewässerungsrate, die zu einem Versiegen des Durchbruchs geführt hat, gemessen wurde.

### **3 Hinweise zur Bemessung**

Für die fachgerechte Bemessung der Kombikapillarsperre sind die im Projekt verantwortlichen Stellen zuständig. Auf die Bedeutung der hydrologischen Bemessung der Kombikapillarsperre für die Standsicherheit des Oberflächenabdichtungssystems wurde bereits in den Vorbemerkungen hingewiesen. Die laterale Dränkapazität, die als maßgebliche Eingangsgröße für die Bemessung durch Kipprinnenversuche ermittelt wird, wurde bereits im Abschnitt 2 definiert.

Die Bemessung von Kapillarsperren ist Stand der Technik und wird in der GDA-Empfehlung für die Kapillarsperre [3] erläutert. Aus der in Kipprinnenversuchen bei der maßgeblichen Böschungsneigung bestimmten lateralen Dränkapazität einer Materialkombination für Kapillarschicht und Kapillarblock und der maximalen Dränspende (Zusickerung aus den Deckschichten) ergibt sich die maximale Böschungslänge, die ohne Zwischenfassung des lateral in der Kapillarschicht sickern den Wassers im wasserungesättigten Zustand entwässert werden kann (Abschlagslänge). Den Ungenauigkeiten in den Eingangsdaten für der genannten Größen ist durch entsprechende Sicherheitsabschläge Rechnung zu tragen. Keinesfalls darf die bei Volleinstau auf der KDB maximal im gesättigten Zustand in der Kapillarschicht ableitbare Wassermenge bei der Bemessung der Abschlagslänge angesetzt werden.

Zentrale Bedeutung kommt bei der Bemessung der Annahme des Rechenwertes für die Dränspende zu. Die GDA-Empfehlung für Entwässerungsschichten [4] nennt hierzu einen Wert von 10 mm/d. Dieser Wert stellt nicht für alle Standorte in Deutschland den maximalen Tageswert der Dränspende dar. In Testfeldern wurden unter mindestens 1,0 m dicken Rekultivierungsschichten bereits maximale Abflüsse in der Entwässerungsschicht von rund 35 mm/d gemessen. Zur Vermeidung von Standsicherheitsproblemen von Oberflächenabdichtungssystemen mit Kombikapillarsperre muss die maximale Dränspende projektspezifisch ermittelt und mit ausreichender Sicherheitsreserve bei der Bemessung angesetzt werden. Durch geeignete Maßnahmen ist sicherzustellen, dass die bei der Bemessung angesetzte maximale Dränspende im realisierten Bauwerk nicht überschritten wird.

### **4 Technische Bezugsdokumente**

- [1] Steinert, B., S. Melchior, K. Burger, K. Berger, M. Türk & G. Miehlich (1997): Dimensionierung von Kapillarsperren zur Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 32, Teil IV

- [2] Steinert, B. (1999): Kapillarsperren für die Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten. Bodenphysikalische Grundlagen und Kipprinnenuntersuchungen. Dissertation Universität Hamburg. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 44.
- [3] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik DGGT e.V. (2000): Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“: GDA E 2-33: Kapillarsperren als Oberflächenabdichtungssystem (Entwurf). In: Bautechnik, 2000, Heft 9 (siehe auch: [www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de))
- [4] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik DGGT e.V. (2003): Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“: GDA E 2-20: Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen. In: Bautechnik, 2003, Heft 9 (siehe auch: [www.gdaonline.de](http://www.gdaonline.de))