

Anlage 6

Permeabilitätsberechnungen

Geologische/Technische Barriere

Anlage 6.5 Ermittlung

Durchlässigkeitsbeiwert BA 1

Deponie Ihlenberg
Ergänzendes Verfahren zum Vorhaben Deponieabschnittstrennung mittels multifunktionaler Abdichtung (MFA) – RN 11/03
Anlage 6.5: Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert Bauabschnitt 1

1 Veranlassung

Im Bereich des BA 1 liegen hinsichtlich des Untergrundaufbaus keine eindeutig aussagefähigen Unterlagen vor. So läßt sich derzeit nicht sicher beurteilen, inwiefern der Untergrund die in der DepV2009 als auch gleichlautet in der DepV2020¹, Anhang 1, definierte Anforderung an eine mindestens 5,0 m mächtige Geologische Barriere mit einem k-Wert von $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s erfüllt.

Andererseits wurde in der „Gefährdungsabschätzung zum sogenannten Anlehnungsbereich“² also auch im Gutachten der Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik GmbH (GGU) vom September 2006³ festgestellt, dass in den dem Anlehnungsbereich zuzuordnenden Grundwasserabstrombrunnen der Grundwasserleiter (GWL) 1.1, 1.2 und 1.3 keine deponiebürtige Einflüsse erkennbar sind. Dies dokumentiert zudem der Bericht zum Grundwassermonitoring 2019⁴. Eine Funktion der Geologischen Barriere für den Bereich des BA 1 ist demnach unter Beachtung eines über einen Zeitraum von mehr als einen Vierteljahrhundert andauernden Deponiebetriebs indirekt gegeben.

Über vereinfachende hydrogeologische Betrachtungen erfolgte daher eine rechnerische Ableitung der durchschnittlichen „Gebirgsdurchlässigkeit“ des Untergrundes unterhalb des BA 1. Die entsprechenden Grundlagen und Ergebnisse werden nachfolgend dargelegt.

2 Grundlagen

Bezüglich der grundsätzlichen geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen am Standort der Deponie Ihlenberg wird auf die bestehenden Altunterlagen

-
- 1 Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 30. Juni 2020 (BGBl I Nr. 32, S. 1533)
 - 2 Deponie Ihlenberg, Gefährdungsabschätzung zum sogenannten Anlehnungsbereich, erstellt im Auftrag der IAG durch die Umtec | Prof. Biener | Sasse | Konertz, Partnerschaft Beratender Ingenieure und Geologen, Bremen, November 2011
 - 3 Deponie Ihlenberg Wirksamkeit und Langzeitbeständigkeit natürlicher und künstlicher Barrieren (Geotechnisches Gutachten), erstellt im Auftrag der IAG durch die Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik mbH, Moldertin, September 2006
 - 4 Deponie Ihlenberg, Bericht Grundwassermonitoring 2020, rev02, erstellt im Auftrag der IAG durch die Mull und Partner Ingenieurgesellschaft mbH, Hamburg, Juli 2021

**Deponie Ihlenberg,
Ergänzendes Verfahren zum Vorhaben Deponieabschnittstrennung mittels multifunktionaler Abdichtung (MFA) – RN 11/03
Anlage 6.5: Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert Bauabschnitt 1**

verwiesen. Diese sind im Erläuterungsbericht zum ergänzenden Verfahren der MFA aufgeführt. Auch enthält der Erläuterungsbericht des Antrages eine umfangreiche Zusammenfassung der Standort- und Projektrandbedingungen. Auf eine weitere diesbezügliche Darlegung wird daher an dieser Stelle verzichtet und auf die Antragsunterlagen verwiesen.

Die rechnerische Ableitung der durchschnittlichen Gebirgsdurchlässigkeit im Bereich des BA 1 erfolgt auf Basis folgender Grundsatzidee:

- Seit ca. 1981 erfolgt auf dem BA 1 eine Abfalleinlagerung.
- Bis Ende 2020, also ca. 39 Jahre nach Beginn der Abfalleinlagerung wurden keine deponiebürtigen Schadstoffe im Abstrombereich des BA 1 festgestellt.
- Im Gutachten der Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik GmbH (GGU) vom September 2006 wurden unter den dort beschriebenen Annahmen Grundwasserabstandsgeschwindigkeiten in den einzelnen Grundwasserleitern ermittelt. Demnach wird für den GWL 1.1 von einer Fließzeit des Grundwassers vom südliche Rand des BA 1 bis zur nächsten GW-Abstrommessstelle von ca. 2,5 bis 7,5 Jahren ausgegangen (siehe nachfolgendes Abbild 1, Fließzeit in Abhängigkeit von der Lage des Fließweges).
- In den nachfolgenden Betrachtungen wird eine Fließzeit des Grundwassers von der Aufstandsfläche des BA 1 bis zur nächstgelegenen Grundwassermessstelle im Abstrom von 6 Jahren unterstellt⁵.
- Dies entspricht im Mittel einer Abstandsgeschwindigkeit im GWL 1.1 von ca. 100 m/a. Es sei darauf hingewiesen, dass je nach angenommenen Durchlässigkeitsbeiwert und effektiver Porosität des Aquifer im Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten⁶ für den südöstlichen Deponieabstrombereich der Deponie Ihlenberg Abstandsgeschwindigkeiten von bis zu 7 bis 160 m/a benannt werden. Die vorbenannte aus GGU-2006 abgeleitete mittlere Abstandsgeschwindigkeit von 100 m/a befindet sich somit ebenfalls innerhalb der im Jahr 2003 im Handbuch benannten Spannbreite.

⁵ In den Darstellungen zur den Grundwassergleichen nimmt das GGU-Gutachten Bezug auf den Bericht „Räumliche Defizitanalyse für das Grundwassermessstellennetz der Deponie Ihlenberg“ der HYDOR Consult GmbH (2005). Die Grundwassergleichen wurden aus diesem Bericht von GGU übernommen und die Fließzeiten auf Basis gemittelter Durchlässigkeiten der anstehenden Böden in den Teilgrundwasserleitern berechnet (siehe Kap. 8 in GGU-2006). Die Aussagen in GGU-2006 zum Abstrombereich der BA 1 und 2 im GWL 1.1 beziehen sich vorwiegend auf die Grundwassermessstellen 50 und 78.

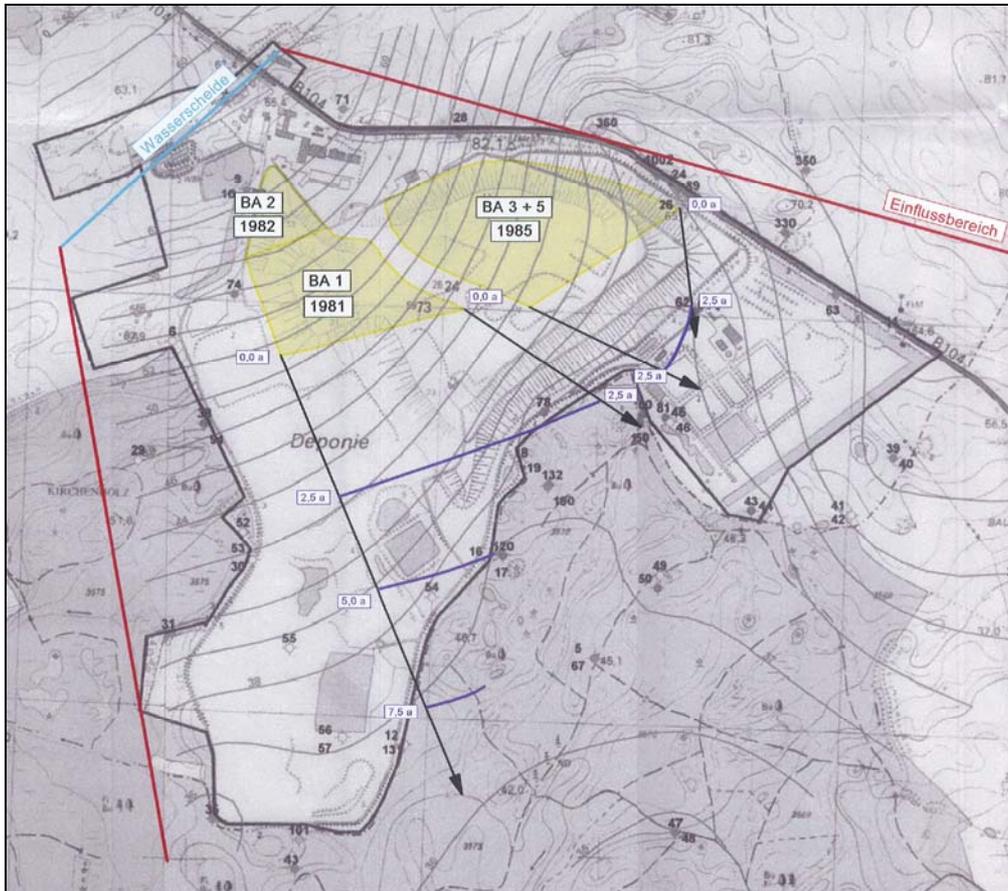
⁶ Jörg Hammer: Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Band 9, Quarzäre Sedimente als Geologische Barriere; erschienen im Springer Verlag; Berlin 2003

**Deponie Ihlenberg,
Ergänzendes Verfahren zum Vorhaben Deponieabschnittstrennung mittels multifunktionaler Abdichtung (MFA) – RN 11/03
Anlage 6.5: Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert Bauabschnitt 1**

- Unter der hypothetischen Annahme, dass im schlechtesten Falle Anfang 2020 eine erste Grundwasserbeeinträchtigung erkennbar wäre, hätte der entsprechende Schadstoff mit dem Sickerwasser aus dem BA 1 somit insgesamt über einen Zeitraum von $T > 30$ Jahre die vorhandene Geologische Barriere bis OK Grundwasserleiter durchflossen (aus 39 Jahre Ablagerungsbetrieb abzgl. 6 Jahre Durchströmung des GWL 1.1).
- Auf Basis dieses abgeleiteten Zeitraums T für die unterstellte vertikale Durchsickerung der Geologischen Barriere läßt sich anhand der nachfolgend im Kapitel 3 dargestellten Formeln die mittlere Gebirgsdurchlässigkeit des im Bereich des BA 1 an der Deponiebasis anstehenden teils mit Sanden in Wechsellagerung vorliegenden Geschiebemergels (siehe nachfolgendes Abbild 2) rechnerisch ermitteln.

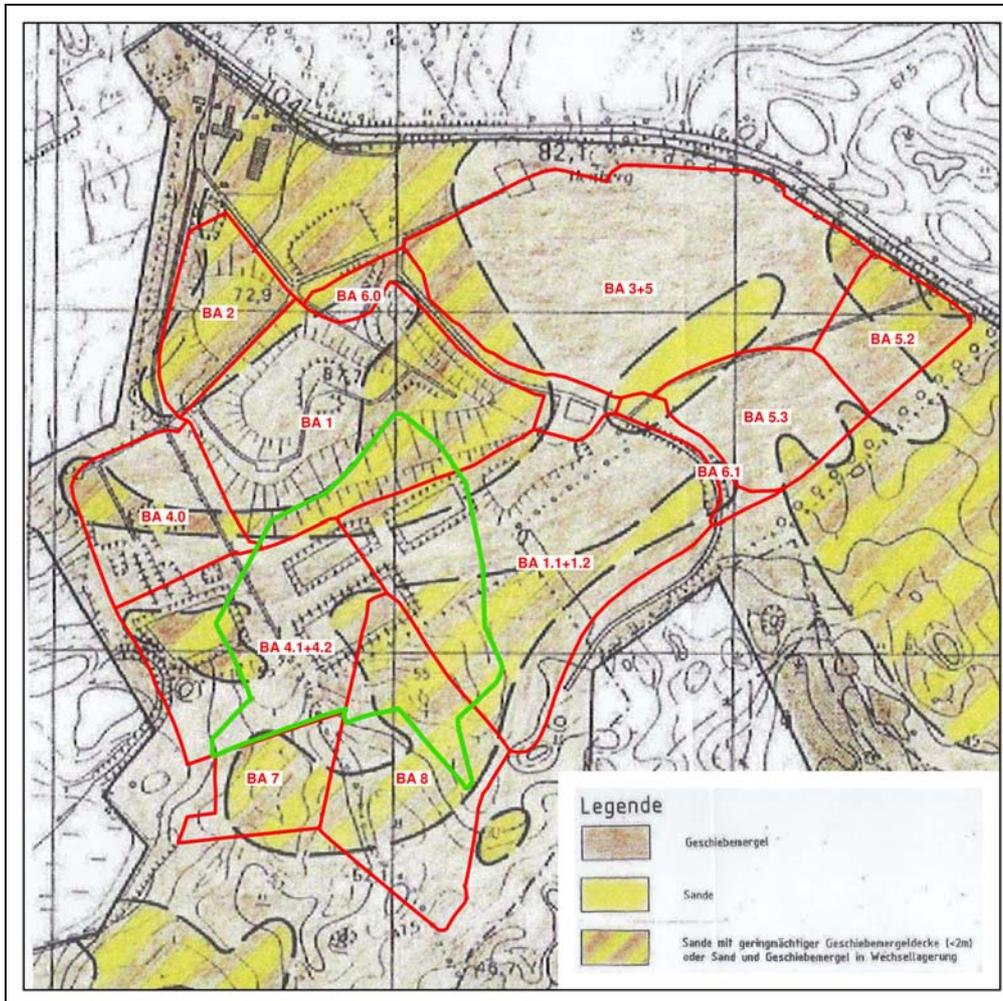
Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass sich unter Berücksichtigung der in Abbild 1 dargestellten Grundwassergleichen, der Abstandsgeschwindigkeit von 100 m/a sowie einer Porosität von 0,15 damit rechnerisch für die wasserführenden Schichten des GWL 1.1 ein Wasserdurchlässigkeitsbeiwert von $k = 2,4 \times 10^{-5}$ m/ ergibt. Dies entspricht in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte dem Erwartungsbereich eines Feinsandes, wobei lt. GGU-2006 mittels Kurzpumpversuchen und Packer-Test im anstehenden Sand auch Durchlässigkeitsbeiwerte von $k = 1 \times 10^{-4}$ m/s ermittelt wurden. Die getroffene Annahme der Abstandsgeschwindigkeit und des daraus resultierende rechnerische k -Wertes der wasserführenden Schichten kann damit für die hier anstehende Fragestellung der mittleren Gebirgsdurchlässigkeit als „auf der sicheren Seite liegend“ bezeichnet werden. So würden sich bei Ansatz einer höheren Durchlässigkeit der wasserführenden Schichten (z.B. von 1×10^{-4} m/s gemäß den Kurzpumpversuchen) größere Abstandsgeschwindigkeiten und damit letztlich im Berechnungsmodell kleinere mittlere Gebirgsdurchlässigkeiten für die Geologische Barriere ergeben.

**Deponie Ihlenberg,
Ergänzendes Verfahren zum Vorhaben Deponieabschnittstrennung mittels multifunktionaler Abdichtung (MFA) – RN 11/03
Anlage 6.5: Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert Bauabschnitt 1**



Abbild 1: Einflussbereiche und Fließzeiträume im GWL 1.1, aus GGU-2006 (dortige Anlage 9.1)

**Deponie Ihlenberg,
Ergänzendes Verfahren zum Vorhaben Deponieabschnittstrennung mittels multifunktionaler Abdichtung (MFA) – RN 11/03
Anlage 6.5: Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert Bauabschnitt 1**



Abbild 2: Geologische Karte der Oberfläche bis 5 m Tiefe (ohne Holozän), aus GGU-2006 (in grün: Lage der MFA)

**Deponie Ihlenberg,
Ergänzendes Verfahren zum Vorhaben Deponieabschnittstrennung mittels multifunktionaler Abdichtung (MFA) – RN 11/03
Anlage 6.5: Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert Bauabschnitt 1**

3 Berechnung der mittleren Gebirgsdurchlässigkeit

Folgende Grundformeln sind zur rechnerischen Ermittlung der mittleren Gebirgsdurchlässigkeit zu berücksichtigen⁷:

$$v_f = k_f \times h/l \quad (1)$$

$$v_a = v_f/P^* \quad (2)$$

$$T = l / v_a \quad (3)$$

mit:

- v_f = Filtergeschwindigkeit, in m/s
- k_f = Wasserdurchlässigkeitsbeiwert, in m/s
- h = Druckhöhenunterschied, in m
- l = Fließlänge, in m
- P^* = Porositätsfaktor, ohne Einheit
- v_a = Abstandsgeschwindigkeit, in m/s
- T = Fließzeit, in s

Bei Einsatz der Formel (1) und (2) in die Grundformel (3) und Umstellung der entsprechenden Formel nach dem Durchlässigkeitsbeiwert k_f ergibt sich:

$$k_f = (l^2 \times P^*) / (T \times h) \quad (4)$$

Die geometrischen Faktoren l und h ergeben sich bei der im vorliegenden Fall betrachteten vertikalen Durchströmung der Geologischen Barriere aus folgenden Randbedingungen (siehe auch nachfolgendes Abbild 3):

- Die Fließlänge l entspricht die Mächtigkeit der geologischen Barriere. Diese wird aus Vergleichsgründen mit der Regelanforderung der DepV2020 zu $l = 5,0$ m angesetzt. Dies entspricht der in der DepV2020 geforderten Mindestmä-

⁷ Grundformeln entnommen aus: B. HÖLTING, Hydrogeologie, Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, 4. Auflage, Enke Verlag; Stuttgart, 1992

**Deponie Ihlenberg,
Ergänzendes Verfahren zum Vorhaben Deponieabschnittstrennung mittels multifunktionaler Abdichtung (MFA) – RN 11/03
Anlage 6.5: Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert Bauabschnitt 1**

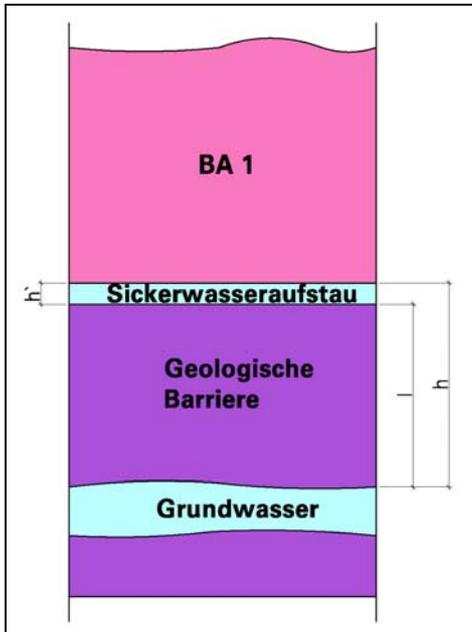
tigkeit der Geologischen Barriere von $d \geq 5,0$ m bei gleichzeitiger Einhaltung eines Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes von $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s.

- Der Druckhöhenunterschied h ergibt sich bei Wassersättigung der Geologischen Barriere aus seiner Mächtigkeit (l) zuzüglich der Sickerwasserstandshöhe (h') oberhalb der Geologischen Barriere. Diese wird in den Berechnungen sowohl mit 1,0 m als auch ergänzend mit 4,0 m angenommen⁸.
- Der Porositätsfaktor P^* beschreibt letztlich den Einfluss des tatsächlich für die Wasserzirkulation zur Verfügung stehenden Porenvolumens am Gesamtvolumen. Der Zusammenhang aus dem Gesamtporenraum (P), dem Nutzporenraum (P^*) und der Haftwasserraum (P_n) in Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung ist dem nachfolgenden Abbild 4 zu entnehmen. Auf Basis der Darstellungen im Abbild 4 wird für den anstehenden Geschiebemergel ein Porositätsfaktor von 0,15 angenommen⁹.

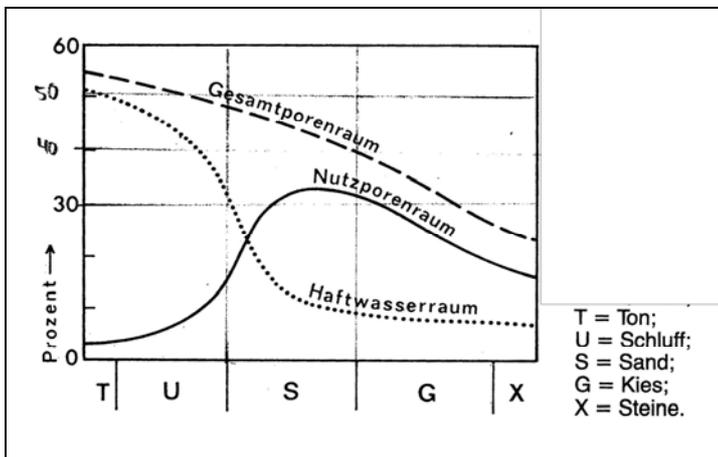
⁸ Hinweis: Gemäß den in den Jahresberichten (2020) dokumentierten Sickerwasserständen im BA 1, kann im Mittel der drei im BA 1 vorhandenen Pegel (P9, P110, P111) von einem Sickerwasserstand oberhalb der Deponiebasis von ca. 4,4 m ausgegangen werden. Die getroffene Annahme eines Sickerwasserstandes von 1,0 m ist demnach für die hier anstehende Fragestellung als auf der sicheren Seite liegend einzustufen. Unabhängig davon erfolgen die rechnerischen Betrachtungen zur Gebirgsdurchlässigkeit für $h' = 1,0$ m und $h' = 4,4$ m.

⁹ Hinweis: Bei reinen Geschiebeböden können deutlich geringere effektive Porositäten (Porositätsfaktor) angenommen werden. Die Annahme kann damit als auf der sicheren Seite liegend eingestuft werden.

**Deponie Ihlenberg,
Ergänzendes Verfahren zum Vorhaben Deponieabschnittstrennung mittels multifunktionaler Abdichtung (MFA) – RN 11/03
Anlage 6.5: Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert Bauabschnitt 1**



Abbild 3: Skizze zur Veranschaulichung der Fließlänge l und des Druckhöhenunterschiedes h



Abbild 4: Beziehung zwischen Gesamtporen-, Nutzporen- und Haftwasserraum in Abhängigkeit von der Korngröße (aus HÖLTING)

**Deponie Ihlenberg,
Ergänzendes Verfahren zum Vorhaben Deponieabschnittstrennung mittels multifunktionaler Abdichtung (MFA) – RN 11/03
Anlage 6.5: Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert Bauabschnitt 1**

Die Fließzeit T beträgt gemäß den Darstellungen im Kapitel 2 mindestens 30 Jahre bzw. umgerechnet mindestens 946.080.000,00 Sekunden.

Der Ergebnisse der rechnerischen Ableitung des Durchlässigkeitsbeiwert k_f anhand der Formel (4) sind in der nachfolgenden Tabelle 1 dargestellt. Ermittelt wurde der k_f -Wert hierbei unter der oben beschriebenen Variation der Sickerwasseraufstauhöhe (h') sowie der Mächtigkeit der Geologischen Barriere (l). Neben der oben beschriebenen Annahmen der Mächtigkeit von 5,0 m (aus Vergleichsgründen aufgrund der Regelanforderung der DepV2020) wurde auch die „Gebirgsdurchlässigkeit“ bei einer Mächtigkeit von 1,5 m berechnet.

		Vergleichsniveau lt. DepV		Zusatzbetrachtung zur Verifizierung	
Fließlänge (Dicke der Geologischen Barriere), l	[m]	5,0	5,0	1,5	1,5
Sickerwasserstandshöhe h'	[m]	1,0	4,4	1,0	4,4
Druckhöhenunterschied, h	[m]	6,0	9,4	2,5	5,9
Wasserdurchlässigkeit, k_f	[m/s]	6,60621E-10	4,21673E-10	1,42694E-10	6,04636E-11

Tabelle 1: berechnete Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte in Abhängigkeit von der Fließlänge und der Sickerwasserstandshöhe

Folgende Punkte sind zusammenfassend festzustellen:

- Der in diesem vereinfachenden Modell ermittelte Wasserdurchlässigkeitsbeiwert von maximal $k_f = 6,6 \times 10^{-10}$ m/s (bei l = 5,0 m) zeigt einen rechnerischen Wasserdurchlässigkeitsbeiwert des Untergrundes im Bereich des BA 1 auf, der die Anforderungen der DepV2020 ($d \geq 5,0$ m bei gleichzeitiger Einhaltung eines Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes von $k \leq 1 \times 10^{-9}$) an die Geologische Barriere am Standort von Deponien der Deponieklasse III erfüllt.
- Der im Berechnungsmodell bei l = 1,5 m berechnete k_f -Wert von minimal $6,5 \times 10^{-11}$ m/s liegt im Bereich der real im Zuge der Bauausführung der „jüngeren“ Bauabschnitte gemessenen Durchlässigkeit. So wurde z.B. bei der Bauausführung zum BA 4.1+4.2 (2006) die mineralische Dichtung aus örtlich anstehendem Geschiebemergel hergestellt. Durch die Fremdüberwachung wur-

**Deponie Ihlenberg,
Ergänzendes Verfahren zum Vorhaben Deponieabschnittstrennung mittels multifunktionaler Abdichtung (MFA) – RN 11/03
Anlage 6.5: Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert Bauabschnitt 1**

den hierbei k_f -Werte zwischen $1,1 \times 10^{-10}$ m/s und $1,1 \times 10^{-11}$ m/s gemessen. IN den angrenzenden Bereichen des BA 1.1 und 1.2 wurden bei der Herstellung der Mineralischen Dichtung ähnliche Werte erreicht (siehe Anlage 6.2)

Die Berechnungsergebnisse erscheinen damit insgesamt plausibel und belegen im Bereich des BA 1 eine den Anforderung der DepV2020 genügende Geologische Barriere.

Bremen, den 03. Dezember 2021