



**SCHLUSSBERICHT**

**BBGT 11098/01**

**Datum: 08.11.2011**

**Auftraggeber:** Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160  
86179 Augsburg

**Projekt:** **FuE-Vorhaben Abfallwirtschaft:  
Untersuchung der mineralischen Basisabdichtung  
der Siedlungsabfalldeponie „Im Dienstfeld“, Aurach  
nach 30-jährigem Betrieb (P. 3603)**

**Ihre Nachricht vom:** 11.07.2011

**Ihr Zeichen:** 36-8740.3-30858/2011; Hr. Axmann

**Bearbeiter:** **Dr. Ulrich Henken-Mellies**

**Telefon Nr.:** +49 (0) 911 655-5587

**Telefax Nr.:** +49 (0) 911 655-5510

**E-Mail:** wolf-ulrich.henken-mellies@de.tuv.com  
<http://geotechnik.lga.de>

Das Gutachten umfasst 27 Seiten und 4 Anlagen.

Dieses Gutachten darf nur im vollen Wortlaut veröffentlicht werden.  
Jede Veröffentlichung in Kürzung oder Auszug bedarf der vorherigen Genehmigung  
durch die TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH.

H:\BBGTMitarbeiter\Henken\_Mellies\Aurach\Basisabdichtung-2011\Berichte\LfU\_P-3603\_Bericht.doc/ Seite 1 von 27

**TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH** • Tillystraße 2 • 90431 Nürnberg **Sitz und Registergericht Nürnberg HRB 20586**  
Tel.: +49 (0) 911 655-5559 • Fax: +49 (0) 911 655-5510 Geschäftsführer: Dr. Frank Voßloh, Eckhard Lippold  
eMail: grundbauinstitut@de.tuv.com • <http://www.lga.de> Steuer-Nr. 241/115/90733 Ust-IdNr. DE813835574

## **Inhaltsverzeichnis**

Zusammenfassung .....	3
1 Aufgabenstellung .....	5
2 Dokumentation und wissenschaftliche Auswertung der Literatur .....	6
2.1 Verwendete Literatur .....	6
2.2 Auswertung der Literatur: Stand der Forschung zu mineralischen Basisabdichtungen.....	7
2.2.1 Allgemeines zu mineralischen Basisabdichtungen .....	7
2.2.2 Laborversuche, theoretische Betrachtungen.....	7
2.2.3 Ergebnisse von Aufgrabungen .....	8
2.2.4 Folgerungen für die aktuelle Forschungsarbeit .....	11
3 Planung und Ablauf der Arbeiten .....	12
4 Laborversuche .....	14
4.1 Geotechnische Laborversuche .....	14
4.2 Chemische Laboruntersuchungen / Untersuchungsmethodik.....	15
5 Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse .....	17
5.1 Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen .....	17
5.2 Ergebnisse der chemischen Untersuchungen .....	21
6 Zusammenfassung und Folgerungen .....	25
Anlagenverzeichnis.....	27

## Zusammenfassung

Fast alle seit den 1980er Jahren gebauten Deponien enthalten eine mineralische Basisabdichtung, entweder als alleiniges Dichtungselement, oder (vermehrt ab 1993) in Kombination mit einer Kunststoffdichtungsbahn. Der Bau der mineralischen Dichtung wurde in der Regel mit Qualitätsprüfungen überwacht; aber nur in wenigen Fällen wurden zu späteren Zeitpunkten Aufgrabungen und systematische Untersuchungen der Qualitätseigenschaften der Basisabdichtung vorgenommen. Die Deponieverordnung (2009) stellt an alle Abdichtungskomponenten die Anforderung, dass ihre Funktionserfüllung über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren nachzuweisen ist. Die Untersuchung einer mineralischen Basisabdichtung nach 30 Betriebsjahren der Deponie stellt in diesem Zusammenhang ein wichtiges Indiz zur Nachweisführung der langfristigen Funktionserfüllung dar.

Im Rahmen der Ertüchtigung des Sickerwassererfassungssystems der Deponie „Im Dienstfeld“ wurden im Jahr 2011 mehrere großkalibrige Baugruben-Schächte bis zur Deponiebasis in den Deponieabschnitten 1 und 2 abgeteuft. Die Freilegung der Basisabdichtung an den Baugrubensohlen bot die Gelegenheit, Proben zu gewinnen, um die Qualität der Basisabdichtung nach ca. 30 Jahren Betriebszeit zu untersuchen.

Die Basisabdichtung war bereits im Jahr 1994 an mehreren Stellen beprobt und umfassend geotechnisch, geochemisch und mikrobiologisch untersucht worden. Zusammen mit den Ergebnissen der geotechnischen Untersuchungen während der Bauphase in den Jahren 1979 und 1982 stehen somit Daten der neu hergestellten Basisabdichtung, der Abdichtung nach ca. 12 Betriebsjahren und nunmehr nach ca. 30 Betriebsjahren für vergleichende Auswertungen zur Verfügung.

Die Basisabdichtung wurde im Sommer 2011 im Bereich von zwei Schächten (KS1 und KS2) sowie einer größeren Baugrube (SS1) freigelegt, optisch begutachtet und beprobt. Die Entwässerungsschicht führte jeweils nur sehr geringe Mengen an Sickerwasser. An der Unterkante der Entwässerungsschicht war eine 1 -2 cm starke, nasse, schwärzlich verfärbte Grenzschicht zu erkennen. Die Oberfläche der Basisabdichtung war in allen Aufschlüssen feucht und wies keine Anzeichen von Austrocknung auf.

Der Schwerpunkt der geotechnischen Untersuchungen betraf die Parameter Wasserdurchlässigkeit, Wassergehalt und Verdichtung. Die Ergebnisse zeigen, dass die Dichte des Materials ca. 95% bis 105% der Proctordichte beträgt und der Wassergehalt mit ca. 13% bis 20% überwiegend leicht oberhalb des optimalen Wassergehaltes liegt. Die Durchlässigkeitsbeiwerte liegen zwischen  $3 \cdot 10^{-11}$  und  $9 \cdot 10^{-9}$  m/s.

Die aktuell ermittelten geotechnischen Qualitätsmerkmale entsprechen in etwa den Befunden, die auch bei den Aufgrabungen im Jahr 1994 angetroffen worden waren. Die seinerzeit beim Bau der Basisabdichtung der Bauabschnitte I und II geltende Anforderung an den Durchlässigkeitsbeiwert von  $< 1 \cdot 10^{-7}$  m/s (für BA I) bzw.  $< 1 \cdot 10^{-8}$  m/s (für BA II) wurde im Jahr 1994 und erneut bei den aktuellen Untersuchungen deutlich unterschritten.

Für die chemischen Untersuchungen wurden gezielt die oberen Bereiche der Basisabdichtung in dünnen Schichten (à 3 cm) beprobt. Das Ziel der chemischen Untersuchungen bestand darin, zu untersuchen, ob im Laufe der 30-jährigen Beaufschlagung der mineralischen Dichtung mit Deponiesickerwasser ein Schadstofftransport bzw. ein Eindringen von (Schad-)Stoffen in die mineralische Dichtung stattgefunden hat. Die Ergebnisse zeigen, dass bei den untersuchten Schwermetallen keine Verlagerung in die Dichtung zu erkennen ist. Nur die bekanntermaßen mobilen Ionen Chlorid, Natrium und Kalium zeigen in den obersten ca. 10 cm der mineralischen Dichtung einen Gradienten, der auf eine langsame Migration dieser Stoffe in die Dichtung hinein hinweist.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die geotechnischen Eigenschaften der mineralischen Basisabdichtung im Laufe der ca. 30 Betriebsjahre konstant geblieben sind, dass keine Verlagerung von Schadstoffen in die mineralische Basisabdichtung stattgefunden hat und somit die Abdichtung ihre Funktion nach wie vor voll erfüllt.

Die durchgeführten geotechnischen und chemischen Untersuchungen der Basisabdichtung bestätigen die generelle Expertenmeinung, dass die Funktionsfähigkeit von qualitätsgesichert hergestellten mineralischen Basisabdichtungen über lange Zeit erhalten bleibt.

## 1 Aufgabenstellung

Im Rahmen der Ertüchtigung des Sickerwassererfassungssystems der Deponie „Im Dienstfeld“ wurden im Jahr 2011 mehrere großkalibrige Baugruben-Schächte bis zur Deponiebasis in den Deponieabschnitten 1 und 2 abgeteuft. Die Freilegung der Basisabdichtung an den Baugrubensohlen bot die Gelegenheit, Proben zu gewinnen, um die Qualität der Basisabdichtung nach ca. 30 Jahren Betriebszeit zu untersuchen.

Die Basisabdichtung war bereits im Jahr 1994 an mehreren Stellen beprobt und umfassend geotechnisch, geochemisch und mikrobiologisch untersucht worden (im Rahmen des F+E-Projekts E 21 des Bayerischen Umweltministeriums: „Großflächige Untersuchungen der Qualitätseigenschaften an einem 12 Jahre alten mineralischen Deponieabdichtungssystem“). Seinerzeit war festgestellt worden, dass die Qualität der mineralischen Basisabdichtung nach 12 Jahren Betriebszeit die Anforderungen gemäß Planfeststellungsbescheid übertraf und darüber hinaus in der Regel die Anforderungen an Dichte und Durchlässigkeitsbeiwert nach TASI einhielt.

Nunmehr bot sich die Gelegenheit, neue Erkenntnisse über die Langzeit-Beschaffenheit von mineralischen Basisabdichtungen nach ca. 30 Jahren Betriebszeit zu gewinnen.

Mit Schreiben vom 30.06.2011 / 11.07.2011 beauftragte das Bayerische Landesamt für Umwelt die TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH mit der Durchführung des Vorhabens „Untersuchung der mineralischen Basisabdichtung der Siedlungsabfalldeponie „Im Dienstfeld“, Aurach nach 30-jährigem Betrieb (P3603)“.

Im vorliegenden Schlussbericht werden die Ergebnisse der Untersuchungen dargestellt. Zunächst wird der Stand der Forschung zu mineralischen Basisabdichtungen zusammenfassend wiedergegeben. Anschließend werden die Aufgrabungen der Basisabdichtung und die durchgeführten Laborversuche dokumentiert. Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse erfolgt eine Bewertung der Qualität der am Standort „Im Dienstfeld“ vorhandenen Basisabdichtung und eine darüber hinaus gehende allgemeinere Beurteilung der Langzeitwirksamkeit von mineralischen Basisabdichtungen.

## **2 Dokumentation und wissenschaftliche Auswertung der Literatur**

### **2.1 Verwendete Literatur**

August H., Holzlöhner U. & Meggyes T. Herausgeber (1998): Optimierung von Deponieabdichtungssystemen; Schlussbericht – Berlin (Springer-Verlag), 462 S.

Deister U. & Schneck W. (1994): Untersuchungen an einer mineralischen Basisabdichtung der SAD Schwabach. Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Heft 72, S. 147 - 158

Döll P. (1997): Austrocknungsgefährdung von Basisabdichtungen: Modellierung von Wasser- und Wasserdampfbewegungen in Abdichtung und Deponieuntergrund. Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Heft 76 S. 151 – 164

Echle W., Cevrim M. & Düllmann H. (1988): Tonmineralogische, chemische und bodenphysikalische Veränderungen in einer Ton-Versuchsfläche an der Basis der Deponie Geldern-Pont. Tone in der Umwelttechnik – Schr. Angew. Geol. Karlsruhe, 4, S. 99 - 121

Gartung E., Müllner B., Heimer H. & Kohler E. (1996): Die mineralische Basisabdichtung der Siedlungsabfalldeponie Aurach nach mehr als zwölfjährigem Betrieb. Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Nürnberg, Heft 75

Gartung E., Müllner B. & Heimerl H. (1997): Untersuchungen an der mineralischen Basisabdichtung der Siedlungsabfalldeponie Aurach nach mehr als zehnjährigem Betrieb. Deponien und Altlasten, W. Wittke Herausgeber, Balkema, S. 53 - 63

Müllner B. (1994): Aufgrabungen an einem Basisabdichtungssystem einer älteren Hausmülldeponie. Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstitutes, Heft 72, S. 331-342

Schneider G. (1994): Untersuchungen an älteren feinkornmineralischen Dichtungsschichten von Hausmülldeponien in Bayern und sich daraus ergebende Folgerungen für Deponiedichtungen und geologische Barrieren. Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Heft 72, S. 159 – 200

Wagner F. (1992): Verlagerung und Festlegung von Schwermetallen in tonigen Deponieabdichtungen. Ein Vergleich von Labor- und Geländestudien. Schr. Angew. Geol. Karlsruhe 22

## **2.2 Auswertung der Literatur: Stand der Forschung zu mineralischen Basisabdichtungen**

### **2.2.1 Allgemeines zu mineralischen Basisabdichtungen**

Mineralische Abdichtungskomponenten werden seit Beginn des technischen Deponiebaus in den 1970er Jahren eingesetzt. Gemäß LAGA Deponie-Merkblatt (1979) sind für die Basisabdichtung natürliche Dichtungen (aus tonigem, verdichtungsfähigem Material) oder künstliche Dichtungen verwendbar. Der in der TA Abfall und der TA Siedlungsabfall festgeschriebene Stand der Technik der 1990er Jahre sah eine mineralische Komponente in der Basisabdichtung aller Deponieklassen (I, II und III) vor.

Fast alle seit den 1980er Jahren gebauten Deponien enthalten eine mineralische Basisabdichtung, entweder als alleiniges Dichtungselement, oder (vermehrt ab 1993) in Kombination mit einer Kunststoffdichtungsbahn. – Die Qualitätsanforderungen an die mineralische Komponente nahmen dabei sukzessive zu, bis zu den Festlegungen im Anhang E der TA Abfall.

### **2.2.2 Laborversuche, theoretische Betrachtungen**

Mineralische Dichtungen sind nicht vollständig dicht. Die Charakterisierung durch einen „Durchlässigkeitsbeiwert  $K$ “ impliziert, dass das Material nicht vollständig undurchlässig ist, sondern eine (wenn auch sehr geringe) Rest-Durchlässigkeit hat, die eine Konvektion von wässrigen Lösungen zulässt.

Für eine vollständige Beschreibung des Stofftransports durch mineralische Dichtungen sind die Prozesse

- Konvektion (maßgebliche Größen: Durchlässigkeitsbeiwert, hydraulischer Gradient),
- Diffusion (maßgebliche Größen: Diffusionskoeffizient, Konzentrations-Gradient), sowie
- Sorption (maßgebliche Größen: Sorptionsisotherme, chemische Eigenschaften der Tonminerale und der Schadstoffe)

zu betrachten.

Die Konvektion (in der einfachsten Form: Wasserdurchfluss  $Q$ ) durch eine mineralische Dichtung lässt sich aus dem labormäßig gut bestimmbareren Durchlässigkeitsbeiwert ( $K$ ) und dem

hydraulischen Gradienten ( $i$ ), der für bestimmte Zustände abgeschätzt werden kann, mit der bekannten Formel nach Darcy ( $Q = K \cdot i$ ) berechnen. Allerdings gibt es Gründe für die Annahme, dass der K-Wert keine Konstante ist, sondern seinerseits vom hydraulischen Gradienten abhängt: Bei geringen Druckgradienten nimmt in Experimenten (z.B. Wagner, 1992) der K-Wert ab; teilweise wird sogar bei sehr geringen Gradienten ein Zustand postuliert, in dem (aufgrund der Struktur und der Hydratation der Tonminerale) ein abflussloser Zustand herrscht (Tone unterscheiden sich hier qualitativ von den sandigen Materialien, bei denen die Darcy-Formel gültig ist).

Die Diffusion bewirkt eine Verlagerung von Stoffen infolge eines Konzentrationsgradienten (ohne Druckgradient). Hierzu werden Diffusionsversuche durchgeführt, indem z.B. eine Tonprobe zwischen zwei Lösungskammern (die eine mit einer Testlösung, die andere mit destilliertem Wasser) eingesetzt wird und der Stoffdurchtritt bzw. die Stoffverteilung in der Tonprobe untersucht werden. Gleichzeitig mit der Diffusion wirkt hier auch die Sorption, also die Anlagerung von Stoffen an die Oberflächen der Tonminerale. Bei leicht löslichen Ionen wie Chlorid oder Natrium überwiegt die Diffusion; bei Schwermetallen überwiegt – bis zur Erreichung eines Gleichgewichtszustandes – die Sorption.

Ein weiterer Gesichtspunkt, der in den 1990er Jahren diskutiert und modelltheoretisch behandelt wurde, betrifft die Frage, ob mineralische Basisabdichtungen im Laufe der Zeit trockenfallen können. Infolge von temperaturinduziertem Wassertransport ist eine Wasserbewegung vom (warmen) Deponiebereich in Richtung des (kühlen) Untergrundes denkbar. Mineralische Basisabdichtungen könnten auf diese Weise im Laufe der Zeit Wasser an den Untergrund abgeben und möglicherweise austrocknen. Hierfür liegen Modellberechnungen vor (z.B. Döll, 1997); tatsächliche Beobachtungen dieses Phänomens sind jedoch nicht bekannt.

### **2.2.3 Ergebnisse von Aufgrabungen**

Die ersten Basisabdichtungen für Hausmülldeponien wurden in Bayern in einer Dicke von 60 cm aus verdichtetem Lehm oder Tonmaterial ausgeführt mit der Anforderung, dass ein Durchlässigkeitsbeiwert  $k \leq 1 \cdot 10^{-7}$  m/s zu erreichen sei. Später wurde die Dicke der Abdichtung auf 75 cm erhöht und der geforderte Durchlässigkeitsbeiwert um eine Zehnerpotenz auf  $k \leq 1 \cdot 10^{-8}$  m/s reduziert. Es wurden damals bereits Qualitätsprüfungen verlangt und die erreichten Werte dokumentiert, so dass die beim Einbau erzielten bodenmechanischen Kennwerte Dichte, Was-

sergehalt und Durchlässigkeitsbeiwert alter Deponien bekannt sind. Im Zuge von Sanierungsarbeiten an Basisentwässerungssystemen ergab sich mehrfach die Gelegenheit, in tiefen Baugruben, die bis zur mineralischen Abdichtungsschicht hinunter geführt werden mussten, Proben aus mehrere Jahre von Hausmüll überdeckten Abdichtungsschichten zu gewinnen. Schneider (1994) und Müllner (1994) legten nach unabhängig voneinander durchgeführten Untersuchungen die ersten Ergebnisse vor, die zeigten, dass die mineralischen Abdichtungen in gutem Zustand waren, sich mineralogisch nicht verändert hatten und dass es weder Hinweise auf Austrocknungsrisse noch auf eine Durchsickerung der Abdichtungen gab.

Schneider (1994) berichtet über Untersuchungen der Basisabdichtung der Hausmülldeponie Gallenbach nach ca. 10-jährigem Betrieb. Seinerzeit war eine rein mineralische Basisabdichtung mit 0,6 m Dicke eingebaut worden. Aus der Basisabdichtung neben den Schächten wurden Proben entnommen und geotechnisch, chemisch und mineralogisch untersucht. Die Durchlässigkeitsbeiwerte lagen zwischen  $6 \cdot 10^{-11}$  und  $9 \cdot 10^{-10}$  m/s und erfüllten damit die seinerzeitige Einbauvorschrift von  $k < 1 \cdot 10^{-9}$  m/s. Der Karbonatgehalt des Dichtungsmaterials, eines Tonmergels, betrug 10 bis 30 %, wobei im Laufe der Zeit keine Abnahme des Karbonatanteils in den oberen Proben festzustellen war. Anreicherungen von Schwermetallen und organischen Schadstoffen in der Abdichtung waren nicht nachweisbar. Die Untersuchungsergebnisse lassen den Schluss zu, dass weder ein konvektiver noch ein diffusiver Schadstofftransport in messbarem Umfang stattgefunden hat.

Ergänzend zu den genannten punktuellen Untersuchungen wurde auf der Deponie "Im Dienstfeld" bei Aurach im Rahmen des BStMLU-Vorhabens E 21: "Großflächige Untersuchungen der Qualitätseigenschaften an einem 12 Jahre alten mineralischen Deponieabdichtungssystem" die mineralische Basisabdichtung 12 bzw. 15 Jahre nach ihrer Herstellung durch ein umfangreiches Untersuchungsprogramm überprüft. Verteilt über die gesamte Fläche der Deponie und über die Dicke der Abdichtungsschicht wurden an 17 Aufschlussstellen für ein fachübergreifendes Forschungsprojekt insgesamt 77 ungestörte Bodenproben entnommen. Das wissenschaftliche Untersuchungsprogramm umfasste bodenmechanische Tests, geochemisch-mineralogische Analysen und die mikrobiologische Untersuchung des Gehalts und der Verteilung von Mikroorganismen.

Als Ergebnis der bodenmechanischen Untersuchung wurde festgestellt, dass die mineralische Abdichtung in einwandfreiem Zustand war (Gartung et al. 1996). Es gab keine Trockenrisse oder sonstigen Schäden. Die Dichte hatte unter der Einwirkung der bis 18 m mächtigen Müllauflast zugenommen und dementsprechend wurde eine Verringerung des Durchlässigkeitsbeiwerts nachgewiesen. Die Durchlässigkeitsbeiwerte lagen zwischen  $2 \cdot 10^{-9}$  m/s und  $1 \cdot 10^{-11}$  m/s. Der Mittelwert von  $k = 1 \cdot 10^{-10}$  m/s lag um zwei Zehnerpotenzen unter dem mittleren Durchlässigkeitsbeiwert, den das LGA-Grundbauinstitut als Fremdüberwacher während der Bauausführung ermittelt hatte. Der Wassergehalt an der Oberfläche der Dichtung lag bei der Aufgrabungsuntersuchung über den nachgewiesenen Einbauwassergehalten. Innerhalb der Dichtungsschicht war keine Veränderung des Wassergehalts gegenüber dem Einbauwassergehalt festzustellen, er war im Rahmen der natürlichen Schwankungen offenbar konstant geblieben. Ein Gradient, der auf Austrocknungserscheinungen hinweisen könnte - immerhin wurden im Deponiekörper Temperaturen bis zu 64° C gemessen - war nicht vorhanden.

Die mineralogischen Untersuchungen zeigten Karbonatgehalte von 1 % - 6 %. Bei den Tonmineralien überwog Illit mit 40 % - 65 %. Der Smectit-Anteil betrug 1 % - 9 %, wobei keine Abnahme des Smectitgehalts in den oberen Proben zu beobachten war. Eine Zerstörung der Smectit-Struktur durch Deponie-Sickerwasser, wie von Echle et al. (1988) bei einer anderen Deponie beschrieben, ließ sich hier nicht feststellen. Die Spurenelement-Gehalte in den untersuchten Profilen durch die Basisabdichtung lagen im Bereich der geogenen Gehalte des Ursprungsmaterials und zeigten keine Anreicherung innerhalb der Dichtungsschicht. Die geochemischen Analysen ergaben keinen Hinweis auf den Eintritt oder gar Durchtritt von Schadstoffen durch die mineralische Dichtung hindurch.

Wagner (1992) beschreibt chemische Untersuchungen an aufgegrabenen mineralischen Basisabdichtungen. Bei einer 20 Jahre alten Basisabdichtung der Deponie Karlsruhe-West war nur in den obersten 5 cm eine leichte Erhöhung der Schwermetallgehalte festzustellen. Die mobileren Natrium-Ionen waren bis in eine Tiefe von ca. 10 cm diffundiert. Die Chloridgehalte sind in dem gesamten Dichtungsprofil ähnlich hoch wie im Deponie-Sickerwasser. Daraus schließt Wagner, dass Chlorid die Abdichtung während der 20-jährigen Beaufschlagung vollständig durchwandert hat.

Untersuchungen an weiteren tonigen Deponieuntergrundmaterialien bestätigen den Befund minimaler Eindringtiefen für Schwermetalle. Die auf der Basis der Felduntersuchungen ermittelten Retardationsfaktoren weichen erheblich von denjenigen ab, die auf der Basis von Laborversuchen berechnet wurden (Wagner, 1992).

Deister & Schneck (1994) berichten von Aufgrabungen und Untersuchungen an der mineralischen Basisabdichtung der Sonderabfalldeponie Schwabach. Sie stellten fest, dass die Mehrzahl der im Deponiesickerwasser vorhandenen organischen Substanzen (PCB, PAK, EOX) von der mineralischen Dichtungsschicht weitgehend zurückgehalten wurden. Für LHKW stellt die mineralische Basisabdichtung dagegen keine wirksame Barriere dar: LHKW wurden im gesamten Abdichtungsprofil und im Grundwasser unter der Deponie nachgewiesen. Bezüglich der anorganischen Stoffe stellen Deister & Schneck (1994) die gleichen Phänomene fest wie Wagner (1992): Schwermetalle dringen nicht messbar in die mineralische Dichtungsschicht ein, Alkali-Ionen (Na, K) sind in den oberen Abschnitten erhöht und die mobilen Chlorid-Ionen sind durch die gesamte Dichtungsschicht diffundiert.

## **2.2.4 Folgerungen für die aktuelle Forschungsarbeit**

Im Rahmen der durchzuführenden Aufgrabungen und Untersuchungen waren sowohl die bodenmechanisch-geotechnischen Eigenschaften als auch die chemische Beschaffenheit der Basisabdichtung zu untersuchen.

Hinsichtlich der bodenmechanischen Eigenschaften war der Schwerpunkt der Untersuchungen auf die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (als bestimmenden Faktor für die abdichtende Eigenschaft) und auf den Wassergehalt (als Hinweis auf etwaige Austrocknungstendenzen) zu legen.

In Bezug auf die Planung der chemischen Bodenuntersuchungen zeigte die Auswertung der Literatur, dass der Faktor „Zeit“ bei der Beurteilung etwaiger Stofftransporte durch mineralische Basisabdichtungen eine ganz wesentliche Rolle spielt. Der Transport von Stoffen, die zur Sorption neigen, geht, wenn überhaupt, dann nur sehr langsam vonstatten, so dass die Stoffe in 30 Jahren eventuell nur wenige Zentimeter in die mineralische Dichtung eingedrungen sind. Insofern war es für den chemischen Teil der durchzuführenden Untersuchungen wichtig, die Basisabdichtung nach Möglichkeit in dünnen Schichten zu beproben.

### 3 Planung und Ablauf der Arbeiten

Im Zuge der Ausführung von Schächten bzw. Baugruben für die Sanierung der Sickerwasser-sammler im Basisentwässerungssystem der Deponieabschnitte EBA I und II konnten an drei Stellen Proben aus der Basisabdichtung gewonnen werden: An der Basis der Schächte KS 1 und KS 2 nahe der Grenze zwischen den Einbauabschnitten EBA I und EBA II (Höhe der Müll-schüttung hier ca. 20 – 25 m), sowie an der Basis der Baugrube SS1 am Südrand des Einbau-abschnitts EBA I (Höhe der Müllüberschüttung hier ca. 4 m).

Der Zustand der Basisabdichtung wurde optisch begutachtet und anschließend wurden tiefen-horizontiert ungestörte Proben für geotechnische und chemische Untersuchungen entnommen.



**Abbildung 3-1:** Entnahme von ungestörten Bodenproben aus der Basisabdichtung bei KS 1.



**Abbildung 3-2:** Freigelegte Basisabdichtung in der Baugrube SS1, Deponie „Im Dienstfeld“

Die **Abbildungen 3-1 bis 3-3** geben einen Eindruck von den vorgefundenen Verhältnissen an der Deponiebasis. Die Beobachtungen lassen sich folgendermaßen beschreiben:

Der Hausmüll über der Deponiebasis war, soweit er unter dem Baugrubenverbau sichtbar war, überwiegend nur schwach feucht. Darunter folgt die Entwässerungsschicht, die aktuell nur sehr geringe Mengen an Sickerwasser führte.

Zumeist war an der Unterkante der Entwässerungsschicht eine ca. 1 – 2 cm starke, nasse, schwärzlich verfärbte Grenzschicht zu beobachten.

Darunter folgt das rotbraune tonige Dichtungsmaterial der Basisabdichtung. In der Baugrube SS1 war eine genauere Betrachtung der Basisabdichtung möglich (siehe Abbildungen 2 und 3). Die obersten 1 – 2 cm der Basisabdichtung waren sichtbar durchfeuchtet und wiesen eine weich bis steife Konsistenz auf. Darunter war der Wassergehalt deutlich geringer und das Material wies nach Feldansprache halbfeste Konsistenz auf.



**Abbildung 3-3:** Detailaufnahme des oberen Abschnitts der Basisabdichtung in der Baugrube SS1, Deponie „Im Dienstfeld“

## 4 Laborversuche

### 4.1 Geotechnische Laborversuche

Aus den oberen Bereichen der freigelegten Basisabdichtung in den Schächten bzw. der Baugrube wurden ungestörte und gestörte Bodenproben entnommen und im geotechnischen Labor des LGA-Grundbauinstituts untersucht.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen betraf die Parameter Wasserdurchlässigkeit, Wassergehalt und Verdichtung. An einigen Proben wurden darüber hinaus weitere Parameter untersucht (Korngrößenverteilung; Proctorversuch; Gesamtkarbonatgehalt; Wasseraufnahmevermögen). In **Tabelle 4-1** ist der Umfang der geotechnischen Untersuchungen aufgelistet. Die Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen sind in **Anlagengruppe 2** dokumentiert. Die Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse erfolgt in Kapitel 5.

**Tabelle 4-1:** Untersuchungsumfang der geotechnischen Untersuchungen der Basisabdichtung.

Nr.	Prüfung	Versuch	vorgesehene Probenanzahl	Anzahl ausgeführte Versuche
1	<b>Korngrößenverteilung</b>	DIN 18 123	1 x je Schurf / Schacht	3
2	<b>Proctorversuch</b>	DIN 18 127	1 x je Schurf / Schacht	3
3	<b>Verdichtung</b>	DIN 18125	3 – 4 tiefengestaffelte Proben je Schurf	14
4	<b>Wassergehalt</b>	DIN 18 121	3 – 4 tiefengestaffelte Proben je Schurf	18
5	<b>Wasserdurchlässigkeit</b>	DIN 18 130-1	3 – 4 tiefengestaffelte Proben je Schurf	12
6	<b>Gesamtkarbonatgehalt</b>	DIN 18 129	1 x je Schurf / Schacht	3
7	<b>Wasseraufnahmefähigkeit</b>	DIN 18132	3 – 4 tiefengestaffelte Proben je Schurf	8

## 4.2 Chemische Laboruntersuchungen / Untersuchungsmethodik

Mit chemischen Analysen sollte untersucht werden, ob ein Transport von (Schad-)Stoffen in die mineralische Basisabdichtung hinein festzustellen ist. Eine Zusatz-Fragestellung betraf die beschriebene schwarze Grenzschicht zwischen Entwässerungsschicht und Basisabdichtung: Hier sollte untersucht werden, ob es eine Anreicherung von organischer Substanz und/oder ausgefallenen Schadstoffen in dieser Zone gibt.

Die im Rahmen der Aufgrabung von 1994 durchgeführten chemischen Untersuchungen mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) und Neutronenaktivierungsanalyse (NAA) hatten keine Hinweise auf eine Migration von Schwermetallen gegeben. Die seinerzeitige Untersuchungsmethodik hat aus heutiger Sicht zwei Schwachpunkte: Erstens wurde die Gesamt-Probe untersucht (also wurden auch die in den Mineralphasen stabil eingebauten [geogenen] Stoffgehalte erfasst), und zweitens hatten die Proben jeweils eine Dicke von 10 cm, so dass eine etwaige, nur auf die oberste Zone beschränkte Schadstoffanreicherung nicht hätte erkannt werden können.

Bei der aktuellen Beprobung und Untersuchung wurde daher folgendermaßen vorgegangen:

- Im Schacht KS1: Beprobung der Grenzschicht und der Basisabdichtung in 2 Tiefenstufen mit je 15 cm. Durchführung von chemischen Analysen im Feststoff und im Eluat (s.u.) zur Klärung der Eignung der vorgenommenen Analysemethoden.
- In der Baugrube SS1: Detailbeprobung des oberen Bereiches der Basisabdichtung an zwei Stellen in möglichst dünnen Horizonten (3 cm – Schichten), um chemische Detailprofile analysieren zu können.

Für die chemischen Untersuchungen wurden die folgenden Parameter ausgewählt:

- Im Feststoff: Schwermetalle (Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink sowie Arsen) und TOC
- Im Eluat: Schwermetalle (s.o.), sowie die leicht löslichen Kationen Natrium, Kalium, die Anionen Chlorid und Sulfat und die Basisparameter Leitfähigkeit und pH-Wert.

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen sind in **Anlagengruppe 3** dokumentiert. Die Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse erfolgt in Kapitel 5.

## 5 Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse

### 5.1 Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der geotechnischen Laboruntersuchungen sind im Einzelnen der **Anlagengruppe 2** zu entnehmen. Die wesentlichen Ergebnisse sind in **Tabelle 5-1** zusammengefasst.

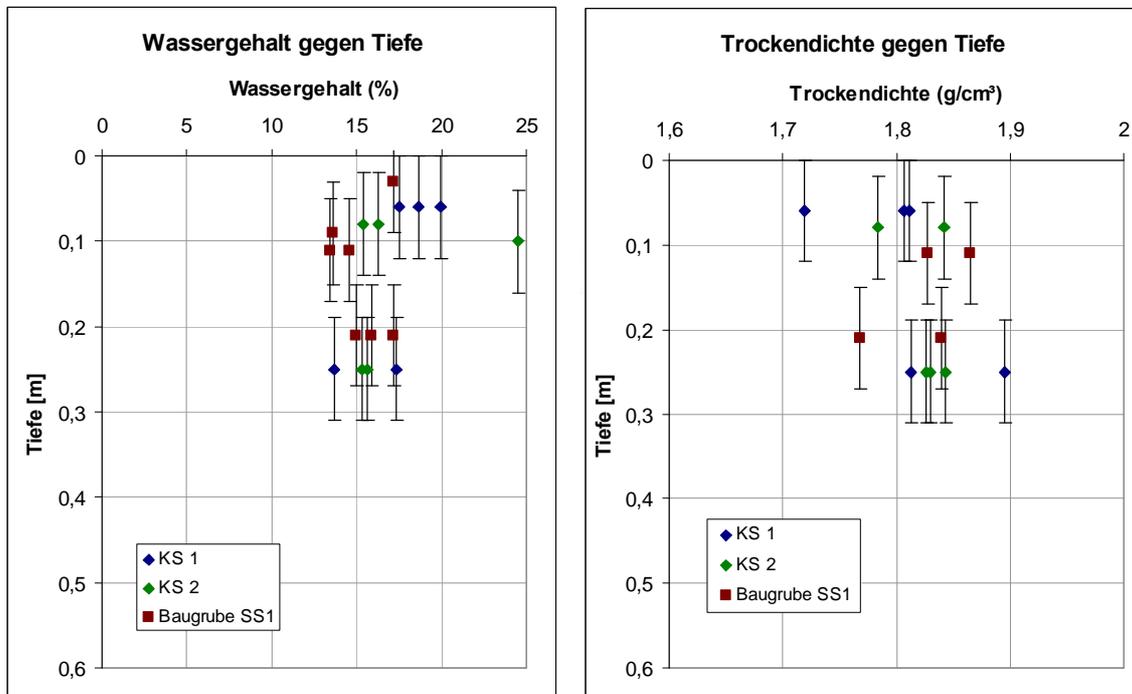
**Tabelle 5-1:** Ergebniszusammenstellung der geotechnischen Laboruntersuchungen

Labor-Nr.	Entnahmestelle	Entnahmetiefe	Probe-Nr.	K10-Wert	Trockendichte	Verd.-Grad	Wassergehalt	Wasseraufn. Vermögen	Kalk-gehalt	Kornverteilung	Proctor-Dichte
		m		m/s	g/cm³	%	Gew.-%				g/cm³
67582	KS 1	0,0 – 0,12	1a					62,5%	7,2%		
67585	KS 1	0,0 – 0,12	1b							1 2 3 4 0	1,738 bei 18,7%
67586	KS 1	0,0 – 0,12	2a	3,8E-10	1,81	104,2	18,62				
67587	KS 1	0,0 – 0,12	2b	9,2E-11	1,81	104	17,48				
67588	KS 1	0,0 – 0,12	2c		1,72	98,9	19,93				
68051	KS 1	0,2 – 0,3	5	1,8E-09	1,81	104,3%	17,38	80,0%	1,3%		
68052	KS 1	0,2 – 0,3	6	2,1E-09	1,90	109,1%	13,71	60,0%	2,4%		
67655	KS 2	0,0 – 0,15	3	1,3E-09	1,78	96,5%	16,25				
67656	KS 2	0,0 – 0,15	4	2,6E-09	1,84	99,7%	15,37	58,1%			
67714	KS 2	0,2-0,3	5	9,1E-09	1,83	99,0%	15,3	64,5%			
67715	KS 2	0,2-0,3	6		1,83	98,8%	15,38				
67716	KS 2	0,2-0,3	7	3,6E-09	1,83		15,62				
68079	KS 2	0,0 – 0,2	8				24,51			1 4 2 3 0	1,848 bei 14,3% 1,854 bei 13,7%
68787	Schurf BA I	0,1 – 0,25	1								
68788	Schurf BA I	0,1 – 0,25	2							2 2 6 0 0	
68789	Schurf BA I	0,05 – 0,17	3	1,0E-09	1,83	98,6	14,55				
68790	Schurf BA I	0,05 – 0,17	4	4,8E-10	1,87	100,6	13,44				
68791	Schurf BA I	0,15 – 0,27	5	3,6E-11	1,84	99,3	14,96				
68792	Schurf BA I	0,15 – 0,27	6	2,8E-10	1,77	95,3	17,21				
68793	Schurf BA I	0,00-0,06	7				17,2	76,3%			
68794	Schurf BA I	0,06-0,12	8				13,63	71,0%			
68795	Schurf BA I	0,12-0,30	9				15,84	85,9%			

Die Korngrößenuntersuchungen bestätigen den Befund der Feldansprache, dass das Dichtungsmaterial aus stark sandigem, schluffigen Ton mit Übergang zu tonig-schluffigem Sand besteht. Teilweise wird in der Korngrößenanalyse ein deutlicher Kiesanteil ermittelt; hierbei handelt es sich um Tonstein-Stücke.

Der Kalkgehalt des Materials der Basisabdichtung liegt zwischen 1% und 7%.

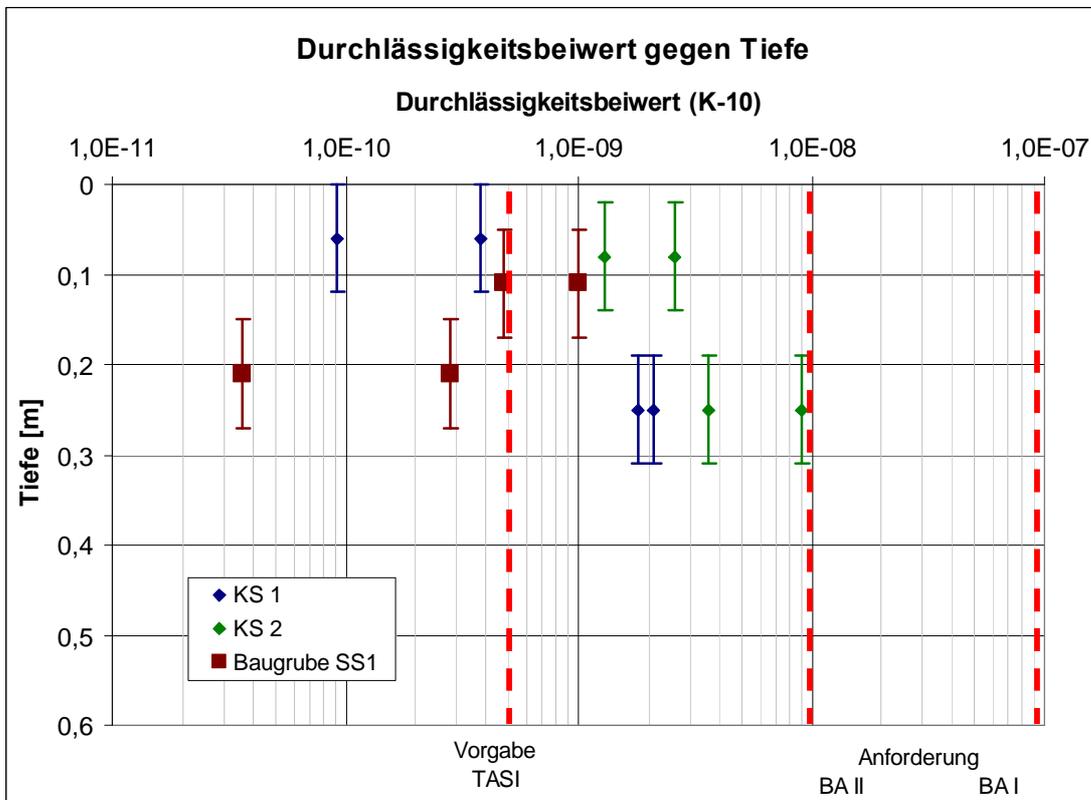
Die wichtigsten Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen sind in den **Abbildungen 5-1 und 5-2** graphisch zusammengefasst.



**Abbildung 5-1:** Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen der Basisabdichtung: Wassergehalt und Trockendichte.

Die Wassergehalte in der mineralischen Abdichtung liegen zwischen ca. 13% und 20%; ein Einzelbefund liegt bei 24%. Der optimale Wassergehalt des Materials liegt bei 14% - 17%. Somit liegt der Wassergehalt der Dichtungsschicht nach wie vor im Bereich des Optimums, bzw. leicht auf dem „nassen Ast“. Es liegen keine Anzeichen für eine etwaige Austrocknung der mineralischen Basisabdichtung vor.

Die Trockendichte der untersuchten Proben beträgt 1,72 bis 1,9 g/cm<sup>3</sup>; der Mittelwert liegt bei 1,82 g/cm<sup>3</sup>. Der Verdichtungsgrad liegt bei 95% bis 105% der Proctordichte.

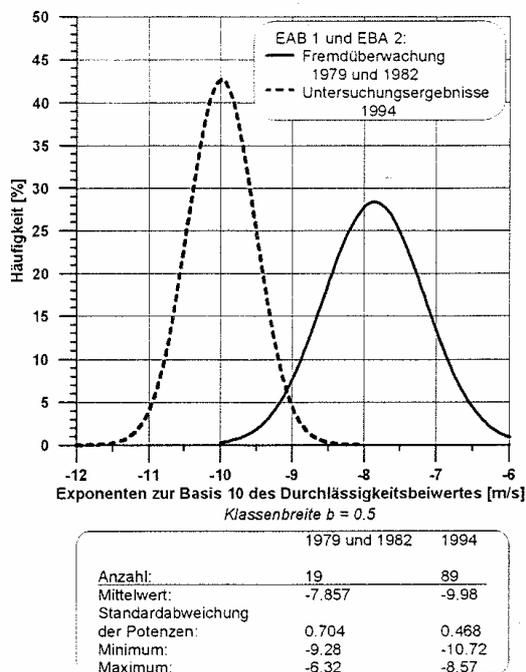


**Abbildung 5-2:** Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen der Basisabdichtung: Durchlässigkeitsbeiwerte.

Die Durchlässigkeitsbeiwerte der aus der Basisabdichtung gewonnenen Proben liegen zwischen  $3 \cdot 10^{-11}$  und  $9 \cdot 10^{-9}$  m/s (**Abbildung 5-2**). Es fällt auf, dass die in 0,2 – 0,3 m Tiefe entnommenen Proben aus den Schächten KS1 und KS2 höhere Durchlässigkeiten aufweisen als die übrigen Proben. Dies ist vermutlich auf entnahmebedingte Störungen zurückzuführen (unter den beengten Arbeitsbedingungen in den Schächten ist es nicht immer möglich, tatsächlich „ungestörte“ Bodenproben zu gewinnen). In der Baugrube SS1 ließen sich die Proben ohne Schwierigkeiten entnehmen. Hier weisen die in der zweiten Tiefenstufe entnommenen Proben Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen  $3 \cdot 10^{-11}$  und  $3 \cdot 10^{-10}$  m/s auf.

In **Abbildung 5-2** sind zu Vergleichszwecken auch die beim Bau der Basisabdichtung gültigen Anforderungen an die Durchlässigkeitsbeiwerte (für Bauabschnitt I:  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s; für Bauabschnitt II:  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s) sowie die Anforderung gemäß TASI und DepV ( $< 5 \cdot 10^{-10}$  m/s) dargestellt.

Die aktuell ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte entsprechen in etwa den Befunden, die auch bei den Aufgrabungen im Jahr 1994 angetroffen worden waren. Die seinerzeit beim Bau der Basisabdichtung der Bauabschnitte I und II geltende Anforderung an den Durchlässigkeitsbeiwert von  $< 1 \cdot 10^{-7}$  m/s (für BA I) bzw.  $< 1 \cdot 10^{-8}$  m/s (für BA II) wurde im Jahr 1994 und erneut bei den aktuellen Untersuchungen deutlich unterschritten.



**Abbildung 5-3:** Zum Vergleich: Festgestellte Durchlässigkeitsbeiwerte der Basisabdichtung im Zuge des Deponiebaues (1979 und 1982) und im Rahmen der Aufgrabungen 1994.

Als Indexversuch zur Beurteilung der Plastizität und des Gehaltes an Tonmineralen wurde an einigen Proben das Wasseraufnahmevermögen bestimmt. Das Wasseraufnahmevermögen der untersuchten Proben der Basisabdichtung liegt zwischen 58% und 86%. Ein Wasseraufnahmevermögen von 60% bis 85% wird als „mittel“ charakterisiert und lässt auf eine mittlere Plastizität des bindigen Bodenmaterials schließen.

## 5.2 Ergebnisse der chemischen Untersuchungen

Die chemischen Untersuchungen wurden im chemischen Labor der TÜV Rheinland LGA Products GmbH durchgeführt. Die Prüfberichte sind als **Anlagengruppe 3** beigefügt. Die Ergebnisse sind in den **Tabellen 5-2** (Originalsubstanz) und **5-3** (Eluat) zusammengefasst.

**Tabelle 5-2:** Ergebniszusammenstellung der chemischen Analysen: Bestimmungen an den Originalproben (Feststoff)

Parameter	Dimension	Probe 1 Schurf I Grenzschicht	Probe 2 Schurf I Grenzschicht	Probe 3 Schurf I, A 0,00 – 0,03m	Probe 4 Schurf I, A 0,03 – 0,06m	Probe 5 Schurf I, A 0,06 – 0,09m	Probe 6 Schurf I, A 0,09 – 0,12m	Probe 7 Schurf I, B 0,00 – 0,03m	Probe 8 Schurf I, B 0,03 – 0,06m	Probe 9 Schurf I, B 0,06 – 0,09m	Probe 10 Schurf I, B 0,09 – 0,12m	Probe 11 Schurf I, B 0,12 – 0,20m
<b>Arsen</b>	mg/kg TS	1,7	1,9	2	1,7	1,4	2,1	2,2	1,8	1,6	2,3	2,3
<b>Blei</b>	mg/kg TS	8	10	3,3	2,7	2,3	3	4,5	4,6	3,2	3,2	3,7
<b>Cadmium</b>	mg/kg TS	0,43	0,14	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
<b>Chrom</b>	mg/kg TS	15	17	15	15	15	15	18	15	13	16	21
<b>Kupfer</b>	mg/kg TS	6	42	3,7	3,5	3	3,4	4,3	3	3,5	3,6	4,3
<b>Nickel</b>	mg/kg TS	12	53	9,4	9	9	9,4	11	8,7	13	10	14
<b>Quecksilber</b>	mg/kg TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
<b>Zink</b>	mg/kg TS	57	67	86	84	81	80	89	79	71	80	81
<b>TOC</b>	Masse-%	0,4	0,27	0,12	0,12	0,13	0,07	0,08	0,12	0,13	0,07	0,17

Die **Tabelle 5-2** zeigt, dass sowohl in der Grenzschicht als auch in der mineralischen Dichtung nur geringe Gehalte an Schwermetallen vorhanden sind. Bei genauerer Betrachtung der Werte (siehe auch **Abbildung 5-4**) lässt sich feststellen, dass in der schwarzen Grenzschicht direkt auf der mineralischen Dichtung einige Stoffe in relativ höheren Konzentrationen vorhanden sind als in der mineralischen Dichtung: Dies betrifft die Parameter Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel und TOC. Zink ist dagegen in der Dichtung in etwas höheren Gehalten vorhanden als in der Grenzschicht.

Innerhalb des fein aufgelösten Profils in der mineralischen Dichtung sind nur geringe Konzentrationsunterschiede der untersuchten Parameter im Feststoff vorhanden.

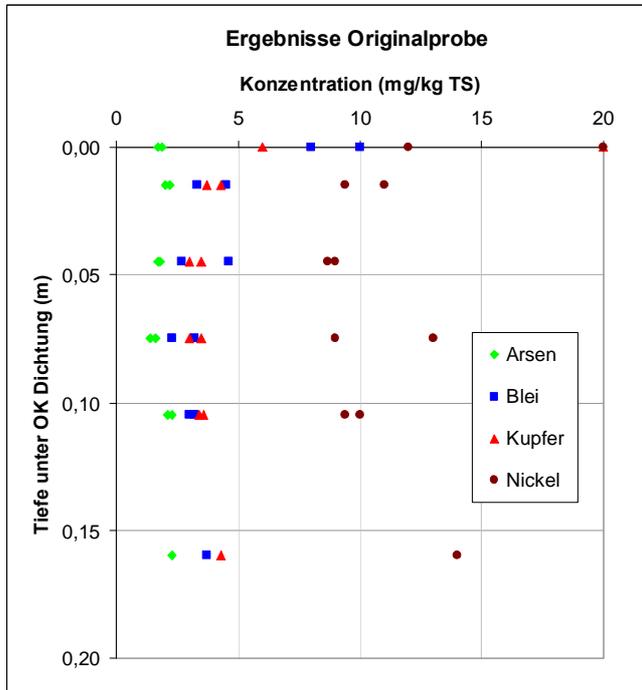
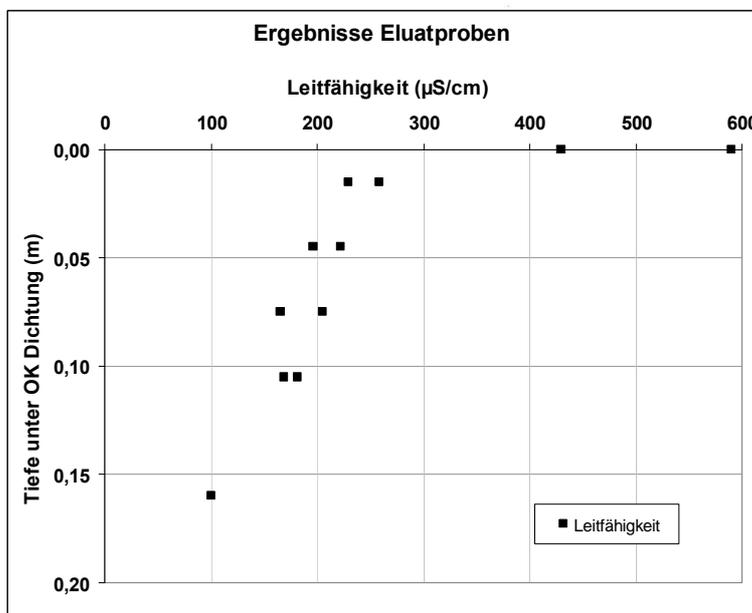


Abbildung 5-4: Ergebnisse der chemischen Untersuchungen der mineralischen Dichtung: Untersuchung der Originalprobe (Feststoff).

Tabelle 5-3: Ergebniszusammenstellung der chemischen Analysen des Eluats.

Parameter	Dimension	Probe 1 Schurf I Grenz- schicht	Probe 2 Schurf I Grenz- schicht	Probe 3 Schurf I, A 0,00 – 0,03m	Probe 4 Schurf I, A 0,03 – 0,06m	Probe 5 Schurf I, A 0,06 – 0,09m	Probe 6 Schurf I, A 0,09 – 0,12m	Probe 7 Schurf I, B 0,00 – 0,03m	Probe 8 Schurf I, B 0,03 – 0,06m	Probe 9 Schurf I, B 0,06 – 0,09m	Probe 10 Schurf I, B 0,09 – 0,12m	Probe 11 Schurf I, B 0,12 – 0,20m
pH-Wert	-	8,5	8,3	9	9	8,9	8,8	8,9	8,9	9,09	8,9	8,4
Leitfähig- keit	µS/cm	430	590	230	222	205	169	259	197	166	182	100
Chlorid	mg/l	17	19	15	18	16	10	17	14	12	12	13
Sulfat	mg/l	21	39	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1,2	1,1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Zink	mg/l	0,09	< 0,05	0,07	< 0,05	0,08	< 0,05	0,08	0,18	0,05	< 0,05	< 0,05
Natrium	mg/l	17	21	14	16	14	11	16	14	12	12	9
Kalium	mg/l	24	35	13	12	11	9,4	14	10	9	9,6	3,9

**Tabelle 5-3** fasst die Ergebnisse der Analysen der Eluatproben zusammen. Die Gehalte der meisten Schwermetalle liegen unter der jeweiligen Nachweisgrenze. In der Tabelle sind nur die Stoffe mit Befunden oberhalb der Nachweisgrenzen dargestellt. Chlorid, Natrium und Kalium sind in allen Eluatproben nachweisbar. Die Gehalte an Sulfat und Zink liegen nur in einigen Proben oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenze. Die Ergebnisse der Eluatuntersuchungen sind in **Abbildung 5-5** (für den Parameter Leitfähigkeit) und **Abbildung 5-6** (für Chlorid, Natrium und Kalium) dargestellt.



**Abbildung 5-5:** Ergebnisse der chemischen Untersuchungen der mineralischen Dichtung: Leitfähigkeit des Eluats.

Die Ergebnisse der Leitfähigkeit zeigen deutliche Gradienten: Das Material der Grenzschicht über der Dichtung weist im Eluat eine Leitfähigkeit von 400 – 600 µS/cm auf, während im Dichtungsmaterial die Leitfähigkeit von ca. 250 µS/cm in der obersten Probe auf 100 µS/cm in 0,2 m Tiefe zurückgeht (**Abbildung 5-5**). Zum Vergleich: Im Deponiesickerwasser beträgt die Leitfähigkeit im Mittel ca. 15.000 µS/cm.

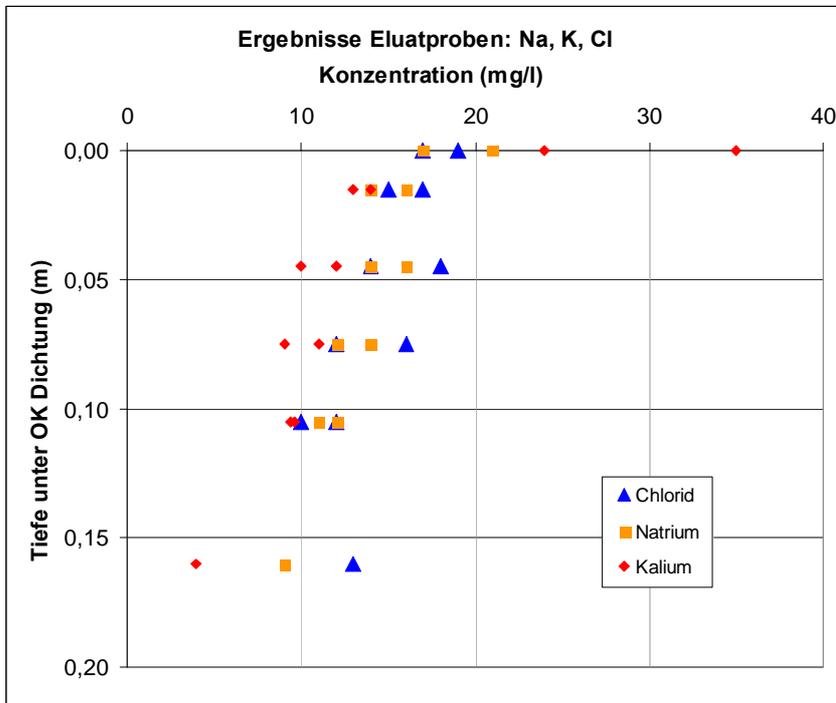


Abbildung 5-6: Ergebnisse der chemischen Untersuchungen der mineralischen Dichtung: Chlorid, Natrium und Kalium im Eluat.

Die gleiche Tendenz der zur Tiefe hin abnehmenden Konzentration ist für Chlorid, Natrium und Kalium im Eluat zu beobachten (**Abbildung 5-6**). Dieser Konzentrationsgradient lässt sich dahingehend interpretieren, dass für die mobilen Ionen Chlorid, Natrium und Kalium ein geringfügiger Stofftransport in die obersten Zentimeter der Dichtung hinein zu beobachten ist. Zum Vergleich: Im Deponiesickerwasser liegen im Mittel folgende Werte vor: Chlorid 1.000 mg/l; Natrium 1.000 mg/l; Kalium 700 mg/l.

Bei einem Vergleich der Stoffkonzentrationen im Deponiesickerwasser und im Eluat von Feststoffproben ist zu berücksichtigen, dass (1.) im Dichtungsmaterial nur ein Bodenwassergehalt von ca. 20% enthalten ist und (2.) das Eluat mit einem Feststoff : Wasser – Verhältnis von 1 : 10 hergestellt wird. Wenn das Porenwasser des Dichtungsmaterials aus Deponiesickerwasser bestünde, würde es im Eluat daher um den Faktor 50 verdünnt. Eine Konzentration von 1.000 mg/l im Deponiesickerwasser und im Porenwasser würde demnach zu einer Eluat-Konzentration von 20 mg/l führen. Dies sind für die Parameter Chlorid und Natrium annähernd die tatsächlichen

Zahlenverhältnisse. Insofern zeigen die Untersuchungsergebnisse, dass in der obersten Schicht der mineralischen Dichtung annähernd die gleichen Konzentrationen an Chlorid und Natrium vorhanden sind wie im Deponiesickerwasser. Zur Tiefe hin nehmen die Konzentrationen deutlich ab.

Das Ziel der chemischen Untersuchungen bestand darin, zu untersuchen, ob im Laufe der 30-jährigen Beaufschlagung der mineralischen Dichtung mit Deponiesickerwasser ein Schadstofftransport bzw. ein Eindringen von (Schad-)Stoffen in die mineralische Dichtung stattgefunden hat. Die Ergebnisse zeigen, dass bei den untersuchten Schwermetallen keine Verlagerung in die Dichtung zu erkennen ist. Nur die bekanntermaßen mobilen Ionen Chlorid, Natrium und Kalium zeigen in den obersten ca. 10 cm der mineralischen Dichtung einen Gradienten, der auf eine langsame Migration dieser Stoffe in die Dichtung hinein hinweist. Ob es sich hierbei um konvektiven Transport (also um langsames Eindringen von Sickerwasser in die mineralische Dichtung) oder um diffusiven Transport (also um eine durch den Konzentrationsunterschied verursachte Bewegung von Stoffen) handelt, geht aus den Daten nicht hervor.

## **6 Zusammenfassung und Folgerungen**

Die mineralische Basisabdichtung der Deponie „Im Dienstfeld“/ Aurach konnte im Jahr 2011 im Rahmen der Erstellung von Baugruben für die Sanierung der Sickerwassererfassung an drei Stellen beprobt werden. An ungestörten und gestörten Proben wurden geotechnische Untersuchungen und chemische Analysen durchgeführt. Bereits im Jahr 1994 waren Untersuchungen an der damals ca. 12 Jahre alten Basisabdichtung durchgeführt worden. Die aktuell gewonnenen Proben ermöglichen Erkenntnisse über die Langzeit-Beschaffenheit der mineralischen Basisabdichtung nach ca. 30 Betriebsjahren und erlauben Vergleiche sowohl zur im Zuge der Bauphase dokumentierten Qualität der Dichtung als auch zur 1994 festgestellten Qualität.

Der Schwerpunkt der geotechnischen Untersuchungen betraf die Parameter Wasserdurchlässigkeit und Verdichtung. An einigen Proben wurden darüber hinaus weitere Parameter untersucht (Korngrößenverteilung; Proctorversuch; Gesamtkarbonatgehalt; Wassergehalt; Wasseraufnahmevermögen). Der Wassergehalt der mineralischen Dichtung liegt im Bereich des optimalen Wassergehalts bzw. leicht auf dem „nassen Ast“. Der Verdichtungsgrad liegt bei 95% bis 105% der Proctordichte. Die Durchlässigkeitsbeiwerte der untersuchten Proben lagen zwischen

$3 \cdot 10^{-11}$  und  $9 \cdot 10^{-9}$  m/s. Die aktuell ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte entsprechen in etwa den Befunden, die auch bei den Aufgrabungen im Jahr 1994 angetroffen worden waren. Die seinerzeit beim Bau der Basisabdichtung der Bauabschnitte I und II geltende Anforderung an den Durchlässigkeitsbeiwert von  $< 1 \cdot 10^{-7}$  m/s (für BA I) bzw.  $< 1 \cdot 10^{-8}$  m/s (für BA II) wurde im Jahr 1994 und erneut bei den aktuellen Untersuchungen deutlich unterschritten.

Für die chemischen Untersuchungen wurden gezielt die oberen Bereiche der Basisabdichtung in dünnen Schichten (à 3 cm) beprobt. Das Ziel der chemischen Untersuchungen bestand darin, zu untersuchen, ob im Laufe der 30-jährigen Beaufschlagung der mineralischen Dichtung mit Deponiesickerwasser ein Schadstofftransport bzw. ein Eindringen von (Schad-)Stoffen in die mineralische Dichtung stattgefunden hat. Die Ergebnisse zeigen, dass bei den untersuchten Schwermetallen keine Verlagerung in die Dichtung zu erkennen ist. Nur die bekanntermaßen mobilen Ionen Chlorid, Natrium und Kalium zeigen in den obersten ca. 10 cm der mineralischen Dichtung einen Gradienten, der auf eine langsame Migration dieser Stoffe in die Dichtung hinein hinweist.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die geotechnischen Eigenschaften der mineralischen Basisabdichtung im Laufe der ca. 30 Betriebsjahre konstant geblieben sind, dass keine Verlagerung von Schadstoffen in die mineralische Basisabdichtung stattgefunden hat und somit die Abdichtung ihre Funktion nach wie vor erfüllt.

Die durchgeführten geotechnischen und chemischen Untersuchungen der Basisabdichtung bestätigen die generelle Expertenmeinung, dass die Funktionsfähigkeit von mineralischen Basisabdichtungen über lange Zeit erhalten bleibt.

TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH  
Grundbauinstitut

Bearbeiter:



Dr.-Ing. Bernd Müller  
Baudirektor



Dr. Ulrich Henken-Mellies  
Diplom-Geologe



## **Anlagenverzeichnis**

<b>Anlage 1</b>	<b>Lageplan</b>
<b>Anlagengruppe 2</b>	<b>Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen</b>
<b>Anlage 2.1</b>	Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit
<b>Anlage 2.2</b>	Bestimmung der Dichte des Bodens
<b>Anlage 2.3</b>	Bestimmung der Proctordichte
<b>Anlage 2.4</b>	Bestimmung des Wassergehaltes
<b>Anlage 2.5</b>	Bestimmung der Korngrößenverteilung
<b>Anlage 2.6</b>	Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens
<b>Anlage 2.7</b>	Bestimmung des Kalkgehaltes
<b>Anlagengruppe 3</b>	<b>Ergebnisse der chemischen Untersuchungen</b>
<b>Anlage 4</b>	<b>Poster-Darstellung der Projektergebnisse</b>