

Feldversuche zu Oberflächenabdichtungssystemen auf Basis mineralischer Stoffe der Stahlindustrie

Dipl.-Forstw. Norbert Wolsfeld, Dr.-Ing. Dipl.-Chem. Klaus-J. Arlt,
AG der Dillinger Hüttenwerke

Zusammenfassung

In einem Feldversuch werden seit 2001 in 12 Lysimetern Oberflächenabdichtungssysteme für Monodeponien der Stahlindustrie vergleichend untersucht.

Mit Dichtungsbaustoffen einfach herzustellender Gemenge aus sog. Pfannenschlacken der Stahlherstellung sowie Feinststaubfraktionen der Hochofengas-Entstaubung ließen sich im Feldversuch, d.h. mit Hilfe großtechnischer Einbau- und Verdichtungsverfahren, Wasserleitfähigkeitskoeffizienten nach DIN 18123 unterhalb der für DK1 geforderten $k_f = 5 \cdot 10^{-9}$ m/sec erreichen.

In den nach FULLER optimierten gemischtkörnigen Mineraldichtungen nahm die Dichtungswirksamkeit innerhalb des bisherigen Untersuchungszeitraums von 32 Monaten aufgrund nachträglich wirksamer Einlagerungsverdichtung weiter zu. Aus den gemessenen Wasserhaushaltsdaten der Lysimeter rückgerechnete k-Werte erreichten bis November 2004 ein Niveau von $k = 1 \cdot 10^{-12}$ m/sec. Das 95%-Quantil des Kollektivs aller berechneten Tageswerte des gesamten Untersuchungszeitraums lag im Bereich zwischen $k = 2 \cdot 10^{-9}$ und $1,9 \cdot 10^{-10}$ m/sec.

Da die beobachteten diagenetischen Einlagerungsverdichtungen zu spröden Schichtaufbauten führen, sind solche Konvektionssperren jedoch ausschließlich für setzungsstabile Deponiekörper geeignet und als spezifische Anpassung an Deponien mit den Eigenschaften der Monodeponien eisenhüttenstämmiger Mineralreststoffe zu sehen.

1 Einleitung

1.1 Deponiecharakteristik von Betriebsdeponien der Eisen- und Stahlindustrie

Auf stahlindustrie-typischen Betriebsdeponien werden produktionsspezifische mineralische Massenabfälle, d.h. vor allem basische Reststoffe aus der Stahlwerks-Schlacken-Produktaufbereitung, Recyclingreste des sogenannten Feuerfestausbruchs aus der Neuzustellung der feuerfesten Ausmauerung metallurgischer Gefäße (z.B. Bauxit, Dolomit, Magnesit, Schamotte) sowie Stäube und Schlämme aus den Gasreinigungsprozessen (z. B. Feinstfraktionen aus Elektro-Filteranlagen oder entwässerter Feinststaub aus der Nassreinigungsstufe des Hochofengases) aber auch Bodenaushub und mineralischer Bauschutt aus innerbetrieblichen Baumaßnahmen abgelagert.

Es fehlen organisch abbaubare Abfälle, so dass weder die für Hausmülldeponien typischen aeroben und anaeroben Umsetzungsprozesse mit thermischer Energiefreisetzung, Rotte-Gasbildung oder Entstehung organischer Säuren verbunden mit Materialabbau und Deponiekörpersetzung zu besorgen sind, noch ein Potential für eine biologische oder thermische Vorbehandlung besteht. Die Deponiekörper sind bei lagenweise verdichtetem Einbau der Stoffe bodenmechanisch stabil, d.h. Oberflächenabdichtungen werden durch Deponiekörpersetzungen nicht beeinträchtigt.

1.2 Rechtscharakter der abzudichtenden Betriebsdeponien

Nach Umsetzung der Europäischen Deponierichtlinie von 1999 in Deutsche Bundesgesetze durch Ergänzung und Änderung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG, 1994) mit seinen Verwaltungsvorschriften, insbesondere den technischen Anleitungen ‚Abfall‘ (TA-Abf 1991) und ‚Siedlungsabfall‘ (TA-Si 1993) durch die Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV 2001) und die Deponieverordnung (DepV 2002) entsprechen diese typischen Betriebsdeponien i.d.R. dem Rechtsstatus **„Monodeponien für industrielle Massenabfälle“**.

Sehr häufig fallen zumindest größere Teilabschnitte dieser Monodeponien aufgrund der mindergefährlichen chemischen Eigenschaften der abgelagerten Abfälle unter die **Deponieklasse 1 (DK 1)**.

1.3 Mineralstoffe der Eisen- und Stahlindustrie als Dichtungsbaustoff

Die spezifischen Eigenschaften dieser Deponien lassen angepasste Alternativlösungen innerhalb der rechtlich vorgegebenen Regelabdichtungssysteme, insbesondere der Oberflächenabdichtung, umwelttechnisch und wirtschaftlich sinnvoll erscheinen.

Im Rahmen eines Betriebsforschungsvorhabens am Standort der Dillinger Hüttenwerke, wird insbesondere der Einsatz von Mineralstoffen aus der Stahl- und Schlacken-Produktion als Substitut für „natürliche“ Tonmineralien geprüft. Wesentliche Teile der bisherigen Projektdurchführung waren Bestandteil eines geförderten Pilot- und Demonstrationsprojektes der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl (EGKS / ECSC)¹.

2 Untersuchte gemischtkörnige Mineralmischungen

Grundlage der Mineralauswahl bildeten Beobachtungen zum Verhalten eisenhüttenstämmiger Mineralstoffe sowie Thesen und Erkenntnissen aus vorliegenden Laboruntersuchungen (ARLT 1999).

Verschiedene Dichtungsbaustoffe auf der Basis eisenhüttenstämmiger Mineralien wurden hierzu im Zeitraum 1994-1998 von unterschiedlichen europäischen Stahlwerken² im Labormaßstab auf ihre chemisch-physikalische Eignung hin untersucht. Ziel war in jedem Falle die Herstellung einfacher Zwei- bis Dreikomponenten-Mischungen mit geeigneten Dichtungseigenschaften und prognostizierbarem Langzeitverhalten.

Besondere Berücksichtigung fanden dabei die nutzbaren spezifischen physikalisch-chemischen Eigenschaften der eisenhüttenstämmigen Mineralien (Korngrößenverteilungen, Wassergehalte, Basizität und Mineralneubildungspotentiale).

¹ Projekt: "Innovative use of iron and steel making by-products for the sealing and securing of steel industry deposits", 7215-PA-028, 1999 - 2003

² Im Feldversuch mit Dichtungsbaustoffen vertreten sind neben der AG der Dillinger Hüttenwerke (DH) die Stahlwerkstandorte ARCELOR (ehem. EKOSTahl, Brandenburg) und ARCELOR (ehem. ProfilARBED, Luxembourg)

Die für die Dichtungsbaustoffe verwendeten Rohstoffe entstammen überwiegend den Hochtemperaturprozessen der Eisen- und Stahlindustrie:

- Feinststaubfraktion der Nassreinigungsstufe des Hochofengases (HO-Feinststaub, im Folgenden in Baustoffmischungsangaben als **H** bezeichnet),
- Elektrolichtbogenofenschlacke (EOS, **E**),
- Schlacken der Sekundärmetallurgie der Stahlherstellung (Pfannenschlacke, **P**),
- Reste der Stahlwerksschlacken-Produktaufbereitung (**R**)

bzw. wurden als Vergütungs- oder Zuschlagstoffe am Markt zugekauft:

- aufbereiteter "kaolinitischer" Tonstein (**T**) (Fa. Hochwaldton, Saarland),
- Polymervergütetes Bentonit ("Systemkomponente TRISOPLAST[®]", **GID**),
- Alkalisilikat (Na-Silikat, Wasserglas „Hydrostab W“),
- Klärschlamm der kommunalen Abwasserreinigung (Luxembourg).

Entsprechend den Laborergebnissen wurden als besonders erfolgversprechend einfache Mineralmischungen von abgeseibter Pfannenschlacke (Maximal-Korn 16 mm) und Feinststaub aus der Nassreinigungsstufe des Hochofengases (HO-Feinststaub) in unterschiedlichen Mischungsanteilen und verschiedener Herkünfte (EKOStahl und DH) ebenso ausgewählt, wie vergütete Mischungen aus Elektroofenschlacke des Stahlwerkstandortes ProfilARBED in Luxemburg. Mit dem niederländischen Dichtungsbaustoff-Hersteller **GID** wurde eine Versuchsmischung aus polymervergütetem Tonmineral Bentonit und Pfannenschlacke der DH als Füllstoff hergestellt.

Die aus Pfannenschlacken und HO-Feinststaub zusammengesetzten Mischungen wurden als gemischkörnige Dichtungsbaustoffe anhand der spezifischen Korngrößenverteilungen der Komponenten unter Berücksichtigung des FULLER-Modells optimiert.

Zusätzlich konnte für diese Mischungen eine nachträgliche Einlagerungsverdichtung aufgrund hoher Kalzium-Anteile der Stahlwerksschlacken beobachtet werden.

Untersuchungen an älteren, locker geschütteten Ablagerungsflächen der Monodeponie der Dillinger Hüttenwerke konnten bereits zeigen, dass offensichtlich mobiles $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vorliegt. Dieses wird unter CO_2 -Verbrauch in wässriger Lösung spontan zu CaCO_3 umgewandelt. Die Ausfällung von großen Mengen CaCO_3 an Porenwasseraustritten, also dort, wo die Lösung mit dem Atmosphären- CO_2 in Berührung kommt, deutet auf eine starke Untersättigung der Porenluft mit CO_2 hin. (SCHACK-KIRCHNER, SCHMID 2001). In das Material hinein diffundierendes CO_2 wird an den Partikeloberflächen verbraucht. Makroporen, Risse werden dadurch sukzessive verkleinert, solange Gas- und Wasserzutritt möglich ist und Ca-Hydroxide aus den Kornpartikeln entlang eines Sättigungsgradienten in die Porenräume nachgeliefert werden.

Dieser Effekt ist für diese Dichtungsbaustoffe von großer Bedeutung, da die resultierende Einlagerungsverdichtung eine zeitliche Abnahme der Wasserleitfähigkeiten bewirkt, die im Laborversuch im Auftrag der Dillinger Hütte durch die Universität Trier 1997 bestätigt werden konnte (**Abb. 1**). Die Versuche erfolgten entsprechend DIN 18130 mit Standard-Durchlässigkeitszellen anhand von Prüfkörpern nach Vorverdichtung auf annähernd Proctordichte.

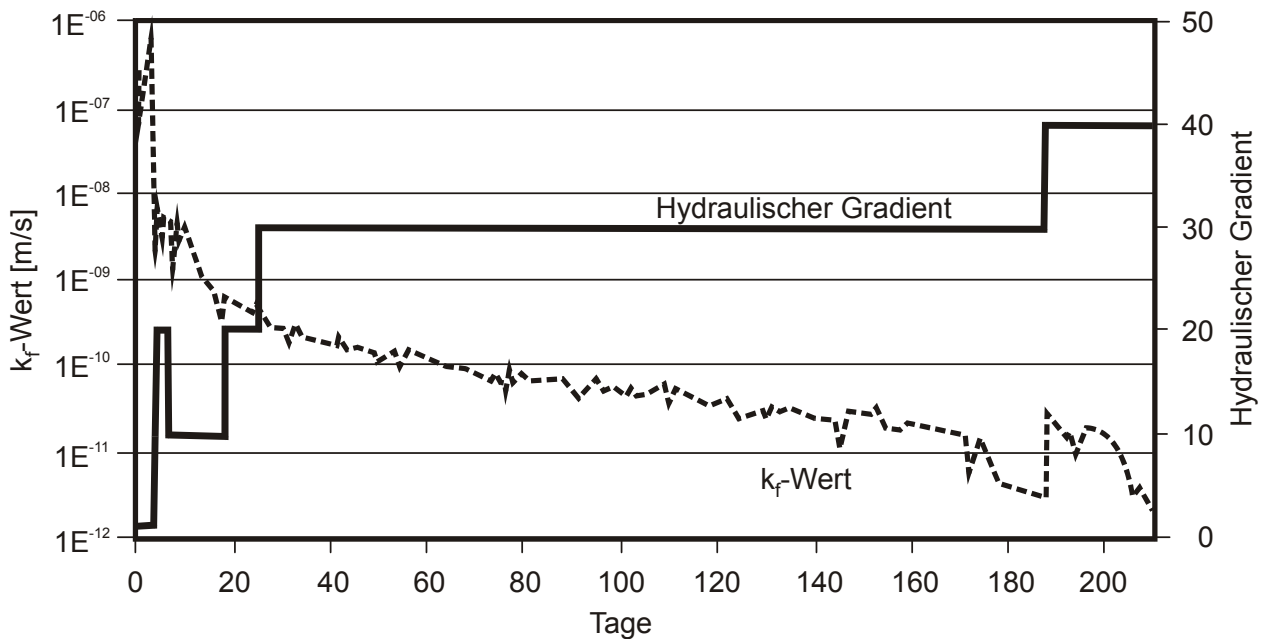


Abb. 1: Entwicklung des Wasserleitfähigkeitskoeffizienten k_f einer Versuchsmischung aus Pfannenschlacke und HO-Feinststaub (1:1) innerhalb von 220 Tagen

Anhand der positiven Vorergebnisse wurden 6 Dichtungsbaustoffe mit unterschiedlichen Anteilen eisenhüttenstämmiger Mineralstoffe als Prüfvarianten für weiterführende pilotmaßstäbliche in-situ-Untersuchungen in kompletten Oberflächenabdichtungssystemen entsprechend dem Regelprofil nach DepV (DK1) ausgewählt (**Tab. 1**).

Tab. 1: Vorauswahl alternativer mineralischer Dichtungsbaustoffe unter Nutzung eisenhüttenstämmiger Mineralien:

Mischung	Mischungsverhältnis [Gew.-%]	Kurzbezeichnung	Hersteller
Pfannenschlacke : HO-Feinststaub	1 : 1	P:H 1:1	DH
Pfannenschlacke : HO-Feinststaub	2 : 1	P:H 2:1 DH	DH
Pfannenschlacke : HO-Feinststaub	2 : 1	P:H 2:1 EKO	EKOStahl
Pfannenschlacke : polymervergütetes Bentonit	87 : 13	P-Trisoplast	DH-GID
Ton : HO-Feinststaub	1 : 1	T:H 1:1	DH
Wasserglas-Klärschlamm-vergütete Elektroofenschlacke mit Anteilen von Pfannenschlacke und Flugasche	k. A.	E+	ProfilARBED

3 Feldversuche

Zur vergleichenden Prüfung dieser Dichtungsbaustoffe unter den Randbedingungen großtechnischer Mischung-, Einbau- und Verdichtungsverfahren sowie den Einwirkungen unter realen standortspezifischen Randbedingungen werden am Standort Dillinger Hütte seit 2001 Feldversuche durchgeführt.

Wesentliches Merkmal dieser Feldversuche ist die gleichzeitige Messung der Wasserhaushaltsdaten der Prüfvarianten und vergleichend der von drei Referenzvarianten in hangparallel angeordneten Lysimeterfeldern von je 200 m² Fläche (ARLT, WOLSFELD 2002).

3.1 Referenzvarianten

Den in **Tab. 1** genannten Prüfvarianten wurden dabei als Referenzsysteme drei i.d.R. genehmigungsfähige Oberflächenabdichtungssysteme für DK1 gegenübergestellt:

- die Standard TA-Si DK1 Regelabdichtung auf Basis einer 50 cm mächtigen min. zweilagigen Tondichtung
- ein Abdichtungssystem auf Basis einer sog. "zweilagigen" geosynthetischen Tondichtungsbahn GTD (Bentonitmatte) gemäß Qualitäts-Sicherungs-Vorgaben des Anbieters und
- ein Abdichtungssystem auf Basis einer 10 cm mächtigen polymervergüteten Bentonit-Sandmischung (TRISOPLAST[®]) gemäß Qualitäts-Sicherungs-Vorgaben des Anbieters.

3.2 Das zugrundegelegte Wasserhaushalts-Bilanzmodell

Die zur Beschreibung des Wasserhaushalts der Versuchsvarianten direkt oder indirekt zu erfassenden Parameter folgen entsprechend der künstlich aufgebauten Bodenschichtung (**Abb. 3**) der vereinfachten Bilanzgleichung:

$$P = ET_{\text{real}} \pm \Delta S_B + Q_{\text{surf}} + Q_{\text{dr}} + Q_{\text{perc}}$$

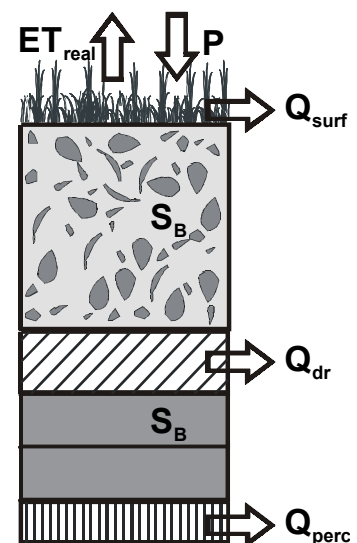


Abb. 3: Darstellung der Wasserhaushalts-Parameter für das Versuchsprofil einer Oberflächenabdichtung DK1

4 Ergebnisse

Die Errichtung der Lysimeter erfolgte im Jahr 2001. Belastbare Daten wurden aufgezeichnet seit April 2002. Die Ergebnisse beziehen sich auf einen ausgewerteten Untersuchungszeitraum von 32 Monaten bis Dezember 2004, beinhalten also das Trockenjahr 2003 als besonderes Belastungsjahr für wassergehaltsabhängig gefährdete Tondichtungen. Insgesamt wurden im Untersuchungszeitraum 1562 l/m² Niederschlag am Versuchsstandort gemessen (**Abb. 4**).

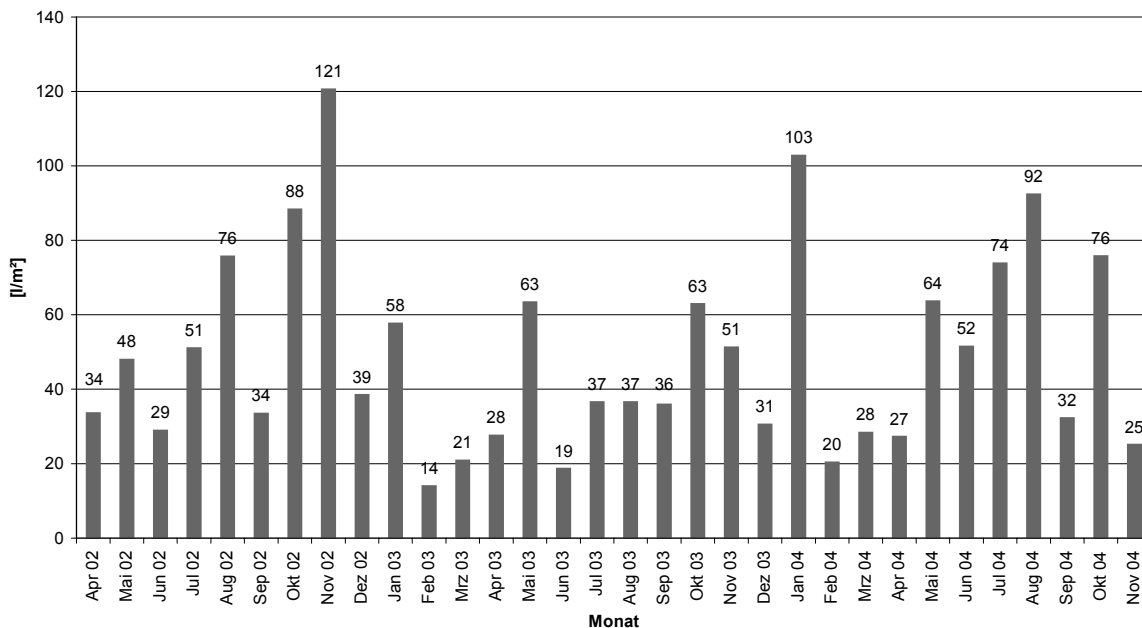


Abb. 4: Monatsverteilung der am Versuchsstandort eingetragenen Niederschlagsmengen im Zeitraum April 2002 bis November 2004

4.1 Wasserleitfähigkeit nach Einbau

Direkt nach Einbau der Dichtungsmaterialien im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung ermittelte kf-Werte nach DIN 18123 wurden in **Tabelle 2** zusammengefasst.

Tab. 2: Im Rahmen der Qualitätsüberwachung im Feldversuch direkt nach Einbau der technischen Dichtschichten ermittelte kf-Werte der Dichtungsbaustoff-Varianten

Var.-Nr.	Baustoff	kf [m/sec]	Standardabweichung
1, 6	P:H 1:1	5,98 E-9	2,86 E-9
2	Bentonitmatte	2,30 E-11	Herstellerangabe
3	TRISOPLAST	2,80 E-11	2,02 E-11
4	P:H 2:1	1,03 E-7	5,23 E-8
5	P-Trisopl.	1,56 E-7	1,00 E-7
7	P:H 2:1	2,3 E-8	8,49 E-9
8	T:H 1:1	1,37 E-9	5,61 E-10
9	Ton	9,33 E-11	4,05 E-11
10	E+	1,9 E-8	2,68 E-8

4.2 Weitere Entwicklung der Wasserleitfähigkeit

Anhand der Wasserhaushaltsdaten kann die dynamische Entwicklung der Dichtungsbaustoffe über die 32monatige Beobachtungszeit durch rückgerechnete k-Werte dargestellt werden.

$$k[m/sec] = \frac{Q_{perc} [m^3 / (m^2 * sec)]}{((Aufstau Q_{dr} + Q_{perc} [m]) + Schichtmächtigkeit dl[m]) / Schichtmächtigkeit dl[m]}$$

Beispielhaft werden Ergebnisse für die Varianten 1 und 6 mit gleichem Dichtungsbaustoff P:H 1:1 in **Abb. 5** und **6** in ihrer k-Wertentwicklung vorgestellt. Ermittelt wurden auch die jährlichen 95%-Quantile aller Tages-k-Werte, d.h. der k-Wert welcher von 95% der Beobachtungen unterschritten wird.

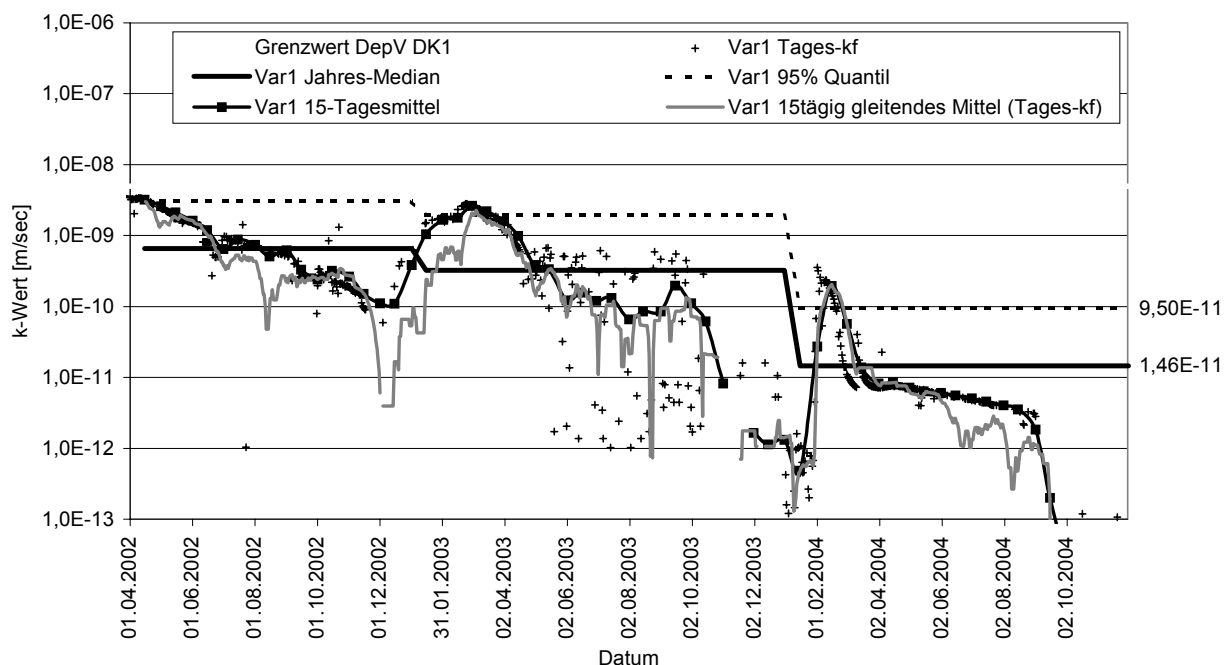


Abb. 5: Variante 1: k-Werte aus Rückrechnung nach Darcy ($Q = k * (i/d)$) in täglicher Auflösung auf Basis der gemessenen Flüsse. Mittelwertbildung des jährlichen Median, des jährlichen 95%-Quantils, der 15tägigen Summenwerte und eines 15tägigen gleitenden Mittels im Vergleich zum gesetzlichen Vorgabewert DK1.

Sehr deutlich ist eine zunehmende Wirksamkeit der Dichtungsschicht bei Variante 1 (P:H 1:1, 30cm Rekultivierungsboden) um 3 Zehnerpotenzen des Wasserleitfähigkeitskoeffizienten zu erkennen.

Die gleiche Baustoff-Variante, jedoch mit 100 cm mächtiger Rekultivierungsschicht (Variante 6, P:H 1:1) zeigte direkt am Anfang des Untersuchungszeitraumes (Frühjahr 2002) eine abnehmende Wasserleitfähigkeit von anfänglichen k-Werten um $1 \cdot 10^{-9}$ m/sec auf Werte um $5 \cdot 10^{-11}$ m/sec (**Abb. 6**). Eine weitere leichte Verbesserung der Dichtungswirksamkeit ist bis Februar 2004 zu erkennen. Das Dichtungsmaterial reagiert

dann kurzzeitig auf die erhöhte hydraulische Belastung der Spätwinterniederschläge 2004, bleibt insgesamt jedoch im Niveau unter k-Werten von 10^{-10} m/sec. Entsprechend werden 95%-Quantile der Wasserleitfähigkeit von $3 \cdot 10^{-10}$ m/sec über den gesamten Untersuchungszeitraum sicher eingehalten.

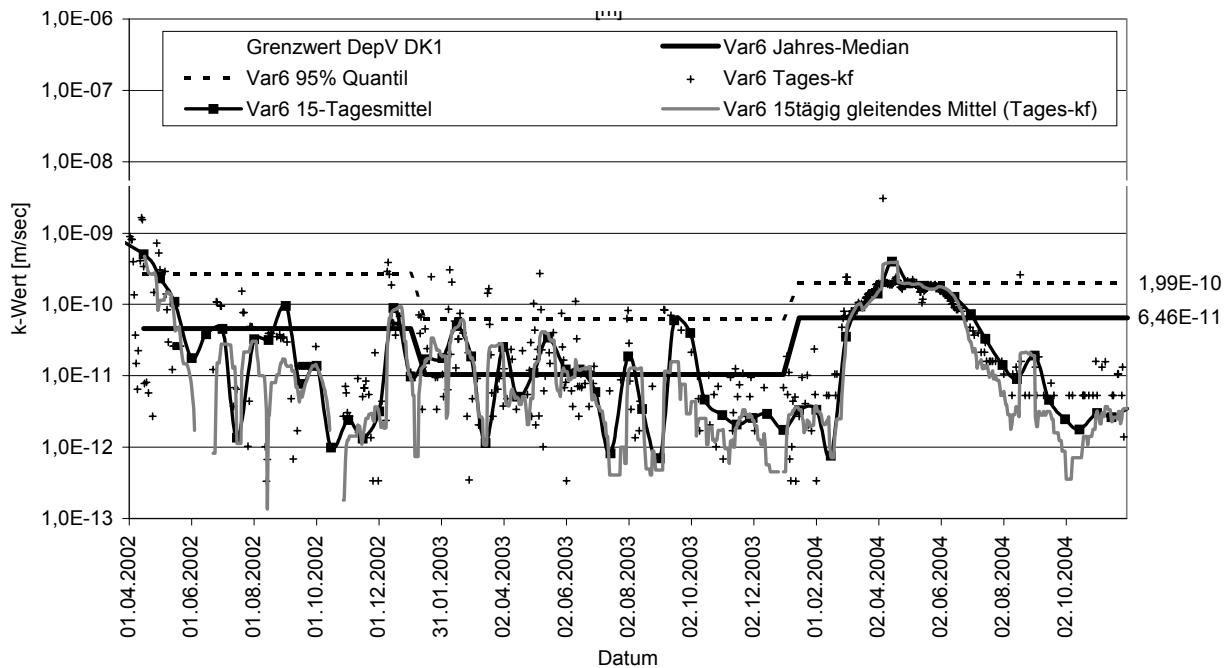


Abb. 6: Variante 6: k-Werte aus Rückrechnung nach Darcy ($Q = k \cdot (i/d)$) in täglicher Auflösung auf Basis der gemessenen Flüsse. Mittelwertbildung des jährlichen Median, des jährlichen 95%-Quantils, der 15tägigen Summenwerte und eines 15tägigen gleitenden Mittels im Vergleich zum gesetzlichen Vorgabewert DK1.

Diese Entwicklungstendenzen bestätigen damit die im Labormaßstab beobachteten nachträglichen Einlagerungsverdichtungen.

Im Vergleich zeigte die Prüfvariante mit einer 50%igen Substitution von Ton durch HO-Feinststaub (Var8, T:H 1:1) hingegen eine recht deutliche zyklische Entwicklung der rückgerechneten Wasserleitfähigkeitskoeffizienten in plausibler Übereinstimmung mit jahreszeitlichen Wassergehaltsänderungen (**Abb. 7**).

Diese zyklischen Änderungen des k-Wert-Niveaus können im Analogieschluss auf beschriebene Beobachtungen zu rein tonmineralischen Dichtungsbaustoffen plausibel auf den quellungsfähigen Tonanteil von 50 Gew.-% der Baustoffmischung zurückgeführt werden. Insgesamt bleiben die Indikatorwerte jedoch im gesamten Untersuchungszeitraum unter dem Vorgabewert der DepV.

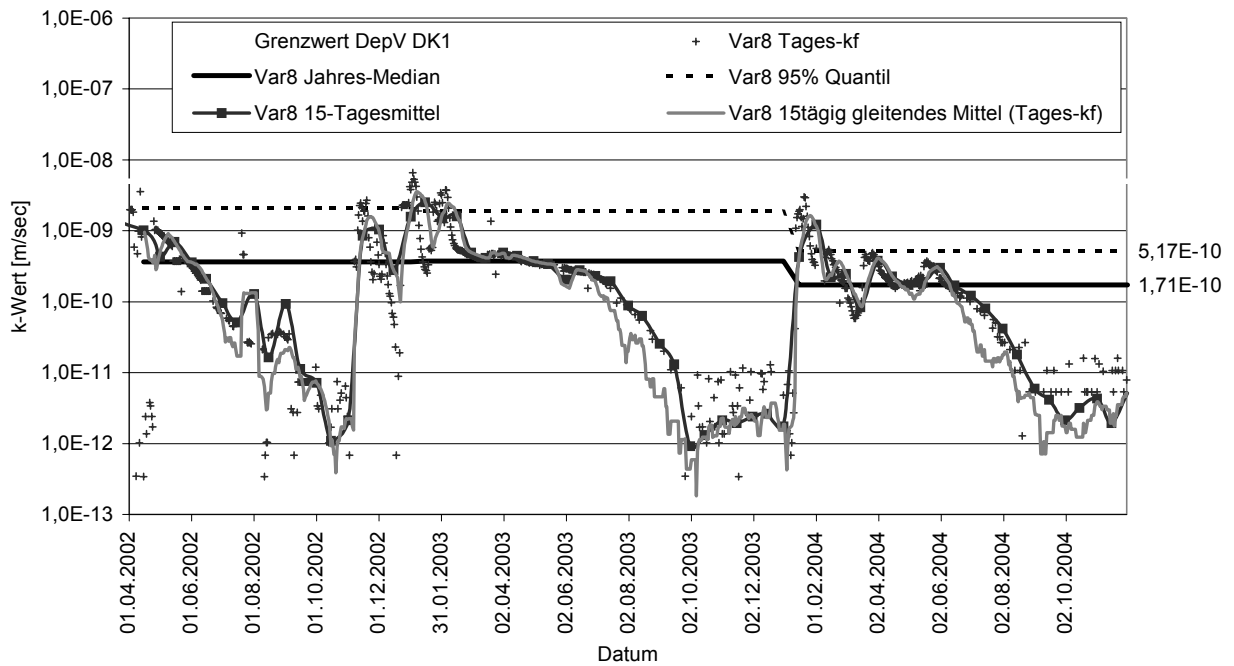


Abb. 7: Variante 8: k-Werte aus Rückrechnung nach Darcy ($Q = k \cdot (i/d)$) in täglicher Auflösung auf Basis der gemessenen Flüsse. Mittelwertbildung des jährlichen Median, des jährlichen 95%-Quantils, der 15tägigen Summenwerte und eines 15tägigen gleitenden Mittels im Vergleich zum gesetzlichen Vorgabewert DK1.

Für alle Varianten können mit Hilfe dieser gerechneten k-Wert-Entwicklungen (**Tab. 3**) Tendenzen der Wirksamkeit aufgrund der unterschiedlichen Bodenbildungsprozesse (Gefügebildung, Einlagerungsverdichtung, Quellungszustände etc.) für den Beobachtungszeitraum abgeleitet werden

Tab. 3: Medianwerte aller rückgerechneten Tages-k-Werte für die Jahre 2002, 2003, 2004 und den gesamten Monitoringzeitraum 1.4.2002 – 30.11.2004 im Vergleich zum ermittelten kf-Wert bei Einbau

Mittelwerte	Var1 P:H 1:1	Ref2 GTD	Ref3 TRISO PLAST	Var4 P:H 2:1	Var5 P- Triso plast	Var6 P:H 1:1	Var7 P:H 2:1	Var8 T:H 1:1	Ref9 Ton	Var10 E+
bei Einbau	3,6 E-9	5 E-11	5,8 E-11	3,8 E-8	2,2 E-9	2,9 E-9	9,9 E-9	1,5 E-9	6,6 E-11	3,8 E-8
2002	6,5 E-10	7,7 E-9	1,1 E-11	1,3 E-9	k. A.	4,6 E-11	k. A.	3,6 E-10	1,1 E-11	8,9 E- 11
2003	3,2 E-10	1,1 E-8	5,0 E-12	1,2 E-9	k. A.	1,0 E-11	k. A.	3,8 E-10	7,4 E-12	6,5 E- 13
2004	1,5 E-11	4,6 E-11	3,6 E-11	4,2 E-11	2,0 E-10	6,5 E-11	1,1 E-11	1,7 E-10	4,8 E-12	5,9 E- 11
gesamt	3,1 E-10	6,3 E-9	1,7 E-11	8,3 E-10	2,0 E-10	3,9 E-11	1,1 E-11	3,0 E-10	7,6 E-12	4,6 E-11

5 Schlussfolgerungen

Der Einsatz technogener Böden als Oberflächenabdichtungssystem entsprechend dem Regelsystem für Deponien der Deponieklasse 1 beinhaltet die gezielte technische Herstellung von

- einer funktional als Konvektionssperre gegen einsickerndes Niederschlagswasser verdichtet eingebauten Mineralschicht,
- drainierenden Schichten grober, kornstabiler Lagen sowie
- einer Abdeckung mit einer, der geplanten Folgenutzung angepassten, Vegetationstragschicht.

Ab dem Zeitpunkt des Einbaus unterliegen diese technogenen Bodensysteme, wie natürlichen Böden auch, aufgrund meteorologischer, biologischer, mineralogischer oder hydraulischer Energieeinträge der Bodenentwicklung. Die damit verbundenen Prozesse unterscheiden sich aufgrund der eingesetzten Mineralien und der Funktion der jeweiligen Systemkomponente in ihrer Wirkung auf die nachhaltige Systemleistung.

Auf Basis der innerhalb von 32 Monaten gemessenen Wasserhaushaltsdaten der unter dynamischen, jedoch gleichen Randbedingungen beobachteten Systemvarianten in ihrer spezifischen Entwicklung, sind plausible Tendenzen dieser Prozesse und damit zur langfristigen Funktionserfüllung ableitbar.

Die Systemkomponente „technische Dichtschicht“ wurde in der Untersuchung sowohl standardmäßig aus quellfähigen Tonmineralen als auch vergleichend aus gemischtkörnigen Gemengen eisenhüttenstämmiger Mineralien aufgebaut.

Für tonmineralische Dichtungsbaustoffe sind funktionsgefährdende Bodenbildungsprozesse insbesondere durch Gefügebildung in der Literatur beschrieben (MELCHIOR 1996, RAMKE ET AL. 2002). Im hier vorgestellten Feldversuch ist dies noch nicht erkennbar.

Für die alternativen Dichtungsbaustoffe mit teilweiser oder vollständiger Substitution von Tonmineralien durch Mineralien aus der Eisen- und Stahlproduktion konnte in der vorliegenden Untersuchung gezeigt werden, dass die geforderte Dichtungsleistung auch im Feldversuchsmaßstab erreicht wird.

Insbesondere wurde für die Dichtungsbaustoffe auf Basis gemischtkörniger Gemenge aus freikalkhaltigen basischen Pfannenschlacken sowie Feinststäuben der Hochofengasreinigung anhand der Entwicklung der Wasserleitfähigkeit belegt, dass durch den Prozess der Einlagerungsverdichtung eine mittel- bis langfristig fortlaufende Abnahme der wasserleitenden Porenkontinuitäten erfolgt. Dies lässt nachhaltig stabile und langfristig gebrauchstüchtige Dichtungsbaustoffe erwarten.

Im Vergleich zu tonmineralische Konvektionssperren mit hohen Anteilen quellfähiger Tonminerale, ist der zyklische Einfluss wassergehaltsabhängiger Quellungszustände auf die Dichtungswirkung in den untersuchten gemischtkörnigen Mineraldichtungen geringer und die langfristige Prognose einer zeitlichen Veränderung der Dichtungswirksamkeit ist aufgrund unterschiedlicher Bodenbildungsprozesse für Dichtungsbaustoffe aus kalkhaltigen Mineralstoffen der Stahlindustrie ebenfalls günstiger.

Da die beobachteten diagenetischen Einlagerungsverdichtungen zu spröden Schichtaufbauten führen, sind solche Konvektionssperren jedoch ausschließlich für setzungsstabile Deponiekörper geeignet und als spezifische Anpassung an Deponien mit den Eigenschaften der Monodeponien eisenhüttenstämmiger Mineralreststoffe zu sehen.

Literatur

- ARLT, K.J., 1999: Einsatzmöglichkeiten von eisenhüttenmännischen Nebenprodukten für die Abdichtung von Monodeponien am Beispiel der Halde der Dillinger Hütte. In: Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten '99. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1999
- ARLT, K.J., WOLSFELD, N., 2002: Zielsetzung und Feldversuchsaufbau für vergleichende Wasserhaushaltsbetrachtungen in alternativen Oberflächenabdichtungen für Halden der Stahlindustrie. In: Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten 2002. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- MELCHIOR, S. 1996: Die Austrocknungsgefährdung von bindigen mineralischen Dichtungen und Bentonitmatten in der Oberflächenabdichtung – Ergebnisse von mehrjährigen In-Situ-Versuchen und Aufgrabungen auf der Altdeponie Hamburg-Georgswerder. In: MAIER-HARDT U. (Hrsg.): Geologische Barriere, Basisabdichtung, Oberflächenabdichtung – Möglichkeiten zur standortbezogenen Optimierung. 3. Deponie-Seminar des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz am 30. Mai 1996 in Bingen-Büdesheim/Rhein. Selbstverlag, Mainz, 40 S.
- RAMKE ET AL., 2002: Austrocknungsverhalten mineralischer Abdichtungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen, Tagungsband zum Statusworkshop, in: Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 3, Höxter, 474 S.
- SCHACK-KIRCHNER H., SCHMID, TH. 2001: Infiltration in die Flanken einer eisenhüttenmännischen Halde. Abschlussbericht einer Auftragsuntersuchung, unveröffentlicht, 22 S.

