



**Prof. Biener I
Sasse I Konertz**

**Partnerschaft
Beratender Ingenieure
und Geologen**

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung

**Anlage 14:
Hydraulische Berechnungen**

erstellt im Auftrag der

Bremerhavener Entsorgungsgesellschaft mbH

durch

**Umtec
Prof. Biener I Sasse I Konertz
Partnerschaft Beratender Ingenieure und Geologen**

im März 2010

Partner
**Prof. Dr.-Ing. Ernst Biener
Dipl.-Ing. Torsten Sasse
Dr. Klaus Konertz**

Haferwende 7
28357 Bremen
Telefon
0421 20 75 9-0
Telefax
0421 20 75 9-999
info@umtec-partner.de
www.umtec-partner.de

**Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung
Anlage 14: Hydraulische Berechnungen**

Inhaltsverzeichnis

Kapitel		Seite
1	Veranlassung	1
2	Hydraulische Bemessung der Basisentwässerung	1
2.1	Übersicht	1
2.2	Maßgebliche Regenspende / maßgeblicher Regenabfluss	2
2.3	Bemessung mineralische Entwässerungsschicht	2
2.4	Dränrohrleitung der Basisabdichtung	5
2.5	Bemessung der Vollrohrleitungen	6
2.5.1	Überblick	6
2.5.2	Bemessung im Haltungsstrang DA3 / S1 - DA3 / S2.1	9
2.5.3	Bemessung der Vollrohrleitung Haltungslänge DA3 / S10.1 – DA5 / S9	10
2.5.4	Bemessung Stichleitungen im DA 3	11
2.5.5	Bemessung Stichleitungen im DA 4 und DA 5	12
3	Hydraulische Bemessung der Oberflächenwasserfassung	13
3.1	Übersicht	13
3.2	Nachweis der Entwässerungsschicht	15
3.3	Maßgebliche Regenspende / maßgeblicher Regenabfluss für den Oberflächenwasserabfluss	18
3.4	Nachweis des Abflussvermögens der Entwässerungsmulde	19
3.4.1	Entwässerungsmulde ohne Sohlgefälle	19
3.4.2	Plausibilitätsprüfung (Entwässerungsmulde ohne Sohlgefälle)	20
3.4.3	Entwässerungsmulde mit Sohlgefälle	21
3.4.4	Plausibilitätsprüfung Einleitmengen	22
3.5	Nachweis der Entwässerungsgräben an den Auffahrrampen	23
3.6	Drosselschächte	25
3.6.1	Allgemeines	25
3.6.2	Nachweis des Regenrückhaltevolumens im Ringgraben	26
3.6.3	Bemessung Zulauf Entwässerungsmulde zum Drosselschacht	27
3.6.4	Bemessung Drosselleitung zur Neuen Aue	28
3.6.5	Bemessung Regenüberlauf in Ringgraben	29
4	Literatur	30

**Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung
Anlage 14: Hydraulische Berechnungen**

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Berechnungen zur Entwässerungsmulde ohne Sohlgefälle
Anlage 2	Nachweis Regenrückhaltevolumen im Ringgraben

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

1 Veranlassung

Im Rahmen der Planungen zu der Errichtung, dem Betrieb und der Stilllegung der Deponieabschnitte (DA) 1 bis 5 auf der Deponie Grauer Wall sind Elemente zur Fassung und Ableitung von Sickerwasser und Niederschlagswasser erforderlich.

In den nachfolgenden Kapiteln erfolgen daher die hydraulischen Berechnungen für die entsprechend herzustellenden Entwässerungselemente getrennt nach:

- Hydraulische Bemessung der Basisentwässerung (Sickerwasser) im DA 3 bis 5
- Hydraulische Bemessung der Oberflächenwasserfassung (unbelastetes Regenwasser) im DA 1 bis 5

2 Hydraulische Bemessung der Basisentwässerung

2.1 Übersicht

Die Basisentwässerung besteht in den DA 3 bis 5 aus einer mineralischen Entwässerungsschicht gemäß den Forderungen der DepV /6/¹ und der DIN 19667 /7/, den oberhalb der Basisabdichtung verlegten Dränrohrleitungen und den anschließenden Vollrohrleitungen zur Ableitung des Sickerwassers in den umlaufenden Ringgraben.

Die im Rahmen der hydraulischen Bemessung der Sickerwasserfassung der DA 3 bis 5 zu berücksichtigenden geometrischen Verhältnisse der Deponie Grauer Wall sowie die daraus entstehenden Berechnungsgrundlagen (Einzugsflächen, Dränrohrabstände, Haltungslängen, etc.) sind dem Plan 1350GP130 zu entnehmen.

Folgende maßgebliche Bemessungsbereiche ergeben sich:

- Die mineralische Entwässerungsschicht weist ihre größten Entwässerungslängen auf den Böschungen des DA 4/5 auf. Zudem gibt es vorwiegend Entwässerungsbereiche mit 3% Querneigung (nach Setzung) und 30 m Entwässerungsfeldbreite.
- Die Dränrohrleitungen oberhalb der Basisabdichtung haben ihre größten Einzugsflächen im DA 5.
- Die Vollrohrleitungen haben ihr geringstes Gefälle in Kombination mit den größten Einzugsflächen im DA 3.

¹ Die in Schrägstriche gesetzten Ziffern, z.B. /1/, beziehen sich auf das Literaturverzeichnis in Kap. 4.

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

Für diese Bemessungsbereiche erfolgen nachfolgend die entsprechenden Bemessungen, wobei vorab die maßgeblichen Kenndaten dargelegt werden.

2.2 Maßgebliche Regenspende / maßgeblicher Regenabfluss

Die maßgebliche Regenspende wird wie folgt angesetzt:

$$\begin{aligned} n &= 1 \text{ mal in 2 Jahren} \\ D &= 5 \text{ min} \end{aligned}$$

Gemäß Starkregentabellen des DWD (Kostratlas, Deutscher Wetterdienst, 2000) /1/ ergibt sich hiermit für den Raum Bremerhaven die Regenspende $r_{5,2}$ zu:

$$r_{5,2} = 206 \text{ l/(s x ha)}$$

Diese Regenspende entspricht der Forderung der Entwässerungsbetriebe Bremerhaven (EBB) in Verbindung mit den geforderten Nachweisen im Zuge der Rigolenabdichtung.

Der Spitzenabflussbeiwert für zu 100% befestigte Flächen wird wie folgt angesetzt:

$$\Psi = 0,9$$

Gemäß der DIN 19667, Fassung Mai 1991 (Kap. 3.7 Hydraulik) /8/ wird in Bereichen mit bereits auf der Basis aufgetragenen Abfällen ein Abflussereignis von

$$q = 6 \text{ l/(s x ha)}$$

angesetzt.

2.3 Bemessung mineralische Entwässerungsschicht

Der Nachweis für die ausreichende Schichtmächtigkeit der mineralischen Entwässerungsschicht (Kies 16/32, $d = 50 \text{ cm}$, $k_{\text{langf.}} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$) ist für den Zeitpunkt einer noch nicht erfolgten Abfallbelegung (unmittelbar nach Herstellung der Abdichtung) entbehrlich, da zu diesem Zeitpunkt das Niederschlagswasser oberflächlich ablaufen kann.

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

Für den Zustand einer mit Abfall belegten Entwässerungsschicht wird der hydraulische Nachweis auf den DA3 bis DA5 an zwei Stellen bei jeweils einer Einbaumächtigkeit von 50 cm bzw. 30 cm geführt.

1. Nachweis: Entwässerungsschicht im Bereich der Böschung DA4/5

Der längste Böschungsbereich weist eine Länge $L = 90,00$ m und eine Böschungseigung von steiler $I_B = 20\%$ (1 : 5) auf. Somit ergibt sich der maßgebliche Durchfluss zu:

$$Q_{\text{maßg}} = q \times L \times 1,0\text{m} / (10.000 \text{ m}^2/\text{ha})$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= 6 \text{ l}/(\text{s} \times \text{ha}) \times 90,00 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} / (10.000 \text{ m}^2/\text{ha}) \\ &= 0,054 \text{ l}/\text{s} \\ &= 5,40\text{E-}05 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Der rechnerisch erforderliche Durchlässigkeitsbeiwert $k_{\text{erf.}}$ ergibt sich in Abhängigkeit von der Schichtdicke d_s zu:

$$k_{\text{erf.}} = Q_{\text{maßg}} / (I_B \times d_s \times 1,00 \text{ m})$$

für $d_s = 50$ cm gilt:

$$\begin{aligned} k_{\text{erf.}} &= 5,40\text{E-}05 \text{ m}^3/\text{s} / (0,20 \times 0,5 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}) \\ k_{\text{erf.}} &= 5,4\text{E-}4 \text{ m}/\text{s} \end{aligned}$$

für $d_s = 30$ cm gilt:

$$\begin{aligned} k_{\text{erf.}} &= 5,40\text{E-}05 \text{ m}^3/\text{s} / (0,20 \times 0,3 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}) \\ k_{\text{erf.}} &= 9,5\text{E-}3 \text{ m}/\text{s} \end{aligned}$$

Mit der lt. DepV geforderten Durchlässigkeit von $k_{\text{lang.}} = 1,0\text{E-}3$ m/s ist somit in den Böschungsbereichen (steiler 1 : 5) sowohl eine Mächtigkeit von 50 cm als auch von 30 cm für die Entwässerungsschicht ausreichend.

Somit ist die Entwässerungsschicht mit $d = 50$ cm ausreichend dimensioniert. Eine Schichtmächtigkeit von 30 cm ist hierbei auch langfristig möglich.

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

2. Nachweis: Entwässerungsschicht im Bereich der Aufstandsflächen DA 3/4/5

Im Bereich des Zulaufes zu den Dränrohren beträgt die größte Zulauflänge $L = 30$ m und die Geländeneigung $I_B = 3\%$ (nach Setzungen). Der maßgebliche Durchfluss ergibt sich zu:

$$Q_{\text{maßg}} = q \times L \times 1,0 \text{ m} / (10.000 \text{ m}^2/\text{ha})$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= 6 \text{ l}/(\text{s} \times \text{ha}) \times 30,00 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} / (10.000 \text{ m}^2/\text{ha}) \\ &= 0,018 \text{ l}/\text{s} \\ &= 1,80\text{E-}05 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Der rechnerisch erforderliche Durchlässigkeitsbeiwert $k_{\text{erf.}}$ ergibt sich in Abhängigkeit von der Schichtdicke d_s zu:

$$k_{\text{erf.}} = Q_{\text{maßg}} / (I_B \times d_s \times 1,00 \text{ m})$$

für $d_s = 50$ cm gilt:

$$\begin{aligned} k_{\text{erf.}} &= 1,80\text{E-}05 \text{ m}^3/\text{s} / (0,03 \times 0,5 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}) \\ k_{\text{erf.}} &= 1,2\text{E-}3 \text{ m}/\text{s} \end{aligned}$$

für $d_s = 30$ cm gilt:

$$\begin{aligned} k_{\text{erf.}} &= 1,80\text{E-}05 \text{ m}^3/\text{s} / (0,03 \times 0,3 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}) \\ k_{\text{erf.}} &= 2,0\text{E-}3 \text{ m}/\text{s} \end{aligned}$$

Mit der lt. DepV geforderten Durchlässigkeit von $k_{\text{langf.}} = 1,0\text{E-}3$ m/s ist somit in den flach geneigten Aufstandsbereichen sowohl bei einer Mächtigkeit von 50 cm als auch von 30 cm die Entwässerungsschicht nicht ausreichend.

Die DIN 19667 geht bei einer mineralischen Entwässerungsschicht von einer langfristigen Verschlechterung des Durchlässigkeitsbeiwertes um eine Zehnerpotenz aus (Verschlechterung von $k_{\text{einbau}} \geq 1,0 \times 10^{-2}$ m/s auf $k_{\text{langf.}} \geq 1,0 \times 10^{-3}$ m/s).

Sollte eine Schichtmächtigkeit von 50 cm realisiert werden, ergibt sich hiermit rechnerisch für die hier betrachteten Bereiche im Einbauzustand ein notwendiger Durch-

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

lässigkeitsbeiwert von $k_{\text{einbau}} \geq 1,2 \times 10^{-2}$ m/s, bzw. bei einer Mächtigkeit von 30 cm ein notwendiger Durchlässigkeitsbeiwert von $2,0E-3$ m/s.

Zusammenfassend ergeben sich im Zuge der späteren Bauausführung folgende Anforderungen an den Durchlässigkeitsbeiwert:

	Steilbereich (> 20 %) d = 50 cm	Steilbereich (> 20 %) d = 30 cm	Plateau (> 3 %) d = 50 cm	Plateau (> 3 %) d = 30 cm
k_{lang}	1,0E-03 m/s	1,0E-03 m/s	1,2E-03 m/s	2,0E-03 m/s
k_{Einbau}	1,0E-02 m/s	1,0E-02 m/s	1,2E-02 m/s	2,0E-02 m/s

Tabelle 1: Zusammenstellung der notwendigen Durchlässigkeitsbeiwerte der Basisentwässerungsschicht in Abhängigkeit von der Neigung und der Schichtmächtigkeit

2.4 Dränrohrleitung der Basisabdichtung

Der Nachweis für den ausreichenden Rohrdurchmesser ist für den Zeitpunkt einer noch nicht erfolgten Abfallbelegung (unmittelbar nach Herstellung der Abdichtung) entbehrlich, da zu diesem Zeitpunkt das Niederschlagswasser auch oberflächlich ablaufen kann.

Für den Zustand einer mit Abfall belegten Entwässerungsschicht ist für die Dimensionierung der Leitung die Haltungslänge mit dem größten Einzugsbereich ($E = 0,96$ ha) im Bereich DA5 Schacht DA5 / S3 maßgeblich.

Das Abflussereignis ergibt sich zu:

$$Q_r = E \times q$$

$$Q_r = 0,96 \text{ ha} \times 6 \text{ l/(s} \times \text{ha)}$$

$$= 5,8 \text{ l/s}$$

Die Berechnung des Abflussvermögens erfolgt nach der allgemeinen Fließformel nach Prandtl-Colebrook. Diesbezüglich sind in Abhängigkeit von der integralen Rauigkeit k , bzw. der Betriebsrauigkeit k_b , dem Reibungsgefälle I_E sowie dem Rohrendurchmesser die Durchflüsse bei Q_v bei Vollfüllung in verschiedenen Diagrammen der „Bautechnische Zahlentafeln/Wendhorst“ /3/ angegeben.

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

Der erforderliche Rohrdurchmesser ergibt sich gemäß dieser Diagramme für $I = 1\%$ (nach Setzungen) bei einer Rauheit $k_b = 0,75 \text{ mm}$ (siehe Wendehorst /3/) zu:

erf. $d_R = 100 \text{ mm}$

gew. $d_R = 312,8 \text{ mm}$

Dies entspricht: PEHD-Rohr PE100, da 355, SDR 17

Aufgrund der offensichtlich ausreichenden Dimensionierung der Dränrohrleitungen ist eine separate Betrachtung für den Teilfüllungszustand gem. DWA-A 110 /4/ Q_T mit $Q_T/Q_V \leq 0,9$ nicht erforderlich.

2.5 Bemessung der Vollrohrleitungen

2.5.1 Überblick

Vollrohrleitungen im Sickerwasserfassungssystem sind vorwiegend im Deponieabschnitt 3 notwendig. Der Deponieabschnitt DA3² befindet sich auf dem „Altdeponiekörper“. Die Entwässerung erfolgt über Vollrohrleitungen in den umlaufenden Fangegräben. Der gesamte anfallende Regenabfluss wird über 2 Haltungsstränge abgeführt. Dabei entwässern die Haltungsstränge DA3 / S2 bis DA3 / S5 in Richtung Süden, während das Wasser aus den Strängen DA3 / S6 bis DA3 / S10 im Norden in den Ringgräben eingeleitet wird. Die Größe der Einzugsflächen der einzelnen Haltungsstränge kann der nachfolgenden Tabelle 2 entnommen werden.

² Hinweis: Auf eine separate Betrachtung der Vollrohrleitungen im DA 4 und 5 kann verzichtet werden, da gemäß den Darstellungen im Plan 1350GP130 deutlich kleinere Einzugsflächen je Vollrohr vorliegen.

**Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung
Anlage 14: Hydraulische Berechnungen**

	Einzugsfläche
DA3 / S2	$E_{DA3 / S2} = 0,33 \text{ ha}$
DA3 / S3	$E_{DA3 / S3} = 0,55 \text{ ha}$
DA3 / S4a+b ³	$E_{DA3 / S4} = 0,57 \text{ ha} + 0,24 \text{ ha}$
DA3 / S5	$E_{DA3 / S5} = 0,78 \text{ ha}$
DA3 / S6	$E_{DA3 / S6} = 0,50 \text{ ha}$
DA3 / S7	$E_{DA3 / S7} = 0,38 \text{ ha}$
DA3 / S8	$E_{DA3 / S8} = 0,25 \text{ ha}$
DA3 / S9	$E_{DA3 / S9} = 0,16 \text{ ha}$
DA3 / S10	$E_{DA3 / S10} = 0,08 \text{ ha}$

Tabelle 2: Einzugsflächen Basisentwässerung DA3

Die größten Einzugsflächen befinden sich somit im südlichen Bereich des DA 3. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Herstellung der Basisabdichtung sowie die Ablagerung von Abfällen sukzessive von Süden nach Norden erfolgt. Maßgeblich wird daher der derzeit angedachte 1. Bauabschnitt (1. BA) im DA 3, dessen voraussichtliche Lage der nachfolgenden Abbildung 1 entnommen werden kann.

³ Lage der Schächte DA 3 /S4a und b siehe nachfolgende Abbildung 1.



**Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung
Anlage 14: Hydraulische Berechnungen**

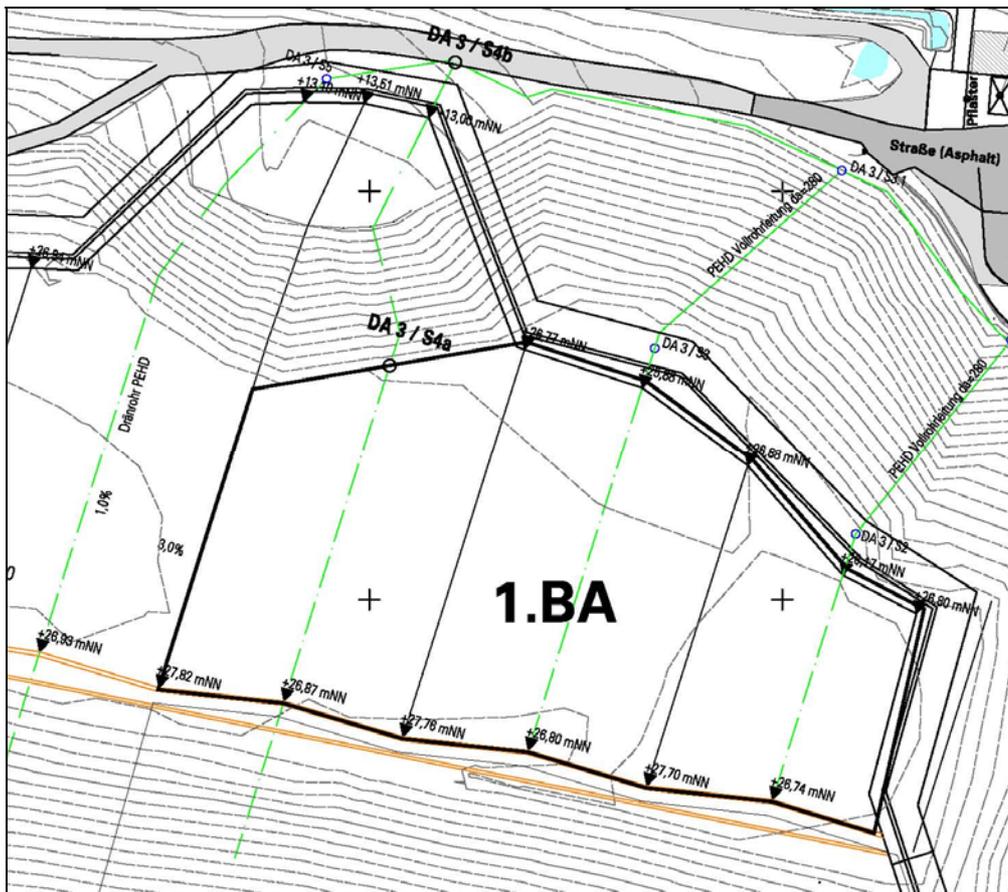


Abbildung 1: Lageplan 1. Bauabschnitt im DA 3

Die Bemessung der Entwässerungsleitung erfolgt daher für zwei Zustände. Zuerst wird die Dimensionierung für ein Starkregenereignis für die Einzugsflächen $E_{DA\ 3/S2}$, $E_{DA\ 3/S3}$ und $E_{DA\ 3/S4a}$ durchgeführt (Zeitpunkt der Fertigstellung des 1. BA im DA 3). Im zweiten Zustand wird dieser Bereich mit bereits abgelagerten Abfällen angesetzt. Zusätzlich werden jedoch die Einzugsflächen $E_{DA\ 3/S4b}$ und $E_{DA\ 3/S5}$ mit einem Starkregenereignis berücksichtigt (Zustand Fertigstellung des 2. BA).

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

2.5.2 Bemessung im Haltungsstrang DA3 / S1 - DA3 / S2.1

Maßgeblich für die Dimensionierung der Leitung ist die kritische Haltungslänge zwischen den Schächten DA3 / S1 und DA3 / S2.1.

1. Zustand 1 (1. BA ist fertiggestellt):

Das Abflussereignis ergibt sich zu:

$$Q_r = E_1 \times r_{5,2} \cdot \Psi$$

$$Q_r = (0,33 + 0,55 + 0,57) \text{ ha} \times 206 \text{ l/(s} \times \text{ha)} \times 0,9 \\ = 268,8 \text{ l/s}$$

Die Berechnung des Abflussvermögens erfolgt nach der allgemeinen Fließformel nach Prandtl-Colebrook. Diesbezüglich sind in Abhängigkeit von der integralen Rauigkeit k bzw. der Betriebsrauigkeit k_b , dem Reibungsgefälle I_E sowie dem Rohrinne Durchmesser die Durchflüsse bei Q_v bei Vollfüllung in verschiedenen Diagrammen /3/ angegeben. Gewählt werden:

Betriebsrauigkeit k_b : 0,75 mm (Sammelkanäle mit genormten bzw. angeformten Schächten)

Reibungsgefälle = Sohlgefälle I_E : $\geq 5,0 \%$
gew. Vollrohr PE 100, da = 400 mm, SDR 17 \rightarrow Innendurchmesser $d_i = 352,6$ mm

Gemäß Diagramm /3/ entspricht dies: $Q_v = \text{ca. } 350 \text{ l/s}$

Nach DWA-A 110 /4/ ist eine Bemessung bei Teilfüllung Q_r mit $Q_r/Q_v \leq 0,9$ vorzunehmen:

$$Q_r = Q_v \cdot 0,9 = 350,0 \cdot 0,9 = 315,0 \text{ l/s} > 268,8 \text{ l/s}$$

Das Abflussvermögen der Rohrleitung ist größer als der maßgebliche Abfluss. Somit ist der ausreichende Durchmesser nachgewiesen.

2. Zustand 2 (2. BA ist fertiggestellt, 1. BA ist teilverfüllt):

Das Abflussereignis ergibt sich zu:

$$Q_r = E_2 \times r_{5,2} \times \Psi + E_1 \times q$$

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

$$Q_T = (0,24 + 0,78) \text{ ha} \times 206 \text{ l/(s} \times \text{ha)} \times 0,9 + (0,33 + 0,55 + 0,57) \text{ ha} \times 6 \text{ l/(s} \times \text{ha)}$$

$$= 197,8 \text{ l/s}$$

Nach Prandtl-Colebrook ergibt sich:
gew. Vollrohr PE 100, da = 400 mm, SDR 17 → Innendurchmesser di = 354,6 mm

Gemäß Diagramm /3/ entspricht dies: $Q_v = \text{ca. } 350 \text{ l/s}$

Gemäß DWA-A 110 /4/ ist eine Bemessung bei Teilfüllung Q_T mit $Q_T/Q_v \leq 0,9$ vorzunehmen:

$$Q_T = Q_v \cdot 0,9 = 350,0 \cdot 0,9 = 315,0 \text{ l/s} > 197,8 \text{ l/s}$$

2.5.3 Bemessung der Vollrohrleitung Haltungslänge DA3 / S10.1 – DA5 / S9

Die Bemessung erfolgt analog zur vorherigen Dimensionierung in 2 Zuständen. Zustand 1 unterstellt hierbei die Ausführung eines 3. BA im DA 3 von Süden kommend bis zum Schacht DA 3 / S7. Der Zustand 2 unterstellt die weitere Ausführung eines 4. BA im DA 3 bis zum Schacht DA 3 / S10.

Die kritische Haltungslänge liegt bei beiden Zuständen zwischen DA3 / S10.1 und DA5 / S9.

1. Zustand 1 (3. BA ist fertiggestellt):

Das Abflussereignis ergibt sich zu:

$$Q_T = E_3 \times r_{5,2} \cdot \Psi$$

$$Q_T = (0,38 + 0,50) \text{ ha} \times 206 \text{ l/(s} \times \text{ha)} \times 0,9$$

$$= 163,2 \text{ l/s}$$

Die Berechnung des Abflussvermögens erfolgt nach der allgemeinen Fließformel nach Prandtl-Colebrook unter Berücksichtigung folgender Parameter.

Betriebsrauigkeit k_b : 0,75 mm
Reibungsgefälle = Sohlgefälle I_E : $\geq 2,5 \%$
gew. Vollrohr PE 100, da = 355 mm, SDR 17 → Innendurchmesser di = 312,8 mm

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

Gemäß Diagramm /3/ entspricht dies: $Q_v = \text{ca. } 190 \text{ l/s}$

Gemäß DWA-A 110 /4/ ist eine Bemessung bei Teilfüllung Q_T mit $Q_T/Q_v \leq 0,9$ vorzunehmen:

$$Q_T = Q_v \cdot 0,9 = 190,0 \cdot 0,9 = 171,0 \text{ l/s} > 163,2 \text{ l/s}$$

2. Zustand 2 (4. BA ist fertiggestellt, 3 BA ist teilverfüllt):

Das Abflussereignis ergibt sich zu:

$$Q_r = E_4 \times r_{5,2} \times \Psi + E_3 \times q$$

$$\begin{aligned} Q_r &= (0,08 + 0,16 + 0,25) \text{ ha} \times 206 \text{ l/(s} \times \text{ha)} \times 0,9 + (0,38 + 0,50) \text{ ha} \times 6 \text{ l/(s} \times \text{ha)} \\ &= 96,1 \text{ l/s} < 171,0 \text{ l/s} = Q_T \end{aligned}$$

Die kritische Haltungslänge ist für den gewählten Durchmesser da 355 mm für beide Belastungsfälle ausreichend dimensioniert.

2.5.4 Bemessung Stichleitungen im DA 3

Für die Stichleitungen (Lage siehe Plan 1350GP130) werden Rohre da 280 mm verwendet. Der Rohrdurchmesser wird für die Haltung DA3 / S4 – DA3 / S4.1 aufgrund der dort gegebenen größten Einzugsfläche nachgewiesen.

Das maßgebliche Abflussereignis ergibt sich zu:

$$Q_r = E_{\text{DA3/S4a+b}} \times r_{5,2} \cdot \Psi$$

$$\begin{aligned} Q_r &= 0,81 \text{ ha} \times 206 \text{ l/(s} \times \text{ha)} \times 0,9 \\ &= 150,2 \text{ l/s} \end{aligned}$$

Bei einem Sohlgefälle von ca. 20% und einer Rauheit von $k_b = 0,75 \text{ mm}$ ergibt sich gem. Diagramm /3/:

gew. Vollrohr PE 100, da = 280 mm, SDR 17 → Innendurchmesser $d_i = 246,8 \text{ mm}$

Gemäß Diagramm /3/ entspricht dies: $Q_v = \text{ca. } 300 \text{ l/s}$

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

Gemäß DWA-A 110 /4/ ist eine Bemessung bei Teilfüllung Q_T mit $Q_T/Q_V \leq 0,9$ vorzunehmen:

$$Q_T = Q_V \cdot 0,9 = 300,0 \cdot 0,9 = 270,0 \text{ l/s} > 150,0 \text{ l/s}$$

Der gewählte Rohrdurchmesser der Vollrohrleitung reicht aus. Somit sind die anderen Stichleitungen auch nachgewiesen.

2.5.5 Bemessung Stichleitungen im DA 4 und DA 5

Im DA 4 und 5 sind je Entwässerungsstrang in Verlängerung der Dränrohrleitung der Basisentwässerung Vollrohrleitungen als Stichleitungen zum Ringgraben vorgesehen (siehe Plan 1350GP130).

Für diese Stichleitungen werden Rohre da 355 mm verwendet. Der Rohrdurchmesser wird für die Haltung DA5 / S3 aufgrund der dort gegebenen größten Einzugsfläche ($E_{DA5/S3} = 160 \text{ m} \times 60 \text{ m}$) nachgewiesen.

Das maßgebliche Abflussereignis ergibt sich zu:

$$Q_T = E_{DA5/S3} \times r_{5,2} \cdot \Psi$$

$$\begin{aligned} Q_T &= 0,96 \text{ ha} \times 206 \text{ l/(s} \times \text{ha)} \times 0,9 \\ &= 178,0 \text{ l/s} \end{aligned}$$

Bei einem Sohlgefälle von ca. 3% und einer Rauheit von $k_b = 0,75 \text{ mm}$ ergibt sich gem. Diagramm /3/:

gew. Vollrohr PE 100, da = 355 mm, SDR 17 → Innendurchmesser $d_i = 312,8 \text{ mm}$

Gemäß Diagramm /3/ entspricht dies: $Q_V = \text{ca. } 200 \text{ l/s}$

Gemäß DWA-A 110 /4/ ist eine Bemessung bei Teilfüllung Q_T mit $Q_T/Q_V \leq 0,9$ vorzunehmen:

$$Q_T = Q_V \cdot 0,9 = 200,0 \cdot 0,9 = 180,0 \text{ l/s} > 178,0 \text{ l/s}$$

Der gewählte Rohrdurchmesser der Vollrohrleitung reicht aus. Somit sind die anderen Stichleitungen auch nachgewiesen.

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

3 Hydraulische Bemessung der Oberflächenwasserfassung

3.1 Übersicht

Bei der hydraulischen Bemessung der Oberflächenwasserfassung ist zu differenzieren nach:

- Entwässerungsschicht oberhalb der Oberflächenabdichtung
- Umlaufende Entwässerungsmulde (Trapezgerinne) getrennt nach:
 - Entwässerungsmulde ohne Sohlgefälle
 - Entwässerungsmulde mit Sohlgefälle
- Entwässerungsgraben an den Auffahrrampen
- Drosselschächte mit:
 - Nachweis Regenrückhaltevolumen des Ringgrabens
 - Bemessung Zulauf Entwässerungsmulde zum Drosselschacht
 - Bemessung Drosselleitung in die Neue Aue
 - Bemessung Regenüberlauf in den Ringgraben

Hinsichtlich der Entwässerungsschicht sieht der Antrag auf Planänderung entweder eine 30 cm mächtige Mineralische Entwässerungsschicht (Sand oder Kies) oder ein geotextiles Dränelement vor. Die entsprechenden Nachweise sind im Zuge der Ausführungsplanung vor dem Hintergrund der dann vorliegenden Entscheidung über die Ausbildung der Entwässerungsschicht zu führen. Beispielhaft erfolgt im nachfolgenden Kapitel 3.2 die Nachweisführung bei Ausbildung der Entwässerungsschicht aus mineralischem Material mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k \geq 1 \times 10^{-3}$ m/s

Mit der umlaufenden Entwässerungsmulde wird letztlich das oberflächlich abfließende Niederschlagswasser als auch das Niederschlagswasser der Entwässerungsschicht am Deponiefuß gefasst und über entsprechende Drosselbauwerke der Neuen Aue als Vorfluter zugeführt.

Die im Rahmen der hydraulischen Nachweise der umlaufenden Entwässerungsmulde zu berücksichtigenden geometrischen Verhältnisse der Deponie Grauer Wall sowie die daraus entstehenden Berechnungsgrundlagen (Einzugsflächen, Einzugsängen) sind dem Plan 1350GP160 zu entnehmen.

Auf der gesamten Länge der Entwässerungsmulde sind dabei vier Drosselschächte angeordnet, die gemäß den Vorgaben der BEG logistics GmbH (E-mail vom 14. Dezember 2009) die Einleitmenge in die Neue Aue auf 5 l / (s x ha) reduzieren. Die ver-

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

bleibende Spitzenmenge wird in den umlaufenden Ringgraben eingeleitet, der als Regenrückhaltebecken fungiert.

Zu den Drosselschächten 1, 2 und 4 fließt das Wasser aus jeweils zwei Einzugsgebieten, zum Drosselschacht 3 das Wasser aus einem Einzugsgebiet. Die Größe der Einzugsflächen variiert in Abhängigkeit von der Geometrie des Deponiekörpers. Die Einzugsflächen und die zugehörigen Einzugsängen wurden in der nachfolgenden Tabelle 3 aufgelistet.

Drosselschacht	Einzugsfläche	Einzugslänge
1	$E_{1A} = 5,32 \text{ ha}$	$l_{1A} = 519 \text{ m}$
	$E_{1B} = 0,91 \text{ ha}$	$l_{1B} = 138 \text{ m}$
2	$E_{2A} = 0,77 \text{ ha}$	$l_{2A} = 138 \text{ m}$
	$E_{2B} = 3,08 \text{ ha}$	$l_{2B} = 339 \text{ m}$
3	$E_3 = 3,42 \text{ ha}$	$l_3 = 326 \text{ m}$
4	$E_{4A} = 1,22 \text{ ha}$	$l_{4A} = 122 \text{ m}$
	$E_{4B} = 5,49 \text{ ha}$	$l_{4B} = 513 \text{ m}$

Tabelle 3: Drosselschächte mit den dazugehörigen Einzugsflächen und -längen

Zur Ableitung des Oberflächenwassers ist die Herstellung einer trapezförmigen Entwässerungsmulde entlang des Böschungsfußes der Oberflächenabdichtung vorgesehen. Die Geometrie der gewählten Mulde ist Abbildung 2 zu entnehmen. Der maximale Wasserstand liegt bei 0,45 m.

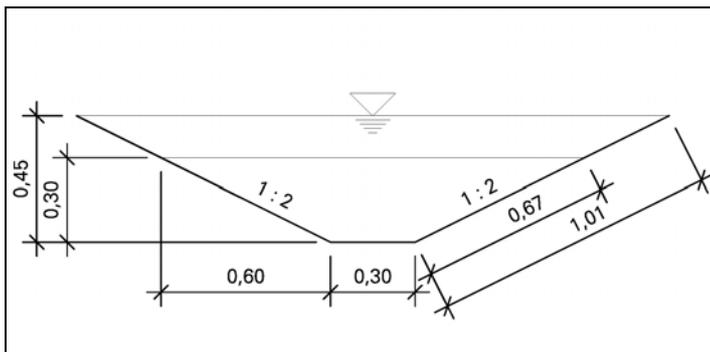


Abbildung 2: vereinfachender Schnitt Entwässerungsmulde (Trapezgerinne)

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

Unter Berücksichtigung der in Abbildung 2 dargestellten Geometrie ergeben sich für die Berechnung der Abflusskapazität der Entwässerungsmulde folgende Eingangsparameter:

Sohlbreite	=	0,3 m
Neigung der Wandung	=	27,0°
Höhe	=	0,45 m
Gesamtlänge	=	2.220 m
Querschnittsfläche [0,225 m · (0,3 m + 2,10 m)]	=	0,54 m ²
Volumen [0,54 m ² · 2.220 m]	=	1.198,8 m ³
Einzugsgebiet	≈	20,21 ha

3.2 Nachweis der Entwässerungsschicht

Der Nachweis einer ausreichenden Leistungsfähigkeit der Elemente zur Dränwasserfassung erfolgt gemäß GDA-Empfehlung, E 2-20 Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen /9/. In der GDA-Empfehlung wird der Ansatz einer Dränwasserspende q_s von 10 mm/d (entspricht 10 l/(m² x d) empfohlen, wenn nicht separate, projektspezifische Wasserhaushaltsberechnungen durchgeführt werden. Hierbei handelt es sich um eine Dränwasserspende, die bei sandigen Rekultivierungsböden bereits gemessen und auch berechnet wurden und an 99% aller Tage unterschritten wird. Aufgrund der Vergleichmäßigung der Dränspende durch die Rekultivierungsschicht wird diese Dränspende auch für kurzzeitige Ereignisse unterstellt.

Zur Überprüfung der maximalen Böschungslänge wird das vereinfachte Verfahren nach LESAFFRE /10/ angewandt. Demnach ergeben sich für das in Abbildung 3 dargestellte System folgende Abhängigkeiten.

$$\frac{l_a}{h_{\max}} = \left[\frac{4 \cdot k_x}{v_n} + \left(\frac{k_x}{v_n} - 1 \right)^2 \cdot (\tan \alpha)^2 \right]^{1/2}$$

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

mit:

- h'_{\max} = maximaler Aufstau über der Sohle [m]
- X' = Koordinaten, in Böschungfallrichtung [m]
- l'_a = Dränabstand, in Böschungfallrichtung [m]
- v_n = Dränspende auf der Entwässerungsschicht [m/s]
- α = Böschungswinkel
- k_x = Durchlässigkeitsbeiwert der Dränschicht

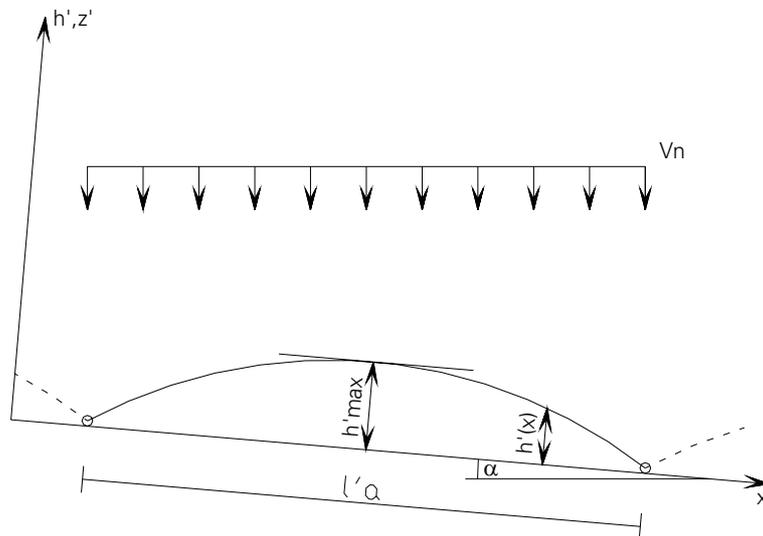


Abbildung 3: Abfluss auf geneigter, undurchlässiger Sohle – Definitionsskizze für den Berechnungsansatz nach LESAFFRE /10/

Der längste Böschungsbereich weist eine Länge $L = 140,00$ m und eine Böschungseigung von $I_B = 33\%$ (1 : 3) auf. Bei der Ausführung der 30 cm mächtigen Dränschicht des Oberflächenabdichtungssystems wird ein mineralisches Material mit einem k -Wert von $k \geq 1,0 \times 10^{-3}$ m/s unterstellt. Zu berücksichtigen gilt jedoch, dass unmittelbar am Deponiefuß die Böschungseigung sich auf 5 % reduziert, in diesem Bereich jedoch die Mächtigkeit der Entwässerungsschicht abweichend 40 cm beträgt.

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

Angesetzt werden daher:

- Maximale Einstauhöhe
in der Dränschicht: 25 cm
- Böschungsneigung
auf der Fläche: 1 : 3 $\Rightarrow \alpha_1 = 18,43^\circ$
- Böschungsneigung
im Tiefpunkt: 5 % $\Rightarrow \alpha_2 = 2,86^\circ$
- max. Böschungslänge : 140,00 m (projiziert)

wahre Böschungslänge: 140,00 m / $\cos 18,43^\circ = 147,56$ m

Dränwasserspende: 10 mm/d $\Rightarrow 1,16 \times 10^{-7} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{s})$

k-Wert der Dränschicht: $1,0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

daraus folgt:

$$\frac{147,56}{h'_{\max}} = \left[\frac{4 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{1,16 \cdot 10^{-7}} + \left(\frac{1 \cdot 10^{-3}}{1,16 \cdot 10^{-7}} - 1 \right)^2 \cdot (\tan 2,86^\circ)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{147,56}{h'_{\max}} = \sqrt{34.482,76 + 74.299.049,75 \cdot 0,0025}$$

$$\frac{147,56}{h'_{\max}} = \sqrt{220.230,38}$$

$$\frac{147,56}{h'_{\max}} = 469,29$$

$$h'_{\max} = \frac{147,56}{469,29} = 0,31 < 0,40$$

Die berechnete Einstauhöhe beträgt 0,31 m und liegt somit unterhalb der gewählten Schichtmächtigkeit am Deponiefuß von 0,40 m, so dass die Anordnung eines Fassungs-elementes (hier Entwässerungsmulde) am Deponiefuß zur Fassung des anfallenden Dränwassers ausreichend ist.

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

3.3 Maßgebliche Regenspende / maßgeblicher Regenabfluss für den Oberflächenwasserabfluss

Die maßgebliche Regenspende wird wie folgt angesetzt (siehe hierzu auch Erläuterungen in Kapitel 2.2):

$$\begin{aligned} n &= 1 \text{ mal in 2 Jahren} \\ D &= 5 \text{ min} \end{aligned}$$

$$r_{5,2} = 206 \text{ l/(s x ha)}$$

Die Abflussbeiwerte werden im DWA-Merkblatt A 118 /2/ in Tabelle 6 festgelegt.

Erfahrungen mit der Deponieentwässerung zeigen, dass auf den nahezu unbefestigten Deponiekörpern ein großer Teil des Niederschlages kurzzeitig versickert, an der Oberfläche im Bewuchs oder in Fahrspuren/Unebenheiten zurückgehalten wird oder verdunstet, so dass der tatsächlich zum oberflächennahen Abfluss kommende Anteil des Niederschlages zumindest nach einer ersten Bewuchsbildung (und damit für den Regelfall) sehr gering ist. Die in Tabelle 6 des Arbeitsblattes für unbefestigte Flächen empfohlenen Abflussbeiwerte führen daher oftmals zu einer deutlichen Überdimensionierung der Entwässerungselemente auf Deponien. Wohl auch aus diesem Grund weist die Fußnote in der dortigen Tabelle 6 darauf hin, dass bei unbefestigten Flächen die Abflussbeiwerte gesondert zu betrachten sind.

In DWA-A 118 /2/ wird ebenfalls darauf verwiesen, dass Tabelle 6 für Fließlängen von 40 bis 70 m gilt. Tatsächlich liegen bei der Oberflächenabdichtung teilweise deutlich längere Fließwege vor. Vor diesen Hintergründen wird ein Abflussbeiwert wie folgt angesetzt:

$$\Psi = 0,1$$

Für die einzelnen Einzugsflächen ergibt sich damit der Regenabfluss

$$Q_r = E \times r_{5,2} \cdot \Psi \text{ zu:}$$

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

Drossel- schacht	Einzugsfläche	Einzugslänge	Regenabfluss Q_r	Q_r / Drosselsch.
1	$E_{1A} = 5,32$ ha	$l_{1A} = 519$ m	109,6 l/s	128,3 l/s
	$E_{1B} = 0,91$ ha	$l_{1B} = 138$ m	18,7 l/s	
2	$E_{2A} = 0,77$ ha	$l_{2A} = 138$ m	15,9 l/s	79,3 l/s
	$E_{2B} = 3,08$ ha	$l_{2B} = 339$ m	63,4 l/s	
3	$E_3 = 3,42$ ha	$l_3 = 326$ m	70,5 l/s	70,5 l/s
4	$E_{4A} = 1,22$ ha	$l_{4A} = 122$ m	25,1 l/s	138,2 l/s
	$E_{4B} = 5,49$ ha	$l_{4B} = 513$ m	113,1 l/s	

Tabelle 4: Auflistung der Regenabflüsse

3.4 Nachweis des Abflussvermögens der Entwässerungsmulde

Aufgrund der vorhandenen Geometrie des Geländes und des Deponiekörpers wird für die Entwässerungsmulde in den Einzugsflächen E_{1B} und E_{2A} kein Sohlgefälle vorgesehen. In den übrigen Einzugsflächen ist planmäßig ein Sohlgefälle geplant. Nachfolgend erfolgt daher eine getrennte Nachweisführung für die Mulde mit bzw. ohne Sohlgefälle.

3.4.1 Entwässerungsmulde ohne Sohlgefälle

In den Einzugsflächen E_{1B} und E_{2A} wurde für den Nachweis des Ableitungsvermögens eine Wasserspiegellinienberechnung durchgeführt. Der maximale Abfluss wurde ausgehend von folgenden Annahmen bestimmt:

- Die maximale Wasserspiegelhöhe in der Mulde beträgt 45 cm.
- Die Wasserspiegelhöhe vor der Stichleitung zum Drosselschacht beträgt 5 cm.
- Die Entfernung zwischen dem Punkt des höchsten Wassereinstaus und der Stichleitung zum Drosselschacht beträgt 138 m

Die Berechnung erfolgte iterativ. Hierzu wurde gemäß der getroffenen Annahmen die Wasserspiegeldifferenz mit 40 cm fest vorgegeben. Anschließend erfolgte mit Hilfe einer weiteren abzuschätzenden Annahme für den zugehörigen Abfluss die Berechnung der tatsächlichen Wasserspiegeldifferenz.

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

Der abzuschätzende Abfluss wird im Rahmen dieses iterativen Berechnungsverfahrens solange angepasst, bis die berechnete Wasserspiegeldifferenz mit der angenommenen (40 cm) übereinstimmt.

Gemäß Berechnung (siehe Anlage 1) ergibt sich für die getroffenen Annahmen für die Einzugsflächen E_{1B} und E_{2A} jeweils ein maximal möglicher Abfluss in der Entwässerungsmulde von:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Trapez, max}} &= 54,7 \text{ l/s} > 18,7 \text{ l/s} \quad (E_{1B}) \\ Q_{\text{Trapez, max}} &= 54,7 \text{ l/s} > 15,9 \text{ l/s} \quad (E_{2A}) \end{aligned}$$

Der in Kapitel 3.3 für diese Einzugsflächen ermittelte Regenabfluss können somit von dem gewählten Gerinne abgeleitet werden.

3.4.2 Plausibilitätsprüfung (Entwässerungsmulde ohne Sohlgefälle)

Zur Durchführung einer Plausibilitätsprüfung wurde alternativ ein Neigungsgerinne betrachtet, das eine Höhe von lediglich 30 cm hat und dessen Sohle auf einer Länge von 133 m eine Höhendifferenz von 5 cm aufweist. Es handelt sich somit um ein gleichmäßig geneigtes „Ersatz-Gerinne“, dass theoretisch in das geplante (45 cm hohe) Gerinne eingebaut werden könnte.

Unter Annahme einer Vollenfüllung dieses „Ersatz-Gerinnes“ ergibt sich ein strömender Abfluss nach Gauckler-Manning-Strickler /3/ wie folgt:

$$Q = v \cdot A$$

$$v = k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot I_s^{1/2}$$

$$Q = k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot I_s^{1/2} \cdot A$$

$$k_{St} = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

$$\begin{aligned} I_s &= \Delta h_s / l \\ &= 0,05 \text{ m} / 133 \text{ m} \\ &= 0,00036 \end{aligned}$$

mit:

Q = Abfluss
 v = Fließgeschwindigkeit
 A = Durchflussquerschnitt
 k_{St} = Rauheitsbeiwert
 r_{hy} = hydraulischer Radius
 I_s = Sohlgefälle
 Δh_s = Höhendifferenz
 l = Länge des Gerinnes
 l_u = benetzter Umfang

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

$$\begin{aligned} A &= (0,30 \text{ m} + 1,5 \text{ m}) \cdot 0,15 \text{ m} \\ &= 0,27 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{\text{hy}} &= A / l_u \\ &= 0,27 \text{ m}^2 / (0,30 \text{ m} + 2 \cdot 0,67 \text{ m}) \\ &= 0,165 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= 50 \cdot 0,165^{2/3} \cdot 0,00036^{1/2} \cdot 0,27 \\ &= 0,0771 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 77,1 \text{ l/s} \end{aligned}$$

Der nach Gauckler-Manning-Strickler für das gewählte „Ersatz-Gerinne“ maximal mögliche Abfluss von ca. 77,1 l/s liegt über der zuvor in Kapitel 3.4.1 ermittelten Abflussmenge von ca. 54,73 l/s für den betrachteten Muldenabschnitt. Die Ableitung des angesetzten Regenabflusses wäre somit auch über das dargestellte (kleinere) „Ersatz-Gerinne“, das theoretisch in die geplante Entwässerungsmulde hineinpassen würde, möglich.

Der hydraulische Nachweis eines ausreichenden Abflussvermögens für die geplante Entwässerungsmulde ohne Sohlgefälle ist somit erbracht.

3.4.3 Entwässerungsmulde mit Sohlgefälle

In den übrigen Einzugsflächen ist vorgesehen, das Trapezgerinne mit einem Sohlgefälle auszustatten. Hierbei wird in den Einzugsflächen E_{2B} , E_3 und E_{4A} das durch die Geometrie der Deponie bzw. die Anordnung der Mulden entstehende Gefälle zur Abführung des Regenabflusses genutzt. In den Einzugsflächen E_{1A} und E_{4B} werden die Mulden mit einem Gefälle von in der Regel mindestens 5‰ in die Rekultivierungsschicht einprofiliert.

Stellvertretend für alle Gerinne in diesen Einzugsflächen wird die Mulde mit dem geringsten Gefälle (5‰) und der größten Einzugsfläche ($E_{4B} = 5,49 \text{ ha}$) also dem größten Regenabfluss nachgewiesen.

Fließformel nach Gauckler-Manning-Strickler /3/ (Annahme Freibord = 0,15 m):

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

$$Q = v \cdot A$$

$$v = k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot I_s^{1/2}$$

$$Q = k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot I_s^{1/2} \cdot A$$

$$k_{St} = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s} \text{ (Erdkanal, Sand/Kies)}$$

$$I_E = 5\text{‰} = 0,005$$

$$A = (0,30 \text{ m} + 1,50 \text{ m}) \cdot 0,15 \text{ m} \\ = 0,27 \text{ m}^2$$

$$r_{hy} = A / I_u \\ = 0,27 \text{ m}^2 / (0,30 \text{ m} + 2 \cdot 0,67 \text{ m}) \\ = 0,165 \text{ m}$$

$$v = 50 \cdot 0,165^{2/3} \cdot 0,005^{1/2} = 1,06 \text{ m/s}$$

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = 1,06 \cdot 0,27 = 0,2862 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Trapez, max}} = 286,2 \text{ l/s} > 113,1 \text{ l/s (E}_{4B}\text{)}$$

Der in Kapitel 3.3 für diese Einzugsfläche ermittelte Regenabfluss könnte von dem gewählten Gerinne abgeleitet werden. Beispielsweise wäre ein Längsgefälle von 2‰ ($Q = 181,6 \text{ l/s}$) rechnerisch immer noch ausreichend.

3.4.4 Plausibilitätsprüfung Einleitmengen

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass die in Kapitel 3.3 ermittelten Abflussmengen zwar unter Ansatz eines Abflussbeiwertes von $\Psi = 0,1$ jedoch ohne Berücksichtigung einer zeitlichen Verzögerung mit einer Regenspende von $r_{5,2} = 206 \text{ l/(s} \times \text{ha)}$ ermittelt wurden.

In den Einzugsflächen E_{1A} und E_{4B} fällt aufgrund der Größe des Einzugsgebietes die größte Einleitmenge an. In diesen Bereichen ist allerdings auch die Einzugslänge mit $l_{1A} = 519 \text{ m}$ und $l_{4B} = 513 \text{ m}$ am größten.

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

Unter Ansatz der für diesen Bereich in Kapitel 3.4.3 ermittelten Geschwindigkeit von $v = 0,673 \text{ m/s}$ ergibt sich eine Fließzeit t_f von:

$$t_f = l/v = 770 \text{ s} = 12,80 \text{ min}$$

Diese Fließzeit liegt deutlich über der Dauerstufe von $D = 5 \text{ min}$ des gewählten Bemessungsregens. Bei $t_f > D$ ist die Regenspende entsprechend der Fließzeit nach der folgenden Formel gemäß /3/ anzupassen.

$$r_{x,n=y} = r_{i,n=k} \cdot \frac{\varphi_{x,n=y}}{\varphi_{i,n=k}} \quad \text{mit } \varphi \text{ nach Reinhold} \quad \varphi_{r,n} = \frac{38}{T+9} \cdot (n^{-0,25} - 0,3684)$$

Aus der Formel folgt ein Bemessungsregen von:

$$r_{12,8,2} = 206 \cdot \frac{0,8274}{1,2825} = 132,31/\text{s}$$

Somit liegen die in Kapitel 3.3 ermittelten Abflussmengen insbesondere für die Einzugsgebiete E_{1A} und E_{4B} deutlich auf der sicheren Seite.

3.5 Nachweis der Entwässerungsgräben an den Auffahrampen

An den Auffahrampen wurden aufgrund des dort vorhandenen Längsgefälles jeweils einseitig der Deponiewartungswege Entwässerungsgräben angeordnet. Innerhalb dieser Gräben wird das Wasser zum Fußpunkt der Rampe und von dort in die Entwässerungsmulde geführt.

Der Nachweis wird nachfolgend exemplarisch für den Entwässerungsgraben der Westrampe (siehe Plan 1350GP160) aufgrund der dort gegebenen größten Einzugsfläche geführt. Alle anderen Entwässerungsgräben werden baugleich ausgebildet, so dass auf weitere Nachweise verzichtet werden kann.

Als Berechnungskennwerte sind zu nennen:

- Einzugsfläche E : 1,16 ha
- Bemessungsregen $r_{5,2}$ (siehe Kap. 3.3): 206 l/(s x ha)
- Abflussbeiwerte Ψ (siehe Kap. 3.3): 0,1

Der nachzuweisende Regenabfluss Q_r berechnet sich damit zu:

**Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung
Anlage 14: Hydraulische Berechnungen**

$$Q_r = E \times r_{5,2} \times \Psi = 1,16 \times 206 \times 0,1 = 23,9 \text{ l/s}$$

Folgende geometrischen Randbedingungen des Entwässerungsgrabens sind zu nennen (siehe auch Abbildung 4):

- Sohlgefälle: 5 %
- Muldentiefe: 20 cm (inkl. 10 cm Freibord)
- Muldenbreite: 100 cm
- Max. Wassertiefe, h: 10 cm
- benetzte Muldenbreite, s: 73 cm
- benetzte Sohlbreite, l_u : 77 cm

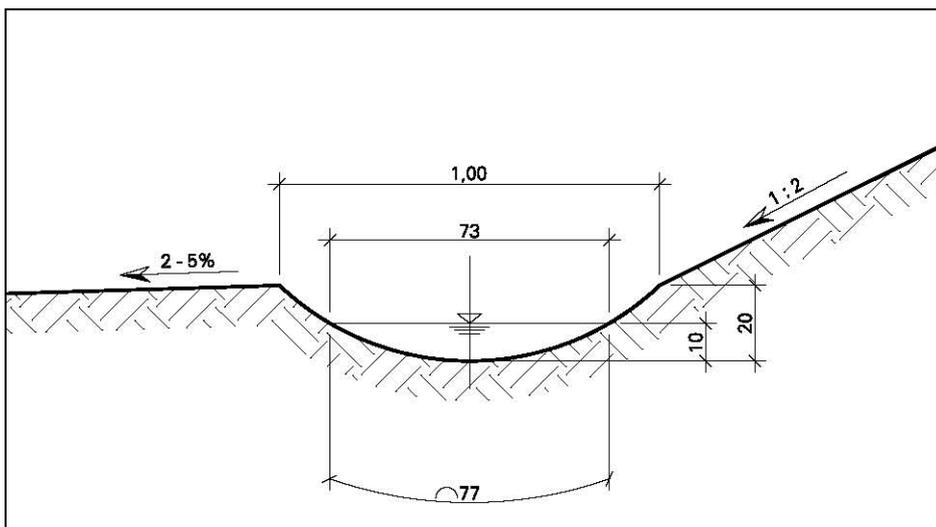


Abbildung 4: vereinfachender Schnitt Entwässerungsgraben

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

Fließformel nach Gauckler-Manning-Strickler /3/:

$$Q = v \cdot A$$

$$v = k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot I_s^{1/2}$$

$$Q = k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot I_s^{1/2} \cdot A$$

$$k_{St} = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

$$I_E = 5 \% = 0,05$$

$$A \cong \frac{2}{3} \times h \times s = \frac{2}{3} \times 0,10 \text{ m} \times 0,73 \text{ m} \\ = 0,049 \text{ m}^2$$

$$r_{hy} = A / I_u \\ = 0,049 \text{ m}^2 / 0,77 \\ = 0,064 \text{ m}$$

$$v = 25 \cdot 0,064^{2/3} \cdot 0,05^{1/2} = 0,89 \text{ m/s}$$

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = 0,89 \cdot 0,049 = 0,0436 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{mulde, max} = 43,6 \text{ l/s} > 23,9 \text{ l/s (} Q_r \text{)}$$

mit:

Q = Abfluss

v = Fließgeschwindigkeit

A = Durchflussquerschnitt

k_{St} = Rauheitsbeiwert

r_{hy} = hydraulischer Radius

I_E = Sohlgefälle

I_u = benetzter Umfang

Der hydraulische Nachweis ist damit erbracht.

3.6 Drosselschächte

3.6.1 Allgemeines

Die Einleitmenge in die Neue Aue muss aufgrund der hydraulischen Auslastung der Neuen Aue durch Drosselschächte auf 5 l / (s x ha) reduziert werden. Die verbleibende Spitzenmenge wird in den Ringgraben geleitet, der als Regenrückhaltebecken fungiert (siehe auch Detail im Plan 1350GP375).

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

3.6.2 Nachweis des Regenrückhaltevolumens im Ringgraben

Die Dimensionierung des erforderlichen Regenrückhaltevolumens im Ringgraben erfolgt gemäß DWA-A 117 /5/ mittels Näherungsverfahren. Hierbei ergibt sich das erforderliche Speichervolumen aus der maximalen Differenz der in einem Zeitraum gefallenen Niederschlagsmenge und dem über die Drossel abgeführten Abfluss.

Ist das vorhandene Speichervolumen des Ringgrabens größer als das erforderliche Volumen, kann der Ringgraben als Regenrückhaltebecken zur Speicherung der restlichen Spitzenmenge verwendet werden.

Zur Ermittlung des vorhandenen Speichervolumens wird von einer planmäßigen Wasserspiegelhöhe von -0,70 mNN und einer maximalen Einstauhöhe von +0,10 mNN (entspricht vorhandene minimale Grabenoberkante zzgl. Freibord) ausgegangen. Unter Berücksichtigung der Bestandsvermessung ergibt sich das vorhandene Volumen zu ca. 9.000 m³.

Folgende Eingangsparameter werden für das Näherungsverfahren (siehe Anlage 2) angesetzt:

Überschreitungshäufigkeit:	0,5 1/a	(siehe Kap. 3.2)
undurchlässige Fläche A_U :	20,21 ha	(siehe Kap. 3.1)
Regenanteil der Drosselabfluss- spende, bezogen aus $A_U - q_{dr,r,u}$	5 l / (s x ha)	(gem. Vorgabe BEG-logistics)
Zuschlagsfaktor f_z :	1,15	(nach ATV A117, Tabelle 2)
Abminderungsfaktor f_A :	0,99	(nach ATV A117, Bild 3)
Abflussbeiwert Ψ :	0,1	(siehe Kap. 3.2)

Das erforderliche Volumen ergibt sich zu (siehe Anlage 2):

$$V_{\text{erf.}} = 166 \text{ m}^3 \ll V_{\text{vorh.}} = 9.000 \text{ m}^3$$

Der Ringgraben ist demnach deutlich ausreichend dimensioniert. Es ergibt sich beim Bemessungsregen rechnerisch eine Erhöhung des Ringgrabenspiegels um lediglich etwa 2 cm.

Auch bei einer zeitlich ggf. verzögerten Entnahme des Ringgrabenwassers durch die Pumpen im Sedimentationsschacht bzw. den anschließenden Pumpen in der Pump-

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

station der öffentlichen Kanalisation (Pumpstation am Tierheim) ist damit eine hydraulische Überbelastung des Ringgrabensystems nicht zu erwarten⁴.

3.6.3 Bemessung Zulauf Entwässerungsmulde zum Drosselschacht

Die Dimensionierung der Leitungen erfolgt an dem maßgeblichen Drosselschacht 4 (Schacht mit der maximalen Zulaufmenge).

Der Nachweis erfolgt analog der Darstellungen im Kap. 2.4 über die maximale Abflusskapazität der gewählten Rohrleitung. Ist die maximale Abflusskapazität des Rohres größer als der Zufluss, gilt die Rohrleitung als ausreichend dimensioniert.

Folgende Eingangsparameter werden angesetzt:

Betriebsrauigkeit k_b : 0,75mm
Reibungsgefälle = Sohlgefälle I_E : $\geq 5,0$ %
gew. Vollrohr PE 100, $d_a = 315$ mm, SDR 17 \rightarrow Innendurchmesser $d_i = 277,6$ mm

Gemäß des Diagrammes /3/ ergibt sich: $Q_v = \text{ca. } 180,0$ l/s.

Gemäß DWA-A 110 /4/ ist eine Bemessung bei Teilfüllung Q_T mit $Q_T/Q_v \leq 0,9$ vorzunehmen.

$$Q_T = Q_v \cdot 0,9 = 180,0 \cdot 0,9 = 162,0 \text{ l/s} > 138,2 \text{ l/s}$$

Das maximale Abflussvermögen der Rohrleitung ist somit größer als der abzuleitende Oberflächenwasserabfluss. Die Leitung gilt somit als ausreichend dimensioniert. Aus konstruktiven Gründen erfolgt an allen vier Drosselschächten der Einsatz des gleichen Rohrdurchmessers.

⁴ Hinweis: Die derzeitige durchschnittliche Pumpleistung der Pumpe im Sedimentationsschacht beträgt nach Angaben der BEG etwa 17 m³/h. Die maximal mögliche Förderleistung der Pumpe wird jedoch mit ca. 45 m³/h angegeben, so dass eine ausreichende Pumpleistung auch bei Starkregenereignissen vorliegt. Nach Mitteilung der BEG-logistics vom 18. Januar 2010 verfügt zudem das Pumpwerk am Tierheim über ausreichende Reserven. Auch bei der o.g. maximalen Förderleistung der Pumpe im Sedimentationsschacht von 47 m³/h ist demnach das Pumpwerk am Tierheim nicht überlastet.

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

3.6.4 Bemessung Drosselleitung zur Neuen Aue

Analog zum Kapitel 3.6.3 erfolgt die Dimensionierung der Drosselleitungen über das maximale Abflussvermögens nach der allgemeinen Fließformel nach Prandtl-Colebrook. Der Drosselabfluss variiert nach der Größe des Einzugsgebiets.

$$Q_{dr,r,u} = q_{dr,r,u} \times A_u$$

Die Drosselabflüsse in Abhängigkeit vom Einzugsflächen wurden in der nachfolgenden Tabelle 5 aufgelistet.

Drosselschacht	Einzugsfläche	Drosselabfluss
1	$E_{1A} = 5,32 \text{ ha}$ $E_{1B} = 0,91 \text{ ha}$	$Q_1 = 31,2 \text{ l/s}$
2	$E_{2A} = 0,77 \text{ ha}$ $E_{2B} = 3,08 \text{ ha}$	$Q_2 = 19,3 \text{ l/s}$
3	$E_3 = 3,42 \text{ ha}$	$Q_3 = 17,1 \text{ l/s}$
4	$E_{4A} = 1,22 \text{ ha}$ $E_{4B} = 5,49 \text{ ha}$	$Q_4 = 33,6 \text{ l/s}$

Tabelle 5: Auflistung der Drosselabflüsse

Für die Dimensionierung der Drosselleitung wird der maßgebliche Drosselschacht 4 angesetzt. Unter Berücksichtigung der Eingangsparameter gemäß Kapitel 3.6.3 bei einem jedoch abweichenden Sohlgefälle von $I_e = 3,0 \%$ ergibt sich das maximale Abflussvermögen zu:

gew. Vollrohr PE 100, $d_a = 225 \text{ mm}$, SDR 17 \rightarrow Innendurchmesser $d_i = 198 \text{ mm}$

Gemäß des Diagrammes /3/ ergibt sich: $Q_v = \text{ca. } 65,0 \text{ l/s}$.

Gemäß DWA-A 110 /4/ ist eine Bemessung bei Teilfüllung Q_T mit $Q_T/Q_v \leq 0,9$ vorzunehmen.

$$Q_T = Q_v \cdot 0,9 = 65,0 \cdot 0,9 = 58,5 \text{ l/s} > 33,6 \text{ l/s}$$

Die Leitung ist mit dem gewählten Durchmesser überdimensioniert. Aus konstruktiven Gründen (verbesserte Kamerabefahrung, Spülung etc.) wird der Durchmesser jedoch nicht verringert. Für alle vier Drosselleitungen wird der gleiche Durchmesser verwendet.

Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

3.6.5 Bemessung Regenüberlauf in Ringgraben

Die restliche Spitzenmenge, die über den Regenüberlauf in den Ringgraben geleitet werden muss, ergibt sich aus der Differenz vom Regenabfluss (siehe Tabelle 4) und Drosselabfluss (siehe Tabelle 5). Für die Dimensionierung wird der maßgebliche Drosselschacht 4 angesetzt. Der verbleibende Spitzenabfluss ergibt sich zu:

$$Q_{\text{Rest},r,4} = Q_{r,4} - Q_{\text{dr},r,u,4} = 138,2 - 33,6 = 104,6 \text{ l/s}$$

Folgende Eingangsparameter werden angesetzt:

Betriebsrauigkeit k_b : 0,75mm
 Reibungsgefälle = Sohlgefälle I_E : $\geq 5,0 \%$
 gew. Vollrohr PE 100, $d_a = 280 \text{ mm}$, SDR 17 \rightarrow Innendurchmesser $d_i = 246,8 \text{ mm}$

Gemäß des Diagrammes /3/ ergibt sich: $Q_v = \text{ca. } 150,0 \text{ l/s}$.

Gemäß DWA-A 110 /4/ ist eine Bemessung bei Teilfüllung Q_T mit $Q_T/Q_v \leq 0,9$ vorzunehmen.

$$Q_T = Q_v \cdot 0,9 = 150,0 \cdot 0,9 = 135,0 \text{ l/s} > 104,6 \text{ l/s}$$

Der Regenüberlauf ist ausreichend dimensioniert.

Bearbeitung:
 Dipl.-Ing. Lisa Gerlach
 Dipl.-Ing. Thomas Wemhoff
 Dipl.-Ing. Christian Beythen

Bremen, im März 2010

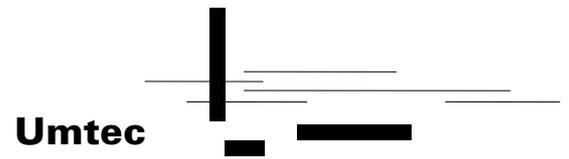
Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung Anlage 14: Hydraulische Berechnungen

4 Literatur

- /1/ KOSTRA, Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertung, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, 2000
- /2/ DWA:
DWA-A 118, Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., März 2006
- /3/ Wendehorst:
Bautechnische Zahlentafeln, 32. Auflage, Kapitel Wasserwirtschaft, B.G. Teubner Stuttgart und Beuth Berlin Wien Zürich; 2007
- /4/ DWA:
DWA-A 110: Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., August 2006
- /5/ DWA:
DWA-A 117: Bemessung von Regenrückhalteräumen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., April 2006
- /6/ Bund
Artikel 1 der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts (Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV), Veröffentlicht im Bundesgesetzblatt Jg. 2009 Teil I Nr. 22, ausgegeben am 29.04.09
- /7/ Deutsches Institut für Normung
DIN 19667, Dränung von Deponien – Planung, Bauausführung und Betrieb, Oktober 2009
- /8/ Deutsches Institut für Normung
DIN 19667, Dränung von Deponien – Planung, Bauausführung und Betrieb, Mai 1991
- /9/ DGGT:
GDA-Empfehlung E 2 – 20 der DGGT, Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen, Stand Januar 2004 (veröffentlicht unter www.gdaonline.de)

**Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung
Anlage 14: Hydraulische Berechnungen**

- /10/ LESAFFRE, B.
Analytical formulae for travers drainage of sloping lands with constant rain-
fall. Irrigation and Drainage Systems,
Vol. 1, No. 2; 1987



**Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung
Anlage 14: Hydraulische Berechnungen**

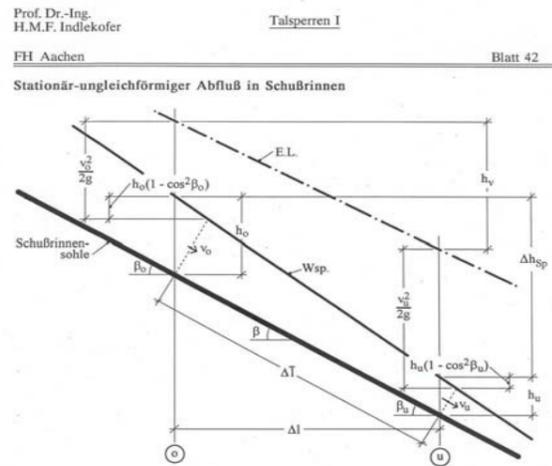
Anlagen

**Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung
Anlage 14: Hydraulische Berechnungen**

Anlage 1

Berechnungen zur Entwässerungsmulde ohne Sohlgefälle

Station	Sohlbreite	Böschungsneigung	Durchfluss, m ³ /s	Wasserspiegel, m	geschätzte Änderung des Wasserspiegels, m	Hydraulischer Querschnitt, m ²	mittlerer hydr. Querschnitt zwischen Station n und Station n-1, m ²	benetzter Umfang, m	mittlerer benetzter Umfang, m	hydraulischer Radius		Höhendifferenz der Energiehöhe an Sattion n und n-1, m	Entfernung zwischen Sattion n und n-1, m	mittlere Geschwindigkeit zwischen Station n und n-1, m/s					
	b	m	Q	H	Δh, gesch.	A	A _m	l _{U,o}	l _{U,m}	r _{hyd,m}	r _{hyd} ^{4/3}	h _v	k _{St}	Δl	v _m	v	v ²	v _u ² -v _o ² /2g	h _{ber}
0	0,3	2	0,0000	0,4500		0,5400		2,3125								0,0000	0,0000		
138	0,3	2	0,0600	0,0500	0,4000	0,0200	0,2800	0,5236	1,4180	0,1975	0,1150	0,0220	50	138,0000	0,2143	3,0000	9,0000	0,4587	0,4808
					h_{ber}/h_{gesch} :	1,2019													
0	0,3	2	0,0000	0,4500		0,5400		2,3125								0,0000	0,0000		
138	0,3	2	0,0550	0,0500	0,4000	0,0200	0,2800	0,5236	1,4180	0,1975	0,1150	0,0185	50	138,0000	0,1964	2,7500	7,5625	0,3854	0,4040
					h_{ber}/h_{gesch} :	1,0099													
0	0,3	2	0,0000	0,4500		0,5400		2,3125								0,0000	0,0000		
138	0,3	2	0,0547	0,0500	0,4000	0,0200	0,2800	0,5236	1,4180	0,1975	0,1150	0,0183	50	138,0000	0,1955	2,7366	7,4890	0,3817	0,4000
					h_{ber}/h_{gesch} :	1,0001													



Bei Anwendung der Bernoullischen Druck- und Energiegleichung für die Stellen (o) und (u) im steilen Gerinne

$$\frac{v_o^2}{2g} - h_o(1 - \cos^2\beta_o) + \Delta h_{Sp} = \frac{v_u^2}{2g} - h_u(1 - \cos^2\beta_u) + h_v \quad (42.1)$$

ergibt sich für den Wasserspiegelunterschied Δh_{Sp} die folgende Formel

$$\Delta h_{Sp} = h_v + \frac{v_u^2 - v_o^2}{2g} + h_o(1 - \cos^2\beta_o) - h_u(1 - \cos^2\beta_u) \quad (42.2)$$

wobei für die Verlusthöhe h_v gilt

$$h_v = \frac{v_m^2}{k_{St}^{2 \cdot 4/3} r_{hy, m}} \Delta l \quad (42.3)$$

und für die Schubstrecke Δl zwischen (o) und (u)

$$\Delta l = \Delta l / \cos \beta \quad \text{mit } \beta = 1/2(\beta_o + \beta_u) \quad (42.4)$$

Für die Berechnungen wird folgendes vereinbart

$$\left. \begin{aligned} \bar{A}_m &= 1/2(\bar{A}_o + \bar{A}_u); \quad \bar{l}_{U,m} = 1/2(\bar{l}_{U,o} + \bar{l}_{U,u}); \quad \bar{r}_{hy,m} = \bar{A}_m / \bar{l}_{U,m} \\ v_m &= Q / \bar{A}_m; \quad v_o = Q / \bar{A}_o; \quad v_u = Q / \bar{A}_u; \quad k_{St} = 1/2(k_{St,o} + k_{St,u}) \end{aligned} \right\} \quad (42.5)$$

**Deponie Grauer Wall, Antrag auf Änderung der Planfeststellung
Anlage 14: Hydraulische Berechnungen**

Anlage 2

Nachweis Regenrückhaltevolumen im Ringgraben

Bemessung gem. ATV A 117 (einfaches Verfahren)

$$V_{s,u} = (r_{D,n} - q_{dr,r,u}) * D * f_z * f_A * 0,06$$

spezifisches Speichervolumen, bezogen auf A_u [m^3/ha]

$$V = V_{s,u} * A_u$$

Volumen des Rückhaltebeckens [m^3]

konstante Eingangsgrößen

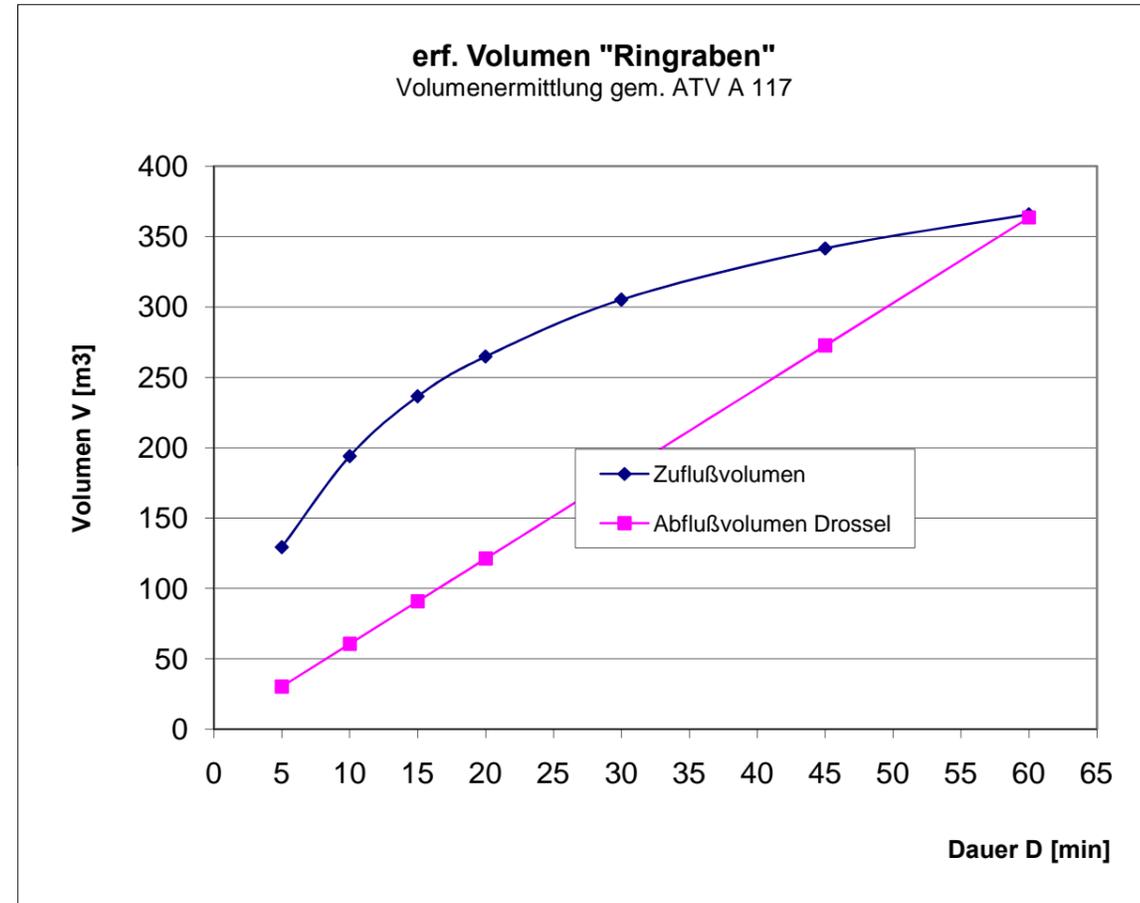
Überschreitungshäufigkeit n	0,5 [1/a]	
undurchlässige Fläche A_u	20,21 [ha]	
Drosselabfluß Q_{dr}		101 [l/s]
Regenanteil der Drosselabflußspende der undurchlässigen Fläche $q_{dr,r,u}$		5 [l/(s*ha)]
Zuschlagsfaktor f_z	1,15 [-]	(nach ATV A117, Tabelle 2)
Abminderungsfaktor f_A	0,99 [-]	(nach ATV A 117, Bild 3)
Abflussbeiwert Ψ	0,1 [-]	(siehe Anlage 12, Kap. 3.2)

veränderliche Eingangsgrößen

Dauerstufe D		[min]
Regenspende $r_{D,n}$ der Dauerstufe D und der Häufigkeit n		[l/(s*ha)]

tabellarische Ermittlung des Rückhaltevolumens

D min	$r_{D,n}$ l/(s*ha)	$V_{s,u}$ m^3/ha	V m^3
5	213,0	6	113
10	159,3	7	151
15	129,3	8	164
20	109,3	8	164
30	84,0	7	141
45	62,8	4	80
60	50,3	0	2
		8	164



D min	h_N mm	$10 * h_N * A_u$ m^3	$0,06 * Q_{dr} * D$ m^3	$f_z * f_A * \Delta V$ m^3
5	6,4	129	30	113
10	9,6	194	61	152
15	11,7	236	91	166
20	13,1	265	121	163
30	15,1	305	182	140
45	16,9	342	273	78
60	18,1	366	364	3
				166