

Inhalt

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Statische und geohydraulische Berechnungen des Neuzustandes | 2 |
| 1.1 | Vorbemerkungen..... | 2 |
| 1.2 | Zusammenfassung der Ergebnisse | 3 |
| 1.3 | Berechnungsergebnisse – Profil 17 bei km 0+188 | 4 |
| 1.3.1 | BN 1:2,5 LF3 ohne Entlastung (Massenaustausch unterhalb Filter) | 4 |
| 1.3.2 | BN 1:2,5 LF3 mit Entlastung (Massenaustausch unter dem Filter) | 6 |
| 1.3.3 | BN 1:2,5 LF2 mit Entlastung (Massenaustausch unter dem Filter) | 8 |
| 1.4 | Nachweis der anzuwendenden Erdstoffe für den Deichaufbau..... | 10 |

1 Statische und geohydraulische Berechnungen des Neuzustandes

1.1 Vorbemerkungen

Die Berechnungen werden für die festgelegte Vorzugsvariante 2 der Vorplanung für den Deichabschnitt entlang der Kleinen Röder zwischen Straßenbrücke und Wehr (Deichabschnitt in Höhe Zobersdorf) dargestellt. Die Berechnungsmodelle wurden für das Querprofil 17 bei Deich-km 0+188 erstellt, in das das geologische Querprofil 4 übertragen wurde. Die entsprechenden sondierten Verhältnisse und die im Rahmen einer Vermessung aufgenommene Geometrie des Deiches sowie dessen Vor- und Hinterland wurden übertragen.

Der geologische Aufbau der wasser- und landseitigen Vorländer ist mitentscheidend für die Ergebnisse der Sickerlinien- und Böschungsbruchberechnung. Da die Schichtungsverhältnisse jedoch nur für den Bereich der Deichkrone sowie für die wasser- und landseitigen Böschungsfüße genau bekannt sind, mussten letztere in den erzeugten Querprofilen horizontal verlängert werden.

Es ist anzumerken, dass die Nachweise aufgrund der wechselnden geologischen Verhältnisse (siehe Baugrundgutachten) nur lokale Gültigkeit besitzen.

Die wasserseitige Deichböschung schließt direkt an die vorhandene Gewässerböschung an, damit ein möglichst breites Deichvorlandes (beginnend am landseitigen Deichfuß) zur Bewirtschaftung des landseitig gelegenen Liebenwerdaer-Wahrenbrücker-Binnengraben erhalten bleibt.

In den Berechnungen wurden Böschungsneigungen von 1:3; 1:2,5 und 1:2 untersucht, um die daraus resultierenden Platzverhältnisse zu untersuchen. Die Vorzugsvariante mit Böschungsneigungen von 1:2,5 wurde unter Berücksichtigung der Gewässerunterhaltung der Kleinen Röder von der Deichkrone festgelegt.

Für die Berechnungsgänge, bei denen der Wasserspiegel (WSP) unter die eingemessene Geländeoberkante des rechten oder linken Modellrandes absinkt (z.B. bei Niedrigwasserführung im Graben oder Nachweis Lastfall 1 Kleine Röder), mussten die Geländeoberkanten unter die entsprechenden WSP modelliert werden, da diese WSP softwarebedingt sonst nicht berücksichtigt werden und falsche Ergebnisse ausgegeben werden.

In den Böschungsbruchberechnungen wurden als Verkehrslast auf dem DVW 33,3 kN/m² angesetzt. Die Nachweisführungen wurden für die Lastfälle 1 (bordvoller Abfluss Kleine Röder), 2 (Wasserspiegellage bis 0,5 m unter Deichkrone) und 3 (Wasserspiegellage bis OK Deichkrone) geführt.

Folgende Wasserspiegelhöhen (über den Abschnitt gemittelt) wurden in den Berechnungen berücksichtigt:

| LF 3 | LF 2 | LF 1 |
|-------------|-------------|-------------|
| 89,17 mNHN | 88,67 mNHN | 87,55 mNHN |

Die Richtigkeit der Berechnungen nach DIN 19712 (Entwurf 2012) unter Berücksichtigung der Lastfälle und Teilsicherheitsbeiwerte nach Eurocode 7 erfolgte durch die Bauprüfstelle des LfU, weswegen auf eine Neuberechnung verzichtet wurde.

Die Berechnungen wurden mit Programmen der GGU - Ingenieur Software durchgeführt:

- Sickerlinienberechnung: zweidimensionale Grundwasserströmung mit der Finite-Elemente-Methode, Programm GGU-SS-FLOW2D, Vers. 8.04
- Böschungsbruchberechnung: nach DIN 4084 (Grundlage Lamellenverfahren nach Bishop), Programm GGU-STABILITY, Version 8.12
- Auftriebsberechnung: Auftriebssicherheit und hydraulische Grundbruch-sicherheit; (Grundlage: Potenziallinienverlauf der eindimensionalen Grundwasserströmung), Programm GGU-UPLIFT; Vers. 3.02

1.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse

Für die Einhaltung der rechnerischen Nachweise müssen nachfolgende Ausnutzungsgrade an den Berechnungsquerschnitten eingehalten sein:

- erforderlicher Ausnutzungsgrad für den Böschungsbruch gemäß DIN 4084 (Berechnung über Teilsicherheitsbeiwerte): $\mu_{\max} \leq 1,0$
- erforderliche Ausnutzungsgrade für den Auftrieb und den hydraulischen Grundbruch gemäß DIN 1054 (Berechnung über Teilsicherheitskonzept):

$$\mu_{\max} \leq 1,0$$

| Querprofil 17; Station- km 0+188 | | Ausnutzungsgrade | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Gliederungs- pkt. | Variante | $\mu_{\max} \leq 1,0$ | | | | |
| | | Auftrieb | hydr. Grundbruch | Böschungsbruchs | Böschungsbruchs | Böschungsbruch Graben |
| | BN 1:3; LF 3 | 0,99 | 1,10 | 0,91 | 0,66 | -* |
| | BN 1:3; LF 2 | 0,92 | 0,87 | 0,87 | 0,78 | -* |
| 1.3.1 | BN 1:2,5; LF 3 | 1,12 | 1,45 | 1,61 | - | -* |
| 1.3.2 | BN 1:2,5; LF 3 (mit Entlastung) | 0,73 | 0,47 | 0,96 | 0,65 | -* |
| 1.3.3 | BN 1:2,5; LF 2 (mit Entlastung) | 0,68 | 0,34 | 0,93 | 0,76 | -* |
| | BN 1:2; LF3 (mit Entlastung) | 0,71 | 0,43 | 1,23 | 0,76 | -* |

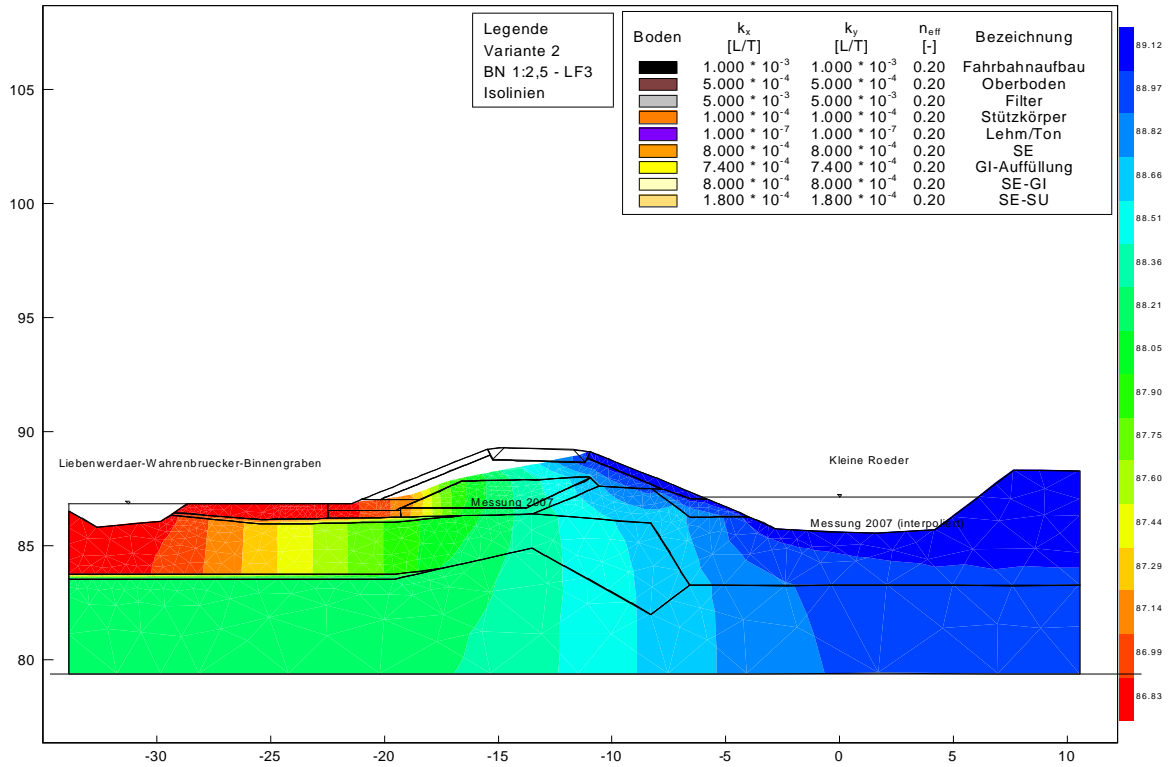
*) Böschungsstandsicherheit Graben wurde aufgrund der größeren Vorlandbreite nicht betrachtet.

Zur Orientierung werden die Berechnungsergebnisse für die untersuchten verschiedenen Böschungsneigungen mit aufgeführt.

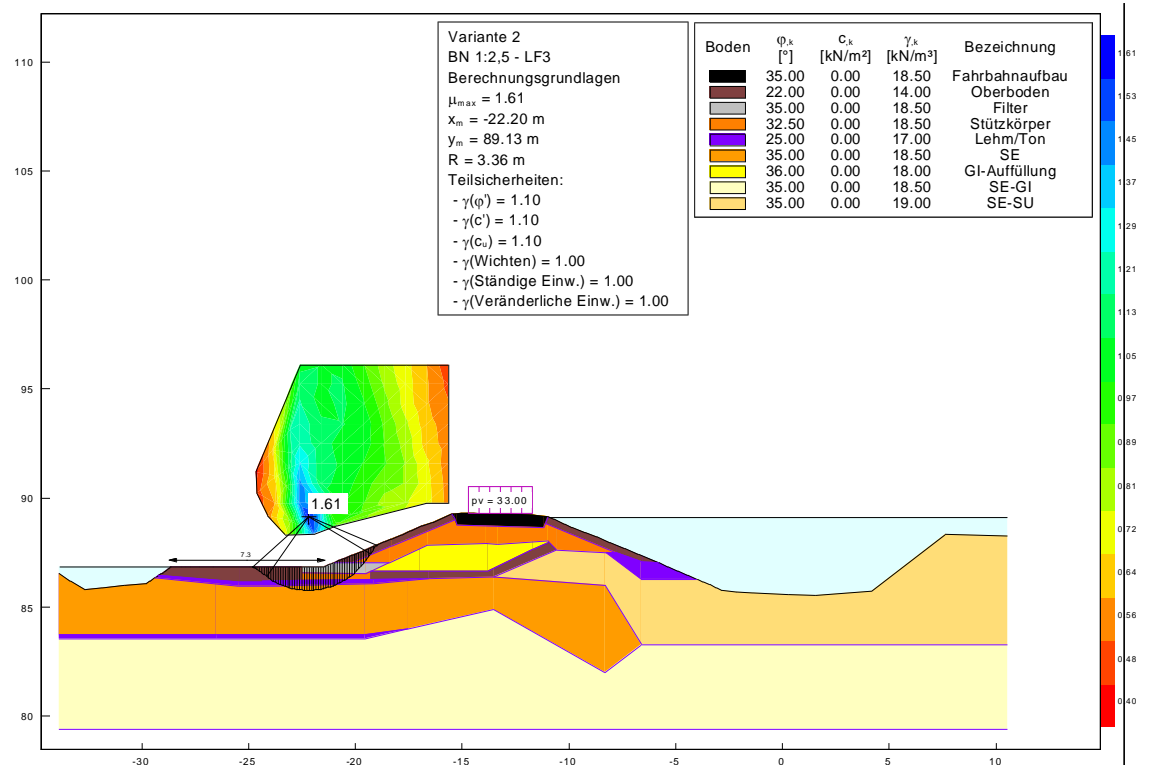
1.3 Berechnungsergebnisse – Profil 17 bei km 0+188

1.3.1 BN 1:2,5 LF3 ohne Entlastung (Massenaustausch unterhalb Filter)

Sickerlinienberechnung stationär






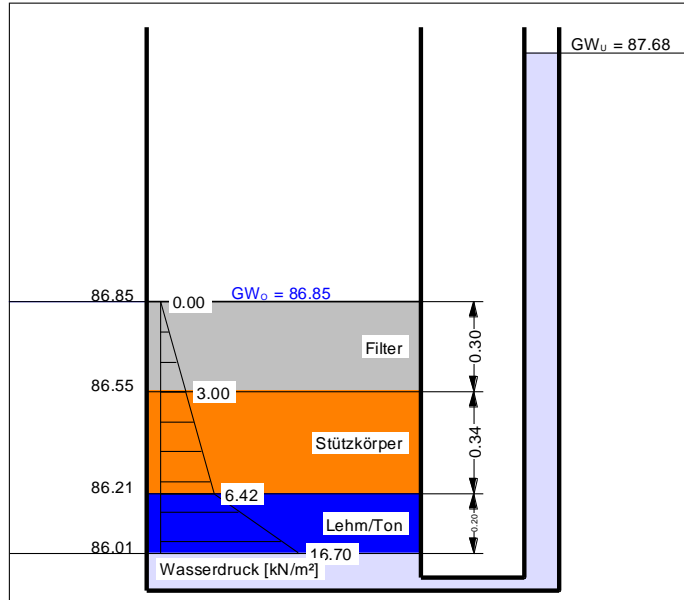
Böschungsstandsicherheit – ohne Massenaustausch nicht ausreichend!



Auftriebssicherheit – ohne Massenaustausch nicht ausreichend!

BN1:3 - LF3
 Datei: QP_Variante_2_LF3_BN_1_2.5.aft

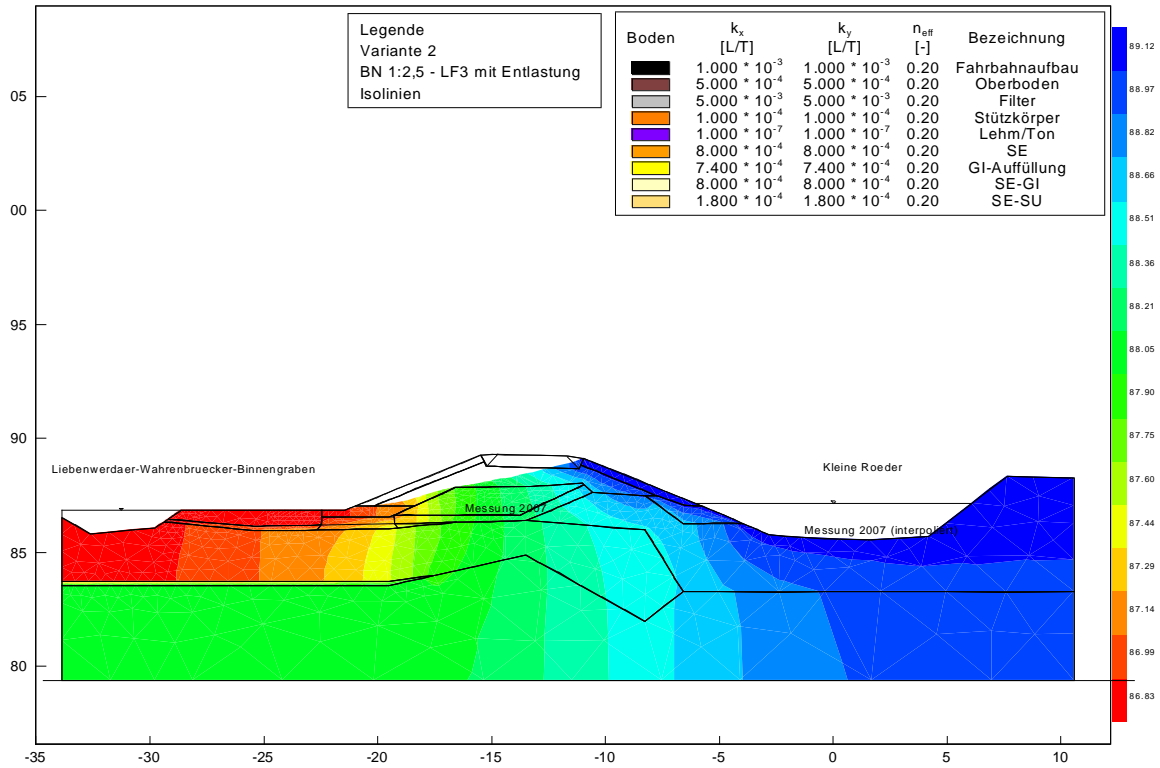
| Boden | γ [kN/m ³] | γ' [kN/m ³] | k [m/s] | Bezeichnung |
|---|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------|
|  | 18.5 | 8.5 | $1.0 \cdot 10^{-3}$ | Filter |
|  | 18.5 | 8.5 | $1.0 \cdot 10^{-4}$ | Stützkörper |
|  | 17.0 | 9.0 | $1.0 \cdot 10^{-7}$ | Lehm/Ton |



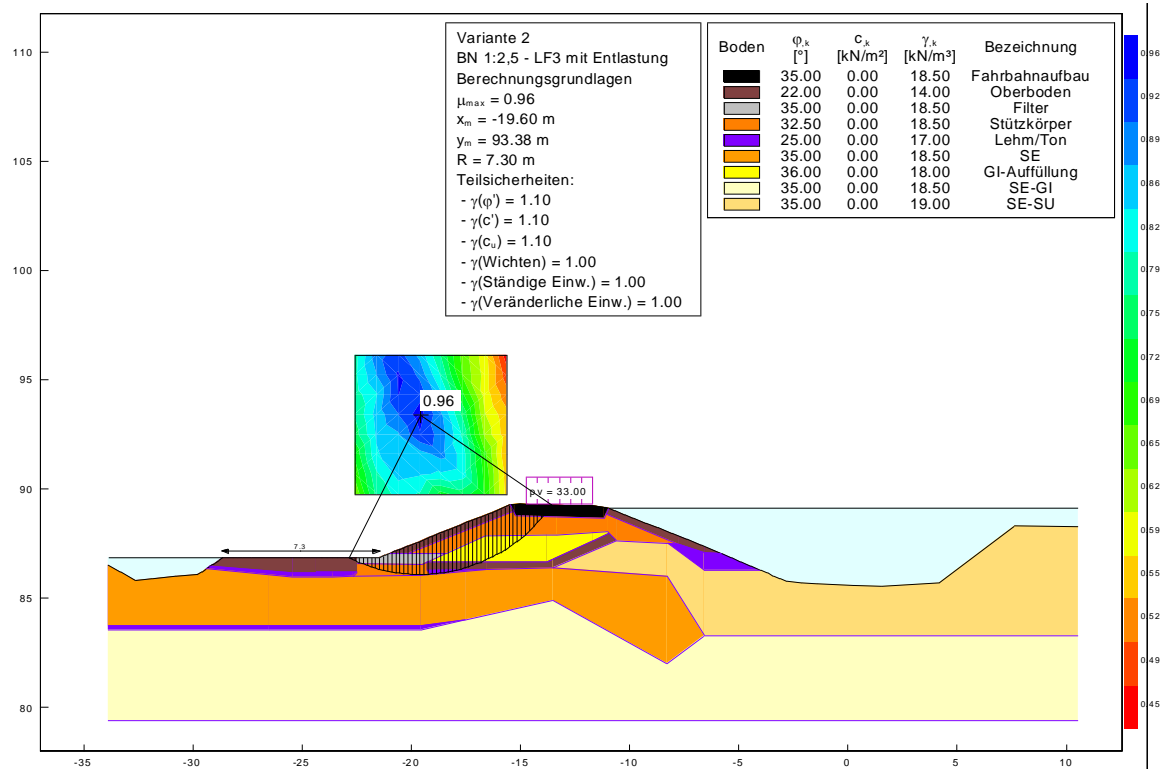
| | |
|--|--|
| <p>Auftriebssicherheit Ausnutzungsgrad $\mu = 1.124$ bei = 86.010 m Gewicht = 15.640 kN/m² γ (Gewicht) = 0.950 PW-Druck = 16.700 kN/m² γ (PW-Druck) = 1.000 $\mu = 1.000 \cdot 16.700 / (0.950 \cdot 15.640)$</p> | <p>Hydraulische Grundbruchsicherheit Ausnutzungsgrad $\mu = 1.448$ bei = 86.010 m Gewicht = 7.240 kN/m² γ (Gewicht) = 0.950 Strömungskraft = 8.300 kN/m² γ (Strömungskraft) = 1.200 $\mu = 1.200 \cdot 8.300 / (0.950 \cdot 7.240)$</p> |
|--|--|

1.3.2 BN 1:2,5 LF3 mit Entlastung (Massenaustausch unter dem Filter)

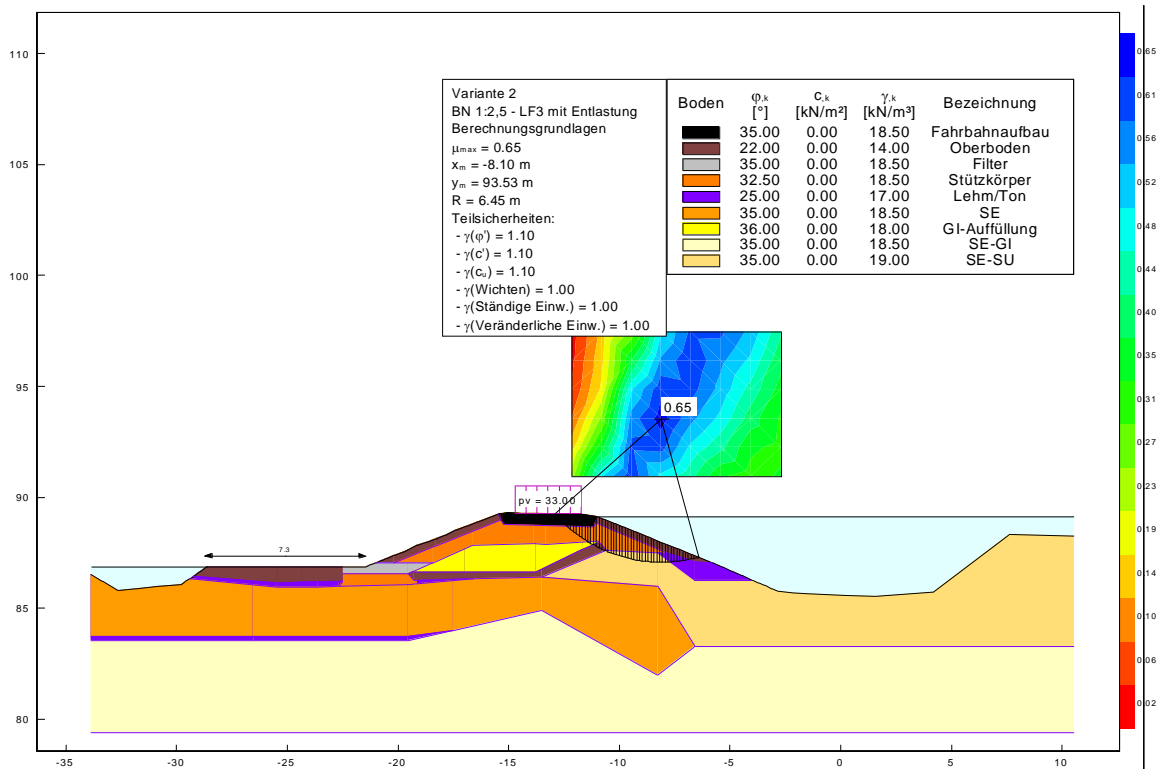
Sickerlinienberechnung stationär



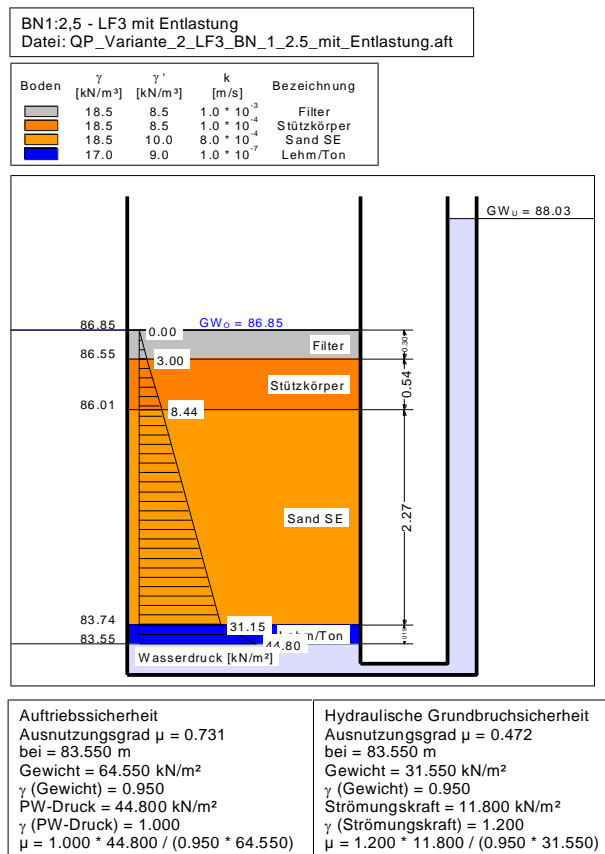
Böschungsstandsicherheit – landseitig – mit Massenaustausch ausreichend!



Böschungsstandsicherheit – wasserseitig ausreichend

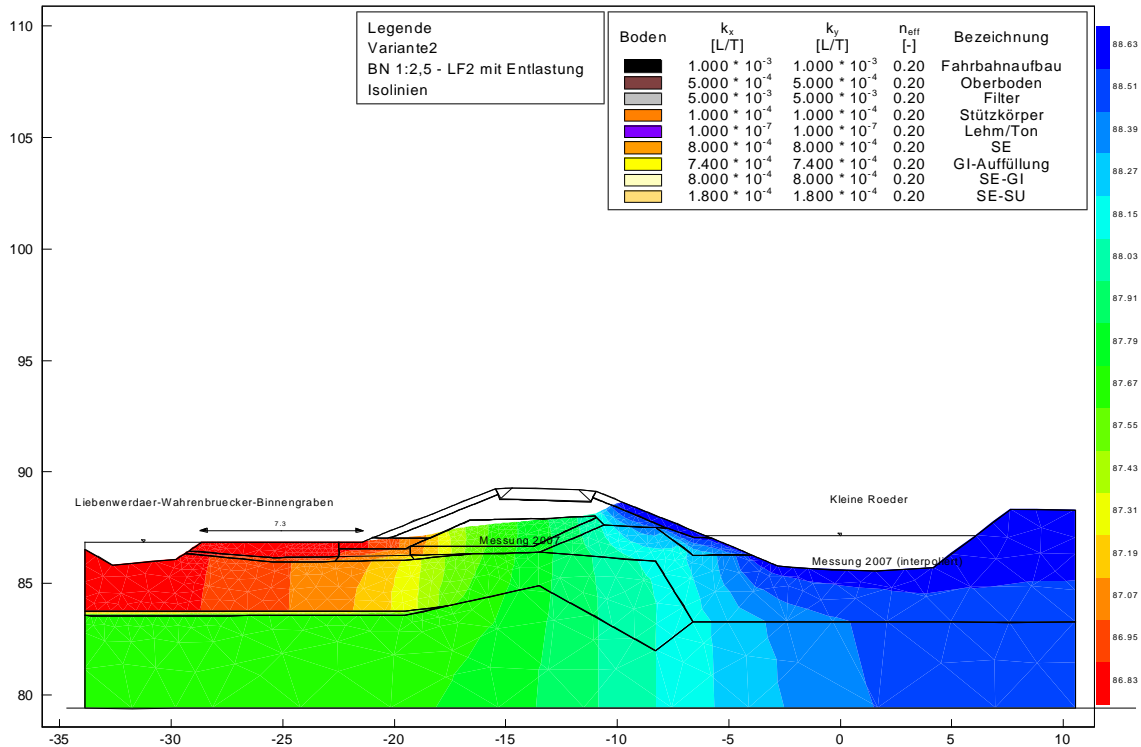


Auftriebssicherheit – landseitiger Deichfuß ausreichend

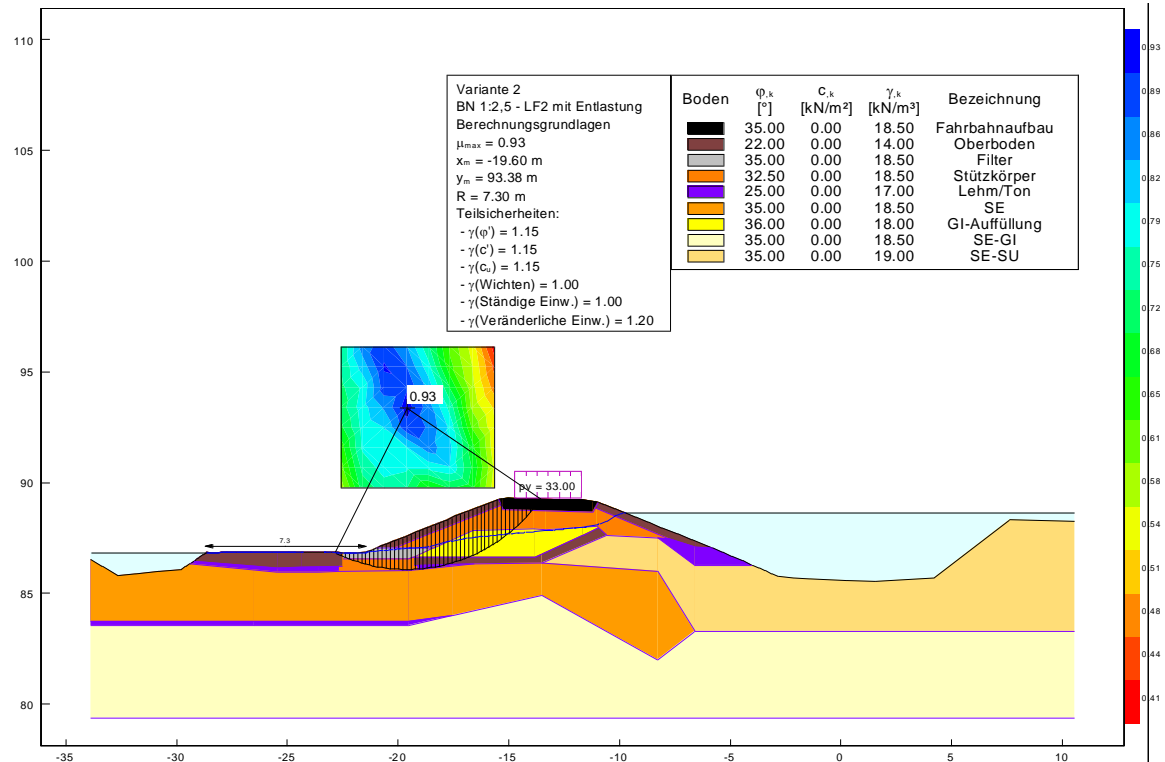


1.3.3 BN 1:2,5 LF2 mit Entlastung (Massenaustausch unter dem Filter)

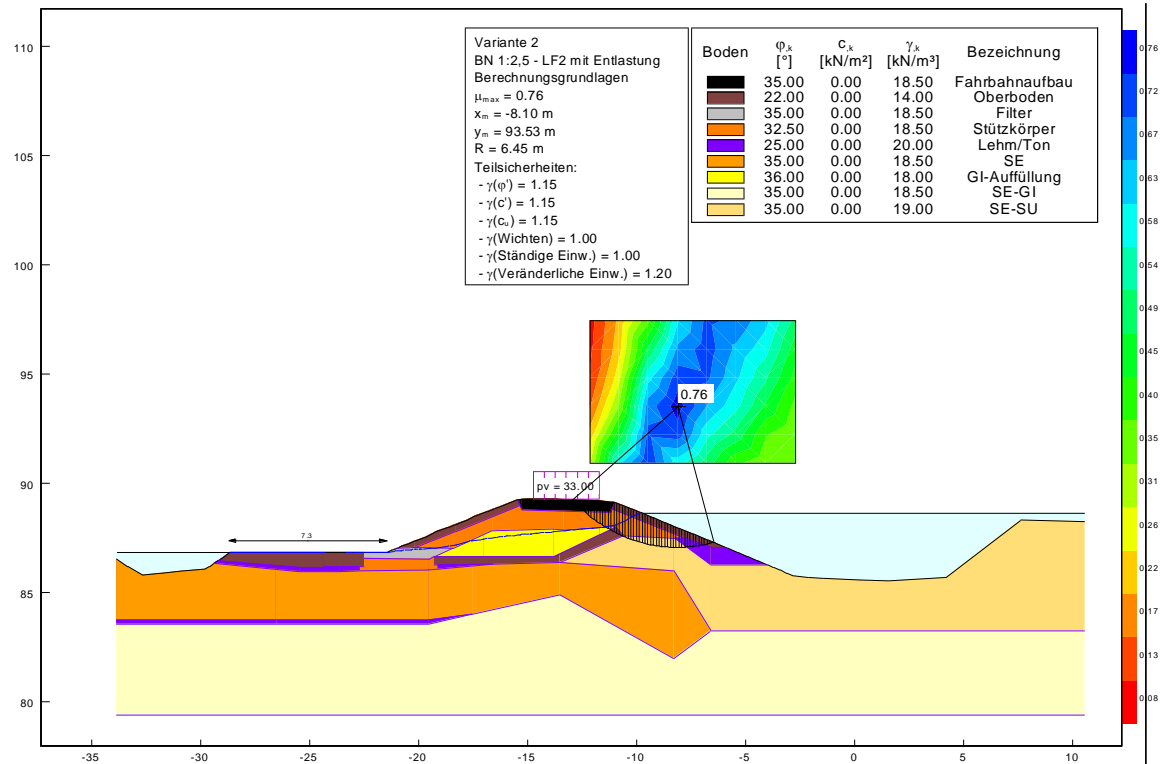
Sickerlinienberechnung stationär



Böschungsstandsicherheit – landseitig ausreichend



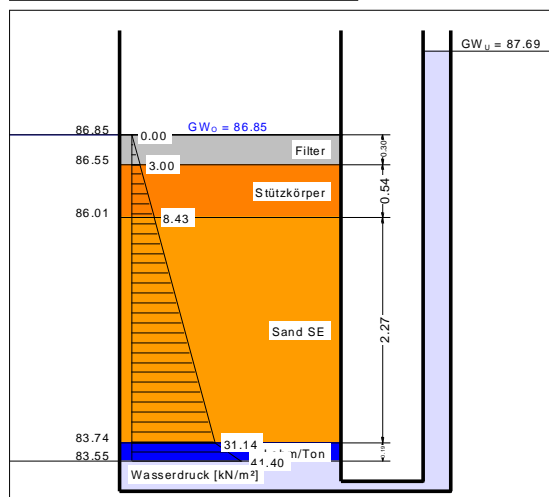
Böschungsstandsicherheit – wasserseitig ausreichend



Auftriebssicherheit – landseitiger Deichfuß ausreichend

BN1:3 - LF2 mit Entlastung
 Datei: QP_Variante_2_LF2_BN_1_2.5_mit_Entlastung.aft

| Boden | γ [kN/m ³] | γ' [kN/m ³] | k [m/s] | Bezeichnung |
|------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------|-------------|
| Light Grey | 18.5 | 8.5 | $1.0 \cdot 10^{-3}$ | Filter |
| Orange | 18.5 | 8.5 | $1.0 \cdot 10^{-4}$ | Stützkörper |
| Yellow | 18.5 | 10.0 | $8.0 \cdot 10^{-4}$ | Sand SE |
| Purple | 17.0 | 9.0 | $1.0 \cdot 10^{-7}$ | Lehm/Ton |



| | |
|--|--|
| Auftriebssicherheit Ausnutzungsgrad $\mu = 0.675$ bei = 83.550 m Gewicht = 64.550 kN/m ² γ (Gewicht) = 0.950 PW-Druck = 41.400 kN/m ² γ (PW-Druck) = 1.000 $\mu = 1.000 \cdot 41.400 / (0.950 \cdot 64.550)$ | Hydraulische Grundbruchsicherheit Ausnutzungsgrad $\mu = 0.336$ bei = 83.550 m Gewicht = 31.550 kN/m ² γ (Gewicht) = 0.950 Strömungskraft = 8.400 kN/m ² γ (Strömungskraft) = 1.200 $\mu = 1.200 \cdot 8.400 / (0.950 \cdot 31.550)$ |
|--|--|

1.4 Nachweis der anzuwendenden Erdstoffe für den Deichaufbau

Ausgehend vom vorhandenen und geplanten Aufbau des Deiches sind die filtertechnischen Nachweise an den Grenzschichten der vorhandenen „Notdeich“-Auffüllung zum neuen Stützkörperaufbau sowie vom Stützkörper bzw. o. Auffüllung zum Filtertrapez zu führen.

Die Durchlässigkeiten der vorhandenen Auffüllung mit $k_f = 7,4 \cdot 10^{-4}$ m/s und dem Stützkörper von $k_f \geq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s am Berechnungsprofil 4 weichen nicht wesentlich voneinander ab.

Die kiesigen Auffüllungen weisen Durchlässigkeiten von $6,8 \cdot 10^{-4}$ m/s bis $7,4 \cdot 10^{-4}$ m/s auf.

Die Ungleichförmigkeitszahlen liegen beim geolog. Profil 2 mit $U = 4,9$ innerhalb geforderter Toleranzen von 6 bis 8. Die Profile 3 bis 5 weisen mit $U = 14,8$ bis $27,4$ wesentlich höhere Werte auf, da das Sieblinienspektrum von Feinsand bis zu Steinen reicht.

Da die Kornlinien aber weitestgehend stetig verlaufen, sind bei weiterer Überschüttung mit suffosionssicheren Sanden und Kiesen keine Probleme hinsichtlich Materialumlagerungen im Deichkörper zu erwarten.

Die nichtbindigen Erdstoffe im neuen Deich auf der Landseite sind zur Absenkung der Sickerlinie erforderlich, um die Krone bei Hochwasser für den Aufbau des DVW genügend belastungsfähig zu gestalten.

Die zusätzlich land- und kronenseitig einzubauenden Sande mit Durchlässigkeiten von $> 10^{-4}$ m/s sind so einzuordnen, dass an den Kontaktflächen zu den eingebauten Sanden im Deichkern (SE-GI) keine standsicherheitsgefährdeten Suffosions- und Erosionserscheinungen auftreten.

Die Ungleichförmigkeitszahlen sollen höchstens zwischen 6 und 8 liegen, womit die innere Suffosionssicherheit gewährleistet ist (Regel 4 nach Ziem).

Das Sieblinienspektrum der an der Schadstelle Zobersdorf eingebauten „Notschüttung“ ist in nachfolgender Grafik rot markiert. Die maximal mögliche Sieblinie des neuen Stützkörpers wird vom linken Rand des Spektrums der vorhandenen Schüttung bestimmt.

Nach MAK der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) ergibt sich zur Bemessung der möglichen Bandbreite bis $A_{50, \text{zulässig}}$ für den neuen Stützkörper:

$$d_{60} = 1,4 \text{ mm} \quad d_{50} = 0,9 \text{ mm}$$

$$d_{10} = 0,27 \text{ mm} \quad U_1 = 1,4 / 0,27 = 5,2 \quad \text{Nach Diagramm Cistin/Ziems}$$

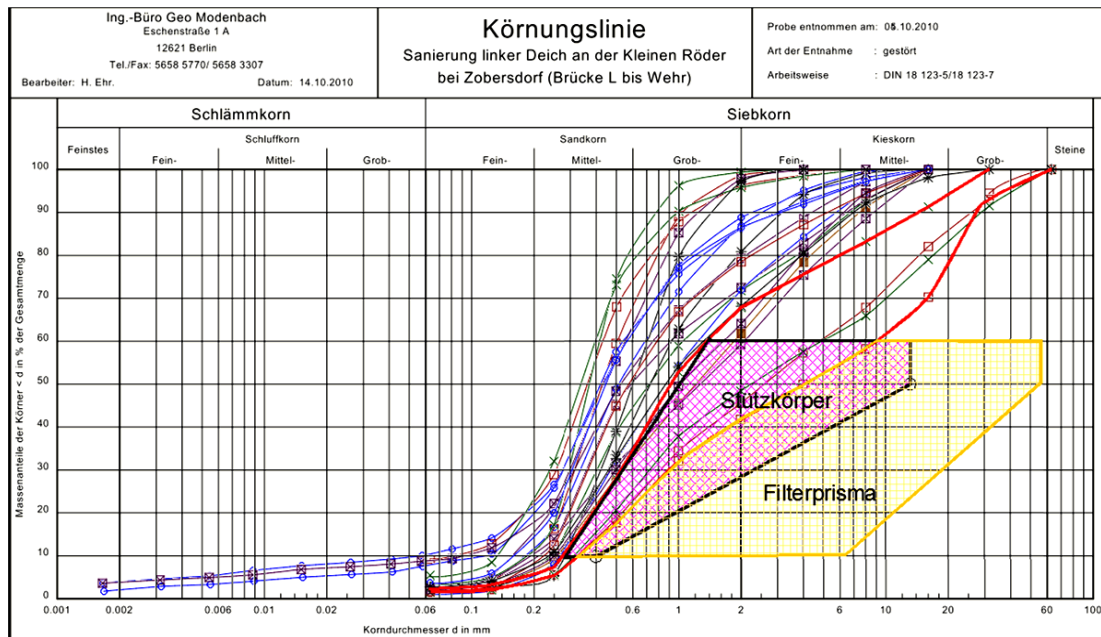
$$U_{II} = 6 \text{ (gewählt)} \quad A_{50, \text{zul.}} = 23 \text{ (nach Ziems)} \quad \text{zul. } D_{50} = (23) \cdot 0,9 = \mathbf{20,7 \text{ mm}}$$

$$U_{II} = 3 = \text{min. (gewählt)} \quad A_{50, \text{zul.}} = 15 \text{ (nach Ziems)} \quad \text{zul. } D_{50} = (15) \cdot 0,9 = \mathbf{13,5 \text{ mm}}$$

Eine ausreichende Durchlässigkeit im Hinblick auf den grobkörnigen Bereich des Körnungsbandes wird mit $D_{10} > 2 \cdot d_{10} \geq 2 \cdot 0,27 = 0,54$ (mm) erreicht.

Für $U = 3$ und $D_{10} = 0,54$ mm ergibt sich $D_{60} = 1,62$ mm und für $U = 6$ kann $D_{60} = 1,62$ mm angesetzt werden.

Im Hinblick auf die schon vorhandene hohe Durchlässigkeit der Aufschüttung sollte D_{10} der vorhandenen Aufschüttung angepasst werden und $D_{10} = 0,3$ bis $0,4$ mm nicht überschreiten.



| Bezeichnung | Entnahmestelle | Tiefe [m] | Bodenart | Bodengruppe | U/Cc | Frostsicherheit | k [m/s] Beyer |
|-------------|----------------|-------------|----------------------|-------------|---------|-----------------|---------------------|
| □—□ | QP 1 C / Pr. 2 | 0,50 - 0,70 | mS, gs, u', fs' | SU | 5.2/1.8 | F1 | $5.5 \cdot 10^{-5}$ |
| ⊠—⊠ | QP 1 C / Pr. 3 | 0,70 - 1,60 | mS, gs, fg, fs', mg' | SE | 4.4/0.7 | F1 | $4.0 \cdot 10^{-4}$ |

(geologisches Profil 1 ohne Auffüllung)

| | | | | | | | |
|-----|----------------|-------------|-----------------------|---------|----------|----|---------------------|
| ×—× | QP 2 C / Pr. 1 | 0,00 - 0,80 | Kiessand | SE - GE | 4.9/0.7 | F1 | $6.8 \cdot 10^{-4}$ |
| □—□ | QP 2 C / Pr. 3 | 1,20 - 2,00 | mS, gs, fs' | SE | 2.7/1.0 | F1 | $3.6 \cdot 10^{-4}$ |
| □—□ | QP 3 C / Pr. 1 | 0,00 - 0,90 | Kiessand | GI | 27.4/0.3 | F1 | $6.8 \cdot 10^{-4}$ |
| □—□ | QP 4 C / Pr. 1 | 0,00 - 1,00 | Kiessand | GI | 14.8/0.4 | F1 | $7.4 \cdot 10^{-4}$ |
| ⊠—⊠ | QP 4 C / Pr. 4 | 1,60 - 1,90 | mS, gs, u', fs' | SU | 6.0/1.8 | F1 | $6.8 \cdot 10^{-5}$ |
| ×—× | QP 5 C / Pr. 1 | 0,00 - 1,00 | Kiessand | GI | 15.7/0.3 | F1 | $6.9 \cdot 10^{-4}$ |
| □—□ | QP 5 C / Pr. 4 | 1,40 - 1,90 | mS, gs, fs', fg', mg' | SE | 3.5/0.8 | F1 | $4.5 \cdot 10^{-4}$ |

Es ergeben sich folgende Grenzwerte an das Deichmaterial für den land- und kronenseitigen Stützkörper

(Bezug = linker Rand der Sieblinie der vorhandenen Aufschüttung)

Durchlässigkeiten: $k_f \geq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s (entspr. hydraulischer Nachweise)
 bis $k_f \geq 7 \cdot 10^{-4}$ m/s (Mittelwert vorhandene Aufschüttung)

D_{50} : Aufschüttung = $0,9 < D_{50} < 13,4 \dots 20,7$ mm = max. Wert (A_{50})

D_{10} : $d_{10} > d_{10, \text{Aufschüttung}} = 0,3 \dots 0,4$ mm

Schluffkorn: $< 5\%$

U: 3...8

Index org. Beimengungen $v_{GL} < 3\%$

Das Material für das Filterprisma ist auf das verwendete neue Stützkörpermaterial abzustimmen und gemäß dem gelieferten Material des Stützkörpers nachzuweisen.

Ausgehend von der Annahme, dass die Sieblinie des neuen Stützkörpers innerhalb des Sieblinienbandes bzw. am rechten Rand der vorhandenen Aufschüttung liegt, sollte das Abstandsverhältnis A_{50} maximal auf den rechten Rand des Sieblinienbandes bezogen werden.

Damit ergibt sich:

$$d_{60} = 9 \text{ mm} \quad d_{50} = 4 \text{ mm}$$

$$d_{10} = 3,4 \text{ mm} \quad U_1 = 9 / 3,4 = 2,64 \quad \text{Nach Diagramm Cistin/Ziems}$$

$$U_{II} = 6 \text{ (gewählt)} \quad A_{50\text{zul.}} = 20 \text{ (nach Ziems)} \quad \text{zul. } D_{50} = (20) \cdot 4 = \mathbf{80 \text{ mm}}$$

$$U_{II} = 3 \text{ =min. (gewählt)} \quad A_{50\text{zul.}} = 14 \text{ (nach Ziems)} \quad \text{zul. } D_{50} = (14) \cdot 4 = \mathbf{56 \text{ mm}}$$

$$d_{10} = 2 \cdot 3,4 = 6,8 \text{ mm}$$

Durchlässigkeiten: $k_f \geq 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ (entspr. hydraulischer Nachweise)

Das Verhältnis der Durchlässigkeiten $k_{f,\text{Landseite}} / k_{f,\text{Wasserseite}} \leq 100$ sollte nicht größer gewählt werden, da dann ggf. Kontakterosion nicht auszuschließen ist.

Der konkrete Nachweis ist in der Bauphase anhand der Körnungslinien angebotener Erdstoffe durch das Planungsbüro bzw. den Lieferanten zu erbringen.