

Angepasste Oberflächenabdichtungen für Monodeponien der Stahlindustrie

–mehrfähriges Monitoring der 12 Testfelder am Standort der Dillinger Hütte–

Dr.-Klaus.-J. Arlt / Dipl.-Forstw. Norbert Wolsfeld
AG der Dillinger Hüttenwerke, Dillingen/Saar

1 Einleitung und Versuchsfragestellung

In einem Feldversuch am Standort der AG der Dillinger Hüttenwerke (Dillingen/Saar) werden 12 verschiedene Oberflächenabdichtungs-Systeme in Lysimeterfeldern auf ihre Eignung für Monodeponien der Stahlindustrie untersucht.

Hauptzielsetzung seitens der Stahlindustrie ist dabei die Ermittlung einer umwelttechnisch-wirtschaftlichen Bestlösung für eine Deponieoberflächensicherung der meist werksinternen Deponien für mineralische Reststoffe aus dem Produktionsprozess.

Eine Vorauswahl der zu untersuchenden Oberflächenabdichtungssysteme und -materialien erfolgte in spezifischer Anpassung vor allem

- bezüglich der **Deponieeigenschaften** typischer Monodeponien der Stahlindustrie,
- bezüglich der Einsatzmöglichkeiten eigener Mineralstoffe aus der Eisen- und Stahlherstellung für eine DepV-konforme **Mineraldichtschicht** und
- bezüglich der unter gegebenen klimatischen Standortbedingungen erreichbaren langfristigen Leistungsbeiträge einer zweckgerichteten **Rekultivierung**.

Die Deponieeigenschaften der am Versuchsstandort betriebenen "Eisenhüttenmännischen Halde" für mineralische Reststoffe des Werkes entsprechen nach Abfallrecht einer **Monodeponie für industrielle Massenabfälle der Deponieklasse 1**. Wesentlicher Unterschied zu Deponien für nicht vorbehandelten Siedlungsabfall ist das **Fehlen organischer Abfälle** im Deponiekörper. Die deponierten eisenhüttenstämmigen Mineralien entstammen überwiegend Hochtemperaturprozessen und bieten damit kein weiteres Potential und keine Notwendigkeit für eine thermische oder biomechanische Vorbehandlung. Weder sind durch Abbauprozesse verursachte Gasentwicklungen, noch damit verbundene Setzungen zu erwarten. Die Deponiekörper sind daher bereits bei lockerer Schüttung **bodenmechanisch sehr stabil** und erreichen bei dem am Standort praktizierten lagenweise verdichteten Einbau EV_2 -Werte über 100 MN/m². Diese Eigenschaften machen Anpassungen der Eigenschaften einer mineralischen Dichtschicht gegenüber einer üblichen tonmineralischen Dichtungskomponente umwelttechnisch sinnvoll und wirtschaftlich interessant.

Insbesondere wurde im Sinne der **Ressourcenschonung** eine Substitution von "natürlichem" Ton durch geeignete Mineralien aus dem Produktionsprozess der Stahlindustrie selbst geprüft. 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 Stahlwerken¹ im Labormaßstab auf ihre chemisch-

¹ Im Feldversuch mit Dichtungsbaustoffen vertreten sind neben der AG der Dillinger Hüttenwerke (DH) die Stahlwerkstandorte ARCELOR (ehem. EKOSTahl, Brandenburg) und ARCELOR (ehem. ProfilARBED, Luxembourg)

physikalische Eignung als Dichtungsbaustoff untersucht. Ziel dieser Voruntersuchungen war die Herstellung einfacher Zwei- bis Dreikomponenten-Mischungen mit geeigneten Dichtungseigenschaften und positiv prognostizierbarem Langzeitverhalten. Besondere Berücksichtigung bei der Herstellung der mineralischen Dichtungsbaustoffe fanden nutzbare spezifische physikalisch-chemische Eigenschaften der eisenhüttenstämmigen Mineralien (Korngrößenverteilungen, Wassergehalte, Basizität und Mineralneubildungspotentiale). Im Feldversuch sollten die labormaßstäblich erreichten Eigenschaften auch unter großtechnischen Einbaubedingungen nachgewiesen und über einen mittelfristigen Zeitraum in ihrer Entwicklung beobachtet werden.

Die entsprechend der geplanten Folgenutzung vorzusehende **Rekultivierung** sollte zwei wasserhaushaltswirksame Funktionen maximieren. Während der Vegetationsperiode sollte der aktive Wasseraustrag über die Evapotranspirationsleistung maximiert werden. Außerhalb der Vegetationszeit sollte ein möglichst großer Bodenwasserspeicher einen Anteil des Niederschlagswassers bis zum Wiedereinsetzen der Vegetationsperiode zwischenspeichern oder das Überschusswasser langsam und kontinuierlich an die Drainage abgeben um das Auftreten von Druckwasserpotenzialen über den technischen Dichtschichten bzw. dem simulierten Deponiekörper so gering wie möglich zu halten. Es sollte anhand der im Feldversuch gemessenen Wasserhaushaltsdaten geprüft werden, in welchem Maße eine solche Rekultivierung an der Oberflächen-Barrierefunktion der untersuchten Dichtungssysteme wirksam wird.

2 Vorauswahl der Mineralmischungen für die Dichtungsbaustoffe

Die für die alternativen 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 polymer-vergütetem 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 kann für diese Mischungen eine nachträgliche Einlagerungsverdichtung aufgrund hoher Kalzium-Anteile der Stahlwerksschlacken erwartet werden. Beobachtungen an älteren, locker geschütteten Ablagerungsflächen vergleichbarer Mineralmischungen der Monodeponie der Dillinger Hüttenwerke zeigen, dass bei Wasserzutritt mobiles $\text{Ca}(\text{OH})_2$ unter CO_2 -Verbrauch dort, wo die Lösung mit dem Atmosphären- CO_2 in Berührung kommt, spontan zu CaCO_3 umgewandelt wird und zur Ausfällung von großen Mengen CaCO_3 führt. 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.

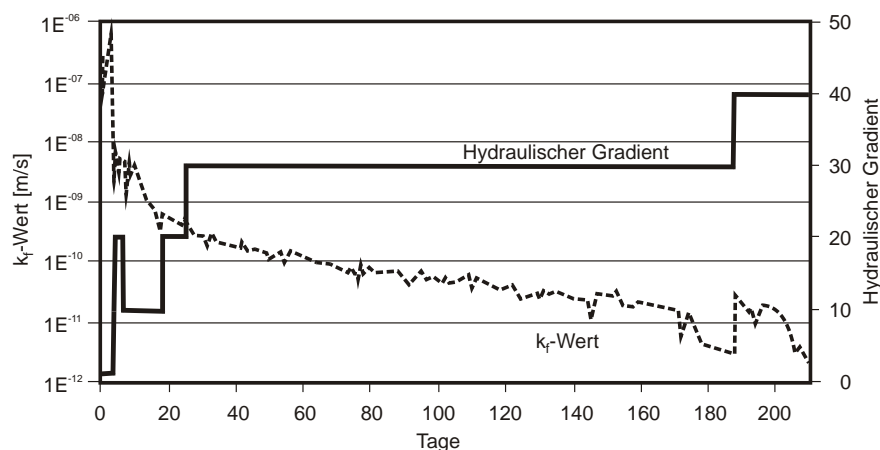


Abb. 1: Entwicklung des Wasserleitfähigkeitskoeffizienten k_f einer Versuchsmischung aus Pfannenschlacke und HO-Feinststaub (1:1) innerhalb von 220 Tagen

Anhand positiver Vorergebnisse wurden 6 Dichtungsbaustoffe mit unterschiedlichen Anteilen eisenhüttenstämmiger Mineralstoffe als Prüfvarianten für großmaßstäbliche Untersuchungen in kompletten Oberflächenabdichtungssystemen ausgewählt (**Tab. 1**).

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

Mischung	Verhältnis [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 vorausgewählten Dichtungsbaustoffe unter den Randbedingungen großtechnischer Mischung-, Einbau- und Verdichtungsverfahren sowie den Einwirkungen unter realen standortspezifischen Randbedingungen wurden an der Nordflanke der "Eisenhüttenmännischen Halde" der Dillinger Hütte z.T. innerhalb eines europäischen Forschungsprojektes der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl (EGKS / ECSC)² 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).

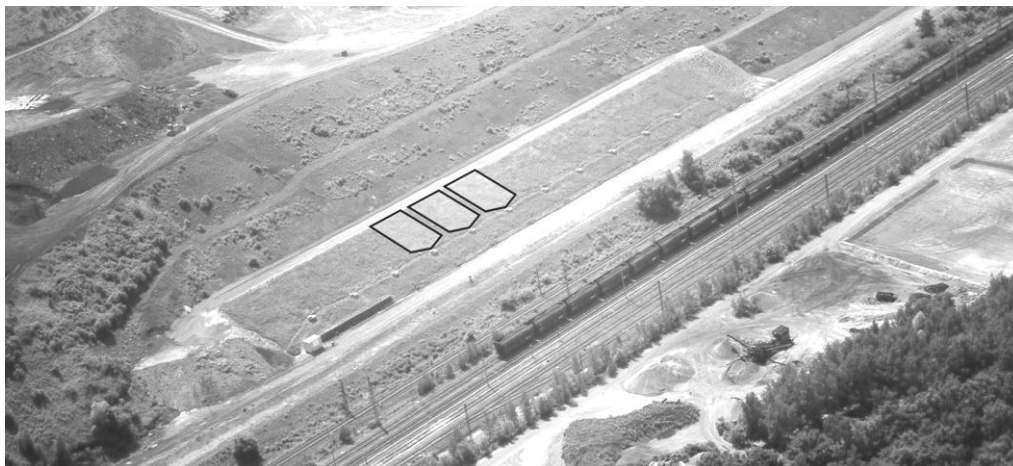


Abb. 2: Feldversuchsanlage am Deponiestandort Dillinger Hütte (exemplarisch sind 3 der 12 Lysimeterfelder eingezeichnet)

3.1 Aufbau der Versuchsvarianten

Die Versuchsprofile der Dichtungsbaustoff-Prüfvarianten wurden grundsätzlich am Regelprofil DK1 orientiert. Die vorgesehene (ton-) mineralische Dichtschicht wurde dabei durch alternative Mineralmischungen nach Tab. 1 substituiert (**Abb. 3**, obere 2 Profilreihen).

Eine der Dichtungs-Varianten wurde zur Abschätzung des Leistungsbeitrages der Rekultivierung an der Systemleistung in einem zusätzlichen Versuchsfeld mit einer nur 30 cm mächtigen Rekultivierungsschicht versehen.

Zur Prüfung, inwieweit der verdichtet aufgebaute Deponiekörper in Kombination mit einer geeigneten wasserhaushaltswirksamen Rekultivierung unter geeigneten klimatischen Randbedingungen bereits ausreichende Leistungsgrade als hydraulisches Oberflächen-Barriere-System erreicht, wurden zwei weitere Systemvarianten mit jeweils 200 cm mächtiger Rekultivierungs-Bodenschicht über einem 25 cm mächtigen simulierten Haldekörper einmal mit, einmal ohne Drainage vorgesehen (**Abb. 3**, untere Profilreihe).

² Projekt: "Innovative use of iron and steel making by-products for the sealing and securing of steel industry deposits", 7215-PA-028, 1999 - 2003

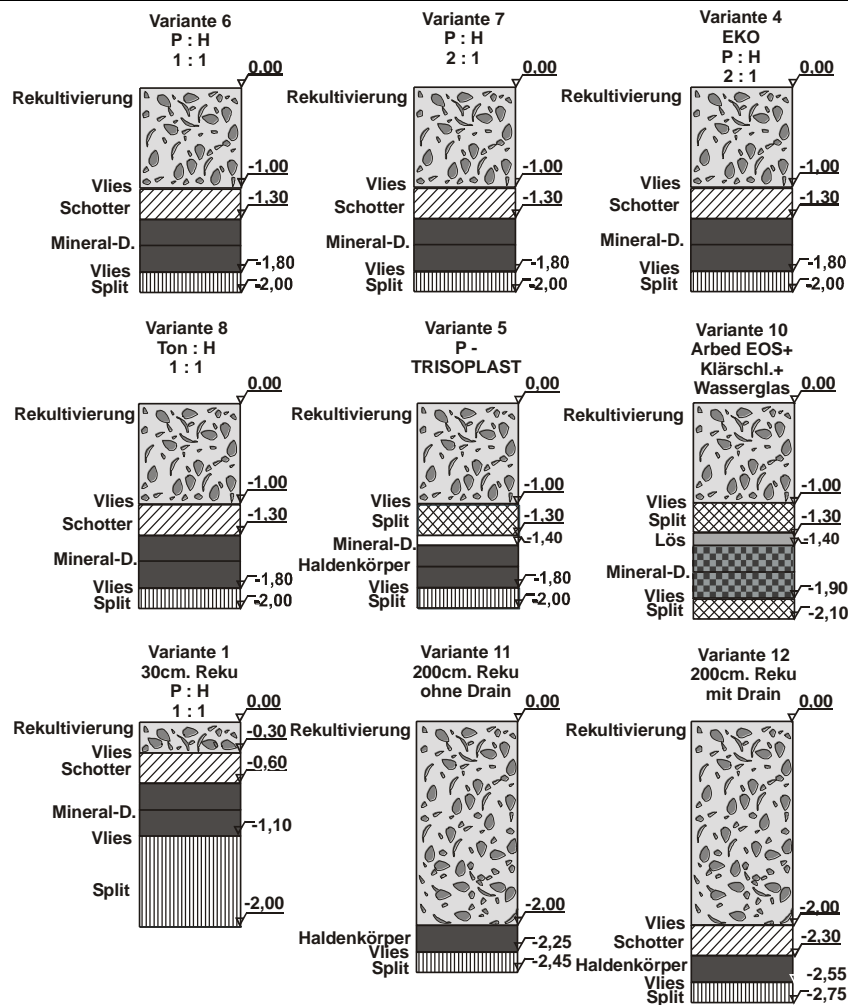


Abb. 3: Bodenprofile der 6 Dichtungssysteme auf Basis alternativer Mineraldichtschichten und 3 Varianten unterschiedlicher Rekultivierungsmächtigkeit (Tiefenangaben der Schichtgrenzen unter Geländeoberkante)

3.2 Referenzvarianten

Den in Tab. 1 genannten Prüfvarianten wurden 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.

3.3 Das zugrundegelegte Wasserhaushalts-Bilanzmodell

Die zur Beschreibung des Wasserhaushalts der Versuchsvarianten direkt oder indirekt zu erfassenden Parameter folgen entsprechend der künstlich aufgebauten Boden-Schichtung (Abb. 4) der vereinfachten Bilanzgleichung:

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

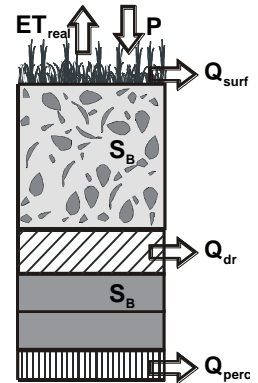


Abb. 4: Darstellung der Wasserhaushalts-Parameter für das Versuchsprofil einer Oberflächenabdichtung DK1

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. 5**).

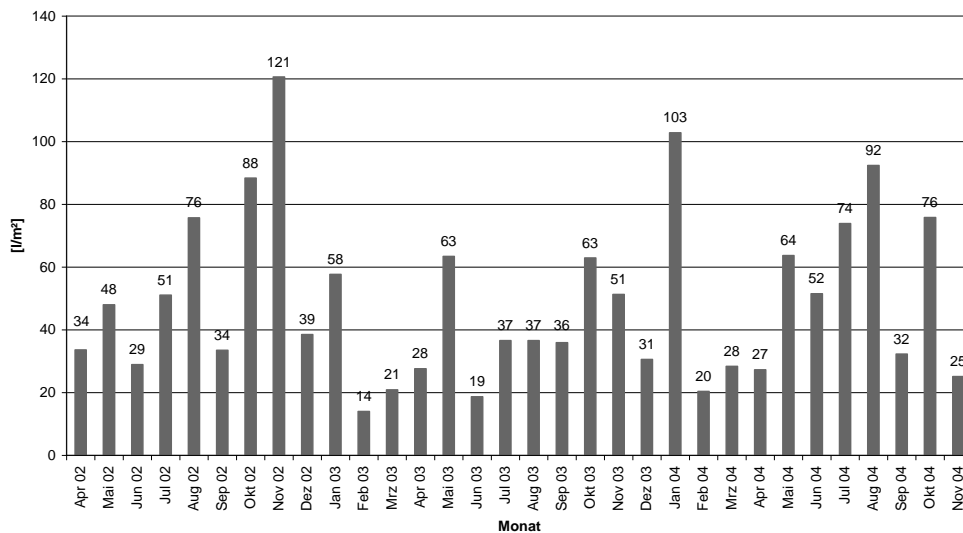


Abb. 5: Monatsverteilung der am Versuchsstandort eingetragenen Niederschlagsmengen im Zeitraum April 2002 bis November 2004

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 (nach Darcy) dargestellt werden.

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

Beispielhaft werden Ergebnisse für die Varianten 1 und 6 mit gleichem Dichtungsbaustoff P:H 1:1 in **Abb. 6** und **7** 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.

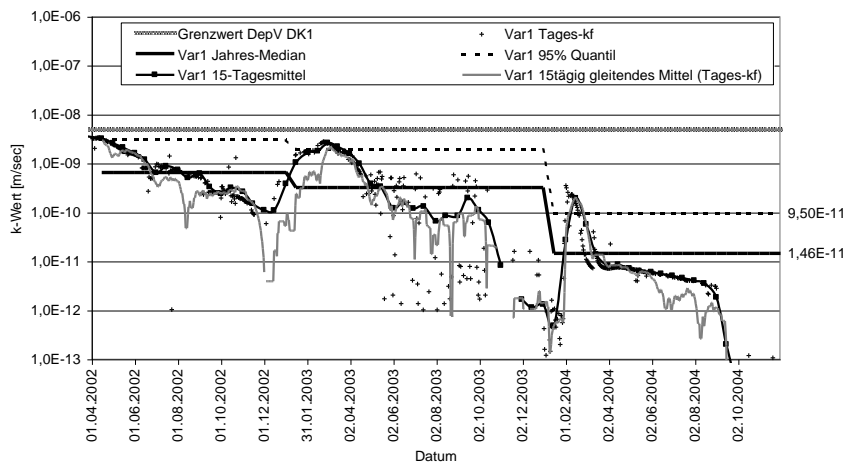


Abb. 6: Variante 1: k-Werte aus Rückrechnung nach Darcy ($Q = k * (i/d)$) in täglicher Auflösung auf Basis der gemessenen Flüsse. Mittelwertbildung des jährlichen Median, des jährlichen 95%-Quantils, der 15-tägigen Summenwerte und eines 15-tägigen gleitenden Mittels im Vergleich zum gesetzlichen Vorgabewert 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. 7**). 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.

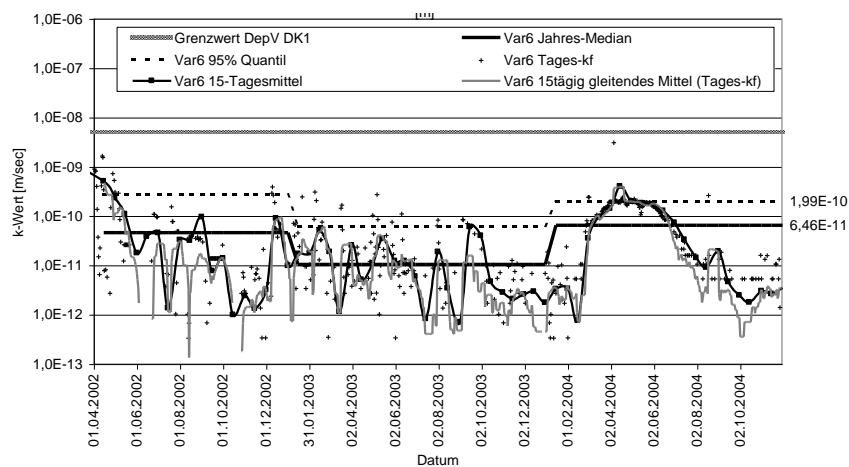


Abb. 7: Variante 6: k-Werte aus Rückrechnung nach Darcy ($Q = k \cdot (i/d)$) in täglicher Auflösung auf Basis der gemessenen Flüsse. Mittelwertbildung des jährlichen Median, des jährlichen 95%-Quantils, der 15tägigen Summenwerte und eines 15tägigen gleitenden Mittels im Vergleich zum gesetzlichen Vorgabewert 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. 8**).

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.

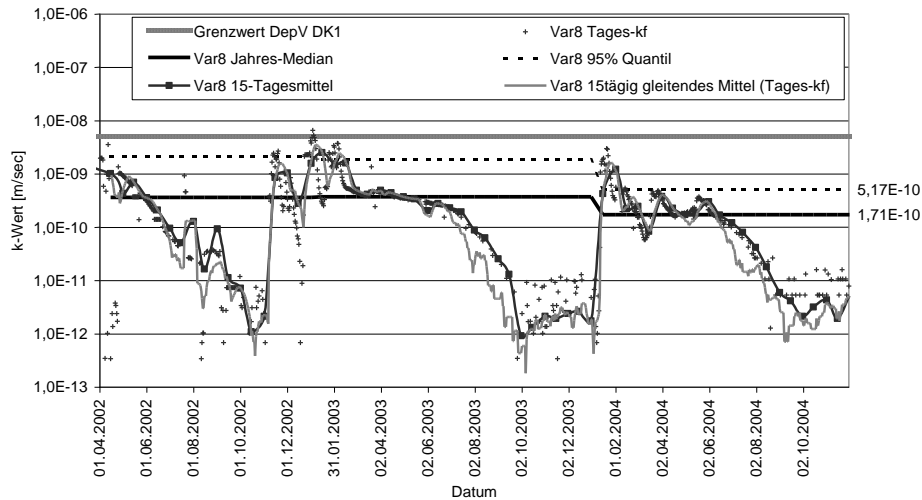


Abb. 8: Variante 8: k-Werte aus Rückrechnung nach Darcy ($Q = k \cdot (i/d)$) in täglicher Auflösung auf Basis der gemessenen Flüsse. Mittelwertbildung des jährlichen Median, des jährlichen 95%-Quantils, der 15tägigen Summenwerte und eines 15tägigen gleitenden Mittels im Vergleich zum gesetzlichen Vorgabewert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

Ab dem Zeitpunkt des Einbaus unterliegen Oberflächenabdichtungssysteme auf Basis mineralischer Dichtschichten als technogene Bodensysteme aufgrund meteorologischer, biologischer, mineralogischer oder hydraulischer Energieeinträge einer 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 „mineralische 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 trotz Trockenjahr 2003 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 Quellzustände 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.

6 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.
- WOLSFELD, N., ARLT, K.J., 2005: Feldversuche zu Oberflächenabdichtungssystemen auf Basis mineralischer Stoffe der Stahlindustrie. In: Verein zur Förderung der Bodenkunde in Hamburg (Hrsg.): Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Bd. 56 (ISSN: 0724-6382)