



Landeshauptstadt Düsseldorf
Stadtentwässerungsbetrieb

Schließung der Deichlücke in der Ortslage Himmelgeist

3. Bereich (Himmelgeister Landstraße)

zw. Rheinstrom-km 730,05 und 730,70 - rechtes Ufer

Genehmigungsplanung

Geotechnik u. Tragwerksplanung

Erdstatische Vorbemessung der Spundwand

Bearbeiter: Arge Hahn-Bender / Patt / Borchert
Fachplaner: Borchert Ingenieure GmbH & Co. KG
Steeler Straße 529
45276 Essen
Tel.: (0201) 43 555 0
Fax: (0201) 43 555 43
E-Mail: info@borchert-ing.de



BORCHERT INGENIEURE

Umwelt - Geotechnik - Baugrundlabor

Essen, im Dezember 2018



Borchert Ingenieure · Steeler Straße 529 · 45276 Essen

ARGE Hahn-Bender/Patt/Borchert
Feldstraße 76
46485 Wesel

Borchert Ingenieure GmbH & Co. KG
Steeler Straße 529 · 45276 Essen

Geschäftsführende Gesellschafter
Dipl.-Geol. Thomas Kellner
Dipl.-Ing. Christoph Borchert
Öffentlich bestellter und vereidigter
Sachverständiger für Bodenmechanik,
Erd- und Grundbau der Industrie- und
Handelskammer zu Essen
Staatlich anerkannter Sachverständiger für Erd-
und Grundbau der Ingenieurkammer-Bau NRW

fon 0201 / 43555-0
fax 0201 / 43555-43
info@borchert-ing.de
www.borchert-ing.de

vorab per Mail an (Herr Hahn):
bender-ing.-buero@t-online.de

Projekt	7290
Zeichen	SO
Datum	03.12.2018
Datei	7290-b1

Geotechnischer Bericht 7290-b1-Rev.2

Schließung der Deichlücke in der Ortslage Himmelgeist, 3. Bereich

Projekt	: Schließung der Deichlücke in der Ortslage Himmelgeist, 3. Bereich – Himmelgeister Landstraße
Auftraggeber	: ARGE Hahn-Bender/Patt/Borchert
Leistung / Arbeitsschritt	: Erdstatische Vorbemessung der Spundwand

Anlage: - Anlage 1: Protokoll der erdstatischen Vorbemessung der Spundwand



1. Veranlassung und Vorgehen

Die Stadtentwässerungsbetriebe Düsseldorf (SEBD) planen die Schließung der Deichlücke in der Ortslage Himmelgeist, 3. Bereich – Himmelgeister Landstraße zwischen Rhein-km 730,0 und 730,7. Der derzeitige Hochwasserschutz wird auf einem kleinen Streckenabschnitt durch die Himmelgeister Straße, zum größten Teil jedoch durch einen Erddeich mit geringer Höhe bis $h = \text{ca. } 1,20 \text{ m}$ gebildet. Der Erddeich verläuft entlang der rheinseitigen Grundstücksgrenzen der Bebauungen an der Himmelgeister Landstraße. Die vorhandene Deichkrone liegt heute um $\text{ca. } 0,37 \dots 0,77 \text{ m}$ unterhalb des maßgebenden Wasserspiegels zum BHQ_{2004} . Auf dem gesamten Streckenabschnitt ist das vorgabemäßige Freibord von 1,0 Meter derzeit nicht geschützt, so dass Minderhöhen von mehr als einem Meter gegenüber dem Schutzziel bestehen. Ein dem Stand der Technik entsprechender, ausreichender Hochwasserschutz ist damit z. Zt. nicht gegeben. Ein Neubau der Hochwasserschutzanlage ist dringend erforderlich.

Nachstehend erfolgt die erdstatische Bemessung der zur Aufnahme des Kopfbalkens als Auflager des mobilen Hochwasserschutzelements erforderlichen Spundwand, die in den bestehenden Deichkörper einzubringen ist. Weiterhin sind Hinweise zur Verfahrenstechnik der Spundwandeinbringung gegeben.

2. Randbedingungen

Die Nachweisführung erfolgte im geometrisch kritischen Schnitt Stat 0+200, ermittelt aus dem vorliegenden Längsschnitt (Planungsstand März 2017). Die konkreten geometrischen Abmessungen wurden aus dem entsprechenden Querprofil übernommen. Dabei zeigt sich im betroffenen Schnitt die größte Höhendifferenz zwischen der Deichkrone und dem landseitigen Deichfuß.

Die Bemessung erfolgte mit den Teilsicherheitsbeiwerten der Bemessungssituation BS-P in Anlehnung an die EAU 2012 unter Annahme der Erosion der wasserseitigen Böschung auf die Böschungsneigung von 1:6 und den plötzlichen Abfall des Wasserstands auf $\text{BHQ}/3$.

Als Flächenlast auf dem Deichverteidigungsweg auf der Deichkrone erfolgte der Ansatz von $33,3 \text{ kN/m}^2$ als Ersatzflächenlast eines SLW 60 mit einer Gesamtlast von 600 kN. Dies entspricht einem Fahrzeug mit einem Gesamtgewicht von $\text{ca. } 60 \text{ t}$.



In Ermangelung der konkreten Lastannahmen des noch zu wählenden mobilen Hochwasserschutzsystems erfolgte der Ansatz einer Ersatzlast am Spundwandkopf aus Erfahrungswerten ($V=13 \text{ kN/m}$; $H=6 \text{ kN/m}$). Ggf. wird eine Anpassung dieser Lasten bei Bekanntwerden des tatsächlich gewählten mobilen Hochwasserschutzsystems erforderlich.

3. Berechnungsergebnisse

Im vorliegenden System zeigt sich der Nachweis des Fußauflagers mit einem rechnerischen Ausnutzungsgrad von $\mu=1,0$ als Bemessungsmaßgebend. Hieraus ergibt sich eine rechnerische Mindestspundwandlänge von erf. $L = 5,31 \text{ m}$.

Alle übrigen Einzelnachweise sind mit Ausnutzungsgraden von $\mu \ll 1,0$ erfüllt.

4. Spundwandgeometrie und -abmessungen

Das zu wählende Spundwandprofil muss folgende Mindestanforderungen erfüllen:

- Profillänge $L \geq 5,5 \text{ m}$
- Z-Profil oder U-Profil mit Widerstandsmoment $W_y \geq 510 \text{ cm}^3/\text{m}$
- verfahrenstechnisch erforderliche Wanddicke $\geq 10/10 \text{ mm}$

Gemäß den Ergebnissen der erdstatischen Standsicherheitsnachweise der geplanten Spundwand ist eine rechnerische Spundwandwandlänge von $5,31 \text{ m}$ erforderlich. Im angesetzten Ersatzsystem liegt der Spundwandkopf dabei auf GOF (=BHQ₂₀₀₄, OK Sockel).

In der tatsächlichen Ausführung wird ein Dammbalkensystem eingesetzt, das in einem Kopfbalken verankert wird. In diesen Kopfbalken, der ca. 30 cm über Gelände steht, bindet die Spundwand ein. Ausgehend von einem etwa 1 m hohen und $0,75 \text{ m}$ breiten Kopfbalken und einer Einbindung der Spundwand von etwa 30 cm für den kraftschlüssigen Verbund zwischen Kopfbalken und Spundwand resultiert hieraus eine theoretisch erforderliche Spundwandlänge von $5,31 \text{ m} - 0,7 \text{ m} = 4,61 \text{ m}$.



Es wird jedoch dringend empfohlen eine Reserve bezüglich der Spundwandlänge einzuplanen, um eine gewisse Flexibilität bezüglich der weiteren Planung sicherzustellen. Z.B. stehen das konkrete Dammbalkensystem und damit die endgültigen Beanspruchungen und Abmessungen des erforderlichen Kopfbalkens noch nicht fest.

In Analogie zur vorstehend ausgeführten Empfehlung bezüglich der vorzusehenden Spundwandlänge stellt die Profildicke von $\geq 10/10$ mm eine Steifigkeit des Profils sicher, die die Eignung der Spundbohlen für jegliche Einbringverfahren gewährleistet auch wenn Unwägbarkeiten im anstehend Baugrund angetroffen werden, die die Einbringung lokal erschweren können (z.B. Verockerungen der anstehenden Kiessande oder grobstückige Einlagerungen).

5. Einbringverfahren

Bezüglich der Einbringung der Spundbohlen wird in Anbetracht der ortsnahen Bestandsbebauung ein erschütterungs- und geräuscharmes Verfahren empfohlen. Dabei muss die tatsächliche Wahl des Einbringungsverfahrens unter Abwägung des Verhältnisses zwischen ökonomischem Aufwand und Risikominimierung bezüglich etwaiger Schäden in der Umgebung des Bauvorhabens (z.B. Rissbildungen an Bestandsbebauung oder Lärmemission) bauherrenseits erfolgen. Hierfür sind konkrete Verfahrensvergleiche erforderlich.

Als exemplarische Verfahren, die die Bandbreite der gegenwärtig am Markt angebotenen Verfahrenstechnik verdeutlichen, können nachstehende Verfahren genannt werden. Dabei werden ausschließlich die Vibration oder das Einpressen dargestellt, da das Rammen im vorliegenden Fall nach Erfahrung der Unterzeichner in Anbetracht der Bestandsbebauung in unmittelbarer bis mittelbarer Nähe nicht empfehlenswert ist.



1. Vibrationsverfahren

- **Einbringung durch Schwingungserzeugung mittels Vibrationsbär**

2. Einpressverfahren

- **Einbringung mittels Silent-Piler-Verfahren im Standardbetrieb** (Einpressen ohne Unterstützung durch Zusatzvorrichtungen)
- **Einbringung mittels Silent-Piler-Verfahren mit Spülhilfe** (leichteres Einpressen durch vorübergehende Auflockerung des tiefer liegenden Bodens mittels Wasserstrahl)
- **Einbringung mittels Silent-Piler-Verfahren mit gleichzeitigem Durchbohren** (leichteres Einpressen auch bei vorhandenen Verockerungen und/oder grobstückigen Einlagerungen)
- **Einbringung mittels Hydro-Press-System** (optional mit oder ohne Auflockerung des Baugrunds durch mittels Bohrantrieb)

Dabei werden die Silent-Piler-Verfahren mittels selbstschreitender Pressen ausgeführt. D.h., dass die Pressmaschine auf die mittels einer Startvorrichtung bereits in den Boden eingepressten Spundbohlen aufgesetzt und festgeklemmt und nachfolgend in die letzte bereits eingepresste Bohle die nächste Bohle eingefädelt und hubweise eingepresst wird. Die Spundbohlen selbst bilden hier also das Widerlager für das Einpressen. **Dementsprechend können vergleichsweise kurze Spundbohlenlängen, wie vorliegend der Fall, zu kurz sein, um ein ausreichendes Widerlager zu bilden. Die Verlängerung der Spundbohlen oder ein Verschweißen etc. kann notwendig werden, um das Verfahren anwendbar zu machen.**

Im Gegensatz dazu stellt das Hydro-Press-System ein sogenanntes mäklergeführtes Verfahren dar. Die Widerlagerkraft zum Einpressen wird hier durch die Mantelreibung bereits eingebrachter Bohlen, jedoch auch durch das Eigengewicht der mäklergeführten Presse, das Eigengewicht des Mäklers und das Eigengewicht des Geräteträgers generiert. **Kurze Spundbohlenlängen sind hier weniger schnell kritisch. Da das Gerät nicht selbstschreitend ist, muss ein entsprechender, stabiler Fahrweg für den Geräteträger (schweres Baggergerät) auf der gesamten Einbringlänge vorgehalten werden.**



Der Vollständigkeit halber muss an dieser Stelle die freireitende Spundwandpresse aufgeführt werden. Von diesem Verfahren wird aufgrund einer gewissen Anfälligkeit für Stillstandszeiten bei vorhandenen grobstückigen Einlagerungen, die per Aushub entfernt werden müssen, jedoch abgeraten.

Gemäß der beigelegten Vorbemessung (Anlage 1) wurde das Spundwandprofil Larssen 600 gewählt. Dieses ist mittlerweile am Markt nicht mehr verfügbar und vergleichbar mit dem aktuell verfügbaren Profil der Bezeichnung tkL 603. Nicht alle vorstehend genannten Verfahren sind dabei mit jeder Spundbohlengeometrie bzw. jeder Schlossform kompatibel. Deshalb ist eine konkrete Empfehlung des Spundwandprofils als generelle Aussage zum aktuellen Planungszeitpunkt nicht sinnvoll. Die verfahrenstechnische Kompatibilität zwischen Einbringverfahren, Spundbohlengeometrie und Schlossform kann im Rahmen der Genehmigungsplanung nicht letztgültig geklärt werden.

Im Zweifelsfall wird empfohlen die Probeeinbringung von 5-10 m lfdm Spundbohlen durchzuführen, um den tatsächlich erforderlichen Verfahrensaufwand zur emissionsarmen Einbringung der Spundbohlen zu ermitteln.

Grundsätzlich ist die Beweissicherung an den bestehenden Umgebungsbauten als bauvorbereitende und als baubegleitende Maßnahme anzuraten.

6. Schlussbemerkungen

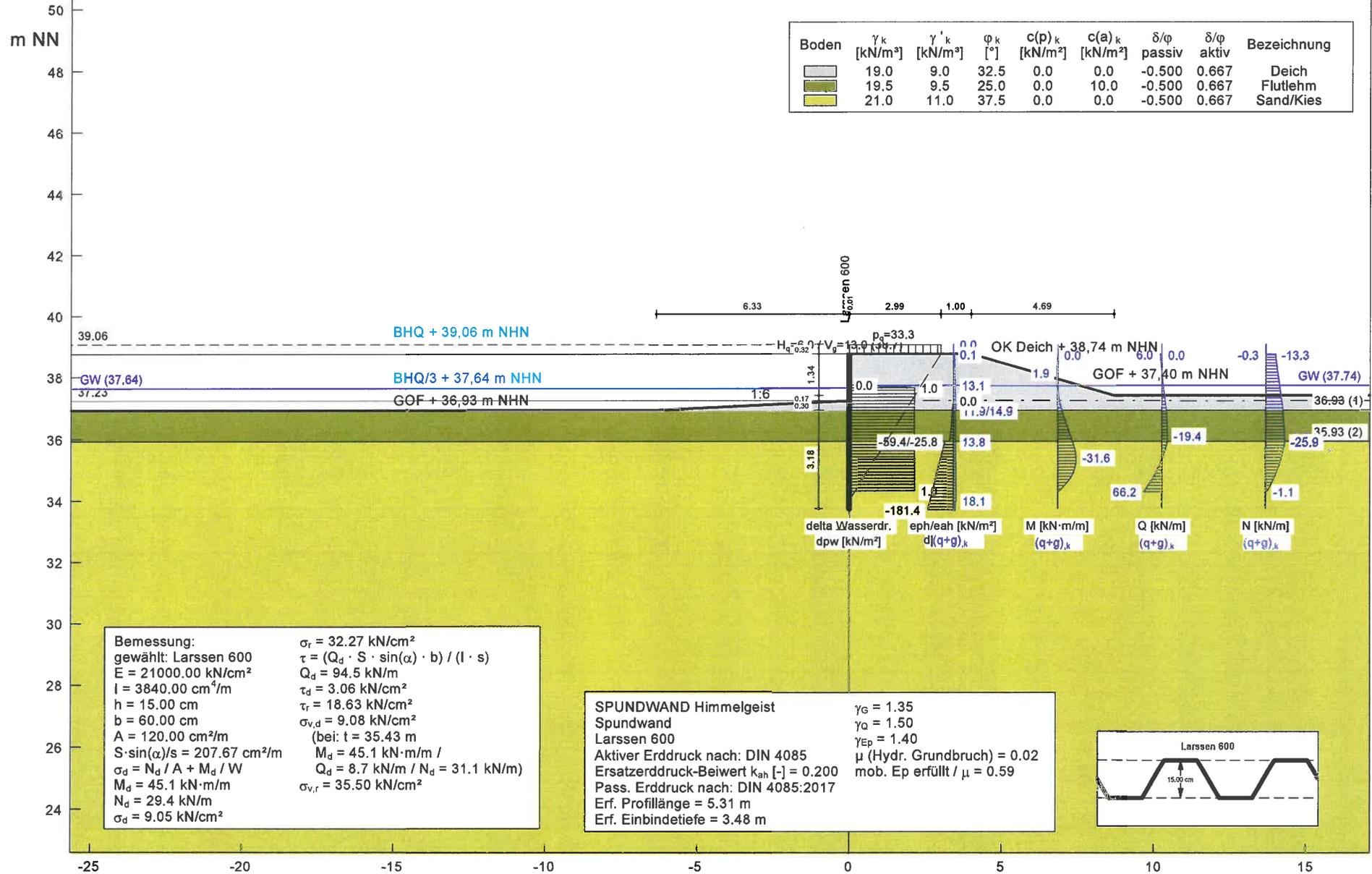
- (1) Sollten während der weiteren Ausführung von den bisherigen Feststellungen abweichende baugrundtechnische Gegebenheiten angetroffen werden oder seitens der örtlichen Bauleitung Zweifel über die Tragfähigkeit der anstehenden Böden bestehen, sind vor Ort Termine mit dem Projektingenieur der Borchert Ingenieure GmbH & Co. KG zu veranlassen.
- (2) Der vorliegende Bericht ist nur in seiner Gesamtheit verbindlich und bezieht sich ausschließlich auf den uns zum Zeitpunkt der Ausarbeitung des Gutachtens bekannten Planungsstand.

Dipl.-Ing. Christoph Borchert

Staatlich anerkannter Sachverständiger

Dr.-Ing. Stefan Otten

Projektleiter



Spundwand

=====

Teilsicherheitskonzept (DIN 1054:2005)

SPUNDWAND Himmelgeist

Indices:

d = Bemessungswert

k = charakteristisch

g = Ständig, einschließlich Wasserdruck

q = Veränderlich

g+q = Ständig + Veränderlich, einschließlich Wasserdruck

w = Wasserdruck

Wandkopf = 39.06 m

Maximale Teilung bis Baugrubensohle: 0.100 m

Maximale Teilung unter Baugrubensohle: 0.100 m

Baugrubensohle = 37.23 m

Grundwasserstand (rechts) = 37.74 m

Grundwasserstand (links) = 37.64 m

Wasserdruck auf "0.0" gesetzt, wenn zur Erdseite gerichtet.

Teilsicherheiten

$\gamma_G = 1.35$

$\gamma_Q = 1.50$

$\gamma_{Ep} = 1.40$

Anpassungsfaktor Erdwiderstand = 1.00

Bermen auf der Aktivseite

Nr.	x1	x2	dh	a	x	y	Auflast	Verkehr
[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[-]
1	0.00	0.01	-0.32	0.00	0.00	0.35	0.00	nein
2	4.00	8.69	-1.34	-1.14	7.78	9.12	0.00	nein

Der Einfluss von Aktivbermen auf den aktiven Erddruck wird gemäß den Beziehungen in "Spundwand-Handbuch Berechnung (1977) Abschnitt 4.9.2.2" berechnet.

Bermen	auf	der	Passivseite	
Nr.	x1	x2	dh	Auflast
[-]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]
1	-0.01	-6.34	-0.30	0.00

Der Einfluss von Passivbermen auf den passiven Erddruck wird in Analogie zu den Beziehungen in "Spundwand-Handbuch Berechnung (1977) Abschnitt 4.9.2.2" für Aktivbermen berechnet.

Flächenlast p = 0.00 kN/m² als Verkehrslast

Lasten (zweiseitig begrenzt)

Nr.	sig(v)	x(links)	x(rechts)	Tiefe	y(1)	y(2)	y(3)	y(4)	Verkehrslast
[-]	[kN/m ²]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]
1	33.30	0.00	3.00	38.74	38.74	38.73	34.01	34.01	ja

Momente (im Uhrzeigersinn positiv)

Horizontalkräfte (nach rechts positiv)

Vertikalkräfte (nach unten positiv)

Nr.	Tiefe	M,g,k	M,q,k	H,g,k	H,q,k	V,g,k	V,q,k
[-]	[m]	[kN·m/m]	[kN·m/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	38.74	0.00	0.00	0.00	6.00	13.00	0.00

Art des Fußlagers:

Profillänge automatisch

Nachweis Fußauflager erbracht mit folgenden Kräften:

Eph,d = 181.95 kN/m (Epv,d = -59.85 kN/m)

Ausnutzungsgrad (Erdwiderstand) = Bh,d / Eph,d = 1.000

Bh(g+q),d = 181.95 kN/m

Bh,g,d = 93.71 kN/m

Bh,q,d = 88.24 kN/m

Bh,w,d = 10.19 kN/m

Ersatzkräfte C_n (Blum)

C_{h,k} = 66.24 kN/m

C_{h,g,k} = 32.74 kN/m

C_{h,q,k} = 33.50 kN/m

C_{h,w,k} = 3.56 kN/m

Bodenkennwerte

Schicht	UK	γ _k	γ' _k	φ _k	c(pas),k	c(akt),k	d(p)/φ	d(a)/phi
[-]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[-]	[-]
1	36.93	19.00	9.00	32.50	0.00	0.00	-0.500	0.667
2	35.93	19.50	9.50	25.00	0.00	10.00	-0.500	0.667
3	21.00	21.00	11.00	37.50	0.00	0.00	-0.500	0.667

Aktive Erddruckbeiwerte

Ersatzerddruck-Beiwert kah [-] = 0.200

bestimmt nach: DIN 4085

(Erddruckbeiwerte für horizontales Gelände)

Schicht	UK	k _{agh}	k _{ach}	φ _k	δ	θ
[-]	[m]	[-]	[-]	[°]	[°]	[°]
1	36.93	0.251	0.866	32.500	21.68	57.46
2	35.93	0.346	1.043	25.000	16.67	53.00
3	21.00	0.200	0.762	37.500	25.01	60.41

Aktive Erddruckordinaten ([g+q],k)

von	bis	oben	unten	Wasserdruck	Wasserdruck
[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	oben[kN/m ²]	unten[kN/m ²]
39.060	38.740	0.000	0.124	0.00	0.00
38.740	38.735	0.124	8.472	0.00	0.00
38.735	38.712	8.472	8.481	0.00	0.00
38.712	37.953	8.481	12.091	0.00	0.00
37.953	37.740	12.091	13.107	0.00	0.00
37.740	37.640	13.107	13.333	0.00	1.00
37.640	37.230	13.333	14.258	1.00	1.00
37.230	37.226	14.258	14.268	1.00	1.00
37.226	37.029	14.268	14.712	1.00	1.00
37.029	36.930	14.712	14.934	1.00	1.00
36.930	36.030	11.918	13.628	1.00	1.00
36.030	35.930	13.628	13.818	1.00	1.00
35.930	35.428	13.850	14.957	1.00	1.00
35.428	35.026	14.957	15.842	1.00	1.00
35.026	34.323	15.842	17.392	1.00	1.00
34.323	34.123	17.392	17.835	1.00	1.00
34.123	34.012	17.835	18.079	1.00	1.00
34.012	34.007	18.079	11.415	1.00	1.00
34.007	32.106	11.415	15.606	1.00	1.00
32.106	22.988	15.606	31.289	1.00	1.00
22.988	21.000	31.289	35.674	1.00	1.00

Passive Erddruckbeiwerte

bestimmt nach: DIN 4085:2017

(Erddruckbeiwerte für horizontales Gelände)

Schicht	UK	k _{pgh}	k _{pch}	φ _k	δ	θ
[-]	[m]	[-]	[-]	[°]	[°]	[°]
1	36.93	5.311	5.521	32.500	-16.25	19.04
2	35.93	3.290	4.071	25.000	-12.50	23.85
3	21.00	7.575	6.924	37.500	-18.75	15.76

Passive Erddruckordinaten (Bemessungswerte)

Teilsicherheit Erdwiderstand = 1.40

Anpassungsfaktor Erdwiderstand = 1.00

von	bis	oben	unten
[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
37.64	37.23	0.00	0.00
37.23	37.23	0.00	0.00
37.23	37.03	0.00	-6.08
37.03	36.93	-6.08	-9.12
36.93	36.03	-5.65	-23.79
36.03	35.93	-23.79	-25.81
35.93	35.43	-59.43	-86.43
35.43	35.03	-86.43	-108.02

35.03	34.32	-108.02	-145.81
34.32	34.12	-145.81	-156.61
34.12	34.01	-156.61	-163.20
34.01	34.01	-163.20	-163.50
34.01	32.11	-163.50	-276.61
32.11	22.99	-276.61	-819.30
22.99	21.00	-819.30	-937.64

Schnittgrößen (Bemessungswerte)

Tiefe [m]	N [kN/m]	Q [kN/m]	M [kN·m/m]
39.06	0.0	0.0	0.0
38.74	-0.4	0.0	0.0
38.74	-18.0	9.0	0.0
38.73	-18.0	8.9	0.0
38.71	-18.1	8.6	0.2
37.95	-23.7	-2.8	2.7
37.74	-25.5	-6.7	1.7
37.64	-26.4	-8.7	0.9
37.23	-30.1	-17.4	-4.4
37.23	-30.2	-17.5	-4.5
37.03	-31.9	-21.3	-8.4
36.93	-32.6	-22.8	-10.5
36.03	-35.9	-27.6	-34.2
35.93	-36.0	-27.3	-37.0
35.43	-29.4	-2.8	-45.1
35.03	-21.2	25.6	-40.8
34.32	-0.5	94.5	0.0

Schnittgrößen (g,d)

Tiefe [m]	N [kN/m]	Q [kN/m]	M [kN·m/m]
39.06	0.0	0.0	0.0
38.74	-0.4	0.0	0.0
38.74	-18.0	0.0	0.0
38.73	-18.0	0.0	0.0
38.71	-18.0	0.0	0.0
37.95	-19.8	-2.0	-0.5
37.74	-20.5	-3.2	-1.1
37.64	-20.9	-4.0	-1.5
37.23	-22.6	-7.5	-3.8
37.23	-22.6	-7.6	-3.8
37.03	-23.5	-9.2	-5.5
36.93	-23.8	-9.8	-6.4
36.03	-25.8	-12.2	-16.8
35.93	-26.0	-12.1	-18.0
35.43	-23.2	-0.8	-21.5
35.03	-19.6	12.4	-19.3
34.32	-10.6	44.2	0.0

Schnittgrößen ((g+q),k)

Tiefe [m]	N [kN/m]	Q [kN/m]	M [kN·m/m]
39.06	0.0	0.0	0.0
38.74	-0.3	0.0	0.0
38.74	-13.3	6.0	0.0
38.73	-13.3	6.0	0.0
38.71	-13.4	5.8	0.2
37.95	-17.2	-2.0	1.7
37.74	-18.5	-4.7	1.0
37.64	-19.1	-6.1	0.5
37.23	-21.8	-12.2	-3.2
37.23	-21.8	-12.2	-3.3
37.03	-23.0	-14.9	-6.0
36.93	-23.5	-15.9	-7.5
36.03	-25.8	-19.3	-24.1
35.93	-25.9	-19.1	-26.0
35.43	-21.3	-2.0	-31.6
35.03	-15.6	18.0	-28.6
34.32	-1.1	66.2	0.0

Schnittgrößen (g,k)

Tiefe [m]	N [kN/m]	Q [kN/m]	M [kN·m/m]
39.06	0.0	0.0	0.0
38.74	-0.3	0.0	0.0
38.74	-13.3	0.0	0.0
38.73	-13.3	0.0	0.0
38.71	-13.3	0.0	0.0
37.95	-14.6	-1.5	-0.4
37.74	-15.2	-2.4	-0.8
37.64	-15.5	-2.9	-1.1
37.23	-16.8	-5.6	-2.8
37.23	-16.8	-5.6	-2.8
37.03	-17.4	-6.8	-4.1
36.93	-17.7	-7.3	-4.8
36.03	-19.1	-9.1	-12.4
35.93	-19.2	-9.0	-13.3
35.43	-17.2	-0.6	-15.9
35.03	-14.5	9.2	-14.3
34.32	-7.9	32.7	0.0

Schnittgrößen (q,k)

Tiefe [m]	N [kN/m]	Q [kN/m]	M [kN·m/m]
39.06	0.0	0.0	0.0
38.74	0.0	0.0	0.0
38.74	0.0	6.0	0.0
38.73	0.0	6.0	0.0
38.71	-0.1	5.8	0.2
37.95	-2.6	-0.5	2.2
37.74	-3.3	-2.3	1.8
37.64	-3.6	-3.2	1.6
37.23	-5.0	-6.6	-0.4
37.23	-5.0	-6.6	-0.5
37.03	-5.6	-8.1	-1.9
36.93	-5.9	-8.6	-2.7
36.03	-6.7	-10.3	-11.6
35.93	-6.7	-10.1	-12.7
35.43	-4.2	-1.4	-15.7
35.03	-1.1	8.8	-14.4
34.32	6.7	33.5	0.0

Schnittgrößen (w,k)

Tiefe [m]	N [kN/m]	Q [kN/m]	M [kN·m/m]
39.06	0.0	0.0	0.0
38.74	0.0	0.0	0.0
38.73	0.0	0.0	0.0
38.71	0.0	0.0	0.0
37.95	0.0	0.0	0.0
37.74	0.0	0.0	0.0
37.64	0.0	-0.1	0.0
37.23	0.0	-0.5	-0.1
37.23	0.0	-0.5	-0.1
37.03	0.0	-0.6	-0.2
36.93	0.0	-0.7	-0.3
36.03	0.1	-1.1	-1.1
35.93	0.1	-1.1	-1.3
35.43	0.6	-0.2	-1.6
35.03	1.1	0.9	-1.5
34.32	2.3	3.6	0.0

Weggrößen ([g+q],k)

berechnet mit $EI = 8.064E+3 \text{ kN·m}^2/\text{m}$

Tiefe [m]	w [mm]												
39.06	-24.4	38.95	-23.7	38.85	-22.9	38.74	-22.2	38.74	-22.2	38.73	-22.1	38.73	-22.1
38.71	-22.0	38.71	-22.0	38.64	-21.4	38.06	-17.4	37.95	-16.6	37.95	-16.6	37.85	-15.9
37.85	-15.9	37.74	-15.1	37.74	-15.1	37.64	-14.4	37.64	-14.4	37.56	-13.8	37.34	-12.3
37.23	-11.5	37.23	-11.5	37.23	-11.4	37.23	-11.4	37.23	-11.4	37.13	-10.7	37.03	-10.0
37.03	-10.0	36.93	-9.4	36.93	-9.4	36.83	-8.7	36.13	-4.3	36.03	-3.8	36.03	-3.8
35.93	-3.3	35.93	-3.3	35.83	-2.8	35.53	-1.6	35.43	-1.3	35.43	-1.3	35.33	-1.0
35.13	-0.5	35.03	-0.4	35.03	-0.4	34.93	-0.2	34.42	0.0	34.32	0.0		

Verdrehung (Theoretischer Fußpunkt) [°]
phi,[g+q],k: 0.00000000
Theoretischer Fußpunkt = 34.323 m

Maximalwerte

Maximales Moment = $M_d = 45.1 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$
Maximale Querkraft = $Q_d = 94.5 \text{ kN/m}$
Zugehörige Normalkraft = $N_d = -29.4 \text{ kN/m}$
Maximale Verschiebung = $w_k = 24.4 \text{ mm}$
Wandkopfverdrehung = $\varphi_k = -0.40^\circ$

Nachweis Spundwand

gewählt: Larssen 600:

$E = 21000.00 \text{ kN/cm}^2$
 $I = 3840.00 \text{ cm}^4/\text{m}$
 $h = 15.00 \text{ cm}$
 $b = 60.00 \text{ cm}$
 $A = 120.00 \text{ cm}^2/\text{m}$
 $S \cdot \sin(\text{alp})/s = 207.67 \text{ cm}^2/\text{m}$
 $\sigma_d = N_d / A + M_d / W$
 $M_d = 45.1 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$
 $N_d = 29.4 \text{ kN}$
 $\sigma_d = 9.05 \text{ kN/cm}^2$
 $\sigma_r = 32.27 \text{ kN/cm}^2$

$\tau_d = (\max Q_d \cdot S \cdot \sin(\text{alp}) \cdot b) / (I \cdot s)$
 $\max Q_d = 94.5 \text{ kN/m}$
 $\tau_d = 3.06 \text{ kN/cm}^2$
 $\tau_r = 18.63 \text{ kN/cm}^2$
 $\sigma_{v,d} = 9.08 \text{ kN/cm}^2$
(bei: $t = 35.43 \text{ m}$)
 $M_d = 45.09 \text{ kN}\cdot\text{m} / Q_d = 8.73 \text{ kN} / N_d = 31.09 \text{ kN}$
 $\sigma_{v,r} = 35.50 \text{ kN/cm}^2$

$\max M_d = 45.1 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$ (Tiefe = 35.43 m)
Zugehörige Werte: $N_d = -29.4 \text{ kN/m}$; $Q_d = -2.8 \text{ kN/m}$; $w_k = 1.3 \text{ mm}$

$\max Q_d = 94.5 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$ (Tiefe = 34.32 m)
Zugehörige Werte: $N_d = -0.5 \text{ kN/m}$; $M_d = 0.0 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$; $w_k = 0.0 \text{ mm}$

$\max N_d = 36.0 \text{ kN/m}$ (Tiefe = 35.93 m)
Zugehörige Werte: $Q_d = -27.3 \text{ kN/m}$; $M_d = -37.0 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$; $w_k = 4.7 \text{ mm}$

$\max w_k = 24.4 \text{ mm}$ (Tiefe = 39.06 m)
Zugehörige Werte: $N_d = 0.0 \text{ kN/m}$; $Q_d = 0.0 \text{ kN/m}$; $M_d = 0.0 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

Vergrößerung der Einbindetiefe um 20.00 %

Einbindetiefe $t_g = 3.48 \text{ m}$
Profillänge = 5.31 m

Nachweis Summe V

Das Vorzeichen ist positiv, wenn Kraftgröße nach unten gerichtet ist.

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands

Bedingung: $G_k + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot C_{h,k} \cdot \tan(\delta_c) \geq (B_{h,k} - 0.5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan(\delta_p)$

$G_k = 5.01 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 13.00 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 24.34 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 60.05 \text{ kN/m}$)
 $C_{h,k} = 66.24 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -40.67 \text{ kN/m}$
 $\delta_p [^\circ] = -18.8$
 $\delta_c [^\circ] = 12.5$
Summe $V_k = 20.25 \text{ kN/m}$ (Druck)

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Nachweis mit Bemessungsgrößen

$(Q_{g,k} + B_{v,k} - 0.5 \cdot C_{h,k} \cdot \tan(\delta_p)) / \gamma_p \geq P_{v,d} + E_{av,d} + G_d + 0.5 \cdot C_{h,d} \cdot \tan(\delta_c)$

$(Q_{g,k} = \text{Druckkraft infolge Mantelreibung und Spitzendruck})$
(Mantelreibung nur unterhalb des rechnerischen Fußpunktes)

$\gamma_p \text{ i.a.} = 1.40$
 $P_{v,d} = 17.55 \text{ kN/m}$

$E_{av,d} = 34.81 \text{ kN/m}$
 $G_d = 6.76 \text{ kN/m}$
 $C_{h,d} = 94.45 \text{ kN/m}$

Folgender Nachweis ist zu erbringen:
 $(Q_{g,k} + 40.67 - 11.24) / \gamma_P \geq 69.58 \text{ kN/m}$

Horizontaler Wasserdruck herkömmlich bestimmt.

Hydraulische Grundbruchsicherheit
UK Schicht = 36.93
Gewicht = 2.66 kN/m^2
Strömungskraft = 0.04 kN/m^2
 $\gamma(\text{Gewicht}) = 0.95$
 $\gamma(\text{Strömungskraft}) = 1.35$
Ausnutzungsgrad Hydraulischer Grundbruch = 0.023
 $= 0.023 = (1.35 \cdot 0.04) / (0.95 \cdot 2.66)$

Nachweis Auftriebssicherheit nicht erforderlich !

Nachweis Aufbruchsicherheit nach EB 99
Verkehrslasten vereinfacht nach EAB EB 104 berücksichtigt
Faktor Verkehrslasten $f_Q = 1.500 / 1.350 = 1.111$
Teilsicherheit (Grundbruch) $\gamma(R_v) = 1.400$
Breite = 0.37 m
Gewicht G_k (einschließlich Verkehr) = 50.08 [kN/m]
(Verkehr erhöht mit Faktor = 1.111)
 $E_{av,k} (\delta = 2/3 \cdot \varphi) = 17.18 \text{ [kN/m]}$
Kohäsionskraft $K_k = 10.00 \text{ [kN/m]}$
Grundbruchlast $R_{n,k} = 1272.00 \text{ [kN/m]}$
Grundbruch mit:
Reibungswinkel $\varphi_k = 36.51 \text{ [}^\circ\text{]}$
Kohäsion $c_k = 0.00 \text{ [kN/m}^2\text{]}$
 $N_d = 40.298 / N_b = 29.091 / N_c = 53.086$
 $\sigma_{\bar{u}} = 80.743 \text{ [kN/m}^2\text{]}$
 $\text{mue} = [G_k \cdot \gamma_G] / [(P_{g,k} + K_k + E_{av,k}) / \gamma_{Gr}] = 0.073$
 $\text{mue} = [50.08 \cdot 1.35] / [(1272.00 + 10.00 + 17.18) / 1.400] = 0.073$