

Untersuchungen zum Einsatz von Bauschuttmaterialien in einer Kapillarsperre und erste Ergebnisse der Umsetzung im Probefeld

Dipl.-Ing. agr. Birte Pfeiffer & Prof. Dr. Stefan Gäth,
Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement, Universität Giessen

Zusammenfassung

Im Hinblick auf die drohende Knappheit von Primärbaustoffen und ökonomischer Vorteile erlangt der Einsatz von mineralischen Abfällen als Sekundärrohstoffe gerade im Deponiebau immer größere Bedeutung. Im Rahmen eines Projekts des Landkreises Giessen zur Entwicklung einer alternativen Deponieoberflächenabdichtung und deren Gleichwertigkeitsnachweises wurden verschiedene Sande und Kiese auf ihre Eignung als Kapillarschicht- bzw. Kapillarblockmaterial untersucht. Dabei handelte es sich sowohl um Naturmaterialien als auch um Bauschuttmaterialien. Nach den umfangreichen physikalischen und chemischen Voruntersuchungen wurden Kipprinnenversuche mit geeigneten Materialien durchgeführt. Dabei zeigten sich gute laterale Dränkapazitäten einer Natur-/Recyclingmaterialkombination. Aufgrund der guten Ergebnisse wurde diese Materialkombination in einem Probefeld bautechnisch großmaßstäbig umgesetzt. Vorläufige Ergebnisse zeigen eine Leistungsfähigkeit von 97%.

1 Einführung

Durch den Einsatz von mineralischen Abfällen in Deponieoberflächenabdichtungen bzw. im Bereich der Profilierung können sowohl natürliche Baustoffe eingespart und Ressourcen geschont, als auch eventuell finanzielle Vorteile erreicht werden. Die Verwendung von Deponieersatzbaustoffen scheint vor dem Hintergrund, dass ab 2005 verstärkt Deponien still gelegt und renaturiert werden müssen, eine immer größere Bedeutung zu spielen. Denn es muss befürchtet werden, dass sich aufgrund des immens steigenden Bedarfs an Baustoffen eine Knappheit der Primärbaustoffe mit einer entsprechenden Preissteigerung entwickeln wird. Der Einsatz mineralischer Abfälle entspricht dem Verwertungsgedanken des KrW-/AbfG. Nach § 4 Abs. 3 Satz 1 wird die stoffliche Verwertung als Substitution von Rohstoffen durch das Gewinnen von Stoffen aus Abfällen (sekundäre Rohstoffe) oder die Nutzung der stofflichen Eigenschaften der Abfälle [...] definiert. Es gilt, sich Abfälle nutzbar zu machen, die sich aufgrund ihrer bautechnischen und bauphysikalischen Beschaffenheit sehr gut für die Verwendung als Deponieersatzbaustoff entsprechend des jeweiligen Einsatzorts eignen.

In Deutschland fallen jährlich etwa 300 Mio. Mg einsetzbarer sekundärer Rohstoffe an (Abb. 1). Davon nimmt der Bereich Bauschuttabfälle, Straßenaufbruch und Bodenaushub den größten Anteil in Anspruch. Er entspricht mit ca. 250 Mio. Mg in etwa zwei Drittel des gesamten Siedlungsabfallaufkommens in der Bundesrepublik. Obwohl in diesem Sektor bereits viele Verwertungswege gefunden wurden, stellt er für den Deponiebau als Lieferant für Bauersatzstoffe immer noch ein großes Potenzial dar.

Aus den Einsatzbereichen resultieren neben den physikalischen Ansprüchen der Baustoffe die Anforderungen an die chemischen Zuordnungswerte. Dies soll in naher Zu-

kunft durch die EDepVerwV, die derzeit im Entwurf vorliegt, geregelt werden.

Für den Einsatz mineralischer Abfälle in Deponieoberflächenabdichtungen bedeutet der Beschluss der EDepVerwV starke Einschränkungen. Bei Baumaßnahmen in diesem Bereich, in dem bisher Verwertungen von Abfällen bis Z 2 nach LAGA M20 zugelassen waren, sind nun die Zuordnungswerte Z 0 und Z1.1 maßgeblich, womit viele nachgewiesenen als bautechnisch geeignete Sekundärrohstoffe nicht mehr eingesetzt werden dürften. Eine Öffnungsklausel, die eine Risikobewertung für die mögliche Überschreitung einiger Zuordnungswerte bedingt, soll eine größere Flexibilität erbringen. D. h., dass mit Hilfe eines Gleichwertigkeitsnachweises für alternative Deponieoberflächenabdichtungssysteme bzw. bei einem Nachweis, dass mit Verwendung höher belasteter Materialien keine Umweltbeeinträchtigungen einhergehen, Ausnahmen genehmigt werden können.

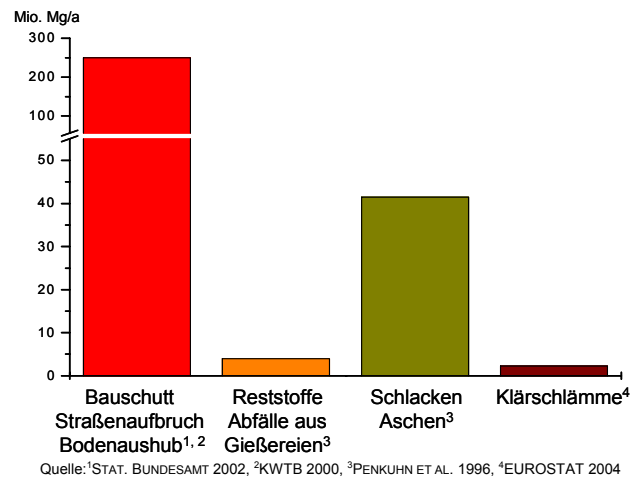


Abb. 1 Jährliches Aufkommen einsetzbarer sekundärer Rohstoffe in Deutschland

Es bleibt dennoch abzuwarten, inwieweit die verschiedenen Änderungsanträge in der EDepVerwV noch Berücksichtigung finden.

Mit der Deponieverordnung (2002) wurde der Weg für alternative Deponieoberflächenabdichtungssysteme anstelle der herkömmlichen Regelabdichtung geebnet. Der Einsatz von Kapillarsperren als Alternative hat allerdings schon im Laufe des vorangegangenen Jahrzehnts große Anerkennung erlangt (Barth 2003, Bauer 2001, Jelinek 1997, Kämpf 2000, Melchior 1993, Steinert 1999, von der Hude 1999, Wohnlich 1991, Zischak 1997).

Kapillarsperren sind geschichtete Systeme aus nicht bindigen Böden und einer deutlichen Schichtgrenze. Eine sandige Kapillarschicht liegt über einem meist kiesigen Kapillarblock. Wasser, das in die Kapillarschicht infiltriert, wird dort kapillar als Haftwasser gebunden und fließt oberhalb der Schichtgrenze im Porenraum der Kapillarschicht ungesättigt lateral ab - also dem Hang und nicht allein der Schwerkraft in den Kapillarblock folgend.

Die vertikale Versickerung wird zum einen verhindert durch die Grenzflächenspannung am Übergang der wassergefüllten Poren in der Kapillarschicht zu den luftgefüllten Poren des Kapillarblocks. Zum anderen ergeben sich aus den ungesättigten Verhältnissen im Kapillarblock nur sehr geringe Fließquerschnitte. Nur der wassergefüllte Anteil der Poren steht für die Wasserleitung zur Verfügung.

O. g. Autoren und Praxisbeispiele zeigen, dass die Kapillarsperre ein leistungsfähiges Dichtungselement ist. Allerdings wurden in den Arbeiten fast ausschließlich Naturmaterialien eingesetzt. Ziel der eigenen Arbeiten sollte es sein, die Leistungsfähigkeit von Bauschuttrecyclingmaterialien in Kapillarsperrensystemen zu untersuchen.

Im Rahmen eines Projektes des Landkreises Gießen zur Entwicklung einer alternativen Deponieoberflächenabdichtung sollen mit der Verwendung von mineralischen Abfällen als Sekundärrohstoff in einer Kapillarsperrenkombination ökologische Vorteile erzielt werden.

2 Material und Methoden

Insgesamt wurden 7 Sande und 4 Kiese auf ihre Eignung als Kapillarschicht- bzw. Kapillarblockmaterial untersucht (Tab. 1). Dabei handelte es sich um 7 Recyclingmaterialien (4 Sande und 3 Kiese), die sich in ihrer Zusammensetzung und in ihrer Korngrößenverteilung unterschieden: Einige Materialien bestanden einerseits ausschließlich aus Beton, Asphalt und Naturstein und werden im Folgenden als Qualitätsmaterialien (Q) bezeichnet. Dieses Material ist ebenfalls im Straßenbau einsetzbar. Andererseits wurden Materialien untersucht, deren Zusammensetzung ein breiteres Spektrum umfassen (zusätzliche Inhaltsstoffe z. B. Mauerwerk, Ziegel, Steinzeug). Für vergleichende Untersuchungen wurden des Weiteren 4 Naturmaterialien verschiedener Herkunft herangezogen, die sich dem ersten Eindruck nach für eine Kapillarsperrenkombination mit dem Recyclingmaterial eignen könnten.

Bei der Vorauswahl der Materialien wurde zunächst eine grobe petrographische Ansprache durchgeführt, indem das Material augenscheinlich auf Kornform, Beschaffenheit der Oberfläche, organische Anteile und Kornstabilität überprüft wurde, um es bei vorläufiger Eignung den entscheidenden chemischen und physikalischen Untersuchungen zu unterziehen.

Tab. 1 Untersuchungsmaterialien

| | Kapillarschichtmaterial (KS) | Kapillarblockmaterial (KB) |
|----------------------------------|---|---------------------------------------|
| Recyclingmaterial (R) | R-KS-0/3 | R-KB-2/11 |
| | R-KS-Q-0/3 | R-KB-Q-2/10 |
| | R-KS-0,71/2 | R-KB-5/22 |
| | R-KS-Q-0/2 | |
| Naturmaterial (N) | N-KS-0/1-(Rhein/Main) | N-KB-2/5 (Brandenburg) |
| | N-KS-0/2-(Rhein/Main) | |
| | N-KS-0/2-(Ems) | |

2.1 Physikalische und chemische Voruntersuchungen

Die Bemessung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der einzusetzenden Materialien sind bedeutende Aspekte für die Funktion der Kapillarsperre, woraus entsprechende bodenphysikalische Untersuchungen resultieren. Daneben müssen die chemischen Anforderungen eingehalten werden, um auf diesem Wege die Vermeidung der Freisetzung von umweltrelevanten Stoffen sicherstellen zu können.

In Tabelle 2 sind in Anlehnung an die Empfehlungen der GDA bzw. den Leitfaden für Deponiestilllegung des ATV-DVWKs & VKSs die Parameter aufgelistet, die sich anhand der bisherigen Forschung als geeignete Einflussgrößen des Nachweises für Funktion und Leistungsfähigkeit von Kapillarsperren herauskristallisiert haben (ATV-DVWK & VKS 2003, BAUER 2000; GARTUNG & NEFF 2000, WOHLNICH & BAUER 1999).

Tab. 2 Untersuchungskatalog zur Eignungsfeststellung von Kapillarsperrenmaterialien (nach WOHLNICH & BAUER 1999, verändert und ergänzt)

| Parameter | Vorauswahl | Optimierung |
|--|------------|-------------|
| Bodenphysikalische Parameter | | |
| Bestimmung der Korndichte (DIN 18124) | ◆ | |
| Kornform (DIN EN 933) | ◆ | |
| Mineralogie | ◆ | |
| Korngrößenverteilung (DIN 18123) | ◆ | |
| Ungleichförmigkeitszahl | ◆ | |
| Berechnung der Filterstabilität (Terzaghi) | ◆ | |
| Untersuchung der Filterstabilität in Säulenversuchen | | ◆ |
| gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf) | ◆ | |
| ungesättigte Wasserleitfähigkeit (ku) | ◆ | |
| Wasserspannung-Wassergehalt-Beziehung | ◆ | |
| Berechnung des Lufteintrittswertes | ◆ | |
| Kapillare Steighöhe in Säulenversuchen | | ◆ |
| Proctorversuch (DIN18127) | ◆ | |
| Lockerste und dichteste Lagerung (DIN 18126) | | ◆ |
| Verdichtbarkeit | | ◆ |
| Kornzertrümmerungsversuch | ◆ | |
| Wasseraufnahmefähigkeit (DIN EN 1097-6) | ◆ | |
| Chemische Stabilität | | |
| Eluat nach DEV S-4 | ◆ | |
| Spezielle Elutionsverfahren | | ◆ |
| Carbonat | ◆ | |
| Glühverlust | ◆ | |

Die Werte der chemischen Untersuchungen wurden nach den Anforderungen für Kapillarsperren des Merkblatts 20 der LAGA – Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen 1997/2003 – eingeordnet. Nach diesem Regelwerk können für die Kapillarschicht Materialien mit den Zuordnungswerten Z1.1 und für den Kapillarblock Materialien bis Z 1.2 Verwendung finden. Bei in Kraft tretenden der vorliegenden EDepVerwV muss für das Kapillarblockmaterial ggf. eine Risikobewertung erbracht werden, da die geforderten Z 1.1-Werte bei einigen Parametern nicht erreicht werden können.

Basierend auf den Ergebnissen der geochemischen und geophysikalischen Untersuchungen wurden drei Materialkombinationen ausgewählt und in Kipprinnenversuchen getestet.

2.2 Kipprinnenversuche

Mit Hilfe von Kipprinnenversuchen wird die Leistungsfähigkeit bzw. die laterale Dränkapazität der zu untersuchenden Materialkombinationen überprüft. Die laterale Dränkapazität steht für die Wassermenge, die in der Kapillarschicht abgeführt werden kann, ohne dass nennenswerte Abflüsse in den Kapillarblock beobachtet werden können. Orientierend an STEINERT (1999) wird die laterale Dränkapazität bei dem Kapillarschichtabfluss festgelegt, bei dem die Blockabflussrate noch vor dem typischen exponentiellen Anstieg liegt. Die zu tolerierenden Blockabflussraten sollten jedoch projektspezifisch bzw. den jeweiligen örtlichen Anforderungen zufolge festgelegt werden.

In einem ersten Schritt wurde in Funktion eines Referenzversuchs eine Kombination aus den Naturmaterialien N-KS-0/2 als Kapillarschichtsand und N-KB-2/5 als Kapillarblock getestet. Dieser schloss sich eine reine Recyclingmaterialkombination (R-KS-Q-0/2 mit R-KB-Q-2/10) an, um im dritten Versuch den Natur-Kapillarschichtsand des ersten Versuchs mit dem Kapillarblock aus Bauschutt des zweiten Versuchs zu kombinieren. Die Kipprinnenversuche wurden in einer 6 m langen, 0,6 m breiten und 1 m hohen sowie neigbaren Versuchsanlage des Instituts für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement durchgeführt.

Der Einbau des Kapillarschichtsands erfolgte in drei Schichten, die jeweils verdichtet wurden. Für eine optimale Verdichtung wurde der Sand angefeuchtet. Die Verdichtung des Kieselsteins war, resultierend aus der hohen Homogenität des Materials, nur eingeschränkt möglich.

Die Neigung der Kipprinne wurde bei allen hier dargestellten Versuchen auf 15° eingestellt. Die Wasserzuflussmengen wurden stufenweise solange gesteigert, bis nennenswerte Kapillarblockabflüsse zu beobachten waren.

Für die Bilanzierung der Wasserflüsse wurden sowohl der Kapillarschichtabfluss als auch die Wassermengen, die den Kapillarblock durchflossen, mit Kippzählern registriert. Alle Abflussraten wurden den Berechnungs- bzw. Zuflussmengen gegenübergestellt.

2.3 Probefeld

Das Probefeld im Rahmen des zu führenden Gleichwertigkeitsnachweises für die ausgewählte Kapillarsperrenkombination unter Einsatz von Bauschuttmaterialien wurde, um entsprechende Synergien zu erlangen, in direkter Nachbarschaft zu einem weiteren Deponieoberflächenabdichtungssystem gebaut (Abb. 2). In dem benachbarten Probefeld soll die Dichtwirkung einer mineralischen Dichtung nach dem System Bickhardt DOM® - einem Gemisch aus Boden, Klärschlamm und Wasserglas - nachgewiesen werden. Beide Probefelder wurden mit einer Rekultivierungsschicht des Systems Bickhardt TERRA® - einem Gemisch aus Boden und Klärschlamm – überdeckt. Dieser Einsatz von Klärschlamm in einer mineralischen Dichtung bzw. der Rekultivierungsschicht ist ein weiteres Beispiel für den Einsatz von sekundären Rohstoffen in Deponieoberflächenabdichtungssystemen. Auf diese Thematik wird in diesem Zusammenhang jedoch nicht weiter eingegangen.

Der Bau des Probefelds wurde im Zeitraum Juli bis November 2004 durchgeführt. Durch eine längere Schlechtwetterphase kam es zu zeitlichen Verzögerungen, so dass aufgrund der Witterungsbedingungen im November keine Begrünung mehr möglich war.

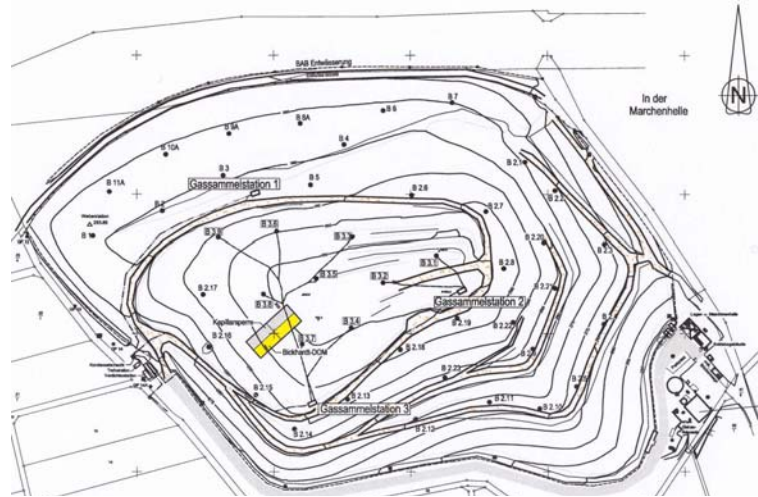


Abb. 2 Lage des Probefelds auf der Deponie Reiskirchen (Kapillarsperre links, System Bickhardt DOM® rechts)

Die Wirksamkeit der Kapillarsperre bzw. der Kapillarschicht ist neben den Materialeigenschaften und der Hangneigung von der Menge des aus dem Oberboden vertikal abfließenden Wassers abhängig: Je geringer dieser Anteil ist, desto größer ist die Wirksamkeit.

Aus diesem Grunde ist es auch ratsam, die Rekultivierungsschicht ausreichend mächtig zu dimensionieren, um die Verdunstung der Vegetationsdecke zu maximieren. Wie der Abbildung 3 zu entnehmen ist, wurde über der Kapillarsperre eine 2 m mächtige Rekultivierungsschicht aufgebracht. Die Kapillarschicht ist mit 40 cm Mächtigkeit ausreichend dimensioniert. Darunter liegt der Kapillarblock mit einer Schichtdicke von 20 cm.

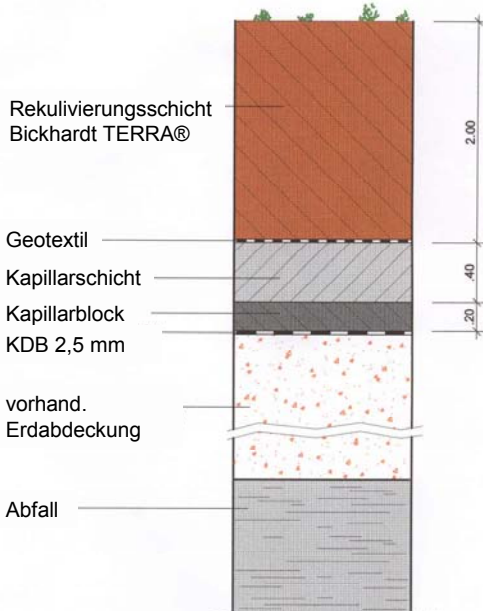


Abb. 3 Aufbau des Kapillarsperrenprobefelds

Das Probefeld wurde in zwei Hangneigungsbereichen von 1:10 und 1:2,5 mit jeweils einer Länge von 20 m in süd-westlicher Exposition gebaut und ist von einem Erdwall umgeben, dessen Seiten eine Neigung von 1:1,5 aufweisen. Nach dem Einbau der Deponieoberflächenabdichtungsmaterialien wurde mit Hilfe einer KDB ein Rahmen auf der Oberfläche des Probefelds verlegt, der ebenfalls mit Rekultivierungsmaterial bedeckt wurde.

Auf diese Weise können Randeffekte ausgeschlossen werden und es ist ein definierter Bereich von 8 x 40 m für den Niederschlag wirksam. Das Versuchfeld wurde mit einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB) ausgekleidet. Für eine

exakte Bilanzierung werden die Wasserflüsse aus der Kapillarschicht und dem Kapillarblock am Hangneigungswechsel für den flachen Bereich und am Hangfuß des Probefeldes für die steile Fläche gemessen. Der Interflow der Rekultivierungsschicht und der Oberflächenabfluss werden für das gesamte Feld (8 x 40 m) registriert. Alle Abflüsse werden automatisch erfasst.

3 Ergebnisse

3.1 Physikalische und chemische Materialeigenschaften

In den Tabellen 3 und 4 sind die Bewertungen der Ergebnisse der Materialuntersuchungen in einer zusammenfassenden Form dargestellt. Es ließ sich feststellen, dass die Naturmaterialien der Körnung 0-2 mm die Anforderungen der GDA-Empfehlung 2-33 erfüllen. Auch der Recyclingsand R-KS-Q-0/2 wurde als untersuchungswürdig eingestuft. Von seinen physikalischen Eigenschaften kam er denen der Sande N-KS-0/2 am nächsten. Die anderen Recyclingsande müssten entweder aufgrund der Überschreitung der Eluatkriterien der chemischen Parameter aber insbesondere aufgrund der nicht geeigneten Korngrößenverteilung ausgeschlossen werden. Die Wasseraufnahmefähigkeit von R-KS-Q-0/2 lag mit 9 % über den geforderten 1 % und auch die Ungleichförmigkeit von 3 wurde mit $U = 3,5$ minimal überschritten. Der Abb. 4, in der die für die Kipprinnenversuche ausgewählten Korngrößenverteilungen dargestellt sind, ist zu entnehmen, dass die Körnung des Recyclingsandes gröber ist als der Natursand. Die Filterstabilität zu den Kapillarblockmaterialien wird von beiden Sanden eingehalten.

Tab. 3 Fazit der Kapillarschicht-Materialuntersuchungen

| Kapillarschichtmaterial | | R-KS-0/3 | R-KS-Q-0/3 | R-KS-0,71/2 | R-KS-Q-0/2 | N-KS-0/1(R/M) | N-KS-0/2(R/M) | N-KS-0/2(E) |
|-------------------------|------------------------------|----------|------------|-------------|------------|---------------|---------------|-------------|
| Chemische Parameter | Eluat nach DEV S-4 | - | + | - | + | | | |
| | Untersuchung der Festsustanz | + | + | + | + | | | |
| | Carbonatgehalt | + | + | + | + | + | + | + |
| | Glühverlust | + | + | + | + | + | + | + |
| Physikalische Parameter | Korndichte | + | + | + | + | + | + | + |
| | Kornform | + | + | + | + | + | + | + |
| | Kornverteilung | - | - | - | (+) | - | + | + |
| | Ungleichförmigkeitszahl | - | - | - | (+) | + | + | + |
| | Filterstabilität | + | + | + | + | - | + | + |
| | ges. Wasserleitfähigkeit | + | + | + | + | | + | + |
| | unges. Wasserleitfähigkeit | + | + | + | + | | + | + |
| | Lufteintrittswert | - | - | + | (+) | | + | + |
| | Kornzertrümmerungsversuch | + | + | + | + | | | |
| | Wasseraufnahmefähigkeit | - | - | - | (-) | | + | + |

„+“ Ergebnis entspricht den Anforderungen/„-“ Ergebnis entspricht nicht den Anforderungen

Tab. 4 Fazit der Kapillarblock-Materialuntersuchungen

| Kapillarblockmaterial | | R-KB-5/22 | R-KB-2/11 | R-KB-Q-2/10 | N KB 2/5 |
|-------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|-------------|----------|
| Chemische Parameter | Eluat nach DEV S-4 | - | - | + | |
| | Untersuchung der Festsubstanz | | | + | |
| | Carbonatgehalt | | + | + | + |
| | Glühverlust | | + | + | + |
| Physikalische Parameter | Korndichte | | + | + | + |
| | Kornform | | + | + | + |
| | Kornverteilung | - | + | + | + |
| | Ungleichförmigkeitszahl | | + | + | + |
| | Filterstabilität | | + | + | + |
| | ges. Wasserleitfähigkeit | | | + | + |
| | unges. Wasserleitfähigkeit | | | | |
| | Luft Eintrittswert | | | | |
| | Kornzertrümmerungsversuch | | + | + | |
| | Wasseraufnahmefähigkeit | | - | - | + |

„+“ Ergebnis entspricht den Anforderungen/„-“Ergebnis entspricht nicht den Anforderungen

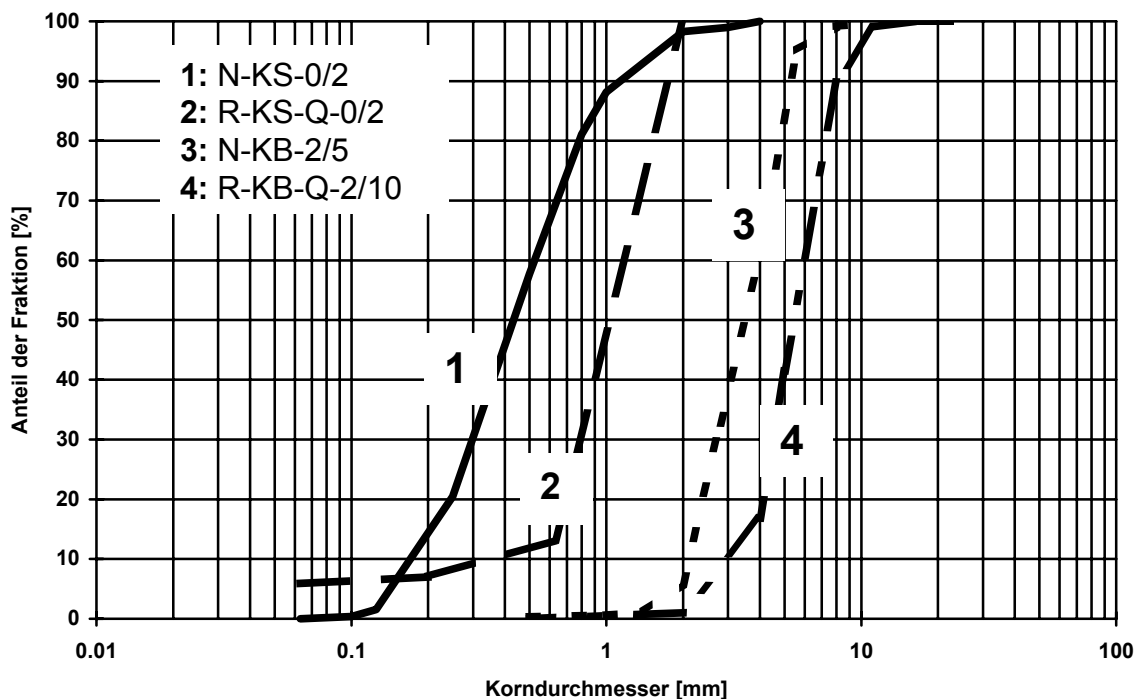


Abb. 4 Korngrößenverteilungen der für die Kipprinnenversuche ausgewählten Materialien

Die Kapillarblockmaterialien R-KB-5/22 und R-KB-2/11 entsprachen nicht den chemischen Anforderungen. Das gröbere der beiden Materialien wurde bei weiteren Versuchen aufgrund der ungeeigneten Körnung nicht mehr berücksichtigt. Der Qualitätsbauschuttkies R-KB-Q-2/10 erfüllt - vergleichbar mit dem Naturkies N-KB-2/5 - die Eig-

nungskriterien für Kapillarblockmaterial sowohl im Bereich der chemischen Parameter als auch im Bereich der physikalischen Parameter. Lediglich die 1 %-ige Wasseraufnahmefähigkeit wurde um 3 %-Punkte überschritten.

Für die Kipprinnenversuche wurden resultierend aus den chemischen und physikalischen Voruntersuchungen die Materialien R-KS-Q-0/2 sowie N-KS-0/2 als Kapillarschichtsannde und die Kiese R-KB-Q-2/10 bzw. N/KB-2/5 als Kapillarblockmaterialien ausgewählt.

3.2 Ergebnisse der Kipprinnenversuche

Die Abbildung 5 zeigt die Kapillarschichtabflüsse bzw. die Kapillarblockabflüsse in Abhängigkeit der Zuflüsse der Materialkombinationen, die in der Kipprinne untersucht wurden.

A zeigt den Versuch der reinen Naturmaterialkombination. Dieser Referenzversuch sollte eine Vergleichsmöglichkeit für die Leistungsfähigkeit der Versuche mit Recyclingmaterial unter den gegebenen Versuchsbedingungen darstellen. Es wird deutlich, dass mit Zuflussraten von etwa $260 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ der Kapillarblockabfluss exponentiell ansteigt, während der Kapillarschichtabfluss im entsprechend geringeren Umfang zunimmt. Somit kann die laterale Dränkapazität mit etwas weniger als $260 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ angenommen werden.

Diese erreichte Leistungsfähigkeit der Kombination liegt nach der GDA-Empfehlung 2-33 (GARTUNG & NEFF 2000) für Kapillarsperren als Oberflächenabdichtungssystem (Entwurf) im Bereich der für günstige Materialkombinationen beschriebenen maximalen Dränkapazitäten von 250 bis $350 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

Den Darstellungen der Kapillarschicht und -blockabflüsse bezüglich des Zuflusses des Kipprinnenversuchs mit der Recyclingmaterialkombination (B) ist bei der gleichen Hangneigung eine wesentlich geringere laterale Dränkapazität zu entnehmen. Mit einem Zufluss von $70 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ sind bereits nennenswerte Kapillarblockabflüsse von größer 10 % zu beobachten.

Bei einer Neigung der Kipprinne von 20° wies die Recyclingmaterialkombination bei einer Zuflussrate von $110 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ noch eine Dränkapazität von 98% auf. Bezugnehmend auf die o. g. Forderung der maximalen Dränkapazität von 250 bis $350 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (GARTUNG & NEFF 2000) ist auch dieses Ergebnis nicht zufriedenstellend und wurde aufgrund der um 5° steileren Hangneigung nicht in den direkten Vergleich der dargestellten Kipprinnenversuche einbezogen.

Als Konsequenz aus den vorherigen Versuchen wurde der Natursand des Referenzversuchs mit dem Kapillarblock aus Qualitätsbauschutt des zweiten Versuchs kombiniert und in der Kipprinne getestet. Die Abbildung 3 zeigt in den Darstellungen C, dass die Leistungsfähigkeit dieser Kombination in etwa mit der lateralen Dränkapazität der Naturmaterialkombination vergleichbar ist.

Der exponentielle Anstieg der Kapillarblockabflüsse ist ebenfalls bei einer Zuflussrate von etwa $260 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ zu beobachten. Durch die wesentlich längere Versuchsdauer von ca. einem Jahr gegenüber 8 Wochen des Referenzversuchs ergibt sich eine entsprechend dichtere Punktwolke, in der einige Entwässerungsphasen enthalten sind. Durch

die Einbeziehung dieser Systemungleichgewichte sind die Kapillarblockabflüsse zu erklären, die geringfügig über 1 % des Zuflusses im Bereich von $180 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ bis $250 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ liegen.

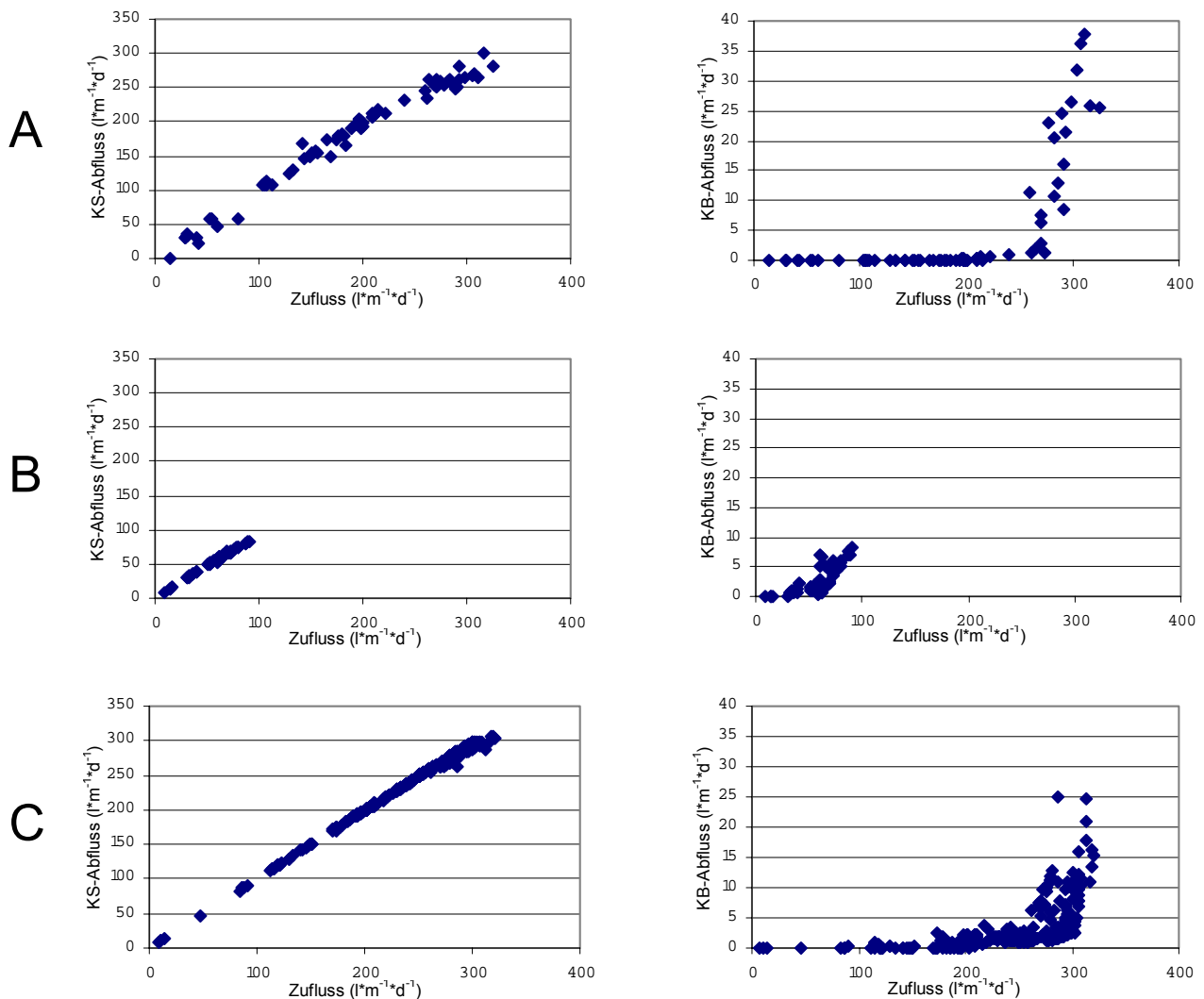


Abb. 5 Kapillarschichtabfluss (links) und Kapillarblockabfluss (rechts) in Abhängigkeit des Zuflusses – Ergebnisse der Kipprinnenversuche A: Naturmaterialkombination, B: Recyclingmaterialkombination, C: Natur-/Recyclingmaterialkombination

Aus den Kipprinnenversuchen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass aus dem Qualitätsbauschuttmaterial kein optimaler Sand für eine Kapillarsperre hergestellt werden konnte. Er wies im Vergleich zu anderen in Kapillarsperren eingesetzten Sanden wie auch gegenüber dem in den o. g. Versuchen verwendeten Natursand zu grobe Kornfraktionen auf. Dies machte sich im entsprechenden Maß in der lateralen Dränkapazität der reinen Recyclingmaterialkombination bemerkbar.

Die Natur-/Recyclingmaterialkombination ergab im Kipprinnenversuch mit der reinen Naturmaterialkombination und den Anforderungen der GDA-Empfehlung 2-33 (2000) vergleichbar gute Ergebnisse der lateralen Dränkapazität. Sie wurde im Folgenden ausgewählt, in einem Probefeld auf der Deponie Reiskirchen des Landkreises Giessen in einem größeren Maßstab bautechnisch umgesetzt und untersucht zu werden.

Im Allgemeinen müssen Kapillarblockabflüsse projektbezogen und standortspezifisch, also den örtlichen Anforderungen entsprechend, definiert werden. So kann es z. B. von Vorteil sein, bei einem Einsatz einer mineralischen Dichtungsschicht unterhalb der Kapillarsperre, Durchbrüche in den Kapillarblock bis zu einem zu bestimmenden Maß zu tolerieren. Damit kann einer Austrocknung und den daraus resultierenden Schrumpfrisiken der mineralischen Dichtung entgegengewirkt werden (HFVA 2003).

3.3 Erste Ergebnisse des Probefelds

Bei der Betrachtung dieser vorläufigen Ergebnisse ist zu beachten, dass sie zum einen noch von Anfangseffekten, wie z. B. Einbauwassergehalt, der die daraus resultierende aufgenommene und gespeicherte Wassermenge beeinflusst, beherrscht werden. Ferner ist zu berücksichtigen, dass noch mit Setzungen der Rekultivierungsschicht zu rechnen ist, und die Begrünung noch fehlt.

In der Abbildung 6 konnte eine erste Darstellung der Ergebnisse des Monats Januar vorgenommen werden. Sie zeigt die relativen Abflüsse – Oberflächenabfluss, Abfluss der Rekultivierungsschicht, Kapillarschichtabfluss gesamt und Kapillarblockabfluss gesamt – bezogen auf die Menge Niederschlag, die auf der gesamten Fläche des Probefelds wirksam wurde. Der über 50 %-ige Anteil an Oberflächenwasser muss ebenfalls als Anfangseffekt und als eine Folge des fehlenden Bewuchs gesehen werden. In der Rekultivierungsschicht wurde lediglich 1 % der angefallenen Niederschlagsmenge als Interflow registriert. Die wasserfördernde bzw. dränierende Schicht ist die Kapillarschicht mit fast 45 %. Kapillarblockabflüsse konnten mit einem Anteil von weniger als 2,5 % beobachtet werden. Dies ist für die Jahreszeit gut mit Ergebnissen anderer in Deutschland gebauter Kapillarsperren vergleichbar (Jelinek 1997, Barth 2003). Es wird jedoch erwartet, dass sich die Leistungsfähigkeit von mehr als 97 % im Laufe des Versuchs weiter verbessert.

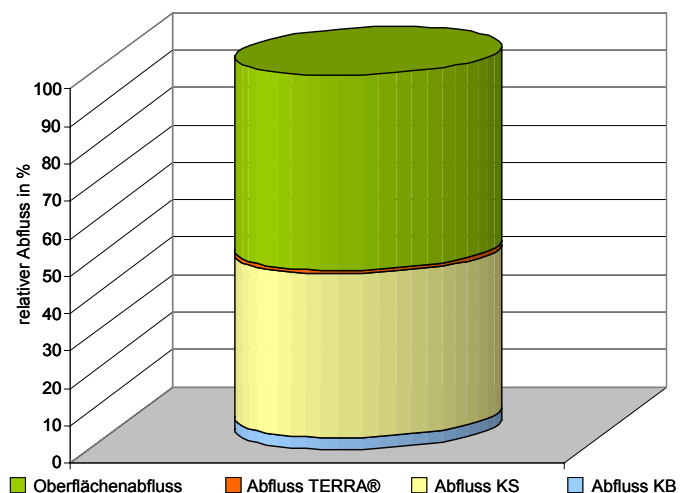


Abb. 6 Erste Ergebnisse des Kapillarsperrenprobefelds – Abflüsse in Relation zum Niederschlag (Januar 2005)

4 Fazit

Für die Untersuchung der lateralen Dränkapazität wurden in Kipprinnenversuchen drei verschiedene Kapillarsperrenmaterialkombinationen getestet. Die Materialkombination mit Natursand und einem Kapillarblock aus Bauschutt konnte sich als konkurrenzfähig zu Kombinationen aus reinen Naturmaterialien erweisen. In einem Probefeld soll die Eignung des Einsatzes von mineralischen Abfällen in Form des Bauschutts in einer Kapillarsperre überprüft werden, um einen Gleichwertigkeitsnachweis als alternative Deponieoberflächenabdichtung zu erbringen.

Repräsentative, realitätsnahe bzw. belastbare Daten können jedoch erst nach einer längeren Versuchsdauer als in 3.3 dargestellt erbracht werden. Zur Zeit kann eine Leistungsfähigkeit von über 97 % nachgewiesen werden, die sich den Erwartungen nach im Verlauf des Jahres und der Abnahme der Anfangseffekte weiter verbessern dürfte.

Die Ergebnisse der Abschirmwirkung können nach dem ersten Eindruck als vielversprechend für den Einsatz von Qualitätsbauschutt in einer Kapillarsperre bezeichnet werden. Nach dem Erlass der vorliegenden EDepVerwV würde dieses potenziell gut geeignete Material aufgrund einiger Überschreitungen bestimmter chemischer Zuordnungswerte nur noch mit der Ausnahme einer Risikobewertung genehmigt bzw. eingesetzt werden dürfen.

Literatur

- ATV-DVWK & VKS, 2003: Leitfaden zur Deponiestilllegung
- BARTH, C., 2003: Die Wirksamkeit der Kapillarsperre als Deponieoberflächenabdichtung – Feldversuche auf der Deponie Bayreuth. Fakultät für Geowissenschaften der Ludwig-Maximilian-Universität München
- BAUER, E., 2001: Eignung verschiedener Materialien für Kapillarsperren – Auswahl und Dimensionierung. Münchner Geologische Hefte, Reihe B: Angewandte Geologie, Band 13
- DEPONIEVERORDNUNG, 2002: Verordnung über Deponien und Langzeiltlager.
- GARTUNG, E. & NEFF, H. K., 2000: Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT). In: Bautechnik 77 (9), S. 615-640
- HFVA, HESSISCHER FORSCHUNGSVERBUND ABFALL E. V., 2003: Abschlussbericht zum Vorhaben Oberflächenabdichtung hessischer Deponien im Rahmen der Stilllegung – Stand und Empfehlung zur Umsetzung
- JELINEK, D., 1997: Die Kapillarsperre als Oberflächenbarriere für Deponien und Altlasten – Langzeitstudien und praktische Erfahrungen in Feldversuchen. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Darmstadt 97
- KÄMPF, M., 2000: Fließprozesse in Kapillarsperren zur Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten – Grundlagen zur hydraulischen Bemessung. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Darmstadt 109
- MELCHIOR, S., 1993: Wasserhaushalt und Wirksamkeit mehrschichtiger Abdecksysteme für Deponien und Altlasten. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten 22
- STEINERT, B., 1999: Kapillarsperren für die Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten – Bodenphysikalische Grundlagen und Kipprinnenuntersuchungen. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten 45
- TA SIEDLUNGSABFALL, 1993: Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen. In: Bundesanzeiger
- VON DER HUDE, N., 1999: Kapillarsperren als Oberflächenabdichtungen auf Deponien und Altlasten – Laborversuche und Bemessungsregeln. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Darmstadt 41
- WOHNLICH, S. & BAUER, E., 1999: Aufbau und Wirkungsweise der Kapillarsperre. In: Akademie für Bauen und Umwelt e. V. (Hrsg.): Die Kapillarsperre – Beiträge zum Stand der Technik, Heidelberg: Springer
- WOHNLICH, S., 1991: Kapillarsperren – Versuche und Modellberechnungen. Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 15
- ZISCHAK, R., 1997: Alternatives Oberflächenabdichtungssystem „Verstärkte mineralische Abdichtung mit unterliegender Kapillarsperre“ – Wasserbilanz und Gleichwertigkeit. Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 47