



Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeines	3
1.1.	Vorbemerkung	3
1.2.	Bauablauf	3
1.3.	Wasserstände	3
1.4.	Bodenkennwerte	4
1.5.	Verkehrslasten	4
1.6.	Bemessungsprogramme	4
2.	Kreisförmige Baugrube als Startschacht für Tunnelvortrieb	5
2.1.	Bemessungsschnittgrößen	5
2.2.	Nachweis der Spannungen	6
3.	Bohrpfahlwand, mehrfach rückverankert	6
3.1.	Randbedingungen	7
3.2.	Durchführung der Bemessung	7
3.3.	Bemessungsergebnisse	8
4.	Spundwand, mehrfach rückverankert	10
4.1.	Randbedingungen	10
4.2.	Bemessungsergebnisse	11
5.	Fangedamm	12
5.1.	Randbedingungen	12
5.2.	Durchführung der Bemessung	12
5.3.	Nachweis der inneren Standsicherheit	12
5.4.	Nachweis der äußeren Standsicherheit	13

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Überschnittene Bohrpfahlwand Ø 1,20 m	6
Abbildung 2: Fangedamm	13

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bodenkennwerte	4
Tabelle 2: Bemessungsergebnisse Bohrpfahlwand	8
Tabelle 3: Länge Verpreßkörper	9
Tabelle 4: Bemessungsergebnisse Spundwand	11

Beilagenverzeichnis

- Beilage 1** Schnittgrößen kreisförmige Baugrube
Beilage 2 Bemessungsergebnisse Bohrpfahlwand
Beilage 3 Bemessungsergebnisse Spundwand
Beilage 4 Bemessungsergebnisse Spundwand Fangedamm



1. Allgemeines

1.1. Vorbemerkung

In nachfolgender statischer Berechnung werden die wesentlichen Verbauelemente für die Baugrube des Ein- und Auslaufbauwerkes in die Donau vormessen.

Auf Grund fehlender Bodenaufschlüsse im unmittelbaren Bauwerksbereich und eines entsprechenden Geotechnischen Berichtes baut die Berechnung auf Ergebnissen von Bodenansprachen in der weiteren Nähe auf. Als weitere Quelle anzusetzender Bodenkennwerte diente der Statische Bericht „Maschinenschacht – Ausbruch und Sicherung – Vorstatik“ JES-A001-PERM1-B40001-00-PE.

1.2. Bauablauf

Zunächst erfolgt der Ausbruch des Lotschachtes mittels Tunnelbohrmaschine. Der hierfür erforderliche Startschacht wird durch eine kreisförmige Bohrpfahlwand hergestellt, die von der GOK aus bis zum Fels geführt wird und in diesen wegen der Dichtigkeit ca. 1 bis 2 m einbindet. Durch einen zusätzlichen Dichtungsschleier kann der Wandfuß nach Aushub bis zur Baugrubensohle bei festgestellten Wasserzutritten weiter abgedichtet werden.

Über den Lotschacht wird auch der Ausbruch der Kraftwerkskaverne abgefahren. Der Aushub des Ausbruchmaterials aus dem Schacht erfolgt voraussichtlich über einen Portalkran, ist jedoch nicht weiter beplant.

Nach Beendigung der bergmännischen Arbeiten erfolgt die Herstellung des Ein- und Auslaufbauwerkes. Die hierfür erforderliche Baugrube wird wie folgt hergestellt:

- Mehrfach verankerte Bohrpfahlwand im Bereich der ebenen GOK auf +291,00. In diese Bohrpfahlwand wird auch ein Teil der Kreisbaugrube integriert, der Rest wird im Zuge des Aushubes rückgebaut.
- Mehrfach verankerte Spundwände im seitlichen Böschungsbereich.
- Fangedamm als wasserseitiger Baugrubenabschluss aus einer Spundwandreihe entlang der flussseitigen Bauwerkskante und einer flussparallelen Spundwandreihe.

Bei allen Spundwandarbeiten kann wegen der Einbindung in den Fels ein Vorbohren mit Bodenaustausch erforderlich werden.

1.3. Wasserstände

Der Grundwasserspiegel korrespondiert wegen der Nähe zur Donau und dem gut durchlässigen Donauschotter unmittelbar mit dem Wasserspiegel im Fluß.

- Stauziel +290,00
- min Betriebswasserspiegel +288,00
- max Betriebswasserspiegel +290,30

Wegen der Stauregelung wird der maximale Betriebswasserspiegel auch bei Hochwassersituationen nicht überschritten, da vorher die Wehrverschlüsse geöffnet werden und der Stau entsprechend abgesenkt wird.



1.4. Bodenkennwerte

Es kann von einem homogenen Bodenaufbau bis zur OK Fels ausgegangen werden. Folgende Bodenkennwerte sind der Vorstatik „Maschinenschacht – Ausbruch und Sicherung“ der Pöyry Energy GmbH entnommen:

Schicht	$\phi' [^\circ]$	$c' [\text{kN/m}^2]$	γ / γ'	$E_s [\text{MN/m}^2]$
Donauschotter	32,5	0	19 / 11	50
Fels	38	16000	27 / 17	36700

Tabelle 1: Bodenkennwerte

Die angenommenen Bodenkennwerte sind in den weiteren Planungsphasen durch das noch zu erstellende Baugrundgutachten zu verifizieren, bzw. anzupassen.

1.5. Verkehrslasten

Veränderliche Lasten am Baugrubenrand und auf der GOK werden nach EAB 4. Auflage EB 57 für ein 30t Gerät mit 60 cm Abstand vom BG Rand angenommen:

- $p_k = 10 \text{ kN/m}^2$
- $q'_k = 40 \text{ kN/m}^2$ auf 2 m Breite

1.6. Bemessungsprogramme

- FIDES WALLS – Verbau, Version 2011.053
- SOFISTIK ASE – Allgemeine Statik Finiter Element Strukturen, V16.71

2. Kreisförmige Baugrube als Startschacht für Tunnelvortrieb

Die Bemessung erfolgt gemäß EAB 4. Auflage, EB 73 – Baugruben mit kreisförmigem Grundriß. Da eine überschnittene Bohrpfahlwand handelt es sich um ein unnachgiebiges System und es wird der Erdruchedruck als oberer Grenzwert angesetzt.

Gemäß Absatz 5 werden Inhomogenitäten oder eine Abweichung von der Idealgeometrie über eine einseitige Flächenlast $p_k = 10 \text{ kN/m}^2$ berücksichtigt.

Über die Lasten aus Baubetrieb liegen noch keine Angaben vor. Hier werden ebenfalls Lasten gemäß EB 57.1 in Verbindung mit Bild EB 73-2 angesetzt. Es zeigt sich, daß wegen der Tiefe der Baugrube der Ansatz der randnahen Last nicht bemessungsrelevant wird, da der Bemessungsschnitt auf Höhe des Felshorizontes liegt.

Über die zu erwartenden Bodenreaktionen können im Rahmen dieser Vorbemessung keine Angaben gemacht werden. Es findet daher der Ansatz nach Satz 8 der EB 73 Anwendung, der als Ersatz für die Bodenreaktionen die Beaufschlagung der identischen Lasten auf der gegenüberliegenden Seite empfiehlt.

2.1. Bemessungsschnittgrößen

GZ1B ; Lastfall 2

Ständige Lasten:

- Eingabelastfall 1: Erdruchedruck $\gamma = 1,10$
- Eingabelastfall 2: Wasserdruck $\gamma = 1,20$
- Eingabelastfall 3: Imperfektion $\gamma = 1,20$

Veränderliche Lasten:

- Eingabelastfall 4: Verkehr $\gamma = 1,30$

Die Schnittgrößen für die einzelnen Lastfälle sind in Beilage 1 dargestellt.

Aus Gründen der Vereinfachung wurde der Wasserstand bis OK Wand angenommen.

Oberer und unterer Viertelpunkt

$$N_d = 1,10 * -1.843 + 1,20 * (-1.214 - 22,2) + 1,30 * -22,2 = -3.539,60 \text{ kN}$$

$$M_d = 1,20 * -36,5 + 1,30 * -36,5 = -91,25 \text{ kNm}$$

Linker und rechter Viertelpunkt

$$N_d = 1,10 * -1.843 + 1,20 * (-1.214 - 12,7) + 1,30 * -12,7 = -3.515,85 \text{ kN}$$

$$M_d = 1,20 * -36,2 + 1,30 * -36,2 = -90,50 \text{ kNm}$$

Es liegt demnach ein nahezu homogener Belastungszustand vor.



2.2. Nachweis der Spannungen

Es ist nachzuweisen, daß der Querschnitt voll überdrückt ist.

Für die Bemessung wird von einem Abstand der Bohrpfähle von 1m ausgegangen. Daraus ergibt sich eine niedrige Überschneidung von lediglich 20 cm. Für die Bauausführung ist der Abstand der Bohrpfähle abhängig von der erzielbaren Dichtigkeit der Wand in Verbindung mit erreichbaren Lotabweichungen und entsprechend dem Einbauverfahren zu wählen. Für diese Bemessung ergibt sich aus der geringen Überschneidung ein ebenfalls geringer durchgehender Vollquerschnitt und liegt somit auf der sicheren Seite.

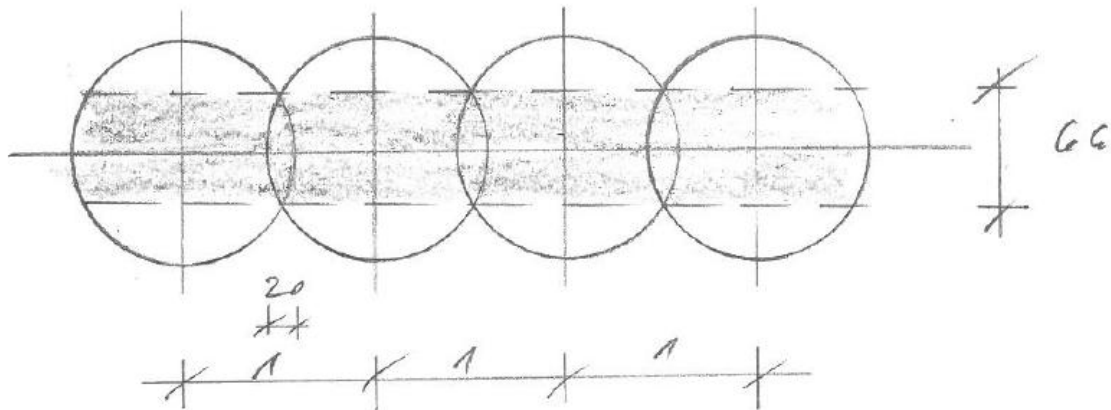


Abbildung 1: Überschnittene Bohrpfahlwand Ø 1,20 m

Betrachtet wird nur der durchgehende Vollquerschnitt mit $h = 0,66$ m.

A.d.s.S. sind die ungünstigen Werte miteinander kombiniert:

$$\begin{aligned}\sigma_d &= M/W + N/A = 91,25 / (0,66^2 / 6) - 3.515,85 / 0,66 = - 4.070,16 \text{ kN/m}^2 \\ &= - 4,1 \text{ N/mm}^2 \\ f_{cd} &= 14,2 \text{ N/mm}^2 \quad \text{C 25/30}\end{aligned}$$

Der Querschnitt ist voll überdrückt, die Druckspannungen liegen unterhalb der Druckfestigkeit.

3. Bohrpfahlwand, mehrfach rückverankert

Die Baugrube für die Herstellung des Bauwerkes reicht von GOK = +291,00 bis +274,30, hat also eine Tiefe von 16,70 m. Ab vermutlich +275,00 steht der Fels an. Wegen der großen Tiefe und den hohen Lasten in Folge Wasserdruck sind 5 Ankerlagen vorgesehen.

Wie bei der kreisförmigen Baugrube wird von einem Bohrpfahlabstand von 2 m (Sekundärpfähle) ausgegangen. Damit liegt die Bemessung auf der sicheren Seite, da die Belastungen der Tragelemente (Sekundärpfähle bewehrt, Ausfachung durch Primärpfähle und Anker) höher als bei geringen Abständen sind.

3.1. Randbedingungen

- Bohrpfahl $\varnothing = 1,20 \text{ m}$; $a = 2 \text{ m}$; C35/45
- Aktiver Erddruck
- Unverschieblicher Fuß
- Elastische Bettung mit
 $k_s = 50 \text{ MN/m}^3$ für Donauschotter
 $k_s = 100 \text{ MN/m}^3$ für Fels.
Adaptive Anpassung der Bettung entsprechend dem aufnehmbaren Erddruck.
- Last am Baugrubenrand entsprechend EB 57.1 über alle Bauphasen.
- Baugrubensohle in den Vorbauzuständen stets 50 cm unter Ankerlage.
- Grundwasser in den Vorbauzuständen stets 50 cm unter Baugrubensohle.

3.2. Durchführung der Bemessung

In einem ersten Schritt wird die Baugrube im Endzustand nachgewiesen. Hierzu wird zunächst ein Rechenlauf ohne Berücksichtigung der elastischen Verformung der Anker durchgeführt. Auf Grundlage des Ergebnisses werden geeignete Anker gewählt und eine erneute Bemessung mit Berücksichtigung der elastischen Verformung durchgeführt. Dann werden die Anker ggf. korrigiert und Vorspannkkräfte ca. entsprechend 80% der charakteristischen Ankerlast im Endzustand gewählt. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis es zu keinen relevanten Änderungen mehr kommt.

Aufbauend auf dieser Vorbemessung wird dann die Berechnung in allen Vorbauzuständen durchgeführt, bei der die Verformungen der Wand über alle Bauphasen hinweg kumuliert werden. Das Ergebnis in der letzten Phase Endzustand zeigt dann die tatsächliche Ankerbelastung.

Für die Bemessung werden die Maximalwerte aus allen Phasen verwendet.



3.3. Bemessungsergebnisse

Die Bemessungsergebnisse sind in Beilage 2 beigefügt.
Nachfolgend sind sie tabellarisch zusammengefaßt.

Anker	Lage [mNN]	F_d [kN]								Litzenanker 1570/1770		
		Endzustand	Vorbau 1	Vorbau 2	Vorbau 3	Vorbau 4	Vorbau 5	Vorbau 6	max F_d	Litzen 0,6"	$F_{R,d}$	E/R
1	288,50	386,70		399,50	501,40	418,70	449,20	394,50	501,40	3	743,00	67%
2	286,00	499,50			557,20	548,20	564,00	572,80	572,80	3	743,00	77%
3	283,00	1.214,70				1.195,30	952,00	1.228,50	1.228,50	6	1.487,00	83%
4	280,00	1.522,50					1.271,50	1.385,40	1.522,50	7	1.735,00	88%
5	277,00	535,80						472,80	535,80	3	743,00	72%

Tabelle 2: Bemessungsergebnisse Bohrpfahlwand

Verpreßkörper

Für die ansetzbare Mantelreibung der Verpreßkörper liegen keine Angaben vor.
Der Vorabzug des Geotechnischen Berichtes für die Organismenwanderhilfe vom 07.11.11 nennt als ansetzbaren Wert für Mikropfähle für Kies $q_{s,k} = 175 \text{ kN/m}^2$.

Anker	Lage [mNN]	Verpreßkörper Ø 20 cm	
		$\tau_{M,grenz}$ [MN/m ²]	L_{erf} [m]
1	288,50	175	6,38
2	286,00	175	7,29
3	283,00	175	15,64
4	280,00	175	19,39
5	277,00	175	6,82

Tabelle 3: Länge Verpreßkörper

Die Verpresskörperlänge ist für alle Lagen grenzwertig hoch, für Anker 3 und 4 fernab sinnvoller Längen.

Grundsätzlich ist daher der Abstand der Tragpfähle zu reduzieren, z.B. auf 1,75 m.

Bei den hoch belasteten Ankern 3 und 4 ist dann voraussichtlich noch die Ausführung von gespreizten Doppelankern erforderlich, ggf. ist auch eine Verankerung im Fels erforderlich.



4. Spundwand, mehrfach rückverankert

Mit Beginn der Böschung kann eine Bohrpfahlwand ohne vorhergehende Anschüttung nicht mehr ausgeführt werden und es muß eine Spundwand verwendet werden.

Für den Nachweis der Wand wird auf die Berechnung der Bohrpfahlwand zurückgegriffen, wobei die Höhen erhalten bleiben, die Böschung somit keinen Eingang in die Berechnung findet. Der Nachweis gilt somit für den höchsten Schnitt, weitere Nachweise unter Berücksichtigung der Böschung sind Aufgabe der Ausführungsplanung.

4.1. Randbedingungen

- Da die Spundwand eine andere Breite hat, wird der Ankerabstand von 2,00 m auf 1,20 m reduziert.
- Die Bemessung wird mit einem Profil Larssen L607n S 355 durchgeführt.
- Ansonsten sind die Randbedingungen gegenüber der Bemessung Bohrpfahlwand unverändert.
- Die Vordimensionierung der Verpresskörperlänge erfolgt analog denen der Bohrpfahlwand. Es gelten die gleichen Anmerkungen hinsichtlich Doppelankern und Verankerung im Fels.



4.2. Bemessungsergebnisse

Die Bemessungsergebnisse sind in Beilage 3 beigefügt.
Nachfolgend sind sie tabellarisch zusammengefaßt.

Anker	Lage [mNN]	F _d [kN]							
		Endzustand	Vorbau 1	Vorbau 2	Vorbau 3	Vorbau 4	Vorbau 5	Vorbau 6	max F _d
1	288,50	258,90		283,40	257,10	261,50	294,00	298,50	298,50
2	286,00	427,30			438,40	527,10	535,60	477,20	535,60
3	283,00	226,80				383,10	179,50	230,80	383,10
4	280,00	1.165,40					771,00	993,30	1.165,40
5	277,00	616,80						592,50	616,80
		Verpresskörper Ø20 cm							
Anker	Lage [mNN]	τ _{M,grenz} [MN/m ²]	L _{erf} [m]						
1	288,50	175	3,80						
2	286,00	175	6,82						
3	283,00	175	4,88						
4	280,00	175	14,84						
5	277,00	175	7,85						

Tabelle 4: Bemessungsergebnisse Spundwand

5. Fangedamm

Der Fangedamm sperrt die Baugrube zur Donau hin ab. Wegen der Uferböschung ist die Ausführung einer rückverankerten Wand nicht möglich.

Der Fangedamm ist verhältnismäßig breit. Dies ist einerseits in der statischen Erfordernis begründet, da wie bei der Bohrpfehlwand und der Spundwand eine Höhe von 16 m zu stützen ist. Zum anderen ergibt sich die große Breite aus konstruktiven Gründen, da die flußseitige Wand später die Geschiebeschwelle bilden wird. Die landseitige Wand folgt der Bauwerkskante.

5.1. Randbedingungen

- Der Fangedamm wird auf den Fels aufgestellt und bindet wasserseitig nicht planmäßig in diesen ein.
- Landseitig wird eine geringe Fußeinbindung erforderlich, die ein horizontal unverschiebliches Fußauflager gewährleistet. Hier wird voraussichtlich ein Vorbohren des Felses, ggf. in Verbindung mit Injektionen erforderlich.
- Es wird davon ausgegangen, daß der Fangedamm vollständig entwässert ist um die höhere Wichte der nur erdfeuchten Füllung berücksichtigen zu können. Hierzu ist die Installation mehrerer Brunnen erforderlich, die den Damm noch vor dem Aushub der Baugrube leerpumpen. Für die Ausführungsplanung ist diesem Punkt vertiefte Aufmerksamkeit zu widmen.
- Die untere Ankerlage wird höchstmöglich angesetzt um so wenig wie möglich innerhalb der bestehenden Uferböschung zu liegen zu kommen. Eine Überschneidung ließ sich dennoch nicht vermeiden, so daß ein Teil der Uferböschung vor Einbau der Ankerlage innerhalb des Dammes zunächst ausgebaggert werden muß. Erschwerend kommt hinzu, daß der Einbau unter Wasser erfolgen muß, da sich das Wasser innerhalb des Dammes vor dessen Fertigstellung nur sehr beschränkt absenken läßt.

5.2. Durchführung der Bemessung

Zunächst wird der Nachweis für die lastabgewandte Wand in der tiefen Gleitfuge geführt. Hierzu werden die Erddruckbeiwerte wie folgt modifiziert:

- $Kah' = 1,25 * Kah$
- $Kph' = Kph - Kah'$

Die tiefe Gleitfuge reicht dann vom Querkraftnullpunkt bis zur Unterkante einer frei aufgelagert gedachten Ersatzankerwand. Diese Unterkante liegt in der doppelten Tiefe des unteren Ankers. Damit und mit dem Nachweis der Standsicherheit der Wand ist der Nachweis der inneren Standfähigkeit des Fangedammes nachgewiesen. Der Nachweis der äußeren Standsicherheit erfolgt über eine Drehung des Dammes mit allen einwirkenden Kräften um den Pol einer logarithmischen Spirale. Die Nachweise werden für den dünnsten Bereich mit ca. 13,40 m geführt.

5.3. Nachweis der inneren Standsicherheit

Die Berechnungsergebnisse sind in Beilage 4 dargestellt.

5.4. Nachweis der äußeren Standsicherheit

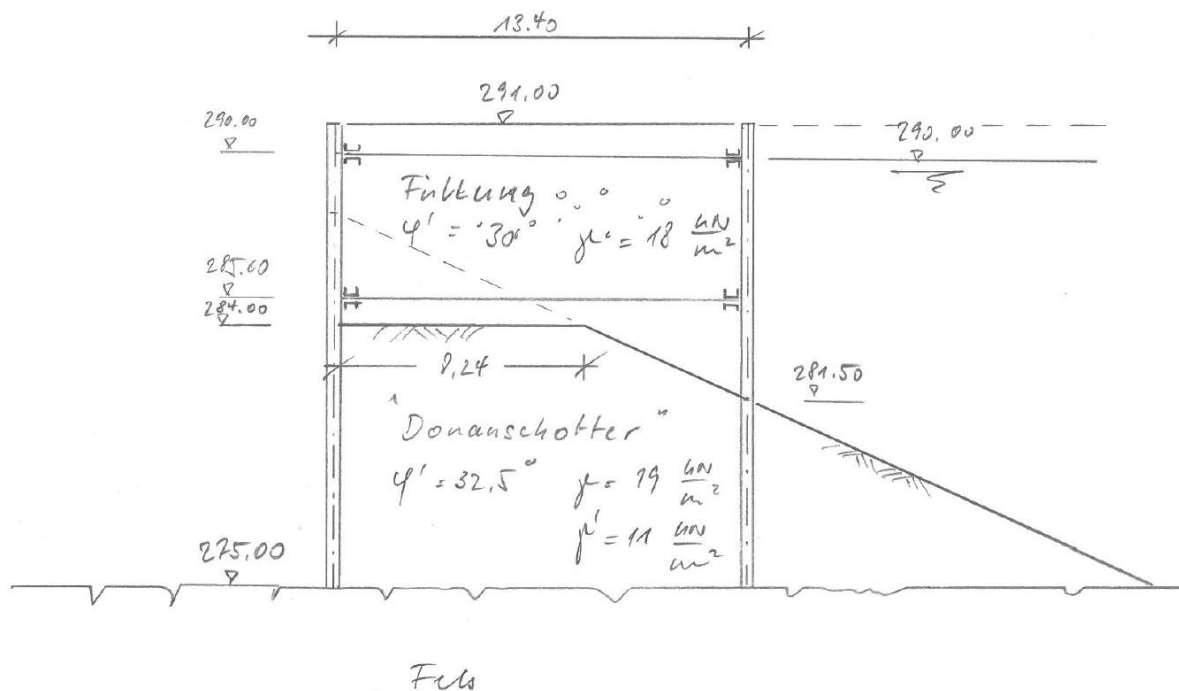


Abbildung 2: Fangedamm

Pol der Spirale

$$x_p = b \cdot \varepsilon = 13,40 \cdot 0,0398 = 0,53 \text{ m}$$

$$y_p = x_p / \tan \beta = 0,53 / \tan 4,32 = 7,06$$

$$F_s = b^2 \cdot \kappa = 13,40^2 \cdot 0,0978 = 17,56 \text{ m}^2$$

Beiwerte ε , β und κ gemäß Tafel 8.1, Spundwandhandbuch Ausgabe 10/00.

Gewicht Fangedamm

$$G = 19 \cdot (13,40 \cdot 9,00 - \frac{1}{2} \cdot 5,16 \cdot 2,50) + 18 \cdot (13,40 \cdot 7,00 + \frac{1}{2} \cdot 5,16 \cdot 2,50)$$

$$G = 3.973,35 \text{ kN/m}$$

$$G_{FS} = 17,56 - 19 = 333,64 \text{ kN/m}$$

$$G' = 3.973,35 - 333,64 = 3.639,71 \text{ kN/m}$$

Erddruck

$$\beta \approx -25^\circ ; K_{ah} = 0,20$$

$$e_{ah} = 0,20 \cdot 6,50 \cdot 11 = 14,30 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ah} = 14,30 \cdot 6,5 / 2 = 46,48 \text{ kN/m}$$

$$E_{av} = 46,48 \cdot \tan (2/3 \cdot 32,5) = 18,47 \text{ kN/m}$$

Wasserdruck

$$w = 10 \cdot 15 = 150 \text{ kN/m}^2$$

$$W = 150 \cdot 15 / 2 = 1.125 \text{ kN/m}$$

Drehung um Pol der Spirale

$$M = G' \cdot (13,40 / 2 - 0,53) - E_{ah} \cdot (6,50 / 3 + 7,06) + E_{av} \cdot (13,40 - 0,53) - W \cdot (15 / 3 + 7,06)$$

$$M = 3.639,71 \cdot 6,17 - 46,48 \cdot 9,23 + 18,47 \cdot 12,87 - 1.125 \cdot 12,06 = 8.698,21 \text{ kNm/m}$$

Gemäß Nachweis in Spundwandhandbuch Ausgabe 10/00, S. 218 nach Globalsicherheitskonzept:

$$\text{vorh } M_{W\ddot{u}} = 1.125 \cdot 12,06 = 13.567,50 \text{ kNm/m}$$

$$\text{mögl } M_{W\ddot{u}} = 13.567,50 + 8.698,21 = 22.265,71 \text{ kNm/m}$$

$$\eta = 22.265,71 / 13.567,50 = 1,64$$

Die geforderte Sicherheit von $\eta = 1,50$ wird somit erreicht.