**Sweco GmbH für**
**ARGE Grontmij GmbH / WES GmbH**

Für die ARGE Grontmij GmbH /
WES GmbH

Sweco GmbH

Karl-Wiechert-Allee 1 B

30625 Hannover

**T** +49 511 3407-0
**F** +49 511 3407-199
**E** hannover@sweco-gmbh.de
**W** www.sweco-gmbh.de
USt-IdNr. DE 114413023

# Vorplanung
# Lastenheft

Lastenheft_230825.doc

Stand: 25.08.2023

| | |
|---|---|
| Betreff | Generalplan Küstenschutz – Stadtstrecke<br>Ergänzung Wettbewerbsvariante<br>BA 4 |
| Auftraggeber | Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau 3-2, Stabstelle Deichbau Stadtstrecke<br>An der Reeperbahn 2<br>28217 Bremen |
| Auftrag Nr. | 0711-21-014 |

# 0. Inhaltsverzeichnis

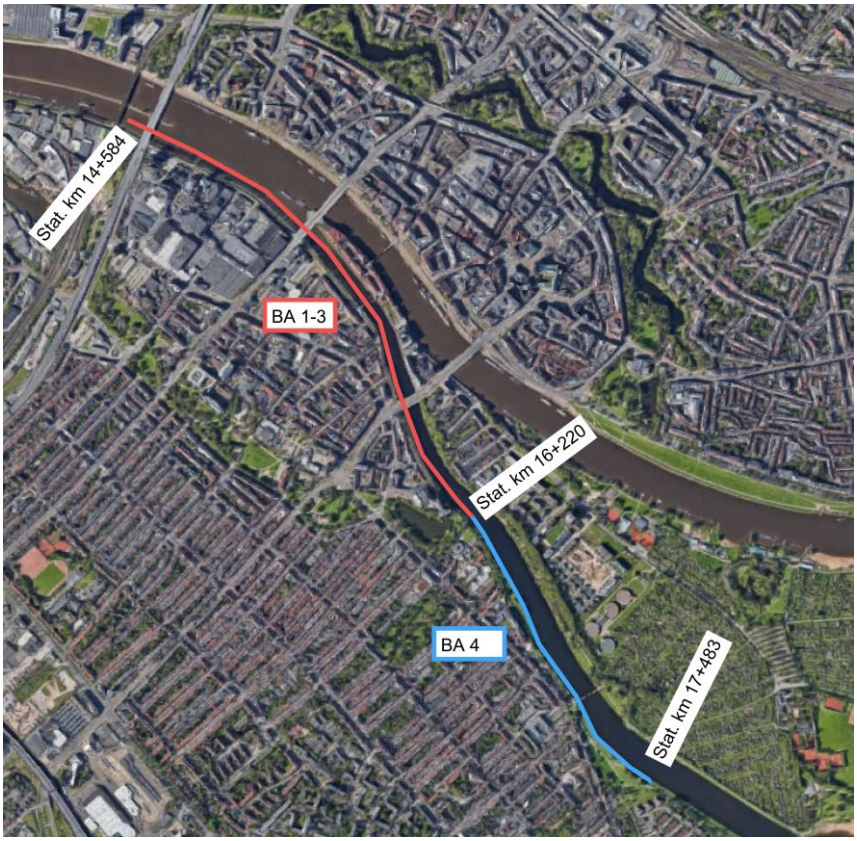
0. Inhaltsverzeichnis ..... 0
1. Vorbemerkungen ..... 1
1.1. Allgemeines ..... 1
1.2. Definition Hybridbauwerk ..... 2
1.3. Vorschriften, Normen, Literatur ..... 3
1.4. Unterlagen ..... 4
2. Berechnungsgrundlagen ..... 6
2.1. Baugrund ..... 6
2.2. Ableitung Vertikalkräfte Spundwand ..... 10
2.3. Außenwasserstände ..... 10
2.4. Grundwasser ..... 12
2.5. Baustoffe ..... 12
2.6. Teilsicherheitsbeiwerte ..... 12
3. Lastannahmen ..... 14
3.1. Erddruck und Erddruckumlagerung ..... 14
3.2. Böschungsansatz ..... 14
3.3. Verkehrslasten ..... 14
3.4. Wasserdruckdifferenzen ..... 16
3.4.1. Hinweise ..... 16
3.4.2. Last in Richtung Binnenseite ..... 16
3.4.3. Last in Richtung Weser ..... 18
3.5. Eisdruck ..... 19
3.6. Korrosion ..... 19

# 1. Vorbemerkungen

## 1.1. Allgemeines

Zur Verbesserung des Hochwasserschutzes sieht der Generalplan Küstenschutz auf der sogenannten „Stadtstrecke“ am linken Weserufer die Herstellung des festgesetzten Deichbesticks vor. Der rund 2,9 km lange Hochwasserschutzabschnitt (BA 1-4 vgl. untere Abbildung) erstreckt sich von der Eisenbahnbrücke der Linie Bremen-Oldenburg (etwa GPK-km 14+584) weseraufwärts bis zur Einmündung des Fuß- und Radweges in Verlängerung „Am Dammacker“ (etwa GPK-km 17+483) im Osten.

Das vorliegende Lastenheft bezieht sich auf den BA 4 vom Platz an der Piepe ca. GPK-km 16+361 bis zum Anschluss des Fuß- und Radweges in Verlängerung der Straße am Dammacker ca. GPK-km 17+483 (Bau-km 0+000 bis 1+122). Es gibt den aktuellen Planungsstand wieder und wird im Zuge der weiteren Planungen fortgeschrieben.



Aufgrund der geringen Flächenverfügbarkeit hat sich im Zuge der Ausarbeitung der Vorplanung gezeigt, dass in Teilabschnitten des Erddeiches beidseitig der Deichkrone Geländeabfangungen erforderlich sind. Eine mögliche Lösung für das Tragwerk stellt ein Kastenfangedammsystem dar. Dieses kann als Hybridbauwerk bezeichnet werden, da es zum einen aus einem Erdkörper entsprechend eines herkömmlichen Deiches und zum anderen aus Wandelementen u.a. im Sinne einer Hochwasserschutzwand besteht.

## 1.2. Definition Hybridbauwerk

Das Hybridbauwerk (Abbildung 1) besteht generell aus einem stützenden Erdkörper mit Kleiabdeckung entsprechend einem herkömmlichen Deich sowie zusätzlich aus einem im Sinne einer Kronenmauer wirkenden, in der wasserseitigen Böschungsoberkante eingestellten Wandelement. Im besonderen Fall wirkt das eingestellte Wandelement gleichzeitig als Verankerungselement eines die landseitige Stützböschung ersetzenden vertikalen Bauteils (Spundwand).
In sinngemäßer Anwendung der DIN 19712 (Ziff 8.2) ist wasserseitig der stützende Erdkörper (=Außenböschung) zu berücksichtigen. Ihr Bestand als Teil der Hochwasserschutzanlage ist dauerhaft zu sichern.

Daraus ergeben sich zwei generelle Bemessungssituationen:

1) Lasten wirken in Richtung Land.
   Die landseitige Spundwand trägt die Lasten, die wasserseitige Spundwand dient als Verankerungselement. In dieser Situation sind alle wasserseitigen Lasten (Hochwasser, vorhandenes Gelände (Böschungsneigung 1:3) Verkehr auf Deich und wasserseitiger Böschung anzusetzen. Die Landseite wirkt als Widerstand und wird ohne Verkehrslasten und zusätzlich im Lastfall BS-T mit einer Abgrabung vor dem Spundwandfuß von $\Delta a$ = 0,5 m angesetzt.

2) Lasten wirken in Richtung Wasser.
   Die wasserseitige Spundwand trägt die Lasten, die landseitige Spundwand dient als Verankerungselement. In dieser Situation sind alle Lasten auf den Deich anzusetzen. Die Außenböschung bildet den Erdwiederstand. Auf der sicheren Seite liegend wird eine Böschungsneigung von 1:4 auch in der permanenten Bemessungssituation (BS-P) angesetzt. Diese Böschungsneigung entspricht den Vorgaben gemäß Generalplan Küsten-

schutz Niedersachsen/Bremen -Festland- (2007) für reine Gründeiche. Gleichzeitig wird der Stauwasserstand angesetzt, da dieser entlastend wirkt.

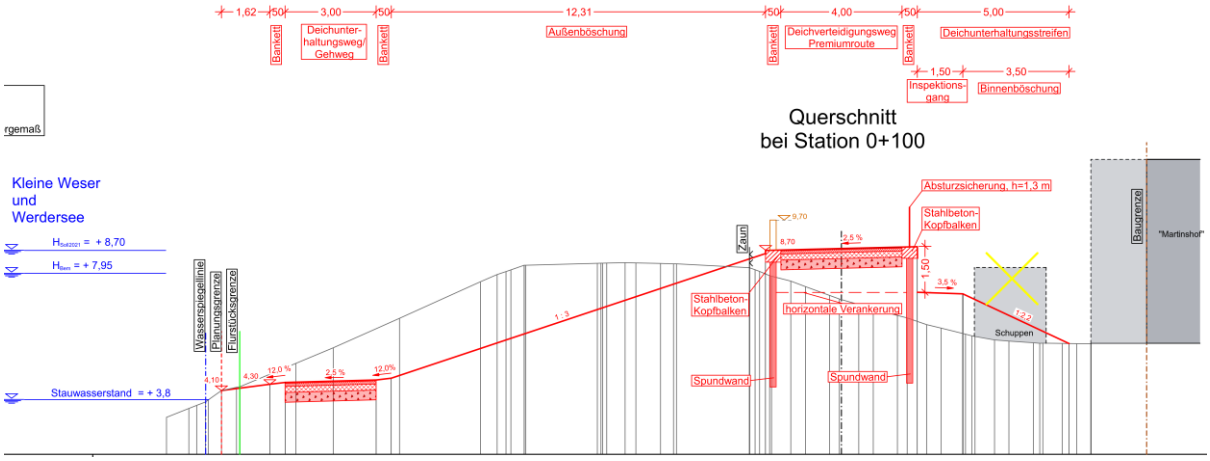



**Abbildung 1 Beispielhafte Darstellung des Hybridbauwerkes**

## 1.3. Vorschriften, Normen, Literatur

Als Grundlage für die Berechnungen und Bemessungen dienen die folgenden Regelwerke:

[1.1] EAU Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“, Häfen und Wasserstraßen, Ausgabe 2020, 12. Auflage

[2.1] EAB Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, 6. Auflage (2021)

[3.1] EAK Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken, 2002, korrigierte Ausgabe 2007

[4.1] DIN EN 1991-2/NA– National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken

[5.1] DIN EN 1997-1:2014-03 mit NA:2010-12 Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1

[6.1] DIN 19712:2013-01 Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern

[7.1] DIN 4085:2017-08 Baugrund - Berechnung des Erddrucks

[8.1] DWA-M 507-1:2011-12 Deiche an Fließgewässern, Teil 1: Planung, Bau und Betrieb

[9.1] DIN 1054:2021-04 Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1

## 1.4. Unterlagen

Die Grundlage für das Lastenheft bilden die folgenden Unterlagen:

[1.2] Geotechnischer Bericht, Umsetzung Generalplan Küstenschutz, Generelle Beurteilung der Tragfähigkeit des Baugrundes und der Gründungsmöglichkeiten für die baulichen Maßnahmen, aufgestellt vom Institut für Geotechnik Hochschule Bremen, Große Fischerstraße 5, 28195 Bremen, 08.09.2014

[2.2] Geotechnischer Bericht Nr. 1, Deichstandsicherheit, Stadtstrecke Kleine Weser, 28197 Bremen, aufgestellt von Grundbaulabor Bremen Ingenieurgesellschaft für Geotechnik mbH, 20.02.2011

[3.2] Geotechnischer Bericht Nr. 2, Deichstandsicherheit, Stadtstrecke Kleine Weser, 28197 Bremen, aufgestellt von Grundbaulabor Bremen Ingenieurgesellschaft für Geotechnik mbH, 15.08.2012

[4.2] Prüfungsvermerk zur Stadtstrecke, Machbarkeitsstudie Teil I und Teil II zum städtebaulichen Siegerentwurf – Die Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau, vom 10.02.2022

[5.2] Untersuchung zur Deichsicherheit der Stadtstrecke Bremen-Seehausen bis Bremen-Weserwehr, Bericht Nr. 679 / BWST 2008, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen

[6.2] Berechnungsgrundsätze für Hochwasserschutzwände, Flutschutzanlagen und Uferbauwerke im Bereich der Tideelbe der Freien und Hansestadt Hamburg, April 2013, Hamburg Port Authority

[7.2] E-Mail: 2022-8-08 Stadtstrecke: Bemessungsgrundlagen; Wellenüberlaufrate, vom 08.08.2022

[8.2] E-Mail: Stadtstrecke BA 1-3 und BA 4 - Anfrage zu bauzeitlich zu berücksichtigenden Wasserständen, vom 19.09.2022

[9.2] Stadtstrecke – Kriterien für weiterführende Planungen in Bezug auf Hochwasserschutzanlagen (SUBV), vom 02.10.2014

# 2. Berechnungsgrundlagen

## 2.1. Baugrund

Gemäß dem geotechnischen Bericht [1.2] stehen in dem relevanten Deichabschnitt wechselnde Bodenschichtungen an. Der Bericht beinhaltet eine Zusammenstellung der charakteristischen Werte der Bodenkenngrößen für die in den Untersuchungsquerschnitten anstehenden Bodenschichten zusammen mit einem vereinfachten Baugrundaufbau. Die Daten wurden auf Grundlage der Baugrunderkundungs- und untersuchungsergebnisse zusammengestellt. Für den BA 4 wurde der vereinfachte Baugrundaufbau an den Stationen, wie in Tabelle 1 aufgeführt, zusammengestellt. Im Einzelnen können die vereinfachten Baugrundschichtungen in [1.2] Kapitel 7 - Vereinfachter Baugrundaufbau und charakteristische Werte der Bodenkenngrößen - nachgelesen werden.

Die Kilometrierung im Bodengutachten orientiert sich an der Bremer Gewässerkarte. Grundlage für die statischen Berechnungen bildet jedoch die Kilometrierung bezogen auf den Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen – Festland (NLWKN, März 2007) bzw. die Baukilometrierung (Bau-km). Die nachfolgende Tabelle gibt daher die zugehörigen GPK-km und die Bau-km an, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

**Tabelle 1 Übersicht der Lage der Schnitte des vereinfachten Baugrundaufbaus nach [1.2]**

| Kilometrierung nach Bremer Gewässerkarte | Kilometrierung nach GPK | Bau-km |
|---|---|---|
| km 6+000 | ca. GPK-km 16+380 | 0+019 |
| Km 6+200 | ca. GPK-km 16+580 | 0+219 |
| km 6+400 | ca. GPK-km 16+780 | 0+419 |
| km 6+600 | ca. GPK-km 16+980 | 0+619 |
| km 6+800 | ca. GPK-km 17+180 | 0+819 |
| km 7+000 | ca. GPK-km 17+380 | 1+019 |

Die vereinfachten Baugrundschichtungen gemäß [1.2] Kapitel 7 - Vereinfachter Baugrundaufbau und charakteristische Werte der Bodenkenngrößen – werden nachfolgend gelistet und entsprechend ihrer Kilometrierung nummeriert:

## Bodenprofil 1

Deichkm. 6+000 = Bau-km 0+019

| Bodenart | Lagerungs-dichte bzw. Konsistenz | Schicht-unterkante bei | Wichte | Steife-modul | Reibungs-winkel | Kohäsion | Anfangs-scher-festigkeit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\gamma / \gamma'$ | $E_{s,k}$ | $\varphi'_k$ | $c'_k$ | $c'_{u,k}$ |
| | | mNN | kN/m³ | MN/m² | ° | kN/m² | kN/m² |
| **Auffüllungen** (tw. bauschutthaltig | | | | | | | |
| – Sand | locker | -1,0 | 18/10 | 10 bis 20 | 30 | 0 | 0 |
| – Schluff | breiig bis weich | -1,5 | 17/7 | 0,7 bis 1,5[2)] | 17,5 | 2,5 bis 5 | 5 bis 10 |
| **Sand** | locker | -5 | 18/10 | 40 bis 80 | 32,5 | 0 | 0 |
| | mitteldicht bis dicht | -6[1)] | 19/11 | 80 bis 160 | 37,5 | 0 | 0 |

1) Erkundungsendtiefe unter der Deichkrone (hier Rammsondierung DPH)
2) nicht für die seitliche Bettung von Pfählen anzusetzen

## Bodenprofil 2

Deichkm. 6+200 = Bau-km 0+219

| Bodenart | Lagerungs-dichte bzw. Konsistenz | Schicht-unterkante bei | Wichte | Steife-modul | Reibungs-winkel | Kohäsion | Anfangs-scher-festigkeit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\gamma / \gamma'$ | $E_{s,k}$ | $\varphi'_k$ | $c'_k$ | $c'_{u,k}$ |
| | | mNN | kN/m³ | MN/m² | ° | kN/m² | kN/m² |
| **Auffüllungen** (tw. bauschutthaltig | | | | | | | |
| – Schluff (örtl. Sand) | weich bis steif | 2,8 | 19/9 | 1 bis 2[2)] | 22,5 | 2,5 bis 5 | 7,5 bis 15 |
| **Schluff** | weich | 0,2 | 19/9 | 1 bis 2[2)] | 22,5 | 2,5 bis 5 | 7,5 bis 15 |
| **Sand** | mitteldicht | -3,5 | 18/10 | 60 bis 120 | 35 | 0 | 0 |
| | mitteldicht bis dicht | -5,4[1)] | 19/11 | 80 bis 160 | 37,5 | 0 | 0 |

1) Erkundungsendtiefe unter der Deichkrone (hier Rammsondierung DPH)
2) nicht für die seitliche Bettung von Pfählen anzusetzen

## Bodenprofil 3

Deichkm. 6+400 = Bau-km 0+419

| Bodenart | Lagerungs-dichte bzw. Konsistenz | Schicht-unterkante bei | Wichte | Steife-modul | Reibungs-winkel | Kohäsion | Anfangs-scher-festigkeit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\gamma / \gamma'$ | $E_{s,k}$ | $\varphi'_k$ | $c'_k$ | $c'_{u,k}$ |
| | | mNN | kN/m³ | MN/m² | ° | kN/m² | kN/m² |
| **Auffüllungen** (tw. bauschutthaltig | | | | | | | |
| – Schluff | weich bis steif | 4,6 | 19/9 | 1 bis 2[2)] | 22,5 | 2,5 bis 5 | 7,5 bis 15 |
| **Ton** | weich | 1,4 | 19/9 | 1 bis 2[2)] | 20 | 2,5 bis 5 | 7,5 bis 15 |
| **Sand** | mitteldicht | -2 | 18/10 | 60 bis 120 | 35 | 0 | 0 |
| | mitteldicht bis dicht | -3,5[1)] | 19/11 | 80 bis 160 | 37,5 | 0 | 0 |

1) Erkundungsendtiefe unter der Deichkrone
2) nicht für die seitliche Bettung von Pfählen anzusetzen

## Bodenprofil 4

Deichkm. 6+600 und 6+700 (Deichschartbrücke) = Bau-km 0+619

| Bodenart | Lagerungs-dichte bzw. Konsistenz | Schicht-unterkante bei | Wichte | Steife-modul | Reibungs-winkel | Kohäsion | Anfangs-scher-festigkeit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\gamma / \gamma'$ | $E_{s,k}$ | $\varphi'_k$ | $c'_k$ | $c'_{u,k}$ |
| | | mNN | kN/m³ | MN/m² | ° | kN/m² | kN/m² |
| **Auffüllungen** (tw. bauschutthaltig | | | | | | | |
| – Schluff | weich | 3,3 | 19/9 | 1 bis 2[2)] | 22,5 | 2,5 bis 5 | 7,5 bis 15 |
| **Schluff** | weich | 0,0 | 19/9 | 1 bis 2[2)] | 20 | 2,5 bis 5 | 7,5 bis 15 |
| **Sand** | mitteldicht | -3,5 | 18/10 | 60 bis120 | 35 | 0 | 0 |
| | mitteldicht bis dicht | -6,5[1)] | 19/11 | 80 bis 160 | 37,5 | 0 | 0 |

1) Erkundungsendtiefe unter der Deichkrone
2) nicht für die seitliche Bettung von Pfählen anzusetzen

## Bodenprofil 5

Deichkm. 6+800 = Bau-km 0+819

| Bodenart | Lagerungs-dichte bzw. Konsistenz | Schicht-unterkante bei | Wichte | Steife-modul | Reibungs-winkel | Kohäsion | Anfangs-scher-festigkeit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\gamma / \gamma'$ | $E_{s,k}$ | $\varphi'_k$ | $c'_k$ | $c'_{u,k}$ |
| | | mNN | kN/m³ | MN/m² | ° | kN/m² | kN/m² |
| **Auffüllungen** (tw. bauschutthaltig | | | | | | | |
| – Schluff | weich | 3,3 | 19/9 | 1 bis 2[2)] | 22,5 | 2,5 bis 5 | 7,5 bis 15 |
| **Ton** | weich | 0,0 | 19/9 | 1 bis 2[2)] | 20 | 2,5 bis 5 | 7,5 bis 15 |
| **Sand** | locker bis mitteldicht | -3,3[1)] | 18/10 | 40 bis 80 | 33 | 0 | 0 |

1) Erkundungsendtiefe unter der Deichkrone
2) nicht für die seitliche Bettung von Pfählen anzusetzen

## Bodenprofil 6

Deichkm. 7+000 = Bau-km 1+019

| Bodenart | Lagerungs-dichte bzw. Konsistenz | Schicht-unterkante bei | Wichte | Steife-modul | Reibungs-winkel | Kohäsion | Anfangs-scher-festigkeit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\gamma / \gamma'$ | $E_{s,k}$ | $\varphi'_k$ | $c'_k$ | $c'_{u,k}$ |
| | | mNN | kN/m³ | MN/m² | ° | kN/m² | kN/m² |
| **Auffüllungen** (tw. bauschutthaltig | | | | | | | |
| – Bauschutt | locker | 3,6 | 18/10 | 20 bis 40 | 32,5 | 0 | 0 |
| – Schluff | weich | 3,6 | 19/9 | 1 bis 2[2)] | 22,5 | 2,5 bis 5 | 7,5 bis 15 |
| **Sand** | locker | -1,5 | 18/10 | 30 bis 60 | 32 | 0 | 0 |
| | mitteldicht | -6,5[1)] | 19/11 | 60 bis 120 | 35 | 0 | 0 |

1) Erkundungsendtiefe unter der Deichkrone (hier Rammsondierung)
2) nicht für die seitliche Bettung von Pfählen anzusetzen

Bei einer Überschreitung der Nachweise ist ein Bodenaustausch vorzunehmen. Der folgende Boden mit mindesten den genannten Bodenkennwerten ist einzubauen:

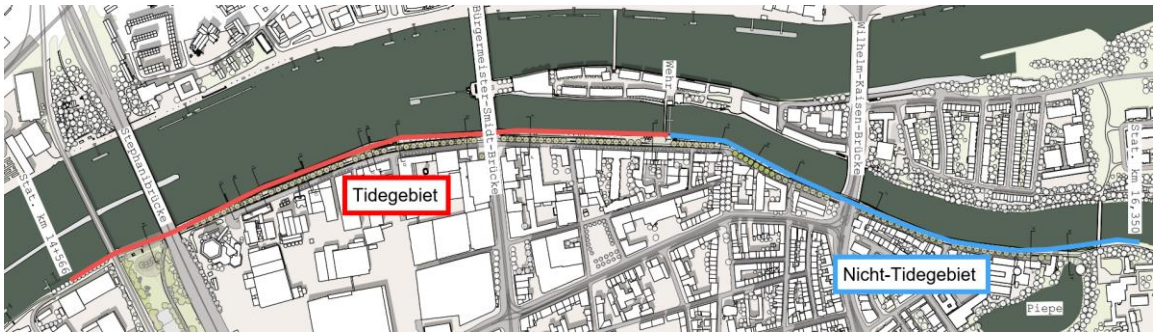
| Bodenart | Schichtunterkante [m NHN] | Wichte γ / γ' [kN/m³] | Reibungswinkel φ'k [°] | Kohäsion $c'_k$ [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|
| **Sand** | 1,40 | 18/10 | 30 | 0 |

## 2.2. Ableitung Vertikalkräfte Spundwand

Es liegen derzeit keine Angaben zu Spitzendruck und Mantelreibung vor. Deshalb ist das Ableiten der Vertikalkräfte im Zuge der weiteren Planung näher zu untersuchen.

## 2.3. Außenwasserstände

Im Bereich der Stadtstrecke werden die regelmäßigen Wasserstände durch den Tidehub der Weser und den Einstau des Weserwehres beeinflusst. Der Weserabschnitt BA 1-4 wird in das Tidegebiet unterhalb des „Wehrs Kleine Weser“ und das Nicht-Tidegebiet oberhalb des „Wehrs Kleine Weser“ (s. Abb.) unterteilt. Der BA 4 befindet sich oberhalb des Wehrs. Somit wird in diesem Bereich das Wasser aufgestaut. In Hochwassersituationen wird das Wehr überströmt. Dadurch stellen sich auch oberhalb des Wehres variable Hochwasserstände ein.




<u>Gewässerwasserstände im Nicht-Tidegebiet</u>

Oberhalb des Wehres stellt sich ein konstant geregelter Wasserstand ein. Gemäß den Kriterien Hochwasserschutz (SUBV) [9.2] ist der Stauwasserstand in Höhen von +3,80 m NHN anzusetzen. Der Werdersee dient auch als Hochwasserentlastung im Falle eines Binnenhochwasser für die Weser. Bei Sturmfluten wird das Wehr von der Unterwasserseite aus überströmt und es stellt sich der Tidewasserstand der Weser ein [1.2]. Der Bemessungswasserstand wird analog zum Tidegebiet angesetzt.

Nach Vorgaben im Prüfungsvermerk zur Machbarkeitsstudie [4.2], sind aufgrund der Erkenntnisse zum Meeresspiegelanstieg (IPCC Sonderbericht SROCC 2019) die aktuell erhöhten Bemessungswasserstände und Bestickhöhen gemäß folgender Tabelle anzusetzen:

| Projekt mit GPK km-Stat. | GPK (km- Stat.) | Gemäß 2008 Bemessungswasserstand ($H_{Bem}$) und SOLL-Höhe ($H_{SOLL}$) und 0,75 m konstruktives Vorsorgemaß | Berücksichtigung von weiteren +0,5 m des $H_{Bem2021}$ und $H_{SOLL2021}$ sowie +1,0 m des konstruktiven Vorsorgemaßes |
|---|---|---|---|
| HWS Stadt-strecke BA 1 – 3 | 14+584 bis 15+565 | $H_{Bem}$ NHN +7,35 m<br>$H_{SOLL}$ NHN +8,30 m<br>Konstruktives Vorsorgemaß NHN +9,05 m | $H_{Bem2021}$ **NHN +7,85 m**<br>$H_{SOLL2021}$ **NHN +8,80 m**<br>Konstruktives Vorsorgemaß 2021 **NHN +9,80 m** |
| | 15+565 bis 16+350 | $H_{Bem}$ NHN +7,40 m<br>$H_{SOLL}$ NHN +8,20 m<br>Konstruktives Vorsorgemaß NHN +8,95 m | $H_{Bem2021}$ **NHN +7,90 m**<br>$H_{SOLL2021}$ **NHN +8,70 m**<br>Konstruktives Vorsorgemaß 2021 **NHN +9,70 m** |
| HWS Stadt-strecke BA 4 | 16+350 bis 17+425 | $H_{Bem}$ NHN +7,45 m<br>$H_{SOLL}$ NHN +8,20 m<br>Konstruktives Vorsorgemaß NHN +8,95 m | $H_{Bem2021}$ **NHN +7,95 m**<br>$H_{SOLL2021}$ **NHN +8,70 m**<br>Konstruktives Vorsorgemaß 2021 **NHN +9,70 m** |

Maßgebend ist der Bemessungswasserstand 2021 ($H_{Bem2021}$) zuzüglich des konstruktiven Vorsorgemaßes von +1,0 m. Die abschließenden Berechnungsergebnisse werden von der Forschungsstelle Küste im Jahr 2023 erwartet. Im BA 4 wird der Bemessungswasserstand von BHw = +7,95 + 1,0 = NHN 8,95 m angenommen.

Zusammenfassend werden in der Vorplanung folgenden Wasserstände berücksichtigt.

| | | |
|---|---|---|
| BHw | Bemessungshochwasserstand | +8,95 NHN m |
| HHThw | Höchstes gemessenes Tidehochwasser | +5,43 NHN m |
| MThw | Mittleres Tidehochwasser | +2,52 NHN m |
| Mw | Mittlerer Wasserstand | +0,51 NHN m |
| MTnw | Mittleres Tideniedrigwasser | -1,58 NHN m |
| MSpTnw | Mittleres Springtideniedrigwasser | -2,00 m NHN* |
| NTnw | Niedrigstes gemessenes Tideniedrigwasser | -3,12 m NHN |

*In [1.2], ist der Wert für MSpTnw nicht enthalten. Aus diesem Grund wird MSpTnw analog zum SKN-Wert für die große Weserbrücke in Bremen angenommen. Die SKN-Werte werden jährlich von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes veröffentlicht.

Bemessungswasserstände im Bauzustand

In Abstimmung mit SUKW Referat 32 wurden vorläufig die folgenden Bemessungswasserstände für die Bauzustände festgelegt [8.2]:

| | | |
|---|---|---|
| $Bhw_{Bauz,Winter}$: | Bauzeitliches Bemessungshochwasser im Winter | +6,50 m NHN |
| $Bhw_{Bauz,Winter}$: | Bauzeitliches Bemessungshochwasser im Sommer | +5,50 m NHN |

## 2.4. Grundwasser

Gemäß [1.2], 5.5.3 liegt ein Grundwasserstand zwischen +2,10 m NHN und +3,60 m NHN im BA 4 vor.

## 2.5. Baustoffe

| | |
|---|---|
| Spundwand: | S 355 GP |
| Stahlbeton | C35/45 |
| Betondeckung | $c_{nom}$ = 5,5 cm |
| Betonstahl | B 500 B |
| Anker: | St 1570/1770 gem. Zulassung |

## 2.6. Teilsicherheitsbeiwerte

Gem. [1.1] werden für den Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund (STR und GEO-2) die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt.

| Einwirkungen | | BS-P | BS-T | BS-A |
|---|---|---|---|---|
| Ständige Einwirkungen | $\gamma_G$ | 1,35 | 1,20 | 1,00* |
| Wasserdruck** | $\gamma_{G,red}$ | 1,35 | 1,20 | 1,10 |
| Veränderliche Einwirkungen | $\gamma_Q$ | 1,50 | 1,30 | 1,00* |

| Widerstände | | BS-P | BS-T | BS-A |
|---|---|---|---|---|
| Erdwiderstand | $\gamma_{R,e}$ | 1,40 | 1,30 | 1,20 |
| Erdwiderstand (Biegemoment)*** | $\gamma_{R,e,red}$ | 1,40 | 1,30 | 1,20 |
| Verpresskörper Verpressanker | $\gamma_a$ | 1,10 | 1,10 | 1,10 |

* Gem. der Ergänzung der EAU 2020 wird für die Bemessung der Verankerung $\gamma_G = \gamma_Q = 1{,}1$ angesetzt.

** Unter bestimmten Voraussetzungen ist es nach [1.1] zulässig den Teilsicherheitsbeiwert für Wasserdruck abzumindern. Auf der sicheren Seite liegend, wird der Teilsicherheitsbeiwert nicht abgemindert. Des Weiteren ist nach [6.1] und [8.1] der Wasserdruck eine veränderliche Einwirkung. Dennoch ist gemäß [1.8], A 2.4.6.1.2 der Teilsicherheitsbeiwert für eine ständige Einwirkung anzusetzen.

*** Wenn die Voraussetzungen nach [9.1][8.1], A 2.4.7.6.1 A (3) erfüllt sind, kann gemäß [1.1] der Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand bei der Ermittlung des Biegemomentes abgemindert werden. Auf der sicheren Seite liegend, wird der Teilsicherheitsbeiwert nicht abgemindert.

# 3. Lastannahmen

## 3.1. Erddruck und Erddruckumlagerung

Die Erddrücke für die Bemessung von Spundwänden werden gemäß EAU 2020 [1.1] ermittelt. Bei einer Rückverankerung mit nicht vorgespannten Rundstahlankern wird die Erddruckumlagerung für das Verfahren „Verfüllen hinter der Wand“ angewendet.

Die Spundwände werden für den Fangedamm mit einem um 25 % erhöhten aktiven Erddruck bemessen (vgl. EAU Kap. 8.2.17.2). Hierbei wird gemäß EAU 2020, S. 442 eine klassische Erddruckverteilung ohne Umlagerungsfigur angenommen.

Es ist ein Verdichtungserddruck nach DIN 4085 [7.1] von 25 kN/m² ab der Geländeoberkante bis zu einer Tiefe, bei der die Erdruhedruckverteilung diesen Wert erreicht, anzusetzen.

Für Winkelstützwände ist ein erhöhter aktiver Erddruck gem. DIN 4085 [7.1] anzusetzen:

$$E'_{ah} = 0{,}50 * E_{ah} + 0{,}50 * E_{0h}$$

## 3.2. Böschungsansatz

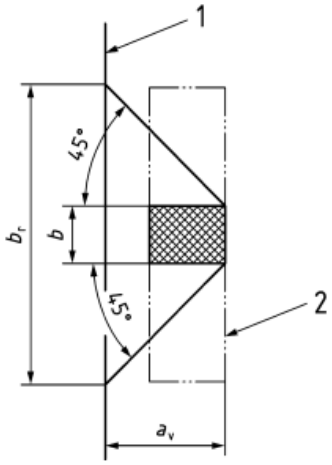
Der Deich weist in den Abschnitten der Hybridbauwerke eine Außenböschung von 1:3 vor. Bei Wasserdrücken in Richtung Weser (vgl. Abschnitt 3.4.3) wird jedoch lediglich eine Böschungsneigung von 1:4 auf der sicheren Seite angenommen. Bei Lasten in Richtung Land (vgl. Abschnitt 3.4.2) wird die auszubildende Böschung von 1:3 rechnerisch angesetzt.

Die Binnenböschung wird bei Lasten in Richtung Weser rechnerisch wie geplant angesetzt. Bei Lasten in Richtung Land wird die Böschungsoberkante im BS-T 0,5 m tiefer angesetzt.

## 3.3. Verkehrslasten

Nach [6.1], 11.2.2.3 und [8.1], 8.3.4 sollten in der ständigen Bemessungssituation auf Deichverteidigungswegen Verkehrslasten von 33 kN/m², auf sonstigen Fahrwegen 16 kN/m² und auf Kronen und Bermen ohne Fahrwege 5 kN/m² angesetzt werden.

Für die Bemessung des Bauwerkes wird nach DIN 4085 eine Lastausbreitung von 45° berücksichtigt.




Gemäß DIN EN 1991-2/NA [4.1] darf zur Lastausbreitung in Hinterfüllungen und im Erdkörper, wenn nicht besonders vereinbart, ein Rechteck mit einer Breite von 3 m und einer Länge von 5 m angenommen werden. Unter Berücksichtigung der Lastausbreitung von 45° ergeben sich folgende Flächenlasten:

b = 5 m

a = 3 m

$b_r = b + 2 * a$

Alle umverteilten Lasten werden über eine Wirkungslänge von 3 m angesetzt.

Es ist in einem gesonderten Lastfall, anstatt des Verkehrsmodells, Baustellenverkehr als Flächenlast von 10 kN/m² anzusetzen. Es ist der maßgebende Lastfall zu ermitteln.

## 3.4. Wasserdruckdifferenzen

### 3.4.1. Hinweise

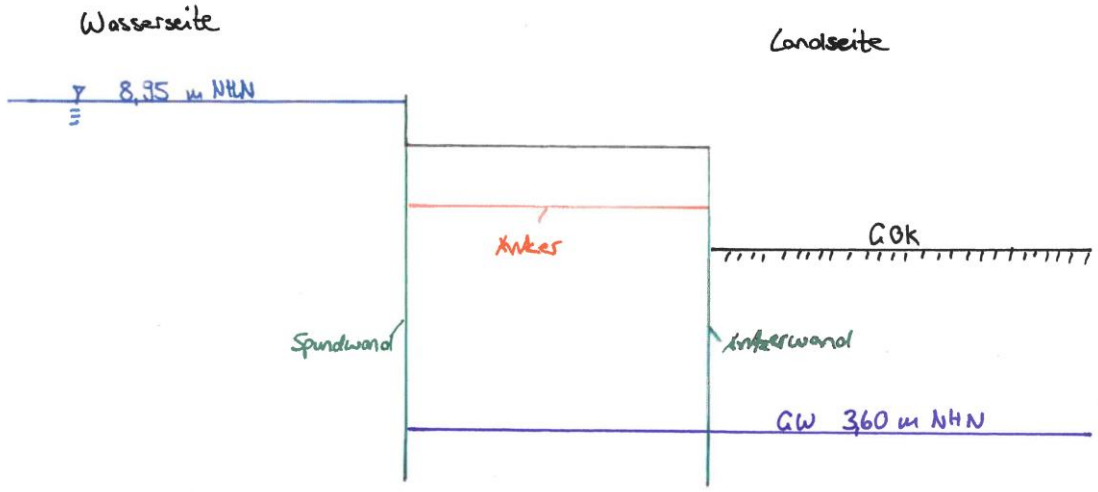
In BA 4 wird der Hochwasserschutz entweder mit einem Erddeich gewährleistet oder mit dem sog. Hybridbauwerk. Das Hybridbauwerk kann beispielweise als Fangedamm ausgebildet werden und ist gem. EAU (Abschnitt 6.2.2) mit den Bemessungswasserständen einer Hochwasserschutzwand zu bemessen. Alternativ kann der Erddeich mit Winkelstützen oder freistehenden Spundwänden zum Hybridbauwerk kombiniert werden.

### 3.4.2. Last in Richtung Binnenseite

Die Bemessungssituationen mit einer Wasserdruckdifferenz in Richtung Binnenseite ist für die Bemessung von Bauteilen der Hochwasserschutzwände von Bedeutung, die über der GOK liegen. Gemäß EAU [1.1] ist binnenseitig ein Wasserstand in Höhe der GOK anzusetzen (Boden steht unter Auftrieb) und auf der Außenseite der Bemessungshochwasserstand im BS-T anzusetzen. In der Vorplanung wird die Höhe des binnenseitig liegenden Inspektionsganges als höchster anzusetzender Grundwasserstand angenommen.

<u>BS-T (Nachweis wasserseitige Spundwand)</u>

| | |
|---|---|
| Gewässerwasserstand: | +8,95 m NHN |
| Wasserstand im Fangedammkörper: | +3,60 m NHN (GW) |
| Grundwasserstand: | +3,60 m NHN |

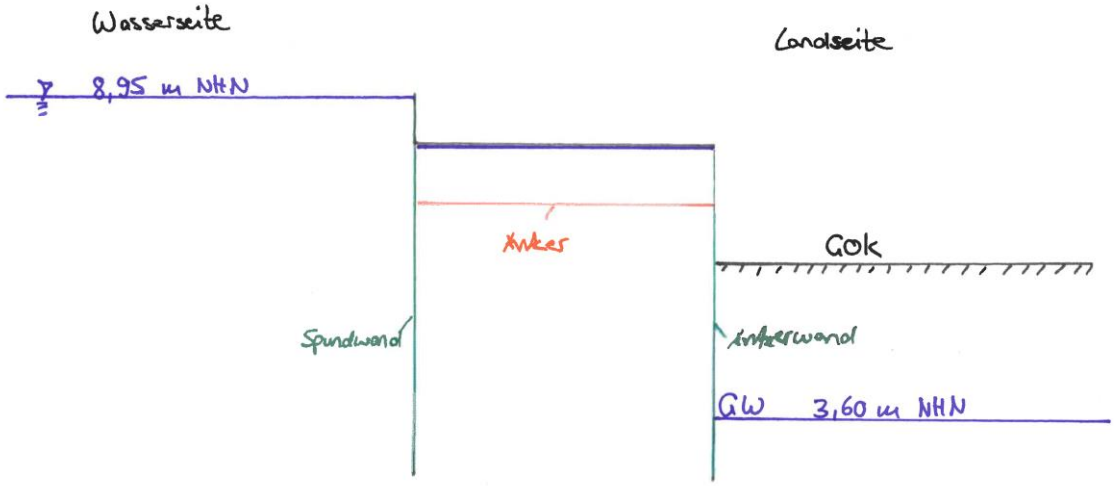


BS-T (Nachweis Ankerwand)

Gewässerwasserstand: +8,95 m NHN

Wasserstand im Fangedammkörper: +8,70 m NHN (GOK)

Grundwasserstand: +3,60 m NHN



### 3.4.3. Last in Richtung Weser

Bemessungswasserstände Hochwasserschutzwand nach [1.1] Abs. 6.2

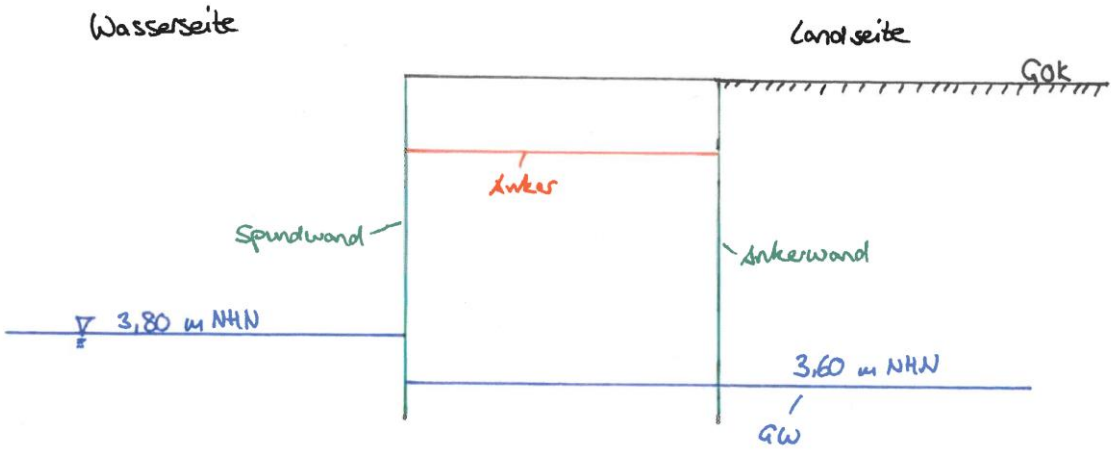
Nach EAU [1.1] werden aufgrund eines erhöhten Sicherheitsniveaus gesonderte Lastansätze für Hochwasserschutzwände vorgegeben.

Es wird in allen Bemessungssituationen ein Gewässerwasserstand von +3,80 m NHN angenommen. Der Grundwasserstand in der BS-T wird auf die binnenseitige GOK aufgrund der geometrischen Verhältnisse festgelegt.

BS-P

Gewässerwasserstand: +3,80 m NHN

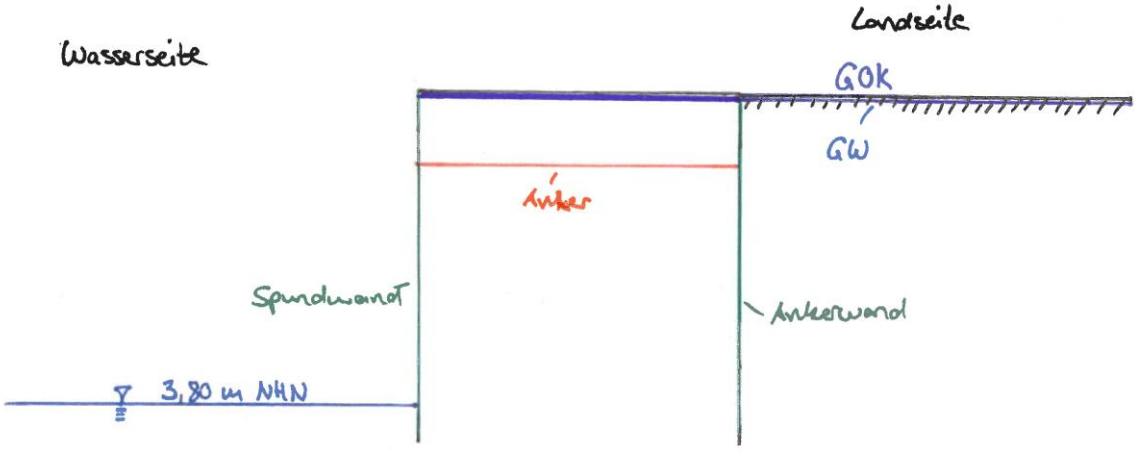
Grundwasserstand: +3,60 m NHN



BS-T

Gewässerwasserstand: +3,80 m NHN

Grundwasserstand: GOK binnenseitig




### 3.5. Eisdruck

Der Lastfall Eisdruck wird im Rahmen der Vorplanung nicht berücksichtigt.

### 3.6. Korrosion

Korrosion wird im Rahmen der Vorplanung nicht betrachtet. Es werden ausreichende Reserven angesetzt.

# Vorplanung

# Lastenheft

Generalplan Küstenschutz – Stadtstrecke

Seiten Deckblatt
0 - 20

Anhang -

Aufgestellt:
Hannover, 25.08.2023

[redacted] ....

[redacted]

**Sweco GmbH für**
**ARGE Grontmij GmbH / WES GmbH**

Für die ARGE Grontmij GmbH /
WES GmbH

Sweco GmbH

Karl-Wiechert-Allee 1 B

30625 Hannover

**T** +49 511 3407-0
**F** +49 511 3407-199
**E** hannover@sweco-gmbh.de
**W** www.sweco-gmbh.de
USt-IdNr. DE 114413023

Statik_BA 4_230825.doc

# Vorplanung
# Statische Berechnung

Stand: 25.08.2023

| | |
|---|---|
| Betreff | Generalplan Küstenschutz – Stadtstrecke<br>Ergänzung Wettbewerbsvariante<br>BA 4 |
| Auftraggeber | Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau 3-2, Stabstelle Deichbau Stadtstrecke<br>An der Reeperbahn 2<br>28217 Bremen |
| Auftrag Nr. | 0711-21-014 |

# 0. Inhaltsverzeichnis

0. Inhaltsverzeichnis ..... 0
1. Vorbemerkungen ..... 2
1.1. Allgemeines ..... 2
1.2. Zuordnung der Bemessungsschnitte ..... 3
1.3. Vorschriften, Normen, Literatur ..... 7
1.4. Unterlagen ..... 7
2. Berechnungskonzept ..... 9
2.1. Berechnungsgrundlagen ..... 9
2.2. Nachweisführung ..... 9
2.3. Ankerkraft ..... 9
3. Baugrund ..... 10
4. Nachweis Hybridbauwerk ..... 11
4.1. Allgemeines ..... 11
4.2. Bemessungssituationen ..... 11
4.3. Lasten ..... 12
4.4. Böschungsansatz ..... 13
4.5. Ergebnisse ..... 15
4.5.1. Allgemeines ..... 15
4.5.2. Bemessungsschnitt RQ 1 (Stat. 0+100) ..... 16
4.5.3. Bemessungsschnitt RQ 2 (Stat. 0+425) ..... 25
4.5.4. Bemessungsschnitt RQ 3 (Stat. 0+550) ..... 34
4.6. Zusammenfassung der Ergebnisse – Variante Kastenfangedamm (V0) ..... 43
5. Nachweis weiterer Varianten ..... 45
5.1. Bemessungsschnitt RQ 1 (Stat. 0+100) ..... 45
5.2. Bemessungsschnitt RQ 2 (Stat. 0+425) ..... 59
5.3. Zusammenfassung der Ergebnisse - Variante: V1, V2a und V2b ..... 61

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zuordnung der Regelquerschnitte ..... 3
Tabelle 2 Übersicht der betrachteten Varianten ..... 3
Tabelle 3 Übersicht - Zuordnung der Bodenprofile ..... 10
Tabelle 4 Zusammenfassung der Ergebnisse - Variante Kastenfangedamm (V0) ..... 43
Tabelle 5 Zusammenfassung der Ergbenisse - Variante: V1, V2a und V2b ..... 61

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Regelquerschnitt 1, Variante Kastenfangedamm (V0) ..... 4
Abbildung 2 Regelquerschnitt 1, Variante Spundwand mit rückverankerter Winkelstützwand (V1) ..... 4
Abbildung 3 Regelquerschnitt 2, Variante Kastenfangedamm (V0) ..... 5
Abbildung 4 Regelquerschnitt 2, Varainte Verankerung der Uferwand mittels Ankertafel (V2a) ..... 5
Abbildung 5 Regelquerschnitt 2, Variante Verankerte Uferwand mittels Verpressanker (V2b) ..... 6
Abbildung 6 Regelquerschnitt 3, Variante Kastenfangedamm (V0) ..... 6
Abbildung 7 Böschungsansatz je Bemessungssituation RQ 1 ..... 13
Abbildung 8 Böschungsansatz je Bemessungssituation RQ 2 ..... 14
Abbildung 9 Böschungsansatz je Bemessungssituation 0+550 RQ 3 ..... 14

# 1. Vorbemerkungen

## 1.1. Allgemeines

Gegenstand der vorliegenden Ausarbeitung ist die statische Berechnung des geplanten Bauabschnitt 4 an der kleinen Weser von ca. Deichkilometer GPK-km 16+361 bis 17+483 (Bau-km 0+00 bis 1+122). Aufgrund der geringen Flächenverfügbarkeit hat sich im Zuge der Ausarbeitung der Vorplanung gezeigt, dass in Teilabschnitten des Erddeiches beidseitig der Deichkrone Geländeabfangungen erforderlich sind. Eine mögliche Lösung für das Tragwerk stellt ein Kastenfangedammsystem dar. Dieses wird hier auch als Hybridbauwerk bezeichnet, da es zum einen aus einem Erdkörper entsprechend eines herkömmlichen Deiches und zum anderen aus Wandelementen u.a. im Sinne einer Hochwasserschutzwand besteht (siehe auch Definition Hybridbauwerk im Lastenheft). Das Kastenfangedammsystem besteht aus zwei Spundwänden die an den Außenkanten der Deichkrone angesetzt und mit einem horizontalen Anker miteinander verbunden werden. Zwischen den Spundwänden verläuft der Deichverteidigungswegs auf der Deichkrone. Die Außenböschung im Bereich des Hybridbauwerkes wird mit einer Neigung von 1:3 ausgebildet, jedoch für die statischen Berechnungen mit einer Neigung von 1:4 berücksichtigt (siehe hierzu auch [8.2]). In Teilabschnitten ist in der Binnenböschung ein 1,50 m breiter Inspektionsgang geplant. Im öffentlichen Raum (Bau-km 0+000 bis 0+175) beträgt die Höhendifferenz zwischen Deichverteidigungsweg und Inspektionsgang 1,50 m und im privaten Raum (Bau-km ca. 0+500 bis ca. 0+619) 1,15 m. Der Inspektionsgang wird binnenseitig auf den Bestand abgeböscht.

Ergänzend zur statischen Auslegung des Kastenfangedammsystems werden in der vorliegenden Ausarbeitung auch alternative Tragsysteme eines Hybridbauwerks berücksichtigt.

## 1.2. Zuordnung der Bemessungsschnitte

Das Kastenfangedammsystem ist von Bau-km 0+000 bis 0+175 und von Bau-km 0+333 bis 0+619 vorgesehen (vgl. Lageplan, Variante 2), dazwischen binden die Wände in einen Erddeich ein. Den beiden Abschnitten werden drei Querschnitte als Regelquerschnitte zugeordnet (Abbildung 1 bis Abbildung 6) und im Sinne der statischen Auslegung für die Vorplanung nachgewiesen. Die Querschnitte unterscheiden sich grundsätzlich in der Böschungsausbildung und Höhenlage des Inspektionsganges.

**Tabelle 1 Zuordnung der Regelquerschnitte**

| Abschnitt | Regelquerschnitt | Lage des Querschnitts |
|---|---|---|
| Bau-km 0+000 bis 0+175 | RQ 1 | Bau-km 0+100 |
| Bau-km 0+333 bis 0+500 | RQ 2 | Bau-km 0+425 |
| Bau-km 0+500 bis 0+619 | RQ 3 | Bau-km 0+550 |

Zusätzlich zum Kastenfangedammsystem werden für die Regelquerschnitte 1 und 2 weitere Varianten des Tragwerks untersucht. Der Regelquerschnitt 3 wird nicht gesondert betrachtet, da dieser bereits durch den RQ 1 abgebildet ist.

**Tabelle 2 Übersicht der betrachteten Varianten**

| RQ | Berechnete Varianten | | |
|---|---|---|---|
| RQ 1 | Kastenfangedamm (V0) | Uferwand/ landseitige Winkelstützwand (V1) | |
| RQ 2 | Kastenfangedamm (V0) | Verankerung der Uferwand mittels Ankertafel (V2a) | Verankerte Uferwand mittels Verpressanker (V2b) |
| RQ 3 | Kastenfangedamm (V0) | Uferwand/ landseitige Winkelstützwand (V1) | |

Der Nachweis des Erddeichs in den übrigen Abschnitten des BA 4 ist nicht Gegenstand dieser Statik.

Der Kastenfangedamm wird mit GGU-Retain, Version 11.20 berechnet.

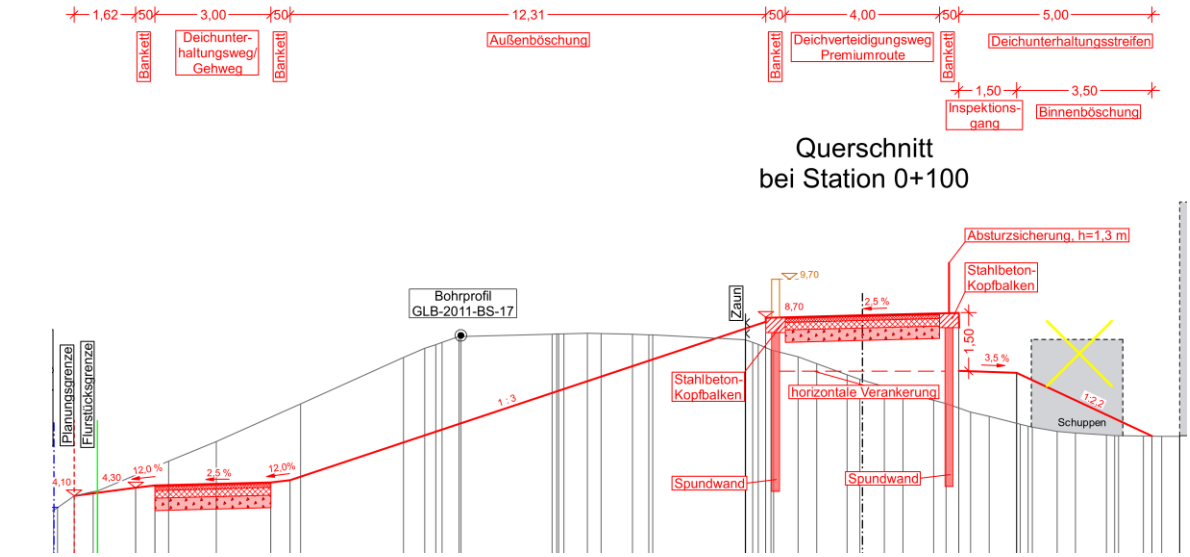



**Abbildung 1 Regelquerschnitt 1, Variante Kastenfangedamm (V0)**

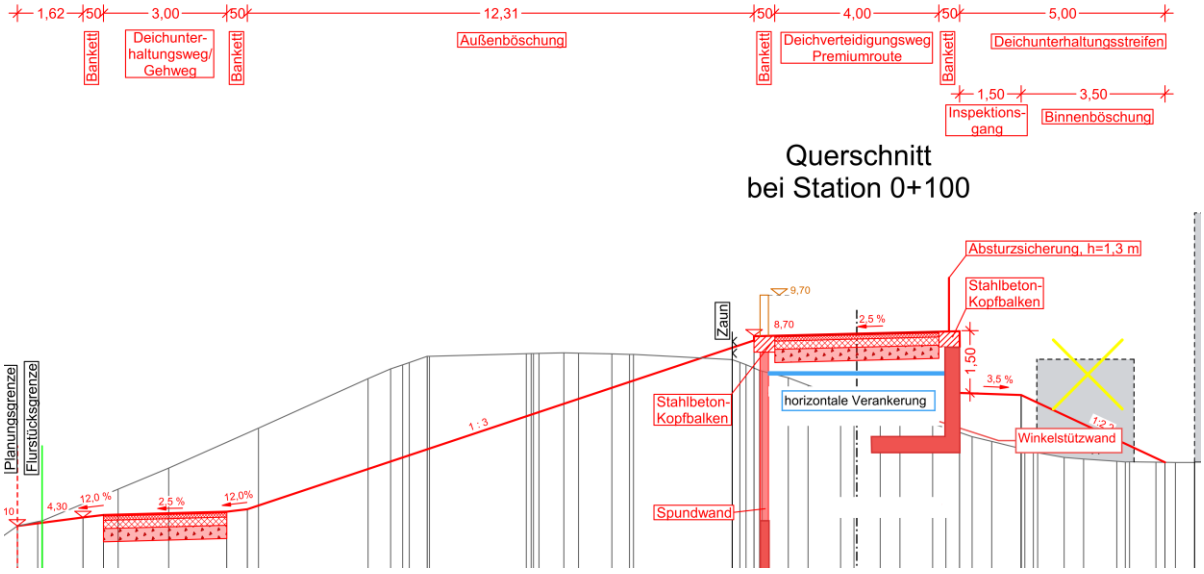



**Abbildung 2 Regelquerschnitt 1, Variante Spundwand mit rückverankerter Winkelstützwand (V1)**

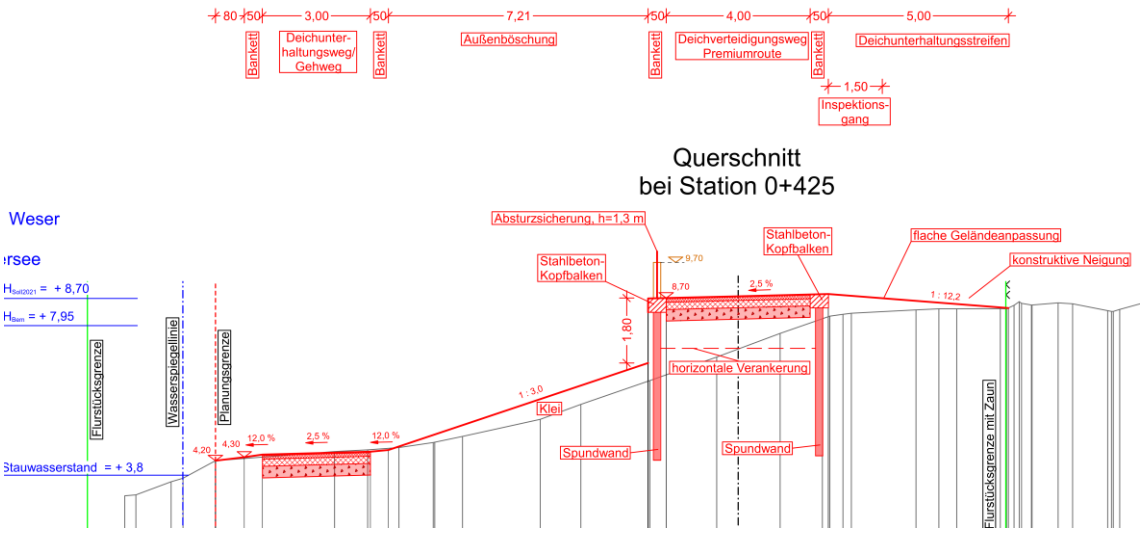



**Abbildung 3 Regelquerschnitt 2, Variante Kastenfangedamm (V0)**

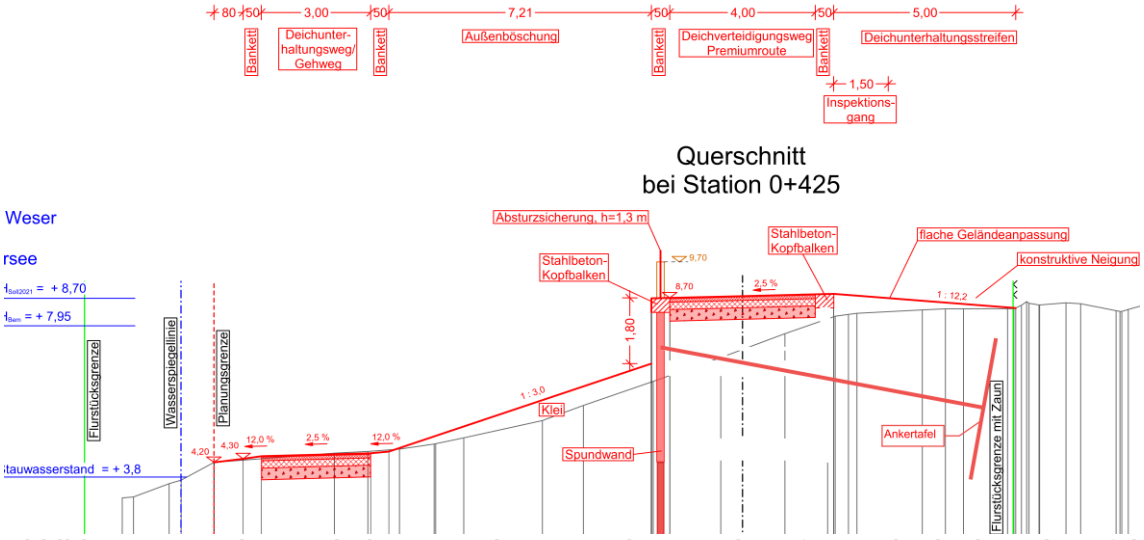



**Abbildung 4 Regelquerschnitt 2, Varainte Verankerung der Uferwand mittels Ankertafel (V2a)**

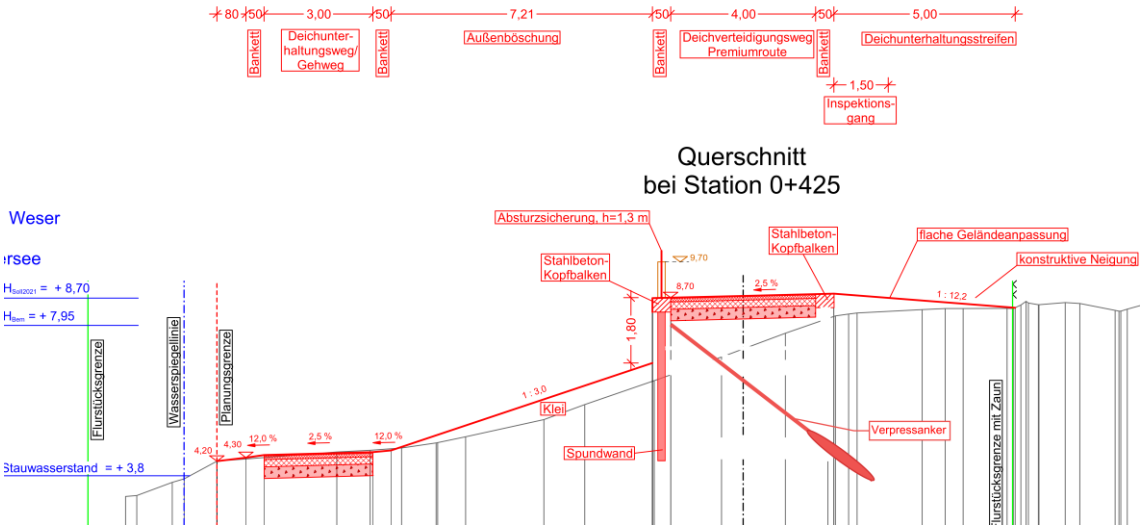



**Abbildung 5 Regelquerschnitt 2, Variante Verankerte Uferwand mittels Verpressanker (V2b)**

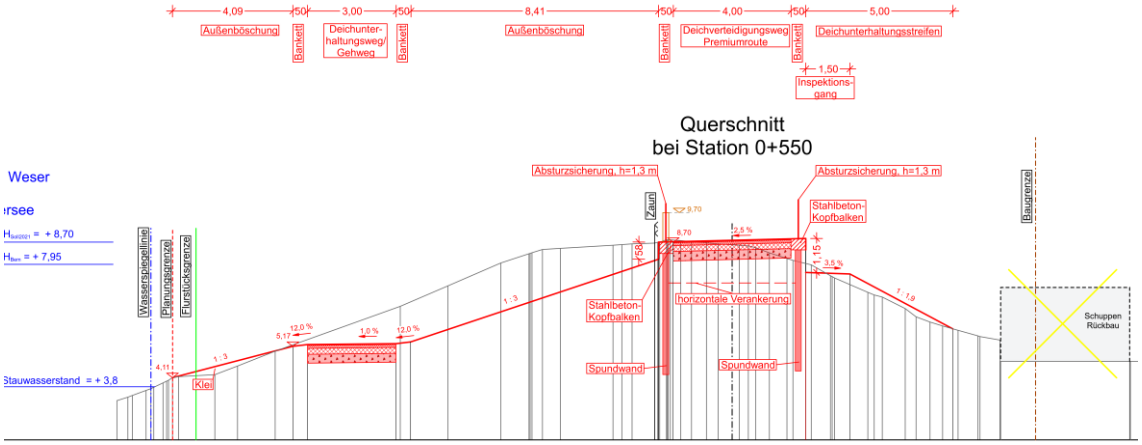



**Abbildung 6 Regelquerschnitt 3, Variante Kastenfangedamm (V0)**

## 1.3. Vorschriften, Normen, Literatur

Als Grundlage für die Berechnungen und Bemessungen dienen die folgenden Regelwerke:

[1.1] EAU Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“, Häfen und Wasserstraßen, Ausgabe 2020, 12. Auflage

[2.1] EAB Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, 6. Auflage (2021)

[3.1] EAK Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken, 2002, korrigierte Ausgabe 2007

[4.1] DIN EN 1991-2/NA– National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken

[5.1] DIN EN 1997-1:2014-03 mit NA:2010-12 Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1

[6.1] DIN 19712:2013-01 Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern

[7.1] DIN 4085:2017-08 Baugrund - Berechnung des Erddrucks

[8.1] DWA-M 507-1:2011-12 Deiche an Fließgewässern, Teil 1: Planung, Bau und Be-trieb

[9.1] DIN 1054:2021-04 Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1

## 1.4. Unterlagen

Die Grundlage für das Lastenheft bilden die folgenden Unterlagen:

[1.2] Geotechnischer Bericht, Umsetzung Generalplan Küstenschutz, Generelle Beurteilung der Tragfähigkeit des Baugrundes und der Gründungsmöglichkeiten für die baulichen Maßnahmen, aufgestellt vom Institut für Geotechnik Hochschule Bremen, Große Fischerstraße 5, 28195 Bremen, 08.09.2014

[2.2] Geotechnischer Bericht Nr. 1, Deichstandsicherheit, Stadtstrecke Kleine Weser, 28197 Bremen, aufgestellt von Grundbaulabor Bremen Ingenieurgesellschaft für Geotechnik mbH, 20.02.2011

[3.2] Geotechnischer Bericht Nr. 2, Deichstandsicherheit, Stadtstrecke Kleine Weser, 28197 Bremen, aufgestellt von Grundbaulabor Bremen Ingenieurgesellschaft für Geotechnik mbH, 15.08.2012

[4.2] Prüfungsvermerk zur Stadtstrecke, Machbarkeitsstudie Teil I und Teil II zum städtebaulichen Siegerentwurf – Die Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau, vom 10.02.2022

[5.2] Untersuchung zur Deichsicherheit der Stadtstrecke Bremen-Seehausen bis Bremen-Weserwehr, Bericht Nr. 679 / BWST 2008, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen

[6.2] Berechnungsgrundsätze für Hochwasserschutzwände, Flutschutzanlagen und Uferbauwerke im Bereich der Tideelbe der Freien und Hansestadt Hamburg, April 2013, Hamburg Port Authority

[7.2] E-Mail: 2022-8-08 Stadtstrecke: Bemessungsgrundlagen; Wellenüberlaufrate, vom 08.08.2022

[8.2] Stadtstrecke – Kriterien für weiterführende Planungen in Bezug auf Hochwasserschutzanlagen (SUBV) vom 02.10.2014

[9.2] Vorplanung, Lastenheft vom 07.08.2023

# 2. Berechnungskonzept

## 2.1. Berechnungsgrundlagen

Die Berechnungsgrundlagen sind dem Lastenheft [9.2] zu entnehmen.

## 2.2. Nachweisführung

Das Hybridbauwerk wird als Kastenfangedammsystem ausgebildet. Für den Nachweis der Standsicherheit der Verankerung in der tiefen Gleitfuge erfolgt eine Unterteilung in die Bemessung der Spundwand mit Ankerwand (Nachweis der tiefen Gleitfuge) sowie die Bemessung des Ersatzsystemes (Nachweis der Ankerwand). Letzteres dient der Bestimmung der erforderlichen Mindestankerwandlänge. Das Vorgehen wird nachfolgend detailliert beschrieben. Zudem wird der Nachweis gegen Kippen und Gleiten (GEO-2) geführt.

<u>Erläuterung der GGU-Berechnung Spundwand – Ersatzsystem</u>

In der GGU-Berechnung zur Spundwandbemessung wird die Länge der Ankerwand so gewählt, dass der Nachweis der tiefen Gleitfuge gerade noch eingehalten ist ($\mu$ = 0,99). Die daraus ermittelte Ankerkraft $A_d$ wird im Ersatzsystem als horizontal angreifende Kraft auf Höhe des Ankeranschlusses angesetzt. Um eine Unterteilung dieser Kraft in ständige oder veränderliche Einwirkungen zu vermeiden, wird $A_d$ durch den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_G$ = 1,35 geteilt und schließlich als ständige Kraft angesetzt. Die GGU-Berechnung des Ersatzsystems ermittelt die erforderliche Profillänge der Ankerwand.

Für eingespannte Ankerwände ist nach EAU 2020 (Abschnitt 9.3.5.) die tiefe Gleitfuge in Höhe des Querkraftnullpunktes im Einspannbereich der Ankerwand anzusetzen. Folglich darf der Querkraftnullpunkt des Ersatzsystems nicht über der Lage der tiefen Gleitfuge der Spundwandbemessung liegen. Die Einhaltung des Querkraftnullpunktes wird visuell überprüft (siehe Nachweis Ersatzsystem).

## 2.3. Ankerkraft

Die Winkelstützwand wird am Wandschenkel mit einem Anker an der wasserseitigen Spundwand zurückgehängt. Die horizontale Ankerkraft berechnet sich mithilfe der horizontalen Lasten aus Erd- und Wasserdruck. Die errechneten horizontalen Ankerkräfte werden als Einzellasten auf das System aufgebracht (s. Abschnitt 5.1).

# 3. Baugrund

Alle Bohrprofile sind dem Lastenheft [9.2] zu entnehmen. Für den Regelquerschnitt 1 wird das Bodenprofil 1 verwendet. Der Regelquerschnitt 2 wird mit dem Bodenprofil 3 nachgewiesen und der Regelquerschnitt 3 mithilfe des Bodenprofils 4. Bei Überschreitungen der Nachweise ist ein Bodenaushub vorzunehmen. Die einzubauenden Böden mit den entsprechenden Bodenkennwerten sind ebenfalls dem Lastenheft [9.2] zu entnehmen.

**Tabelle 3 Übersicht - Zuordnung der Bodenprofile**

| Regelquerschnitt | Bodenprofil |
|---|---|
| RQ 1 | 1 |
| RQ 2 | 3 |
| RQ 3 | 4 |

Unabhängig vom Baugrundgutachten wird empfohlen, dass Spundwände mind. 3 m in die tragfähigen Sande einbinden.

# 4. Nachweis Hybridbauwerk

## 4.1. Allgemeines

Die Berechnungen und Nachweise für Spundwände erfolgen mit den im Lieferkatalog angegebenen Querschnittswerten Wy, Sy und Iy für Doppelbohlen bzw. „je m Wand“. Die erforderliche Verriegelung der im Werk zusammengezogenen Schlösser zur Aufnahme der Schubkräfte ist durch den Hersteller im Zuge der Ausführungsplanung nachzuweisen und sicherzustellen.

## 4.2. Bemessungssituationen

Die Bemessungsschnitte werden mit den Bemessungswasserständen für Hochwasserschutzwände gem. des Lastenhefts [9.2] in der BS-P und BS-T bemessen.

Lastfall 1: <u>BS-P (vgl. [9.2]):</u>
Gewässerstand: 3,80 m NHN
Grundwasserstand: 3,60 m NHN

Lastfall 2: <u>Ablaufende Hochwasserwelle BS-T (vgl. [9.2]):</u>

Gewässerstand: 3,60 m NHN
Wasserstand im Fangedammkörper: 8,70 m NHN
Grundwasserstand: GOK / Inspektionsgang

Lastfall 3: <u>Hochwassersituation BS-T (Nachweis Spundwand vgl. [9.2]):</u>

Gewässerstand: 8,95 m NHN
Wasserstand im Fangedammkörper: 3,60 m NHN
Grundwasserstand: 3,60 m NHN

Lastfall 4: <u>Hochwassersituation BS-T (Nachweis Ankerwand vgl. [9.2]):</u>

Gewässerstand: 8,95 m NHN
Wasserstand im Fangedammkörper: 8,70 m NHN
Grundwasserstand: 3,60 m NHN

Der Lastfall 3 (Nachweis der wasserseitigen Spundwand in einer Hochwassersituation) wird aufgrund der günstig wirkenden Wasserdrücke nicht weiter betrachtet.

Die Lasten des Lastfalles 4 wirken zur Landseite. Somit wirkt die eigentliche Ankerwand nicht mehr als Verankerungselement. Die wasserseitige Spundwand stellt in diesem Fall das Verankerungselement dar. Für die Berechnung in GGU wird das System umgedreht. Der Nachweis der wasserseitigen Spundwand wird mit dem Ersatzsystem geführt.

Die Varianten V1, V2a und V2b (vgl. Tabelle 2) werden auf Grundlage des maßgebenden Lastfalls aus der Kastenfangedammberechnung nachgewiesen.

## 4.3. Lasten

Verkehrslasten:

Die Verkehrslasten werden gemäß Lastenheft [9.2] aufgebracht.
Gemäß Lastenheft [9.2] wirken 5 kN/m² auf Kronen und Bermen, 11 kN/m² auf Deichunterhaltungswegen, 33 kN/m² auf Deichverteidigungswegen und 52 kN/m² im Bereich der Straße „Am Deich“. Die Verkehrslasten werden auf der sicheren Seite mit den Lasten auf Kronen und Bermen verrechnet. Es werden somit lediglich 28 kN/m² mit einer Lastausbreitung von 45° aufgebracht.

Deichverteidigungswege: 33 kN/m² - 5 kN/m² = 28 kN/m²

$b_r = 5 + 2 * 3 = 11$ m

$p_{q,28} = 28 / 11 * 3 = 7{,}64$ kN/m²

In Rahmen der Vorplanung ist aufgrund des geringen Einflusses ein zusätzlicher Lastfall mit Baustellenverkehr von 10 kN/m² vernachlässigt worden.

Wasserdruck:

Die Wasserdruckdifferenzen können dem Lastenheft [9.2] entnommen werden.

Es ist vorgesehen eine Entwässerung bei 3,00 m NHN in der wasserseitigen Spundwand zu realisieren (z.B. schlitzen der Spundwand). Somit verringert sich der Wasserdruck auf die Spundwand. Ab dieser Höhe ist der Außen- und Binnenwasserdruck ausgeglichen. In der Bemessung wird eine Wasserdruckdifferenz lediglich oberhalb von 3,00 m NHN angesetzt.

Gem. Lastenheft [9.2] ist rechnerisch ein Bemessungshochwasser von 7,95 m NHN und ein konstruktives Vorsorgemaß von 1,00 m zu berücksichtigen (7,95 m NHN + 1,0 m = 8,95 m NHN), wird jedoch baulich zunächst nicht umgesetzt. Die OK des Kastenfangedamms liegt daher zunächst lediglich bei 8,70 m NHN. Der Wasserdruck unter Berücksich-

tigung des Vorsorgemaßes wird rechnerisch mit einer äquivalenten Horizontallast und einem Versatzmoment zu berücksichtigen.

H = 0,25 m * 10 kN/m² * 0,25 m * 1/2 = 0,31 kN/m

M = 1/3 * 0,25 m * 0,31 kN/m = 0,023 kNm/m

Die Lasten können in der Vorplanung aufgrund des geringen Einflusses vernachlässigt werden.

## 4.4. Böschungsansatz

Die Böschungen werden gem. Lastenheft [9.2] angesetzt. Die folgenden Abbildungen zeigen die angesetzten Böschungen je Bemessungsschnitt und Bemessungssituation.

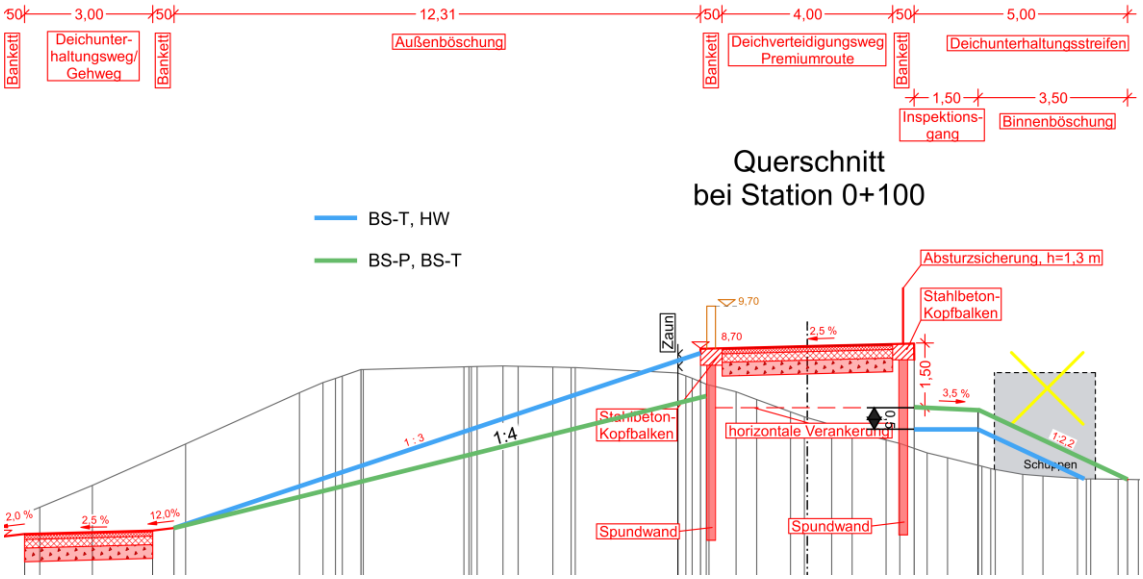



**Abbildung 7 Böschungsansatz je Bemessungssituation RQ 1**

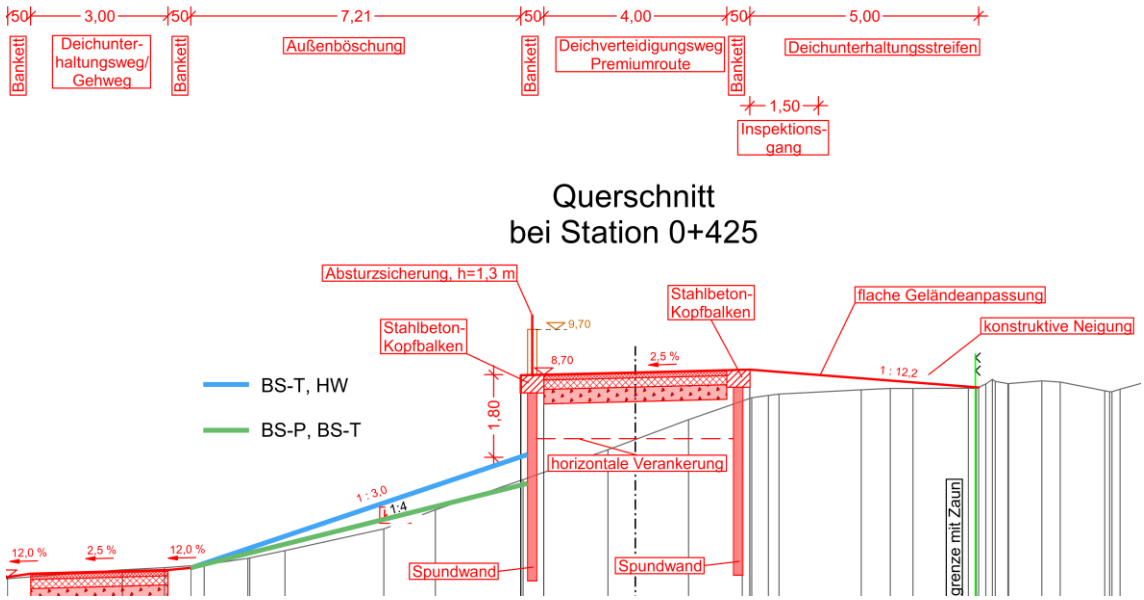



**Abbildung 8 Böschungsansatz je Bemessungssituation RQ 2**

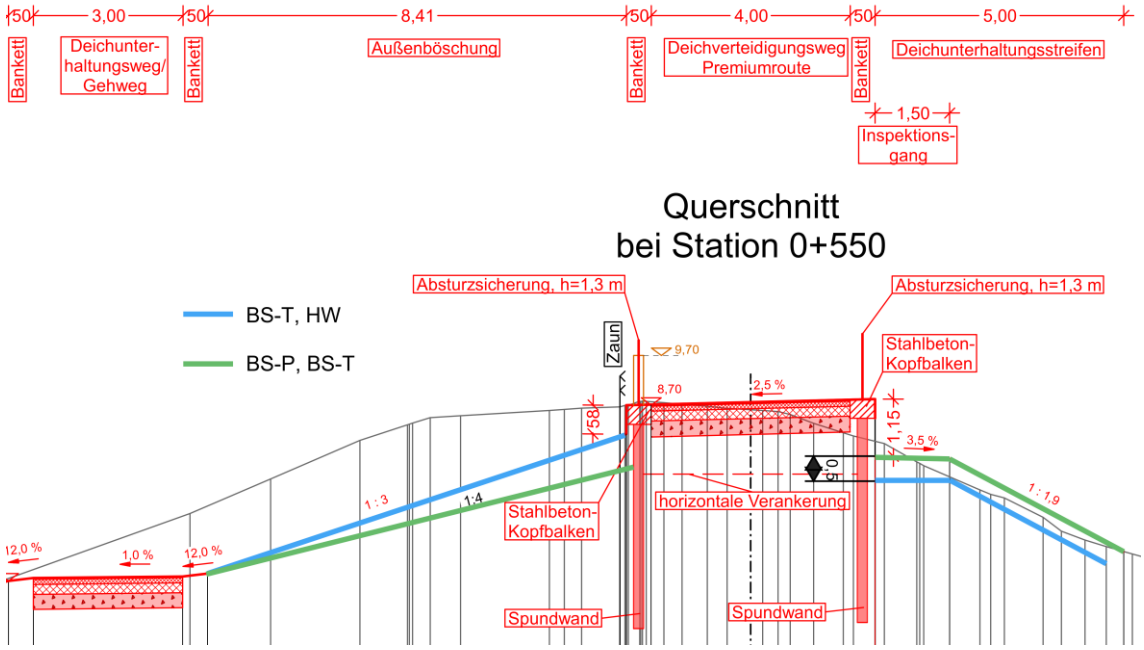



**Abbildung 9 Böschungsansatz je Bemessungssituation 0+550 RQ 3**

## 4.5. Ergebnisse

### 4.5.1. Allgemeines

Im Folgenden werden die verschiedenen Bemessungsschnitte sowie die Lastfälle der Spundwandbemessung mit Ankerwand und das dazugehörige Ersatzsystem abgebildet. Außerdem wird der Gleit- und Kippnachweis für den Kastenfangedamm geführt.

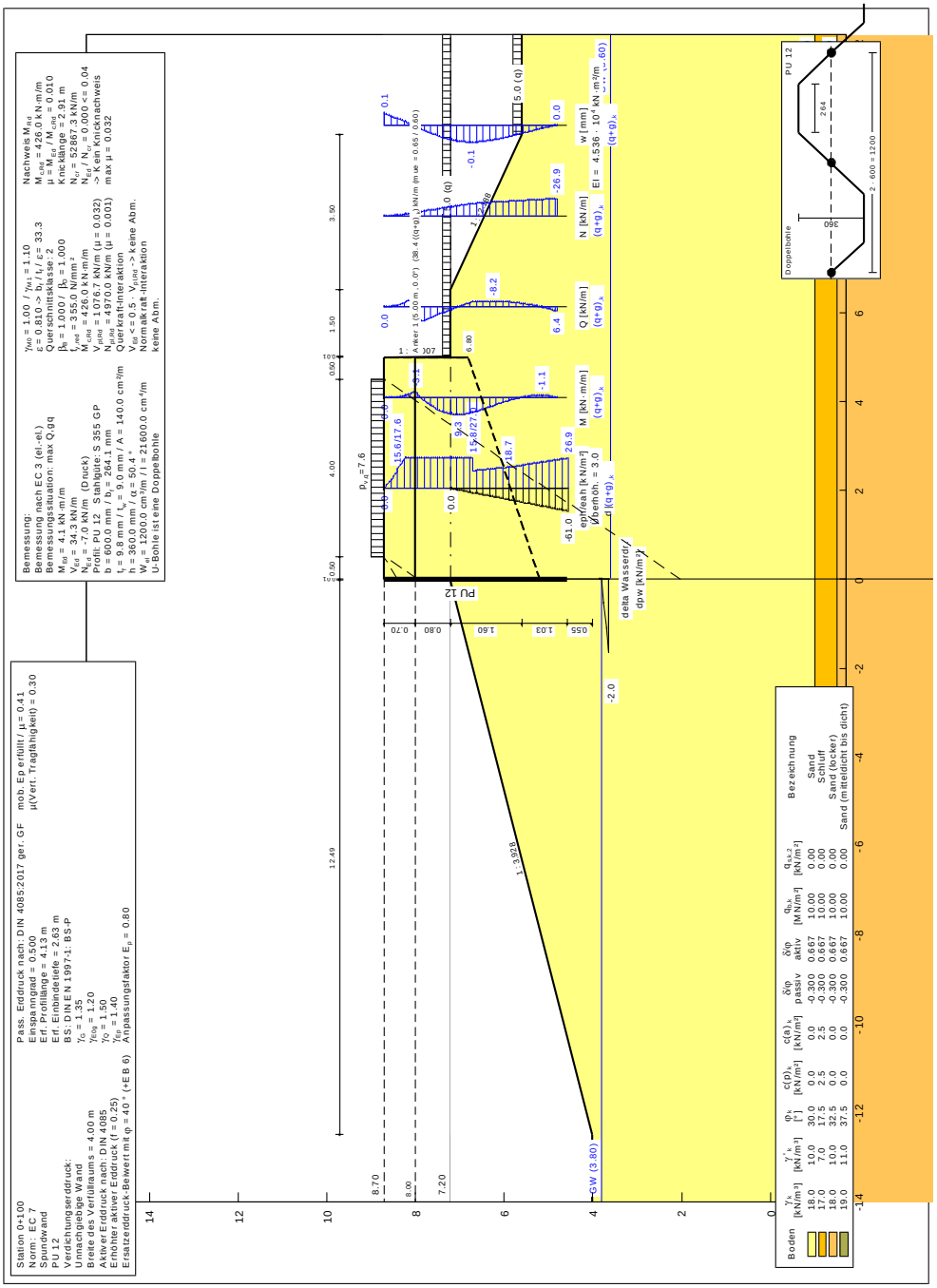
Die äußere Standsicherheit des Kastenfangedamms des RQ 2 ist in der BS-T ohne Bodenaustausch nicht gegeben. Deshalb wird der Kastenfangedamm des RQ 2 mit einem Bodenaustausch zwischen den Spundwänden bemessen.

Den Berechnungen der wasserseitigen Spundwand wird zu Grunde gelegt, dass eine Entwässerung bei 3,00 m NHN stattfindet. Für die Nachweisführung ist ein negativer Zusatzdruck in Höhe des Wasserdrucks aufgebracht, um die Wasserdruckdifferenz auf null zu setzen.

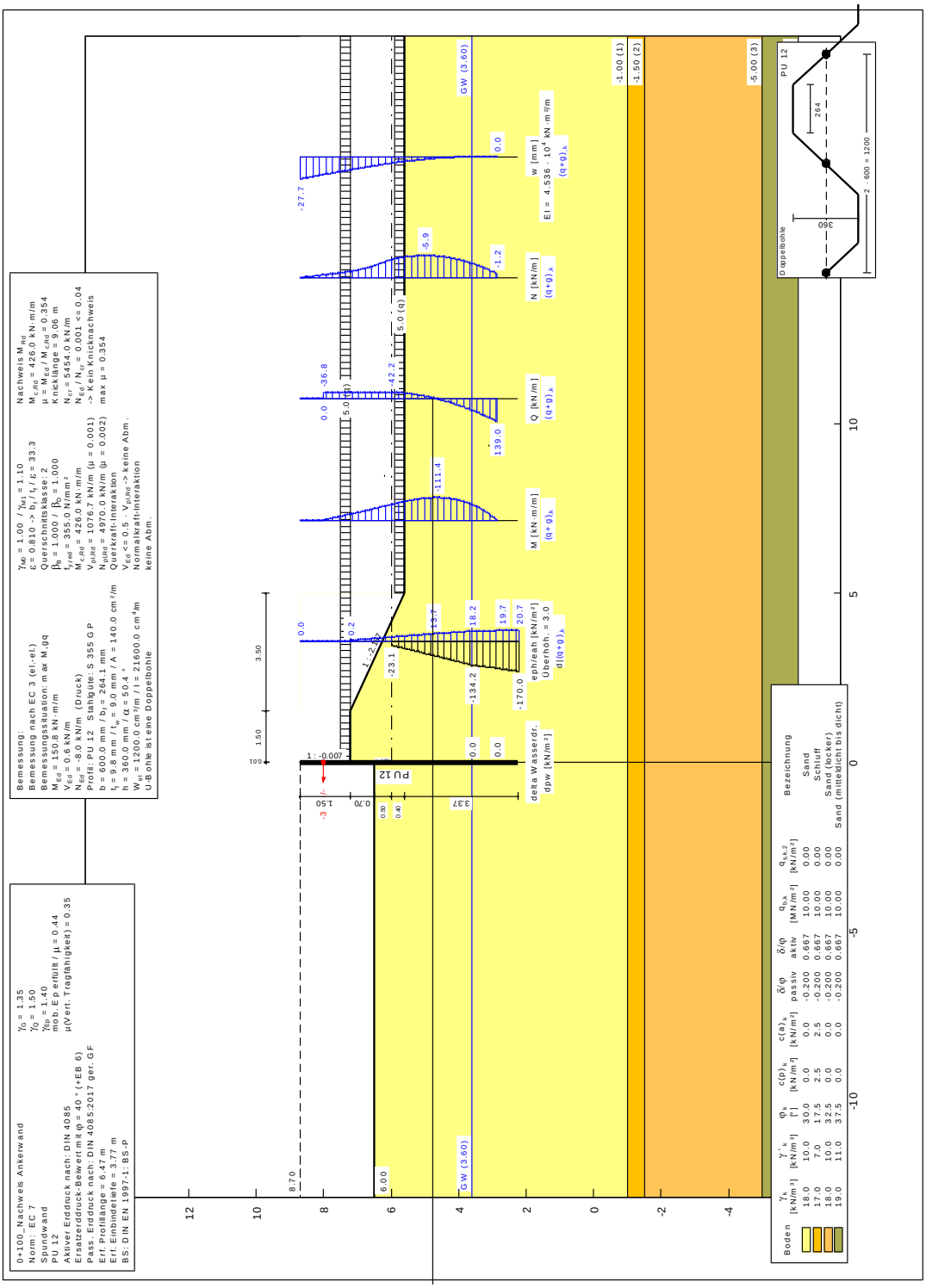
## 4.5.2. Bemessungsschnitt RQ 1 (Stat. 0+100)

**Variante: Kastenfangedamm (V0)**

BS-P, Spundwand mit Ankerwand (Nachweis der tiefen Gleitfuge):



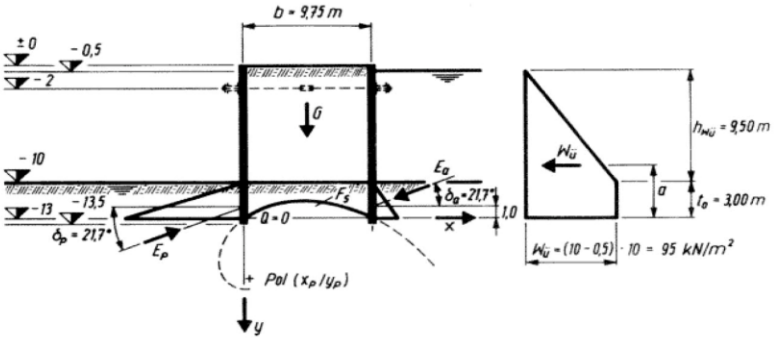
## BS-P, Ersatzsystem (Nachweis Ankerwand):



## BS-P, Nachweis gegen Kippen und Gleiten (GEO-2)

**Berechnung der Standsicherheit**

Prinzipabbildung




Pol der Spirale (maßg. Fein-Mittelsande mit φ' =30°)

| | | |
|---|---|---|
| $\alpha_0$ = | 30 | ° |
| $\upsilon$ = | 67,85 | ° |
| $\beta$ = | 7,85 | ° |
| $\varepsilon$ = | 0,0737 | - |
| $\chi$ = | 0,1017 | - |
| $x_p$ = | 0,37 | m |
| $y_p$ = | 2,67 | m |
| $F_s$ = | 2,54 | m² |

Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Widerstände

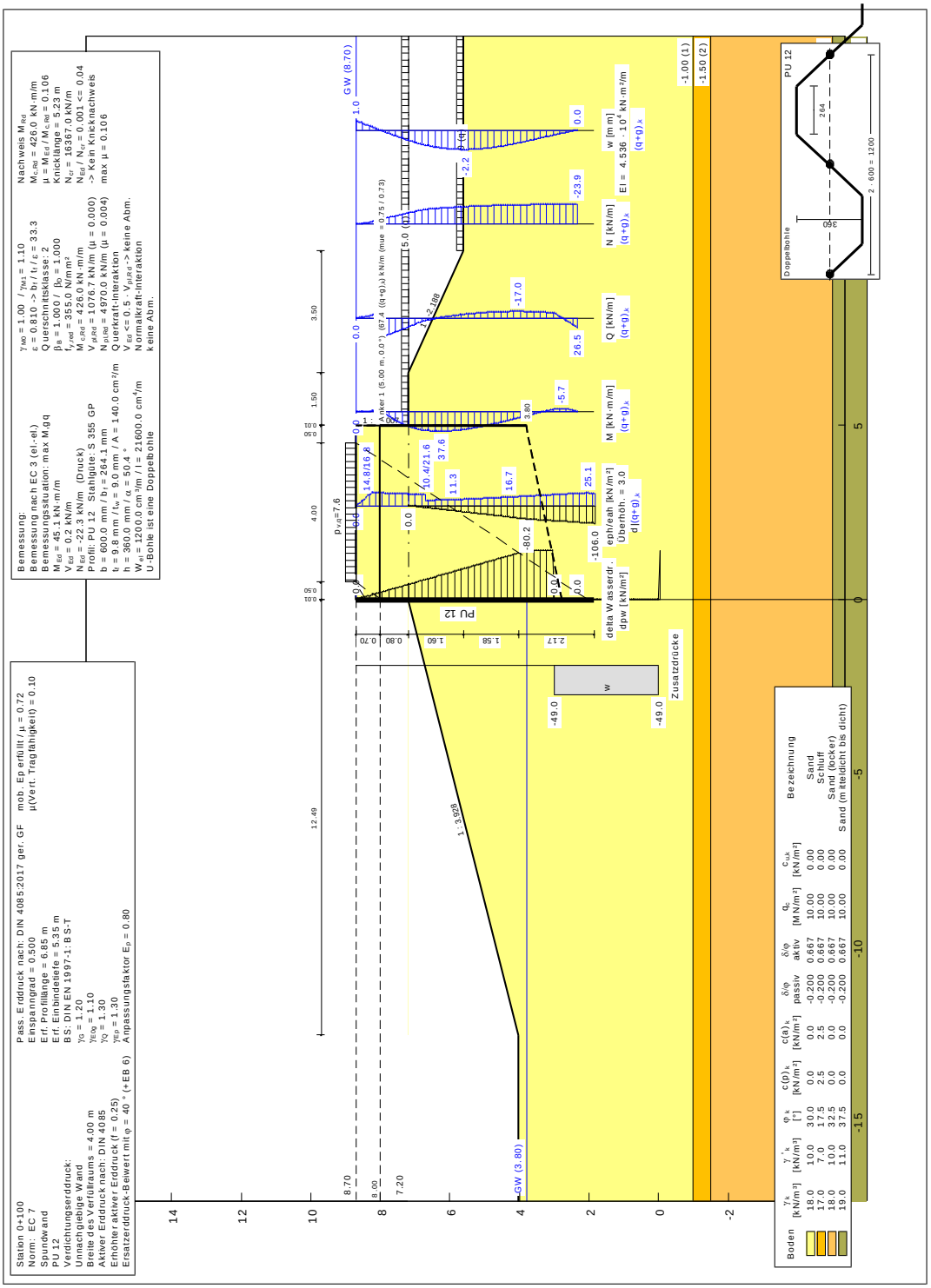
| | | | |
|---|---|---|---|
| $G_k$ = | 353,58 | kN/m | Eigengewicht |
| e = | 2,13 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,1}$ = | 65,55 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (oberhalb GW) |
| e = | 2,77 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,2}$ = | -75,94 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (von GW bis BGS) |
| e = | 2,77 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,3}$ = | 38,40 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil unterhalb BGS |
| e = | 3,67 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{av,k}$ = | 10,19 | kN/m | aktiver Erddruck vertikal |
| e = | 4,63 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ph,k}$ = | 61,30 | kN/m | passiver Erdwiderstand horizontal |
| e = | 3,37 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{pv,k}$ = | 22,31 | kN/m | passiver Erdwiderstand vertikal |
| e = | 0,37 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,1}$ = | 0,20 | kN/m | Wasserüberdruck, dreiecksförmiger Anteil |
| e = | 1,21 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,2}$ = | 2,80 | kN/m | Wasserüberdruck, konstanter Anteil |
| e = | 1,97 | m | auf Pol bezogen |

Standsicherheitsnachweis

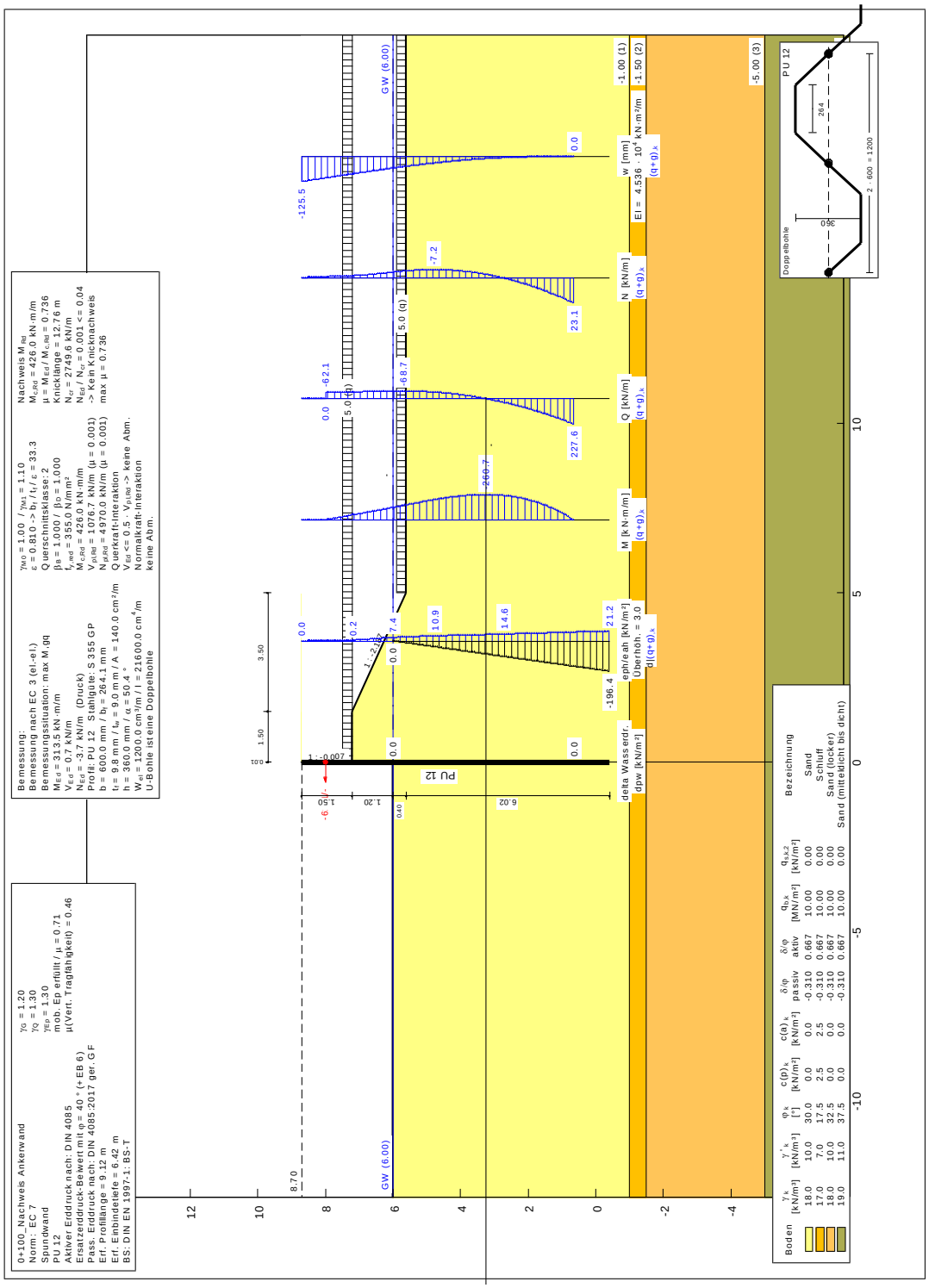
| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_G$ = | 1,35 | BS-P |
| $\gamma_{R,e}$ = | 1,40 | BS-P |
| $\gamma_{R,h}$ = | 1,10 | BS-P |
| $M_{Ed}$ = | 95,78 | kNm/m ΣM (P) Einwirkungen |
| $M_{Rd}$ = | 838,68 | kNm/m ΣM (P) Widerstände |

95,78 kNm/m < 838,68 kNm/m ( 0,11 )

## BS-T, Spundwand mit Ankerwand (Nachweis der tiefen Gleitfuge):



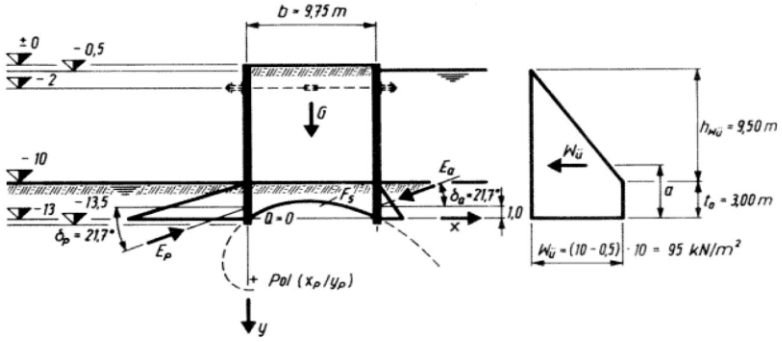
## BS-T, Ersatzsystem (Nachweis Ankerwand):



# BS-T, Nachweis gegen Kippen und Gleiten (GEO-2)

**Berechnung der Standsicherheit**

Prinzipabbildung




Pol der Spirale (maßg. Fein-Mittelsande mit φ' =30°)

| | | |
|---|---|---|
| $\alpha_0$ = | 30 | ° |
| $\upsilon$ = | 67,85 | ° |
| $\beta$ = | 7,85 | ° |
| $\varepsilon$ = | 0,0737 | - |
| $\chi$ = | 0,1017 | - |
| $x_p$ = | 0,37 | m |
| $y_p$ = | 2,67 | m |
| $F_s$ = | 2,54 | m² |

Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Widerstände

| | | | |
|---|---|---|---|
| $G_k$ = | 384,58 | kN/m | Eigengewicht |
| e = | 2,13 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,1}$ = | 5,67 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (oberhalb GW) |
| e = | 8,67 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,2}$ = | -0,08 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (von GW bis BGS) |
| e = | 8,18 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,3}$ = | 84,01 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil unterhalb BGS |
| e = | 4,96 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{av,k}$ = | 32,61 | kN/m | aktiver Erddruck vertikal |
| e = | 4,63 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ph,k}$ = | 422,01 | kN/m | passiver Erdwiderstand horizontal |
| e = | 4,51 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{pv,k}$ = | 153,60 | kN/m | passiver Erdwiderstand vertikal |
| e = | 0,37 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,1}$ = | 57,80 | kN/m | Wasserüberdruck, dreiecksförmiger Anteil |
| e = | 5,91 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,2}$ = | 71,40 | kN/m | Wasserüberdruck, konstanter Anteil |
| e = | 3,72 | m | auf Pol bezogen |

Standsicherheitsnachweis

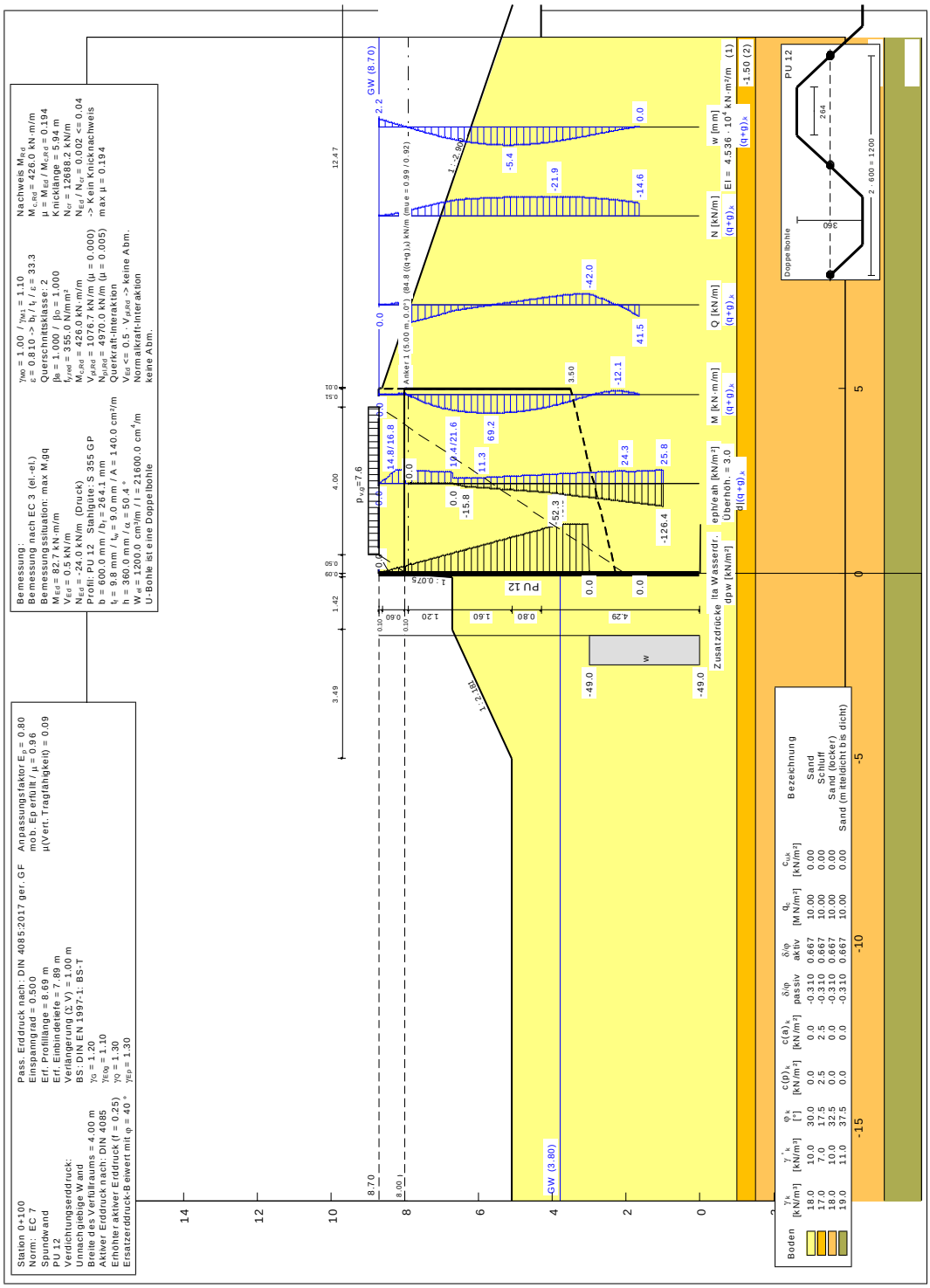
| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_G$ = | 1,20 | BS-T |
| $\gamma_{R,e}$ = | 1,10 | BS-T |
| $\gamma_{R,h}$ = | 1,30 | BS-T |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | 1105,95 | kNm/m | ΣM (P) Einwirkungen |
| $M_{Rd}$ = | 2412,01 | kNm/m | ΣM (P) Widerstände |

1105,95 kNm/m < 2412,01 kNm/m ( 0,46 ) < 1,0

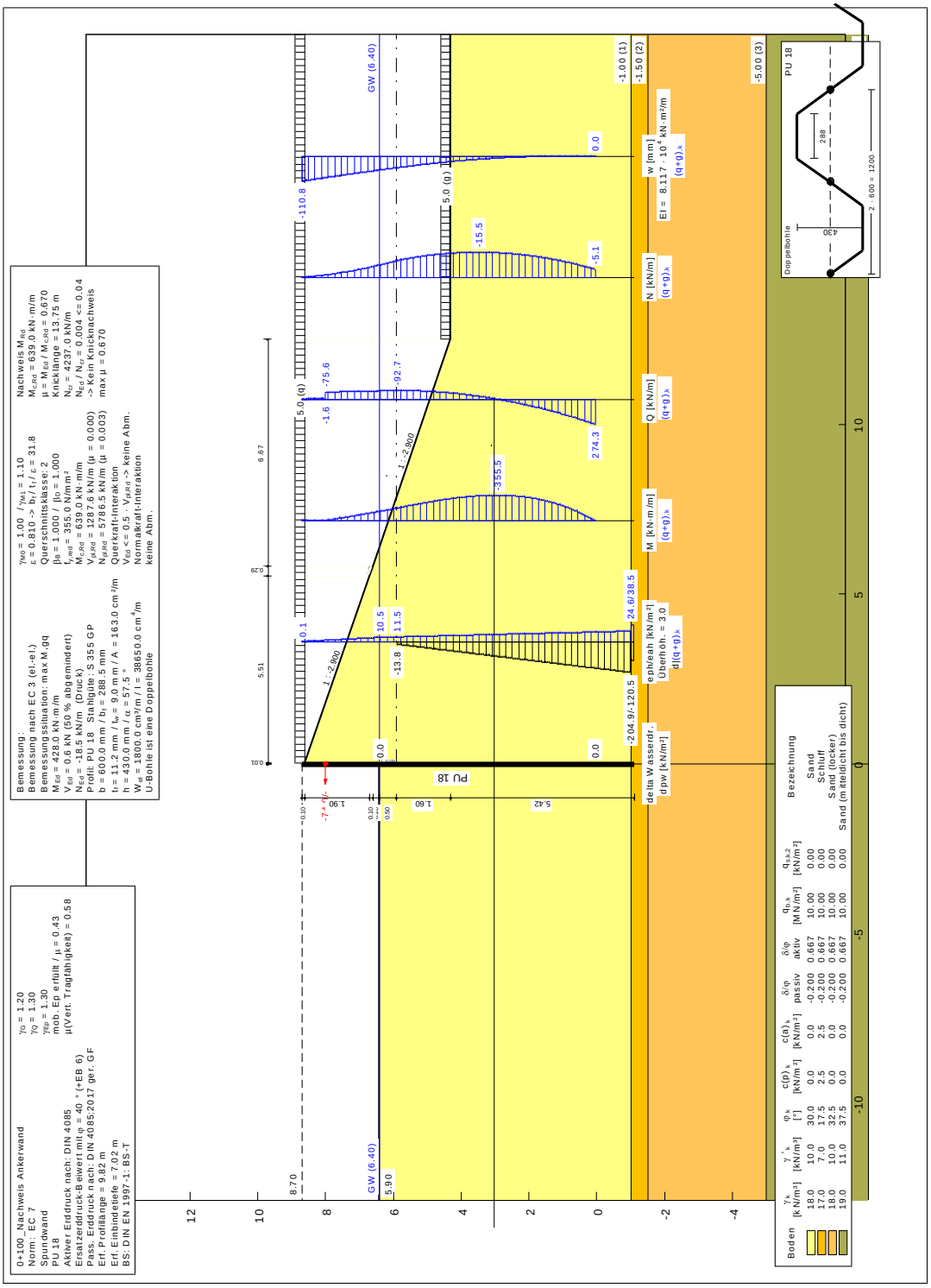
| | | |
|---|---|---|
| Verfasser: Sweco GmbH für ARGE Grontmij GmbH / WES GmbH | | Auftrag Nr.: 0711-21-014 |
| Programm: | | |
| Bauwerk: Generalplan Küstenschutz - Stadtstrecke | ASB Nr.: | Datum: August 2023 |

## BS-T HW, Spundwand mit Ankerwand (Nachweis der tiefen Gleitfuge):




| Bauteil: Statik Vorplanung | | Archiv-Nr.: |
|---|---|---|
| Block: | Seite: 22 | |
| Vorgang: 4.5 Ergebnisse | | |

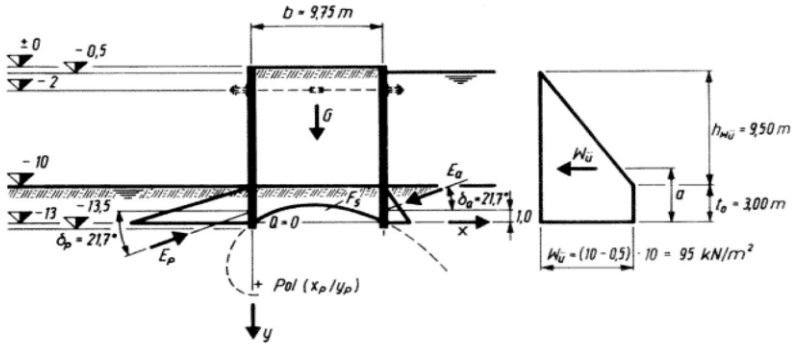
## BS-T HW, Ersatzsystem (Nachweis Ankerwand):



## BS-T HW, Nachweis gegen Kippen und Gleiten (GEO-2)

**Berechnung der Standsicherheit**

Prinzipabbildung




Pol der Spirale (maßg. Fein-Mittelsande mit φ' =30°)

| | | |
|---|---|---|
| $\alpha_0$ = | 30 | ° |
| $\upsilon$ = | 67,85 | ° |
| $\beta$ = | 7,85 | ° |
| $\varepsilon$ = | 0,0737 | - |
| $\chi$ = | 0,1017 | - |
| $x_p$ = | 0,37 | m |
| $y_p$ = | 2,67 | m |
| $F_s$ = | 2,54 | m² |

Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Widerstände

| | | | |
|---|---|---|---|
| $G_k$ = | 379,18 | kN/m | Eigengewicht |
| e = | 2,13 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,1}$ = | 9,98 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (oberhalb GW) |
| e = | 7,85 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,2}$ = | 0,10 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (von GW bis BGS) |
| e = | 7,18 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,3}$ = | 73,61 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil unterhalb BGS |
| e = | 4,63 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{av,k}$ = | 30,46 | kN/m | aktiver Erddruck vertikal |
| e = | 4,63 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ph,k}$ = | 294,64 | kN/m | passiver Erdwiderstand horizontal |
| e = | 4,17 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{pv,k}$ = | 107,24 | kN/m | passiver Erdwiderstand vertikal |
| e = | 0,37 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,1}$ = | 19,80 | kN/m | Wasserüberdruck, dreiecksförmiger Anteil |
| e = | 8,51 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,2}$ = | -129,35 | kN/m | Wasserüberdruck, konstanter Anteil |
| e = | 5,92 | m | auf Pol bezogen |

Standsicherheitsnachweis

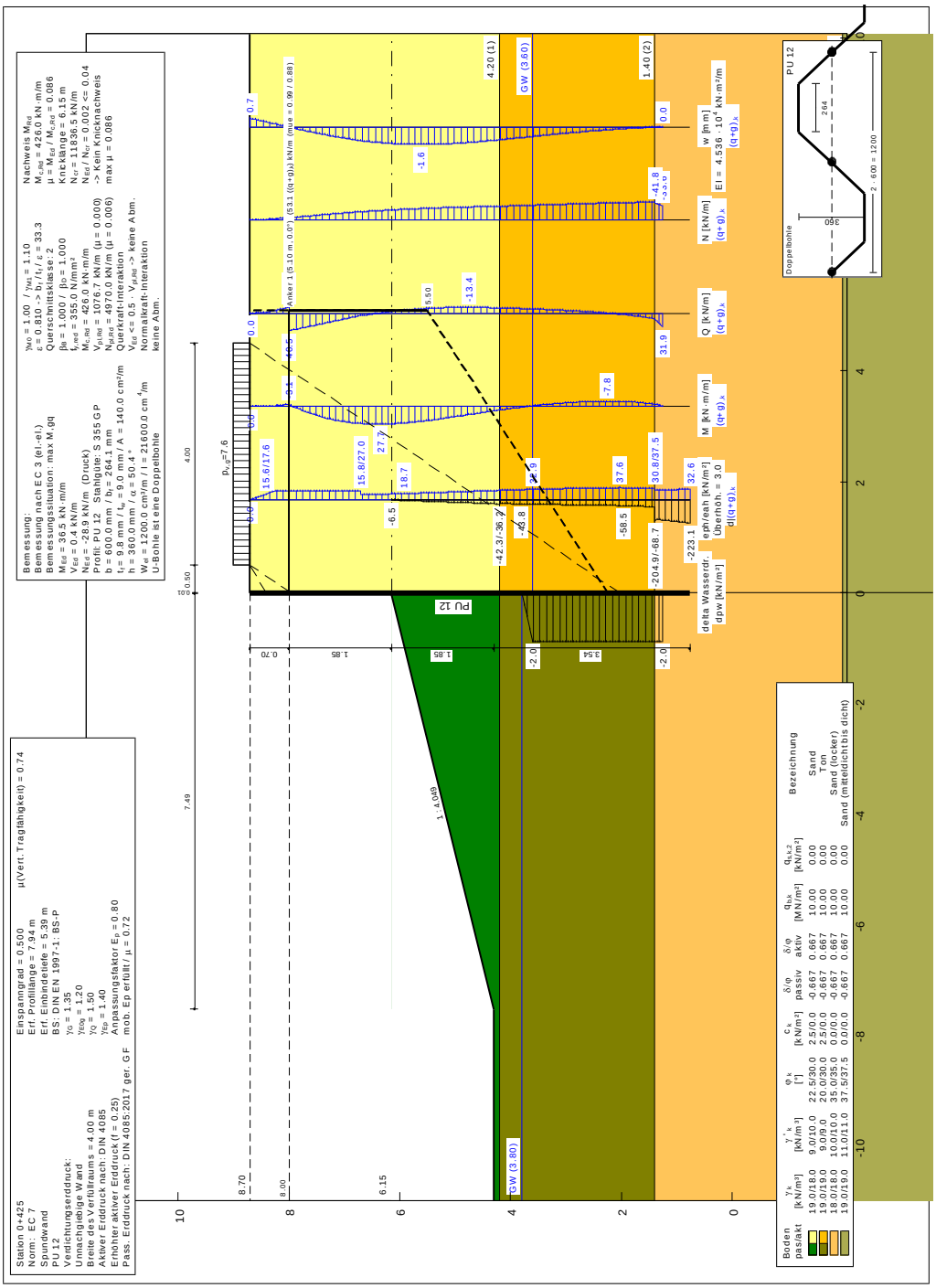
| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_G$ = | 1,20 | BS-T |
| $\gamma_{R,e}$ = | 1,10 | BS-T |
| $\gamma_{R,h}$ = | 1,30 | BS-T |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | -382,29 | kNm/m | ΣM (P) Einwirkungen |
| $M_{Rd}$ = | 1775,31 | kNm/m | ΣM (P) Widerstände |

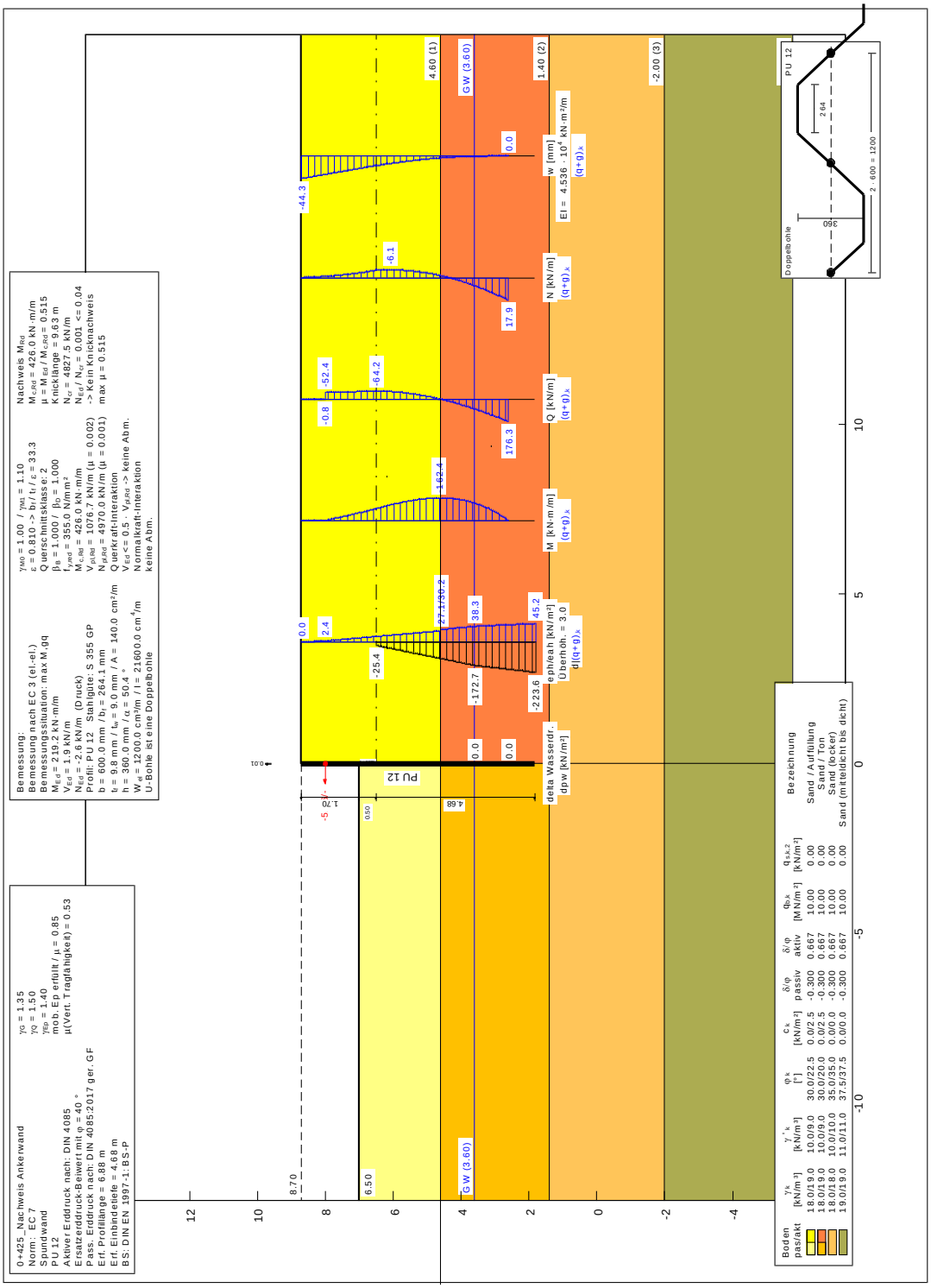
-382,29 kNm/m < 1775,31 kNm/m ( -0,22 )

## 4.5.3. Bemessungsschnitt RQ 2 (Stat. 0+425)

BS-P, Spundwand mit Ankerwand (Nachweis der tiefen Gleitfuge):



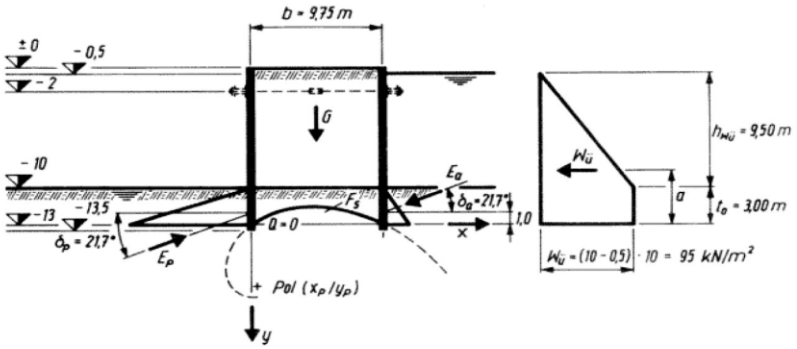
## BS-P, Ersatzsystem (Nachweis Ankerwand):



## BS-P, Nachweis gegen Kippen und Gleiten (GEO-2)

**Berechnung der Standsicherheit**

Prinzipabbildung




Pol der Spirale (maßg. Fein-Mittelsande mit φ' =35°)

| | | |
|---|---|---|
| $\alpha_0$ = | 27,5 | ° |
| $\upsilon$ = | 63,22 | ° |
| $\beta$ = | 0,72 | ° |
| $\varepsilon$ = | 0,0065 | - |
| $\chi$ = | 0,0938 | - |
| $x_p$ = | 0,03 | m |
| $y_p$ = | 2,59 | m |
| $F_s$ = | 2,35 | m² |

Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Widerstände

| | | | |
|---|---|---|---|
| $G_k$ = | 573,05 | kN/m | Eigengewicht |
| e = | 2,47 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,1}$ = | 65,55 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (oberhalb GW) |
| e = | 7,04 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,2}$ = | -56,81 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (von GW bis BGS) |
| e = | 6,55 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,3}$ = | 138,09 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil unterhalb BGS |
| e = | 4,99 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{av,k}$ = | 53,44 | kN/m | aktiver Erddruck vertikal |
| e = | 4,97 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ph,k}$ = | 433,03 | kN/m | passiver Erdwiderstand horizontal |
| e = | 4,36 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{pv,k}$ = | 157,61 | kN/m | passiver Erdwiderstand vertikal |
| e = | 0,03 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,1}$ = | 0,20 | kN/m | Wasserüberdruck, dreiecksförmiger Anteil |
| e = | 5,47 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,2}$ = | -5,90 | kN/m | Wasserüberdruck, konstanter Anteil |
| e = | 4,06 | m | auf Pol bezogen |

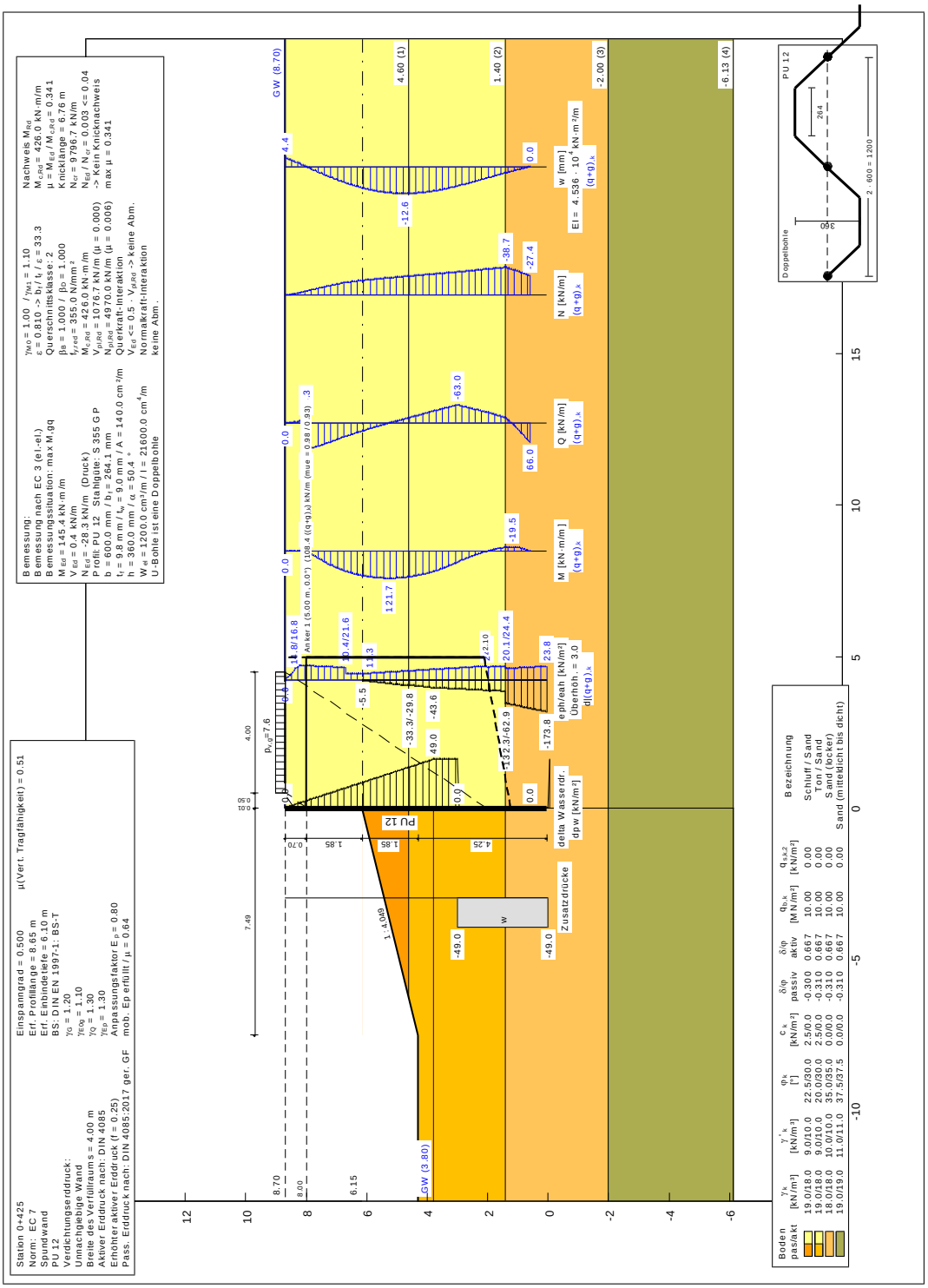
Standsicherheitsnachweis

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_G$ = | 1,35 | BS-P |
| $\gamma_{R,e}$ = | 1,40 | BS-P |
| $\gamma_{R,h}$ = | 1,10 | BS-P |

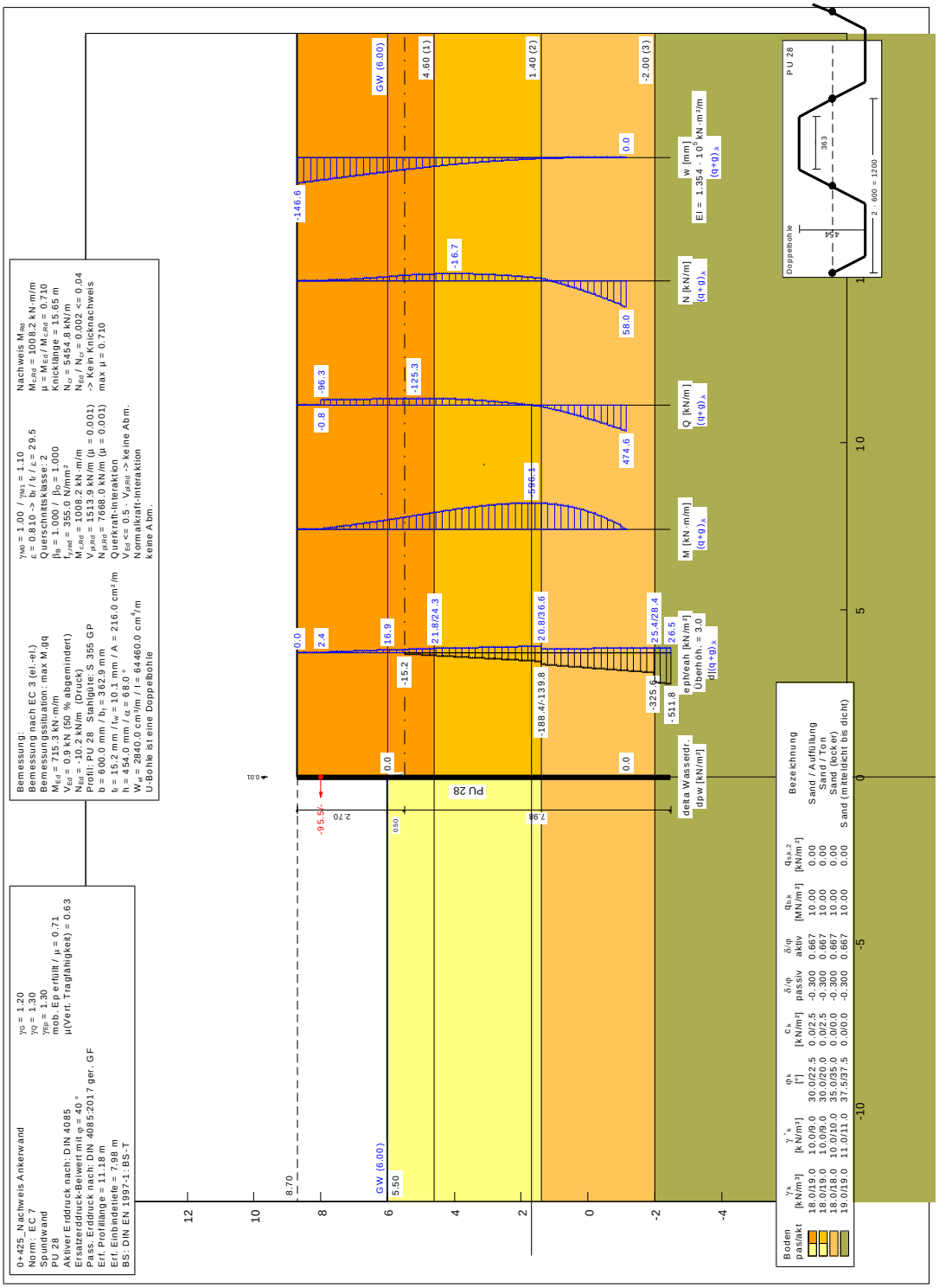
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | 661,43 | kNm/m | ΣM (P) Einwirkungen |
| $M_{Rd}$ = | 2637,52 | kNm/m | ΣM (P) Widerstände |

661,43 kNm/m < 2637,52 kNm/m ( 0,25 )

## BS-T, Spundwand mit Ankerwand (Nachweis der tiefen Gleitfuge):



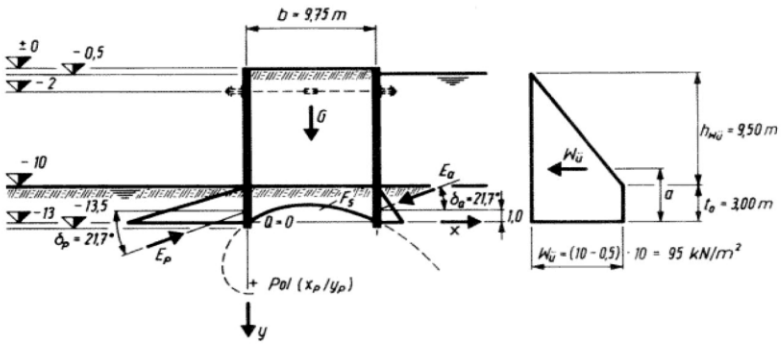
## BS-T, Ersatzsystem (Nachweis Ankerwand):



# BS-T, Nachweis gegen Kippen und Gleiten (GEO-2)

**Berechnung der Standsicherheit**

Prinzipabbildung




Pol der Spirale (maßg. Fein-Mittelsande mit φ' =30°)

| | | |
|---|---|---|
| $\alpha_0$ = | 27,5 | ° |
| $\upsilon$ = | 63,22 | ° |
| $\beta$ = | 0,72 | ° |
| $\varepsilon$ = | 0,0065 | - |
| $\chi$ = | 0,0938 | - |
| $x_p$ = | 0,03 | m |
| $y_p$ = | 2,59 | m |
| $F_s$ = | 2,35 | m² |

Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Widerstände

| | | | |
|---|---|---|---|
| $G_k$ = | 348,55 | kN/m | Eigengewicht |
| e = | 2,47 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,1}$ = | 0,00 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (oberhalb GW) |
| e = | 10,03 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,2}$ = | 8,96 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (von GW bis BGS) |
| e = | 8,34 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,3}$ = | 68,53 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil unterhalb BGS |
| e = | 4,64 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{av,k}$ = | 28,21 | kN/m | aktiver Erddruck vertikal |
| e = | 4,97 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ph,k}$ = | 368,85 | kN/m | passiver Erdwiderstand horizontal |
| e = | 4,22 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{pv,k}$ = | 134,25 | kN/m | passiver Erdwiderstand vertikal |
| e = | 0,03 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,1}$ = | 120,05 | kN/m | Wasserüberdruck, dreiecksförmiger Anteil |
| e = | 6,76 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,2}$ = | 124,46 | kN/m | Wasserüberdruck, konstanter Anteil |
| e = | 3,86 | m | auf Pol bezogen |

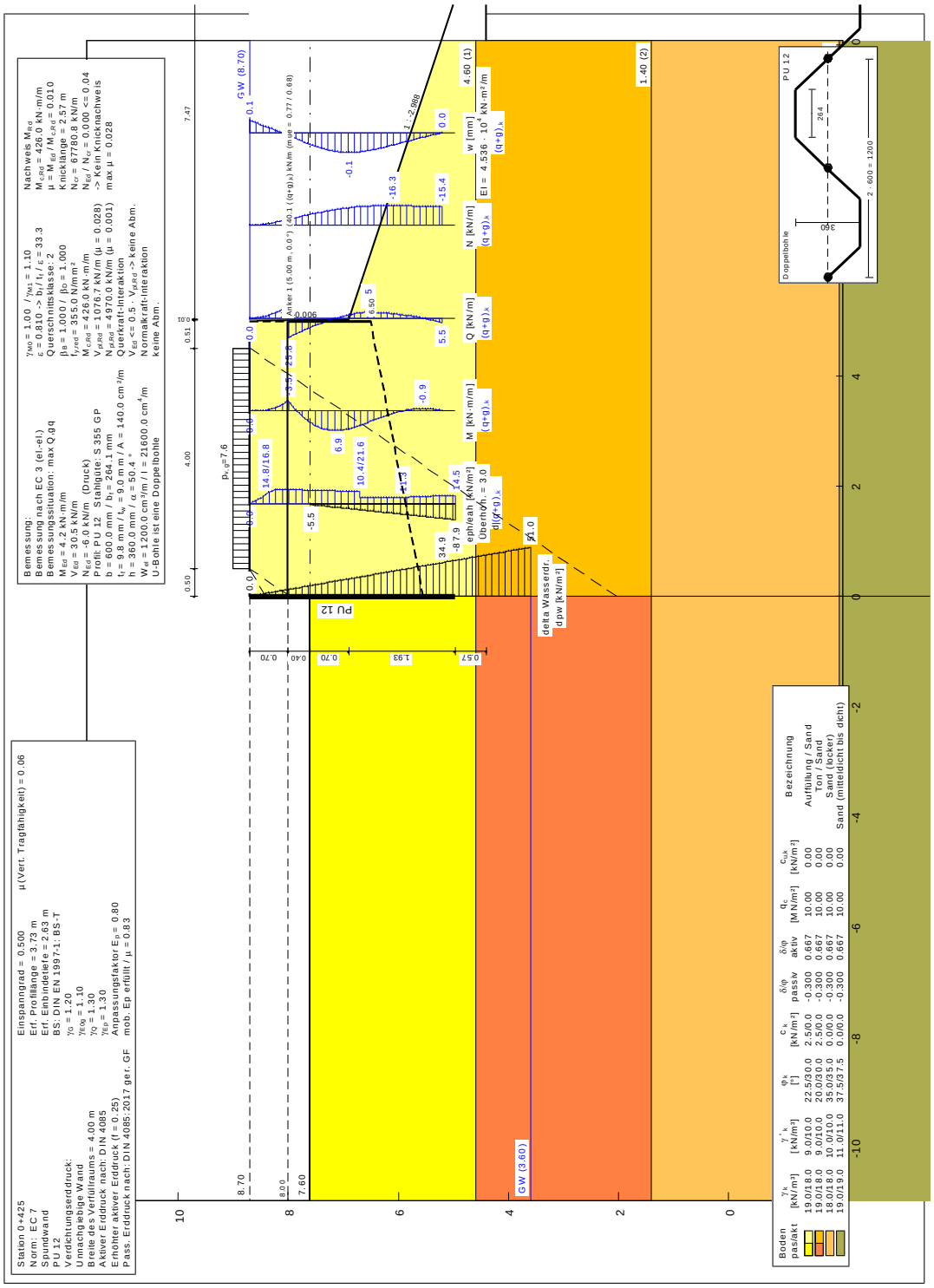
Standsicherheitsnachweis

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_G$ = | 1,20 | BS-T |
| $\gamma_{R,e}$ = | 1,10 | BS-T |
| $\gamma_{R,h}$ = | 1,30 | BS-T |

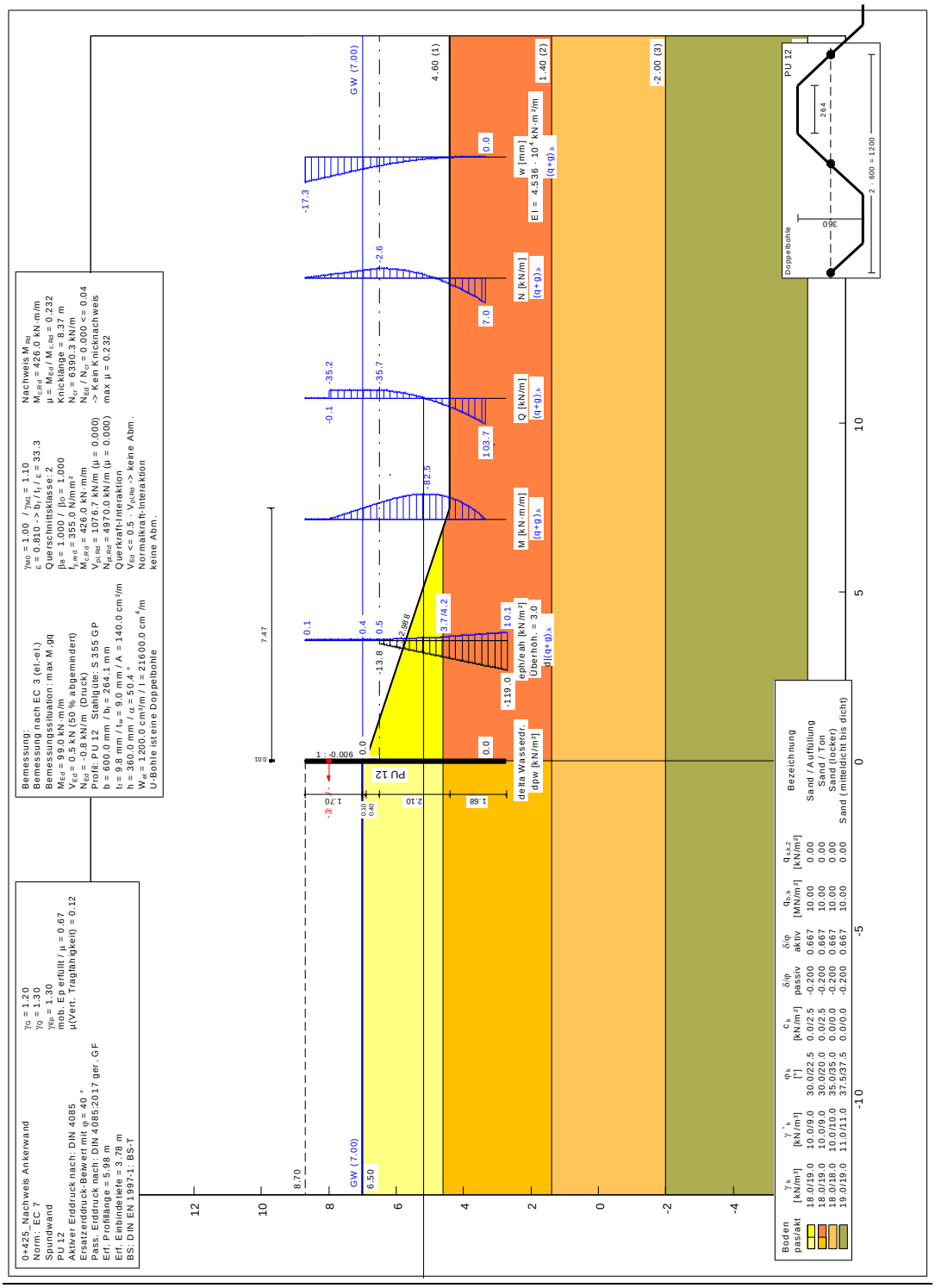
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | 1852,67 | kNm/m | ΣM (P) Einwirkungen |
| $M_{Rd}$ = | 2081,54 | kNm/m | ΣM (P) Widerstände |

1852,67 kNm/m < 2081,54 kNm/m ( 0,89 )

## BS-T HW, Spundwand mit Ankerwand (Nachweis der tiefen Gleitfuge):



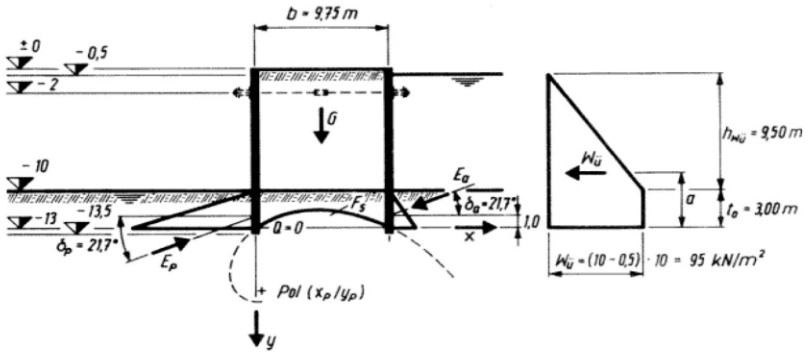
## BS-T HW, Ersatzsystem (Nachweis Ankerwand):



## BS-T, HW, Nachweis gegen Kippen und Gleiten (GEO-2)

**Berechnung der Standsicherheit**

Prinzipabbildung




Pol der Spirale (maßg. Fein-Mittelsande mit φ' =22,5°)

| | | |
|---|---|---|
| $\alpha_0$ = | 33,7 | ° |
| $\upsilon$ = | 74,31 | ° |
| $\beta$ = | 18,06 | ° |
| $\varepsilon$ = | 0,1789 | - |
| $\chi$ = | 0,1133 | - |
| $x_p$ = | 0,89 | m |
| $y_p$ = | 2,74 | m |
| $F_s$ = | 2,83 | m² |

Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Widerstände

| | | | |
|---|---|---|---|
| $G_k$ = | 131,68 | kN/m | Eigengewicht |
| e = | 1,61 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,1}$ = | 0,00 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (oberhalb GW) |
| e = | 5,94 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,2}$ = | 0,00 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (von GW bis BGS) |
| e = | 5,94 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,3}$ = | 14,34 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil unterhalb BGS |
| e = | 3,81 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{av,k}$ = | 5,22 | kN/m | aktiver Erddruck vertikal |
| e = | 4,11 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ph,k}$ = | 254,40 | kN/m | passiver Erdwiderstand horizontal |
| e = | 3,81 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{pv,k}$ = | 92,59 | kN/m | passiver Erdwiderstand vertikal |
| e = | 0,89 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,1}$ = | 0,00 | kN/m | Wasserüberdruck, dreiecksförmiger Anteil |
| e = | 5,94 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,2}$ = | 0,00 | kN/m | Wasserüberdruck, konstanter Anteil |
| e = | 4,34 | m | auf Pol bezogen |

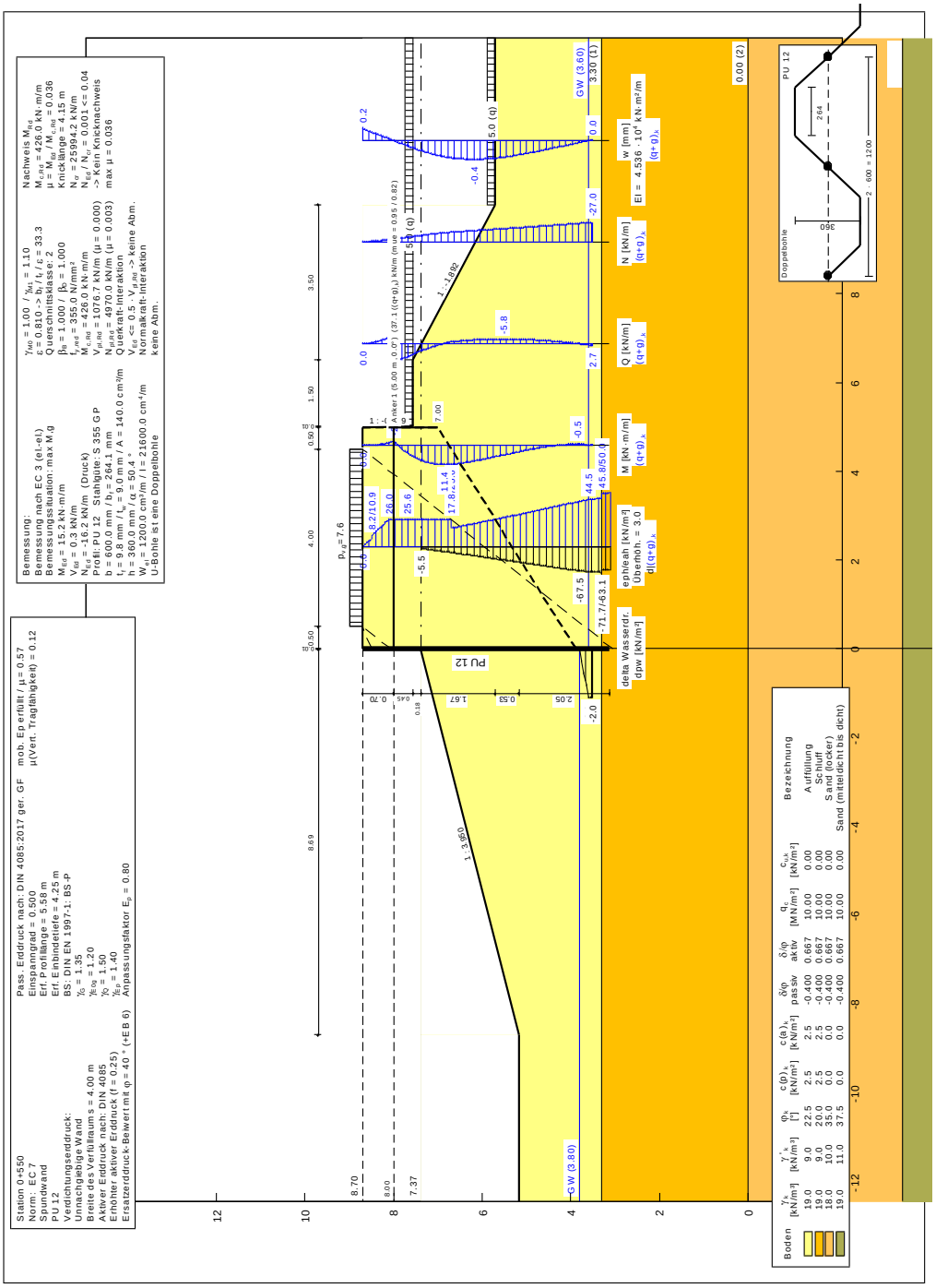
Standsicherheitsnachweis

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_G$ = | 1,20 | BS-T |
| $\gamma_{R,e}$ = | 1,10 | BS-T |
| $\gamma_{R,h}$ = | 1,30 | BS-T |
| $M_{Ed}$ = | 39,84 | kNm/m ΣM (P) Einwirkungen |
| $M_{Rd}$ = | 1118,27 | kNm/m ΣM (P) Widerstände |

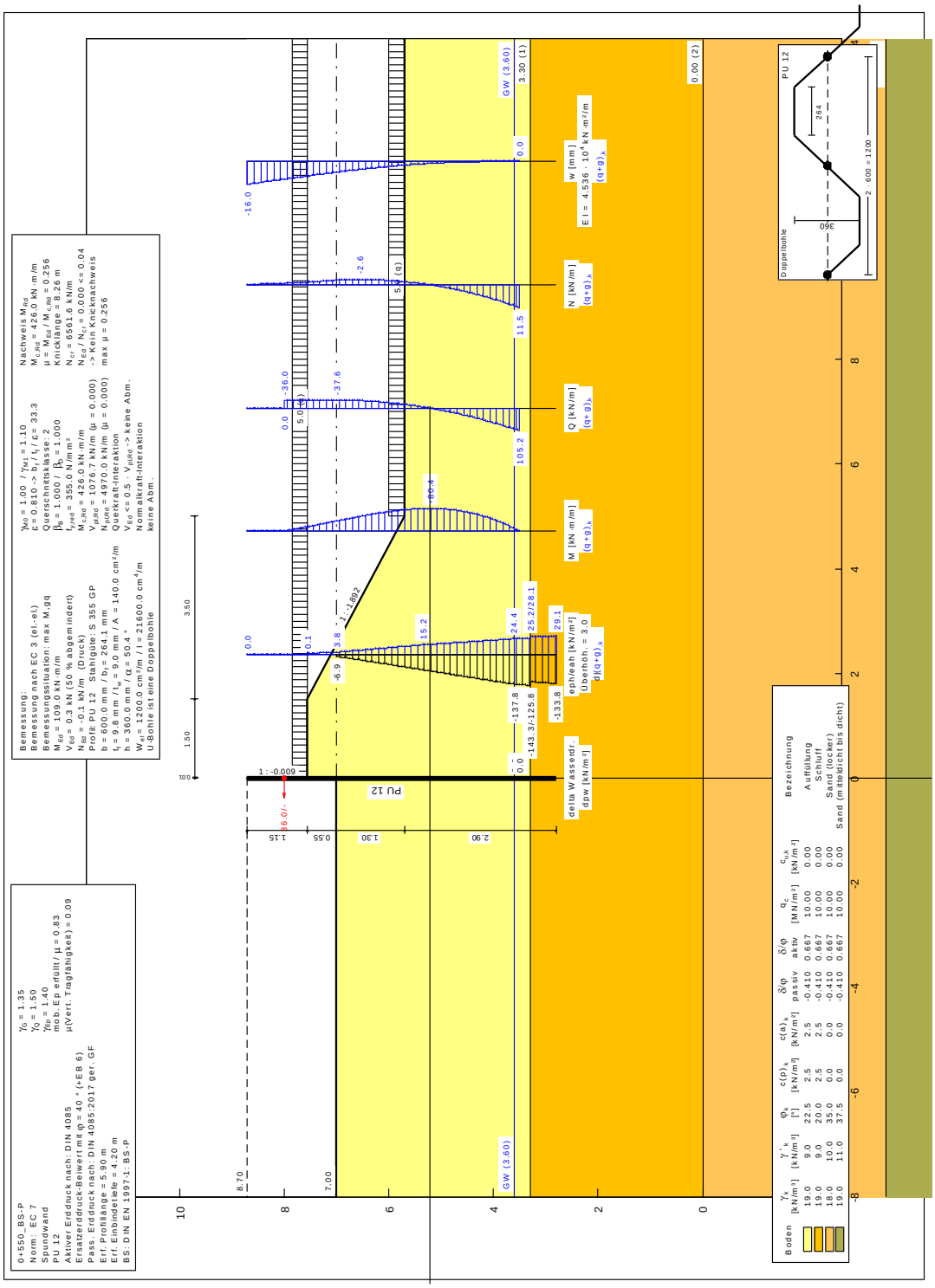
39,84 kNm/m < 1118,27 kNm/m ( 0,04 ) Nachweis erfüllt

## 4.5.4. Bemessungsschnitt RQ 3 (Stat. 0+550)

BS-P, Spundwand mit Ankerwand (Nachweis der tiefen Gleitfuge):



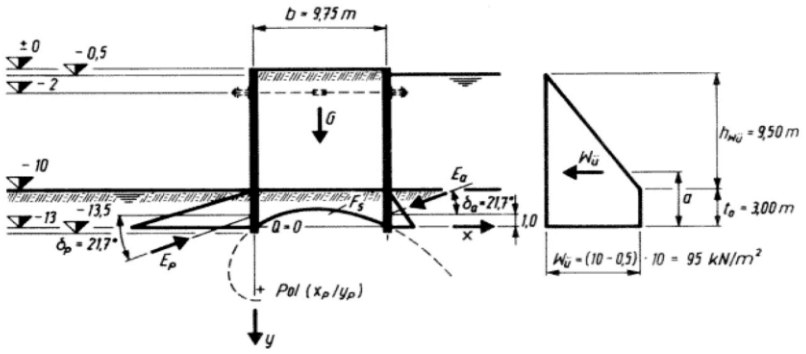
## BS-P, Ersatzsystem (Nachweis Ankerwand):



## BS-P, Nachweis gegen Kippen und Gleiten (GEO-2)

**Berechnung der Standsicherheit**

Prinzipabbildung




Pol der Spirale (maßg. Fein-Mittelsande mit φ' =20°)

| | | |
|---|---|---|
| $\alpha_0$ = | 35 | ° |
| $\upsilon$ = | 76,33 | ° |
| $\beta$ = | 21,33 | ° |
| $\varepsilon$ = | 0,2147 | - |
| $\chi$ = | 0,1169 | - |
| $x_p$ = | 1,07 | m |
| $y_p$ = | 2,75 | m |
| $F_s$ = | 2,92 | m² |

Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Widerstände

| | | | |
|---|---|---|---|
| $G_k$ = | 449,20 | kN/m | Eigengewicht |
| e = | 1,43 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,1}$ = | 93,90 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (oberhalb GW) |
| e = | 4,25 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,2}$ = | -116,65 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (von GW bis BGS) |
| e = | 4,34 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,3}$ = | 109,36 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil unterhalb BGS |
| e = | 4,45 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{av,k}$ = | 23,20 | kN/m | aktiver Erddruck vertikal |
| e = | 3,93 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ph,k}$ = | 104,28 | kN/m | passiver Erdwiderstand horizontal |
| e = | 3,97 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{pv,k}$ = | 27,94 | kN/m | passiver Erdwiderstand vertikal |
| e = | 1,07 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,1}$ = | 0,20 | kN/m | Wasserüberdruck, dreiecksförmiger Anteil |
| e = | 2,68 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,2}$ = | 0,00 | kN/m | Wasserüberdruck, konstanter Anteil |
| e = | 2,75 | m | auf Pol bezogen |

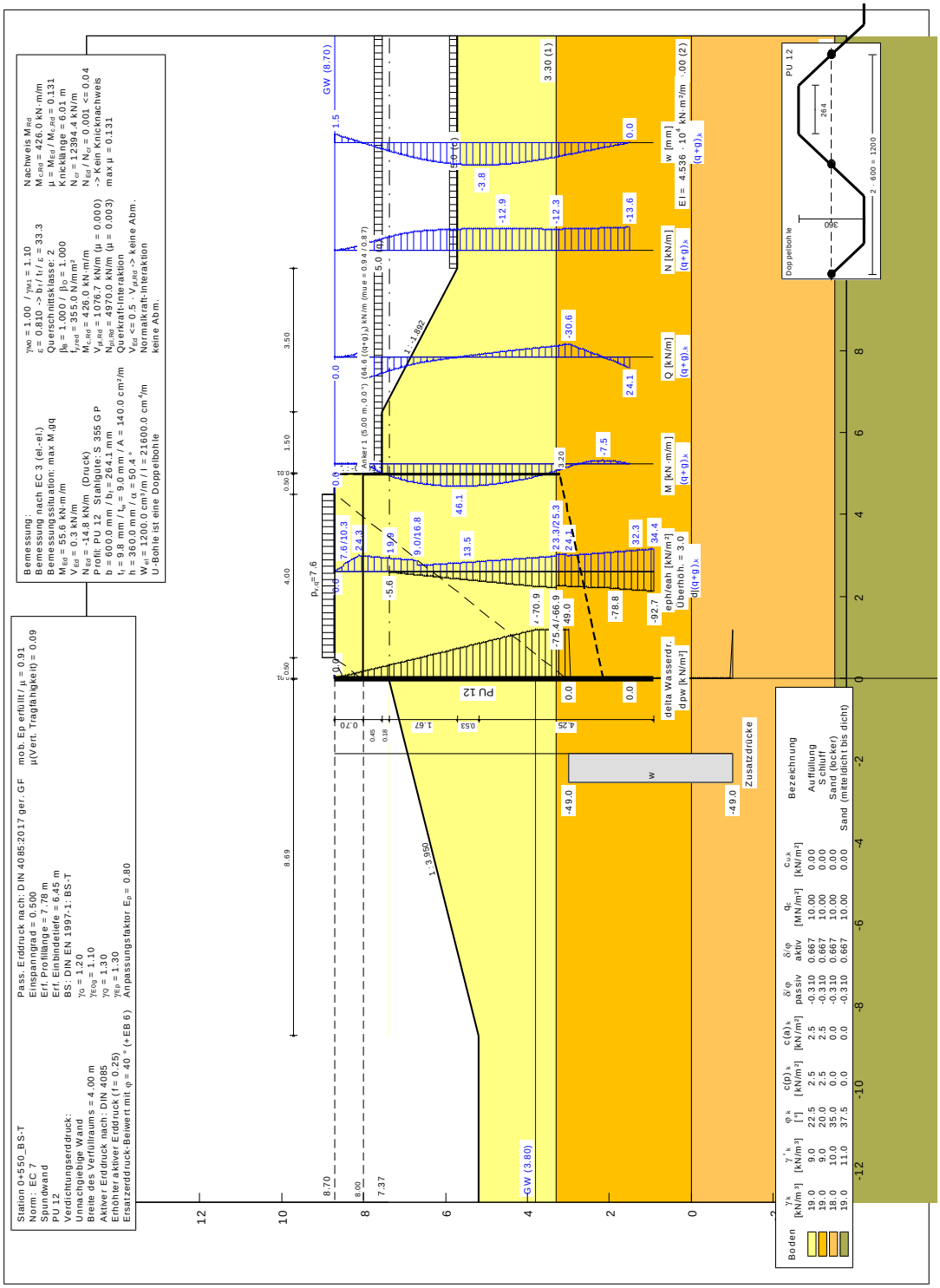
Standsicherheitsnachweis

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_G$ = | 1,35 | BS-P |
| $\gamma_{R,e}$ = | 1,40 | BS-P |
| $\gamma_{R,h}$ = | 1,10 | BS-P |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | 390,25 | kNm/m | ΣM (P) Einwirkungen |
| $M_{Rd}$ = | 899,61 | kNm/m | ΣM (P) Widerstände |

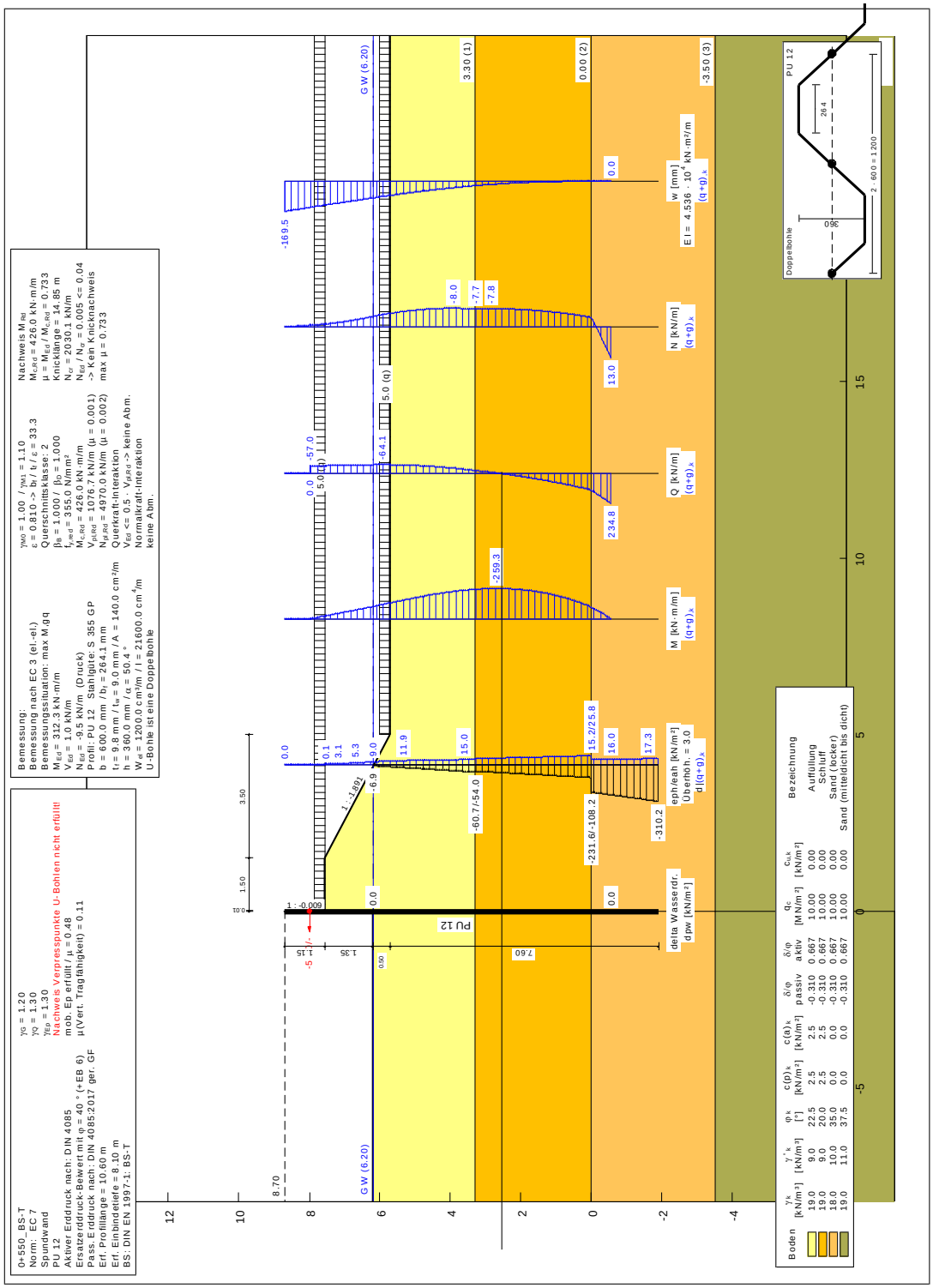
390,25 kNm/m < 899,61 kNm/m ( 0,43 )

## BS-T, Spundwand mit Ankerwand (Nachweis der tiefen Gleitfuge):




| Boden | γk [kN/m³] | γ'k [kN/m³] | φk [°] | c(d)k [kN/m²] | c(f)k [kN/m²] | δ/φ pas sv | δ/φ aktiv | σ0 [MN/m²] | c0k [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 19.0 | 9.0 | 22.5 | 2.5 | 2.5 | -0.310 | 0.667 | 10.00 | 0.00 |
| 2 | 19.0 | 9.0 | 22.5 | 2.5 | 2.5 | -0.310 | 0.667 | 10.00 | 0.00 |
| 3 | 18.0 | 10.0 | 35.0 | 0.0 | 0.0 | -0.310 | 0.667 | 10.00 | 0.00 |
| 4 | 19.0 | 11.0 | 37.5 | 0.0 | 0.0 | -0.310 | 0.667 | 10.00 | 0.00 |

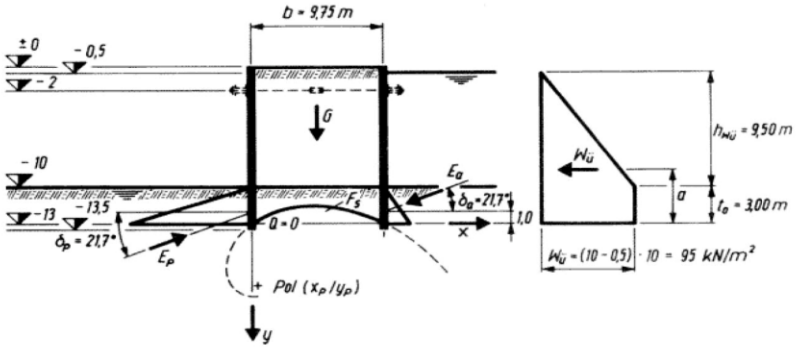
## BS-T, Ersatzsystem (Nachweis Ankerwand):



# BS-T, Nachweis gegen Kippen und Gleiten (GEO-2)

**Berechnung der Standsicherheit**

Prinzipabbildung




Pol der Spirale (maßg. Fein-Mittelsande mit φ' =20°)

| | | |
|---|---|---|
| $\alpha_0$ = | 35 | ° |
| $\upsilon$ = | 76,33 | ° |
| $\beta$ = | 21,33 | ° |
| $\varepsilon$ = | 0,2147 | - |
| $\chi$ = | 0,1169 | - |
| $x_p$ = | 1,07 | m |
| $y_p$ = | 2,75 | m |
| $F_s$ = | 2,92 | m² |

Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Widerstände

| | | | |
|---|---|---|---|
| $G_k$ = | 328,20 | kN/m | Eigengewicht |
| e = | 1,43 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,1}$ = | 4,77 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (oberhalb GW) |
| e = | 8,58 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,2}$ = | 0,76 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (von GW bis BGS) |
| e = | 8,15 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,3}$ = | 95,28 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil unterhalb BGS |
| e = | 4,97 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{av,k}$ = | 27,01 | kN/m | aktiver Erddruck vertikal |
| e = | 3,93 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ph,k}$ = | 223,66 | kN/m | passiver Erdwiderstand horizontal |
| e = | 4,54 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{pv,k}$ = | 59,93 | kN/m | passiver Erdwiderstand vertikal |
| e = | 1,07 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,1}$ = | 70,31 | kN/m | Wasserüberdruck, dreiecksförmiger Anteil |
| e = | 5,70 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,2}$ = | 63,75 | kN/m | Wasserüberdruck, konstanter Anteil |
| e = | 3,60 | m | auf Pol bezogen |

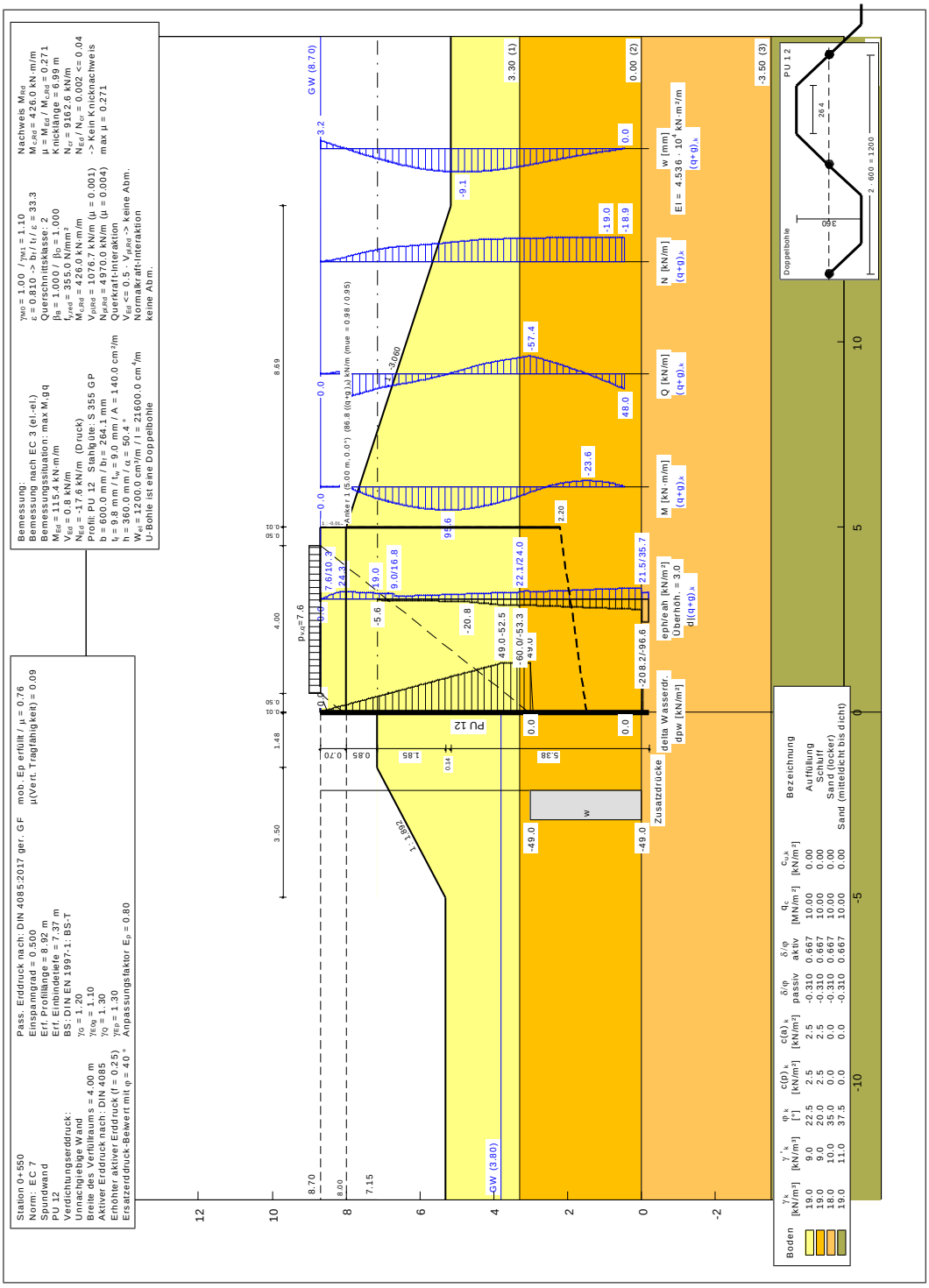
Standsicherheitsnachweis

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_G$ = | 1,20 | BS-T |
| $\gamma_{R,e}$ = | 1,10 | BS-T |
| $\gamma_{R,h}$ = | 1,30 | BS-T |

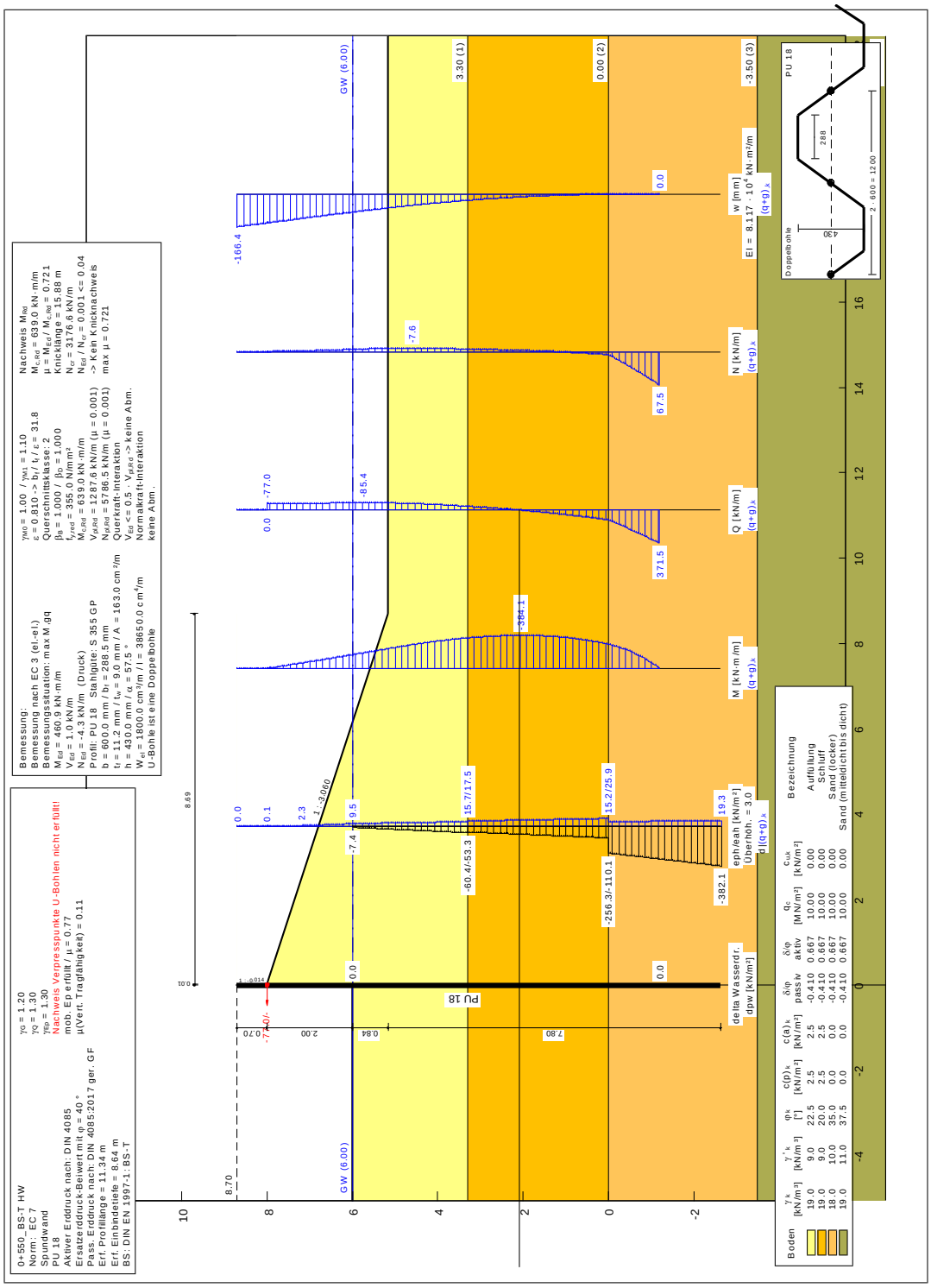
| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | 1253,62 | kNm/m | ΣM (P) Einwirkungen |
| $M_{Rd}$ = | 1340,87 | kNm/m | ΣM (P) Widerstände |

1253,62 kNm/m < 1340,87 kNm/m ( 0,93 )

## BS-T HW, Spundwand mit Ankerwand (Nachweis der tiefen Gleitfuge):



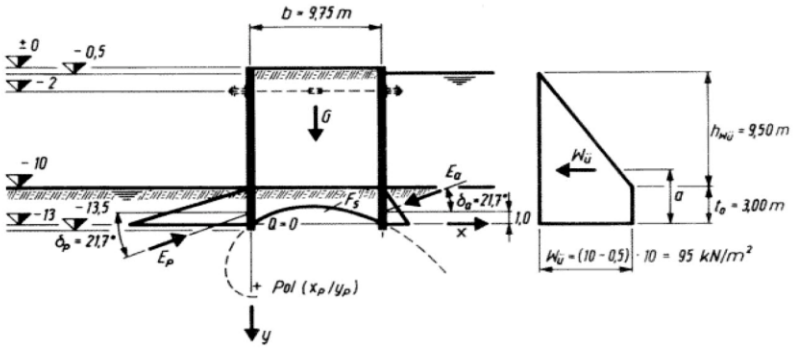
## BS-T HW, Ersatzsystem (Nachweis Ankerwand):



# BS-T HW, Nachweis gegen Kippen und Gleiten (GEO-2)

**Berechnung der Standsicherheit**

Prinzipabbildung




Pol der Spirale (maßg. Fein-Mittelsande mit φ' =35°)

| | | |
|---|---|---|
| $\alpha_0$ = | 33,75 | ° |
| $\upsilon$ = | 74,31 | ° |
| $\beta$ = | 18,06 | ° |
| $\varepsilon$ = | 0,1789 | - |
| $\chi$ = | 0,1133 | - |
| $x_p$ = | 0,89 | m |
| $y_p$ = | 2,74 | m |
| $F_s$ = | 2,83 | m² |

Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Widerstände

| | | | |
|---|---|---|---|
| $G_k$ = | 383,21 | kN/m | Eigengewicht |
| e = | 1,61 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,1}$ = | 9,82 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (oberhalb GW) |
| e = | 8,89 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,2}$ = | 0,01 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil Auffüllung (von GW bis BGS) |
| e = | 8,34 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ah,k,3}$ = | 120,32 | kN/m | aktiver Erddruck horizontal, Anteil unterhalb BGS |
| e = | 5,13 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{av,k}$ = | 34,87 | kN/m | aktiver Erddruck vertikal |
| e = | 4,11 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{ph,k}$ = | 210,27 | kN/m | passiver Erdwiderstand horizontal |
| e = | 4,61 | m | auf Pol bezogen |
| $E_{pv,k}$ = | 49,83 | kN/m | passiver Erdwiderstand vertikal |
| e = | 0,89 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,1}$ = | 18,03 | kN/m | Wasserüberdruck, dreiecksförmiger Anteil |
| e = | 9,61 | m | auf Pol bezogen |
| vorh $W_{ü,k,2}$ = | -142,43 | kN/m | Wasserüberdruck, konstanter Anteil |
| e = | 6,49 | m | auf Pol bezogen |

Standsicherheitsnachweis

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_G$ = | 1,20 | BS-T |
| $\gamma_{R,e}$ = | 1,10 | BS-T |
| $\gamma_{R,h}$ = | 1,30 | BS-T |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $M_{Ed}$ = | -228,46 | kNm/m | ΣM (P) Einwirkungen |
| $M_{Rd}$ = | 1394,98 | kNm/m | ΣM (P) Widerstände |

-228,46 kNm/m < 1394,98 kNm/m ( -0,16 )

## 4.6. Zusammenfassung der Ergebnisse – Variante Kastenfangedamm (V0)

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vorangegangenen Berechnungen aufgezeigt.

Die äußere Standsicherheit des Kastenfangedamms des RQ 2 in der BS-T ist ohne Bodenaustausch nicht gegeben.

Es wird empfohlen, dass die Spundwände konstruktiv mind. 3 m in die tragfähigen Sande einbinden.

**Tabelle 4 Zusammenfassung der Ergebnisse - Variante Kastenfangedamm (V0)**

| BS | Erf. Länge SPW [m] | Erf. Länge AW [m] | max. Ankerkraft ($A_d$) [kN/m] | η SPW [-] | η AW [-] | Standsicherheit GEO-2 η [-] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *RQ 1 (Stat. 0+100)* | | | | | | |
| BS-P | 4,13 | 6,47 | 50,87 | PU 12 0,032 | PU 12 0,354 | 0,11 |
| BS-T | 6,85 | **9,12** | 80,32 | PU 12 0,106 | **PU 12 0,736** | **0,46** |
| BS-T, HW | **9,82*** | 8,69 | **110,64** | **PU 18 0,670** | PU 12 0,194 | 0,22 |
| *RQ 2 (Stat. 0+425)* | | | | | | |
| BS-P | 7,94 | 6,88 | 69,63 | PU 12 0,086 | PU 12 0,515 | 0,25 |
| BS-T | **8,65** | **11,18** | **128,85** | **PU 12 0,341** | **PU 28 0,710** | **0,89** |
| BS-T, HW | 5,98* | 2,63 | 47,38 | PU 12 0,232 | PU 12 0,028 | 0,04 |
| *RQ 3 (Stat. 0+550)* | | | | | | |
| BS-P | 5,58 | 5,90 | 48,64 | PU 12 0,036 | PU 12 0,256 | 0,43 |
| BS-T | 7,78 | **10,60** | 77,48 | PU 12 0,131 | **PU 12 0,733** | **0,93** |
| BS-T, HW | **11,34*** | 8,92 | **104,24** | **PU 18 0,721** | PU 12 0,271 | 0,16 |

* erf. Länge aus Ersatzsystem

Gewählt:

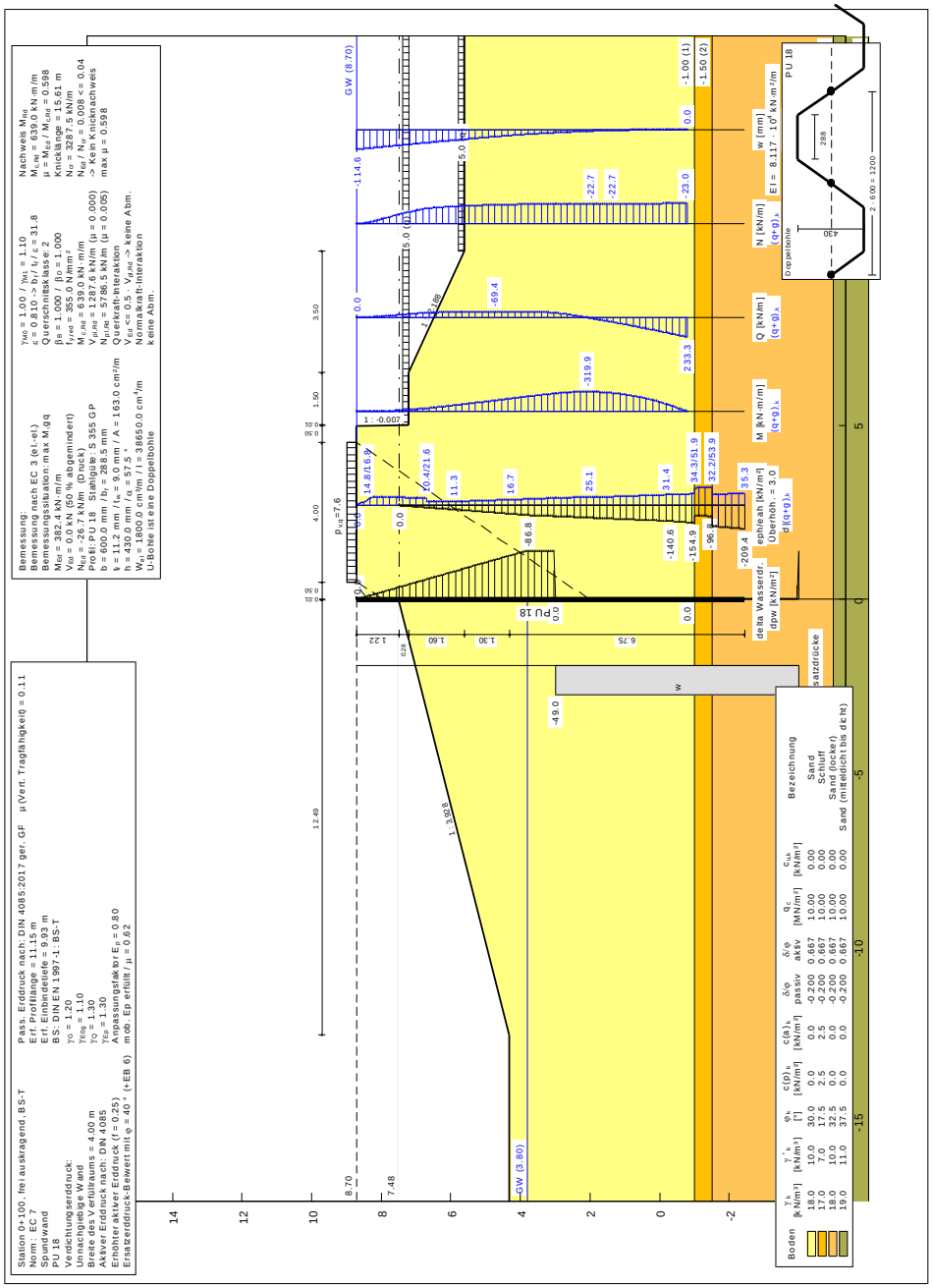
| **BS** | **Erforderliche Absetztiefe in den Sand / UK SPW** | **Profil und Länge SPW** | **Profil und Länge AW** |
|---|---|---|---|
| 0+100 | Gem. Bodenprofil Sand ab OK | PU 18<br>10,00 m | PU 12<br>9,00 m |
| 0+425 | -1,6 m NHN | PU 12<br>10,50 m | PU 28<br>11,50m |
| 0+500 | -3,0 m NHN | PU 18<br>12,00 m | PU 12<br>12,00 m |

# 5. Nachweis weiterer Varianten

## 5.1. Bemessungsschnitt RQ 1 (Stat. 0+100)

Variante: Spundwand mit landseitiger, rückverankerter Winkelstützwand (V1)

BS-T, HW – Berechnung Spundwand wasserseitig



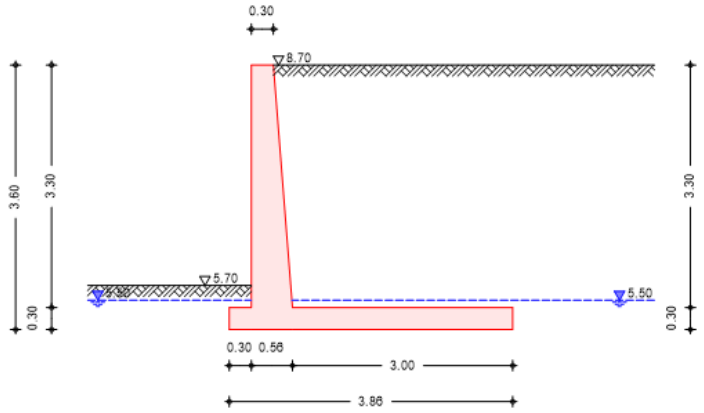
## Berechnung Winkelstützwand landseitig

Die landseitige Böschung wurde im System aufgrund des Grundbruchnachweises auf der sicheren Seite vernachlässigt. Für den Nachweis gegen Grundbruch ist eine Entwässerung zwischen Spundwand und Winkelstützwand erforderlich. Somit wird ein Wasserstand von +5,60 m NHN angenommen.

**Pos. 0+100** **Winkelstützwand**

**System**

M 1:70




Geometrie

| Wandschenkel | h[m] | $d_o$[m] | $\alpha_{luft}$[°] | $\alpha_{erd}$[°] |
|---|---|---|---|---|
| | 3.30 | 0.30 | 0.00 | 4.50 |

| Sporne | | l[m] | $h_a$[m] | $h_e$[m] |
|---|---|---|---|---|
| | lufts. | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| | erds. | 3.00 | 0.30 | 0.30 |

Gelände

Geländeoberfläche lufts. geböscht / erds. eben

| | z [m] | $\beta_1$ [°] |
|---|---|---|
| luft | 3.00 | 0.00 |
| erd | 0.00 | 0.00 |

Baugrund

| Boden | h [m] | γ [kN/m³] | γ' [kN/m³] | ϕ [°] | $c_a$ [kN/m²] | $c_p$ [kN/m²] | $\delta_a$ [°] | $\delta_p$ [°] | $\delta_0$ [°] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 999.0 | 19.0 | 9.0 | 22.5 | 2.5 | 2.5 | 20.0 | 0.0 | 0.0 |

**Belastungen**

Eigengewicht

| EW | Anteil | G [kN/m] |
|---|---|---|
| Gk | Gesamtlast Wand | 64.41 |
| Gk | Sporn luftseitig | 2.25 |
| Gk | Sporn erdseitig | 22.50 |
| Gk | Wandschenkel | 35.46 |
| Gk | Bodenkeil erdseitig | 193.24 |
| Gk | Bodenkeil luftseitig | 1.41 |

Grundwasser

| EW | Art | $h_{Luft}$ [m] | $h_{Erd}$ [m] |
|---|---|---|---|
| Gk.H.S | ständiges Grundwasser | 3.20 | 3.20 |

Gleichlasten luftseitig

| Nr. | EW | q [kN/m²] |
|---|---|---|
| 1 | Qk.N | 5.00 |

Blocklasten

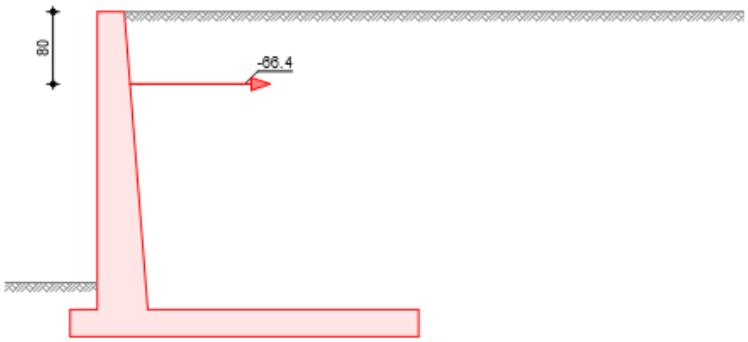
| Nr. | EW | $a_h$ [m] | s [m] | $l_e$ [m] | q [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Qk.N | 0.50 | 4.00 | 0.00 | 7.64 |

Linienlasten an Wand

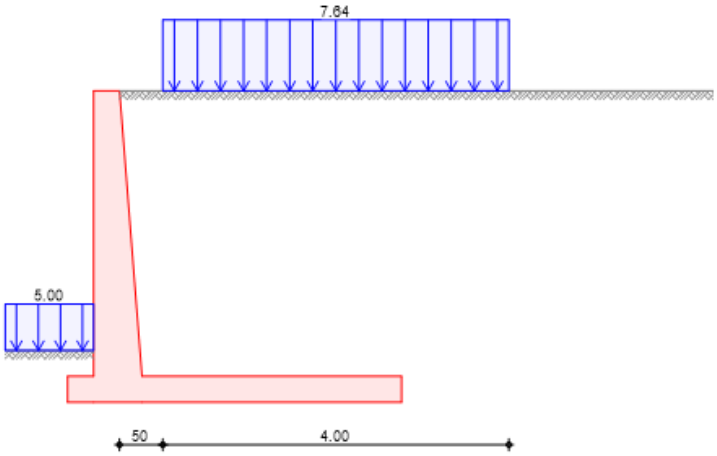
| Nr. | EW | $a_v$ [m] | $f_x$ [kN/m] | $f_z$ [kN/m] | $m_y$ [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Gk | 0.80 | -66.40 | 0.00 | 0.00 |

Grafik Belastungsgrafiken (einwirkungsbezogen)

Einwirkung Gk



Qk.N



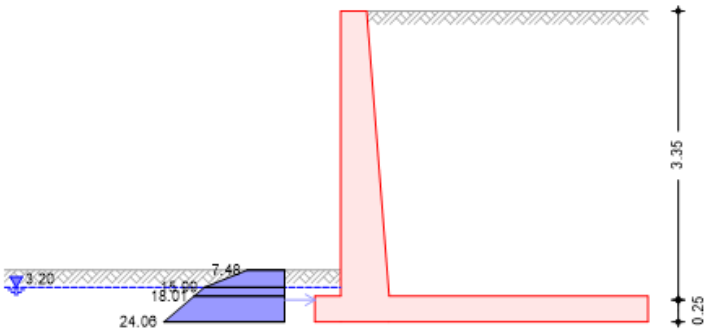

**Erddruck** Berechnung nach DIN 4085:2017-08

Standsicherheit
EW Gk.E.P

passiver Erddruck aus Bodeneigengewicht und Kohäsion

Grundwasser $z_{gw}$ = 3.20 m

M 1:70




Erddruckspannungen

| z [m] | $K_{pgh}$ [-] | $K_{pch}$ [-] | $e_{pgh}$ [kN/m²] | $e_{pch}$ [kN/m²] | $\Sigma e_{ph}$ [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|---|
| 3.00 | 2.240 | 2.993 | 0.00 | 7.48 | 7.48 |
| 3.20 | 2.240 | 2.993 | 8.51 | 7.48 | 15.99 |
| 3.30 | 2.240 | 2.993 | 10.53 | 7.48 | 18.01 |
| 3.60 | 2.240 | 2.993 | 16.57 | 7.48 | 24.06 |

Erdwiderstand

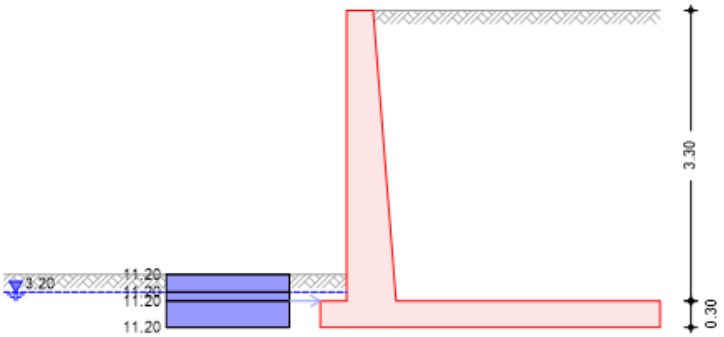
$E_{ph}$ = 10.36 kN/m
$E_{pv}$ = 0.00 kN/m
$z_S$ = 3.35 m

EW Qk.N

passiver Erddruck aus Gleichlast luftseitig

Lastordinate $p$ = 5.00 kN/m²

M 1:70




| z [m] | $K_{pph}$ [-] | $e_{pph}$ [kN/m²] |
|---|---|---|
| 3.00 | 2.240 | 11.20 |
| 3.20 | 2.240 | 11.20 |
| 3.30 | 2.240 | 11.20 |
| 3.60 | 2.240 | 11.20 |

Erdwiderstand

$E_{ph}$ = 6.72 kN/m

$E_{pv}$ = 0.00 kN/m

$z_S$ = 3.30 m

| Nachweis | Ansatz $E_p$ [%] |
|---|---|
| Kippen | 0.00 |
| Sohldruck | 0.00 |
| Gleiten | 0.00 |
| Grundbruch | 0.00 |

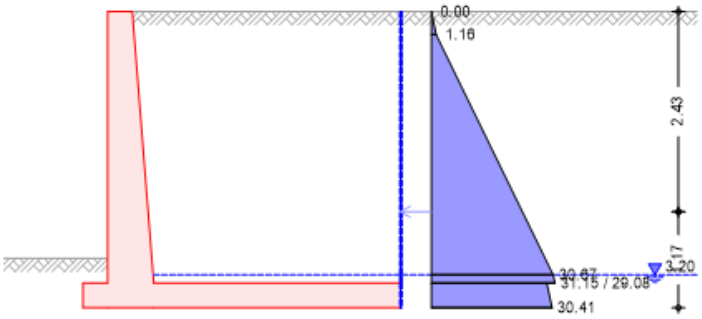
EW Gk.E.A

erhöhter aktiver Erddruck aus Bodeneigengewicht und Kohäsion

Anteil aktiver Erddruck $\mu$ = 0.50 -

Grundwasser $z_{gw}$ = 3.20 m

M 1:75



Erddruckspannungen

| z [m] | $K'_{agh}$ [-] | $K'_{ach}$ [-] | $e'_{agh}$ [kN/m²] | $e'_{ach}$ [kN/m²] | $\Sigma e'_{ah}$ [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.00 | 0.532 | 0.668 | 0.00 | -1.67 | -1.67 |
| 3.20 | 0.532 | 0.668 | 32.34 | -1.67 | 30.67 |
| 3.30 | 0.532 | 0.668 | 32.82 | -1.67 | 31.15 |
| 3.30 | 0.492 | 0.518 | 30.37 | -1.30 | 29.08 |
| 3.60 | 0.492 | 0.518 | 31.70 | -1.30 | 30.41 |

Resultierende Erddruckspannungen

| z [m] | $\Sigma e'_{ah}$ [kN/m²] | $K_{min}$ [-] | $e_{min}$ [kN/m²] | $\Sigma e'_{ah}$ [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|
| 0.00 | -1.67 | 0.217 | 0.00 | 0.00 |
| 0.28 | 1.16 | 0.217 | 1.16 | 1.16 |
| 3.20 | 30.67 | 0.217 | 13.22 | 30.67 |
| 3.30 | 31.15 | 0.217 | 13.42 | 31.15 |
| 3.30 | 29.08 | 0.167 | 10.30 | 29.08 |
| 3.60 | 30.41 | 0.167 | 10.75 | 30.41 |

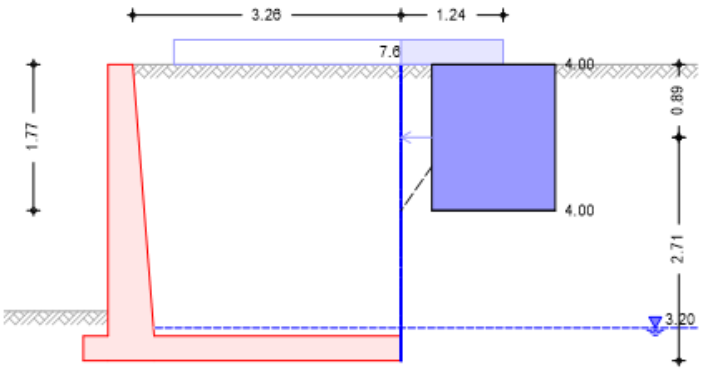
erhöhte aktive Erddruckkraft

$E'_{ah}$ = 58.64 kN/m
$E'_{av}$ = 1.57 kN/m
$z_S$ = 2.43 m

EW Qk.N

erhöhter aktiver Erddruck aus Blocklast (Nr. 1)
Lastordinate ve = 7.64 kN/m²

M 1:75




| ϕ [°] | ϑ [°] | zϕ [m] | zϑ [m] | $K_{aVh}$ [-] | $e_{aph,o}$ [kN/m²] | $e_{aph,u}$ [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 22.50 | 55.04 | 0.00 | 1.77 | 0.750 | 4.00 | 4.00 |

erhöhte aktive Erddruckkraft

$E'_{ah}$ = 7.10 kN/m
$E'_{av}$ = 0.20 kN/m
$z_S$ = 0.89 m

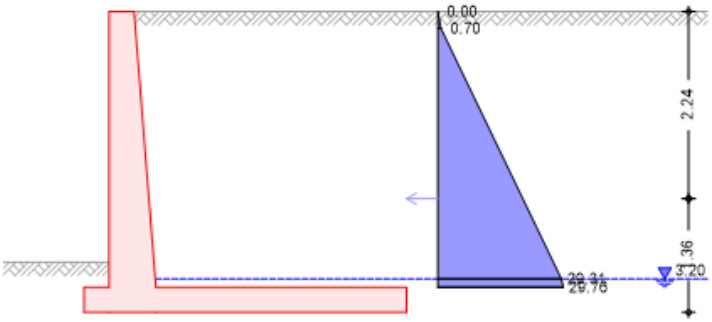
Bemessung

EW Gk.E.A

erhöhter aktiver Erddruck aus Bodeneigengewicht und Kohäsion

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anteil aktiver Erddruck | $\mu$ | = | 0.50 | - |
| Grundwasser | $z_{gw}$ | = | 3.20 | m |

M 1:75




Erddruckspannungen

| z [m] | K'agh [-] | K'ach [-] | e'agh [kN/m²] | e'ach [kN/m²] | Σe'ah [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.00 | 0.502 | 0.486 | 0.00 | -1.21 | -1.21 |
| 3.20 | 0.502 | 0.486 | 30.53 | -1.21 | 29.31 |
| 3.30 | 0.502 | 0.486 | 30.98 | -1.21 | 29.76 |

Resultierende Erddruckspannungen

| z [m] | Σe'ah [kN/m²] | Kmin [-] | emin [kN/m²] | Σe'ah [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|
| 0.00 | -1.21 | 0.184 | 0.00 | 0.00 |
| 0.20 | 0.70 | 0.184 | 0.70 | 0.70 |
| 3.20 | 29.31 | 0.184 | 11.19 | 29.31 |
| 3.30 | 29.76 | 0.184 | 11.36 | 29.76 |

erhöhte aktive Erddruckkraft

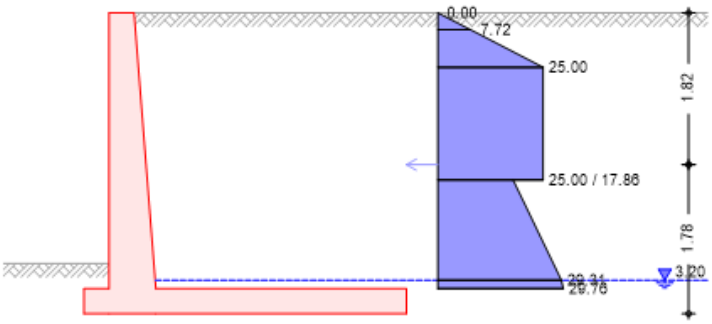
| | | | |
|---|---|---|---|
| $E'_{ah}$ | = | 48.03 | kN/m |
| $E'_{av}$ | = | 12.42 | kN/m |
| $z_S$ | = | 2.24 | m |

Verdichtungserddr.

Intensive Verdichtung

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Breite des zu verfüllenden Raums | B | = | 4.00 | m |
| Verdichtungserddruck | $e_{vh}$ | = | 25.00 | kN/m² |
| Tiefe nach Bild 13 | $z_p$ | = | 0.65 | m |
| Tiefe nach Bild 13 | $z_a$ | = | 2.00 | m |
| Grundwasser | $z_{gw}$ | = | 3.20 | m |

M 1:75



| z [m] | $e_{Verd.}$ [kN/m²] | $\Sigma e_h$ [kN/m²] |
|---|---|---|
| 0.00 | 0.0 | 0.0 |
| 0.20 | | 7.7 |
| 0.65 | 25.0 | 25.0 |
| 2.00 | 25.0 | 25.0 |
| 2.00 | 12.5 | 17.9 |
| 3.20 | | 29.3 |
| 3.30 | 12.5 | 29.8 |

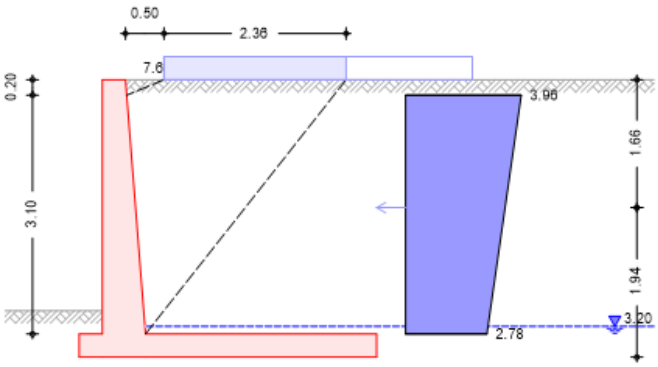
Verdichtungserddruckkraft

$E_{vh}$ = 73.12 kN/m
$E_{vv}$ = 18.15 kN/m
$z_S$ = 1.82 m

EW Qk.N

erhöhter aktiver Erddruck aus Blocklast (Nr. 1)
Lastordinate ve = 7.64 kN/m²

M 1:75




| ϕ [°] | ϑ [°] | zϕ [m] | zϑ [m] | $K_{aVh}$ [-] | $e_{aph,o}$ [kN/m²] | $e_{aph,u}$ [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 22.50 | 51.73 | 0.20 | 3.30 | 0.579 | 3.96 | 2.78 |

erhöhte aktive Erddruckkraft

$E'_{ah}$ = 10.45 kN/m
$E'_{av}$ = 2.70 kN/m
$z_S$ = 1.66 m

**Wasserdruck**

EW Gk.H.S

Wasserdruck bei ständigem Grundwasser
Grundwasser luftseitig $z_{gw}$ = 3.20 m
Grundwasser erdseitig $z_{gw}$ = 3.20 m

Wasserdruckspannungen

| Seite | z [m] | $z-z_{gw}$ [m] | w [kN/m²] |
|---|---|---|---|
| luftseitig | 3.20 | 0.00 | 0.00 |
| | 3.30 | 0.10 | 1.00 |
| | 3.60 | 0.40 | 4.00 |
| erdseitig | 3.20 | 0.00 | 0.00 |
| | 3.30 | 0.10 | 1.00 |

| Seite | z [m] | $z-z_{gw}$ [m] | w [kN/m²] |
|---|---|---|---|
| | 3.60 | 0.40 | 4.00 |

**Wasserdruckkräfte**

| | $W_{h,Luft}$ [kN/m] | $W_{h,Erd}$ [kN/m] | $W_{v,Sporn,Luft}$ [kN/m] | $W_{v,Sporn,Erd}$ [kN/m] | $W_{v,Sohle}$ [kN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Standsicherheit | 0.80 | 0.80 | 0.30 | 3.00 | 15.44 |
| Bemessung | 0.05 | 0.05 | - | - | - |

**Kombinationen**

Kombinationsbildung nach DIN EN 1997-1
Darstellung der maßgebenden Kombinationen

Standsicherheit

| | Ek | Σ (γ*ψ*EW) | | |
|---|---|---|---|---|
| GZ EQU, BS-T | 6 | 1.05*Gk | +0.90*Gk.E.A | +1.05*Gk.H.S |
| GZ GEO-2, BS-T | 18 | 1.20*Gk | +1.15*Gk.E.A | +1.20*Gk.H.S |
| GZ GEO-2, BS-T: Gleiten | 24 | 1.35*Gk | +1.00*Gk.E.A | +1.35*Gk.H.S |
| GZ SLS | 36 | 1.00*Gk | +1.00*Gk.E.A | +1.00*Gk.H.S |

Bemessung (GZT)

| | Ek | Σ (γ*ψ*EW) | | |
|---|---|---|---|---|
| GZ STR, BS-T | 37 | 1.35*Gk +1.35*Gk.H.S | +1.50*Qk.N | +1.35*Gk.E.A |
| | 40 | 1.35*Gk | +1.35*Gk.E.A | +1.00*Gk.H.S |
| | 42 | 1.35*Gk | +1.00*Gk.E.A | +1.35*Gk.H.S |
| | 44 | 1.35*Gk | +1.00*Gk.E.A | +1.00*Gk.H.S |
| | 48 | 1.00*Gk | +1.35*Gk.E.A | +1.00*Gk.H.S |
| | 53 | 1.35*Gk | +1.35*Gk.E.V | |

**Bem.-schnittgrößen**

Standsicherheit

GZ EQU: Nachweis der Kippsicherheit

| Ek | $H_{Ed}$ [kN/m] | $V_{Ed}$ [kN/m] | $M_{Ed}$ [kNm/m] |
|---|---|---|---|
| 6 | -16.94 | 260.69 | 155.94 |

GZ GEO-2: Nachweis der Grundbruchsicherheit

| Ek | $H_{Ed}$ [kN/m] | $V_{Ed}$ [kN/m] | $M_{Ed}$ [kNm/m] |
|---|---|---|---|
| 18 | -12.24 | 298.12 | 170.27 |

GZ GEO-2: Gleitnachweis Boden-Bauteil

| Ek | $H_{Ed}$ [kN/m] | $V_{Ed}$ [kN/m] | $M_{Ed}$ [kNm/m] |
|---|---|---|---|
| 24 | -31.00 | 334.92 | 210.77 |

GZ SLS: Nachweis der 1. Kernweite

| Ek | $H_{Ed}$ [kN/m] | $V_{Ed}$ [kN/m] | $M_{Ed}$ [kNm/m] |
|---|---|---|---|
| 36 | -7.76 | 248.50 | 139.17 |

GZ SLS: Nachweis der 2. Kernweite

| Ek | $H_{Ed}$ [kN/m] | $V_{Ed}$ [kN/m] | $M_{Ed}$ [kNm/m] |
|---|---|---|---|
| 36 | -7.76 | 248.50 | 139.17 |

****** WARNUNG ******

**Die resultierende H-Last luftseitig ist bei einer oder mehreren Kombinationen größer als die resultierende H-Last erdseitig.**

Bemessung (GZT)

Wandschenkel

| z [m] | Ek | $N_{Ed}$ [kN/m] | $V_{Ed}$ [kN/m] | $M_{Ed}$ [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|
| 3.30 | 37 | 68.70 | -9.12 | 130.77 |
| | 53 | 47.88 | -89.64 | 221.30 |

Sporn luftseitig

| Ek | Anteil | $N_{Ed}$ [kN/m] | $V_{Ed}$ [kN/m] | $M_{Ed}$ [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|
| 40 | Standsicherheit | -0.80 | 4.04 | -0.62 |
| | Erddruck Bemessung Wand | -0.05 | 0.00 | 0.01 |
| | Sohldruck | -0.17 | 5.50 | -0.76 |
| | Resultierende | -0.58 | -1.46 | 0.13 |
| 44 | Standsicherheit | -0.80 | 4.04 | -0.62 |
| | Erddruck Bemessung Wand | -0.05 | 0.00 | 0.01 |
| | Sohldruck | -0.27 | 2.90 | -0.38 |
| | Resultierende | -0.48 | 1.14 | -0.25 |
| 48 | Standsicherheit | -0.80 | 2.76 | -0.43 |
| | Erddruck Bemessung Wand | -0.05 | 0.00 | 0.01 |
| | Sohldruck | 0.33 | 6.40 | -0.86 |
| | Resultierende | -1.08 | -3.64 | 0.42 |

Sporn erdseitig

| Ek | Anteil | $N_{Ed}$ [kN/m] | $V_{Ed}$ [kN/m] | $M_{Ed}$ [kNm/m] |
|---|---|---|---|---|
| 42 | Standsicherheit | 59.72 | 280.67 | 346.58 |
| | Erddruck Bemessung Wand | -41.54 | 12.42 | 178.37 |
| | Sohldruck | -29.34 | 317.04 | 570.13 |
| | Resultierende | 130.60 | -48.80 | -401.93 |
| 44 | Standsicherheit | 59.44 | 283.82 | 351.30 |
| | Erddruck Bemessung Wand | -41.56 | 12.42 | 178.38 |
| | Sohldruck | -29.27 | 320.27 | 574.87 |
| | Resultierende | 130.27 | -48.88 | -401.94 |

**Standsicherheit**

Standsicherheitsnachweise nach DIN EN 1997-1:2014-03
vorübergehende Situationen

Kippen

nach DIN 1054:2010-12, GZ EQU

| Ek | $M_{Ed}$ [kNm/m] | $V_{Ed}$ [kN/m] | e/b [-] | zul e/b [-] | η [-] |
|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 155.94 | 260.69 | 0.155 | 1/2 | 0.31 |

Gleiten

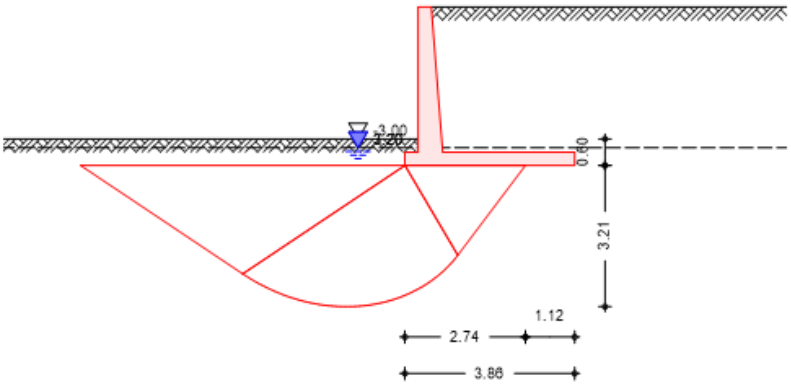
in Sohlfuge nach DIN EN 1997-1:2014-03, GZ GEO-2
Sohlreibungswinkel $\delta_k$ = 22.50 °

| Ek | $V_k$ [kN/m] | $R_k$ [kN/m] | $\gamma_{R,h}$ [-] | $H_d$ [kN/m] | $R_d$ [kN/m] | η [-] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 248.50 | 102.93 | 1.10 | 31.00 | 93.57 | 0.33 |

Grundbruch

nach DIN EN 1997-1:2014-03, GZ GEO-2

M 1:138




Grundrissform: Streifen

| b' [m] | d [m] | α [°] | β [°] |
|---|---|---|---|
| 2.74 | 0.60 | 0.00 | 0.00 |

| $z_{max}$ [m] | ϕ [°] | c [kN/m²] | $\gamma_1$ [kN/m³] | $\gamma_2$ [kN/m³] |
|---|---|---|---|---|
| 3.21 | 22.50 | 2.50 | 12.33 | 9.00 |

| T [kN/m] | N [kN/m] | δ [°] | ω [°] | m [-] |
|---|---|---|---|---|
| -7.76 | 248.50 | 1.79 | 90.00 | 2.00 |

| Einfluß | $N_0$ | v | i | λ | ξ | N |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Breite | 2.99 | 1.000 | 0.909 | 1.000 | 1.000 | 2.72 |
| Tiefe | 8.23 | 1.000 | 0.939 | 1.000 | 1.000 | 7.72 |
| Kohäsion | 17.45 | 1.000 | 0.930 | 1.000 | 1.000 | 16.23 |

| Ek | $V_d$ [kN/m] | $R_k$ [kN/m] | $\gamma_{R,v}$ [-] | $R_d$ [kN/m] | η [-] |
|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 298.12 | 451.67 | 1.30 | 347.44 | 0.86 |

1. Kernweite

nach DIN EN 1997-1:2014-03, GZ SLS

| Ek | $M_{Ed}$ [kNm/m] | $V_{Ed}$ [kN/m] | e/b [-] | zul e/b [-] | η [-] |
|---|---|---|---|---|---|
| 36 | 139.17 | 248.50 | 0.145 | 1/3 * | 0.44 |

*: nach FGSV Merkblatt über Stützkonstruktionen, 8.4.4 Außermittigkeit

2. Kernweite — nach DIN EN 1997-1:2014-03, GZ SLS

| Ek | $M_{Ed}$ [kNm/m] | $V_{Ed}$ [kN/m] | e/b [-] | zul e/b [-] | η [-] |
|---|---|---|---|---|---|
| 36 | 139.17 | 248.50 | 0.145 | 1/3 | 0.44 |

**Bemessung (GZT)**

Achsabstand

| Bauteil | Seite | d' [mm] | $c_{nom}$ [mm] |
|---|---|---|---|
| Wand | luftseitig | 50 | 40 |
| Wand | erdseitig | 50 | 40 |
| Sporn | oben | 50 | 40 |
| Sporn | unten | 50 | 40 |

Biegebemessung — Berücksichtigung der Mindestlängsbewehrung nach DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, NDP Zu 9.2.1.1(1)

Wand

| z [m] | Seite | Ek | $M_{Ed}$ [kNm/m] | $N_{Ed}$ [kN/m] | $a_s$ [cm²/m] | $a_{s,min}$ [cm²/m] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.30 | lufts. | 53 | 221.30 | -47.88 | 9.21 | |
| | | 55 | 163.93 | -35.46 | | 7.07 |
| | erds. | 37 | 130.77 | -68.70 | - | |
| | | 37 | 130.77 | -68.70 | | - |

Sporn luftseitig

| Seite | Ek | $M_{Ed}$ [kNm/m] | $N_{Ed}$ [kN/m] | $a_s$ [cm²/m] | $a_{s,min}$ [cm²/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| oben | 47 | 2.08 | -11.67 | 0.03 | |
| | 44 | -0.25 | -0.48 | | 4.26 |
| unten | 47 | 2.08 | -11.67 | 0.03 | |
| | 40 | 0.13 | -0.58 | | 4.26 |

Sporn erdseitig

| Seite | Ek | $M_{Ed}$ [kNm/m] | $N_{Ed}$ [kN/m] | $a_s$ [cm²/m] | $a_{s,min}$ [cm²/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| oben | 42 | -401.93 | -130.60 | 4.73 | |
| unten | 44 | -401.94 | -130.27 | 44.34 | |
| | 47 | -242.07 | -55.89 | | 3.89 |

Querkraftbemessung — Berücksichtigung der Mindestquerkraftbewehrung nach DIN EN 1992-1-1/NA, NCI zu 9.3.2(2)

Wand

| z [m] | Ek | θ [°] | $V_{Ed}$ [kN/m] | $V_{Rd,c}$ [kN/m] | $V_{Rd,max}$ [kN/m] | $a_{sw}$ [cm²/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.30 | 53 | 18.43 | -89.64 | 224.14 | 1962.23 | - |

Sporn luftseitig

| Ek | θ [°] | $V_{Ed}$ [kN/m] | $V_{Rd,c}$ [kN/m] | $V_{Rd,max}$ [kN/m] | $a_{sw}$ [cm²/m²] |
|---|---|---|---|---|---|
| 48 | 18.43 | -3.64 | 135.08 | 803.25 | - |

Sporn erdseitig

| Ek | θ [°] | $V_{Ed}$ [kN/m] | $V_{Rd,c}$ [kN/m] | $V_{Rd,max}$ [kN/m] | $a_{sw}$ [cm²/m²] |
|---|---|---|---|---|---|
| 44 | 18.43 | -48.88 | 208.21 | 803.25 | - |

erf. Bewehrung — Biege- und Querkraftbewehrung

Wand

| z [m] | $a_{sl}$ [cm²/m] | $a_{se}$ [cm²/m] | $a_{sw}$ [cm²/m²] |
|---|---|---|---|
| 3.30 | 9.21 | - | - |

Sporne

| | $a_{so}$ [cm²/m] | $a_{su}$ [cm²/m] | $a_{sw}$ [cm²/m²] |
|---|---|---|---|
| luftseitig | 4.26M | 4.26M | - |
| erdseitig | 4.73 | 44.34 | - |

M Mindestlängsbewehrung nach DIN EN 1992-1-1/NA, NDP Zu 9.2.1.1(1)
M Mindestquerkraftbewehrung nach DIN EN 1992-1-1/NA, NCI zu 9.3.2(2)

**Nachweise (GZG)** — Begrenzung der Rissbreiten nach DIN EN 1992-1-1, 7.3

vertikale Bewehrung

Rissbreitenbegrenzung für Lastbeanspruchung

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| wirksame Betonzugfestigkeit | $f_{ct,eff}$ | = | 3.20 | N/mm² |
| Stabdurchmesser | $d_s$ | = | 8 | mm |
| Verhältnis Es/Ecm | $\alpha_e$ | = | 5.88 | - |

| z [m] | Ek | $N_{Ed,perm}$ [kN/m] | $M_{Ed,perm}$ [kNm/m] |
|---|---|---|---|
| 3.30 | 59 | -35.46 | 163.93 |

Rissbreitennachweis nach 7.3.4 kann entfallen, da max. Beanspruchung nicht zur Erstrissbildung führt

**Bewehrungswahl**

Biegebewehrung

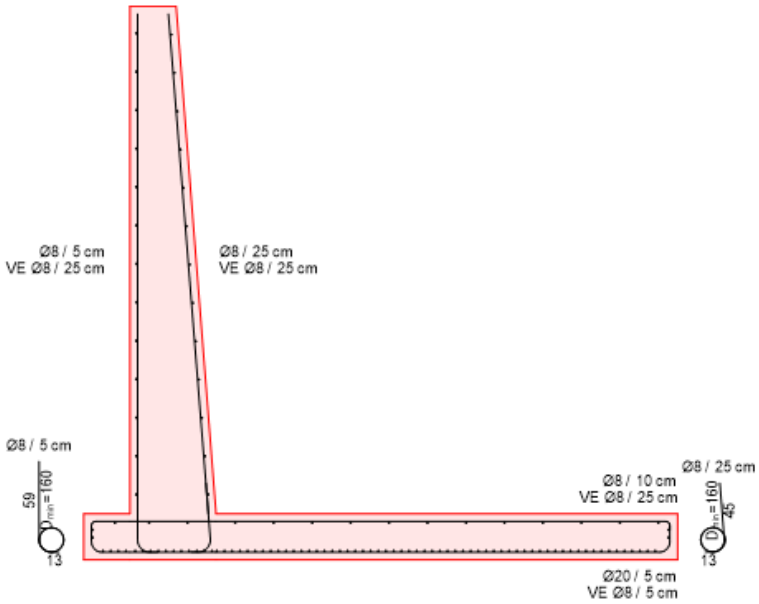
| | Richtung | gewählt | vorh $a_s$ [cm²/m] | erf $a_s$ [cm²/m] |
|---|---|---|---|---|
| Wand luftseitig | vertikal | ø8 / 5 cm | 10.05 | 9.21 |
| | wandlängs | ø8 / 25 cm | 2.01 | 1.84 |
| Wand erdseitig | vertikal | ø8 / 25 cm | 2.01 | 0.00 |
| | wandlängs | ø8 / 25 cm | 2.01 | 0.00 |
| Sporn oben | horizontal | ø8 / 10 cm | 5.03 | 4.73 |
| | wandlängs | ø8 / 25 cm | 2.01 | 0.95 |
| Sporn unten | horizontal | ø20 / 5 cm | 62.83 | 44.34 |
| | wandlängs | ø8 / 5 cm | 10.05 | 8.87 |

Anschlussbewehrung

| | Ausführung | gewählt | vorh $a_s$ [cm²/m] | erf $a_s$ [cm²/m] | $l_0$ [cm] | $l_{bd}$ [cm] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| luftseitig | Aufbiegung | ø8 / 5 cm | 10.05 | 9.21 | 33.1 | 23.6 |
| erdseitig | Aufbiegung | ø8 / 25 cm | 2.01 | 0.00 | 20.0 | 8.0 |

Grafik

M 1:40




**Zusammenfassung** Zusammenfassung der Nachweise

Nachweise (GZT) Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

| Nachweis | | η [-] |
|---|---|---|
| Kippen | OK | 0.31 |
| Gleiten Sohlfuge | OK | 0.33 |
| Grundbruch | OK | 0.86 |
| Bewehrungswahl | OK | |

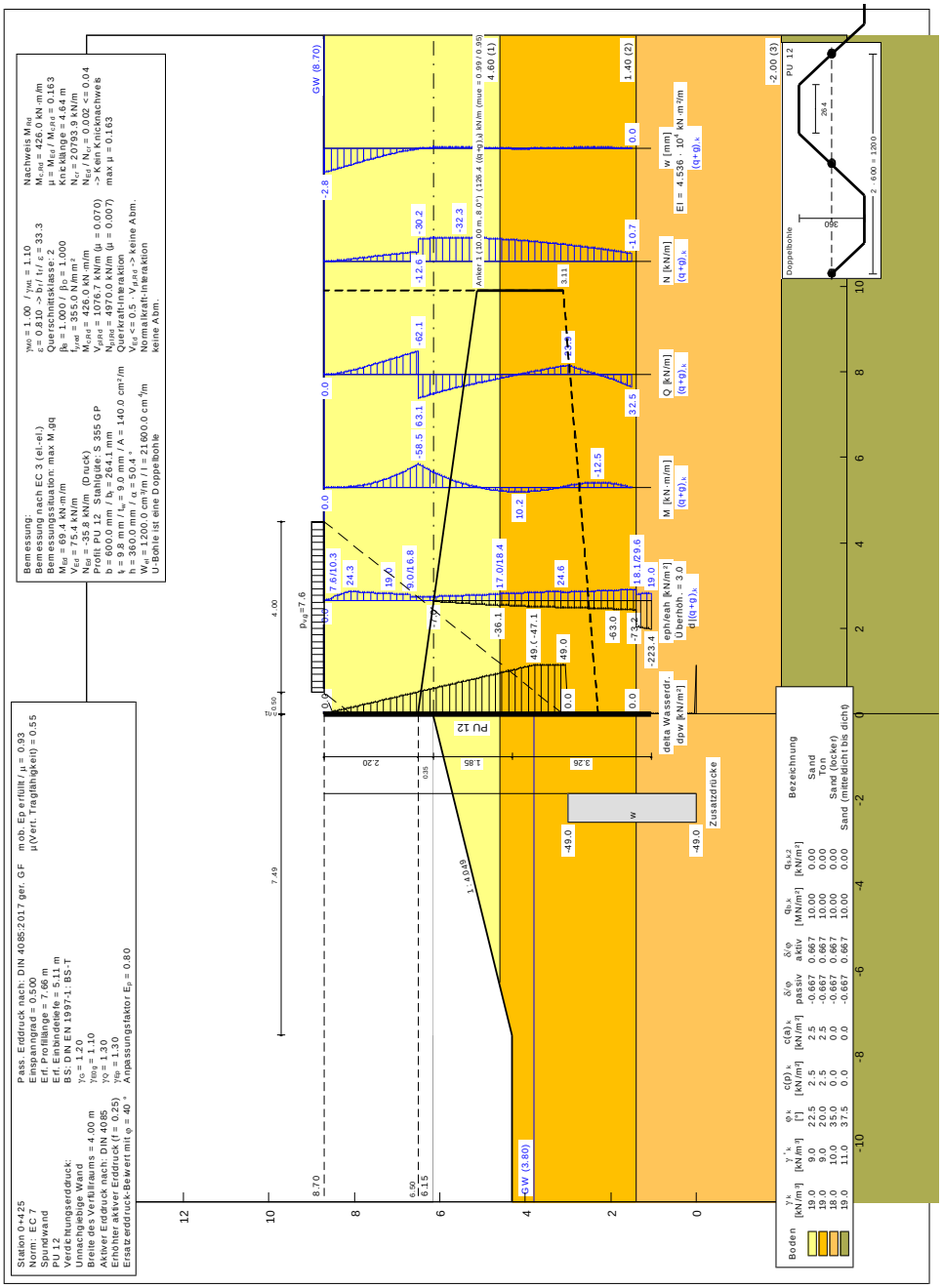
Nachweise (GZG) Nachweise im Grenzzust. der Gebrauchstauglichkeit

| Nachweis | | η [-] |
|---|---|---|
| 1. Kernweite | OK | 0.44 |
| 2. Kernweite | OK | 0.44 |

## 5.2. Bemessungsschnitt RQ 2 (Stat. 0+425)

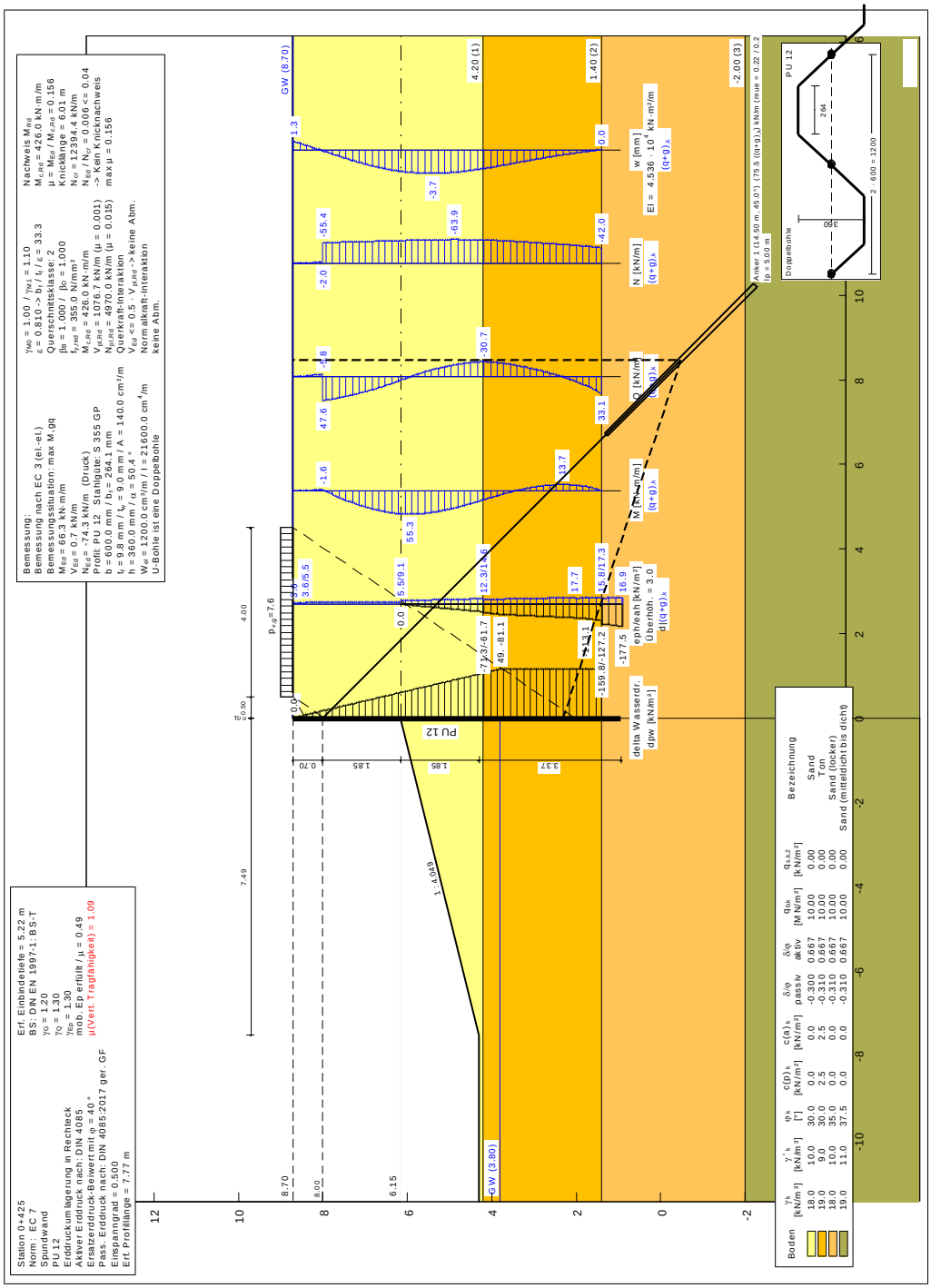
Variante: Verankerung der Uferwand mit Ankertafel (V2a)

BS-T – Berechnung Spundwand wasserseitig



## Variante: Uferwand mit Verpressanker (V2b)

## BS-T – Berechnung Spundwand wasserseitig



## 5.3. Zusammenfassung der Ergebnisse - Variante: V1, V2a und V2b

Die Variante 2a „Verankerung der Uferwand mittels Ankertafel“ wird aufgrund der Lage des Ankers, der Länge der Ankertafel und der Länge des Rundstahlankers ausgeschlossen. Um den Nachweis der tiefen Gleitfuge einzuhalten ist eine mind. Ankerlänge von 10 m erforderlich. Außerdem ist eine Ankerlage von ca. 6,50 m NHN erforderlich, um die 4,00 m lange Ankertafel im Boden zu verankern. Eine kürzere Ankertafel ist aufgrund des Nachweises der tiefen Gleitfuge nicht möglich. Daraus resultiert, dass Anker hinter der Flurstücksgrenze liegen bzw. an die Flurstücksgrenze angrenzen (s. Bau-km 0+425).

Die weiteren untersuchten Varianten können für die weitere Planung in Betracht gezogen werden.

Da bei der Variante Kastenfangedamm V0 des RQ 2 der Nachweis der äußeren Standsicherheit ohne Bodenaustausch nicht nachgewiesen werden kann (vgl Abschnitt 4.5.3), ist die Variante 2b „Uferwand mit Verpressanker“ die Vorzugsvariante.

Es wird empfohlen, dass die Spundwände konstruktiv mind. 3 m in die tragfähigen Sande einbinden.

**Tabelle 5 Zusammenfassung der Ergbenisse - Variante: V1, V2a und V2b**

| BS | Erf. Länge SPW [m] | Erf. Länge AT [m] | max. Ankerkraft ($A_d$) [kN/m] | η SPW [-] |
|---|---|---|---|---|
| *0+100* | | | | |
| Var. 1 BS-T | 11,15 | - | - | PU 12 0,598 |
| *0+425* | | | | |
| Var. 2a BS-T | 7,66 | 4,0 | 168,95 | PU 12 0,163 |
| Var. 2b BS-T | 7,77 | - | 75,50 | PU 12 0,156 |

# Vorplanung

## Statische Berechnung

Generalplan Küstenschutz – Stadtstrecke

Seiten Deckblatt
1 - 62

Anhang -

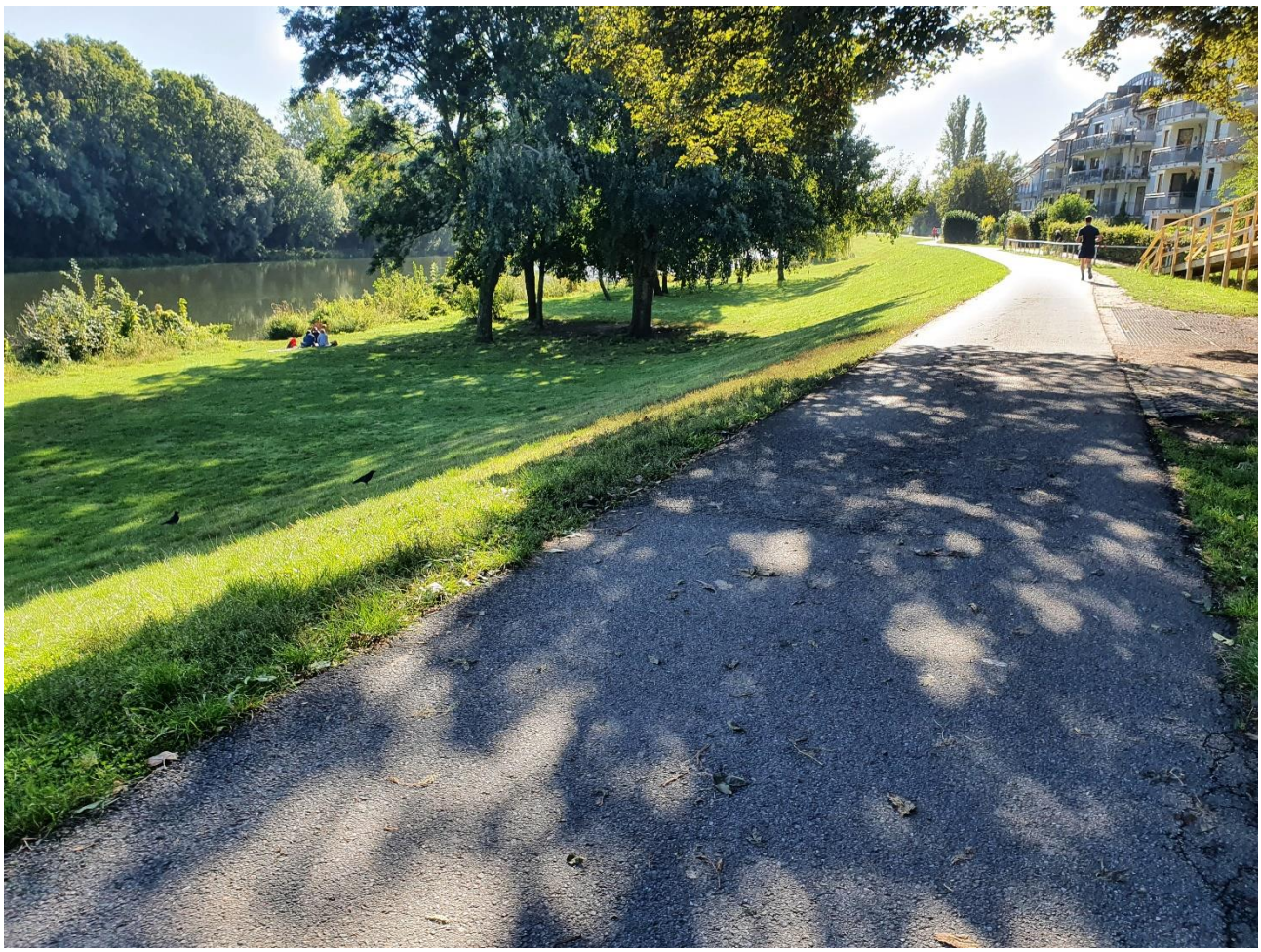
Aufgestellt:
Hannover, 25.08.2023

[redacted] [redacted]

# Variantenuntersuchung zum Tragwerk

Generalplan Küstenschutz, Stadtstrecke BA 4

28.07.2023



# Inhaltsverzeichnis


1. Bemessungsannahmen ..... 3
   1.1 Last in Richtung Binnenseite ..... 3
   1.2 Last in Richtung Weser ..... 4

2. RQ 1 – Station 0+100 ..... 5
   2.1 V0: Kastenfangedamm ..... 5
   2.2 V1: Spundwand mit landseitiger, rückverankerter Winkelstützwand ..... 6

3. RQ 2 – Station 0+425 ..... 7
   3.1 V0: Kastenfangedamm ..... 7
   3.2 V2a: Rückverankerung mittels Ankertafel ..... 8
   3.3 V2b: Rückverankerung mittels Verpressanker ..... 9

4. RQ 3 – Station 0+550 ..... 10
   4.1 V0: Kastenfangedamm ..... 10
   4.2 V1: Spundwand mit landseitiger, rückverankerter Winkelstützwand ..... 11

5. Zusammenfassung ..... 12

# 1. Bemessungsannahmen

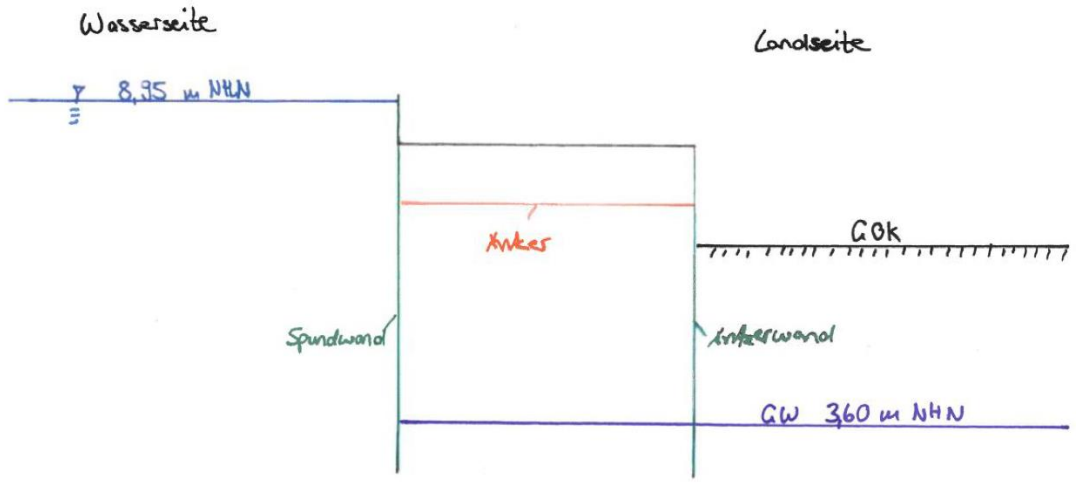
## 1.1 Last in Richtung Binnenseite

BS-T, HW (Nachweis wasserseitige Spundwand):

Gewässerwasserstand: +8,95 m NHN

Wasserstand im Fangedammkörper: +3,60 m NHN

Grundwasserstand: +3,60 m NHN

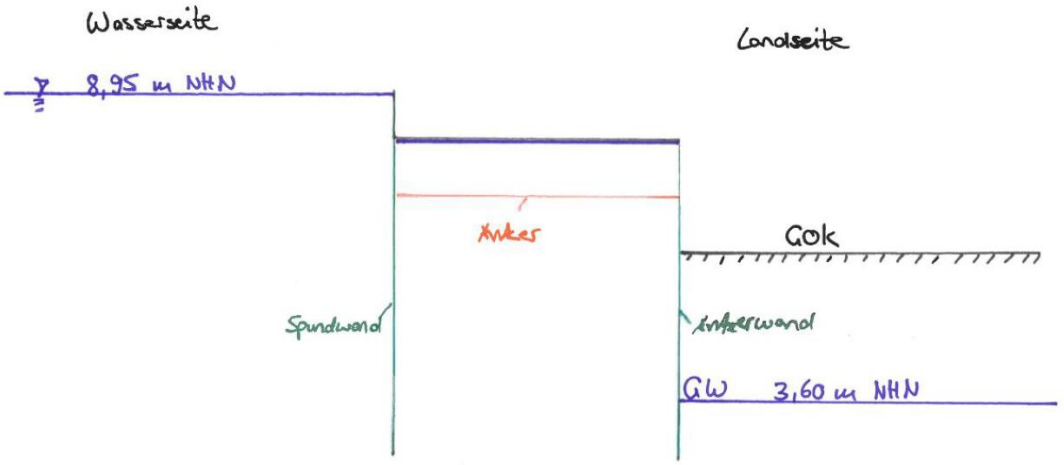



BS-T, HW (Nachweis Ankerwand):

Gewässerwasserstand: +8,95 m NHN

Wasserstand im Fangedammkörper: +8,70 m NHN

Grundwasserstand: +3,60 m NHN

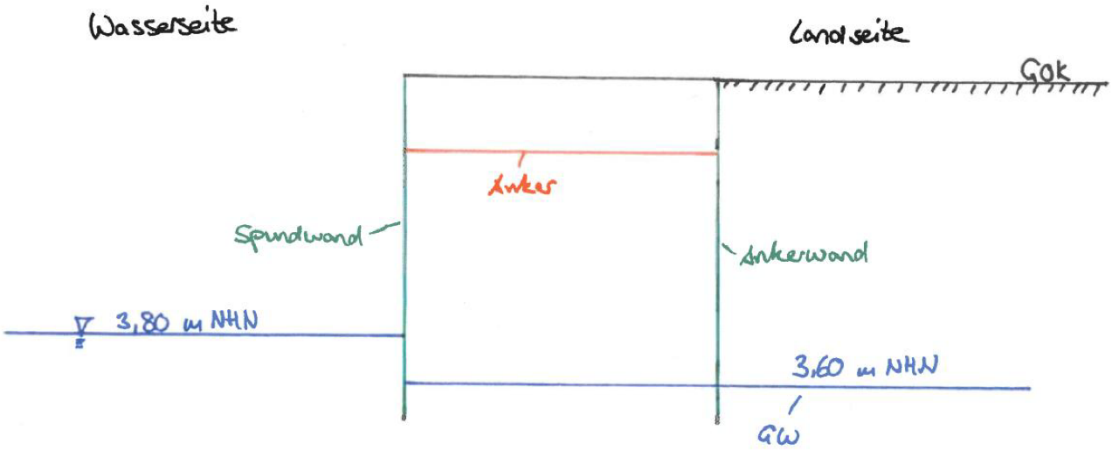


## 1.2 Last in Richtung Weser

BS-P:

Gewässerwasserstand: +3,80 m NHN

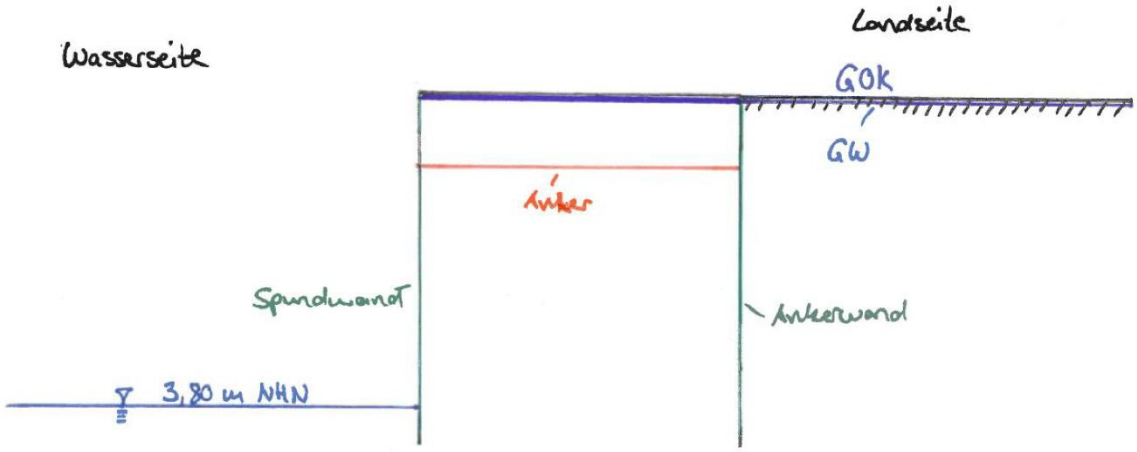
Grundwasserstand: +3,60 m NHN




BS-T:

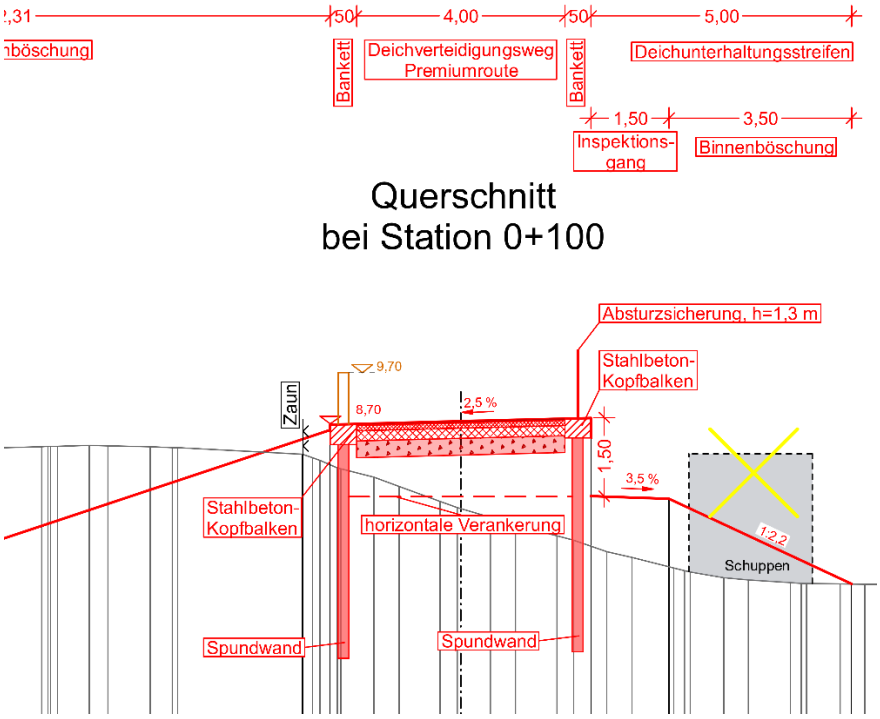
Gewässerwasserstand: +3,80 m NHN

Grundwasserstand: GOK binnenseitig



# 2. RQ 1 – Station 0+100

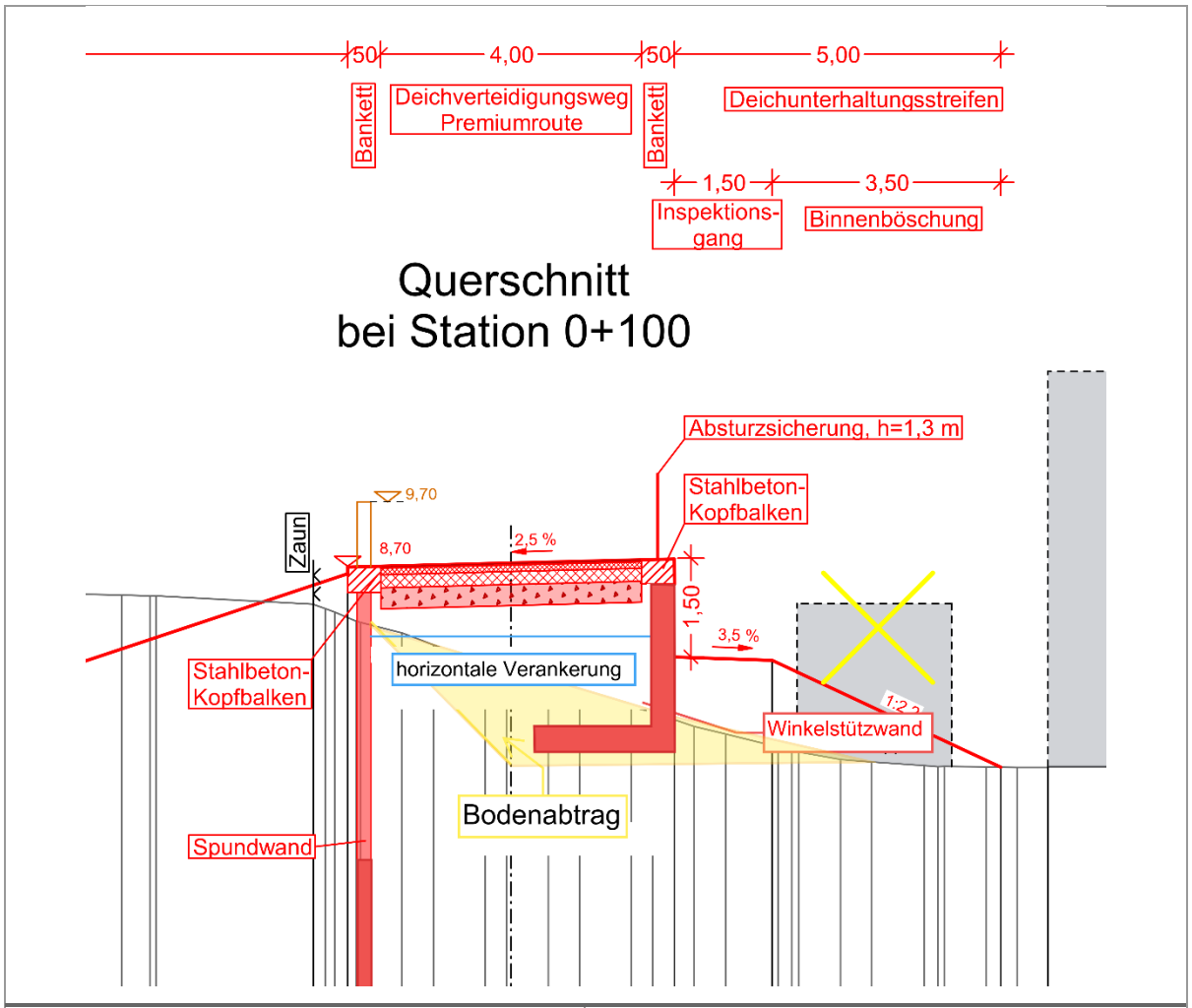
## 2.1 V0: Kastenfangedamm




| Vorteile | Nachteile |
|---|---|
| - Rückverankerungselement wirkt gleichzeitig als Abfangung des Geländesprungs<br>- Keine Baugrube notwendig<br>- Geringes Gründungsrisiko<br>- Gute Umsetzbarkeit<br>- Erhöhung leicht umsetzbar<br>- Vergleichsweise kurze Bauzeit | - Im Vergleich zur Variante mit Stahlbetonwinkel geringfügig teurer / liegt im Unschärfebereich der Kostenschätzung<br>- Risiko von Hindernissen im Baugrund<br>- Lärmbelästigung für Anwohner |

**Kosten: ca. 1,2 Mio €**

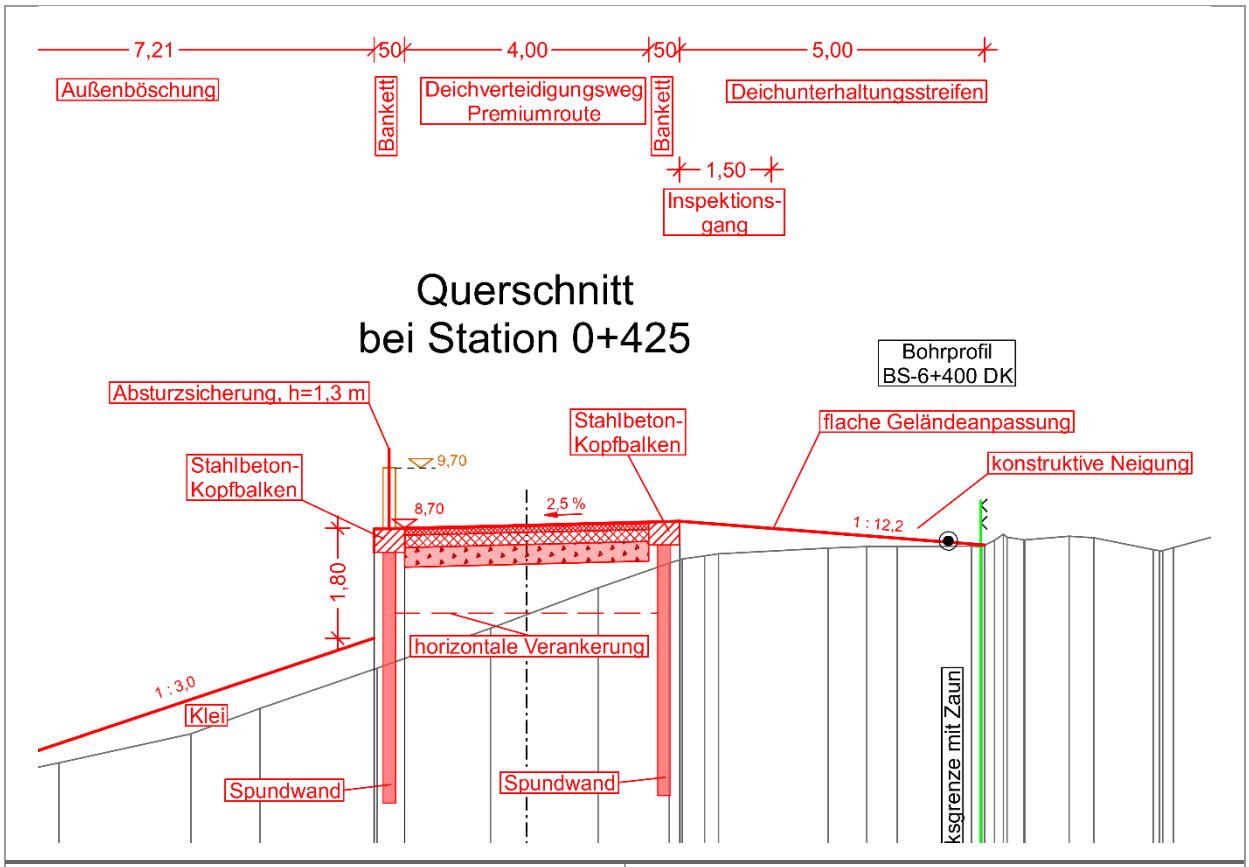
## 2.2 V1: Spundwand mit landseitiger, rückverankerter Winkelstützwand




| Vorteile | Nachteile |
|---|---|
| - Stahlbeton geringfügig kostengünstiger als Stahl / liegt im Unschärfebereich der Kostenschätzung<br>- Gute Umsetzbarkeit<br>- Erhöhung leicht umsetzbar | - Baugrube für Herstellung des Stahlbetonwinkels ist notwendig<br>- Höhere Bauzeit<br>- Großes Gründungsrisiko (Auffüllungen mit hohem Schluffanteil)<br>- Mehr Bodentransporte, Belastung für Anwohner |
| **Kosten: ca. 1,0 Mio €** | |

# 3. RQ 2 – Station 0+425

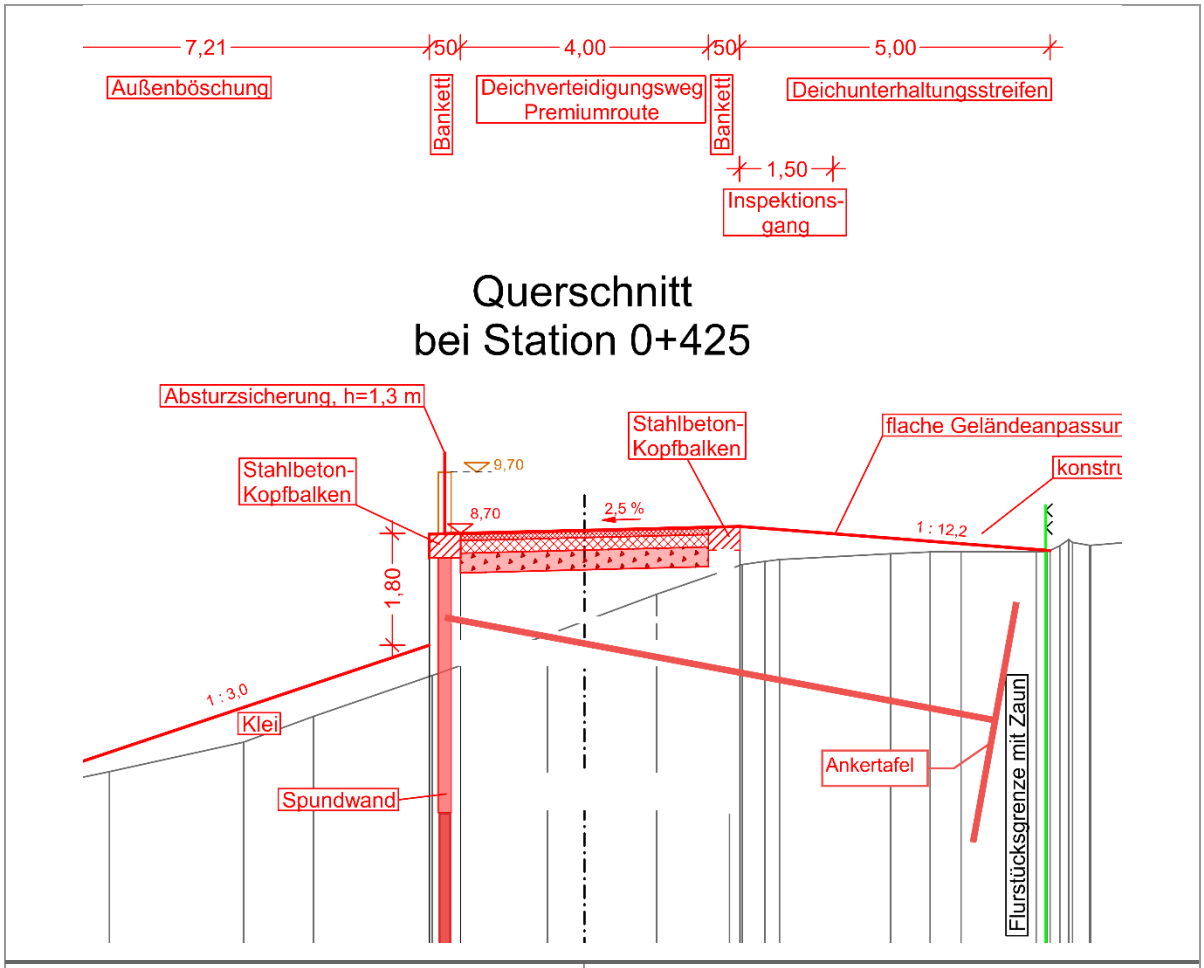
## 3.1 V0: Kastenfangedamm




| Vorteile | Nachteile |
|---|---|
| - Keine Baugrube notwendig<br>- Geringes Gründungsrisiko<br>- Gute Umsetzbarkeit<br>- Erhöhung leicht umsetzbar<br>- Vergleichsweise kurze Bauzeit | - Fagedammsystem nicht ohne Bodenaustausch zwischen den Spundwänden nachweisbar → Bodenaustausch führt zu hohen Kosten<br>- Verankerungselement übernimmt keine Doppelfunktion zur Abfangung des Geländes → Kein Vorteil durch die Kastenfange-dammlösung<br>- Lärmbelästigung für Anwohner<br>- Risiko von Hindernissen im Baugrund |

**Kosten: ca. 2,0 Mio €**

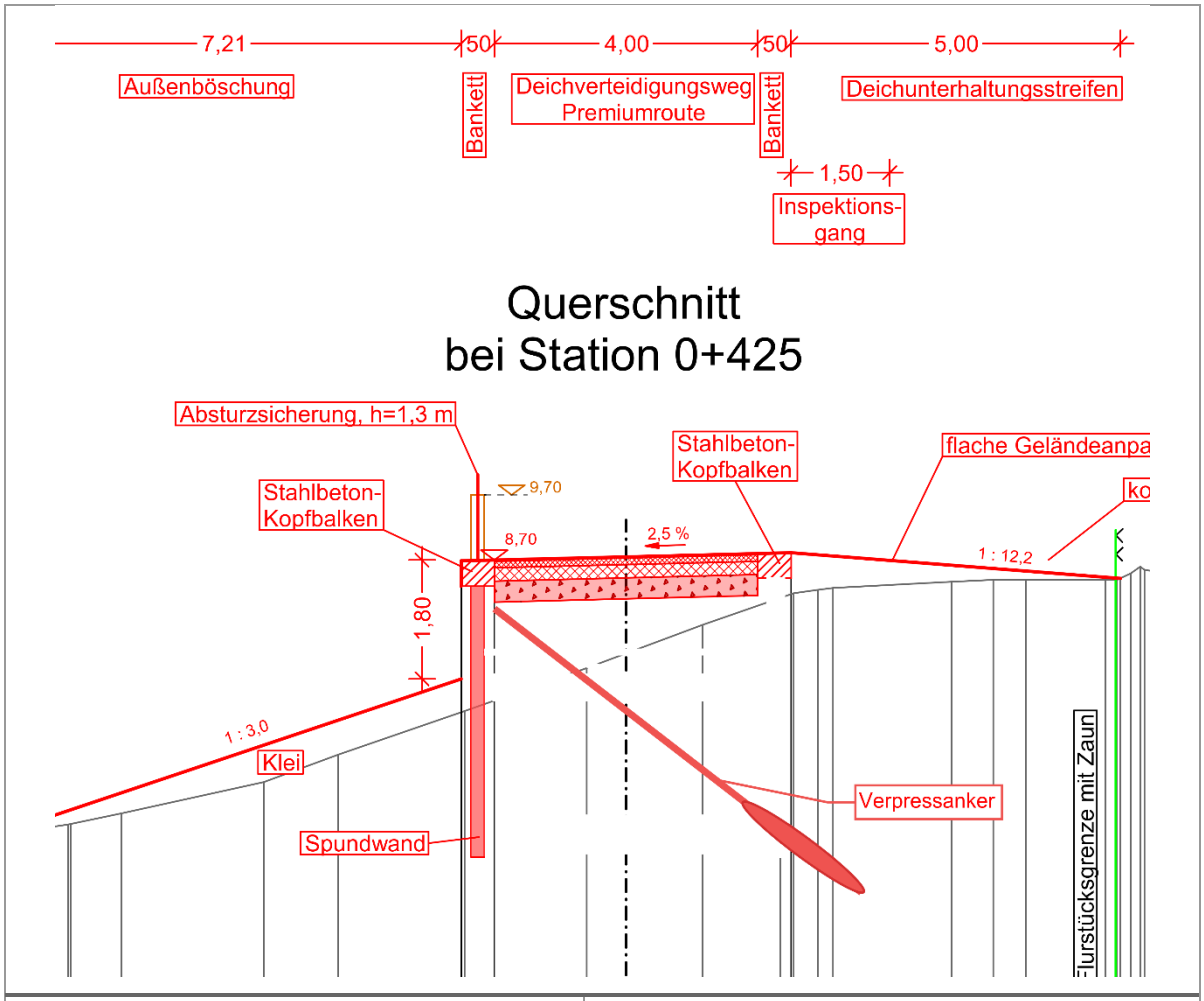
## 3.2 V2a: Rückverankerung mittels Ankertafel




| Vorteile | Nachteile |
|---|---|
| - Geringes Gründungsrisiko<br>- Erhöhung leicht umsetzbar<br>- Vergleichsweise kurze Bauzeit | - Lage des Ankers ca. 3,50 m (5,20 m NHN) unter GOK → große Mengen an Bodenaushub notwendig für den Einbau des Ankers<br>- Höhere Belastung der Anwohner, da mehr Bodentransporte zzgl. des Rammens |

**Kosten: ca. 1,3 Mio €**

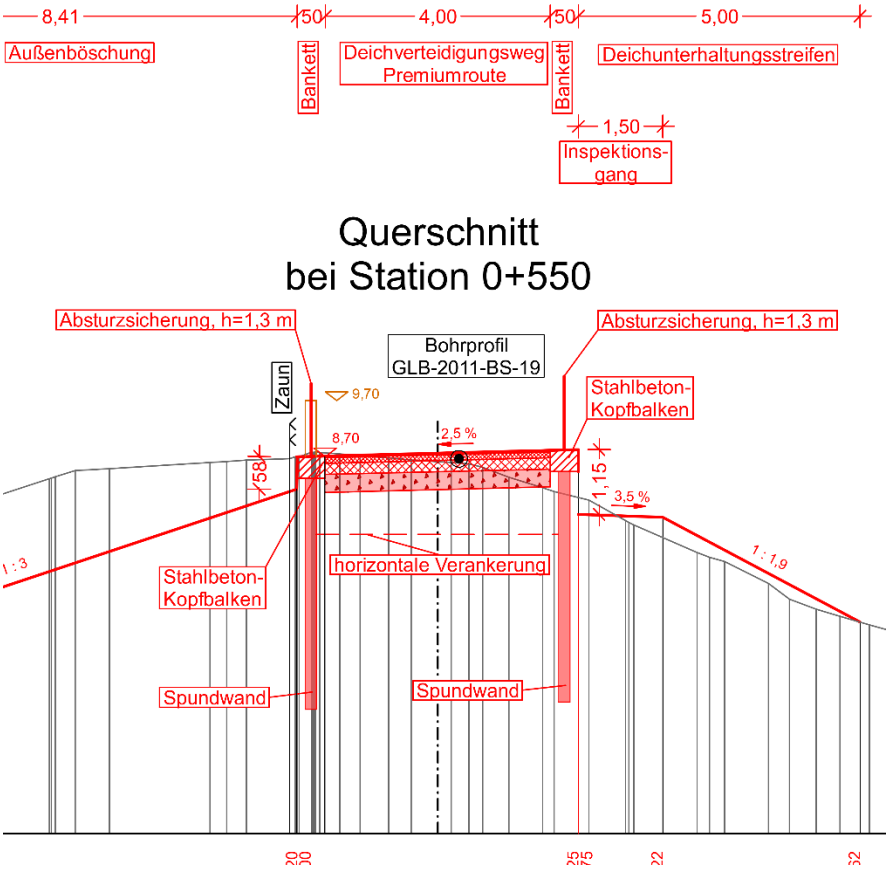
## 3.3 V2b: Rückverankerung mittels Verpressanker




| Vorteile | Nachteile |
|---|---|
| - Im Vergleich zur Variante Kastenfange-damm (V0) und Ankertafel (V2a) kostengünstig<br>- Kein Bodenaushub notwendig<br>- Geringes Gründungsrisiko<br>- Gute Umsetzbarkeit<br>- Erhöhung leicht umsetzbar<br>- Vergleichsweise kurze Bauzeit | - Bohrgerät für den BA 4 wird benötigt<br>- Risiko von Hindernissen im Baugrund |
| **Kosten: ca. 0,7 Mio €** | |

# 4. RQ 3 – Station 0+550

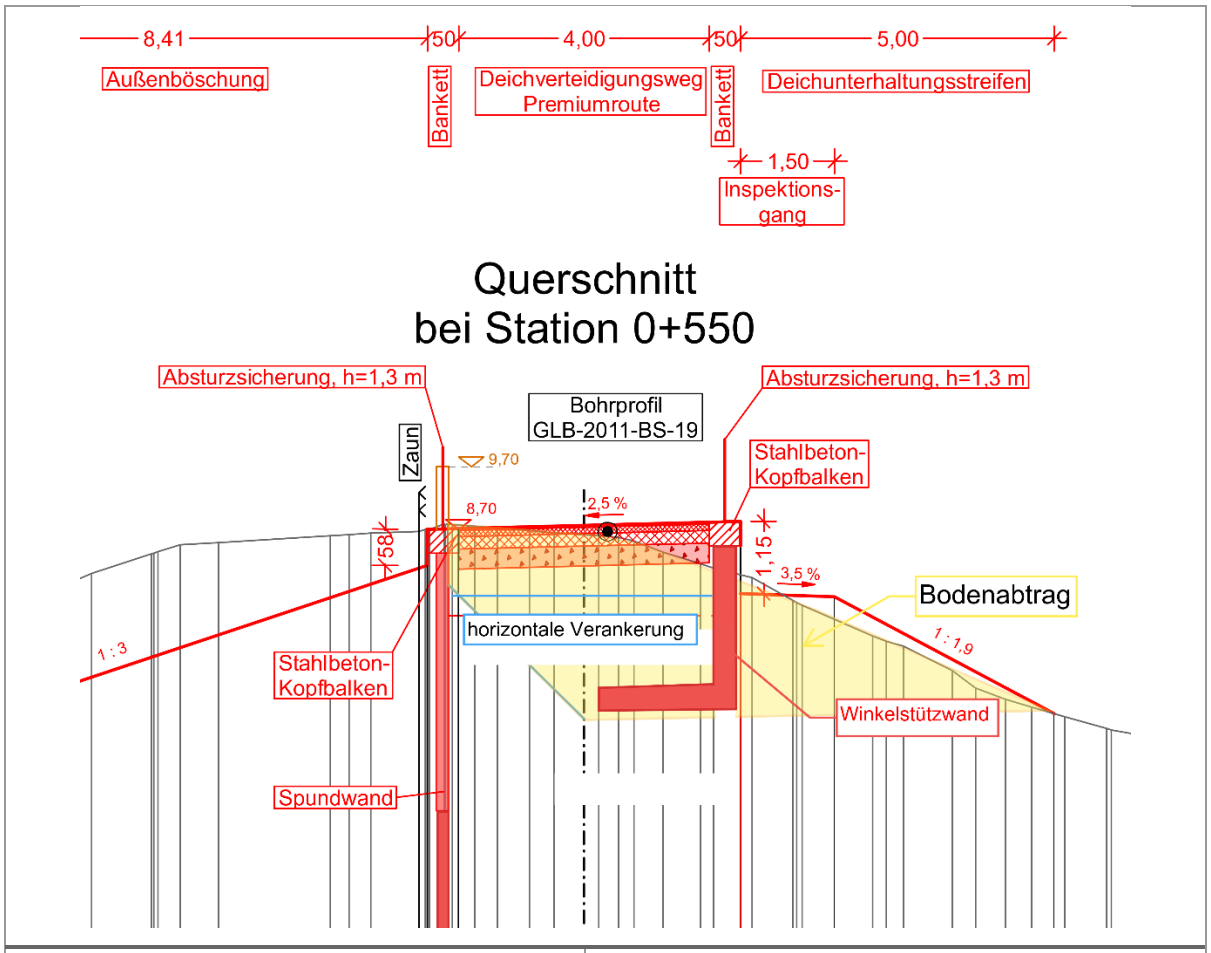
## 4.1 V0: Kastenfangedamm




| Vorteile | Nachteile |
|---|---|
| - Rückverankerungselement wirkt gleichzeitig als Abfangung des Geländesprungs<br>- Keine Baugrube notwendig<br>- Geringes Gründungsrisiko<br>- Gute Umsetzbarkeit<br>- Erhöhung leicht umsetzbar<br>- Vergleichsweise kurze Bauzeit<br>- Kosten vergleichbar mit Stahlbetonwinkel | - Risiko von Hindernissen im Baugrund<br>- Lärmbelästigung für Anwohner |

**Kosten: ca. 0,9 Mio €**

## 4.2 V1: Spundwand mit landseitiger, rückverankerter Winkelstützwand




| Vorteile | Nachteile |
|---|---|
| - Kosten vergleichbar mit Kastenfangedamm | - Baugrube für Herstellung des Stahlbetonwinkels ist notwendig<br>- Höhere Bauzeit<br>- Großes Gründungsrisiko (Auffüllungen mit hohem Schluffanteil)<br>- Mehr Bodentransporte, Belastung für Anwohner |

**Kosten: ca. 0,9 Mio €**

# 5. Zusammenfassung

| Variante | RQ 1 | RQ 2 | RQ 3 |
|---|---|---|---|
| **Kastenfangedamm (V0)** | - Rückverankerungselement wirkt gleichzeitig als Abfangung des Geländesprungs<br>- Im Vergleich zur Variante mit Stahlbeton-Winkelstützwand teurer | - Fagedammsystem nicht ohne Bodenaustausch zwischen den Spundwänden nachweisbar<br>- Verankerungselement übernimmt keine Doppelfunktion → Kein Vorteil durch die Kastenfange-dammlösung | - Rückverankerungselement wirkt gleichzeitig als Abfangung des Geländesprungs |
| **Spundwand mit landseitiger, rückverankerter Winkelstützwand (V1)** | - Kostengünstigere Variante als V0<br>- Baugrube für die Herstellung des Stahlbetonwinkels ist notwendig | - Da keine Geländeabfangung landseitig notwendig ist, wird diese Variante für RQ 2 nicht weiterverfolgt. | - Baugrube für die Herstellung des Stahlbetonwinkels ist notwendig |
| **Ankerwand (V2a)** | - Da Geländeabfangung landseitig notwendig ist, wird diese Variante für RQ 1 nicht weiterverfolgt. | - Große Mengen an Bodenaushub für den Einbau des Ankers | - Da Geländeabfangung landseitig notwendig ist, wird diese Variante für RQ 3 nicht weiterverfolgt. |
| **Verpressanker (V2b)** | - Da Geländeabfangung landseitig notwendig ist, wird diese Variante für RQ 1 nicht weiterverfolgt. | - Kostengünstig im Vergleich zu Variante V0 und V2<br>- Kein Bodenaushub notwendig | - Da Geländeabfangung landseitig notwendig ist, wird diese Variante für RQ 3 nicht weiterverfolgt. |