

10 Jahre Praxiserfahrung mit der Planung und dem Bau von Kapillarsperren

1 Historie

Den Grundstein für die Verwendung von Kapillarsperren in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien legte in der Bundesrepublik Deutschland von der Hude im Jahr 1997. Zuvor wurden Kapillarsperren bereits in der Schweiz und in Dänemark eingesetzt; zum Teil mit mehr oder weniger Erfolg (hohe Durchbruchraten).

Schon damals hat Hude auf fehlende oder nicht geeignete Überdeckungen hingewiesen. Diese These bestätigt sich sozusagen im Testfall der Deponie „Am Stempel“, wo zwischen 1992 und 1998 eine „fast 100 %ige Abschirmung“ erzielt wurde (Kämpf + Montenegro 1999). Die Kapillarsperre war mit einer 2 m mächtigen Wasserhaushaltsschicht überdeckt!

Nachdem an weiteren Deponien mehrere Testfelder durchgeführt wurden, sind letztlich im Jahr 2002 die ersten größeren zusammenhängenden Kapillarsperren als ganzheitliche Oberflächenabdichtung gebaut worden. Bekanntes Beispiel ist die Altlast „Am Stempel“ in Hessen, die 2002 gebaut wurde. Im Bereich dieser Epoche sind weitere Testfelder und Oberflächenabdichtungssysteme mit Kapillarsperren gebaut worden. Hier sind die Deponie Esch Belval in Luxemburg und die Altdeponie Kusteht in Rotenburg/Niedersachsen zu nennen.

Eine weitere großflächige Abdichtung mit Kapillarsperren fand im Jahr 2000 auf der Deponie Penig im Land Sachsen statt. Ebenfalls im Zeitraum 2000 bis 2002 wurden weitere Felder mit Kapillarsperren auf der Deponie Einersgrund in Bayreuth/Bayern auf ihre Eignung als Oberflächenabdichtung untersucht. Die Felder hatten unterschiedliche Neigungen von 10 % sowie 26 %; es konnte eine Dichtwirkung von mehr als 95 % des Jahresniederschlags über den gesamten Versuchszeitraum festgestellt werden. Aus diesen Testfeldern wurde die Empfehlung abgeleitet, bei der vorliegenden Materialkombination eine Wasserhaushaltsschicht von mindestens 1,50 m Mächtigkeit darüber zu bauen.

Die größten flächendeckenden Kapillarsperrensysteme sind auf der Deponie Grix in Hessen mit fast 12 ha und auf der Zentraldeponie Emscherbruch in Nordrhein-Westfalen mit 35 ha gebaut worden bzw. in Bau. Bei beiden Deponien befinden sich unter der Kapillarsperre jeweils Kunststoffdichtungsbahnen, da es sich um kombinierte Abdichtungssysteme handelt. Im Bereich der Zentraldeponie Emscherbruch ist ein System eingebaut, welches eine Kontrolle der Kapillarsperre zulässt.

Nach diversen erfolgreich abgeschlossenen Maßnahmen sind im Bereich der Industriefertigung Entwicklungen vorangetrieben worden, die ein einfacheres Einbausystem erwarten lassen – so z. B. die sogenannten Kapillarblockbahnen (KBB), welche die Kapillarblockschicht ersetzen können. Darüber hinaus sind mehrere Varianten mit Trennvliesen zwischen dem Kapillarblock und der Kapillarschicht zum Einsatz gekommen. Auch dies, um eine einfachere Baubarkeit zu erzielen.

Mittlerweile hat die Kapillarsperre im Bereich der Oberflächenabdichtungssysteme den Status einer gleichwertigen und somit voll funktionsfähigen Oberflächenabdichtung und ist als gängiges Element bei dem Bau von Oberflächenabdichtungssystemen einsetzbar.

2 Theorie der Kapillarsperrenfunktion

Kapillarsperren sind zweischichtige geneigte Systeme aus nicht bindigen Materialien, bei denen die unterschiedlichen Materialien eine deutliche Schichtgrenze darstellen. Eine sandige Materialkomponente liegt über einem grobkörnigeren, meist kiesigen Kapillarblock. Wasser, welches in die Kapillarschicht eindringt, wird dort kapillar als Haftwasser gebunden und fließt oberhalb der Schichtgrenze im Porenraum der Kapillarschicht lateral ab. Sie folgt also dem Hang (seiner Neigung) und nicht der Schwerkraft in den Kapillarblock. Eine solche vertikale Versickerung wird verhindert durch die Grenzflächenspannung am Übergang der wassergefüllten Poren in der Kapillarschicht zu den luftgefüllten Poren des Kapillarblocks. Unter solchen ungesättigten Verhältnissen sind durch die Oberflächenspannung des Wassers hängende Minisken in den Kapillaren der Kapillarschicht vorhanden. So lange diese Kapillarkräfte gegenüber den Gravitationskräften überwiegen, behält die Kapillarsperre ihre Wirksamkeit.

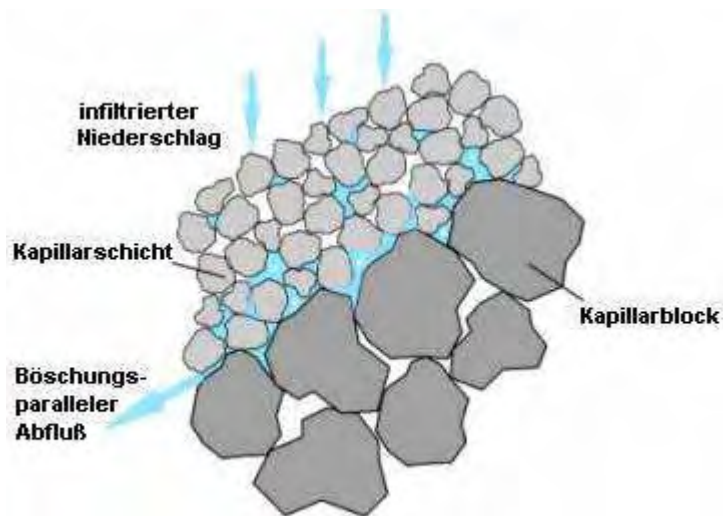


Bild 1: Funktion der Kapillarsperre [1]

Bei der Materialwahl von Kapillarschichtmaterialien ist immer darauf zu achten, dass neben der ausgeprägten Kapillarität auch eine ausreichende hydraulische Leitfähigkeit gewährleistet ist, damit das Wasser lateral abgeführt werden kann. Der darunter liegende Kapillarblock dient dazu, die Kapillarität zu unterbrechen. Um diese scharfe kapillare Trennung zu erreichen muss die Körnung des Blockmaterials deutlich gröber sein als die der Kapillarschicht. Je größer der Unterschied zwischen den Korngrößen der beiden Schichten ist, desto leistungsstärker ist die Dränkapazität der Kapillarschicht. Begrenzendes Element ist bei den unterschiedlichen Materialkomponenten die Anforderung einer Filterstabilität der beiden Materialien zueinander. Das heißt: Auch nach Wassereintritt muss die Schichtgrenze exakt gewährleistet bleiben.

Die geeigneten Materialzusammensetzungen bzw. Komponenten zueinander werden sowohl über theoretische Ansätze als auch über empirische Versuche ermittelt.

[1] Möckel, www.all-leer.de

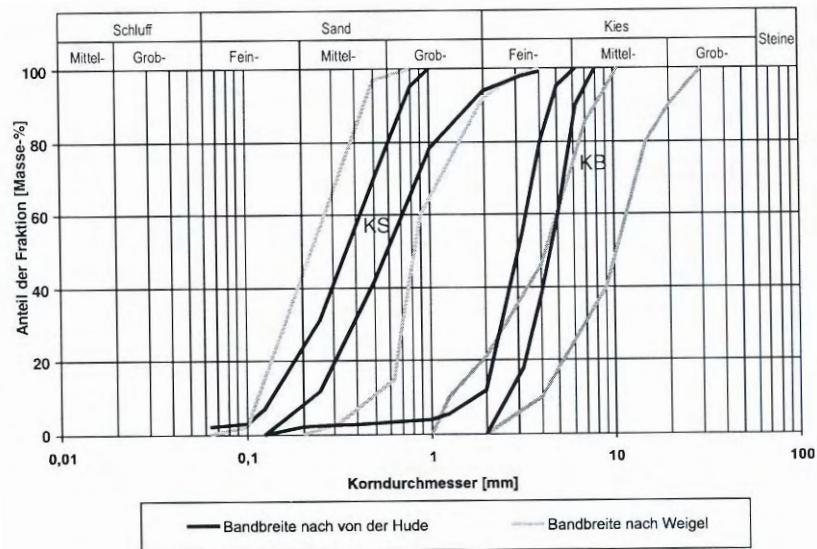


Bild 2: Bandbreiten günstiger Kornverteilungskurven für Kapillarschicht (KS)- und Kappillarblock (KB)-Materialien nach WEIGEL (1993) – grau – und von VON DER HUDE (1999) – schwarz – [2]

Um aber genau diese theoretischen Ansätze verifizieren zu können und das nicht erst in einem großen Feldversuch tun zu müssen wurden die sogenannten Großkipprinnenversuche sozusagen als Standardversuche vorgeschlagen. Zu der Durchführung von Tests in Kipprinnen wurde präferiert, die Versuche in einer mindestens 5 m langen Kipprinne vor dem Bau eines großmaßstäblichen Testfeldes durchzuführen, um letztlich die Fragestellung der lateralen Dränkapazität einigermaßen sicher abschätzen zu können.

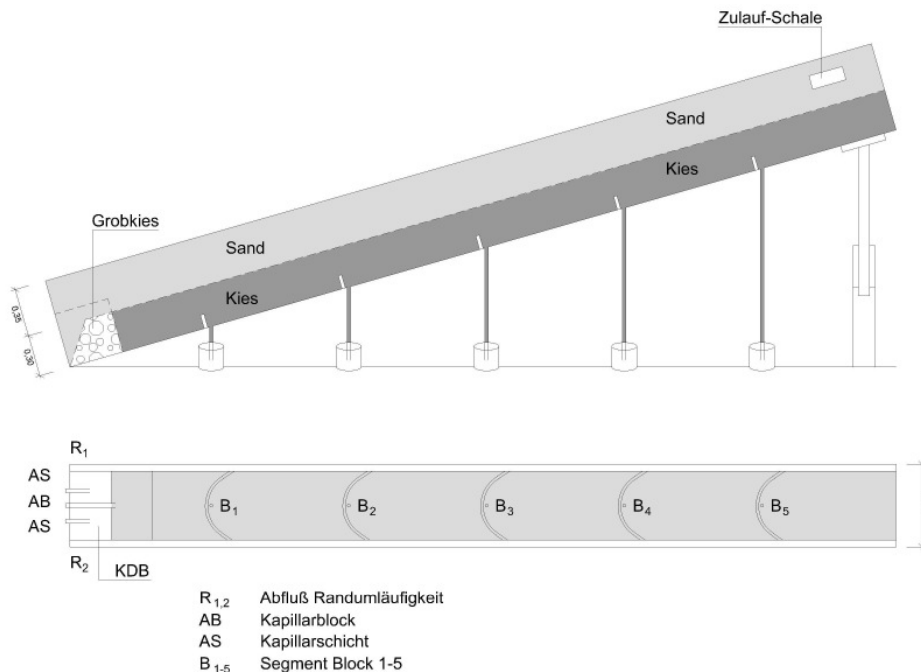


Bild 3: Kipprinne

[2] Birte Maren Pfeiffer: Vergleichende Untersuchungen von Kapillarsperren aus Natur- und Recyclingbaustoffmaterialien als Beitrag zur Deponieoberflächenabdichtung und Ressourcenschonung, Dissertation, Gießen, Jan. 2006

3 Laterale Dränkapazität

Als laterale Dränkapazität wird die Leistungsfähigkeit von Kapillarsperren bezeichnet. Die ist definiert als die maximale Wassermenge, die pro Zeit von einer Kapillarschicht abgeleitet werden kann, bevor eine nennenswerte Wassermenge in den Kapillarblock sickert.

Es sind im Laufe der Kapillarsperrenuntersuchungen verschiedene Methoden entwickelt worden, die laterale Dränkapazität anhand der Abflussdaten von Kipprinnen zu ermitteln. Eine simple Methode ist es, die laterale Dränkapazität bei der Zuflussrate festzulegen, bei welcher die ersten nennenswerten Kapillarblockabflüsse gemessen werden. Eine abgewandelte Bestimmung der lateralen Dränkapazität besteht darin, dass die Kapillarblockabflüsse in Abhängigkeit der Zuflüsse dargestellt werden und die laterale Dränkapazität dann erreicht ist, wenn der höchste Kapillarschichtabfluss erreicht ist, bevor es zum exponentiellen Anstieg der Blockabflüsse kommt.

Allein aus der Bestimmung der lateralen Dränkapazität durch die Versuche in Großkipprinnen zeigt sich, dass auch die gemessenen lateralen Dränabflüsse nur näherungsweise angesetzt werden können. Das heißt eine Bestimmung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit ist immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, so dass die Bemessung einer Kapillarsperre als Oberflächenabdichtung grundsätzlich nicht komplett ausgereizt sein sollte. Es ist immer eine ausreichende Sicherheit in die Abschlagslängen einzurechnen.

4 Vorhandene Großkipprinnen

Kipprinnen wurden bereits seit 1991 in unterschiedlichen Varianten durchgeführt. In erster Linie sind die Kipprinnen zu Forschungszwecken eingesetzt worden. Erst im Laufe der Zeit, als Kapillarsperren als Oberflächenabdichtungssysteme eingesetzt werden sollten, wurden sie auch als Instrument benutzt, um einerseits entsprechende Eignungsprüfungen zu verifizieren, andererseits aber auch um im Qualitätsüberwachungssystem im Zuge der Fremdprüfung die vorgeschlagenen Materialien zu prüfen und die Ergebnisse zu hinterlegen.

Zurzeit sind nach Kenntnis des Verfassers eine Großkipprinne mit 10 m Länge am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg, zwei 8 m lange Kipprinnen am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Darmstadt, eine 6 m lange Versuchsrinne am Institut für Hydrogeologie der Universität München, eine 7 m lange Kipprinne an der Hochschule Bremen, eine 6 m lange Kipprinne an der Universität Gießen und zwei 6 m lange Kipprinnen im Labor des Verfassers im Einsatz.



Bild 4: 6 m-Kipprinnen der ASMUS + PRABUCKI · INGENIEURE BERATUNGSGESELLSCHAFT MBH

5 Numerische Modelle

Seit Anbeginn der Durchführung von Großkipprinnenversuchen ist die Fachwelt bestrebt, auch entsprechende numerische Modelle nachzubilden, so dass die normalerweise durch die Großkipprinnenversuche ermöglichte Aussage der lateralen Dränkapazität durch rechnerische Modelle ermittelt werden kann. Dies ist jedoch bis zum heutigen Zeitpunkt noch nicht zufrieden stellend gelöst, so dass zur sicheren Verifizierung aus Sicht des Verfassers nach wie vor der Einsatz von Großkipprinnen erforderlich ist, um entsprechende Sicherheiten beim Bau und ausreichende Prognosen für die Wahl der Materialkomponenten durchführen zu können. Eine umfangreiche Arbeit hierzu wird von Prof. Gräber, Universität Dresden, mit dem Programm SiWaPro DSS zurzeit durchgeführt. Die Simulation mit dem Modell SiWaPro DSS ist in Bild 3 dargestellt.

6 Umsetzung der Kapillarsperrendichtung in die Praxis

Wie bereits erwähnt begann der Einzug von Kapillarsperrendichtungen mit den entsprechenden Pilotprojekten und den Versuchsfeldern, die durchaus Erfolg versprechend waren, näherungsweise jedoch auch die Schwächen der Kapillarsperrensysteme aufgezeigt haben. Hier sei nur die Situation der Durchbrüche bei starken Regenereignissen erwähnt, die nur kompensiert werden konnten, indem oberhalb der Kapillarsperrenabdichtung eine entsprechende wasserspeichernde Schicht (Wasserhaushaltsschicht) oder ein gering durchlässiges System (Ton- oder Lehmschicht) aufgebracht wurde, um so die großen ad hoc anfallenden Wassermassen zu puffern.

Nach diesen ersten Erkenntnissen bei Probefeldern wurden auch solche Simulationen in den Großkipprinnen durchgeführt und es konnte sehr deutlich festgestellt werden, dass auch hier je nach Art und Menge der Bewässerung reproduzierbare Ergebnisse ermittelt wurden. Insbesondere konnte in den Kipprinnenversuchen festgestellt werden, dass ein Kapillarsperrensystem – nachdem es durch hohen Wasseranfall einmal durchgebrochen war – sich wieder regulierte, das heißt in die ursprüngliche dichtende Funktion überging, nachdem sich der Wasserhaushalt innerhalb der Kapillarschicht wieder so weit stabilisiert

hat, dass kein Überangebot an Wasser vorhanden war. Dies führte letztlich wieder zur kompletten Funktionstüchtigkeit der Kapillarsperre.

Als letzter, jedoch wesentlicher Punkt zur genehmigten Umsetzung der Kapillarsperrentechnik in die Praxis sind immer wieder „Eignungsnachweise im Einzelfall“ erforderlich gewesen, da durch die Kombination von unterschiedlichen Materialien jeweils für den speziellen Fall gutachterlich nachgewiesen werden musste, inwieweit die Anforderungen an die so geplante Oberflächenabdichtung eingehalten werden können.

Mittlerweile, da die grundsätzliche Eignung von Kapillarsperren anerkannt ist, sind nur noch die Materialien zu bestimmen und deren Eignung nachzuweisen. In der Praxis haben sich zwei Vorgehensweisen durchgesetzt:

1. Der Bauherr stellt das Material

Dazu sind bereits vor der Ausschreibung alle Planungen und Bemessungen erfolgt, das Material ist eignungsgeprüft und testiert und bereits von der Behörde genehmigt. Die erforderliche Vorlaufzeit liegt bei ca. vier bis sechs Monaten.

2. Der Auftragnehmer liefert das Material

2.1 In der Ausschreibung wird bereits ein Eignungsnachweis verlangt. Dazu haben die Anbieter dann schon im Vorfeld durch unabhängige Institute die Nachweise erbracht und haben (außer dem Gewinner) die Kosten zu tragen.

2.2 In der Ausschreibung ist ein Institut angegeben, an das die Bieter ihr Material senden. Der Bauherr übernimmt die Kosten der Prüfung und hat somit die Möglichkeit, sofort nicht geeignete Materialien bzw. unqualifizierte Anbieter auszuschließen. Dabei behält der Auftragnehmer die Verantwortung für das Material und den fachgerechten Einbau.

7 Forschung und Entwicklung

Es liegt in der Natur der Sache, dass - nachdem die Materialkombinationen mit natürlichen Baustoffen (Sande und Kiese) erfolgreich eingesetzt wurden - im Bereich der Forschung auch Ersatzbaustoffe, Recyclate oder sogenannte Sekundärrohstoffe eingesetzt werden sollten. Die Palette der zur Wahl stehenden Materialien reichte dabei von den konventionellen Sanden und Kiesen über die bereits erwähnte Sandmatte bzw. Kapillarblockbahn im nächsten Schritt bis zu Granulaten, Altsanden und sonstigen Recyclaten. Über den Einsatz von Baustoffrecyclaten hat Harder [3] in 2003 eine umfangreiche Untersuchung durchgeführt. Untersucht wurden

- als Materialien für die Kapillarschicht
Ziegelsplitt 0/2, Kalksandsteinsplitt 0/2 und Betonsplitt 0/2
- als Materialien für den Kapillarblock
Ziegelsplitt 4/16, Kalksandsteinsplitt 4/16 und Betonsplitt 4/16.

[3] Harder, Prof. Dr.-Ing. H., Hochschule Bremen: Baustoffrecyclate als Komponenten von Kapillarsperrensystemen

Ergebnis dieser Untersuchung war:

- Ziegelsplitt 0/2 und 0/16 sowie Kalksandsteinsplitt 4/16 sind grundsätzlich ungeeignet, da keine ausreichende mechanische Stabilität vorhanden ist.
- Betonsplitt 0/2 ist auf Grund seiner chemischen Eigenschaften nicht geeignet (Reaktionspotenzial zur Verfestigung gegeben)
- Kalksandsteinsplitt 0/2 ist geeignet für die Kapillarschicht (Einzelfallprüfung).
- Betonsplitt 4/16 kann geeignet sein (in Abhängigkeit der Körnungslinie).

In Tabelle 1 sind die Parameter aufgeführt, die zur Eignungsprüfung dieser Materialien herangezogen wurden.

Tabelle 1: Umfang der an den untersuchten Materialien durchgeführten Laboruntersuchungen [3]

Parameter	Material					
	Ziegel-splitt 0/2	Kalksand-steinsplitt 0/2	Beton-splitt 0/2	Ziegel-splitt 0/4	Kalksand-steinsplitt 0/4	Beton-splitt 0/4
Korngrößenverteilung	x	x	x	x	x	x
Korndichte	x	x	x	x	x	x
Trockendichte in lockerster und dichtester Lagerung	x	x	x	x	x	x
Proctordichte und optimaler Wassergehalt	nicht möglich	nicht möglich	x	nicht möglich	nicht möglich	-
Stabilität gegenüber mechanischen Beanspruchungen	x	x	x	x	x	x
Elutionsversuche	-	x	x	-	x	x
pH-Wert	-	x	x	-	x	x
elektrische Leitfähigkeit	-	x	x	-	x	x
Sulfatkonzentration	-	x	x	-	x	x
Perkolationsversuche	-	x	x	-	x	x
pH-Wert	-	x	x	-	x	x
elektrische Leitfähigkeit	-	x	x	-	x	x

Eine weitere umfangreiche Untersuchung über Recyclingbaustoffe stellt die Dissertation von Frau Birte Maren Pfeiffer [2] vor. Hier ergibt sich letztlich das Ergebnis in ähnlicher Weise wie bei Prof. Harder, dass der Einsatz von Recyclingmaterialien außerordentlich beschränkt ist und eine hohe Sorgfalt bei der Eignungsprüfung und der Wahl der Materialien einhergehen muss. Die Ergebnisse der Dissertation haben als Charakteristik darüber hinaus, dass die Recyclingmaterialkombinationen nur geringe Leistungsfähigkeit bezüglich der lateralen Dränkapazität haben. Dies hängt natürlich von der Wahl der Materialien ab. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der untersuchte Recyclingsand nicht den Anforderungen einer Kapillarschicht entspricht.

Der Umfang der Untersuchungen ist anhand der in Tabelle 2 aufgeführten Gütekriterien durchgeführt. Die Materialien mussten sich an den Vorgaben dieser Tabelle messen lassen.

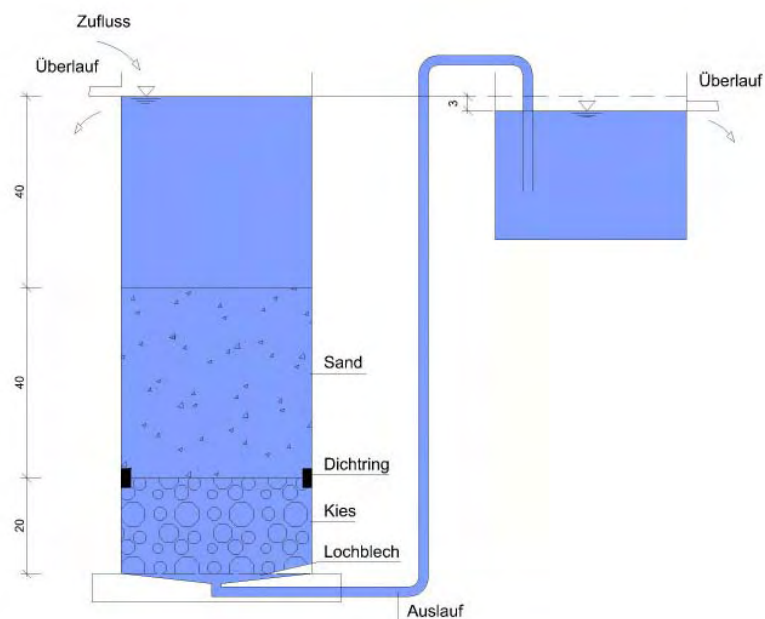
Tabelle 2: Gütekriterien für Kapillarsperrenmaterialien

Gütekriterien		Kapillarschicht	Kapillarblock
Physikalische Parameter	Korndichte ¹	$\geq 2,6 \text{ g} \cdot \text{cm}^3$	$\geq 2,6 \text{ g} \cdot \text{cm}^3$
	Kornform ¹	gerundet bis gut gerundet	gerundet bis gut gerundet
	Kornverteilung ^{1,2,3}	0 – 2 mm	filterstabil entsprechend der Kapillarschicht
	Ungleichförmigkeitszahl ^{1,2}	$d_{60}/d_{10} \leq 3$; besser $\leq 2,5$	$d_{60}/d_{10} \leq 3$; besser $\leq 2,5$
	Filterstabilität ^{1,2,3}	$d_{15}^{KB} / d_{85}^{KS} \leq 4$	
	gesättigte Wasserleitfähigkeit ⁴	$\geq 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^{-1}$	10^{-3} m/s^{-1}
	Luft Eintrittswert ¹	10 bis 44 hPa	sehr klein
	Kornzertrümmerungsversuch ²	nach Belastung Zunahme der Fraktion < 0,125 mm von max 3 Masse-%	nach Belastung Fraktion < 0,5 mm max. 4 Masse-%
	Wasseraufnahmefähigkeit	1 Masse-%	1 Masse-%
Chemische Parameter	Eluat nach DEV S-4 ⁵	LAGA Z 1.1	(LAGA Z 1.2) LAGA Z 1.1*
	Untersuchung der Festsubstanz ⁵	LAGA Z 1.1	(LAGA Z 1.2) LAGA Z 1.1*
	Carbonatgehalt ⁶	$\leq 10 \text{ Masse-%}$	$\leq 10 \text{ Masse-%}$
	Glühverlust ⁶	$\leq 5 \text{ Masse-%}$	$\leq 5 \text{ Masse-%}$

¹ BAUER 2001, ² GARTUNG & NEFF 2000, ³ PALM ET AL. 2003, ⁴ Steinert, 1999, ⁵ LAGA 1997, ⁶ TA Si Z 1.1

* nach DepVerwV vom 01.09.05 gelten auch für den Kapillarblock die Zuordnungswerte Z 1.1

Unabhängig davon, welche Materialkombinationen zum Einsatz kommen: Es wird bei nahezu allen Kombinationen von den Autoren aufgezeigt, dass Säulenversuche zur Ermittlung der Filterstabilität erforderlich sind, da die numerischen Ansätze in weiten Teilen keine ausreichende Bestimmung der Filterstabilität mit ausreichender Sicherheit zulassen. Der Säulenversuch ist im Folgenden schematisch dargestellt.

**Bild 5:** Säulenversuch zur Filterstabilität

8 Auswertung von Großkipprinnenversuchen

Im Folgenden sind exemplarisch sechs Materialkombinationen von Kapillarsperren als Beispiel für Eignungsprüfungen aufgezeigt.

Tabelle 3: Materialkombinationen von Kapillarsperren

Versuch Nr.	max. laterale Dränkapazität [l/m·d]	Material
1	240	Sand/Kies
2	280	Sand/Kies
3	350	Sand/Kies
4	160	Sand/SKG
5	100	Sand/SKG
6	180	Sand/Kies

Es ist gut zu erkennen und abzuleiten, dass eine Vielzahl von Materialkombinationen die gewünschten Bedingungen für eine Kapillarsperre einhalten (siehe Bild 6). Allerdings ist auch wiederum deutlich zu sehen, dass die bereits im Vorfeld immer wieder erwähnten Großkipprinnenversuche unabdingbar sind, um eben genau die Schwachpunkte bei entsprechenden Materialkombinationen aufzeigen zu können.

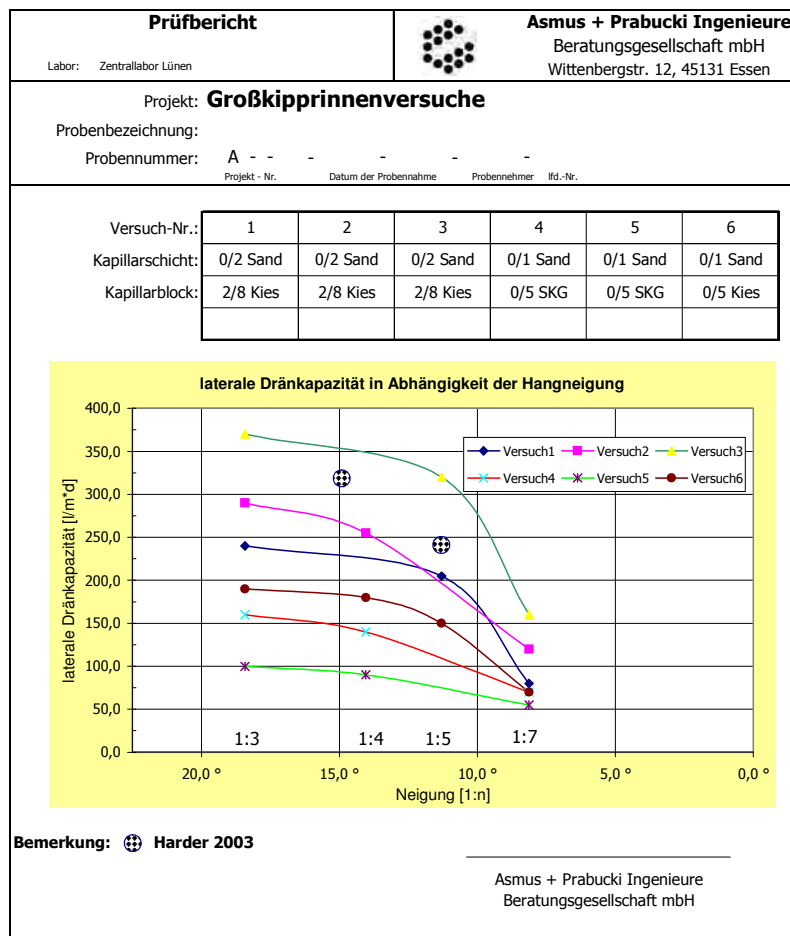


Bild 6: Großkipprinnenversuche

Im Zuge der allgemeinen Eignungsprüfungen und Überprüfung von Kapillarsperren z. B. im Rahmen der Fremdprüfung sind bei der ASMUS + PRABUCKI · INGENIEURE BERATUNGSGESELLSCHAFT MBH eine Vielzahl von Materialkombinationen untersucht worden.

Aus der Vielzahl der in den Großkipprinnen untersuchten Materialkombinationen sind beispielhaft die sechs Materialkombinationen aus Tabelle 3 über den Versuchsablauf aufgezeigt. Eine 7. in die Grafik mit zwei Punkten eingehängte Kombination ist aus den Ergebnissen der Untersuchungen von Herrn Prof. Harder mit eingezeichnet.

Es zeigt sich, dass bei der Varianz der Neigung im Bereich zwischen den Böschungsneigungen von 1 : 5 bis 1 : 7 eine relativ starke Abnahme der lateralen Dränkapazität in Abhängigkeit der Materialien stattfindet. Gravierend ist bei den Untersuchungen festzustellen, dass Systeme, die in Bereichen von steilen Böschungsneigungen 1 : 3 hohe laterale Dränkapazitäten besitzen, im Vergleich zu gemäßigten einen massiv starken Abfall der Dränkapazität in den flachen Böschungsneigungen von 1 : 6 und 1 : 7 darstellen. Bei Materialkombinationen, die von vornherein geringere laterale Dränkapazitäten besaßen, ist der Rückgang bei einem Neigungswechsel nicht so vehement festzustellen.

Vor dem Hintergrund der Empfehlungen der diversen Forschungsberichte wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass ein erheblicher Sicherheitsfaktor einzurechnen ist. Das heißt die Abschlagslängen bei flachen Neigungen innerhalb der Kapillarschichtsysteme müssen entsprechend kurz gehalten werden. Dies hat wiederum erhebliche Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Systems.

Es ist also für jeweilige Planungsprojekte unabdingbar, eine genaue Kartierung der Flachbereiche durchzuführen, um hier gezielt entsprechende wirtschaftliche Lösungen ermitteln zu können. Ein weiterer gravierender Punkt, der durch die Großkipprinnenversuche nur schwerlich und durch numerische Modelle ebenfalls nur näherungsweise festgestellt werden kann, ist der Einfluss von Schichten oberhalb des Kapillarsperrendichtungssystems. Die Fachwelt ist sich darüber einig, dass in jedem Fall oberhalb einer Kapillarsperre eine ausreichende Pufferschicht zur Vergleichmäßigung der Niederschlagsereignisse notwendig ist. Es sind unterschiedliche Ansätze durchgeführt worden: Von lehmigen Schichten, die sozusagen als „Bremse“ über der Kapillarschicht lagen bis hin zur gängigsten Bauweise, dass dicke Rekultivierungsschichten im besten Fall sogar Wasserhaltsschichten oberhalb der Kapillarsperre eingebaut werden.

Die Ergebnisse aus Feldversuchen und bereits gebauten Projekten bestätigen diese Vorgaben.

Eine Situation, die bisher noch nicht zu differenzierten Aussagen geführt hat, sind die Erfahrungen mit dem Einbau von Großkipprinnen. Bei den Recherchen hat sich ergeben, dass je nach Institution und technischer Ausstattung die Kipprinnen unterschiedlich befüllt und verdichtet wurden. Es sind zwei grundsätzlich voneinander verschiedene Einbauarten festzustellen: Zum einen die Systeme, in denen die Kipprinne horizontal gestellt, eingebaut und erst dann der Neigungswinkel eingestellt wird und zum anderen die Kipprinnen, die von vornherein als quasi festgestellte Böschungsneigung eingebaut werden. Obgleich durch die unterschiedliche Einbauweise davon auszugehen ist, dass sich die Verdichtungsergebnisse unterschiedlich einstellen können, sind keine Rückschlüsse auf damit verbundene unterschiedliche Abflüsse prognostiziert.

9 Alternative Dichtungssysteme

Im Zusammenhang mit der immer wieder aktuell diskutierten Thematik von alternativen Dichtungssystem im Sinne von nicht nur technischen, sondern in erster Linie auch wirtschaftlichen Alternativen werden im Folgenden einige deutliche Abweichungen bzw. Besonderheiten bei den infrage kommenden Materialien aufgezeigt. Hierbei zeigt es sich, dass nicht nur wie im theoretischen Ansatz die Korngrößen und die aufeinander abgestuften Sieblinien beeinflussend sind, sondern dass es zum Teil auch von der Kornform der jeweiligen Materialien abhängt.

Auffällige Abweichungen wurden beim Einsatz von Schmelzkammergranulat (SKG) und Gießereialsanden festgestellt.

Beim SKG sind deutlich geringere laterale Dränkapazitäten als beim Kies gleicher Sieblinie (0/5) ermittelt werden (siehe Bild 6).

Bei Gießereialsanden war kein lateraler Abfluss in der Kapillarschicht zu erzielen. Schon bei geringsten Wassermengen sind Durchbrüche in den Kapillarblock zu verzeichnen gewesen. Auch hier wurden die Sande dem Siebverlauf von „Neusanden“ angepasst (0/2).

10 Erfahrungen in der Praxis

Durch das Büro des Verfassers wurden in den letzten sechs Jahren z. B. die folgenden Baumaßnahmen begleitet und ausgewertet:

1. Deponie Flechum, Planung, Eignungsnachweis und Bauleitung beim Aufbau der Kapillarsperre
2. Deponie Markendorfer Chaussee, Fremdprüfung
3. Zentraldeponie Emscherbruch, Fremdprüfung
4. Zentraldeponie Münster II, Fremdprüfung
5. Deponie Heinde, Eignungsprüfung
6. Zentrale Mülldeponie Rastorf, Eignungsprüfung.

10.1 Schwierigkeiten und Besonderheiten beim Einbau der Materialien

Bei den ersten Projekten zeigte es sich beim Einbau von Kapillarsperren, dass die gängigen Einbaumethoden nicht ausgereift waren, um eine ebene und gleichmäßige Oberfläche der jeweiligen Schichten – insbesondere des Kapillarblocks – herzustellen. Es wurden hier diverse Versuche mit unterschiedlichen Gerätschaften durchgeführt. Die Palette reichte dabei von umgebauten Pistenbullys bis zu Moorraupen, die über entsprechende Schleppbalken mit Gummilippen und sonstigen Einbauten (Gartenrechen) versehen waren, um eine möglichst glatte und planliegende Oberfläche zu erhalten (Bilder 7 und 8).

Auf Grund der rolligen Materialien war eine Verdichtung in Hangneigung nicht möglich, so dass sich die Bearbeitung und Befahrung der fertig gestellten Flächen immer wieder als extrem schwierig darstellte. Durch die zum Teil langen zeitlichen Abfolgen zwischen dem Aufbau der einzelnen Schichten wurde in exponierten Lagen eine massive Verwehung von Feinanteilen aus der fertig gestellten Kapillarschicht in den neben liegenden Kapillarblock festgestellt. Hier ist ein wirkungsvoller Wind- bzw. Verwehungsschutz von Nöten.



Bild 7: Moorraupen mit Schleppbalken und Gummilippen



Bild 8: Moorraupe mit Gartenrechen

Immer wieder ist z. B. auch mit Tierspuren zu kämpfen gewesen. Die zum Erreichen einer glatten Oberfläche des Kapillarblocks erforderliche Nacharbeit war zeit- und kostenaufwändig. Der Einsatz z. B. einer Kapillarblockbahn schafft da massive Abhilfe.

Mittlerweile ist durch die weiterentwickelte Einbautechnologie mittels lasergesteuerten Raupen ein exakter Einbau leichter möglich. Auch hat sich gezeigt, dass bei der Wahl der richtigen Geräte unproblematisch die Schichtenfolge eingehalten werden kann und es nicht zu Zerstörungen des Kapillarblocks kommt, in dem die zweite Schicht eingebaut wird.

Obgleich der Einbau von Kapillarsperren weitgehend witterungsunabhängig ist und die Materialien bei nahezu jedem Wetter eingebaut werden können, zeigt sich jedoch auch eine Empfindlichkeit gegenüber starken Niederschlägen. Bei konzentriert auf die Schicht einwirkenden Wassermengen ist – wie eindrucksvoll an einigen Beispielen zu erkennen ist – festzustellen, dass große Erosionen stattfinden. Es zeigt sich aber auch, dass bei der richtigen Wahl von geeigneten Materialien dies nicht zu irreparablen Schäden führt, sondern dass auf Grund der guten Materialeigenschaft die Baufirma meist in der Lage ist, eine 100 %ige Reparatur dieser Schadstellen durchführen zu können (Bilder 9 und 10).



Bild 9: Erosionsrinne



Bild 10: Sanierungsarbeiten der Erosionsrinne

Wesentliche Punkte beim Bau von Kapillarsperren sind bezüglich der Qualitätssicherung insbesondere längere Wartezeiten. Was auf jeden Fall verhindert werden muss ist, dass eine fertige Kapillarschicht austrocknet und Abwehungen von dieser Schicht in die Nachbarbereiche, in denen noch kein Schichtmaterial aufgetragen ist, verweht werden können. Die Prinzipien der Trennschichten müssen unbedingt erhalten werden, das heißt Flugsand oder Verwehungen von Feinstanteilen in den Kapillarblock müssen auf jeden

Fall wieder abgetragen werden. Hier kann es erforderlich sein, dass mit großem Aufwand die Kapillarschicht feucht gehalten werden muss.

An dieser Stelle noch auf die Besonderheit der kontrollierbaren Kapillarsperre hingewiesen. Im Bereich der Zentraldeponie Emscherbruch ist auf Grund der Genehmigungsaufgaben eine kontrollierbare Oberflächenabdichtung verlangt gewesen. Dies wurde durch den Einbau von segmentweise verlegten Rohren und Sperren umgesetzt (siehe Bild 11). Die Bauweise ist im Folgenden kurz erläutert.

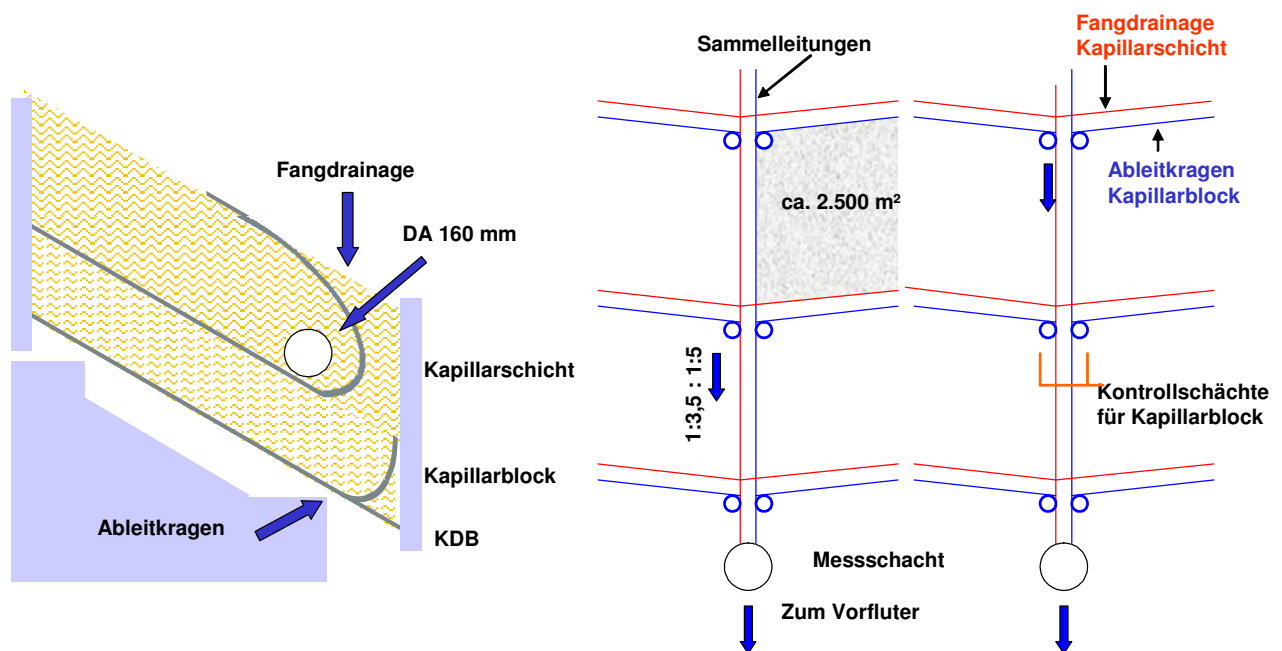


Bild 11: Schema des Kontrollsystems

Das gesamte Dichtungssystem hatte drei Komponenten:

1. mineralische Dichtung 2 m x 0,25 m Ton
2. Kunststoffdichtungsbahn 2,5 mm BAM
3. Kapillarsperre 0,3 m Block, 0,4 m Schicht

Um die Funktionstüchtigkeit der Kapillarsperre zu prüfen und dementsprechend auch eine Kontrollierbarkeit des Systems zu erreichen, wurde in der Kapillarschicht quer zur Böschungfalllinie in einem Abstand von ca. 0,5 m Fangdränagen DA 160 mm, welche jeweils eine Länge von 50 bis 60 m besitzen, verlegt. Die Fangdränagen wurden als vollgelochtes PEHD-Dränagerohr DA 160 mm ausgeführt. Damit werden Einzugsgebiete mit einer Fläche von ca. 2.500 bis 3.000 m² erfasst. Die konstruktive Abschirmung der Fangdränagen gegenüber den angrenzenden Schichten wurde so ausgestaltet, dass es nicht zu Umläufigkeiten im Randbereich der KDB kommen kann.

11 Ausblick

Die Komponente „Kapillarsperre“ hat mittlerweile einen festen Platz bei den Elementen von Oberflächenabdichtungen. Eine Kapillarsperre sollte nicht in der alleinigen Betrachtung sein, hat es sich doch gezeigt, wie wichtig funktionierende Systeme oberhalb der Kapillarsperre sind. Durch numerische Berechnungsmodelle HELP, BOWAHALD [4], SiWa Pro DSS sind Hilfsmittel zur Abschätzung bzw. Dimensionierung vorhanden. Allerdings ist zum jetzigen Zeitpunkt für eine verlässliche Bemessung von Kapillarsperren die Durchführung von Großkipprinnenversuchen dringend empfohlen. Besonderes Augenmerk sollte dabei auf das Verhalten bei flachen Böschungen gelegt werden.

Leider ist die Betreuung und Bewertung einiger Versuchsfelder ist aus finanziellen Gründen eingestellt worden, obgleich sicher noch dringend Aussagen zur Langzeitfunktion benötigt werden könnten.

Einzig im Fall des DKS auf der ZDE sind noch über lange Zeiträume Ergebnisse zu erwarten.

[4] www.ibwabo.de