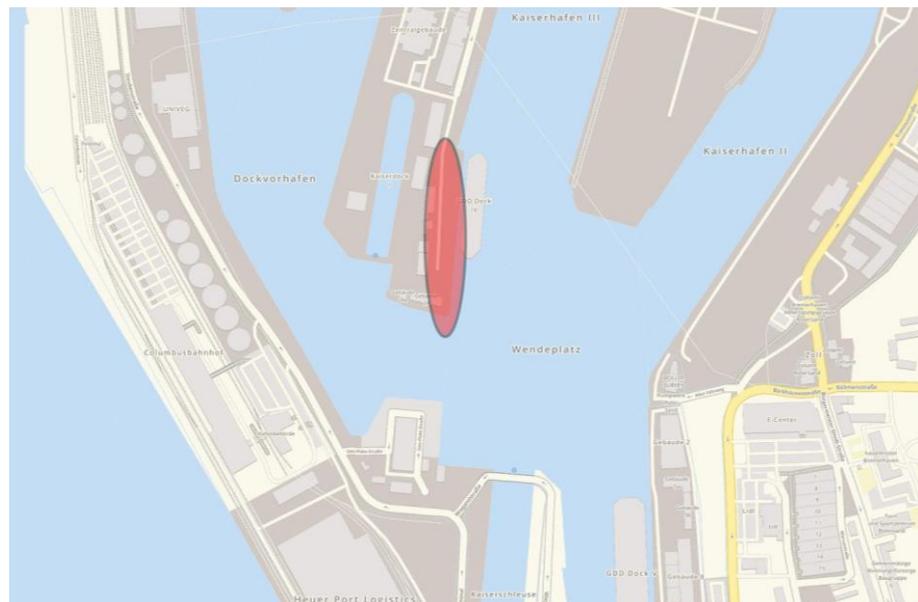


Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt

Entwurfsbericht Bau

Entwurfsstatik Teil 2 - Spundwandstatik



Auftraggeber:

Die Senatorin für Wissenschaft und Häfen

Stand:

25.05.2022

Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt

Entwurfsbericht Bau

Entwurfsstatik Teil 2 - Spundwandstatik

Auftragnehmer:

Bremenports GmbH & Co. KG
Am Strom 2
27568 Bremen

Auftraggeber:

Die Senatorin für Wissenschaft und Häfen
Katharinenstraße 37
28195 Bremen

Bearbeitung:

Bastian Borchers

Version: 00

Stand: 25.05.2022

Projektnummer / Dok-ID:

Revisionsseite

Revision	Datum	Von Seite	Bis Seite	Inde*	Bearbeiter	Grund
00	25.05.2022	1	316		Borchers	Ersterstellung

Aufgestellt, Bremerhaven, 25.05.2022

Bastian Borchers (SC 111-11)

E-Mail: bastian.borchers@bremenports.de

Telefon: 0471 / 30901 - 229

Geprüft, Bremerhaven, 25.05.2022

Christian Pabst (SC 11)

E-Mail: christian.pabst@bremenports.de

Telefon: 0471 / 30901 - 215

Inhaltsverzeichnis

Revisionsseite	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	11
Unterlagenverzeichnis	14
1 Geometrische Randbedingungen.....	15
1.1 Höhenangaben	15
1.2 Übersicht	16
1.3 Berechnungssohle.....	17
1.4 Querschnitte.....	18
2 Baugrund.....	20
3 Wasserstände	21
3.1 Hafenwasserstände Überseehäfen Bremerhaven	21
3.2 Grundwasserstände.....	21
4 Teilsicherheitsbeiwerte	22
5 Belastung	23
5.1 Eigengewicht (BS-P).....	23
5.2 Wasserüberdruck & Wichteänderung im Endzustand	23
5.3 Porenwasserüberdruck	23
5.4 Negative Mantelreibung.....	24
5.5 Betonholm	25
5.6 Nutzlasten.....	26
5.6.1 Allgemeine Nutzlast (BS-P).....	26
5.6.2 Schwerlaststapler (BS-P).....	27
5.6.3 Auslegerkran	29
5.7 Pollerzug (BS-P).....	31
6 Einwirkungskombinationen	32
6.1 EK 01 - Nutzlast + Verkehrsband 40 (BS-P).....	33
6.2 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P).....	34
6.3 EK 03 - Nutzlast + Schwerlaststapler (BS-P).....	35

6.4	EK 04 - Nutzlast + Auslegerkran (BS-P)	35
6.5	EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	36
6.6	EK 10 - Nutzlast + Schwerlaststapler + Pollerzug (BS-T)	37
6.7	EK 30 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + BS 3c (BS-A)	38
7	Abrostung	39
8	Spundwandberechnungen	40
8.1	Bemessungsprofil IX	40
8.1.1	Übersicht	40
8.1.2	Bodenkennwerte Erddruck.....	41
8.1.3	Besondere Berechnungsannahmen.....	42
8.1.4	Spundwand- und Ankernachweise.....	43
8.1.4.1	EK 01 - Nutzlast + Verkehrsband 40 (BS-P)	43
8.1.4.2	EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	45
8.1.4.3	EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P).....	47
8.1.4.4	EK 04 - Nutzlast + Auslegerkran (BS-P / BS-T)	48
8.1.4.5	EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	49
8.1.4.6	EK 10 - Nutzlast + Stapler + Pollerzug (BS-T)	51
8.1.4.7	EK 30 - Verkehrslasten (BS-A)	53
8.1.4.8	Zusammenfassung GGU Retain.....	54
8.1.4.9	Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	55
8.1.4.10	Herausziehwiderstand	58
8.2	Bemessungsprofil X	60
8.2.1	Übersicht	60
8.2.2	Bodenkennwerte Erddruck.....	61
8.2.3	Besondere Berechnungsannahmen.....	62
8.2.4	Spundwand- und Ankernachweise.....	63
8.2.4.1	EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	63
8.2.4.2	EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P).....	65
8.2.4.3	EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	67
8.2.4.4	Zusammenfassung GGU Retain.....	69
8.2.4.5	Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	70
8.2.4.6	Nachweis gegen Herausziehen	72
8.3	Bemessungsprofil XI	74
8.3.1	Übersicht	74
8.3.2	Bodenkennwerte Erddruck.....	75
8.3.3	Besondere Berechnungsannahmen.....	76
8.3.4	Spundwand- und Ankernachweise.....	77
8.3.4.1	EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	77
8.3.4.2	EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P).....	79
8.3.4.3	EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	81
8.3.4.4	Zusammenfassung GGU Retain.....	83

8.3.4.5	Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	84
8.3.4.6	Herausziehwiderstand	86
8.4	Bemessungsprofil XII	88
8.4.1	Übersicht	88
8.4.2	Bodenkennwerte Erddruck.....	89
8.4.3	Besondere Berechnungsannahmen.....	90
8.4.4	Spundwand- und Ankernachweise.....	91
8.4.4.1	EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	91
8.4.4.2	EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P).....	93
8.4.4.3	EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	95
8.4.4.4	Zusammenfassung GGU Retain.....	97
8.4.4.5	Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit.....	98
8.4.4.6	Nachweis gegen Herausziehen	100
8.5	Bemessungsprofil XIII	102
8.5.1	Übersicht	102
8.5.2	Bodenkennwerte Erddruck.....	103
8.5.3	Besondere Berechnungsannahmen.....	104
8.5.4	Spundwand- und Ankernachweise.....	105
8.5.4.1	EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	105
8.5.4.2	EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P).....	107
8.5.4.3	EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	109
8.5.4.4	Zusammenfassung GGU Retain.....	111
8.5.4.5	Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit.....	112
8.5.4.6	Nachweis gegen Herausziehen	114
8.6	Bemessungsprofil XIV	116
8.6.1	Übersicht	116
8.6.2	Bodenkennwerte Erddruck.....	117
8.6.3	Besondere Berechnungsannahmen.....	118
8.6.4	Spundwand- und Ankernachweise.....	119
8.6.4.1	EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	119
8.6.4.2	EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P).....	121
8.6.4.3	EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	123
8.6.4.4	Zusammenfassung GGU Retain.....	125
8.6.4.5	Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit.....	126
8.6.4.6	Nachweis gegen Herausziehen	128
8.7	Bemessungsprofil XV	130
8.7.1	Übersicht	130
8.7.2	Bodenkennwerte Erddruck.....	131
8.7.3	Besondere Berechnungsannahmen.....	132
8.7.4	Spundwand- und Ankernachweise.....	133
8.7.4.1	EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	133
8.7.4.2	EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P).....	135
8.7.4.3	EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	137

8.7.4.4	Zusammenfassung GGU Retain.....	139
8.7.4.5	Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	140
8.7.4.6	Nachweis gegen Herausziehen	142
8.8	Bemessungsprofil XVI	144
8.8.1	Übersicht	144
8.8.2	Bodenkennwerte Erddruck.....	145
8.8.3	Besondere Berechnungsannahmen.....	146
8.8.4	Spundwand- und Ankernachweise.....	147
8.8.4.1	EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	147
8.8.4.2	EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P).....	149
8.8.4.3	EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	151
8.8.4.4	EK 30 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-A)	153
8.8.4.5	Zusammenfassung GGU Retain.....	154
8.8.4.6	Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	155
8.8.4.7	Nachweis gegen Herausziehen	157
8.9	Bemessungsprofil XVII	159
8.9.1	Übersicht	159
8.9.2	Bodenkennwerte Erddruck.....	160
8.9.3	Besondere Berechnungsannahmen.....	161
8.9.4	Spundwand- und Ankernachweise $\alpha=45^\circ$	162
8.9.4.1	EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	162
8.9.4.2	EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P).....	163
8.9.4.3	EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	165
8.9.4.4	Zusammenfassung GGU Retain.....	167
8.9.4.5	Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	168
8.9.4.6	Nachweis gegen Herausziehen	170
8.9.5	Spundwand- und Ankernachweise $\alpha=56^\circ$	172
8.9.5.1	EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	172
8.9.5.2	EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P).....	174
8.9.5.3	EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	176
8.9.5.4	Zusammenfassung GGU Retain.....	178
8.9.5.5	Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	179
8.9.5.6	Nachweis gegen Herausziehen	181
8.10	Bemessungsprofil XVIII	183
8.10.1	Übersicht	183
8.10.2	Bodenkennwerte Erddruck.....	184
8.10.3	Besondere Berechnungsannahmen.....	185
8.10.4	Spundwand- und Ankernachweise.....	186
8.10.4.1	EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	186
8.10.4.2	EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P).....	188
8.10.4.3	Zusammenfassung GGU Retain.....	190
8.10.4.4	Nachweis gegen Aufbruch des Verankerungsbodens.....	191
9	Spundwandberechnungen (Bodentausch)	193

9.1 Bemessungsprofil XV	193
9.1.1 Übersicht	193
9.1.2 Bodenkennwerte Erddruck	194
9.1.3 Besondere Berechnungsannahmen	195
9.1.4 Spundwand- und Ankernachweise	196
9.1.4.1 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)	196
9.1.4.2 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	198
9.1.4.3 Zusammenfassung GGU Retain	200
9.1.4.4 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	201
9.1.4.5 Nachweis gegen Herausziehen	203
9.2 Bemessungsprofil XVI	205
9.2.1 Übersicht	205
9.2.2 Bodenkennwerte Erddruck	206
9.2.3 Besondere Berechnungsannahmen	207
9.2.4 Spundwand- und Ankernachweise	208
9.2.4.1 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)	208
9.2.4.2 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	210
9.2.4.3 EK 12 - Nutzlast + Pollerzug + Porenwasserüberdruck (BS-T)	212
9.2.4.4 EK 30 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-A)	214
9.2.4.5 Zusammenfassung GGU Retain	215
9.2.4.6 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	216
9.2.4.7 Nachweis gegen Herausziehen	218
9.3 Bemessungsprofil XVII	221
9.3.1 Übersicht	221
9.3.2 Bodenkennwerte Erddruck	222
9.3.3 Besondere Berechnungsannahmen	223
9.3.4 Spundwand- und Ankernachweise $\alpha=45^\circ$	224
9.3.4.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	224
9.3.4.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)	226
9.3.4.3 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	228
9.3.4.4 EK 11 - Nutzlast + Schwerlaststapler + Porenwasserüberdruck (BS-T)	230
9.3.4.5 EK 12 - Nutzlast + Pollerzug + Porenwasserüberdruck (BS-T)	232
9.3.4.6 EK 13 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Porenwasserüberdruck (BS-T)	234
9.3.4.7 Zusammenfassung GGU Retain	236
9.3.4.8 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	237
9.3.4.9 Nachweis gegen Herausziehen	239
9.3.5 Spundwand- und Ankernachweise $\alpha=56^\circ$	242
9.3.5.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	242
9.3.5.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)	244
9.3.5.3 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)	246
9.3.5.4 EK 06 - Nutzlast + negative Mantelreibung (BS-P)	248
9.3.5.5 EK 10 - Nutzlast + Schwerlaststapler + Pollerzug (BS-T)	250
9.3.5.6 EK 11 - Nutzlast + Schwerlaststapler + Porenwasserüberdruck (BS-T)	252
9.3.5.7 EK 12 - Nutzlast + Pollerzug + Porenwasserüberdruck (BS-T)	254

9.3.5.8	EK 13 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Porenwasserüberdruck (BS-T)....	256
9.3.5.9	EK 20 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-T)	258
9.3.5.10	EK 30 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-A)	260
9.3.5.11	Zusammenfassung GGU Retain.....	262
9.3.5.12	Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit.....	263
9.3.5.13	Nachweis gegen Herausziehen	266
9.4	Bemessungsprofil XVIII	269
9.4.1	Übersicht	269
9.4.2	Bodenkennwerte Erddruck.....	270
9.4.3	Besondere Berechnungsannahmen.....	271
9.4.4	Spundwand- und Ankernachweise.....	274
9.4.4.1	EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	274
9.4.4.2	EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P).....	276
9.4.4.3	EK 06 - Nutzlast + negative Mantelreibung.....	278
9.4.4.4	EK 11 - Nutzlast + Schwerlaststapler + Porenwasserüberdruck	280
9.4.4.5	EK 13 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Porenwasserüberdruck (BS-T)....	282
9.4.4.6	EK 13 – Vergleichsrechnung mit Teileinspannung.....	284
9.4.4.7	EK 14 - Nutzlast + neg. Mantelreibung + Porenwasserüberdruck (BS-T).	285
9.4.4.8	EK 30 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-A)	287
9.4.4.9	Zusammenfassung GGU Retain.....	288
9.4.4.10	Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	289
9.4.4.11	Nachweis gegen Aufbruch des Verankerungsbodens.....	290
9.4.4.12	Nachweis einer horizontalen Gleitfuge	293
9.4.4.13	Vertikale Tragfähigkeit.....	294
9.4.4.14	Rückverankerung von Abtriebskräften	295
10	Nachweise zum Ende der Lebensdauer	296
10.1	Vorbemerkung.....	296
10.2	Querschnittsklasse.....	297
10.3	Querschnittswerte nach Abrostung	298
10.4	Spannungsnachweis	300
10.5	Ovalisation	301
10.6	Beulnachweis.....	302
11	Nachweise im Bestand.....	303
11.1	Bemessungsprofil XIX - Tornische	303
11.1.1	Übersicht	303
11.1.2	Bestandsquerschnitt	303
11.1.3	Bodenkennwerte Erddruck.....	305
11.1.4	Besondere Berechnungsannahmen.....	306
11.1.5	Erddruckberechnung.....	307
11.1.6	Fundamentgeometrie.....	309

11.1.7	Versagen des Bodenaufagers	311
11.1.7.1	Vergleichsrechnung Urzustand.....	311
11.1.7.2	Neuberechnung mit Bodentausch.....	312
11.1.8	Geländebruchnachweis	313
12	Zusammenfassung Profilabmessungen	314
12.1	Ohne Bodenaustausch	314
12.2	Mit Bodenaustausch	315
13	Übersicht Profilabmessungen	316
13.1	Mit Bodentausch	316

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Lage Bemessungsprofile [U1].....	16
Abbildung 2 Bemessungssohle	17
Abbildung 3 Querschnitt I am Bemessungsprofil BP IX [U7].....	18
Abbildung 4 Querschnitt II am Bemessungsprofil BP XIII [U7].....	18
Abbildung 5 Querschnitt III am Bemessungsprofil BP XVI [U7].....	19
Abbildung 6 Querschnitt IV am Bemessungsprofil BP XVIII [U7]	19
Abbildung 7 Daten Auslegerkran gemäß Vorgabe Lloyd-Werft.....	29
Abbildung 8 Radlasten Auslegerkran gemäß Lloyd-Werft.....	30
Abbildung 9 EK 01 - Nutzlast + Verkehrsband 40 (BS-P)	33
Abbildung 10 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)	34
Abbildung 11 EK 03 - Nutzlast + Schwerlaststapler (BS-P)	35
Abbildung 12 EK 04 - Nutzlast + Auslegerkran (BS-P)	35
Abbildung 13 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P).....	36
Abbildung 14 EK 10 - Nutzlast + Schwerlaststapler + Pollerzug (BS-T).....	37
Abbildung 15 EK 30 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + BS 3c (BS-A).....	38
Abbildung 16 Bemessungsprofil IX - Lage [U1]	40
Abbildung 17 Bemessungsprofil IX - Querschnitt [U2]	40
Abbildung 18 Bemessungsprofil IX - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]	41
Abbildung 19 Bemessungsprofil IX - Bodenkennwerte Erddruck [U1].....	41
Abbildung 20 Bemessungsprofil IX – Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1].....	55
Abbildung 21 Bemessungsprofil IX - Bodenkennwerte Herausziehwiderstand [U1].....	58
Abbildung 22 Bemessungsprofil X - Lage [U1]	60
Abbildung 23 Bemessungsprofil X - Querschnitt [U2]	60
Abbildung 24 Bemessungsprofil X - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]	61
Abbildung 25 Bemessungsprofil X - Bodenkennwerte Erddruck [U1].....	61
Abbildung 26 Bemessungsprofil X - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1].....	70
Abbildung 27 Bemessungsprofil X - Bodenkennwerte Herausziehwiderstand [U1].....	72
Abbildung 28 Bemessungsprofil XI - Lage [U1]	74
Abbildung 29 Bemessungsprofil XI - Querschnitt [U2]	74
Abbildung 30 Bemessungsprofil XI - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]	75
Abbildung 31 Bemessungsprofil XI - Bodenkennwerte Erddruck [U1].....	75
Abbildung 32 Bemessungsprofil XI - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1].....	84
Abbildung 33 Bemessungsprofil XI - Bodenkennwerte Herausziehwiderstand [U1].....	86
Abbildung 34 Bemessungsprofil XII - Lage [U1]	88
Abbildung 35 Bemessungsprofil XII - Querschnitt [U2]	88
Abbildung 36 Bemessungsprofil XII - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]	89
Abbildung 37 Bemessungsprofil XII - Bodenkennwerte Erddruck [U1].....	89
Abbildung 38 Bemessungsprofil XII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1].....	98
Abbildung 39 Bemessungsprofil XII - Bodenkennwerte Herausziehwiderstand [U1].....	100
Abbildung 40 Bemessungsprofil XIII - Lage [U1]	102
Abbildung 41 Bemessungsprofil XIII - Querschnitt [U2]	102
Abbildung 42 Bemessungsprofil XIII - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]	103
Abbildung 43 Bemessungsprofil XIII - Bodenkennwerte Erddruck [U1].....	103

Abbildung 44 Bemessungsprofil XIII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1].....	112
Abbildung 45 Bemessungsprofil XIII - Bodenkennwerte Herauszieh Widerstand [U1].....	114
Abbildung 46 Bemessungsprofil XIV - Lage [U1]	116
Abbildung 47 Bemessungsprofil XIV - Querschnitt [U2].....	116
Abbildung 48 Bemessungsprofil XIV - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1].....	117
Abbildung 49 Bemessungsprofil XIV - Bodenkennwerte Erddruck [U1]	117
Abbildung 50 Bemessungsprofil XIV - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]	126
Abbildung 51 Bemessungsprofil XIV - Bodenkennwerte Herauszieh Widerstand [U1].....	128
Abbildung 52 Bemessungsprofil XV - Lage [U1]	130
Abbildung 53 Bemessungsprofil XV - Querschnitt [U2].....	130
Abbildung 54 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]	131
Abbildung 55 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Erddruck [U1]	131
Abbildung 56 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]	140
Abbildung 57 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Herauszieh Widerstand [U1].....	142
Abbildung 58 Bemessungsprofil XVI - Lage [U1]	144
Abbildung 59 Bemessungsprofil XVI - Querschnitt [U2].....	144
Abbildung 60 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1].....	145
Abbildung 61 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Erddruck [U1]	145
Abbildung 62 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]	155
Abbildung 63 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Herauszieh Widerstand [U1].....	157
Abbildung 64 Bemessungsprofil XVII - Lage [U1]	159
Abbildung 65 Bemessungsprofil XVII - Querschnitt [U2].....	159
Abbildung 66 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1].....	160
Abbildung 67 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]	160
Abbildung 68 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]	168
Abbildung 69 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Herauszieh Widerstand [U1].....	170
Abbildung 70 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]	179
Abbildung 71 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Herauszieh Widerstand [U1].....	181
Abbildung 72 Bemessungsprofil XVIII - Lage [U1]	183
Abbildung 73 Bemessungsprofil XVIII - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1].....	184
Abbildung 74 Bemessungsprofil XVIII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]	184
Abbildung 75 Bemessungsprofil XV - Lage [U1]	193
Abbildung 76 Bemessungsprofil XV - Querschnitt [U2].....	193
Abbildung 77 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1].....	194
Abbildung 78 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Erddruck [U1]	194
Abbildung 79 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]	201
Abbildung 80 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Herauszieh Widerstand [U1].....	203
Abbildung 81 Bemessungsprofil XVI - Lage [U1]	205
Abbildung 82 Bemessungsprofil XVI - Querschnitt [U2].....	205
Abbildung 83 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1].....	206
Abbildung 84 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Erddruck [U1]	206
Abbildung 85 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]	216
Abbildung 86 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Herauszieh Widerstand [U1].....	218
Abbildung 87 Bemessungsprofil XVII - Lage [U1]	221
Abbildung 88 Bemessungsprofil XVII - Querschnitt [U2].....	221

Abbildung 89 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]	222
Abbildung 90 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]	222
Abbildung 91 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]	237
Abbildung 92 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Herausziehwiderstand [U1].....	239
Abbildung 93 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]	263
Abbildung 94 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Herausziehwiderstand [U1].....	266
Abbildung 95 Bemessungsprofil XVIII - Lage [U1]	269
Abbildung 96 Bemessungsprofil XVIII - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]	270
Abbildung 97 Bemessungsprofil XVIII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]	270
Abbildung 98 Bemessungsprofil XVIII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]	289
Abbildung 99 Bemessungsprofil XIX - Tornische - Lage [U1]	303
Abbildung 100 Bemessungsprofil XIX - Tornische - Bestandsquerschnitt	304
Abbildung 101 Bemessungsprofil XIX - Tornische - Bodenkennwerte Erddruck / -widerstand (BP XVIII.3) [U1]	305

Unterlagenverzeichnis

- [U1] aCon Geotechnik GmbH, Hannover
Sanierung Kaiserhafen III (2. Bauabschnitt)
Bemessungsprofile
Vorabzug per E-Mail
Stand: 08.04.2022

- [U2] aCon Geotechnik GmbH, Hannover
Sanierung Kaiserhafen III (2. Bauabschnitt)
Alle Querschnitte
Vorabzug per E-Mail
Stand: Vorabzug 31.03.2022

- [U3] Prof. Dr.-Ing. Victor Rizkallah+Partner Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover
Großdock Kaiserhafen III in Bremerhaven,
Ergebnisse der Baugrunderkundungen und Baugrund- und Gründungsgutachten
Gutachten 1939-2015GU1
Stand: 16.10.2015

- [U4] Prof. Dr.-Ing. Victor Rizkallah+Partner Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover
Neubau einer Kaje im Kaiserhafen III in Bremerhaven,
Ergebnisse der Baugrunderkundungen vom Oktober 2016 und Baugrund- und
Gründungsgutachten
Gutachten 1939-2015GU2
Stand: 12.10.2016

- [U5] Prof. Dr.-Ing. Victor Rizkallah+Partner Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover
Sanierung einer Kaje im Kaiserhafen III in Bremerhaven,
Angaben zur äußeren Tragfähigkeit und Abschätzung der Federsteifigkeit der
geplanten Stahlrohre 1620/16,
Brief: 1974-2016BR4
Stand: 24.10.2016

- [U6] bremenports,
Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt,
Entwurfsunterlage Bau (EW-Bau),
Erläuterungsbericht
Stand: 05.05.2022

- [U7] bremenports,
Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt,
Entwurfsunterlage Bau (EW-Bau),
Entwurfszeichnungen
Stand: 05.05.2022

1 Geometrische Randbedingungen

1.1 Höhenangaben

Für die Bearbeitung werden folgende Koordinatenreferenz- bzw. Bezugssysteme verwendet:

Lageangaben: Lagestatus 100; Gauß-Krüger-Koordinaten

Höhenangaben: Höhenstatus 170; System: DHHN2016;
Angaben in „NN +... m“ (\triangleq Normalhöhen-Null (NHN) im DHHN2016 +m)

Hinweis: Sowohl Höhenangaben im DHHN2016 als auch Höhenangaben im DHHN92 sind Angaben bezogen auf Normalhöhen-Null (NHN + x,xx m). Um spätere Widersprüche zu vermeiden (in Bremerhaven ist DHHN2016 \neq DHHN92), werden die Höhenangaben im folgenden Dokument in Anlehnung an das DHHN85 als Höhe über Normalnull (NN +x,xx m) gekennzeichnet. Dieser Ansatz ist in sich konsistent, da für Bremerhaven gilt:

DHHN2016 \approx DHHN85

1.2 Übersicht

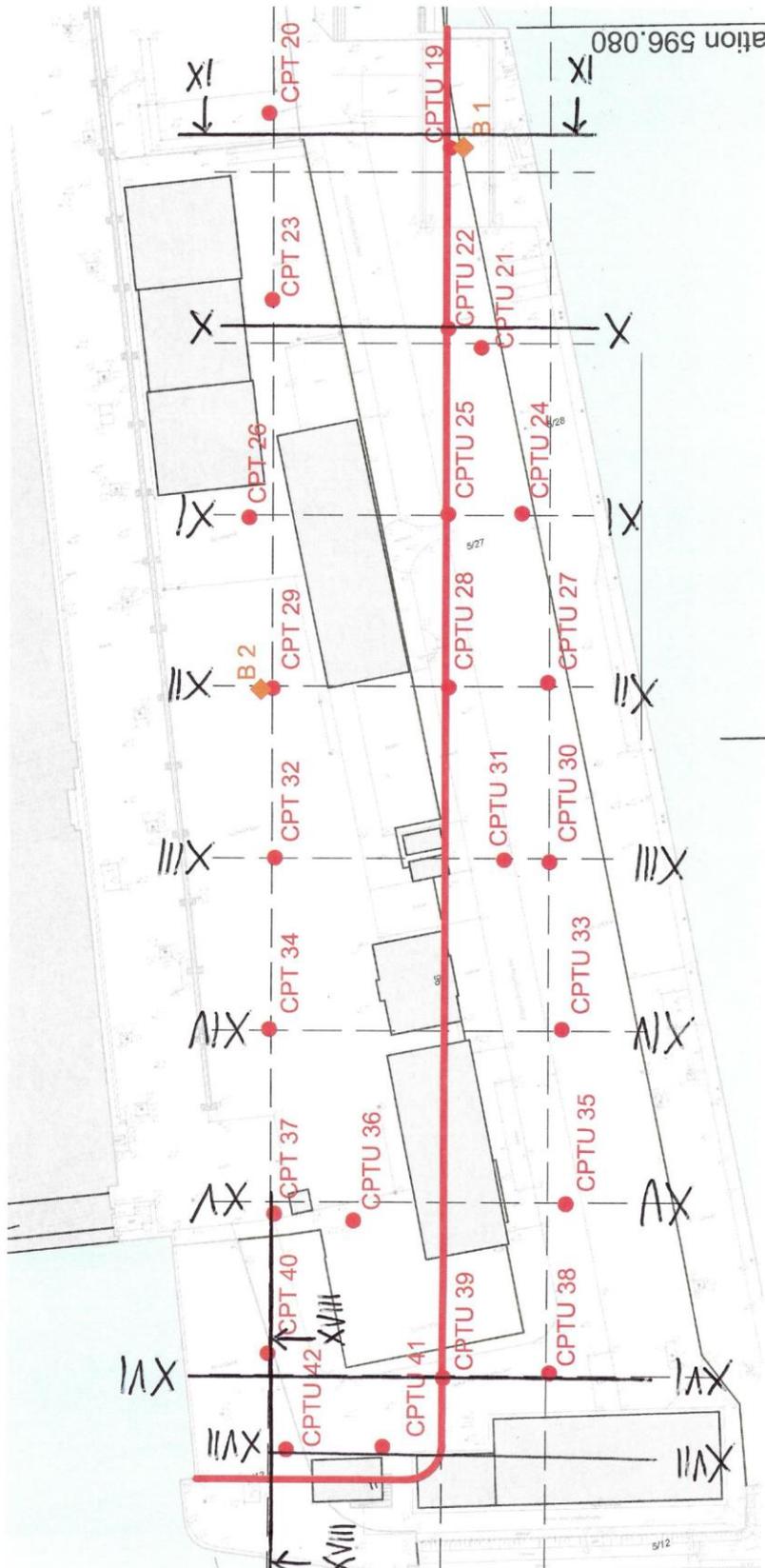


Abbildung 1 Lage Bemessungsprofile [U1]

1.3 Berechnungssohle

Zulässiger Tiefgang bei vorgegebener Solltiefe gemäß EAU E36

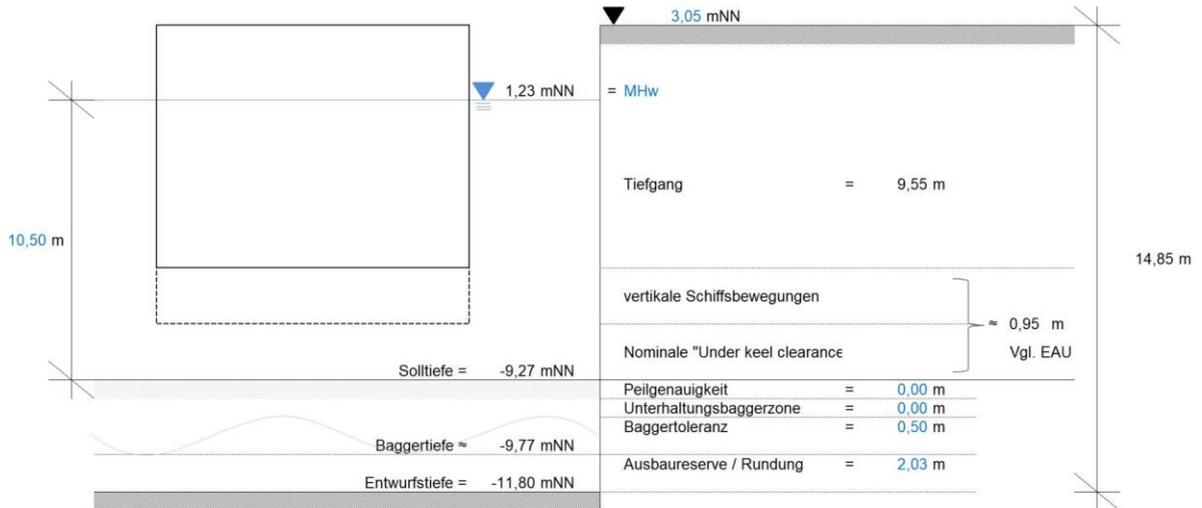


Abbildung 2 Bemessungssohle

Berechnungssohle BS-P -11,80 mNN

1.4 Querschnitte

Schnitt I-I

St. 613.00 / NEU St. 614.63

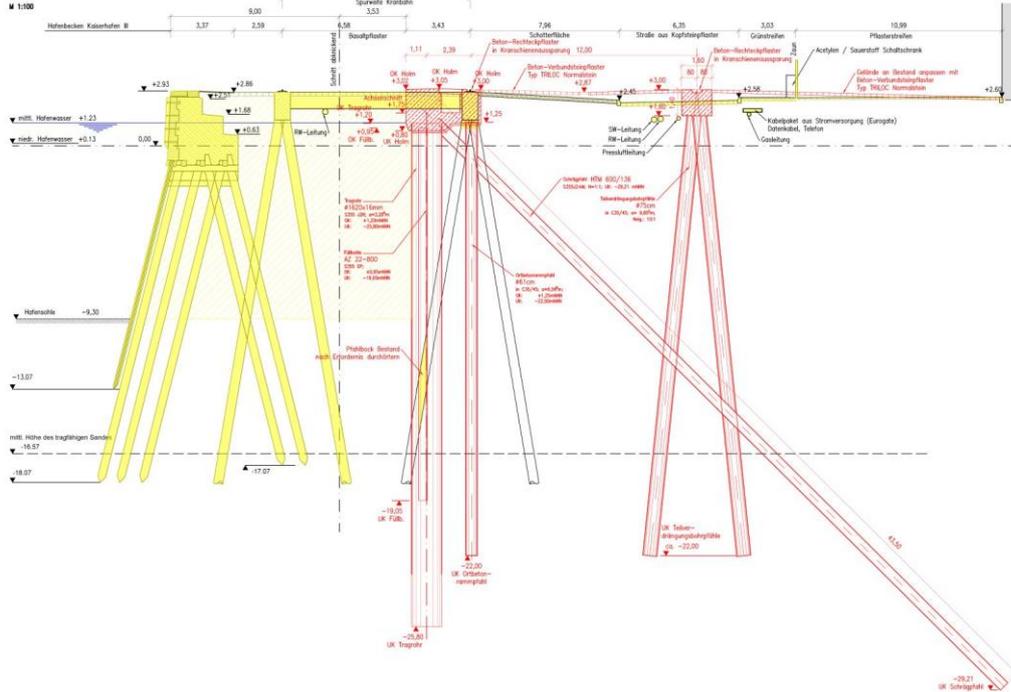


Abbildung 3 Querschnitt I am Bemessungsprofil BP IX [U7]

Schnitt II-II

St. 715.00 / NEU St. 714.67

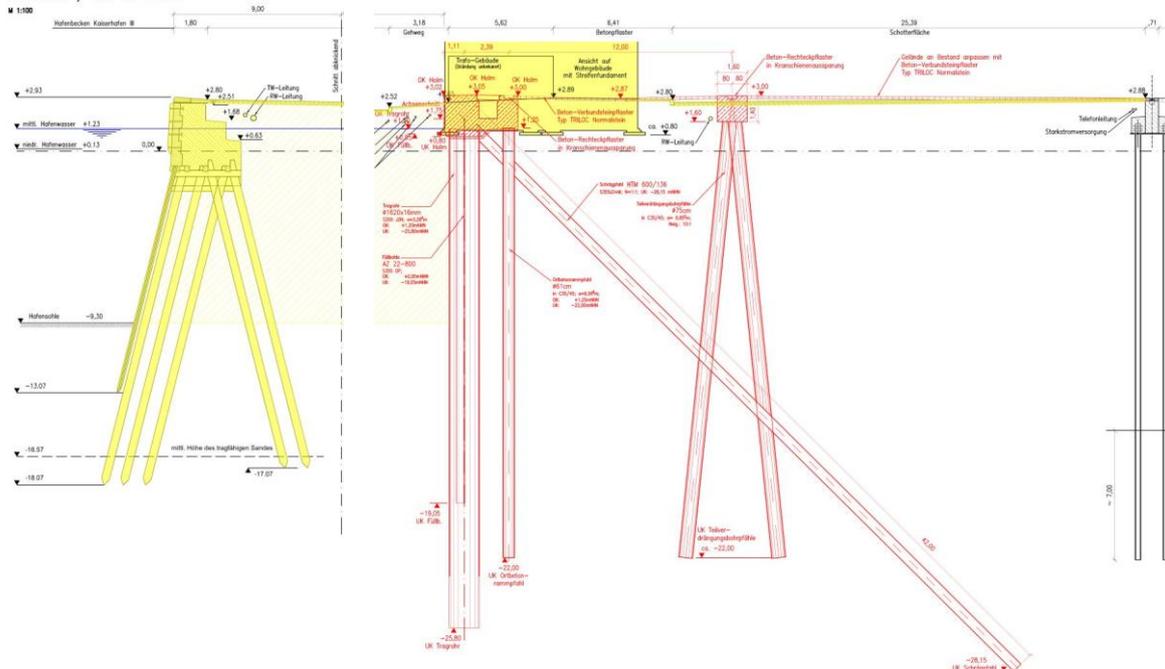


Abbildung 4 Querschnitt II am Bemessungsprofil BP XIII [U7]

2 Baugrund

Bemessungsprofile gemäß Baugrundgutachten [U1]. Die Bemessungsprofile sind separat in den jeweiligen Abschnitten der Statik dargestellt.

3 Wasserstände

3.1 Hafenwasserstände Überseehäfen Bremerhaven

Die Kaimauer liegt im tideunabhängigen Hafenbereich. Die Hafенwasserstände werden dem Hafенhandbuch, Anhang C entnommen.

maximaler Hafенwasserstand	HHw = +1,50 mNN
mittlerer Hafенwasserstand	MHw = +1,23 mNN
minimaler Hafенwasserstand	NHw = +0,25 mNN

3.2 Grundwasserstände

Die Grundwasserstände wurden dem Baugrundgutachten entnommen und ergeben sich wie folgt:

BS-P	BS- 3a (LF1)	-> GW = +2,00mNN
BS-A	BS- 3c (LF3)	-> GW = +2,50 mNN

Der maximale Wasserüberdruck zwischen UK Klei und Hafенwasser beträgt im Lastfall BS-A 1,00 mNN - 0,25 mNN = 0,75 m.

Steht in Höhe der Berechnungssohle Sand an kann davon ausgegangen werden, dass sich dieser Unterschied schnell ausgegelt. Bei Kleischichten der Höhe h zwischen Berechnungssohle und UK Füllbohle gibt es einen hydraulischen Gradienten. Die Wichte des Kleis reduziert sich in diesem Fall wie folgt:

$$\Delta\gamma_p = - \frac{0,75 \cdot 10 \text{ kN/m}}{h}$$

4 Teilsicherheitsbeiwerte

Es gelten die Teilsicherheitsbeiwerte der EAU 2020 Tabelle 1-1 - 1-3.

Sofern unterhalb der Bemessungssohle Böden mit einem Spitzenwiderstand der Drucksonde von $\geq 7,50 \text{ MN/m}^2$ anstehen, wird gemäß der korrigierten Fassung der Empfehlung E215 der reduzierten Teilsicherheitsbeiwertes $\gamma_{\text{Ep,red}}$ verwendet.

Es werden die reduzierten Teilsicherheitsbeiwerte für den Wasserdruck gemäß EAU 2020 Tabelle 8-10 angesetzt.

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird mit einem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_t = 1,10$ geführt

Der Nachweis des Herausziehwiderstands wird mit einem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{\text{s,t}} = 1,15$ geführt

5 Belastung

5.1 Eigengewicht (BS-P)

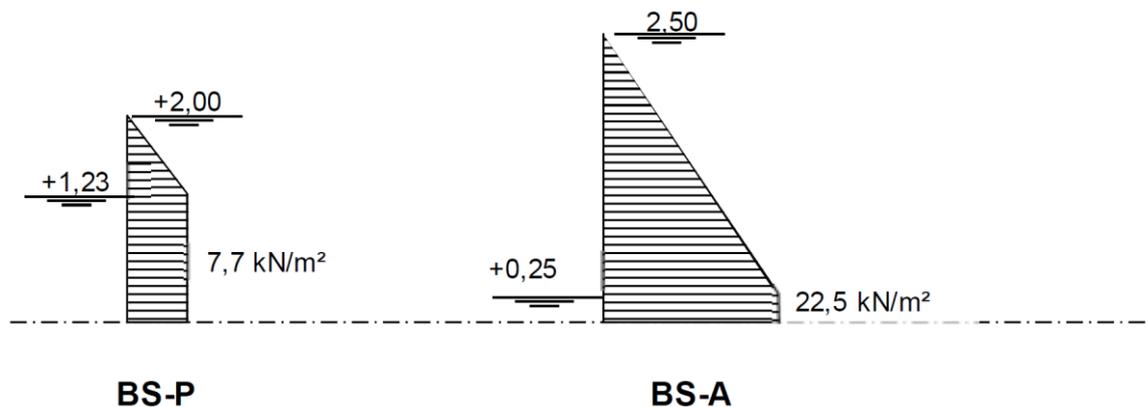
Normalbeton (unbewehrt) $\gamma_c = 24,0 \text{ kN/m}^3$

Stahlbeton $\gamma_c = 25,0 \text{ kN/m}^3$

Stahl $\gamma_s = 78,5 \text{ kN/m}^3$

5.2 Wasserüberdruck & Wichteänderung im Endzustand

Der Wasserüberdruck aus Grundwasser auf das Bauwerk ist hydrostatisch bis zur Unterkante des Kleis anzusetzen. Die hydraulischen Gradienten können auf der Erddruckseite vernachlässigt werden. (vgl. Abschnitt 3.2 bzw. [U1]).



5.3 Porenwasserüberdruck

Im Bereich der Bemessungsprofile BP IX bis BP XIV ist der Boden für die Auflast über die Jahre konsolidiert. Es wird kein Porenwasserüberdruck angesetzt.

Im Bereich der Bemessungsprofile BP XV bis BP XVIII erfolgt auf den oberen Metern ein Bodentausch. Hierbei wird Klei ($\gamma' = 5 \text{ kN/m}^2$) durch Sand ($\gamma' = 11 \text{ kN/m}^2$) ersetzt. Der tief liegende Klei ist für diese Belastung vermutlich nicht vollständig konsolidiert, sodass hier ein Porenwasserüberdruck angesetzt werden muss.

Der Porenwasserüberdruck darf als zeitlich begrenzte Einwirkung (Bemessungssituation BS-T) eingestuft werden.

Um den im Boden verbleibenden Bestand (vgl. Abbildung 5 Querschnitt III am Bemessungsprofil BP XVI) schnell zu entlasten werden konstruktiv Vertikaldräns eingebaut.

5.4 Negative Mantelreibung

Im Bereich der Bemessungsprofile BP IX bis BP XIV ist der Boden für die Auflast über die Jahre konsolidiert. Es wird keine negative Mantelreibung angesetzt.

Im Bereich der Bemessungsprofilen BP XV bis BP XVIII erfolgt auf den oberen Metern ein Bodentausch. Hierbei wird Klei ($\gamma' = 5 \text{ kN/m}^2$) durch Sand ($\gamma' = 11 \text{ kN/m}^2$) ersetzt. Der tief liegende Klei ist für diese Belastung vermutlich nicht vollständig konsolidiert, sodass hier eine negative Mantelreibung angesetzt werden muss.

Die negative Mantelreibung wird hier durch die folgenden Werte begrenzt:

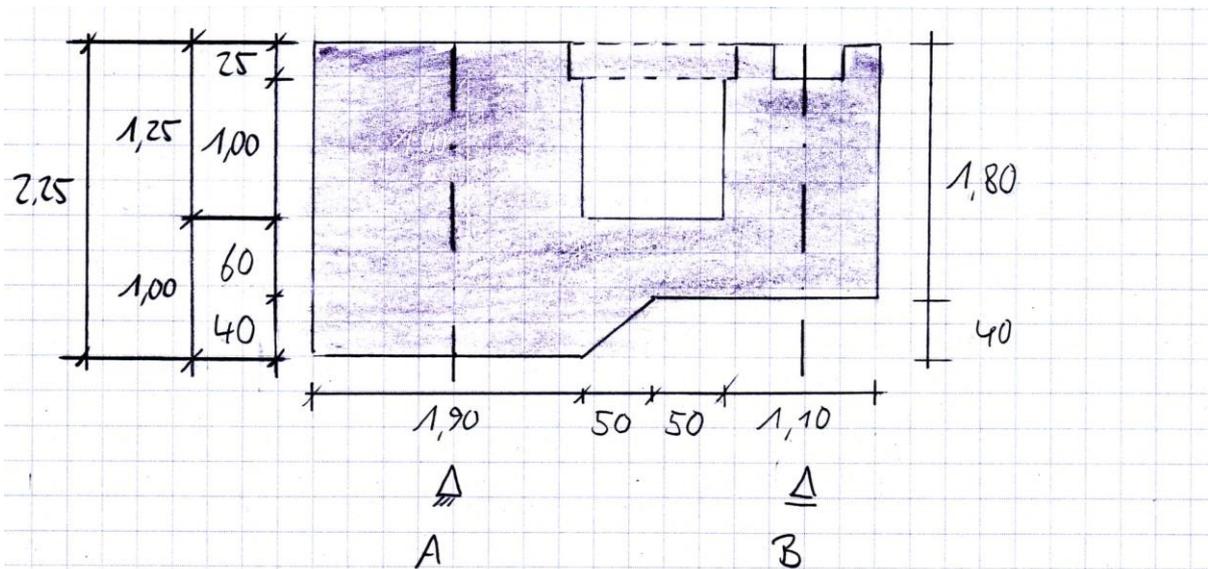
Bindigen Schichten (Schlick und Klei): $q_{s,k \text{ NMR}} \leq 0,50 \times c_u$

Sanden (inkl. stark - sehr stark schluffig): $q_{s,k \text{ NMR}} = 0,25 \times \sigma_v < 50 \text{ kN/m}^2$

Für die Bemessung der Spundwand muss die negative Mantelreibung nicht mit der Vertikalkomponente des Erddruckes überlagert zu werden.

Die negative Mantelreibung muss nicht mit den kurzfristig wirkenden veränderlichen Lasten überlagert werden. Hierzu gehören statische Ersatzlasten zur Berücksichtigung von Mobilkränen, Reachstackern und anderem schwerem Umschlaggerät sowie Pollerzug.

5.5 Betonholm



$$A \approx (2,25 \times 1,90 + (1,00 + 0,60) / 2 \times 0,50 + 0,25 \times 0,5) \times 25$$

$$A \approx 120 \text{ kN/m}$$

$$B \approx (1,80 \times 1,10 + 0,60 \times 0,50 + 0,25 \times 0,50) \times 25$$

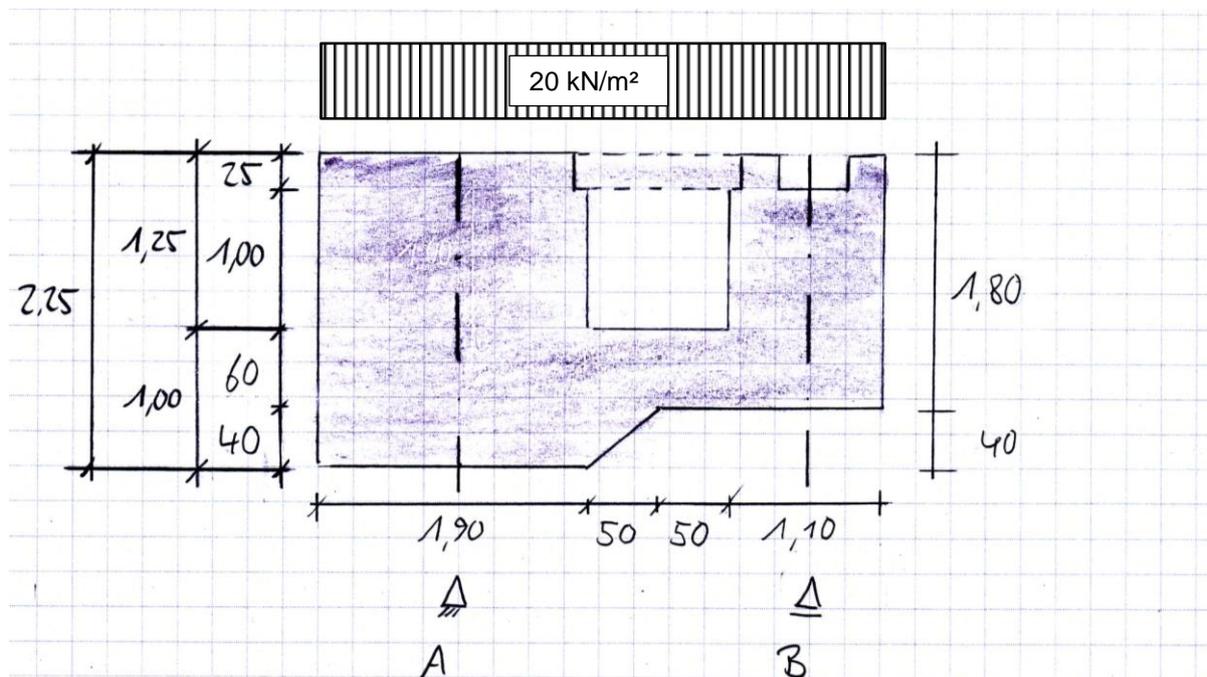
$$B \approx 60 \text{ kN/m}$$

Achse Spundwand	A_k	= 120 kN/m
Achse Kranbahnbalken	B_k	= 60 kN/m

5.6 Nutzlasten

5.6.1 Allgemeine Nutzlast (BS-P)

Für die Nachweisführung wird eine allgemeine Nutzlast von 20 kN/m^2 berücksichtigt. Im Bereich von Betonholm und Kranbahnbalken ergibt sich diese zu:



Achse Spundwand	$A_k = 20 \cdot 2,40$	$= 48 \text{ kN/m}$
Achse Kranbahnbalken	$B_k = 20 \cdot 1,60$	$= 32 \text{ kN/m}$

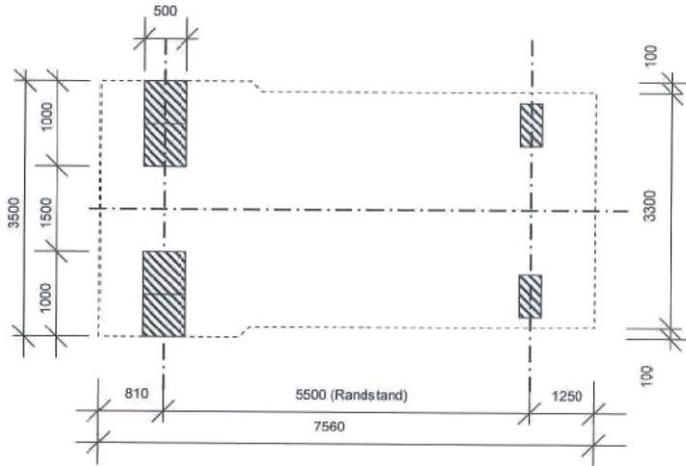
Zur Berücksichtigung von Mobilkränen, Reachstackern und anderem schwerem Umschlaggerät werden -gemäß die EAU 2012 (E5)- außerdem die folgenden Flächenlasten angesetzt:

Nutzlast = 60 kN/m^2 von Hinterkante Wandkopf landeinwärts auf 2,00 m Breite

oder

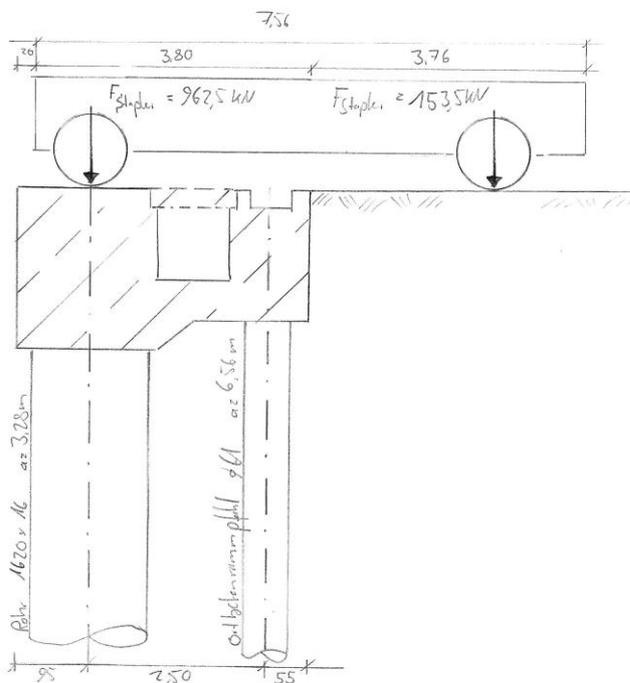
Nutzlast = 40 kN/m^2 von Hinterkante Wandkopf landeinwärts auf 3,50 m Breite

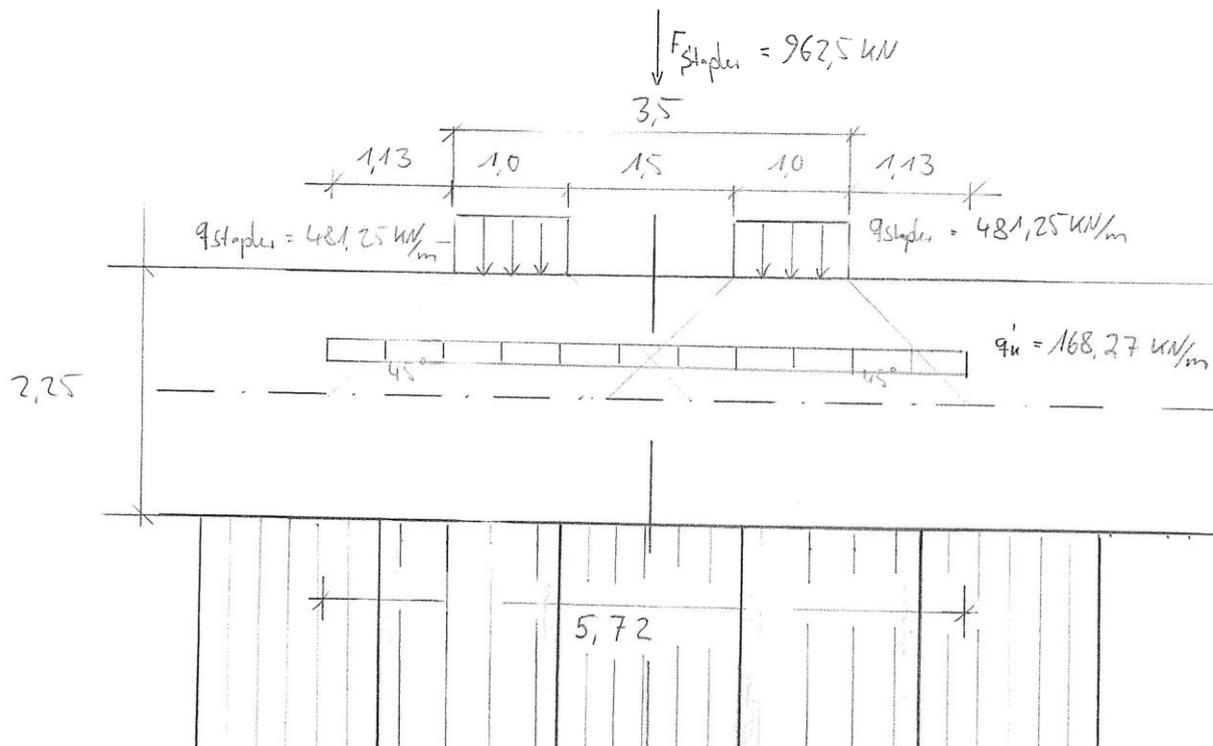
5.6.2 Schwerlaststapler (BS-P)



Stoßzuschlag $\phi = 1,10$

Achslast vorn (t)		Gesamtlast (t)	Achslast hinten (t)		Max. Bodenpressung unter der Vorachse
Stillstand	Fahrt		Stillstand	Fahrt	
84,22	57,4	$71,6+20 = 91,6$	7,38	34,2	880 kN/m ²
92,50	69,8	$71,6+30 = 101,6$	9,10	31,8	900 kN/m ²
96,25	82,2	$71,6+40 = 111,6$	15,35	29,4	920 kN/m ²





Die Achslast der Vorderachse wird zu einer Streckenlast verschmiert:

$$962,5 \text{ kN} / 5,72 \text{ m} = 168,27 \text{ kN/m}$$

Die Achslast der Hinterachse wird nicht maßgebend.

$$153,5 \text{ kN} / (3,5 \text{ m} * 2 * 1,25 \text{ m}) = 17,54 \text{ kN/m}^2 < 20,00 \text{ kN/m}^2$$

5.6.3 Auslegerkran

Zwei Schienengebundene Auslegerkräne soll 2,50 m hinter der Kaikante auf dem neuen Bauwerk verwendet werden.

Tragkraft :	20,0 - 70,0 t
Ausladung:	20,0 - 50,0m
Spurweite: (5-rädiges Fahrwerk)	12,00 m
Laufraddurchmesser	630 mm
Maximaler Eckdruck	5 x 360,6 = 1803 kN
Beanspruchungsklassen	Hubklasse HC 2 S-Klasse S4

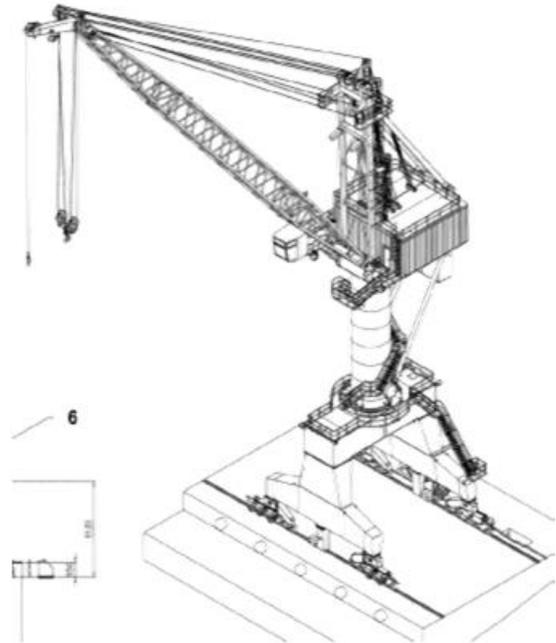
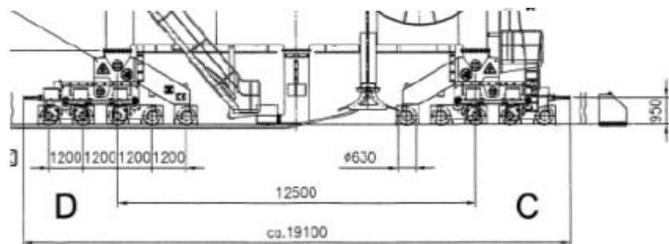
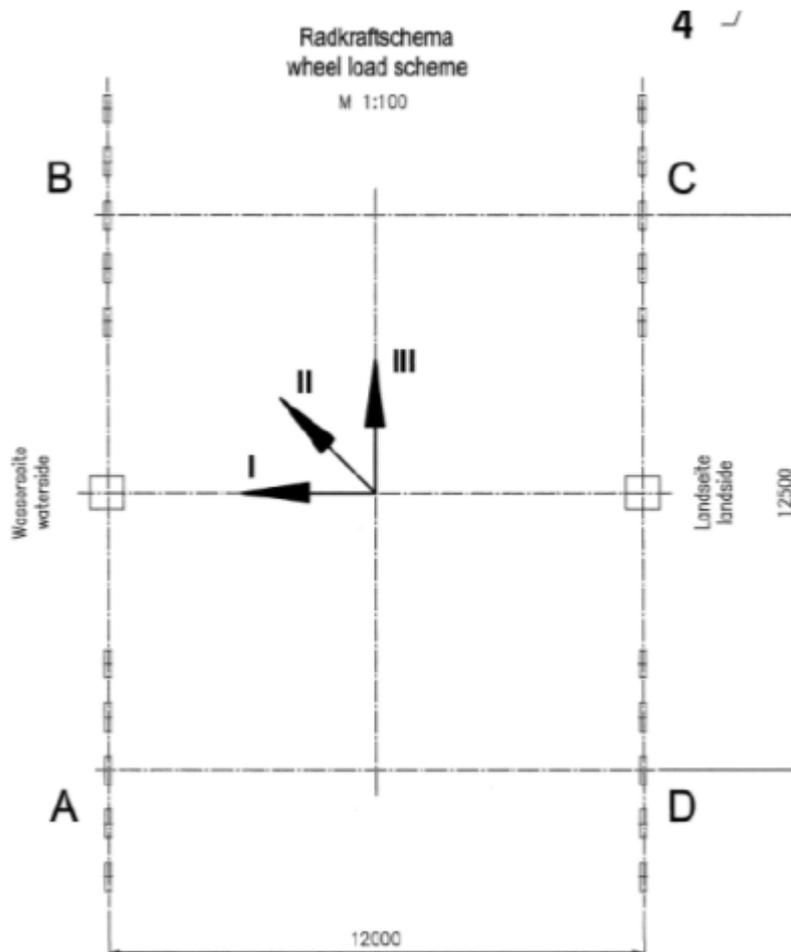


Abbildung 7 Daten Auslegerkran gemäß Vorgabe Lloyd-Werft

Zulässige Schienenneigung	1:2000
Max. Radlast	361,0 kN (BS-P)
Ersatzlinienlast (Radabstand 1,20 m)	300,0 kN/m
Bremslast in Schienenrichtung	206,4 kN
Seitenlast quer zur Schiene	286,7 kN (BS-T)
Pufferkraft	500,0 kN
Pufferhöhe	0,95 m über der Oberkante Kranschiene
Sturmsicherungen	300,0 kN (charakteristisch) (BS-A)
Stoßfaktor / Schwingbeiwert	$\psi = 1,20$ (entsprechend Hubklasse 2)

Wenn Kranlasten wirken bleiben folgende Bereiche frei von der allgemeinen Verkehrslast

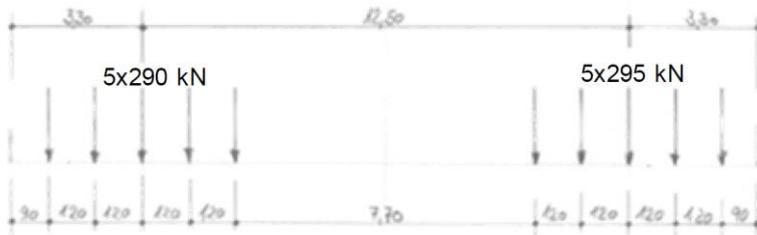
- Raum zwischen Kaikante und Wasserseitiger Kranschiene
- 1 m landseitig der belasteten wasserseitigen Kranschiene
- 1 m beidseitig der belasteten landseitigen Kranschiene



Max. Radlast (Verkehrslast) in kN nach DIN 4212 charge max. sur les roues en kN (charge mobile conformément à DIN 4212)					
Auslegerstellung pos. de la flèche	Portalecke / coin de portique				
	A	B	C	D	
0°	I	288,6	294,2	134,5	128,9
43°	II	211,4	324,5	211,7	98,6
90°	III	124,7	286,8	298,4	136,3
außer Betrieb/ hors service	I	41,4	47,0	360,6	355,0
Max. Horizontalkraft auf eine Schiene in kN force horizontale max. sur un rail en kN par tempête grue hors service					
außer Betrieb/ hors service	in Fahrtrichtung / dans le sens des rails			206,4	
	quer zur Fahrtrichtung / transvers par rapport au sens des rails			286,7	

Abbildung 8 Radlasten Auslegerkran gemäß Lloyd-Werft

Lastfall A für die wasserseitige Kranschiene (Auslegerstellung zum Wasser)



Lastfall B für die wasserseitige Kranschiene (Auslegerstellung unter 43°)



Lastfall C für die wasserseitige Kranschiene (Auslegerstellung quer zur Pier)



Der Lastfall „außer Betrieb“ wird (auch für die Landseitige Kranschiene) nicht maßgebend, da die Lasten ohne einen Schwingbeiwert nachzuweisen sind.

5.7 Pollerzug (BS-P)

An der Kajenkante werden 100 t-Einzelpoller im Abstand von ca. 30 m vorgesehen. Der Angriffspunkt liegt 0,30 m über Kaimaueroberkante. Für die Bemessung werden unabhängig von Art und Anzahl der aufgelegten Trossen als Einzel- oder Doppelpoller folgende charakteristischen Werte der Berechnung zugrunde gelegt:

$$P_{z,k} = 1000,0 \text{ kN}$$

$$p_{z,k} = 1000 / 30 \approx 35,0 \text{ kN/m}$$

Für Starkwindereignisse aus Nordwest werden Sturmpoller im Abstand von ca. 30 m zur Kaje vorgesehen. Die Bemessung der Gründung erfolgt in einem separaten Dokument.

6 Einwirkungskombinationen

EK	Lastfall										
	01	02		03	4a	4b	05	06	07	08	09
	Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutzlast q=20 kN/m ²	Verkehrsband 40 (q=40 kN/m ² b=3,50 m)	Verkehrsband 60 (q=60 kN/m ² b=2,00 m)	Schwerlaststapler	Kranbahn	Pollerzug	Negative Mantelreibung	Porenwasserüberdruck
BS-P											
01	X	BS 3a	-	X	X						
02	X	BS 3a	-	X		X					
03	X	BS 3a	-	X			X				
04	X	BS 3a	-	X				X			
05	X	BS 3a	-	X		X			X		
06	X	BS 3a	-	X						X	
BS-T											
10	X	BS 3a	-	X			X		X		
11	X	BS 3a	-	X			X				X
12	X	BS 3a	-	X					X		X
13	X	BS 3a	-	X		X					X
14	X	BS 3a	-	X						X	X
BS-A											
20	X	BS-3a	-	X		X			X		X
30	X	BS-3c	X	X		X					

6.1 EK 01 - Nutzlast + Verkehrsband 40 (BS-P)

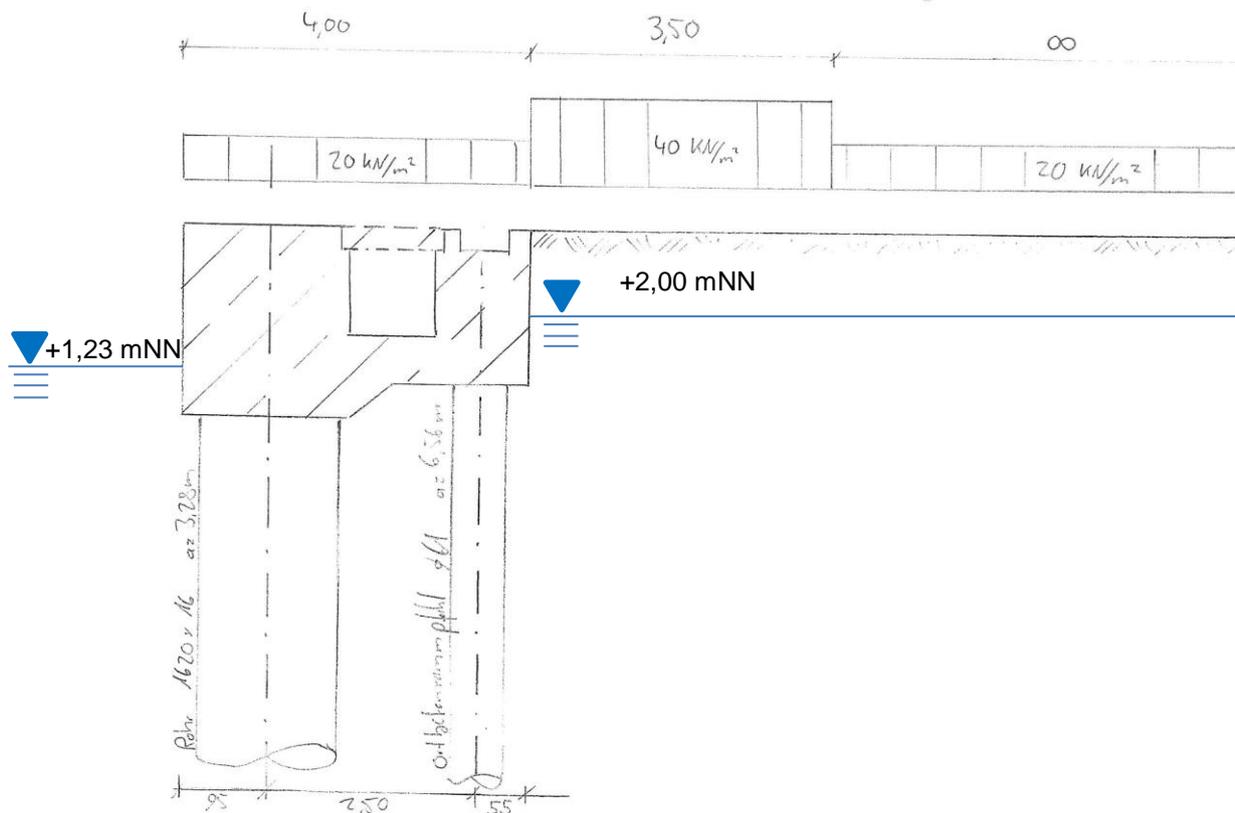


Abbildung 9 EK 01 - Nutzlast + Verkehrsband 40 (BS-P)

Die Allgemeine Nutzlast im Bereich des Betonholms wird rechnerisch als Ersatzstreckenlast in den Achsen von Spundwand und Ortbetonrammpfählen berücksichtigt.

Achse Spundwand = 50 kN/m

Achse Kranbahnbalken = 35 kN/m

6.2 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)

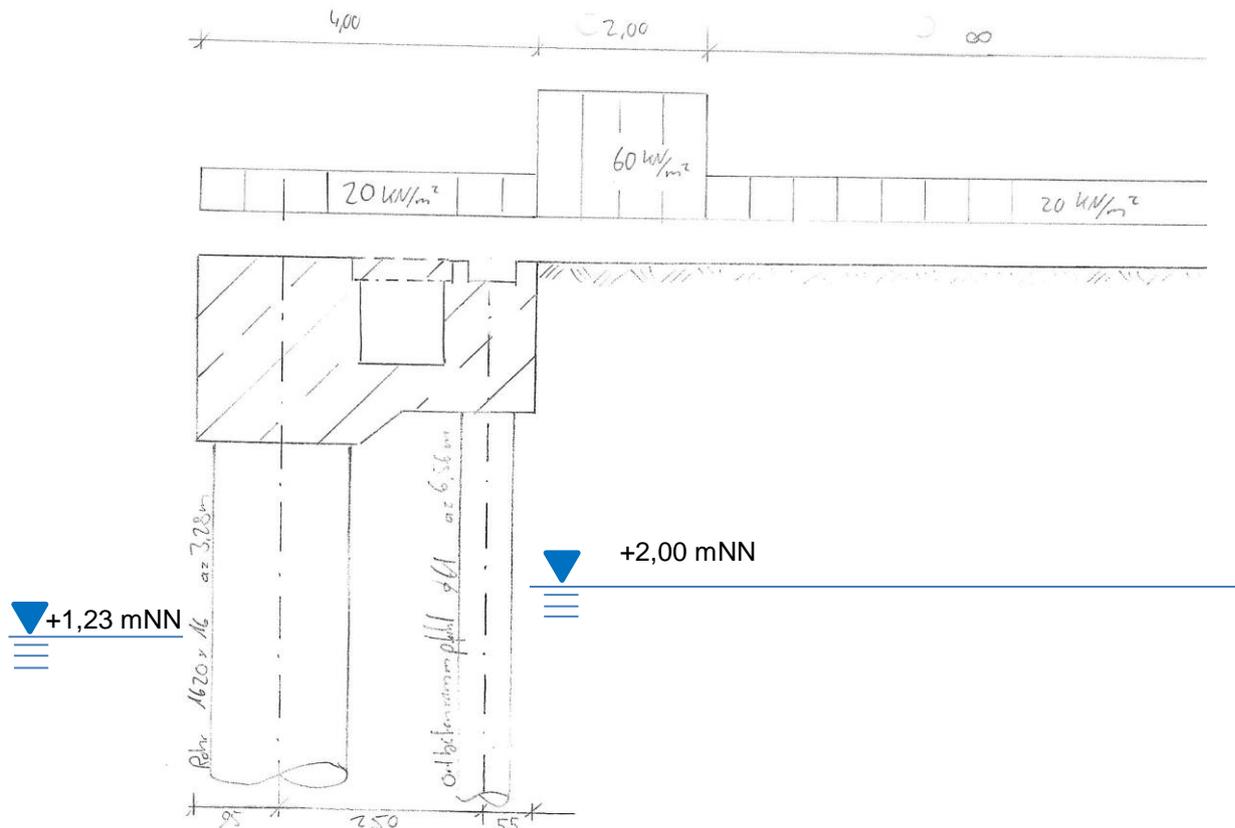


Abbildung 10 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)

Die Allgemeine Nutzlast im Bereich des Betonholms wird rechnerisch als Ersatzstreckenlast in den Achsen von Spundwand und Ortbetonrammpfählen berücksichtigt.

Achse Spundwand = 50 kN/m

Achse Kranbahnbalken = 35 kN/m

6.3 EK 03 - Nutzlast + Schwerlaststapler (BS-P)

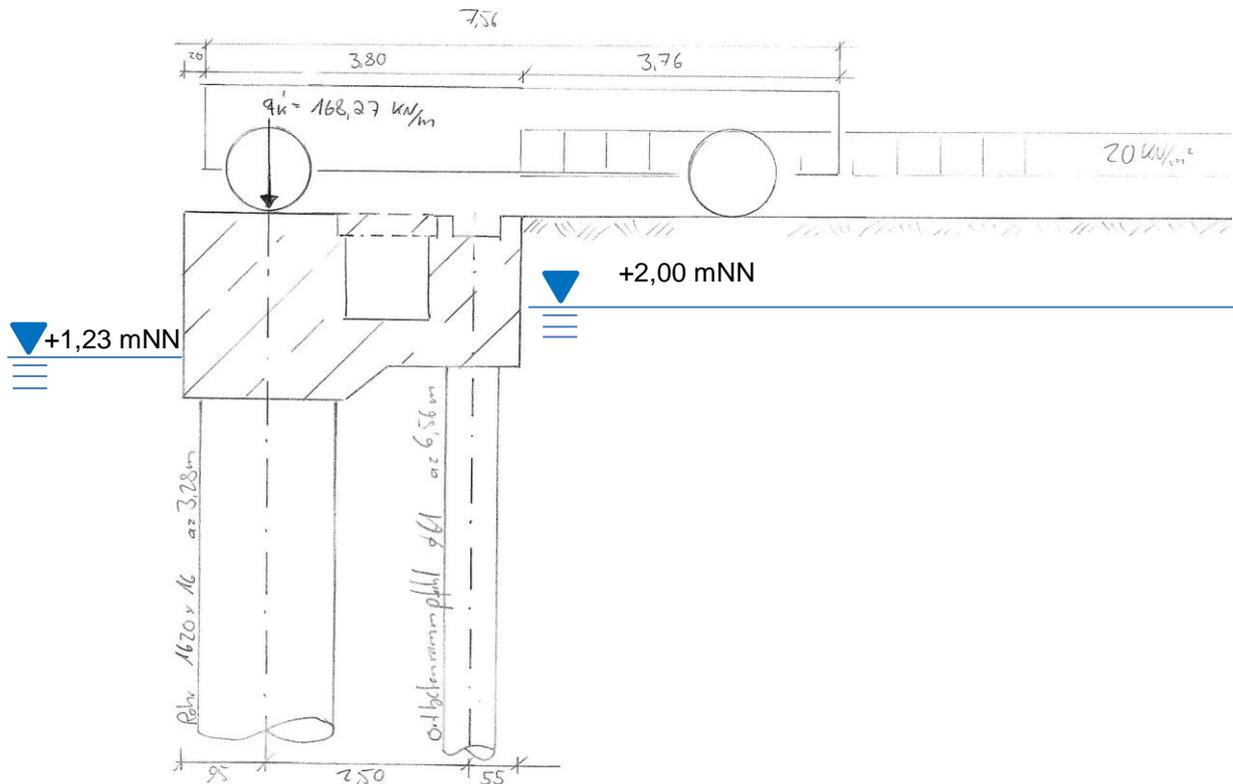


Abbildung 11 EK 03 - Nutzlast + Schwerlaststapler (BS-P)

Für die EK 03 wird keine Nutzlast im Bereich des Betonholms angesetzt.

6.4 EK 04 - Nutzlast + Auslegerkran (BS-P)

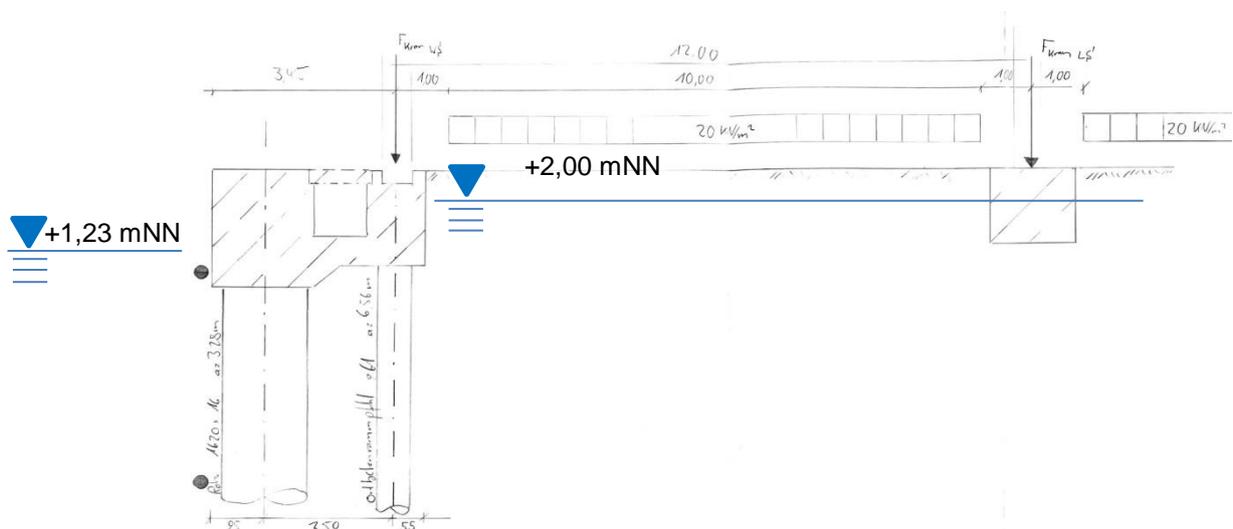


Abbildung 12 EK 04 - Nutzlast + Auslegerkran (BS-P)

6.5 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

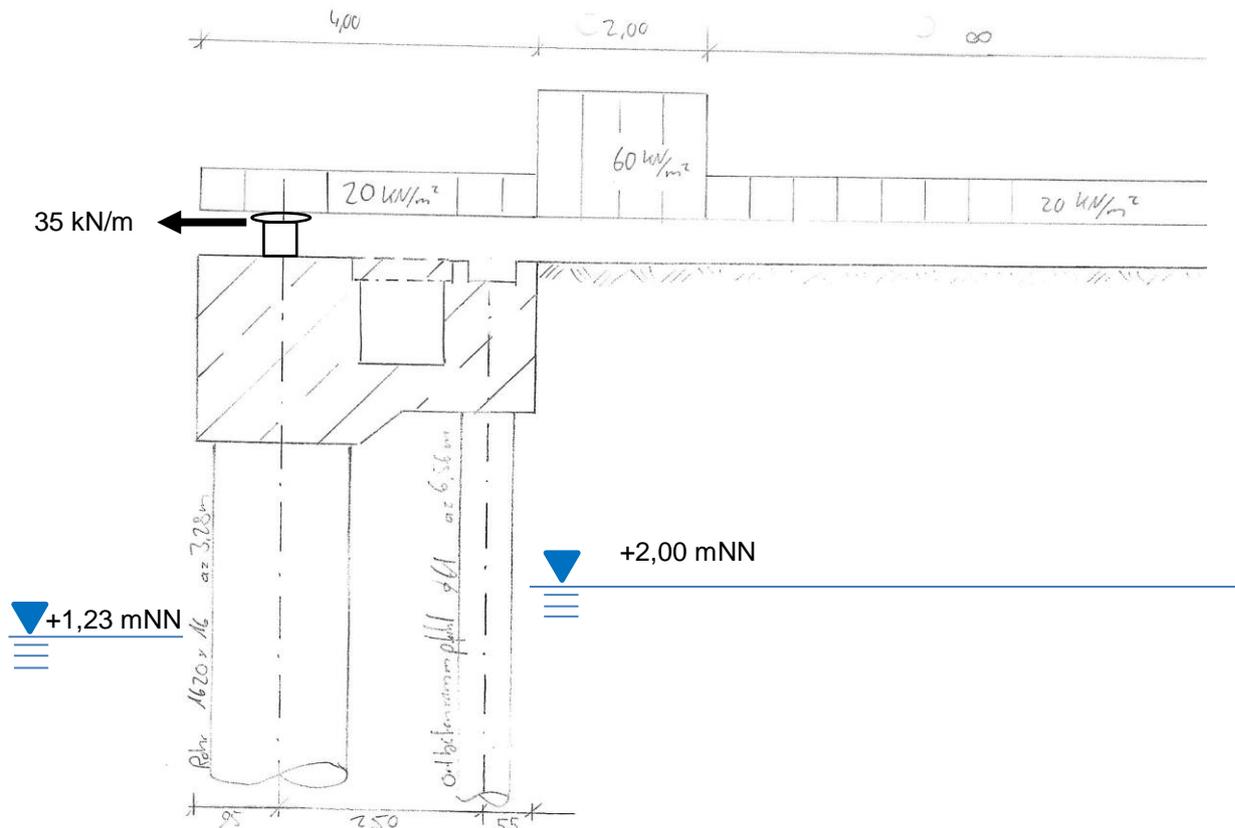


Abbildung 13 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

Die Allgemeine Nutzlast im Bereich des Betonholms wird rechnerisch als Ersatzstreckenlast in den Achsen von Spundwand und Ortbetonrammpfählen berücksichtigt.

Achse Spundwand	= 50 kN/m
Achse Kranbahnbalcken	= 35 kN/m

6.6 EK 10 - Nutzlast + Schwerlaststapler + Pollerzug (BS-T)

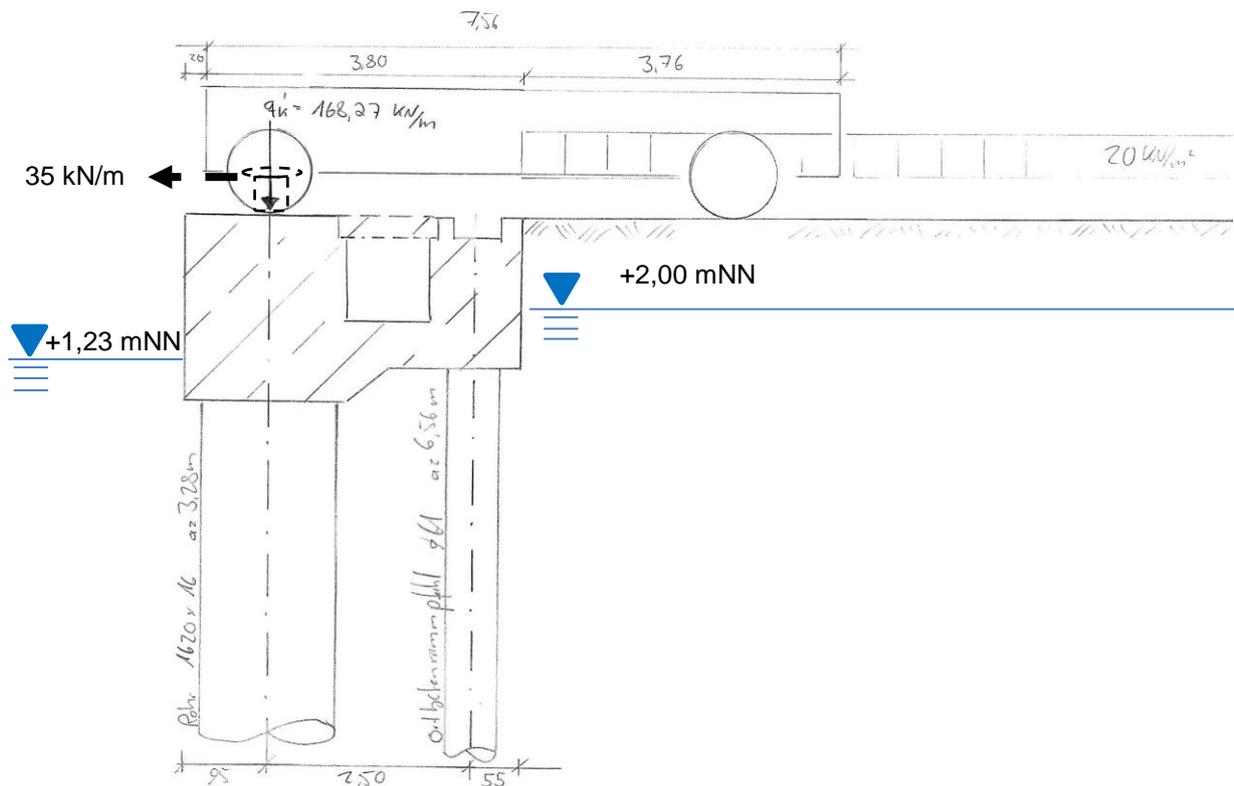


Abbildung 14 EK 10 - Nutzlast + Schwerlaststapler + Pollerzug (BS-T)

Für die EK 03 wird keine Nutzlast im Bereich des Betonholms angesetzt.

6.7 EK 30 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + BS 3c (BS-A)

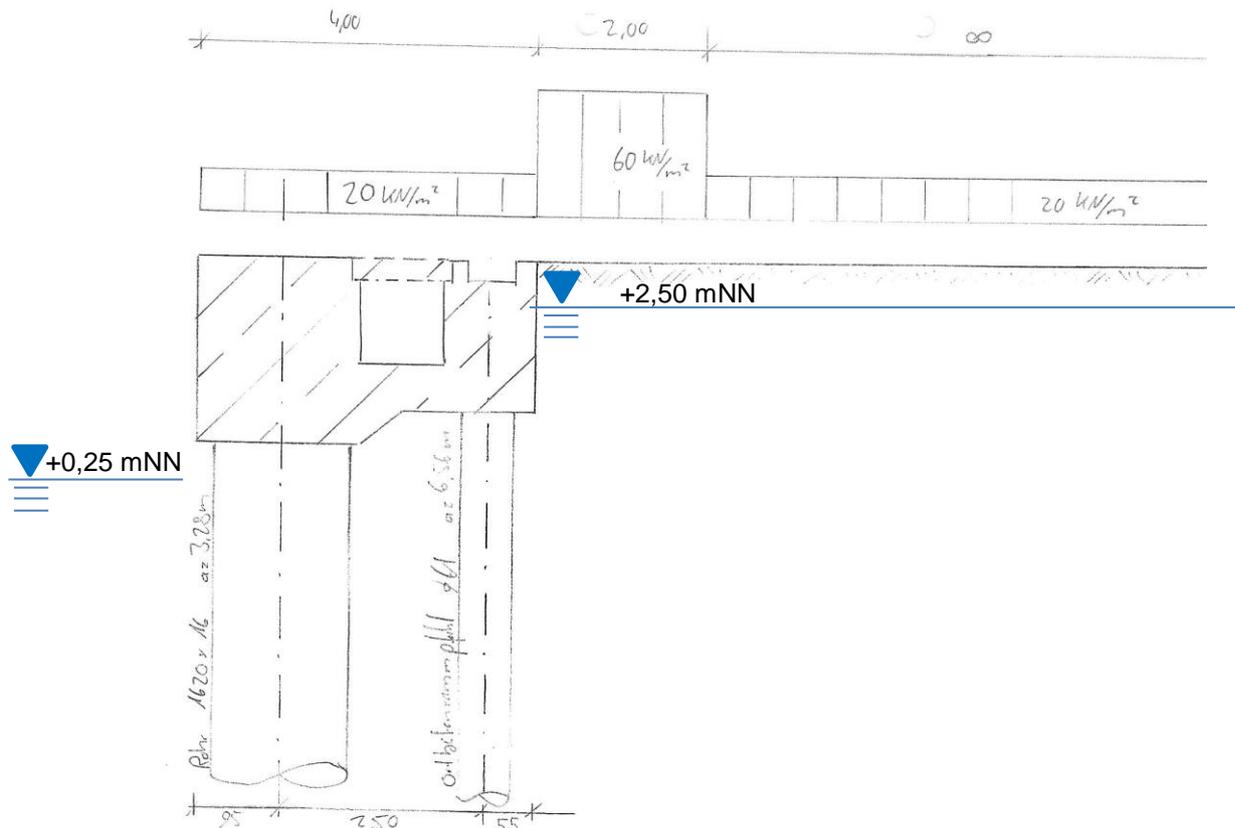


Abbildung 15 EK 30 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + BS 3c (BS-A)

Die Allgemeine Nutzlast im Bereich des Betonholms wird rechnerisch als Ersatzstreckenlast in den Achsen von Spundwand und Ortbetonrammpfählen berücksichtigt.

Achse Spundwand = 50 kN/m

Achse Kranbahnbalken = 35 kN/m

7 Abrostung

Die Spundwand ist für eine Lebensdauer von 80 Jahren zu bemessen.

Die Spundwand wird ohne passives Korrosionsschutzsystem ausgeführt. Die Abrostungsraten können der DIN EN 1993-5 Tab. 4.1 und 4.2 entnommen werden.

Seewasser in gemäßigttem Klima im Bereich der ständig unter Wasser ist, oder in der Wasserwechselzone	0,035 mm/a
Ungestörte natürlich gewachsene Böden (Sand, Schluff, Ton, Schiefer, ...)	0,012 mm/a
Aggressive natürliche Böden (Sumpf, Marsch, Torf, ...)	0,033 mm/a

Tabelle 1 : Abrostung nach DIN EN 1993-5

Nach DIN 50929 ist davon auszugehen, dass für niedrig und unlegierte Stähle eine mittlere bis hohe Wahrscheinlichkeit für Mulden- und Lochkorrosion und eine mittlere Wahrscheinlichkeit für Flächenkorrosion gegeben ist.

Nach Hoesch-Spundwandhandbuch Kap.2.2.6 Bild 2.8 ist oberhalb des mittleren Hafenvasserstandes mit größeren Abrostungen zu rechnen. Daher wird die Spundwand bei Hinterrammung des vorhandenen Bauwerks bis ca. +0,40 m unter den Hafenvasserspiegel einbetoniert.

8 Spundwandberechnungen

8.1 Bemessungsprofil IX

8.1.1 Übersicht

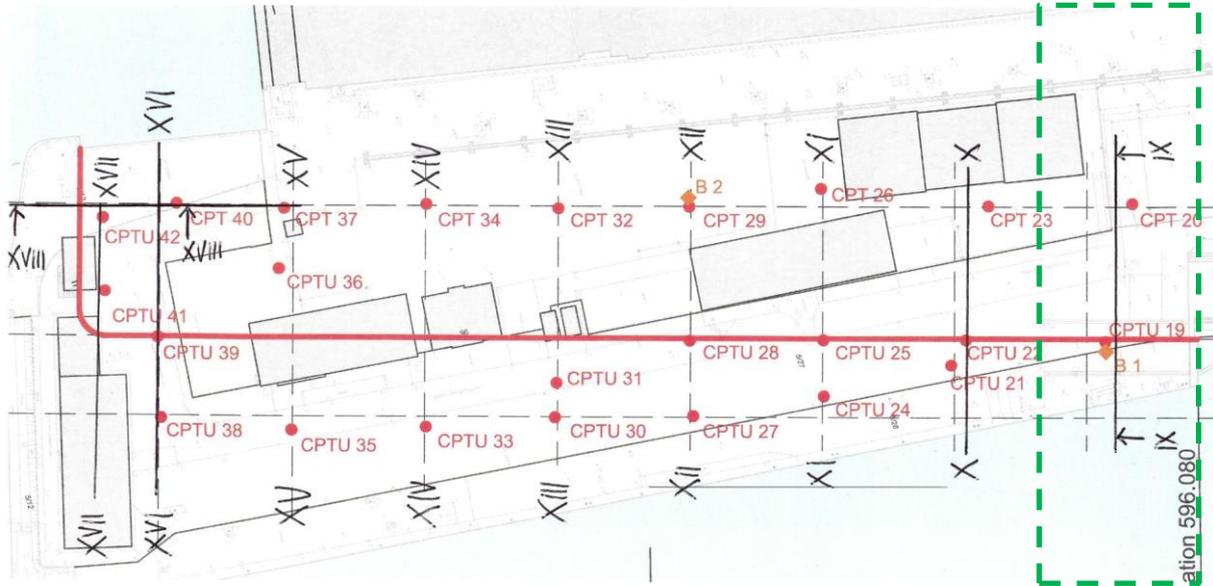


Abbildung 16 Bemessungsprofil IX - Lage [U1]

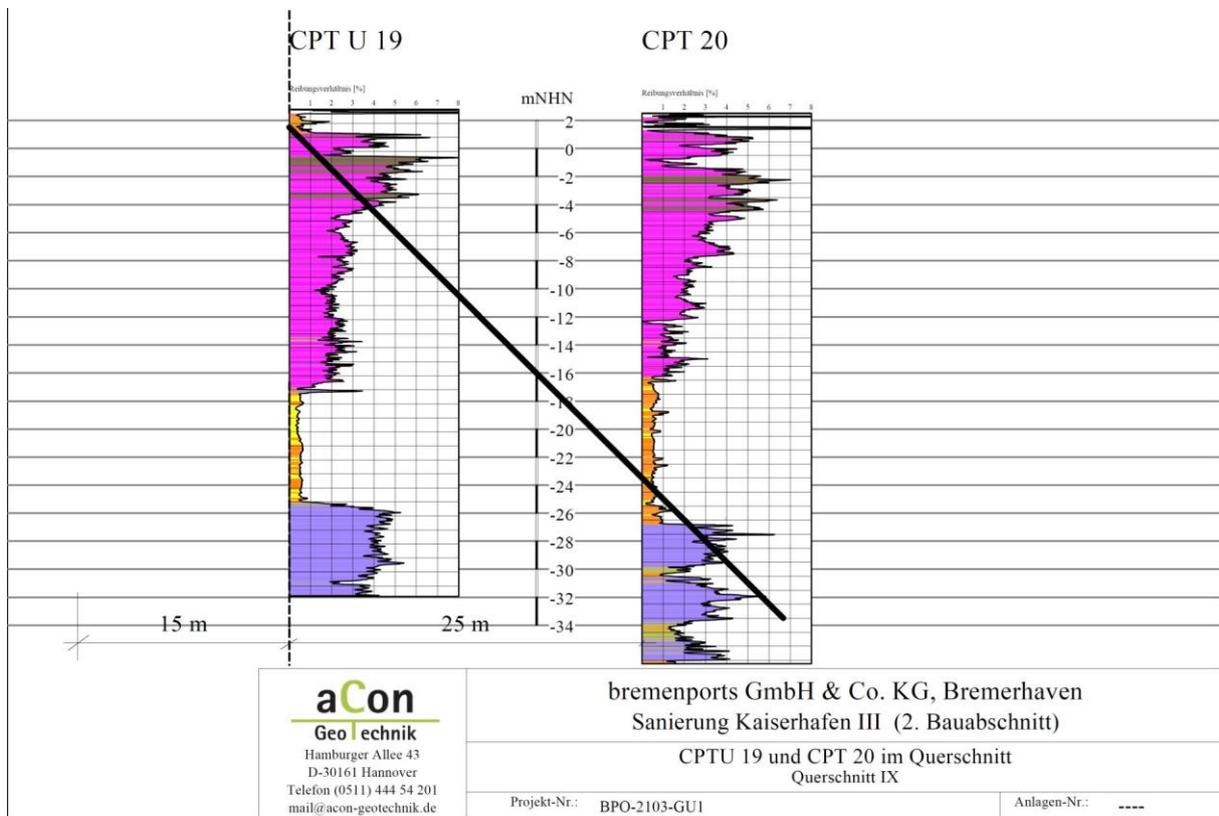


Abbildung 17 Bemessungsprofil IX - Querschnitt [U2]

8.1.2 Bodenkennwerte Erddruck

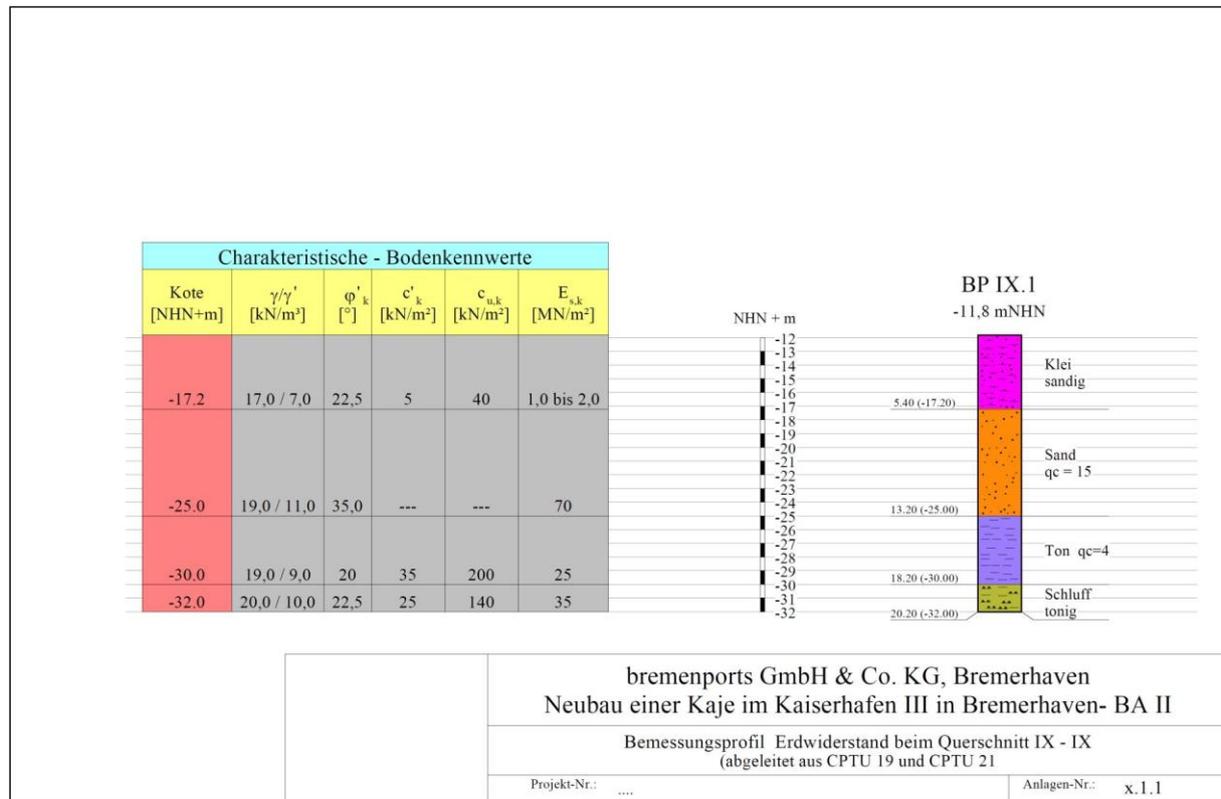


Abbildung 18 Bemessungsprofil IX - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

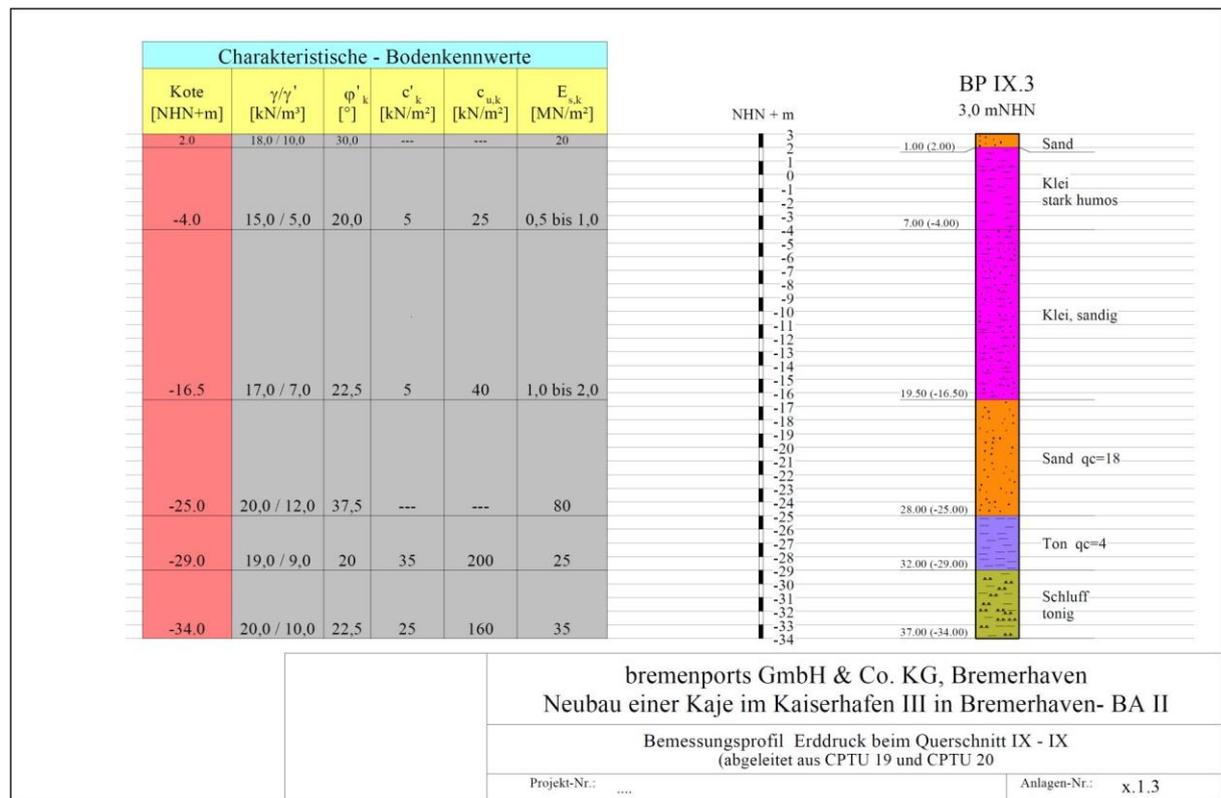


Abbildung 19 Bemessungsprofil IX - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

8.1.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

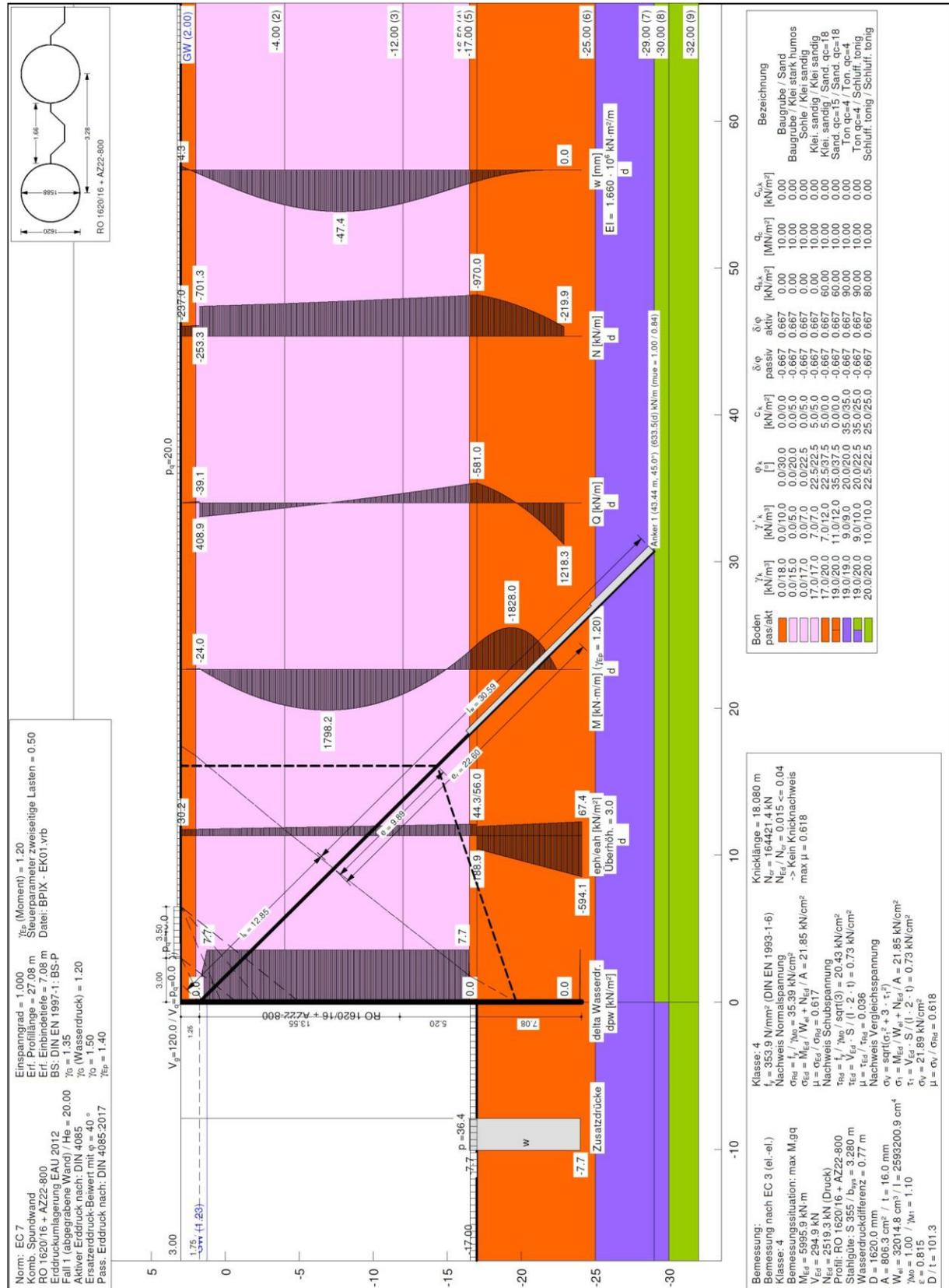
$$BS-P = (-11,80 + 17,00) \cdot 7 = 36,40 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 36,40 - 7,50 = 28,90 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
-

8.1.4 Spundwand- und Ankernachweise

8.1.4.1 EK 01 - Nutzlast + Verkehrsband 40 (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_k + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_k \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_k) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_k = 52.26 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 372.21 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 273.70 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 850.95 \text{ kN/m}$)
 $Ch_k = 896.78 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -672.00 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.5$
Summe $V(g+q)_k = 319.00$ (Druck) kN/m

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.46 bis -30.56 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

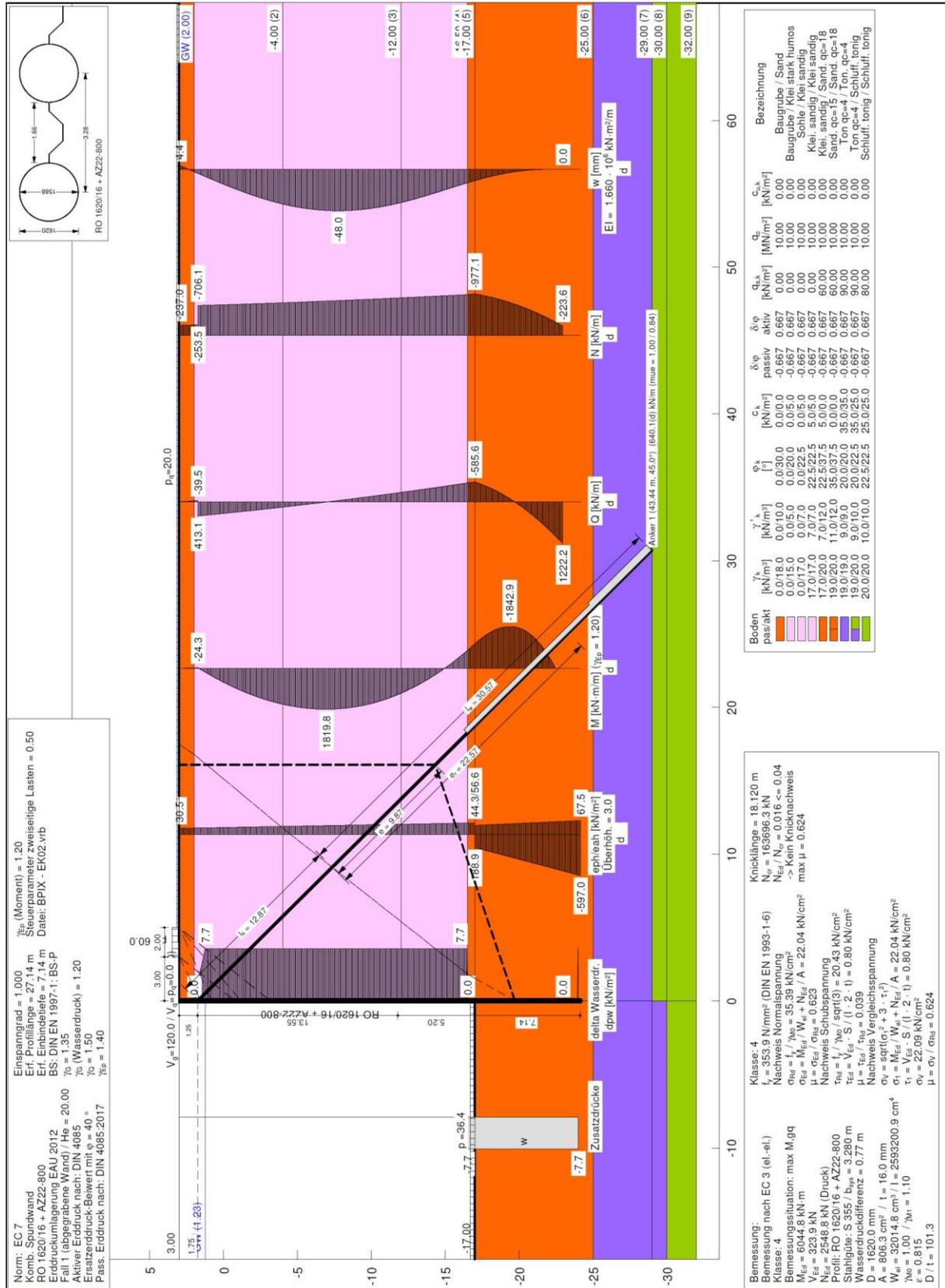
von	bis	$q_{s,k} [\text{kN/m}^2]$	Bezeichnung
-17.00	-24.08	26.67	Sand. $q_c=15$ / Sand. $q_c=18$

Mantelfläche bis -24.08 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{s1,d}$
 $R_{s1,d} = R_{s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 470.95 / 1.40 = 336.39 \text{ kN}$
 $R_{d} = R_{b,d} + R_{s1,d} = 912.32 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_d = G_d + E_{av,d} + P_{v,d} = 231.39 + 1240.21 + 2277.95 = 3749.55 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_d / R_d = 3749.55 / 912.32 = 4.11$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

8.1.4.2 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)



Maßgebend gegenüber dem Verkehrsband 40.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 52.37 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 372.55 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 276.20 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 859.51 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 898.84 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -675.22 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.5$
Summe $V(g+q)_{,k} = 319.41 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.52 bis -30.62 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

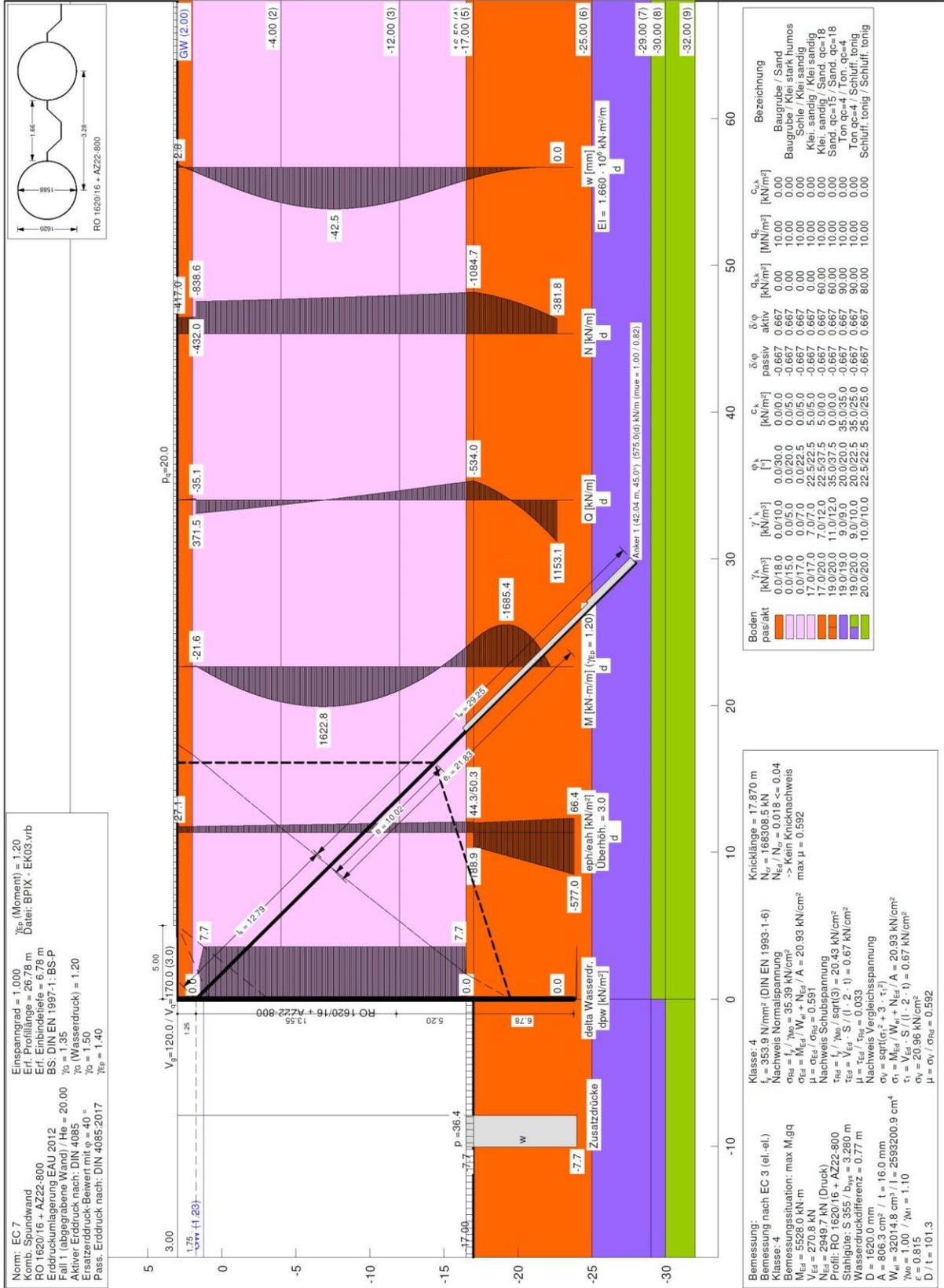
von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-17.00	-24.14	26.67	Sand, $q_c=15$ / Sand, $q_c=18$

Mantelfläche bis -24.14 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 474.94 / 1.40 = 339.24 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 915.17 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 231.90 + 1252.01 + 2293.30 = 3777.22 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3777.22 / 915.17 = 4.13$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

8.1.4.3 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 51.68 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 370.42 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 254.28 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 780.51 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 855.87 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -635.93 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.5$
Summe $V(g+q)_{,k} = 319.91 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.16 bis -30.26 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-17.00	-23.78	26.67	Sand. $q_c=15$ / Sand. $q_c=18$

Mantelfläche bis -23.78 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 450.99 / 1.40 = 322.14 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 898.07 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 228.83 + 1147.07 + 2732.50 = 4108.41 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4108.41 / 898.07 = 4.57$

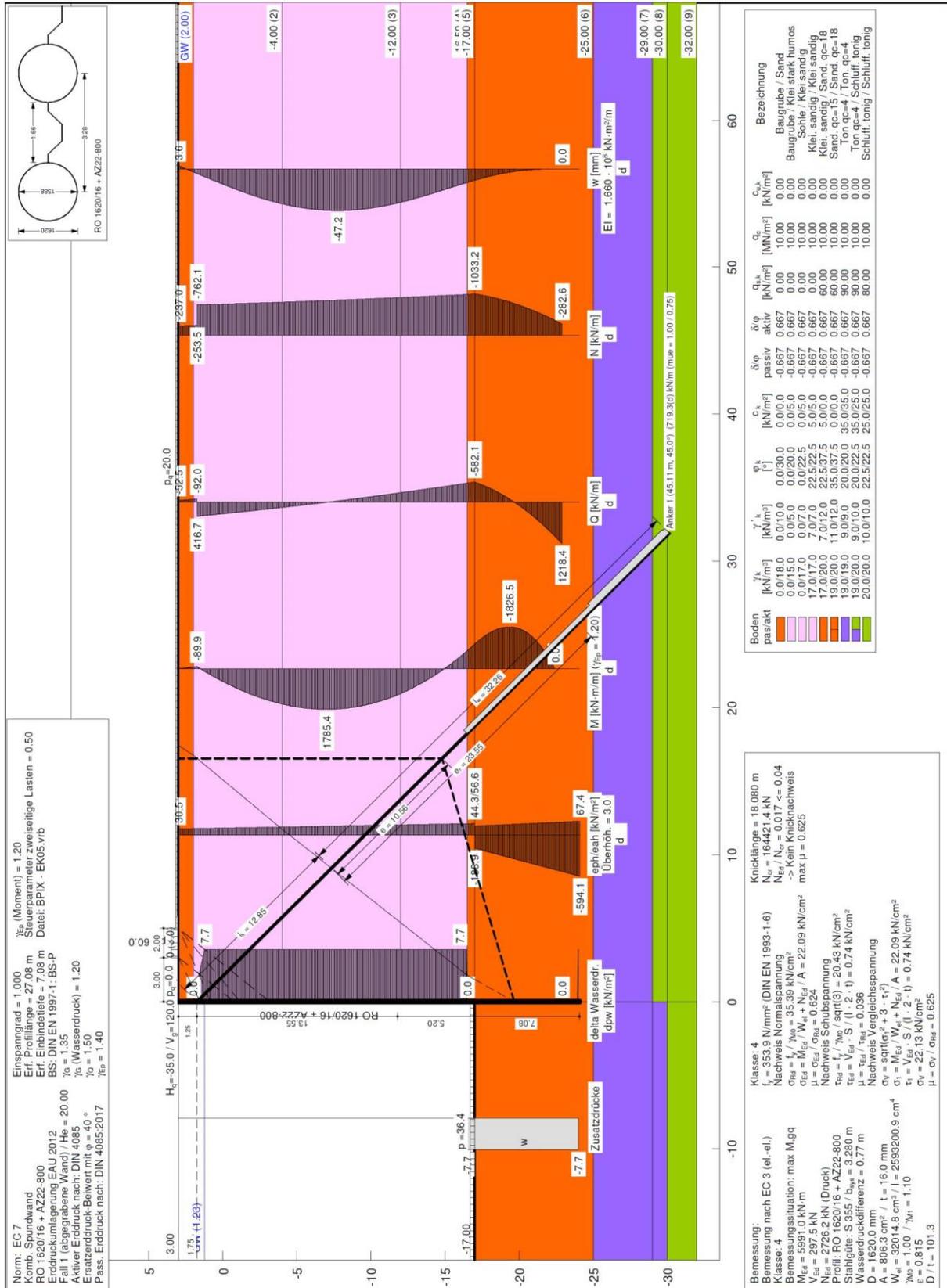
Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.1.4.4 EK 04 - Nutzlast + Auslegerkran (BS-P / BS-T)

Die Fahrwerkslasten des Auslegerkrans werden über die zugehörige Tiefgründung abgetragen. Der Leinenpfad ist bei Kranbetrieb frei von Nutzlasten, die EK04 wird bei der Bemessung der Spundwand nicht maßgebend.

8.1.4.5 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 52.26 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 372.19 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 275.11 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 857.18 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 896.83 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -672.35 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.5$
Summe $V(g+q)_{,k} = 320.05 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.46 bis -30.56 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-17.00	-24.08	26.67	Sand, $q_c=15$ / Sand, $q_c=18$

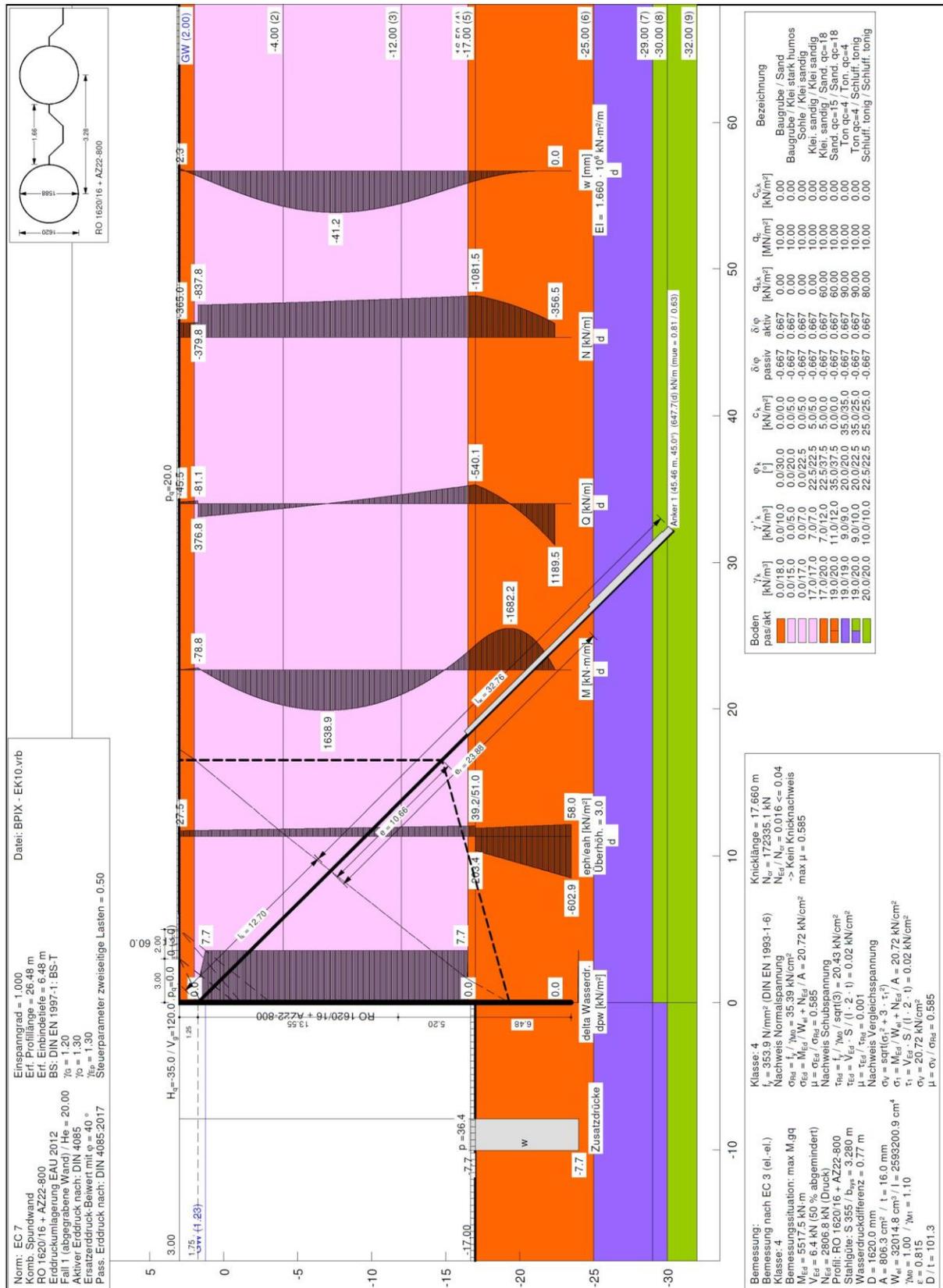
Mantelfläche bis -24.08 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 470.95 / 1.40 = 336.39 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 912.32 \text{ kN}$

Einwirkung $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 231.39 + 1247.15 + 2477.00 = 3955.55 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3955.55 / 912.32 = 4.34$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.1.4.6 EK 10 - Nutzlast + Stapler + Pollerzug (BS-T)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 51.10 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 368.65 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 267.54 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 847.49 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 970.89 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -699.81 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.5$
Summe $V(g+q)_{,k} = 304.50$ (Druck) kN/m

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.86 bis -29.96 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k}$ [kN/m^2]	Bezeichnung
-17.00	-23.48	26.67	Sand. $q_c=15$ / Sand. $q_c=18$

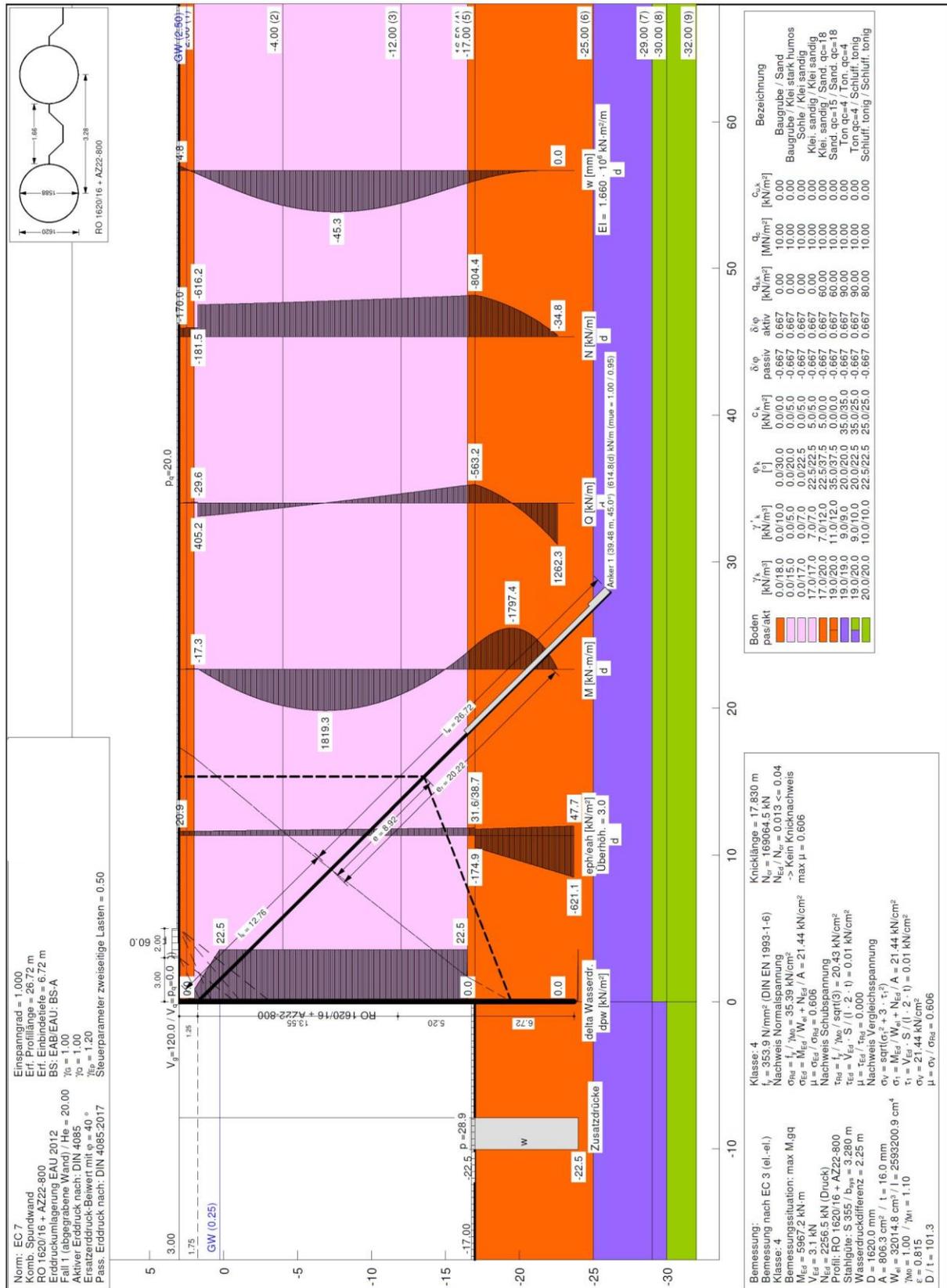
Mantelfläche bis -23.48 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 431.04 / 1.40 = 307.88 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 883.81 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 201.12 + 1073.07 + 2699.39 = 3973.59 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3973.59 / 883.81 = 4.50$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.1.4.7 EK 30 - Verkehrslasten (BS-A)



Summe V nicht maßgebend.

8.1.4.8 Zusammenfassung GGU Retain

EK	Lastfall							Bemessungssituation	Zusammenfassung						
	01	02		03	4a	4b	05		06	07	Profilänge l [m]	Max. M_{ed} / Min. M_{ed} [kNm/m]	$\max t $ [-]	Ankerkraft N_{ed} [kN/m]	Nachweis N_V [kN]
	Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutzlast	Verkehrsband 40 ($q=40 \text{ kN/m}^2$ $b=3,50 \text{ m}$)	Verkehrsband 60 ($q=60 \text{ kN/m}^2$ $b=2,00 \text{ m}$)	Schwerlaststapler	Kranbahn	Polierzug						
01	X	BS 3a	-	X	X						27,5	1799	0,62	634	3750
02	X	BS 3a	-	X		X					27,5	1820	0,63	641	3778
03	X	BS 3a	-	X			X				27,0	-1685	0,59	575	4109
04	X	BS 3a	-	X				X							
05	X	BS 3a	-	X		X			X		27,5	-1827	0,63	720	3956
10	X	BS 3a	-	X					X		26,5	-1683	0,59	648	3974

8.1.4.9 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Maßgebend für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ist die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt. Der Nachweis wird mit Excel geführt und ergibt sich wie folgt:

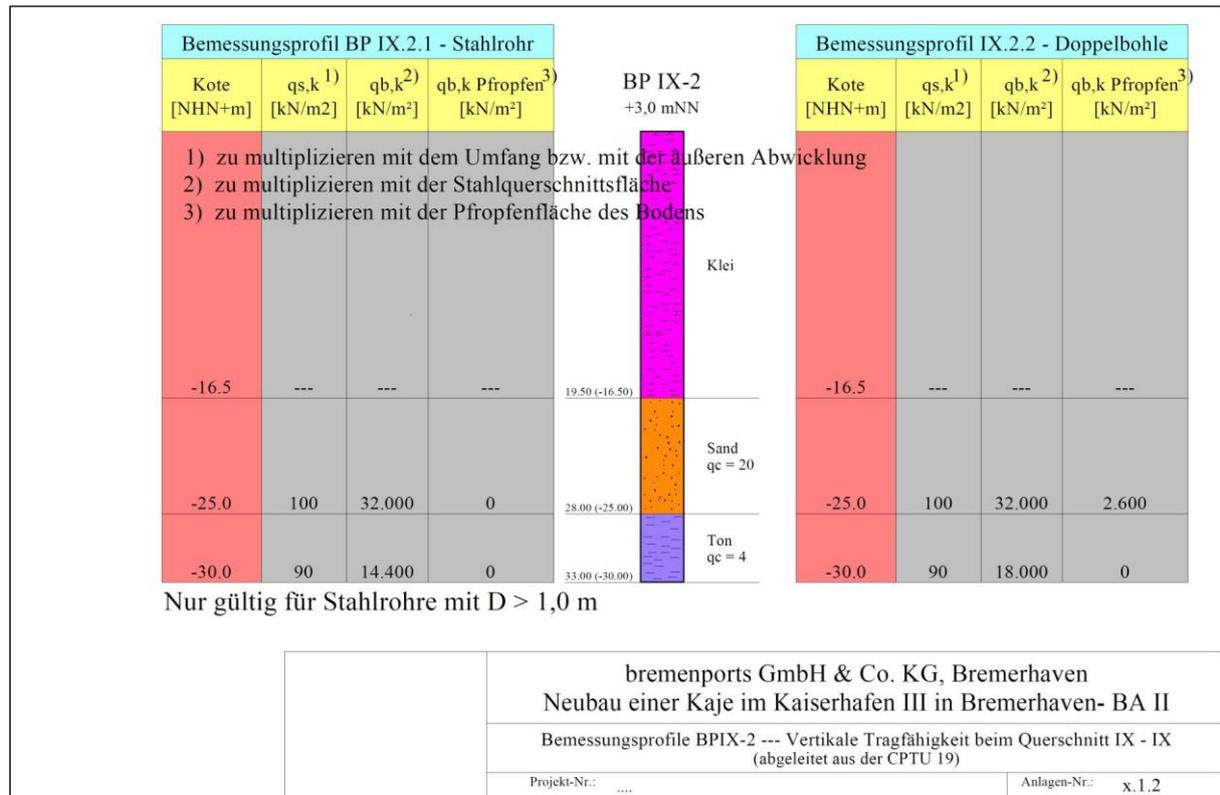


Abbildung 20 Bemessungsprofil IX – Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BPIX.2

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1.620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahllänge gem. GGU		26,50 m			
Verlängerung infolge ΣV		m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	27,00 m			
Freie Eingabe	$l_p =$	m			
Gewählte Pfahllänge	$l_p =$	27,00 m			

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 229 kN/m =	229 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Ja	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	=	0 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 1148 kN/m =	1.148 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 2733 kN/m =	2.733 kN
	$\Sigma G =$	4110	4.110 kN
	$Q_1 =$	0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$	0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,50	19,50	0	0	1	2,54	19,50	0
2	Sand $q_c=20$	-16,50	-17,00	0,50	0	60	1	2,54	0,50	76
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand $q_c=20$	-17,00	-25,00	8,00	32.000	100	2	5,09	7,00	3.563
5	Ton $q_c=4$	-25,00	-30,00	5,00	14.400	90	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-24,00	27,00	32.000	-				3.639

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfußwiderstand bei $z = -24,00$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 2.580 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 3.639 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 4.110 kN $E_{1,d} =$ 4.110 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 6.219 kN $R_{1,d} =$ 5.654 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 4.110 kN $<$ 5.654 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 73%.

Bei einer reduzierten Profillänge von 27,0 m ergibt sich der Nachweis wie folgt dargestellt.
 Die Auswirkungen auf den Einspanngrad sind vernachlässigbar.

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination **Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)**
 Bemessungsprofil **BPIX.2**

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1.620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdick	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m

Pfahlänge gem. GGU		m
Verlängerung infolge ΣV		m
Aufrunden		0,50 m
	$\Sigma =$	0,50 m
Freie Eingabe	$l_p =$	27 m
Gewählte Pfahlänge	$l_p =$	27,00 m

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m *	232 kN/m =	232 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Nein		
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	27,00 m *	8,54 kN/m =	231 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m *	1248 kN/m =	1.248 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m *	2232 kN/m =	2.232 kN
	$\Sigma G =$		3712	3.943 kN
	$Q_1 =$		0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$		0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$		0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,50	19,50	0	0	1	2,54	19,50	0
2	Sand $q_c=20$	-16,50	-17,00	0,50	0	60	1	2,54	0,50	76
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand $q_c=20$	-17,00	-25,00	8,00	32.000	100	2	5,09	7,00	3.563
5	Ton $q_c=4$	-25,00	-30,00	5,00	14.400	90	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-24,00	27,00	32.000	-				3.639

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{PC}$$

Pfahlfusswiderstand bei $z = -24,00$ mNN	$R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$	2.580 kN	Faktor Stahlquerschnitt $n =$	1
Pfahlmantelwiderstand	$R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$	3.639 kN		

Teilsicherheitsbeiwerte:	$\gamma_{G,dest} =$	1,00	$\gamma_{Q,dest} =$	1,00
	$\gamma_{PC} =$	1,30 (Frei gewählt)		

Einwirkung:	$E_{1,k} =$	3.943 kN	$E_{1,d} =$	3.943 kN
Widerstand:	$R_{1,k} =$	6.219 kN	$R_{1,d} =$	4.784 kN

Nachweis:	$E_{1,d} =$	3.943 kN	$<$	4.784 kN	$= R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 82%.					

8.1.4.10 Herausziehwiderstand

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 geführt und ergibt sich zu:

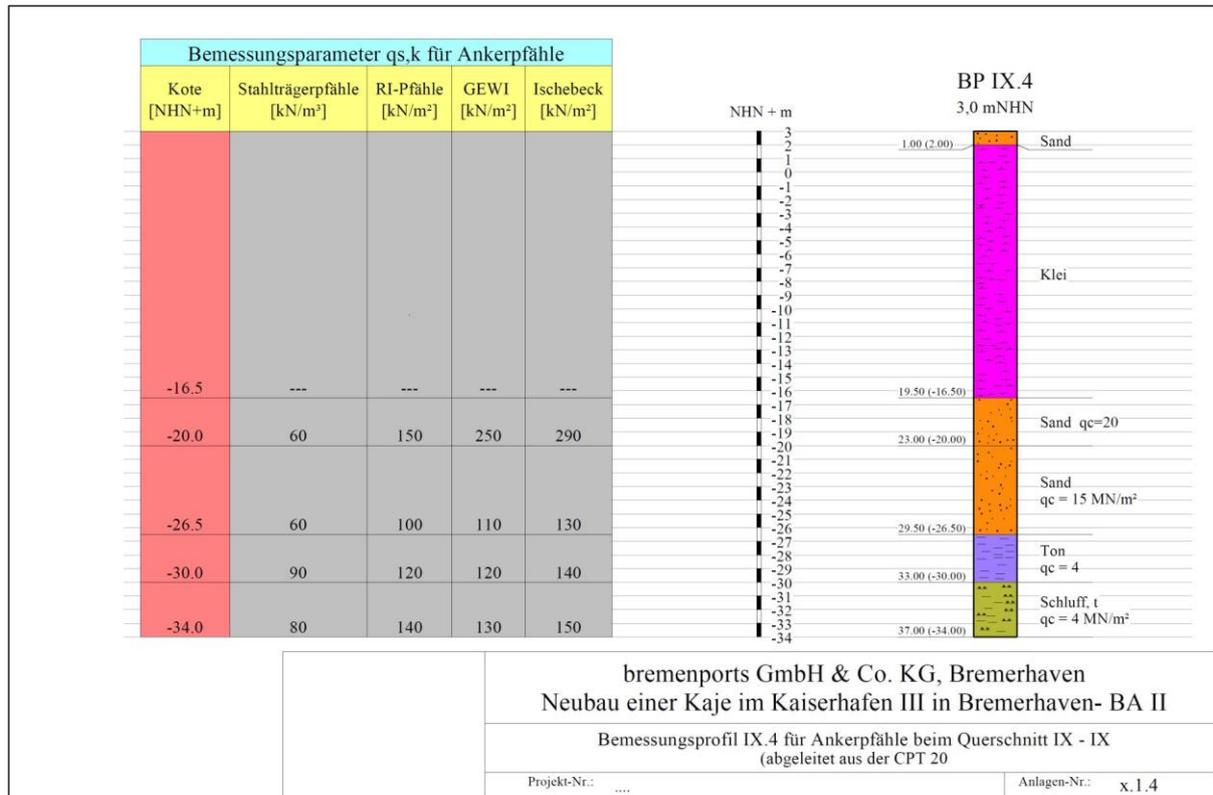


Abbildung 21 Bemessungsprofil IX - Bodenkennwerte Herausziehwiderstand [U1]

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil BPIX.4
 Lastfallkombination 05

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 43,50$ m
 Pfahlneigung $\alpha = 45,00^\circ$
 UK Pfahl UK= -29,01 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK	UK	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
		[mNN]	[mNN]					
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-16,50	8,50	0	12,02	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,50	-20,00	3,50	60	4,95	745	
4	Sand $q_c=15$	-20,00	-26,50	6,50	60	9,19	1.384	
5	Ton $q_c=4$	-26,50	-30,00	3,50	90	3,55	802	
6	Schluff $q_c=4$	-30,00	-37,00	7,00	80	0,00	0	
7	Annahme Schluff $q_c=4$	-37,00	-50,00	13,00		0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-29,01		39,31	43,50	2931	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 720$ kN/m $E_{1,d} = 2.362$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{PC} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 2.931$ kN $R_{1,d} = 2.549$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 2.362$ kN < 2.549 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 93%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 2.362$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 137$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 38%.

8.2 Bemessungsprofil X

8.2.1 Übersicht

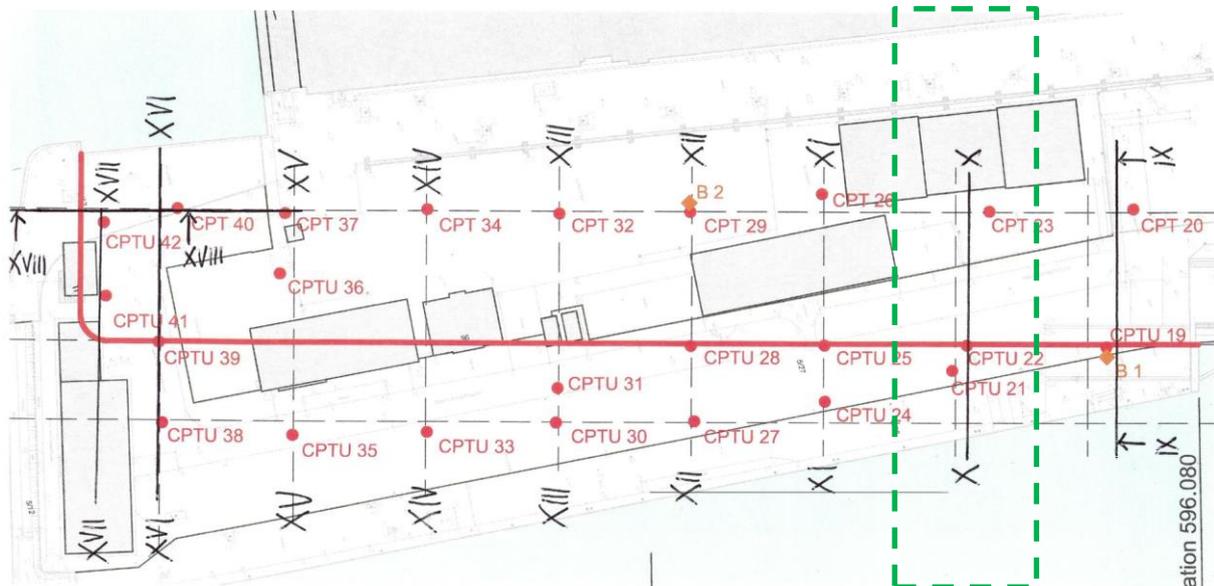


Abbildung 22 Bemessungsprofil X - Lage [U1]

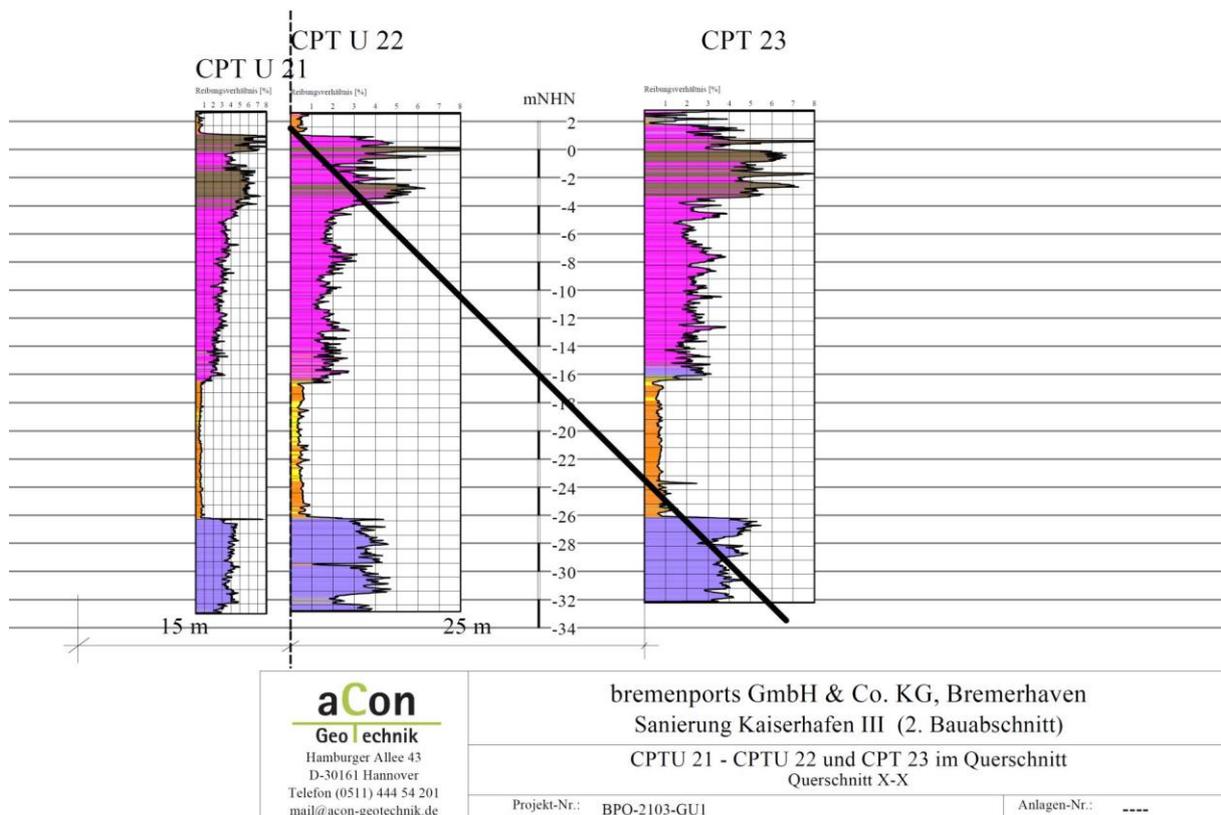


Abbildung 23 Bemessungsprofil X - Querschnitt [U2]

8.2.2 Bodenkennwerte Erddruck

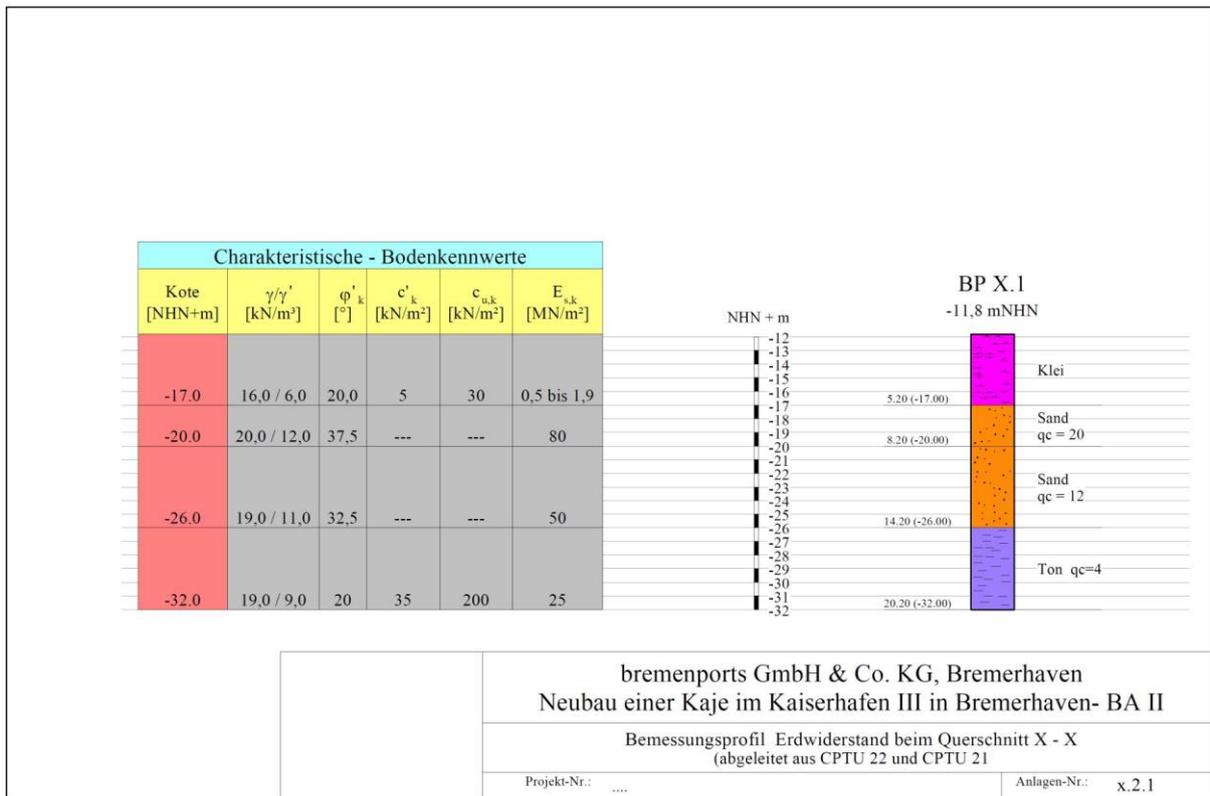


Abbildung 24 Bemessungsprofil X - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

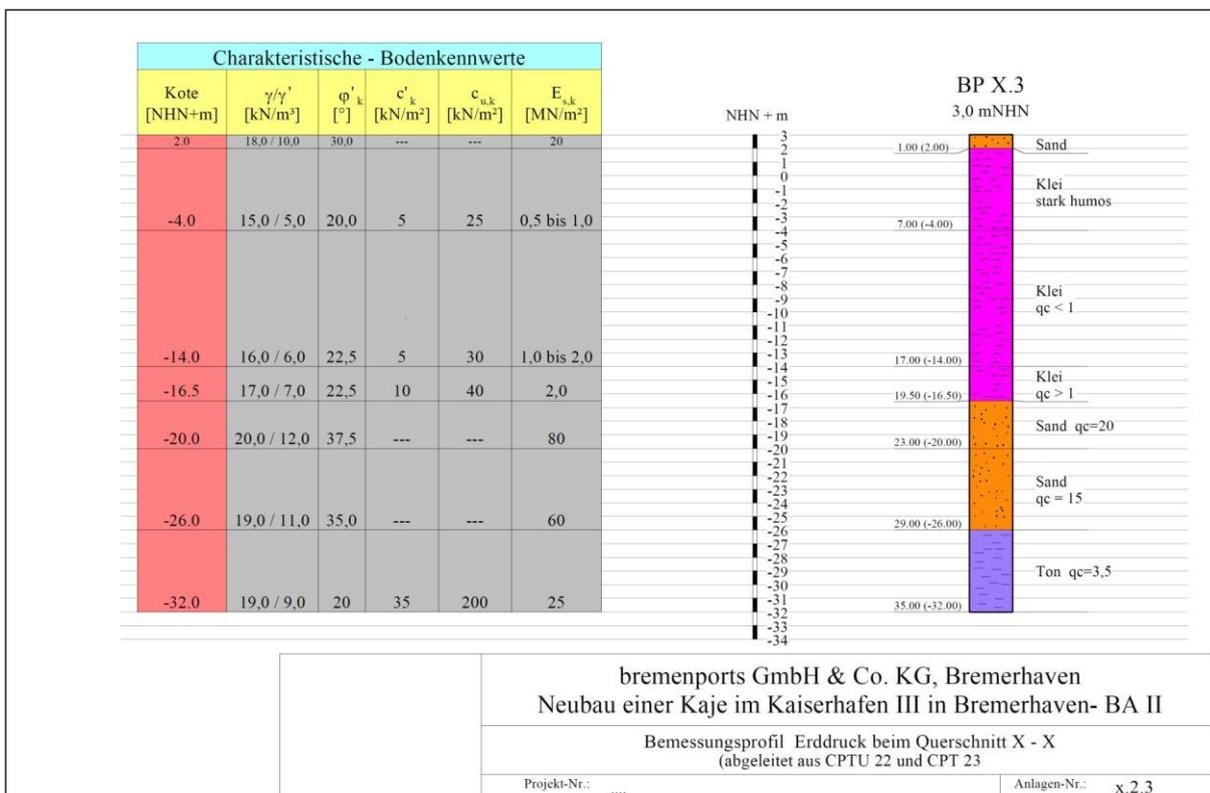


Abbildung 25 Bemessungsprofil X - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

8.2.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

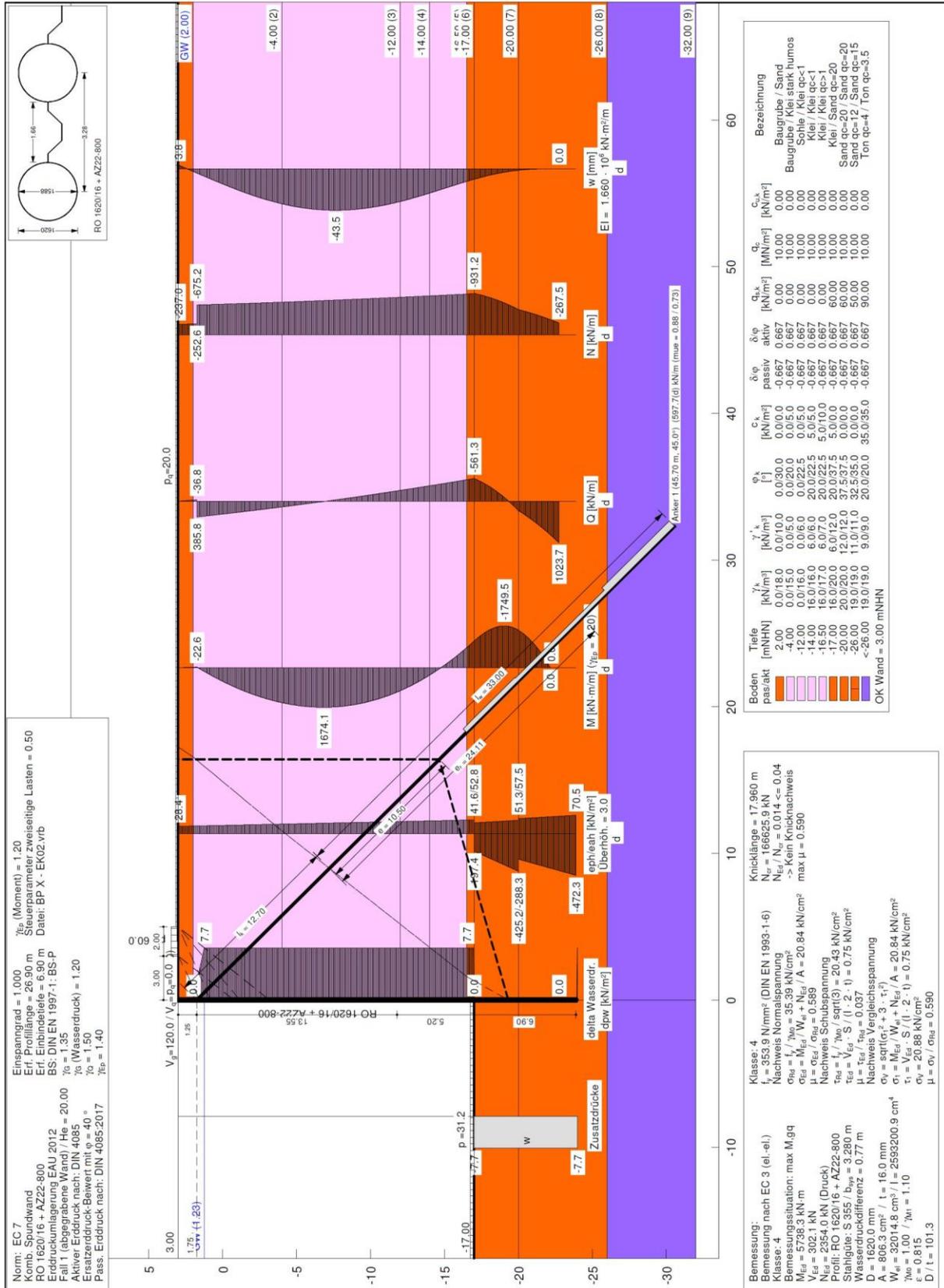
$$BS-P = (-11,80 + 17,00) \cdot 6 = 31,20 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 31,20 - 7,50 = 23,70 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
-

8.2.4 Spundwand- und Ankernachweise

8.2.4.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)



Biagebemessung am Bemessungsprofil X nicht maßgebend, vgl. Abschnitt 8.1.4.2.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 51.91 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 351.23 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 256.08 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 807.62 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 753.14 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -600.83 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -21.7$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 285.75 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.28 bis -30.38 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma_{(q_{b,k})} = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

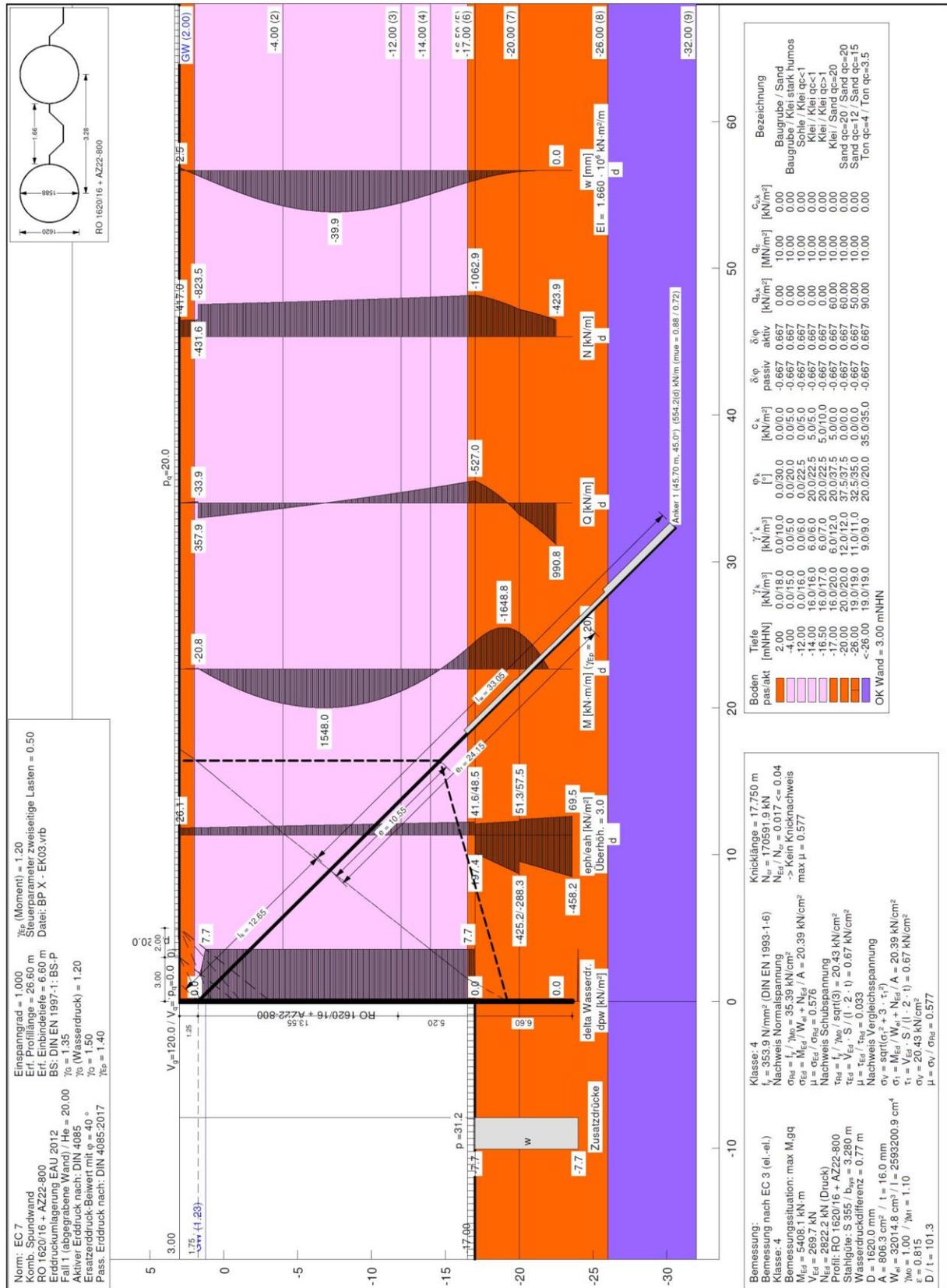
von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-17.00	-20.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-20.00	-23.90	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=15$

Mantelfläche bis -23.90 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma_{(q_{s,k})} = 458.97 / 1.40 = 327.84 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 903.77 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 229.85 + 1162.84 + 2194.77 = 3587.47 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3587.47 / 903.77 = 3.97$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

8.2.4.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 51.33 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 349.73 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 240.55 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 752.08 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 733.56 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -579.95 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -21.7$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 283.11$ (Druck) kN/m

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.98 bis -30.08 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k}$ [kN/m^2]	Bezeichnung
-17.00	-20.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-20.00	-23.60	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=15$

Mantelfläche bis -23.60 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 439.02 / 1.40 = 313.58 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 889.51 \text{ kN}$

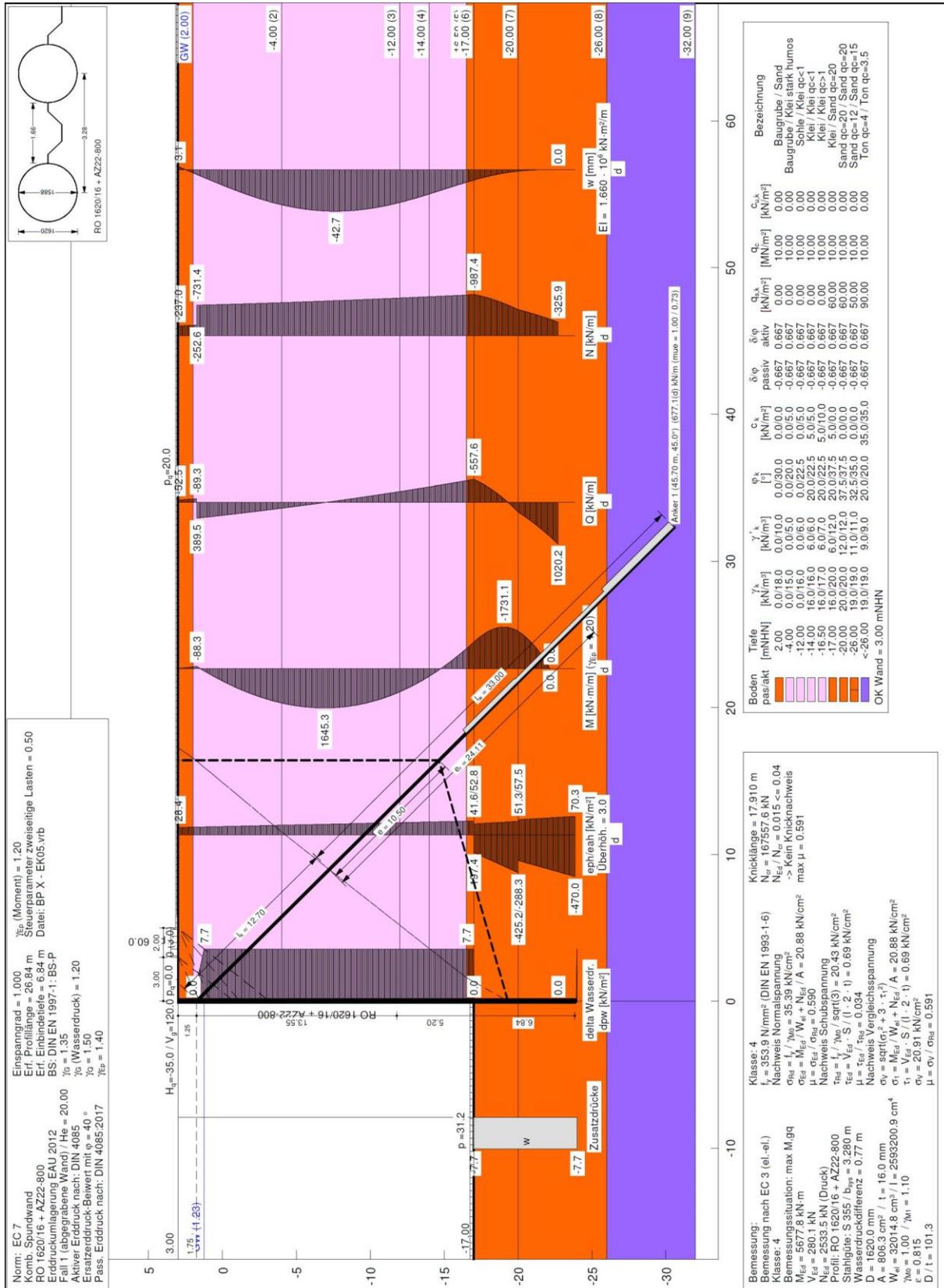
Einwirkungen

$V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 227.29 + 1088.77 + 2684.01 = 4000.06 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4000.06 / 889.51 = 4.50$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.2.4.3 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 51.79 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 350.93 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 255.03 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 805.18 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 751.20 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -598.42 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -21.7$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 286.11$ (Druck) kN/m

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.22 bis -30.32 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k}$ [kN/m^2]	Bezeichnung
-17.00	-20.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-20.00	-23.84	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=15$

Mantelfläche bis -23.84 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 454.98 / 1.40 = 324.99 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 900.92 \text{ kN}$

Einwirkungen

$V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 229.34 + 1158.13 + 2378.96 = 3766.43 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3766.43 / 900.92 = 4.18$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.2.4.4 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil **BP X**

EIK	01		02		Lastfall					Bemessungssituation	Zusammenfassung				
	Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutzlast	4a	4b	05	06	07		Polterzug	Profillänge l [m]	Max. M _{ed} / Min. M _{ed} [kNm/m]	max μ [-]	Ankerkraft N _{ed} [kN/m]
01	X	BS 3a	-	X	X						27,0	-1750	0,59	598	3588
02	X	BS 3a	-	X		X					27,0	-1649	0,58	555	4000
03	X	BS 3a	-	X			X								
04	X	BS 3a	-	X				X							
05	X	BS 3a	-	X		X			X		27,0	-1731	0,59	678	3767
10	X	BS 3a	-	X											

8.2.4.5 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt und ergibt sich zu:

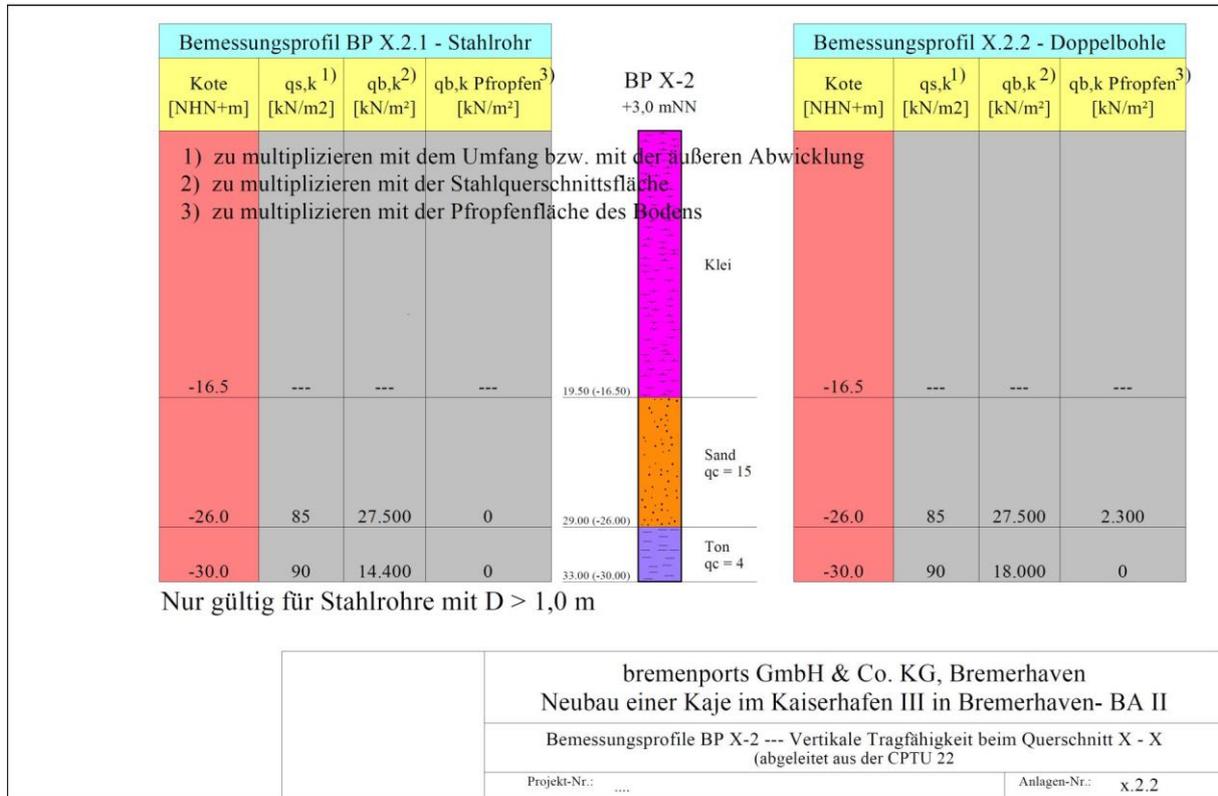


Abbildung 26 Bemessungsprofil X - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BP X - Vertikale Tragfähigkeit

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahlänge gem. GGU		26,50 m			
Verlängerung infolge ΣV		m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	27,00 m			
Freie Eingabe	$l_p =$	m			
Gewählte Pfahlänge	$l_p =$	27,00 m			

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 228 kN/m =	228 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Nein	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	0,50 m * 8,54 kN/m =	4 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 1089 kN/m =	1.089 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 2684 kN/m =	2.684 kN
	$\Sigma G =$	4001	4.005 kN
	$Q_1 =$	0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$	0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,50	19,50	0	0	1	2,54	19,50	0
2	Sand $q_c=20$	-16,50	-17,00	0,50	0	100	1	2,54	0,50	127
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand $q_c=15$	-17,00	-26,50	9,50	27.500	85	2	5,09	7,00	3.028
5	Ton $q_c=4$	-26,50	-30,00	3,50	14.400	90	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-24,00	27,00	27.500	-				3.155

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfußwiderstand bei $z = -24,00$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 2.217 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 3.155 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 4.005 kN $E_{1,d} =$ 4.005 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 5.373 kN $R_{1,d} =$ 4.884 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 4.005 kN $<$ 4.884 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 82%.

8.2.4.6 Nachweis gegen Herausziehen

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 geführt und ergibt sich zu:

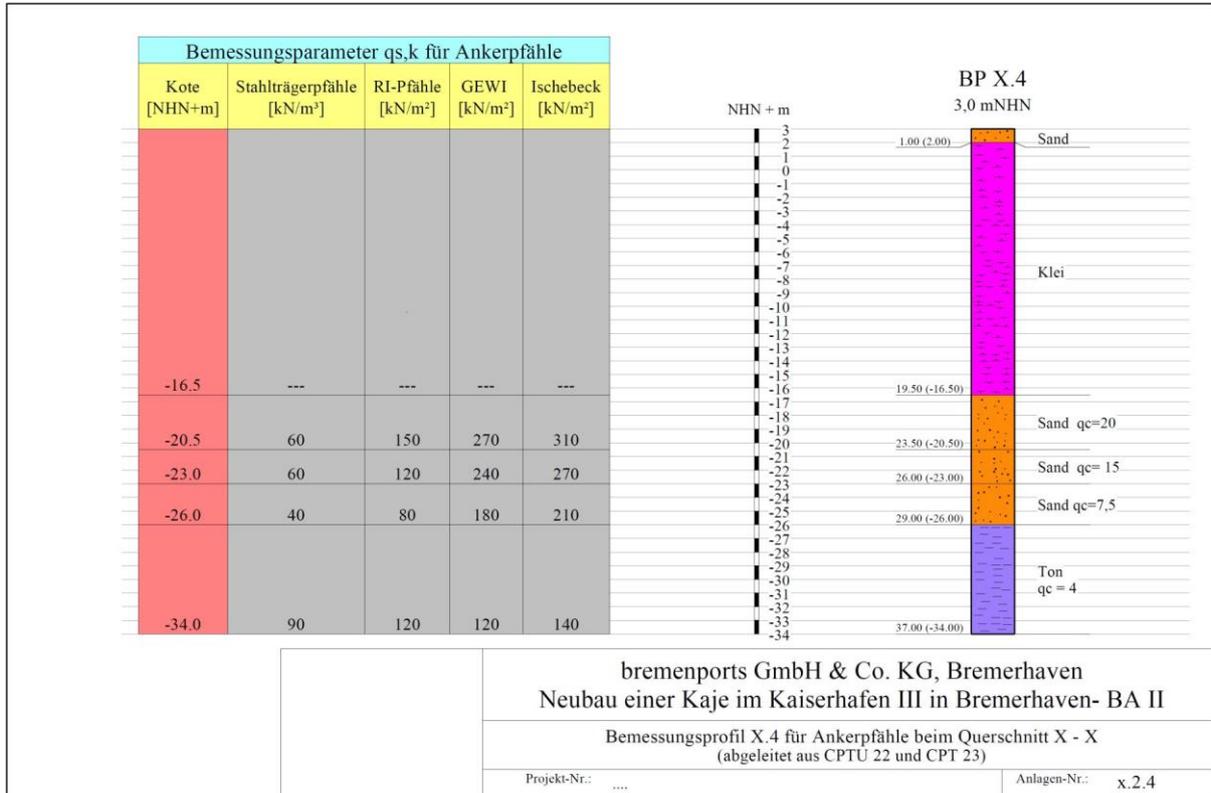


Abbildung 27 Bemessungsprofil X - Bodenkennwerte Herausziehwiderstand [U1]

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BPXII - Herauszieh Widerstand
 Lastfallkombination: 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 43,50$ m
 Pfahlneigung: $\alpha = 45,00^\circ$
 UK Pfahl: UK= -29,01 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche: $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK	UK	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
		[mNN]	[mNN]					
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-16,50	8,50	0	12,02	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,50	-20,50	4,00	60	5,66	852	
4	Sand $q_c=15$	-20,50	-23,00	2,50	60	3,54	532	
5	Sand $q_c=7,5$	-23,00	-26,00	3,00	40	4,24	426	
6	Ton $q_c=3,5$	-26,00	-34,00	8,00	90	4,26	961	
7	Annahme Ton $q_c=3,5$	-34,00	-50,00	16,00	90	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-29,01		37,17	43,50	2772	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 678$ kN/m $E_{1,d} = 2.224$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{PC} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 2.772$ kN $R_{1,d} = 2.410$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 2.224$ kN < 2.410 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 92%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 2.224$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 129$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 36%.

8.3 Bemessungsprofil XI

8.3.1 Übersicht

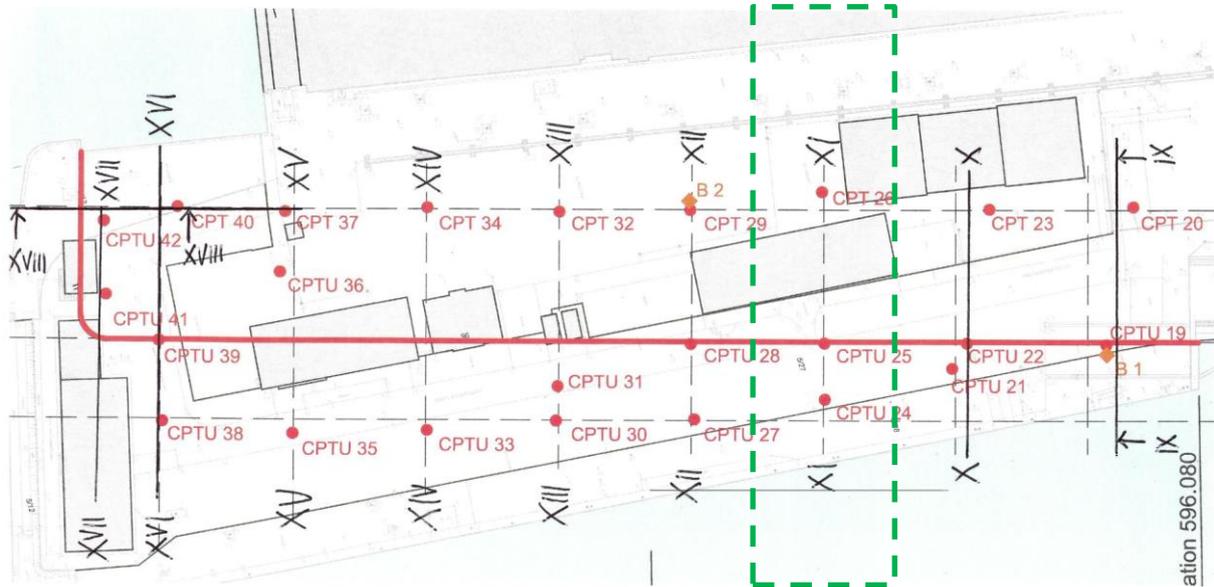


Abbildung 28 Bemessungsprofil XI - Lage [U1]

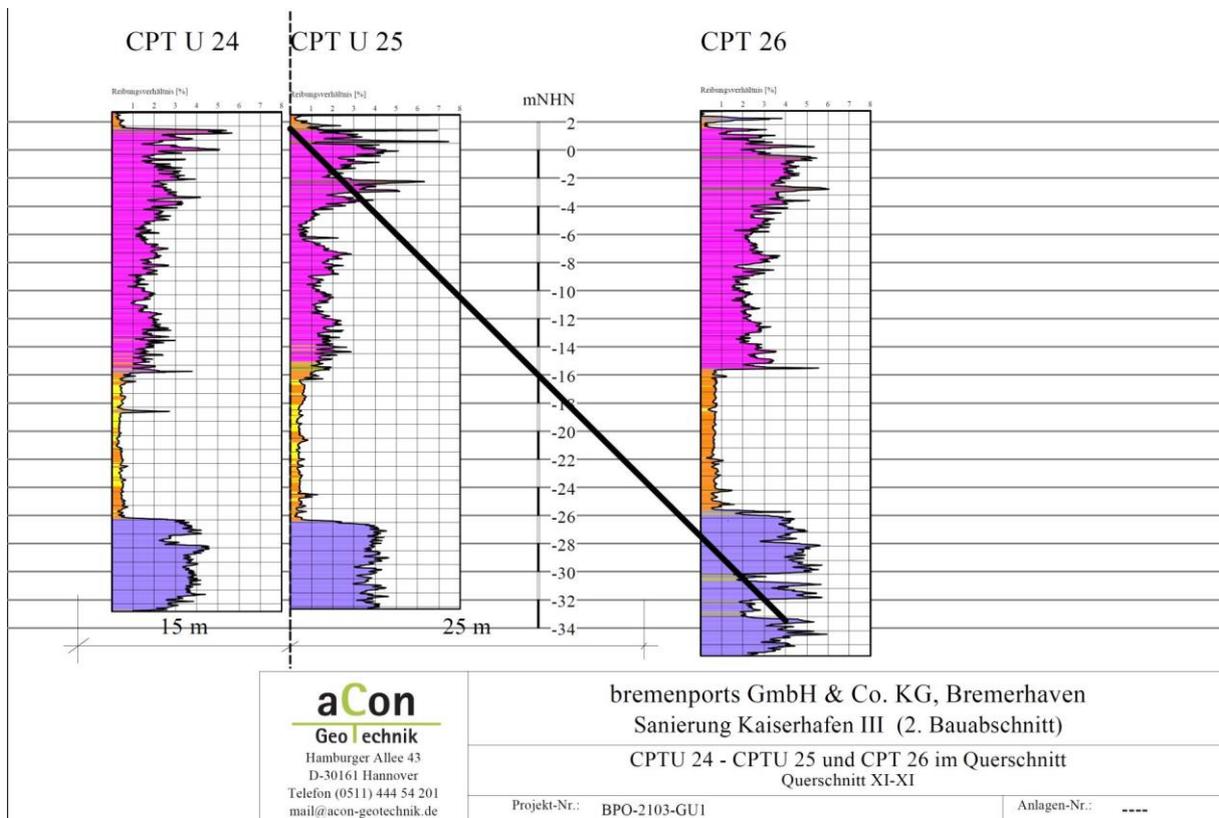


Abbildung 29 Bemessungsprofil XI - Querschnitt [U2]

8.3.2 Bodenkennwerte Erddruck

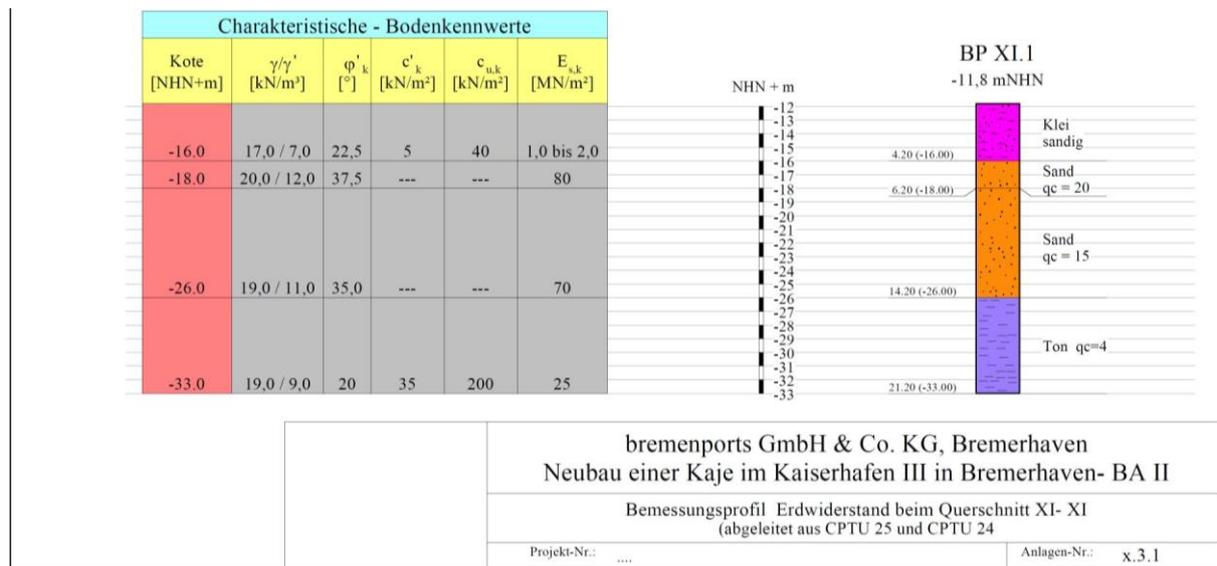


Abbildung 30 Bemessungsprofil XI - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

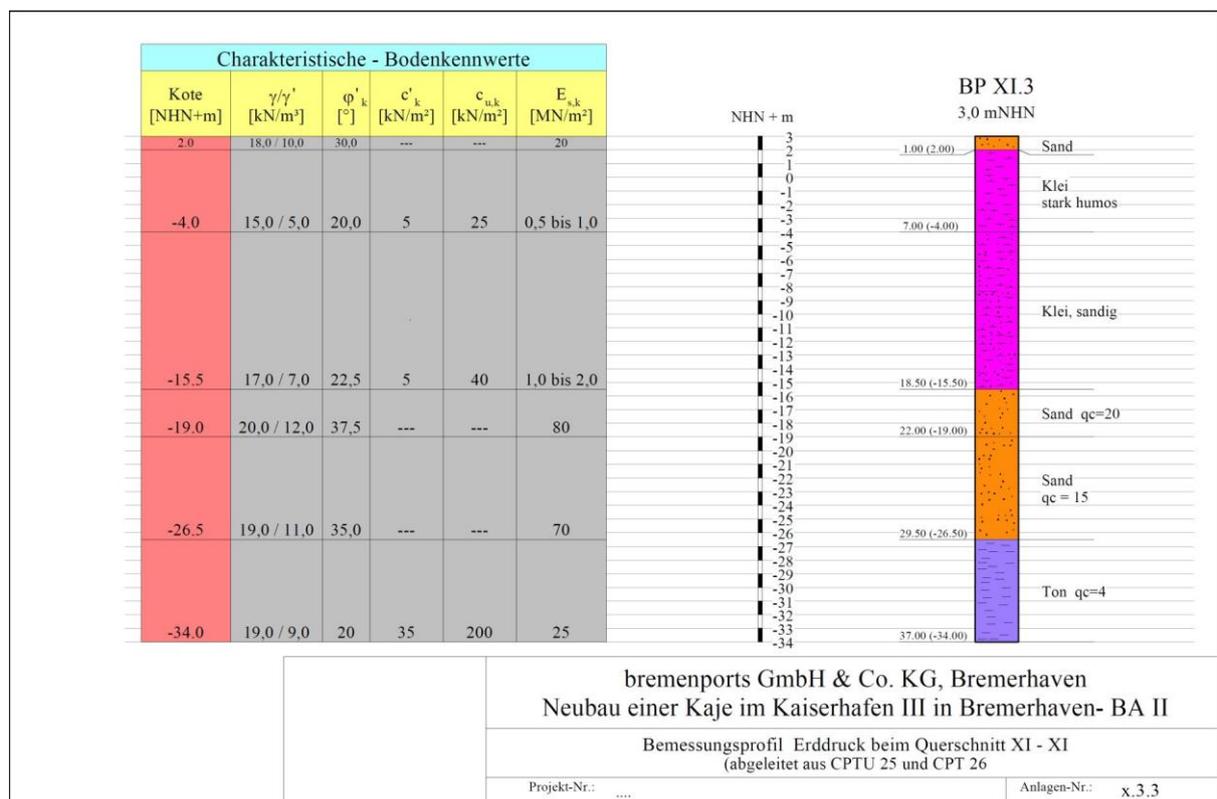


Abbildung 31 Bemessungsprofil XI - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

8.3.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

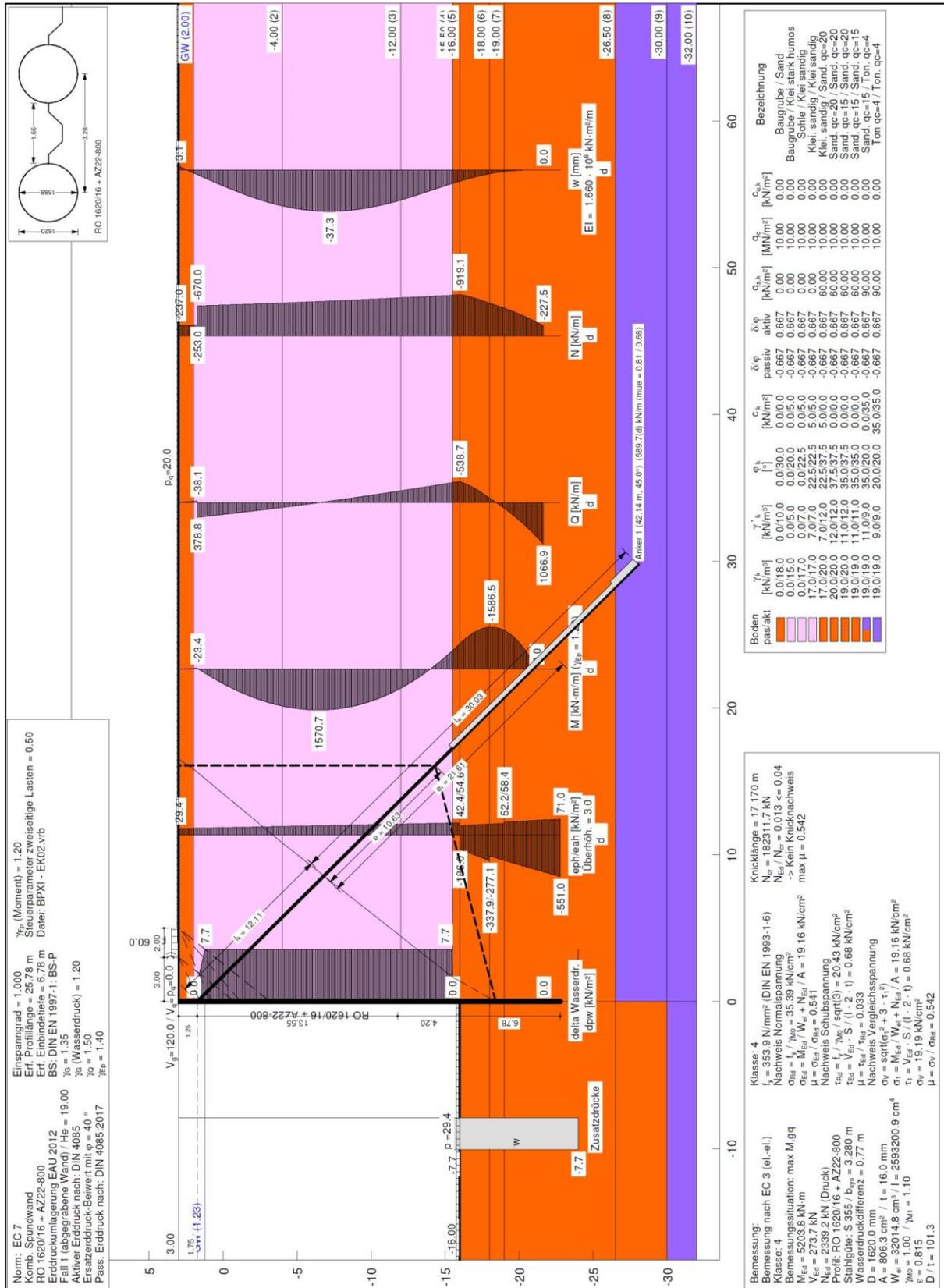
$$BS-P = (-11,80 + 16,00) \cdot 7 = 29,40 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 29,40 - 7,50 = 21,90 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
-

8.3.4 Spundwand- und Ankerachweise

8.3.4.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)



Biegebemessung am Bemessungsprofil XI nicht maßgebend, vgl. Abschnitt 8.1.4.2.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 49.75 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 349.29 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 253.01 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 796.49 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 784.26 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -620.11 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 282.08 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.16 bis -29.26 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma_{(q_b,k)} = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

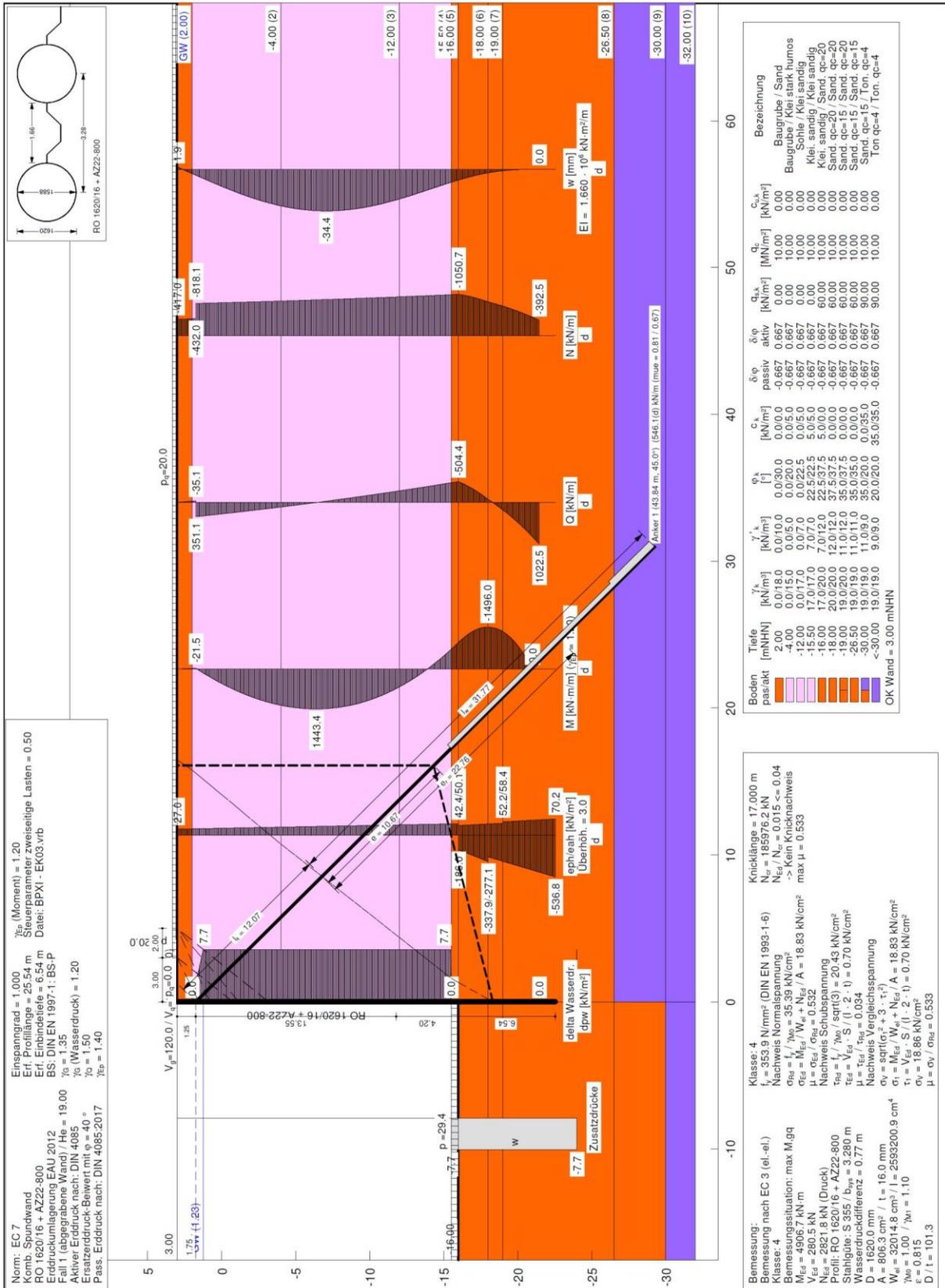
von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-18.00	26.67	Sand. $q_c=20$ / Sand. $q_c=20$
-18.00	-19.00	26.67	Sand. $q_c=15$ / Sand. $q_c=20$
-19.00	-22.78	26.67	Sand. $q_c=15$ / Sand. $q_c=15$

Mantelfläche bis -22.78 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{s1,d}$
 $R_{s1,d} = R_{s1,k} / \gamma_{(q_s,k)} = 450.99 / 1.40 = 322.14 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{s1,d} = 898.07 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 220.28 + 1148.13 + 2174.63 = 3543.05 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3543.05 / 898.07 = 3.95$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

8.3.4.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 49.28 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 347.97 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 238.49 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 743.28 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 756.42 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -594.17 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 282.82 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -20.92 bis -29.02 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-18.00	26.67	Sand. $q_c=20$ / Sand. $q_c=20$
-18.00	-19.00	26.67	Sand. $q_c=15$ / Sand. $q_c=20$
-19.00	-22.54	26.67	Sand. $q_c=15$ / Sand. $q_c=15$

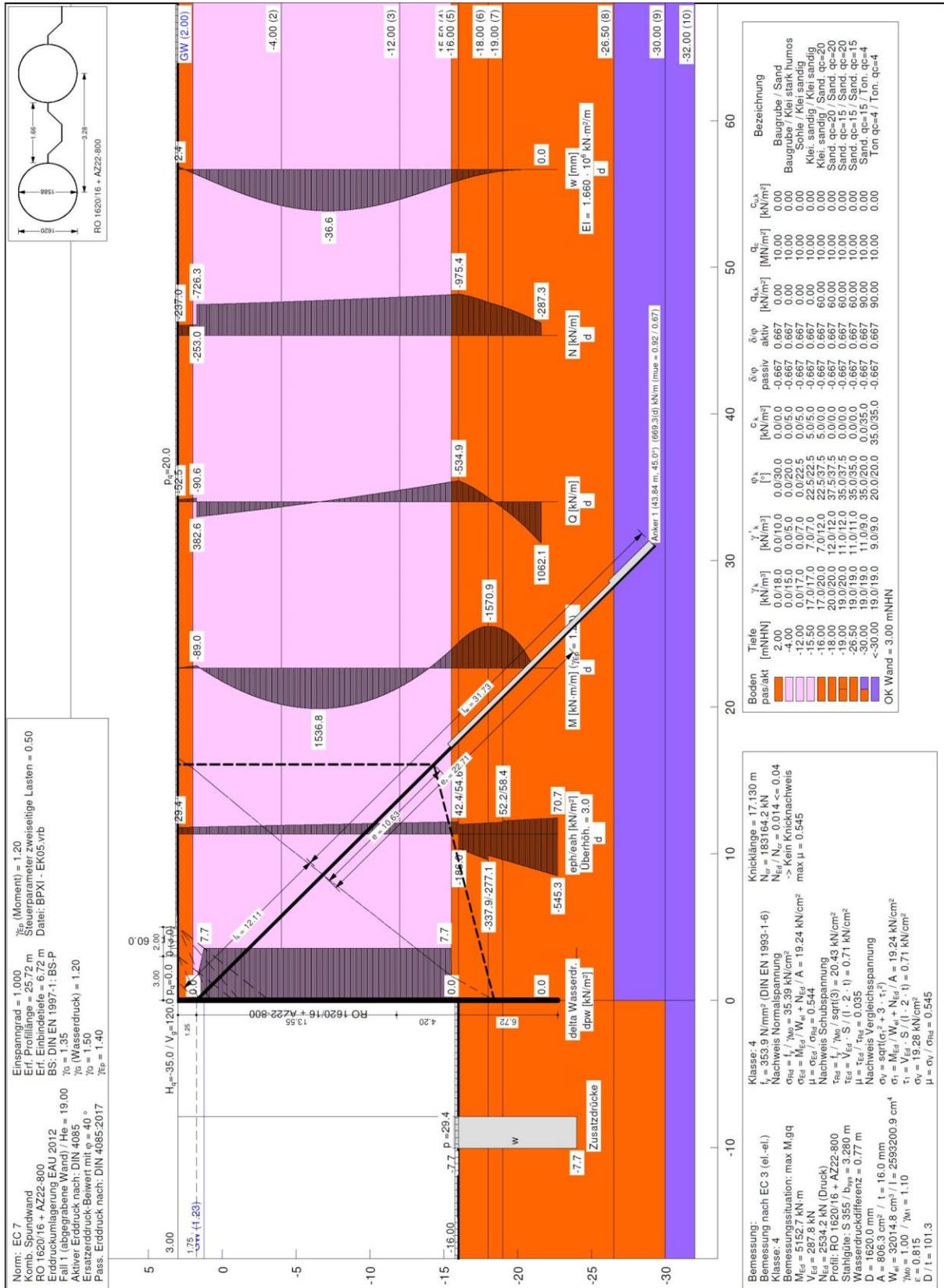
Mantelfläche bis -22.54 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 435.03 / 1.40 = 310.73 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 886.66 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 218.23 + 1078.56 + 2663.72 = 3960.52 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3960.52 / 886.66 = 4.47$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.3.4.3 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 49.63 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 348.96 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 251.95 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 794.02 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 781.52 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -616.88 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 282.92 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.10 bis -29.20 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-18.00	26.67	Sand. $q_c=20$ / Sand. $q_c=20$
-18.00	-19.00	26.67	Sand. $q_c=15$ / Sand. $q_c=20$
-19.00	-22.72	26.67	Sand. $q_c=15$ / Sand. $q_c=15$

Mantelfläche bis -22.72 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{s1,d}$
 $R_{s1,d} = R_{s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 447.00 / 1.40 = 319.29 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{s1,d} = 895.21 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 219.77 + 1143.38 + 2359.24 = 3722.39 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3722.39 / 895.21 = 4.16$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.3.4.4 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung

Bemessungsprofil **BP XI**

EK	01		02		Lastfall				Bemessungssituation	Zusammenfassung						
	Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutzlast	4a	4b	Schwerlaststapler	Kranbahn		Polierzug	07	Profilänge l [m]	Max. M_{ed} / Min. M_{ed} [kNm/m]	max r_l [-]	Ankerkraft N_{ed} [kN/m]	Nachweis N_V [kN]
01	X	BS 3a	-	X	X						BS-P					
02	X	BS 3a	-	X		X					BS-P	26,0	1571	0,54	590	3544
03	X	BS 3a	-	X			X				BS-P	26,0	-1496	0,53	547	3961
04	X	BS 3a	-	X				X			BS-P					
05	X	BS 3a	-	X		X			X		BS-P	26,0	1571	0,55	670	3723
10	X	BS 3a	-	X							BS-T					

8.3.4.5 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Maßgebend für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ist die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt. Der Nachweis wird mit Excel geführt und ergibt sich wie folgt:

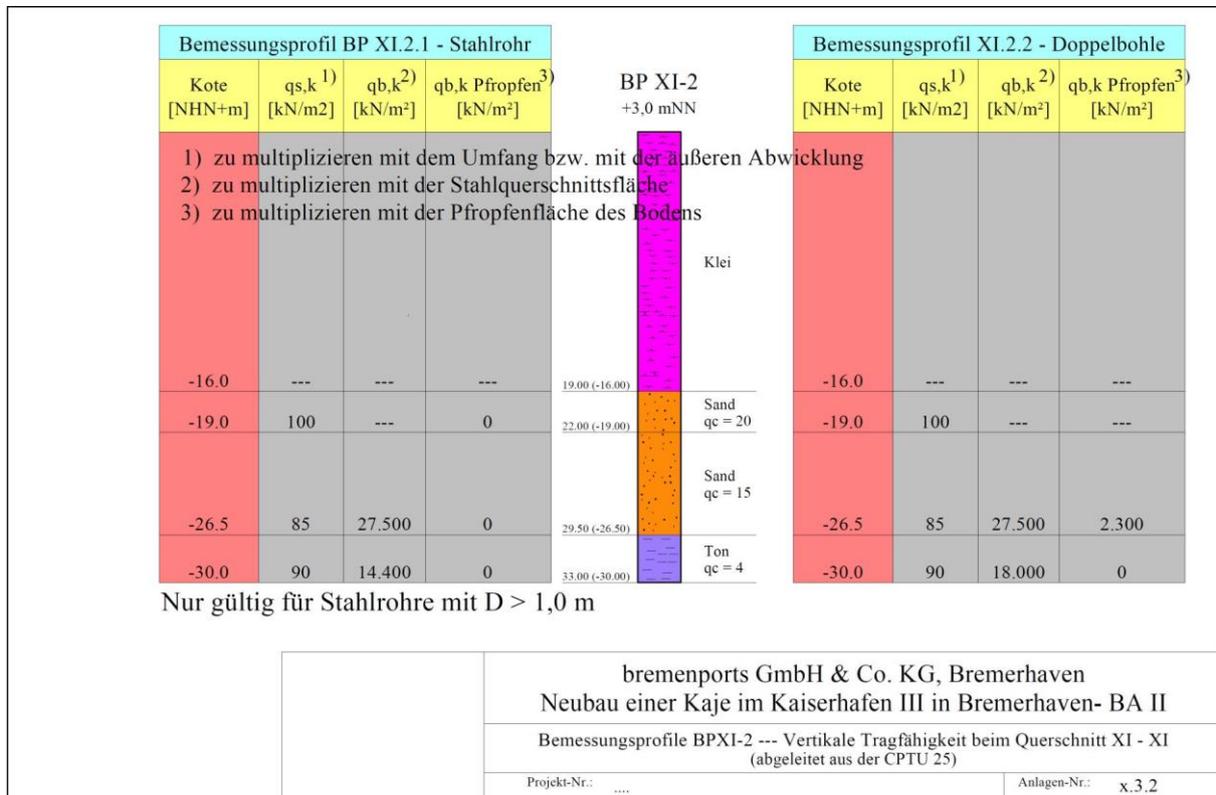


Abbildung 32 Bemessungsprofil XI - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BPXI.2

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1.620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahllänge gem. GGU		26,00 m			
Verlängerung infolge ΣV		0,50 m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	27,00 m			
Freie Eingabe	$l_p =$	m			
Gewählte Pfahllänge	$l_p =$	27,00 m			

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 219 kN/m =	219 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Ja	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	=	0 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 1080 kN/m =	1.080 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 2664 kN/m =	2.664 kN
	$\Sigma G =$	3963	3.963 kN
	$Q_1 =$	0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$	0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,00	19,00	0	0	1	2,54	19,00	0
2	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,00	1,00	0	60	1	2,54	1,00	153
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand $q_c=20$	-17,00	-19,00	2,00	0	100	2	5,09	2,00	1.018
5	Sand $q_c=15$	-19,00	-26,50	7,50	27.500	85	2	5,09	5,00	2.163
6	Ton $q_c=4$	-26,50	-30,00	3,50	14.400	90	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-24,00	27,00	27.500	-				3.334

Nachweis der Tragfähigkeit

$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$

Pfahlfußwiderstand bei $z = -24,00$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 2.217 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 3.334 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 3.963 kN $E_{1,d} =$ 3.963 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 5.551 kN $R_{1,d} =$ 5.046 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 3.963 kN $<$ 5.046 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 79%.

8.3.4.6 Herausziehwiderstand

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 geführt und ergibt sich zu:

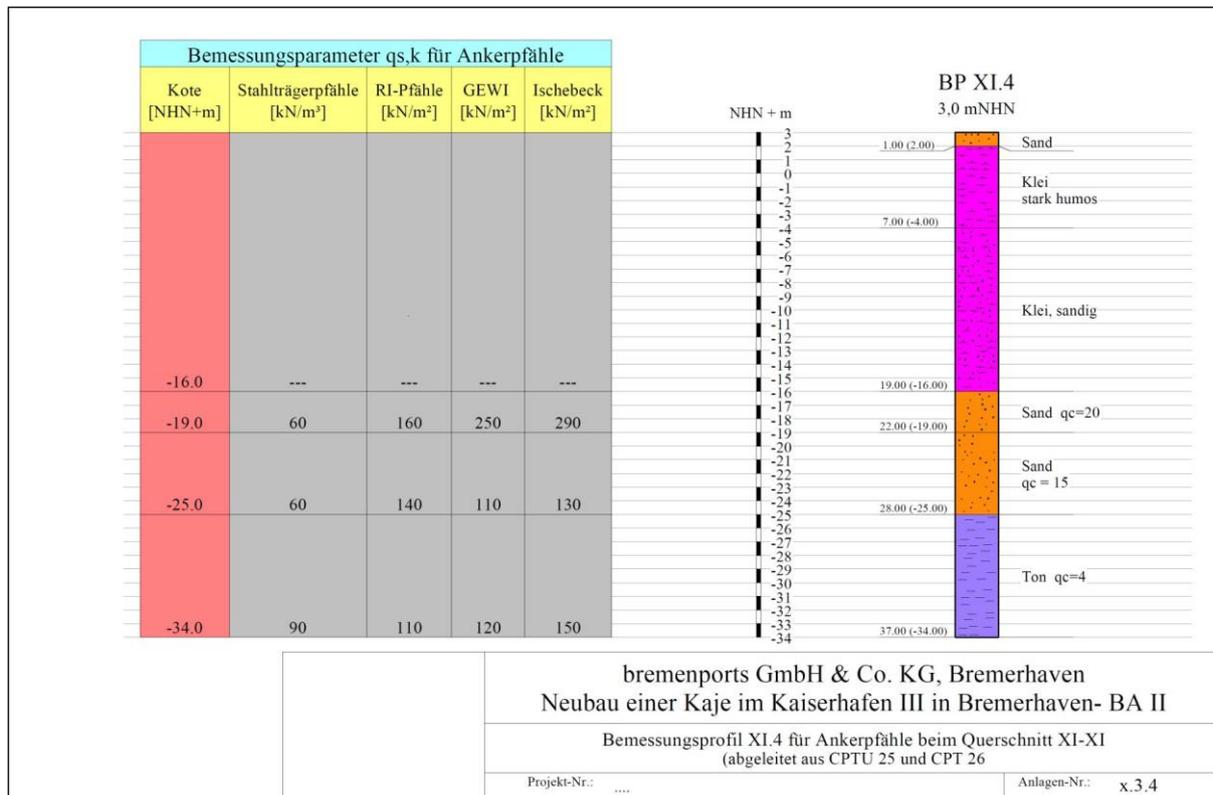


Abbildung 33 Bemessungsprofil XI - Bodenkennwerte Herausziehwiderstand [U1]

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil BPXI.4
 Lastfallkombination 05

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 41,50$ m
 Pfahlniegung $\alpha = 45,00^\circ$
 UK Pfahl UK= -27,59 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK	UK	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
		[mNN]	[mNN]					
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-16,00	8,00	0	11,31	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,00	-19,00	3,00	60	4,24	639	
4	Sand $q_c=15$	-19,00	-25,00	6,00	60	8,49	1.278	
5	Ton $q_c=4$	-25,00	-34,00	9,00	90	3,67	829	
6	Annahme Ton $q_c=4$	-34,00	-50,00	16,00	80	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-27,59		39,48	41,50	2746	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 670$ kN/m $E_{1,d} = 2.198$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{Pc} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 2.746$ kN $R_{1,d} = 2.388$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 2.198$ kN < 2.388 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 92%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 2.198$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 127$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 36%.

8.4 Bemessungsprofil XII

8.4.1 Übersicht

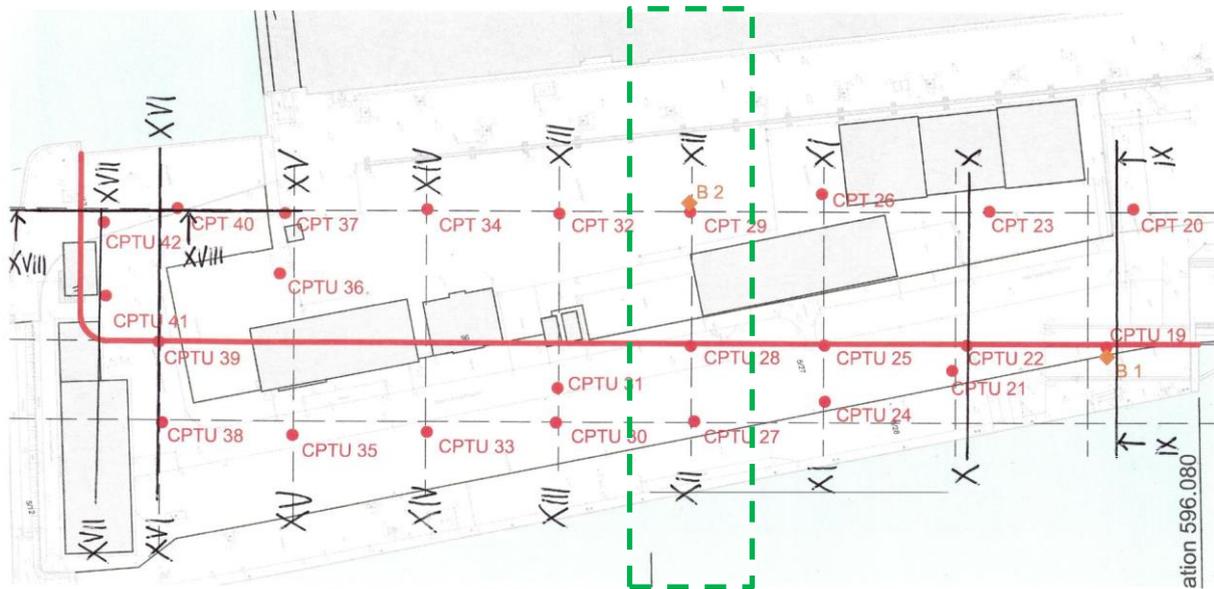


Abbildung 34 Bemessungsprofil XII - Lage [U1]

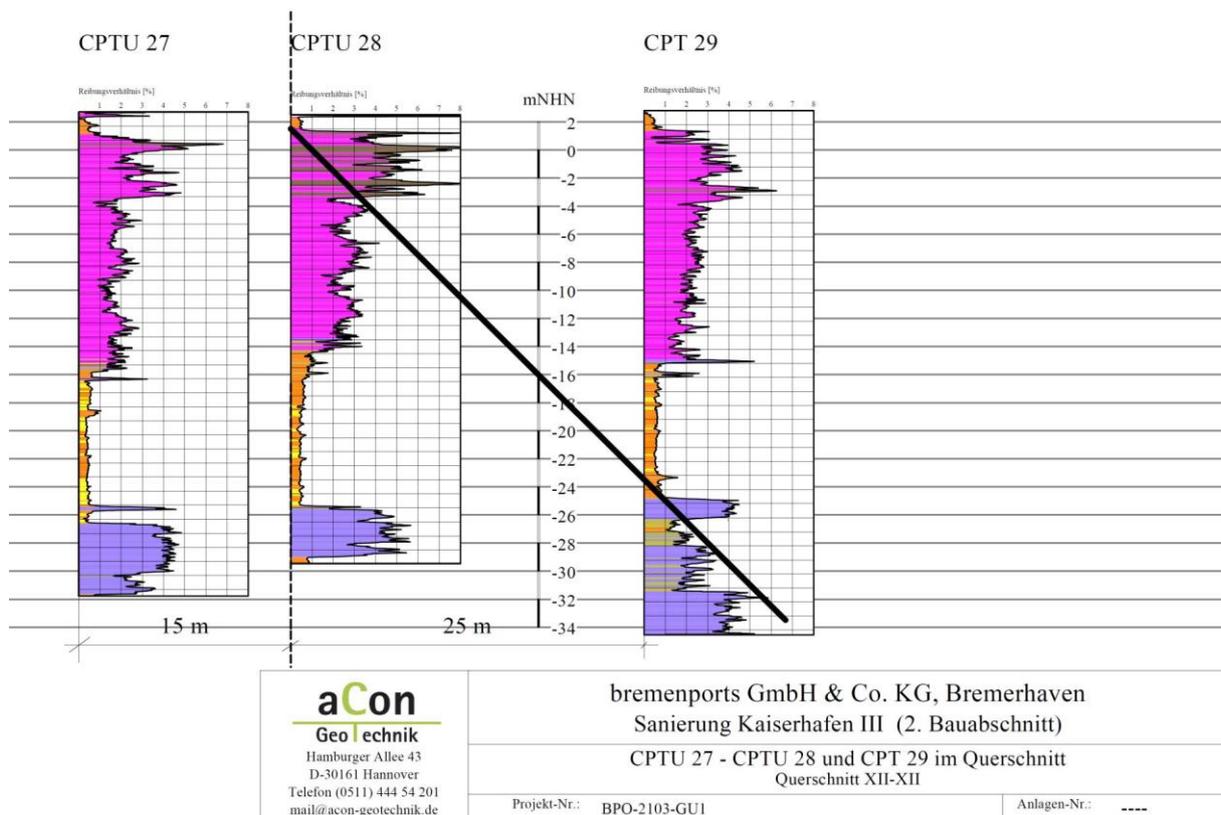
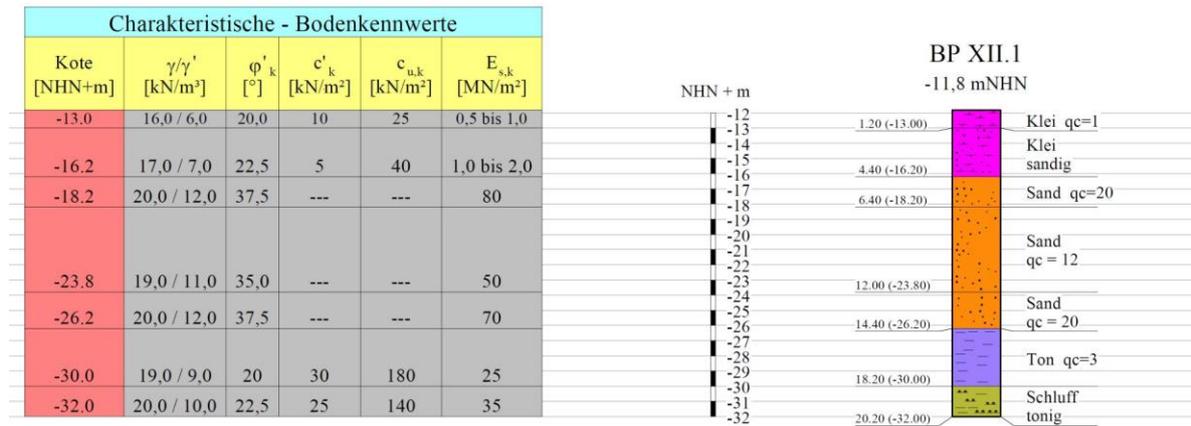


Abbildung 35 Bemessungsprofil XII - Querschnitt [U2]

8.4.2 Bodenkennwerte Erddruck

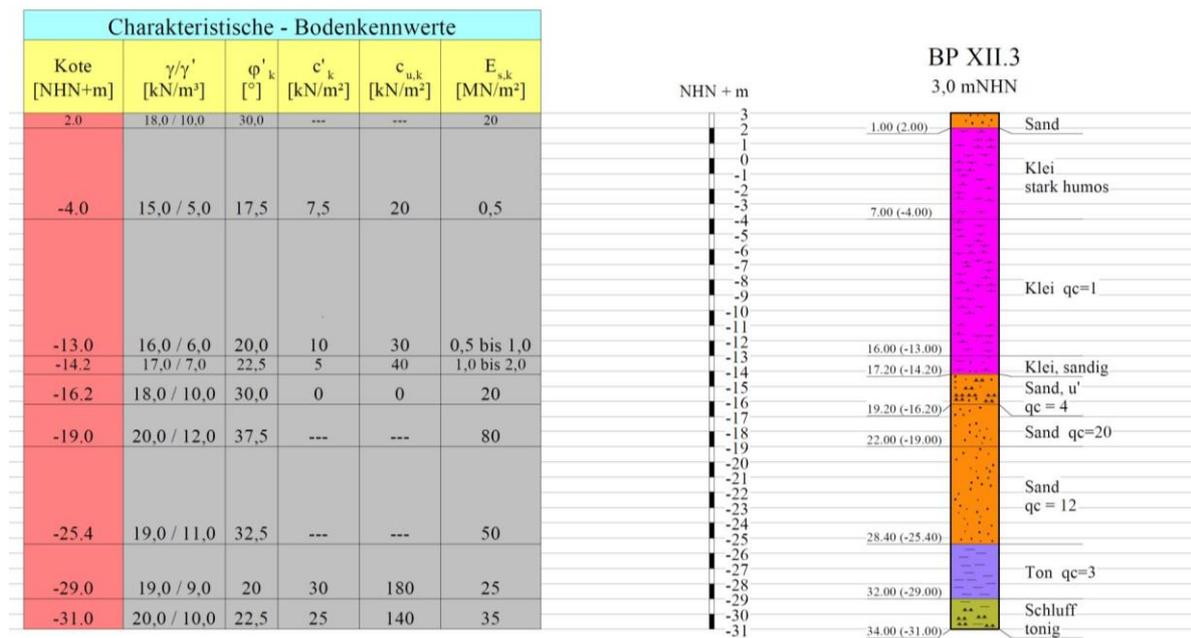


bremenports GmbH & Co. KG, Bremerhaven
 Neubau einer Kaje im Kaiserhafen III in Bremerhaven- BA II

Bemessungsprofil Erdwiderstand beim Querschnitt XII-XII
 (abgeleitet aus CPTU 28 und CPTU 27)

Projekt-Nr.: Anlagen-Nr.: x.4.1

Abbildung 36 Bemessungsprofil XII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]



bremenports GmbH & Co. KG, Bremerhaven
 Neubau einer Kaje im Kaiserhafen III in Bremerhaven- BA II

Bemessungsprofil Erddruck beim Querschnitt XII-XII
 (abgeleitet aus CPTU 28 und CPTU 29)

Projekt-Nr.: Anlagen-Nr.: x.4.3

Abbildung 37 Bemessungsprofil XII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

8.4.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

$$BS-P = (-11,80 + 13,00) * 6 + (-13,00 + 16,50) * 7 = 31,70 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 31,70 - 7,50 = 24,20 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
-

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.48 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 329.89 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 237.17 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 781.49 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 769.81 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -606.00 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 10.8$
Summe $V(g+q)_{,k} = 251.25 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ☞
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.54 bis -29.64 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

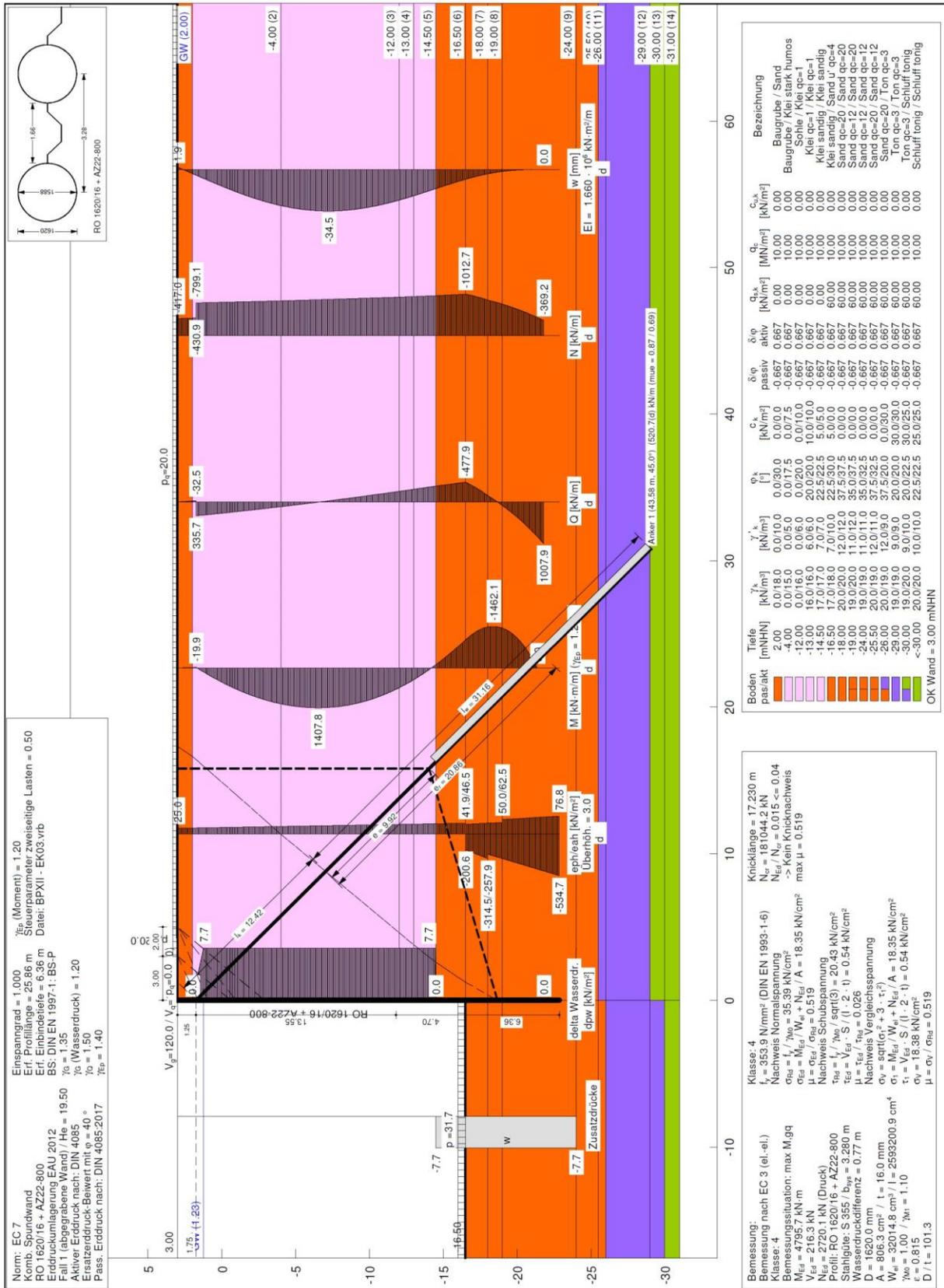
von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-18.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-18.00	-19.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-19.00	-23.16	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$

Mantelfläche bis -23.16 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 443.01 / 1.40 = 316.44 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 892.36 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 223.53 + 1077.81 + 2120.98 = 3422.33 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3422.33 / 892.36 = 3.84$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

8.4.4.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) >= (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 49.90 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 328.42 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 222.41 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 722.47 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 742.63 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -578.35 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 10.8$
Summe $V(g+q)_{,k} = 253.62 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.24 bis -29.34 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-18.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-18.00	-19.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-19.00	-22.86	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$

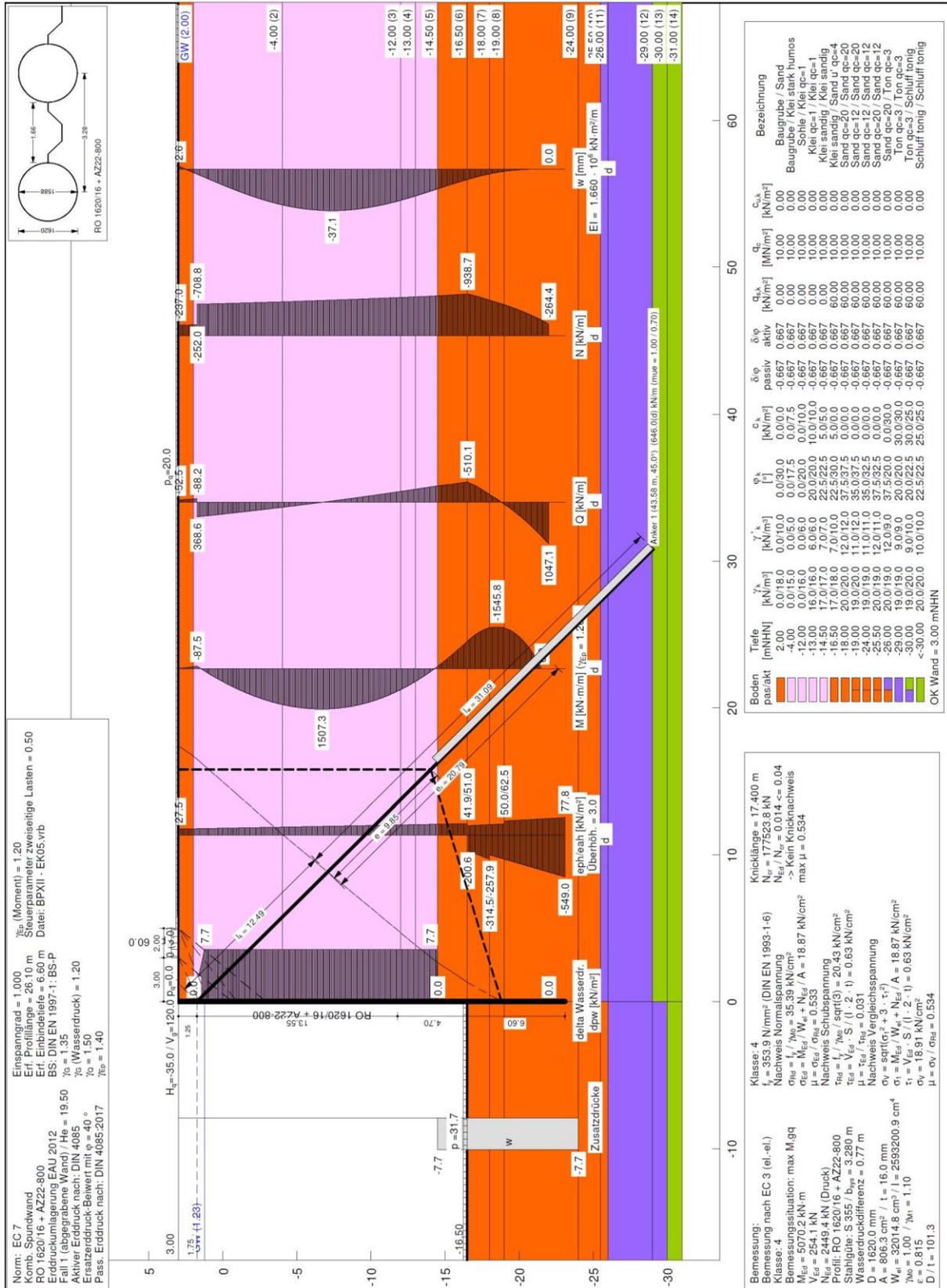
Mantelfläche bis -22.86 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 423.05 / 1.40 = 302.18 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 878.11 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 220.97 + 1007.58 + 2605.15 = 3833.70 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3833.70 / 878.11 = 4.37$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.4.4.3 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.37 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 329.59 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 236.09 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 778.78 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 766.97 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -602.61 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 10.8$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 252.27 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -21.48 bis -29.58 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma_{(q_b,k)} = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-18.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-18.00	-19.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-19.00	-23.10	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$

Mantelfläche bis -23.10 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma_{(q_s,k)} = 439.02 / 1.40 = 313.58 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 889.51 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 223.02 + 1073.01 + 2305.47 = 3601.49 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3601.49 / 889.51 = 4.05$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.4.4.4 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil **BP XII**

EK	Lastfall										Bemessungssituation	Zusammenfassung				
	01	02		03	04a	4b	05	06	07			Profilänge l [m]	Max. Med / Min. Med [kNm/m]	max / [-]	Ankerkraft Ned [kN/m]	Nachweis Vd [kN]
01	Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutzlast	Verkehrsband 40 (q=40 kN/m² b=3,50 m)	Verkehrsband 60 (q=60 kN/m² b=2,00 m)	Schwerlaststapler	Kranbahn	Pollerzug		BS-P	26,5	1541	0,53	567	3423
02	X	BS 3a	-	X	X	X					BS-P	26,0	-1463	0,52	521	3834
03	X	BS 3a	-	X			X				BS-P					
04	X	BS 3a	-	X				X			BS-P					
05	X	BS 3a	-	X		X			X		BS-P	26,5	1546	0,54	646	3602
10	X	BS 3a	-	X							BS-T					

8.4.4.5 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt und ergibt sich zu:

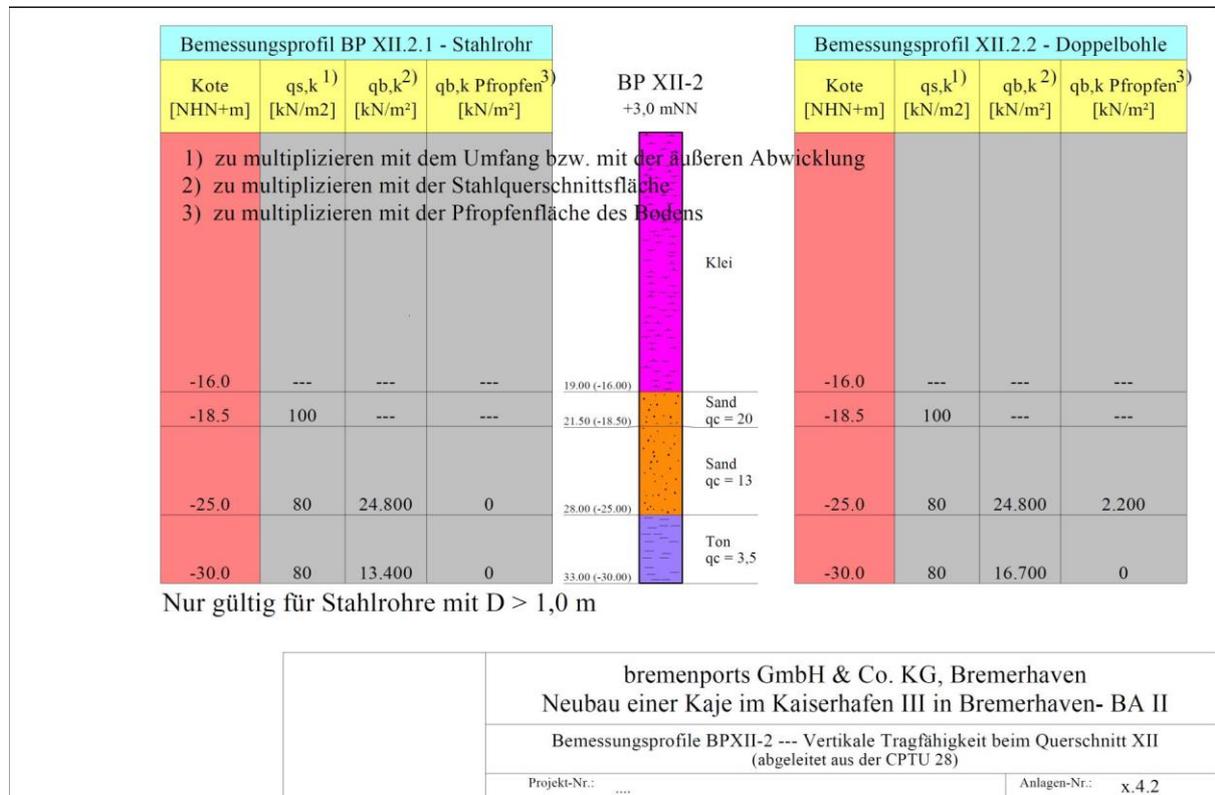


Abbildung 38 Bemessungsprofil XII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BPXII.2

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1.620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahlänge gem. GGU		26,50 m			
Verlängerung infolge ΣV		m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	27,00 m			
Freie Eingabe	$l_p =$	m			
Gewählte Pfahlänge	$l_p =$	27,00 m			

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 224 kN/m =	224 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Nein	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	0,50 m * 8,54 kN/m =	4 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 1078 kN/m =	1.078 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 2711 kN/m =	2.711 kN
	$\Sigma G =$	4013	4.017 kN
	$Q_1 =$	0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$	0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,00	19,00	0	0	1	2,54	19,00	0
2	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,00	1,00	0	100	1	2,54	1,00	254
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand $q_c=20$	-17,00	-18,50	1,50	0	100	2	5,09	1,50	763
5	Sand $q_c=13$	-18,50	-25,00	6,50	24.800	80	2	5,09	5,50	2.239
6	Ton $q_c=3,5$	-25,00	-30,00	5,00	13.400	80	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-24,00	27,00	24.800	-				3.257

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfußwiderstand bei $z = -24,00$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 2.000 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 3.257 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 4.017 kN $E_{1,d} =$ 4.017 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 5.257 kN $R_{1,d} =$ 4.779 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 4.017 kN $<$ 4.779 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 84%.

8.4.4.6 Nachweis gegen Herausziehen

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 geführt und ergibt sich zu:

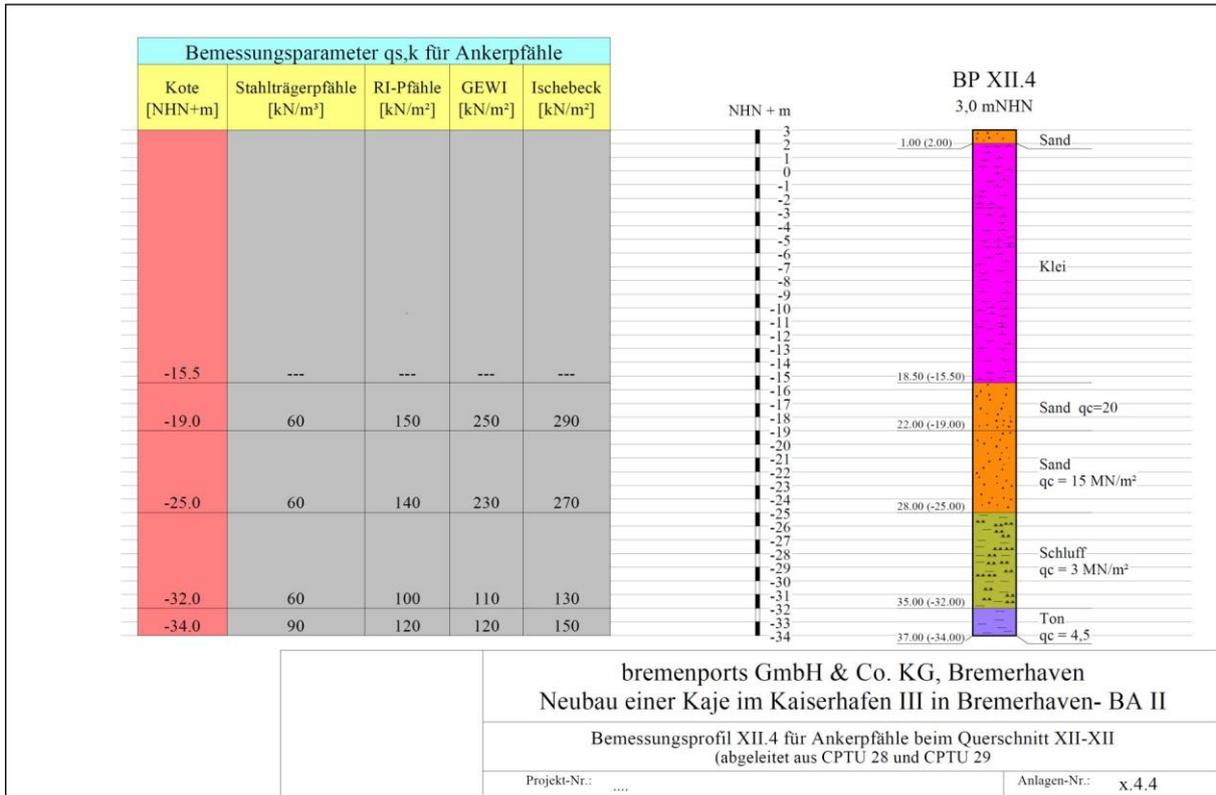


Abbildung 39 Bemessungsprofil XII - Bodenkennwerte Herausziehwiderstand [U1]

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil BPXII.4
 Lastfallkombination 05

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 42,00$ m
 Pfahlneigung $\alpha = 45,00^\circ$
 UK Pfahl UK= -27,95 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK	UK	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
		[mNN]	[mNN]					
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-15,50	7,50	0	10,61	0	
3	Sand $q_c=20$	-15,50	-19,00	3,50	60	4,95	745	
4	Sand $q_c=15$	-19,00	-25,00	6,00	60	8,49	1.278	
5	Schluff $q_c=3$	-25,00	-32,00	7,00	60	4,17	628	
6	Ton $q_c=4$	-32,00	-34,00	2,00	90	0,00	0	
7	Annahme Ton $q_c=4$	-34,00	-50,00	16,00	90	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-27,95		37,44	42,00	2651	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 650$ kN/m $E_{1,d} = 2.132$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{PC} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 2.651$ kN $R_{1,d} = 2.305$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 2.132$ kN < 2.305 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 92%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 2.132$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 123$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 35%.

8.5 Bemessungsprofil XIII

8.5.1 Übersicht

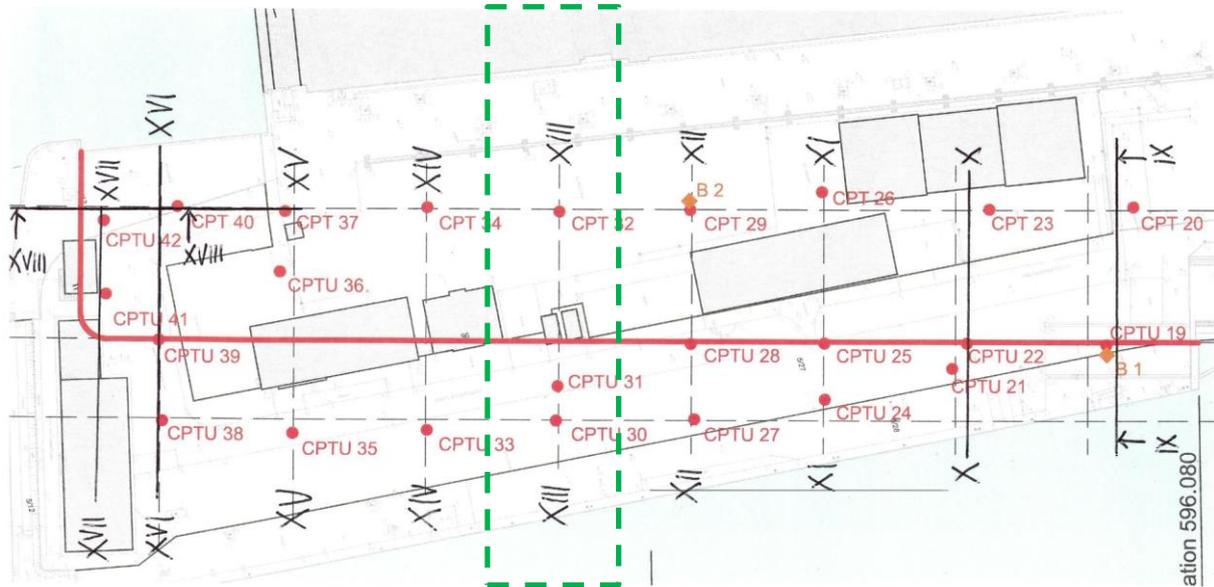


Abbildung 40 Bemessungsprofil XIII - Lage [U1]

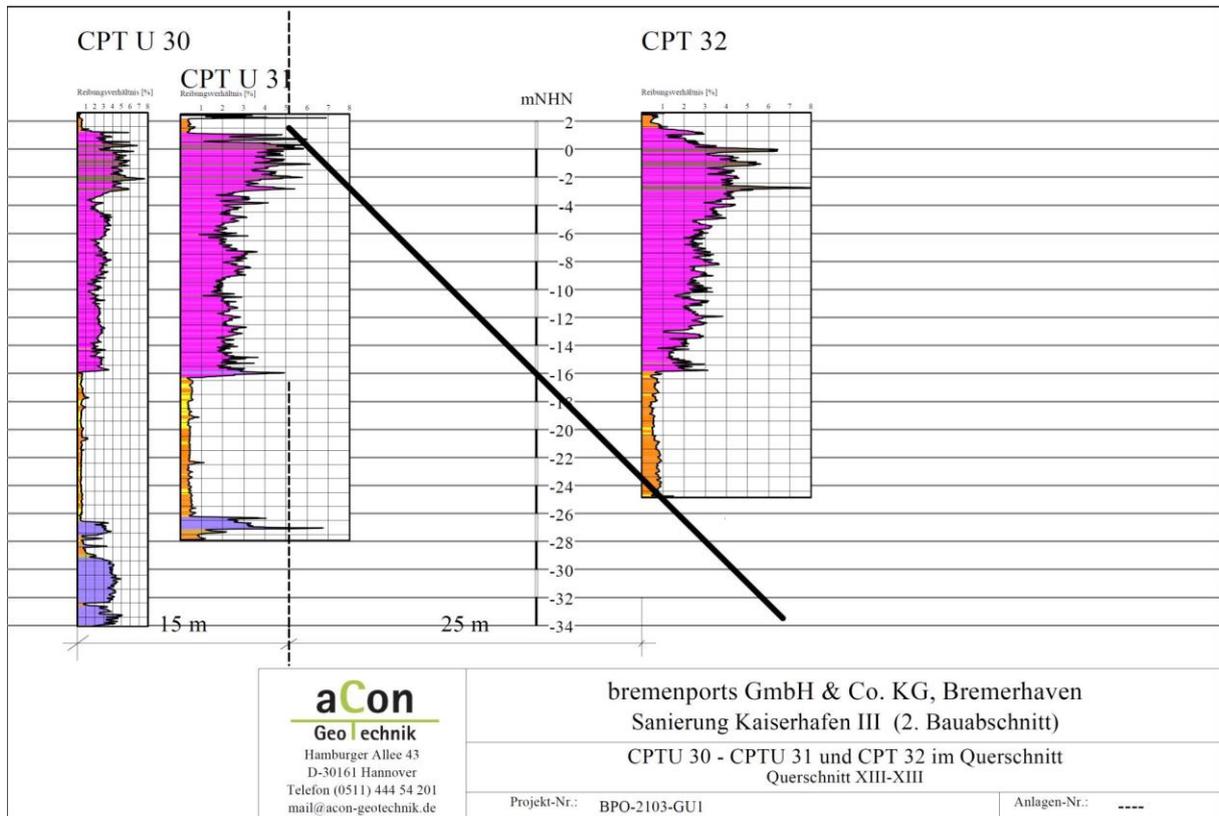


Abbildung 41 Bemessungsprofil XIII - Querschnitt [U2]

8.5.2 Bodenkennwerte Erddruck

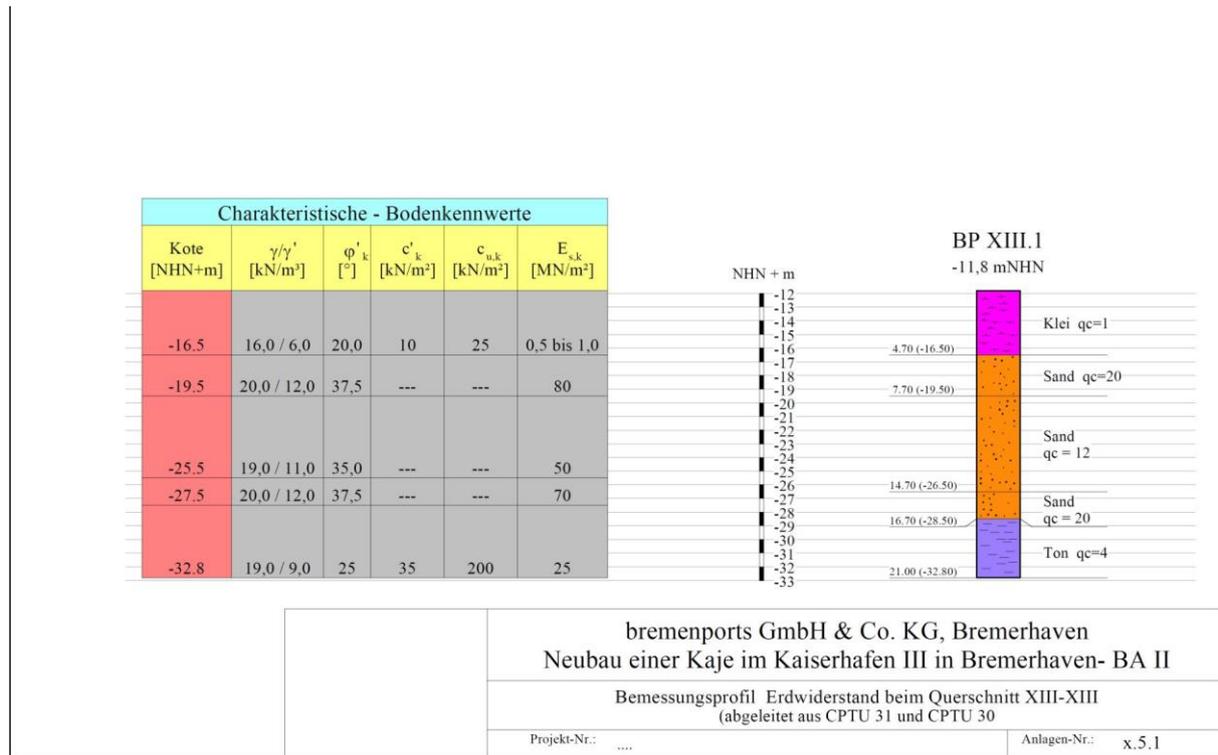


Abbildung 42 Bemessungsprofil XIII - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]

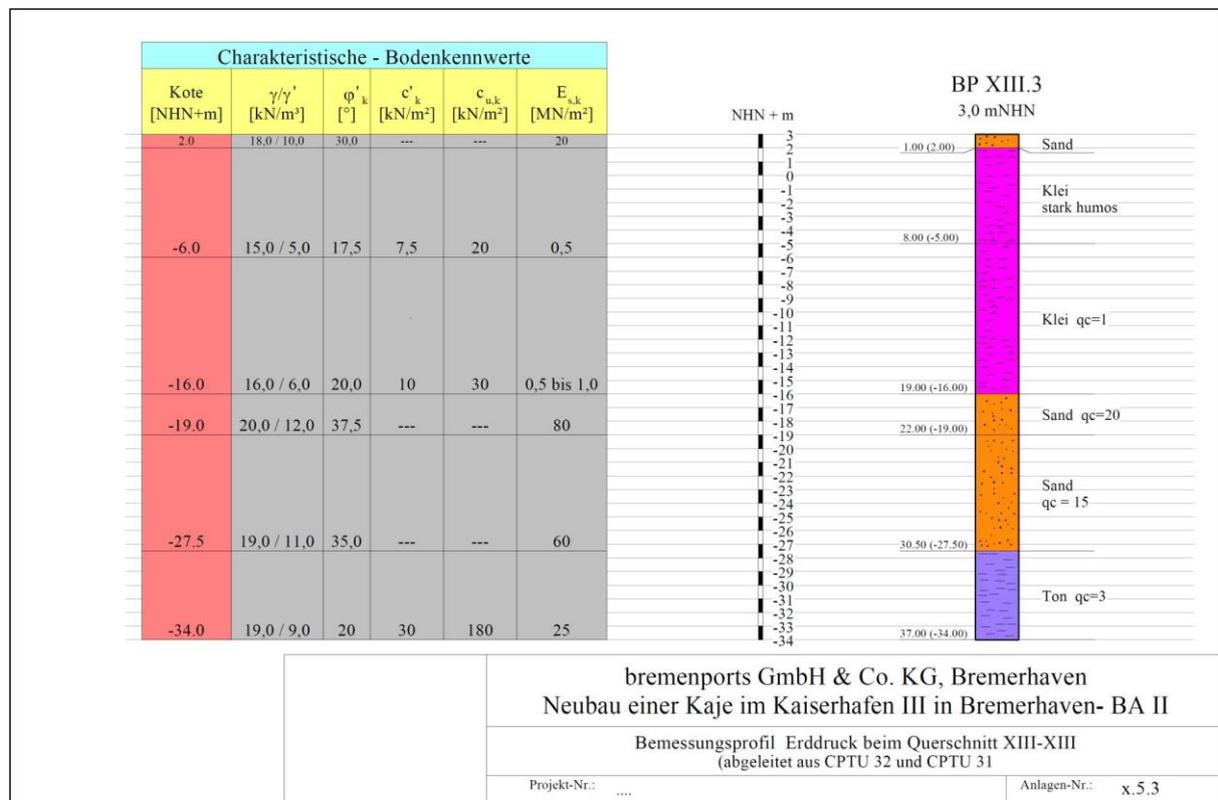


Abbildung 43 Bemessungsprofil XIII - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]

8.5.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

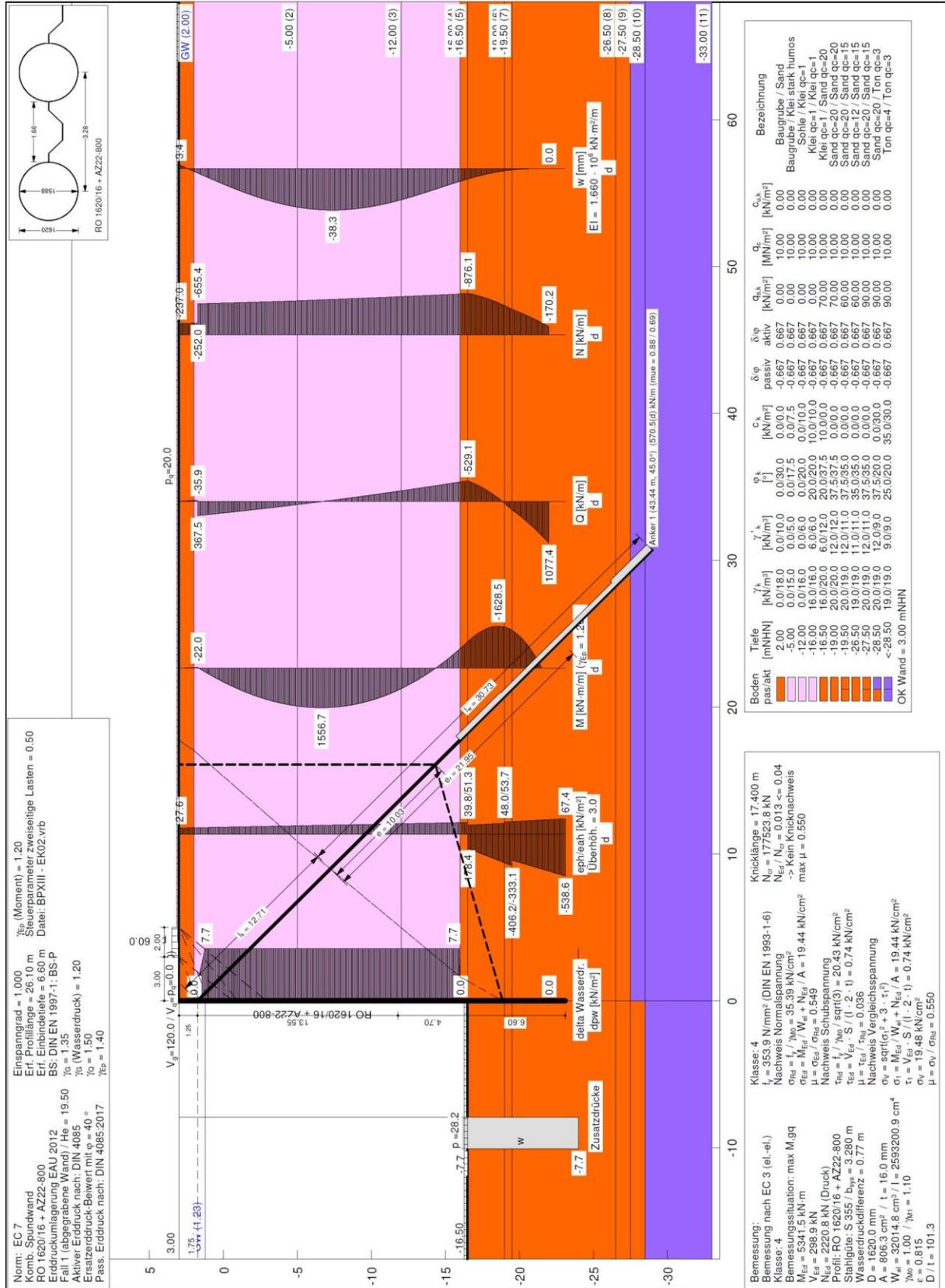
$$BS-P = (-11,80 + 16,50) \cdot 6 = 28,20 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 28,20 - 7,50 = 20,70 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
-

8.5.4 Spundwand- und Ankernachweise

8.5.4.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)



Biagebemessung am Bemessungsprofil XIII nicht maßgebend, vgl. Abschnitt 8.1.4.2.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.37 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 329.32 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 221.51 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 756.83 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 789.45 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -620.67 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 232.31$ (Druck) kN/m

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.48 bis -29.58 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k}$ [kN/m^2]	Bezeichnung
-16.50	-19.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-19.00	-19.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=15$
-19.50	-23.10	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=15$

Mantelfläche bis -23.10 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{s1,d}$
 $R_{s1,d} = R_{s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 439.02 / 1.40 = 313.58 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{s1,d} = 889.51 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 223.02 + 1008.24 + 2130.73 = 3361.99 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3361.99 / 889.51 = 3.78$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 49.90 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 328.15 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 208.09 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 701.98 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 759.68 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -593.46 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 234.97 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.24 bis -29.34 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-19.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-19.00	-19.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=15$
-19.50	-22.86	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=15$

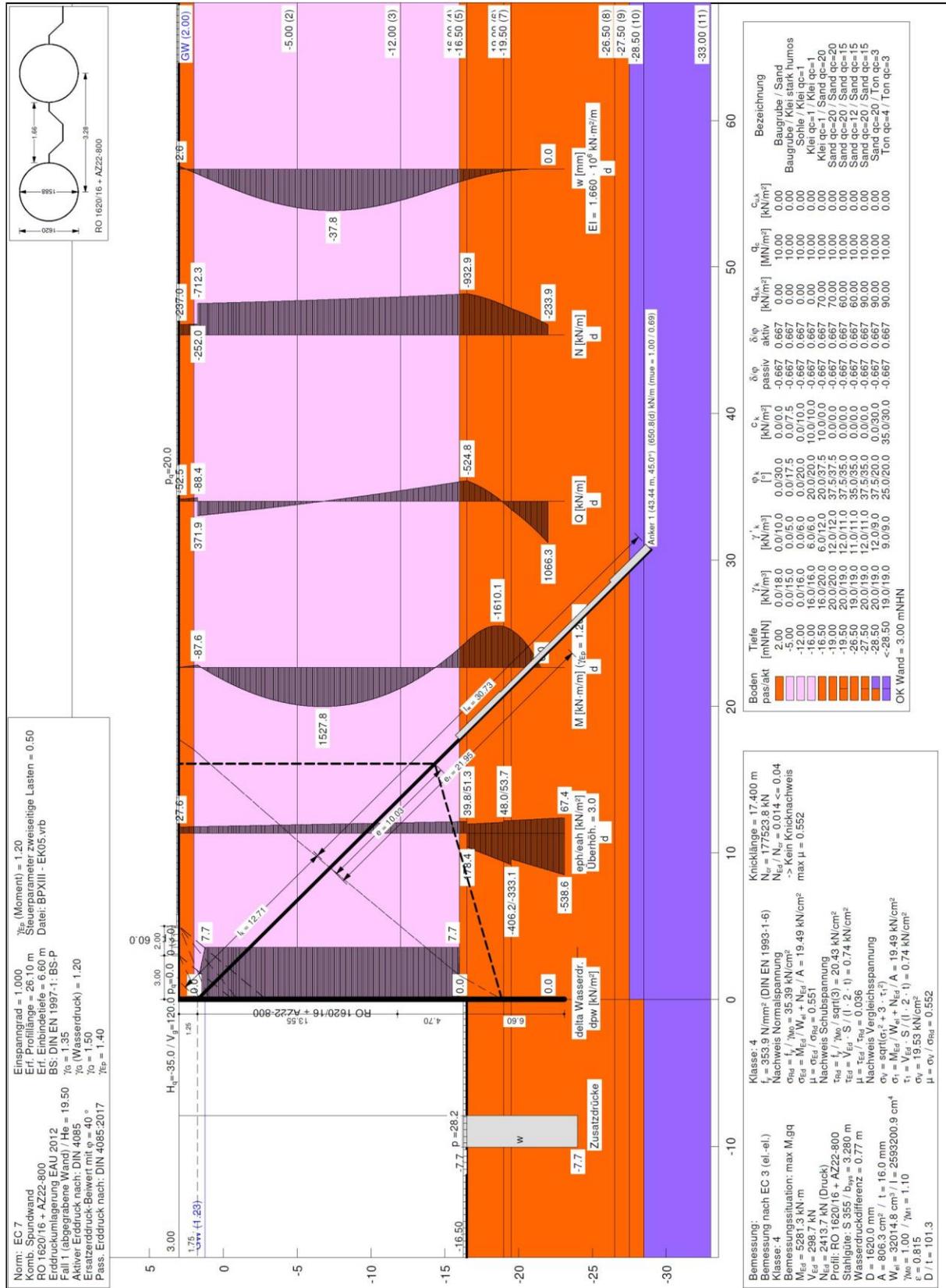
Mantelfläche bis -22.86 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 423.05 / 1.40 = 302.18 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 878.11 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 220.97 + 943.99 + 2616.68 = 3781.64 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3781.64 / 878.11 = 4.31$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.5.4.3 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.37 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 329.32 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 221.51 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 756.83 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 782.04 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -616.06 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 234.56 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.48 bis -29.58 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma_{(q_b,k)} = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-19.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-19.00	-19.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=15$
-19.50	-23.10	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=15$

Mantelfläche bis -23.10 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma_{(q_s,k)} = 439.02 / 1.40 = 313.58 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 889.51 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 223.02 + 1008.24 + 2317.10 = 3548.37 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3548.37 / 889.51 = 3.99$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.5.4.4 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil BP XIII

EK	Lastfall										Bemessungssituation	Zusammenfassung				
	01	02		03	4a	4b	05	06	07			Profillänge l [m]	Max. M_{ed} / Min. M_{ed} [kNm/m]	max l_{cr} [-]	Ankerkraft N_{ed} [kN/m]	Nachweis N_V [kN]
01	X	Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutzlast	Verkehrsband 40 (q=40 kN/m ² b=3,50 m)	Verkehrsband 60 (q=60 kN/m ² b=2,00 m)	Schwerlaststapler	Kranbahn	Polterzug	BS-P	26,5	-1628	0,55	571	3362
02	X	BS 3a	BS 3a	-	X	X					BS-P	26,0	-1524	0,54	526	3782
03	X	BS 3a	BS 3a	-	X			X			BS-P					
04	X	BS 3a	BS 3a	-	X				X		BS-P					
05	X	BS 3a	BS 3a	-	X	X				X	BS-P	26,5	-1611	0,55	651	3549
10	X	BS 3a		-	X					X	BS-T					

8.5.4.5 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt und ergibt sich zu:

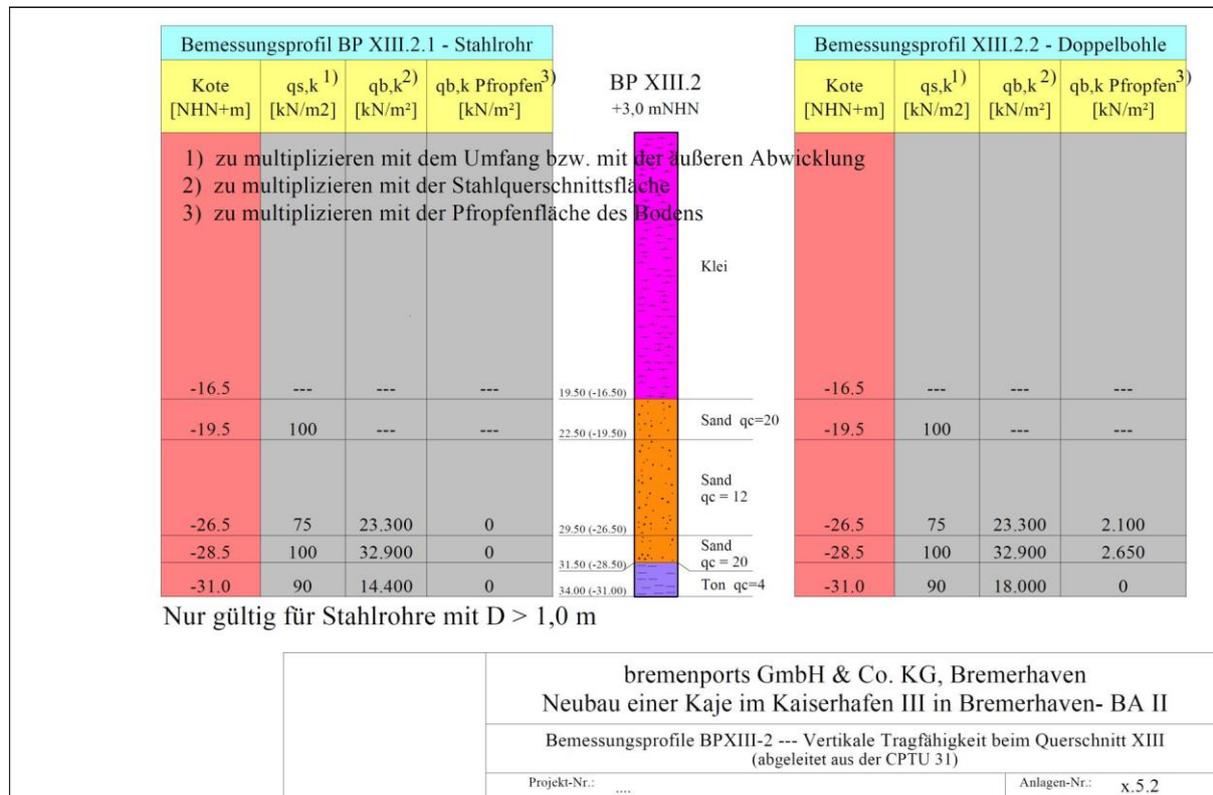


Abbildung 44 Bemessungsprofil XIII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BPXIII.2

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahlänge gem. GGU		26,50 m			
Verlängerung infolge ΣV		m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	27,00 m			
Freie Eingabe	$l_p =$	m			
Gewählte Pfahlänge	$l_p =$	27,00 m			

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m *	221 kN/m =	221 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Nein		
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	0,50 m *	8,54 kN/m =	4 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m *	944 kN/m =	944 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m *	2617 kN/m =	2.617 kN
	$\Sigma G =$		3782	3.786 kN
	$Q_1 =$		0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$		0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$		0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,50	19,50	0	0	1	2,54	19,50	0
2	Sand $q_c=20$	-16,50	-17,00	0,50	0	100	1	2,54	0,50	127
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand $q_c=20$	-17,00	-19,50	2,50	0	100	2	5,09	2,50	1.272
5	Sand $q_c=12$	-19,50	-26,50	7,00	23.300	75	2	5,09	4,50	1.718
6	Sand $q_c=20$	-26,50	-28,50	2,00	32.900	100	2	5,09	0,00	0
7	Ton $q_c=4$	-28,50	-31,00	2,50	14.400	90	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-24,00	27,00	23.300	-				3.117

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfußwiderstand bei $z = -24,00$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 1.879 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 3.117 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 3.786 kN $E_{1,d} =$ 3.786 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 4.996 kN $R_{1,d} =$ 4.542 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 3.786 kN $<$ 4.542 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 83%.

8.5.4.6 Nachweis gegen Herausziehen

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 geführt und ergibt sich zu:

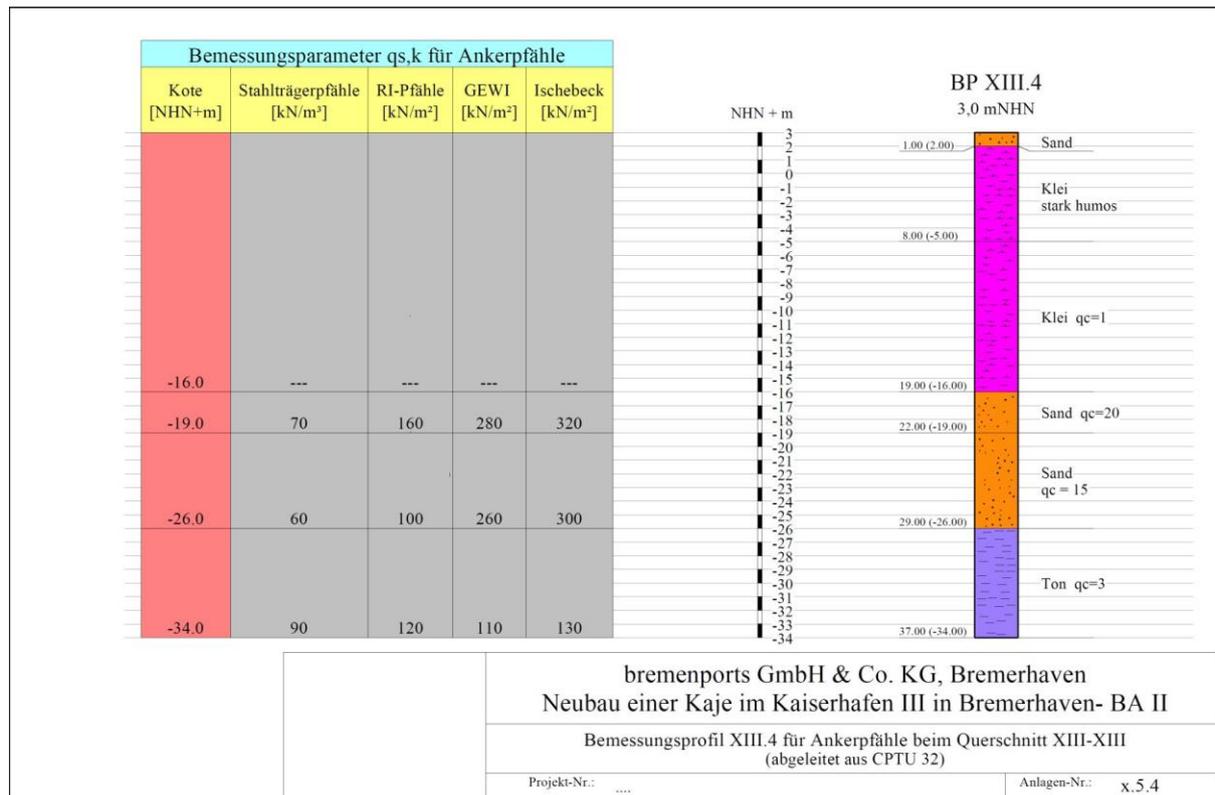


Abbildung 45 Bemessungsprofil XIII - Bodenkennwerte Herausziehungswiderstand [U1]

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BPXIII.4
 Lastfallkombination: 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: l_p = 41,00 m
 Pfahlneigung: α = 45,00 °
 UK Pfahl: UK= -27,24 mNN
 Ankerraster: a= 3,28 m
 Mantelfläche: U= 2,51 m $\varnothing_{\text{Ersatz}}$ = 0,80 m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei $q_c=1$	-8,00	-16,00	8,00	0	11,31	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,00	-19,00	3,00	70	4,24	745	
4	Sand $q_c=15$	-19,00	-26,00	7,00	60	9,90	1.491	
5	Ton $q_c=3$	-26,00	-34,00	8,00	90	1,76	397	
6	Annahme Ton $q_c=3$	-34,00	-50,00	16,00	90	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-27,24		38,55	41,00	2633	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d}$ = kN/m $N_{1,d}$ = 0 kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d}$ $N_{1,d}$ = 651 kN/m $E_{1,d}$ = 2.135 kN
 Teilsicherheitsbeiwert: γ_{Pc} = 1,15 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k}$ = 2.633 kN $R_{1,d}$ = 2.289 kN

Nachweis: $E_{1,d}$ = 2.135 kN < 2.289 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 93%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

N_{Ed} = 2.135 kN M_{Ed} = 0 kNm
 A = 173 cm² W_y = 3.489 cm²
 $f_{y,k}$ = 355 N/mm² γ_M = 1,00 -

Nachweis: σ_{Ed} = 123 N/mm² < $f_{y,d}$ = 355 N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 35%.

8.6 Bemessungsprofil XIV

8.6.1 Übersicht

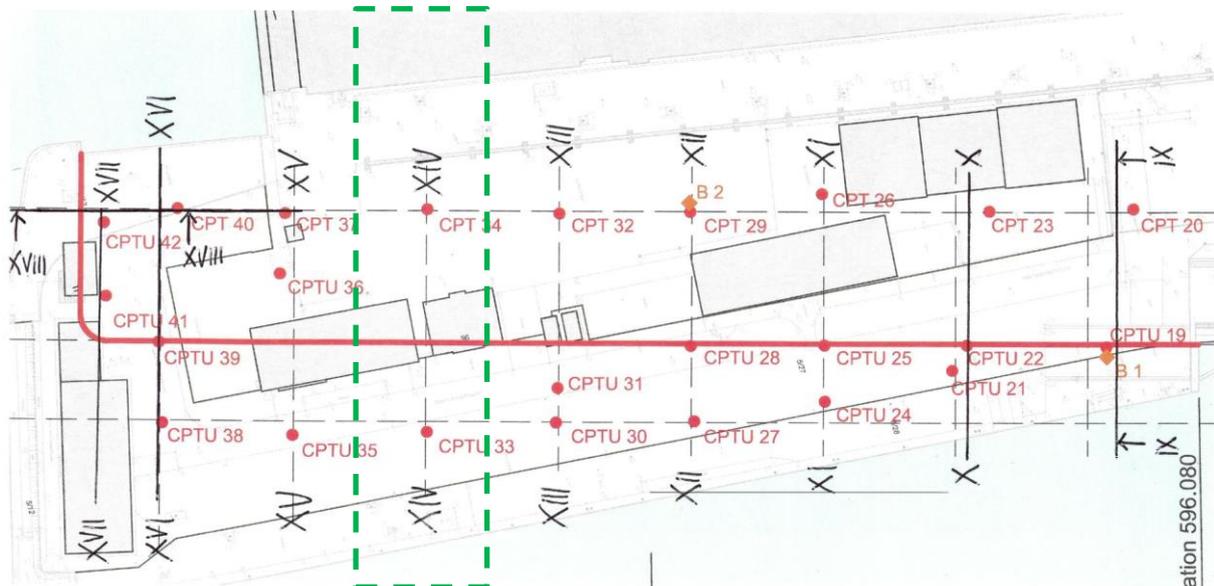


Abbildung 46 Bemessungsprofil XIV - Lage [U1]

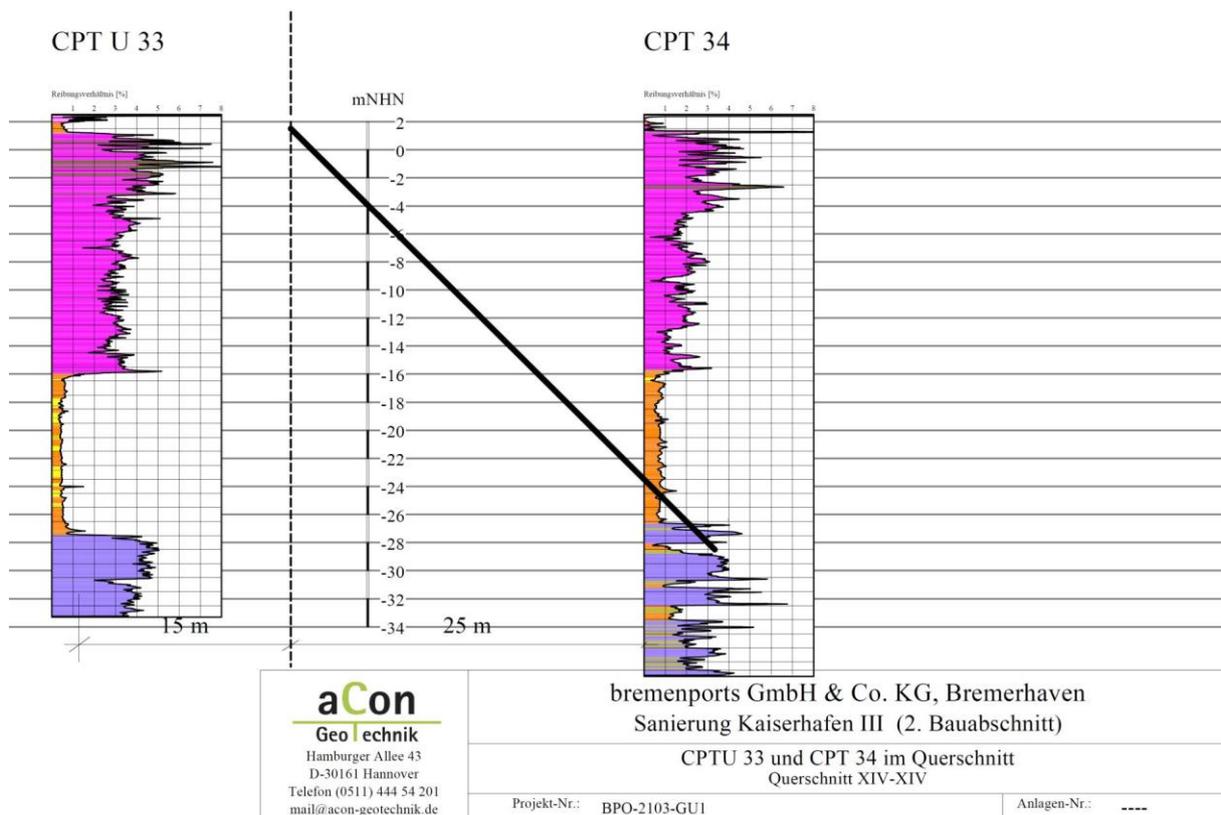


Abbildung 47 Bemessungsprofil XIV - Querschnitt [U2]

8.6.2 Bodenkennwerte Erddruck

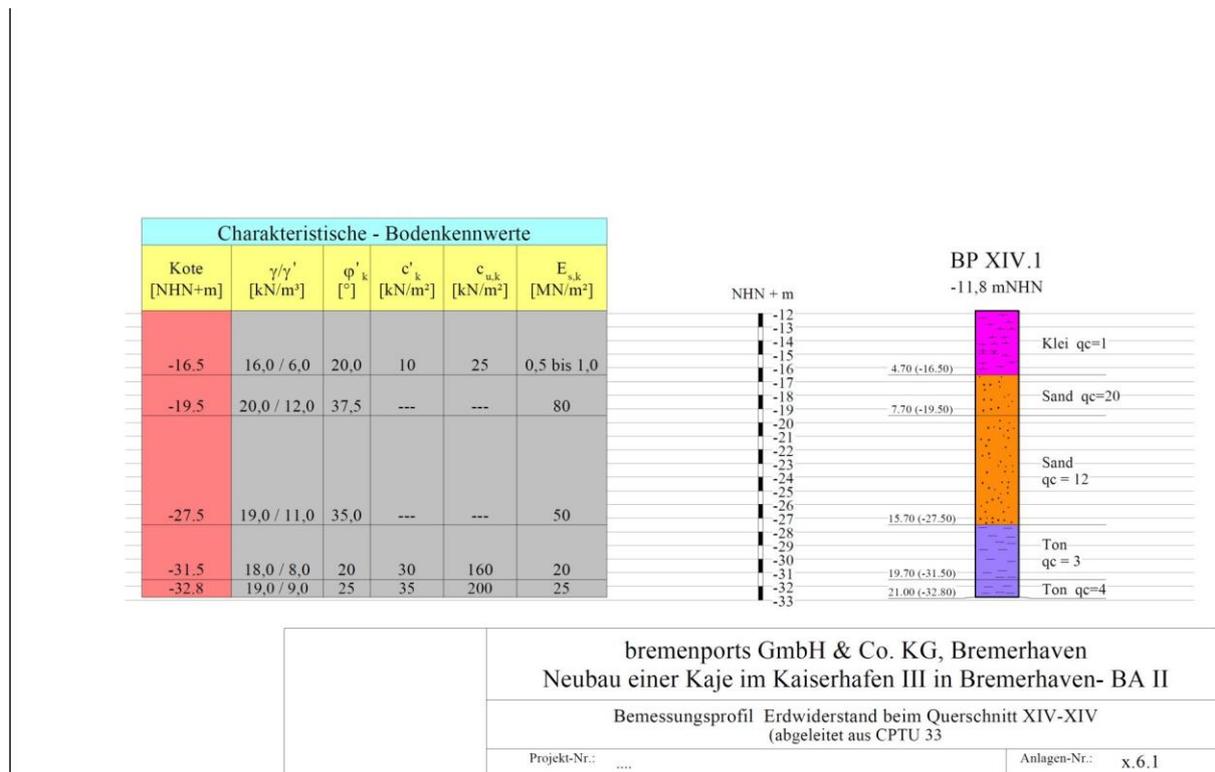


Abbildung 48 Bemessungsprofil XIV - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]

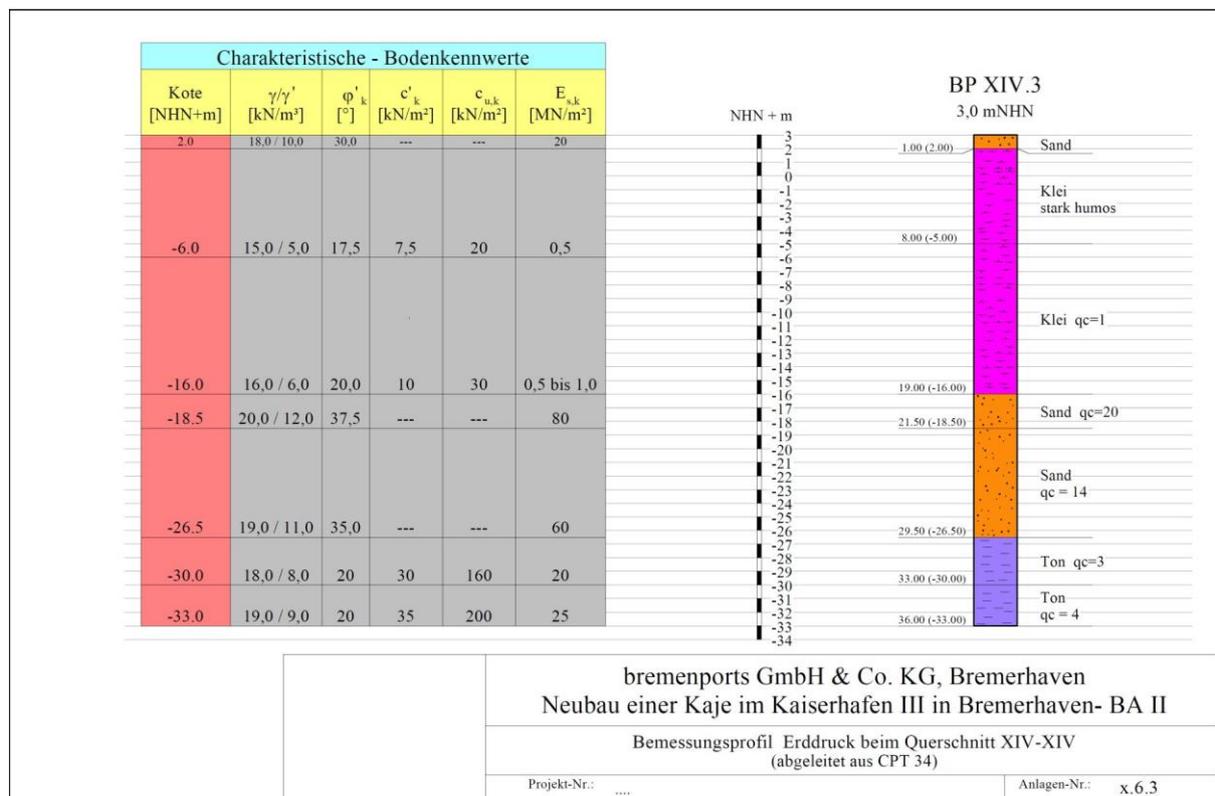


Abbildung 49 Bemessungsprofil XIV - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

8.6.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

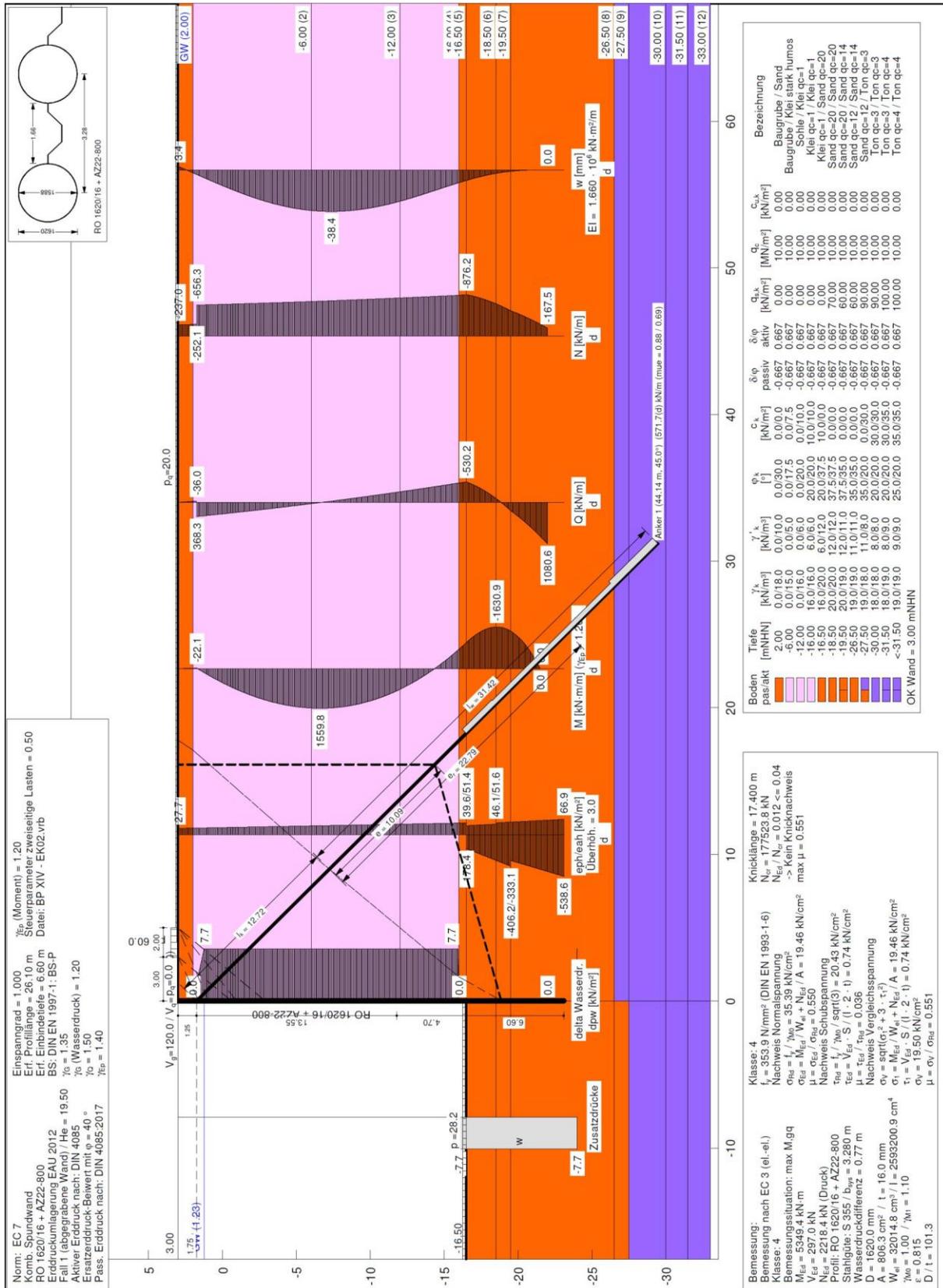
$$BS-P = (-11,80 + 16,50) \cdot 6 = 28,20 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 28,20 - 7,50 = 20,70 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
-

8.6.4 Spundwand- und Ankernachweise

8.6.4.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)



Biagebemessung am Bemessungsprofil XIV nicht maßgebend, vgl. Abschnitt 8.1.4.2.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.37 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 329.49 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 220.61 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 758.67 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 791.69 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -622.24 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 230.72 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.48 bis -29.58 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma_{(q_b,k)} = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

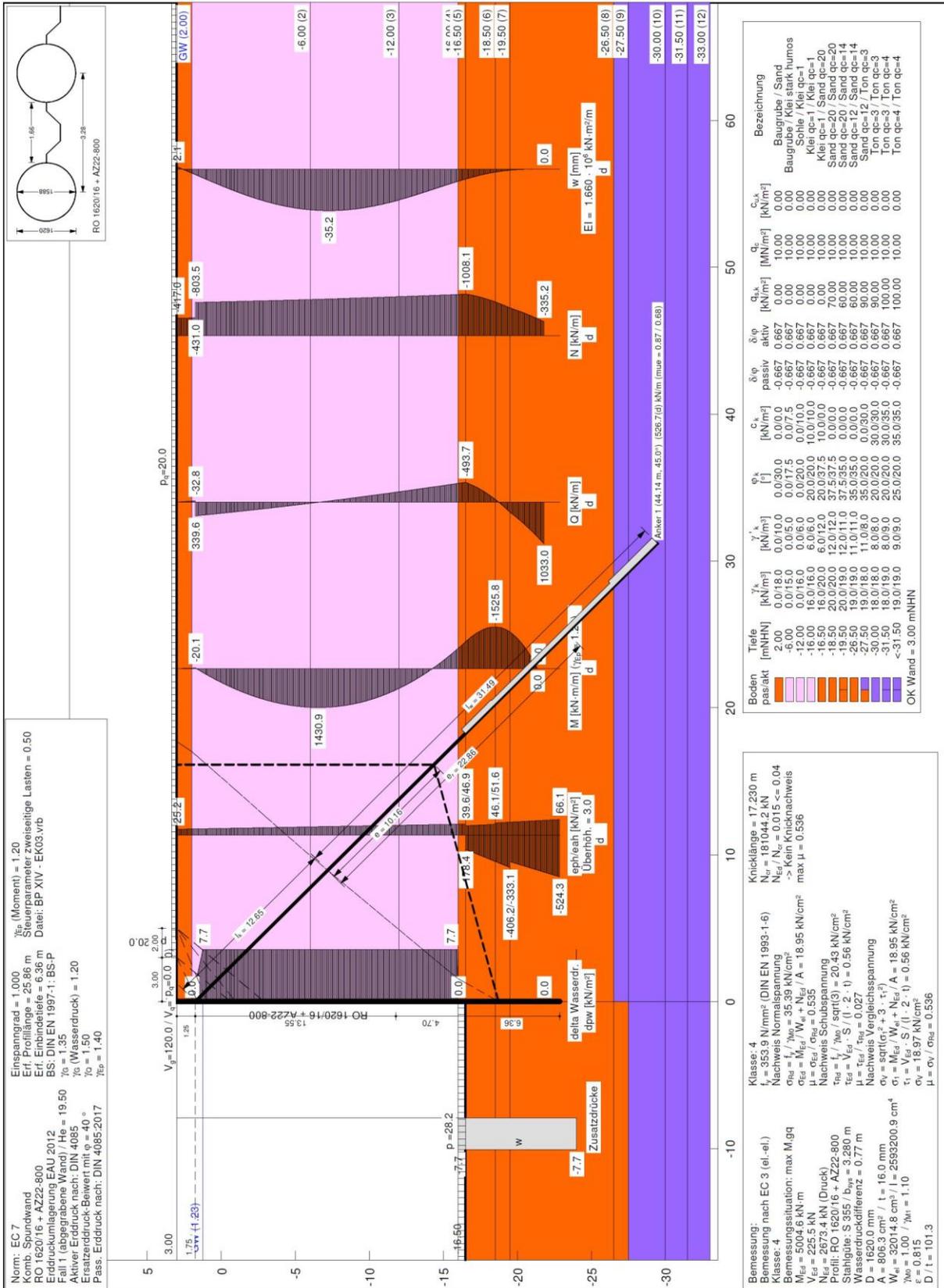
Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-18.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-18.50	-19.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=14$
-19.50	-23.10	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=14$

Mantelfläche bis -23.10 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma_{(q_s,k)} = 439.02 / 1.40 = 313.58 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 889.51 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 223.02 + 1004.22 + 2133.47 = 3360.70 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3360.70 / 889.51 = 3.78$
Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

8.6.4.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 49.90 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 328.32 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 207.21 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 703.89 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 761.90 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -595.06 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 233.37 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.24 bis -29.34 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-18.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-18.50	-19.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=14$
-19.50	-22.86	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=14$

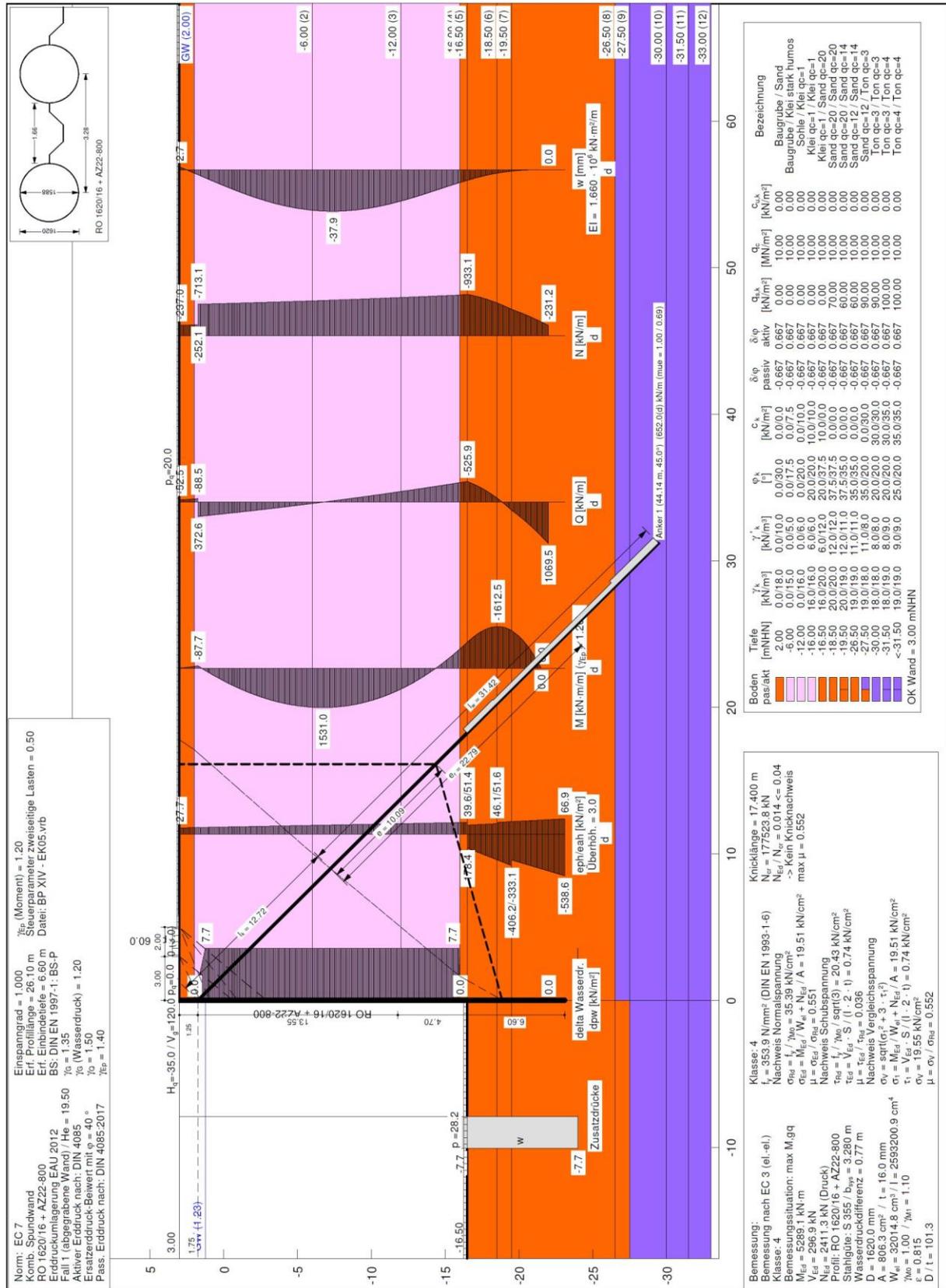
Mantelfläche bis -22.86 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 423.05 / 1.40 = 302.18 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 878.11 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 220.97 + 940.09 + 2619.39 = 3780.45 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3780.45 / 878.11 = 4.31$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.6.4.3 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.37 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 329.49 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 220.61 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 758.67 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 784.33 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -617.66 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 232.95 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.48 bis -29.58 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-18.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-18.50	-19.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=14$
-19.50	-23.10	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=14$

Mantelfläche bis -23.10 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 439.02 / 1.40 = 313.58 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 889.51 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 223.02 + 1004.22 + 2319.82 = 3547.05 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3547.05 / 889.51 = 3.99$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.6.4.4 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil **BP XIV**

EK	Lastfall										Bemessungssituation	Zusammenfassung				
	01	02		03	04a	04b	05	06	07			Profillänge l [m]	Max. M _{ed} / Min. M _{ed} [kNm/m]	max. l [-]	Ankerkraft N _{ed} [kN/m]	Nachweis V _d [kN]
01	Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutlast	Verkehrsband 40 (q=40 kN/m ² b=3,50 m)	Verkehrsband 60 (q=60 kN/m ² b=2,00 m)	Schwerlaststapler	Kranbahn	Polierzug		BS-P					
02	X	BS 3a	-	X	X	X					BS-P	26,5	-1631	0,55	572	3361
03	X	BS 3a	-	X			X				BS-P	26,0	-1526	0,54	527	3781
04	X	BS 3a	-	X				X			BS-P					
05	X	BS 3a	-	X		X			X		BS-P	26,5	-1613	0,56	652	3548
10	X	BS 3a	-	X						X	BS-T					

8.6.4.5 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt und ergibt sich zu:

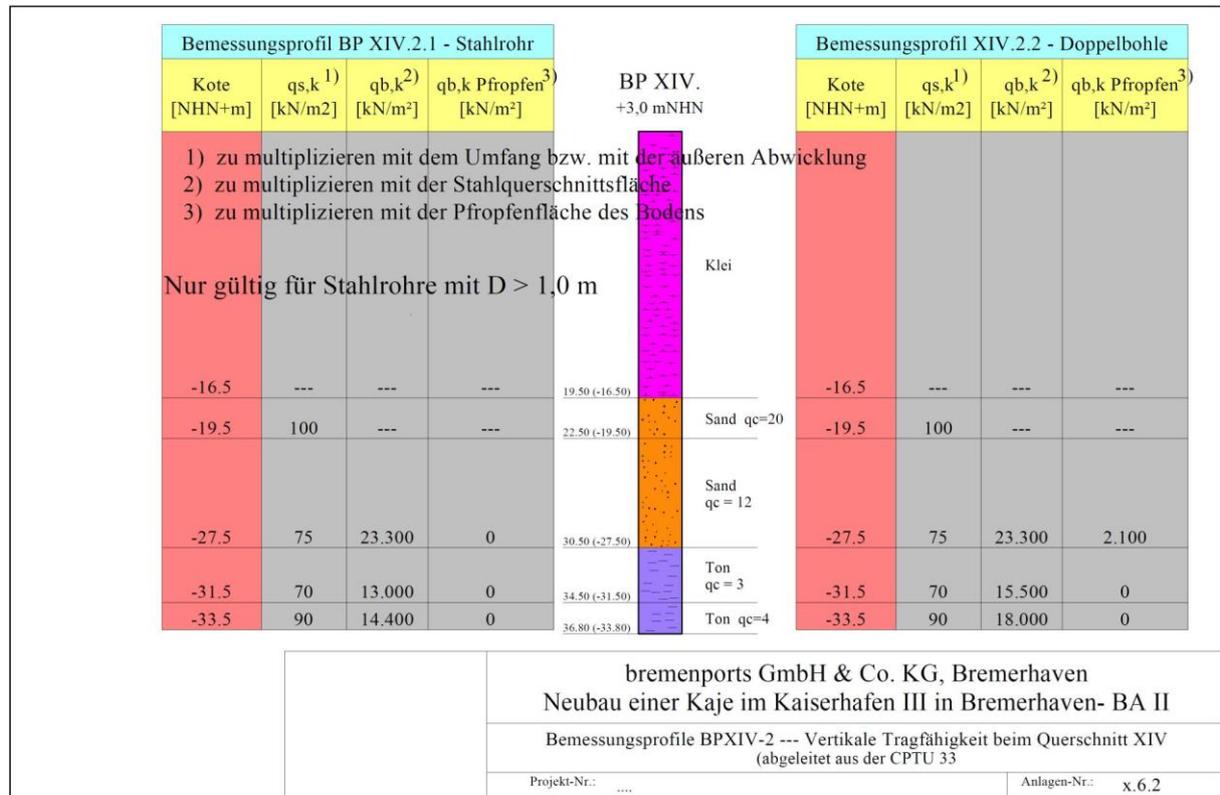


Abbildung 50 Bemessungsprofil XIV - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BP XIV - Vertikale Tragfähigkeit

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	b _{sys} =	1,00 m
Höhe	h= 1620 mm	Breite	w=	1620 mm
Stegdicke	s= 16 mm	Flanschdicke	t=	16 mm
Stahlquerschnitt	A= 806 cm ²		A=	0,08 m ²
	g _k ≈ 6,33 kN/m		g _d ≈	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	U ₁ = 2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	U ₂ =	5,09 m/m
Pfahllänge gem. GGU	26,50 m			
Verlängerung infolge ∑V	m			
Aufrunden	0,50 m			
	∑=			27,00 m
Freie Eingabe	l _p =	m		
Gewählte Pfahllänge	l _p =	27,00 m		

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	G ₁ = 1,00 m *	221 kN/m =	221 kN
Längenzuschlag in G _{1,k} enthalten?	Nein		
Verlängerung infolge ∑V	G ₂ = 0,50 m *	8,54 kN/m =	4 kN
Eavd	G ₃ = 1,00 m *	941 kN/m =	941 kN
Pv,d	G ₄ = 1,00 m *	2620 kN/m =	2.620 kN
	∑G=	3782	3.786 kN
	Q ₁ =	0 kN/m =	kN
	Q ₂ =	0 kN/m =	kN
	∑Q=	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	q _{b,k} [kN/m ²]	q _{s,k} [kN/m ²]	U _i	U _{mi} [m]	h _M [m]	R _{s,i,k} = q _{s,k} x A _M [kN]
1	Klei	3,00	-16,50	19,50	0	0	1	2,54	19,50	0
2	Sand qc=20	-16,50	-17,00	0,50	0	100	1	2,54	0,50	127
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand qc=20	-17,00	-19,50	2,50	0	100	2	5,09	2,50	1.272
5	Sand qc=12	-19,50	-27,50	8,00	23.300	75	2	5,09	4,50	1.718
6	Ton qc=3	-27,50	-31,50	4,00	13.000	100	2	5,09	0,00	0
7	Ton qc=4	-31,50	-33,50	2,00	14.400	90	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-24,00	27,00	23.300	-				3.117

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \sum G_k + \gamma_{Q,dest} \times \sum Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfußwiderstand bei z= -24,00 mNN R_{b,k} = n * A_B * q_{b,k} = 1.879 kN Faktor Stahlquerschnitt n= 1
 Pfahlmantelwiderstand R_{s,k} = ∑R_{s,i,k} = 3.117 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: γ_{G,dest} = 1,00 γ_{Q,dest} = 1,00
 γ_{Fc} = 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: E_{1,k} = 3.786 kN E_{1,d} = 3.786 kN
 Widerstand: R_{1,k} = 4.996 kN R_{1,d} = 4.542 kN

Nachweis: E_{1,d} = 3.786 kN < 4.542 kN = R_{1,d}
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 83%.

8.6.4.6 Nachweis gegen Herausziehen

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 geführt und ergibt sich zu:

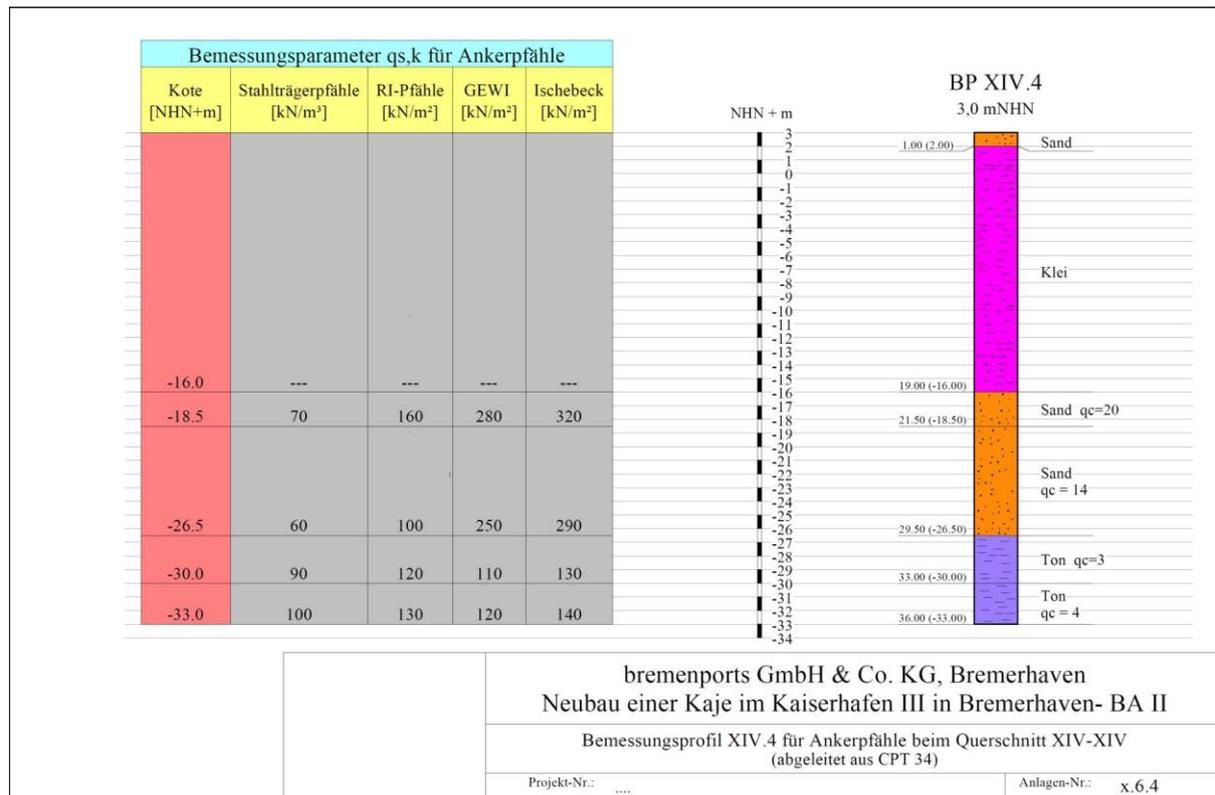


Abbildung 51 Bemessungsprofil XIV - Bodenkennwerte Herausziehewiderstand [U1]

Kaje Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil BP XIV - Herausziehwiderstand
 Lastfallkombination 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 41,50$ m
 Pfahlneigung $\alpha = 45,00^\circ$
 UK Pfahl UK= -27,59 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK	UK	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$	l_M	$q_{s,k} \times l_M$	Anmerkungen
		[mNN]	[mNN]		[kN/m ²]	[m]	[kN]	
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-16,00	8,00	0	11,31	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,00	-18,50	2,50	70	3,54	621	
4	Sand $q_c=14$	-18,50	-26,50	8,00	60	11,31	1.704	
5	Ton $q_c=3$	-26,50	-30,00	3,50	90	1,55	350	
6	Ton $q_c=4$	-30,00	-33,00	3,00	110	0,00	0	
7	Annahme Ton $q_c=4$	-33,00	-50,00	17,00	110	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-27,59		38,46	41,50	2675	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 650$ kN/m $E_{1,d} = 2.132$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{Pc} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 2.675$ kN $R_{1,d} = 2.326$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 2.132$ kN < 2.326 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 92%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 2.132$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 123$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 35%.

8.7 Bemessungsprofil XV

8.7.1 Übersicht

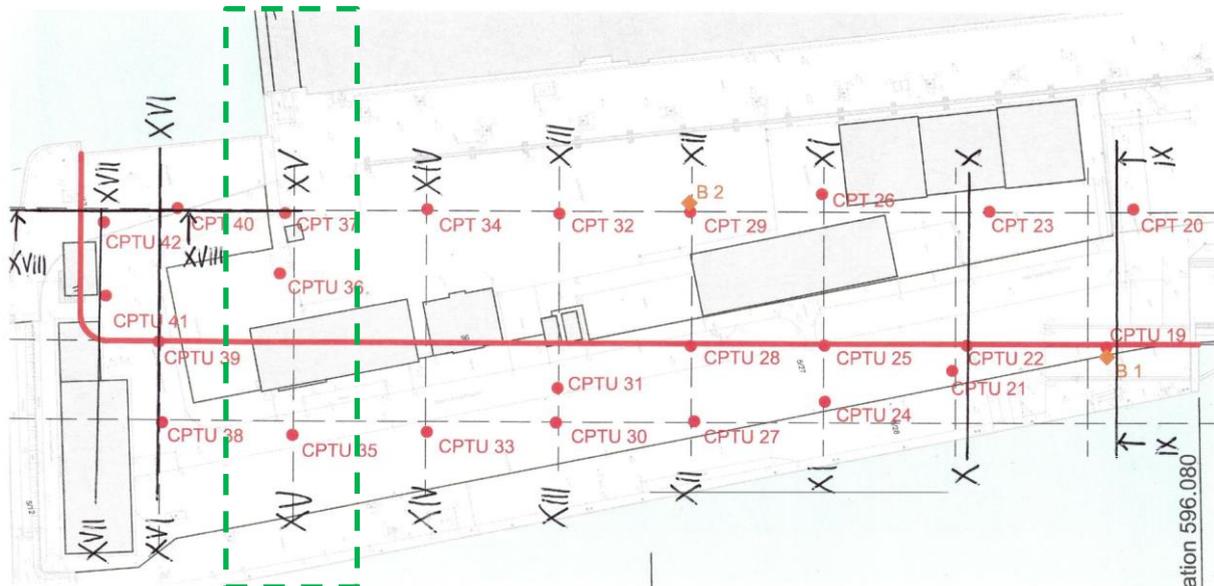


Abbildung 52 Bemessungsprofil XV - Lage [U1]

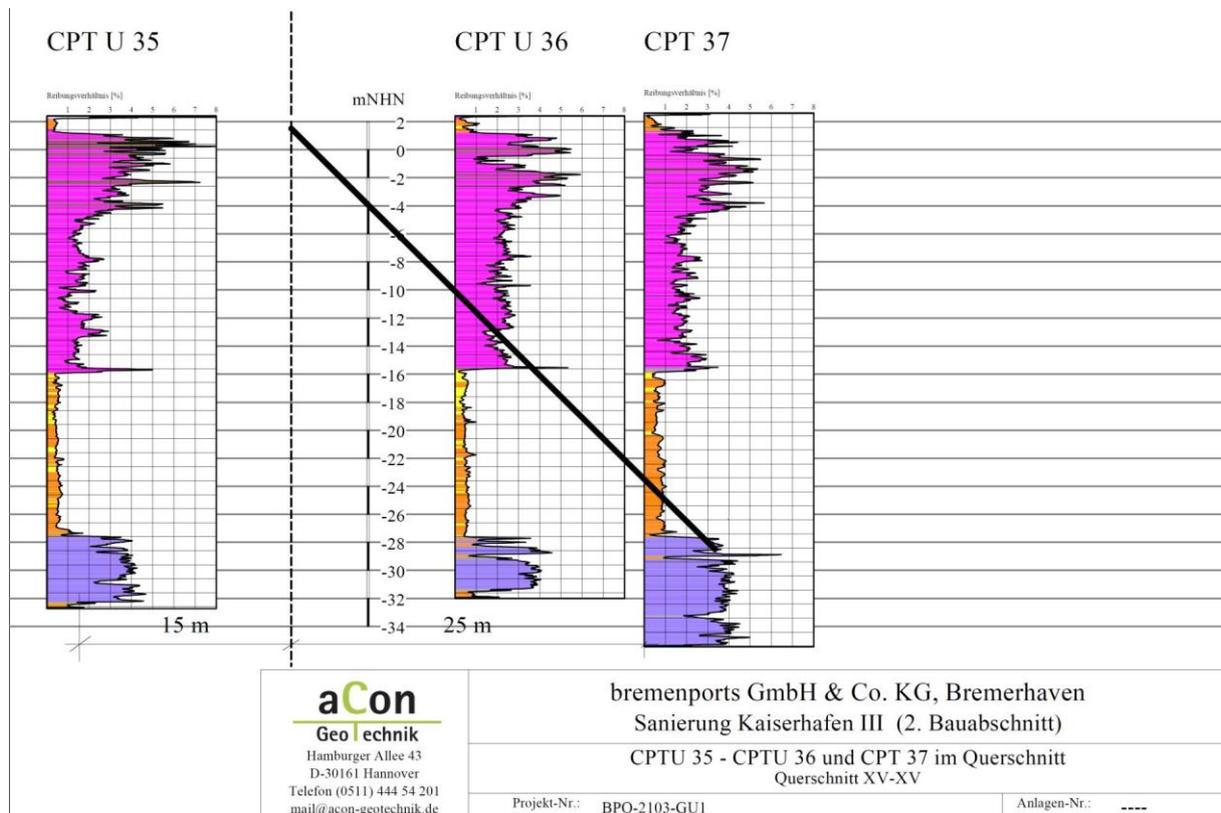


Abbildung 53 Bemessungsprofil XV - Querschnitt [U2]

8.7.2 Bodenkennwerte Erddruck

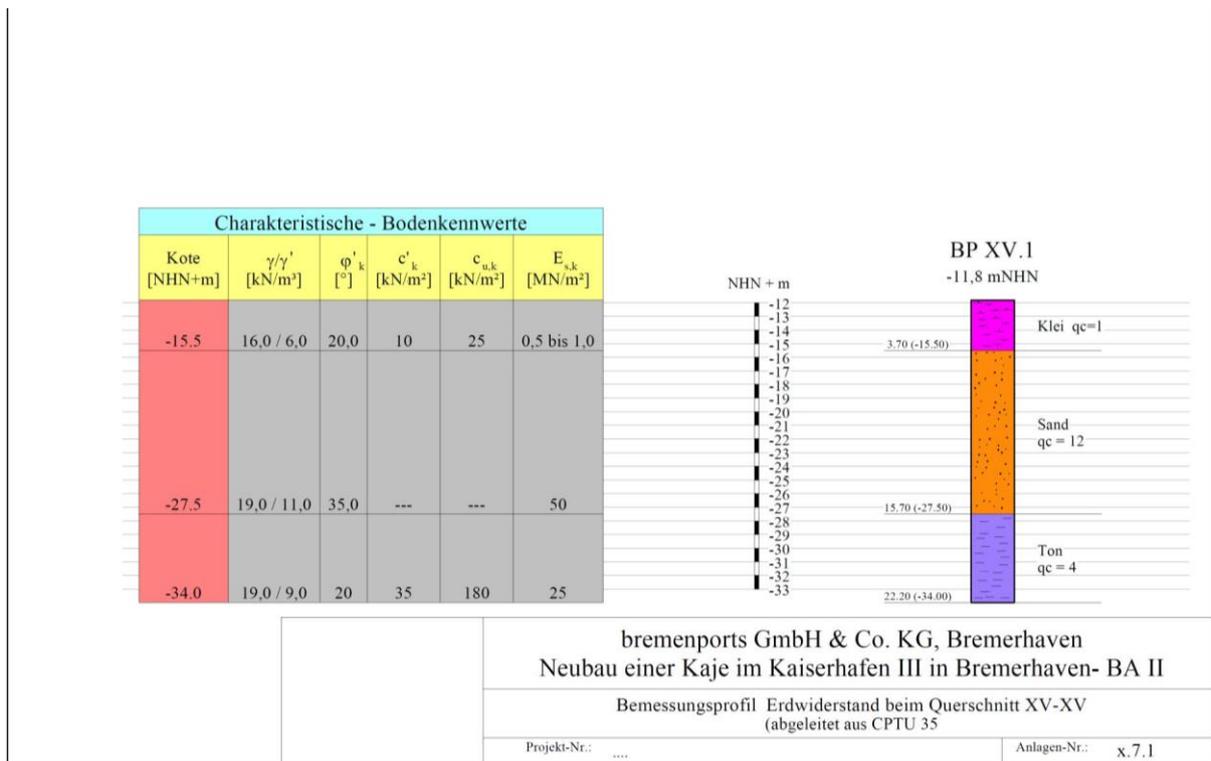


Abbildung 54 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

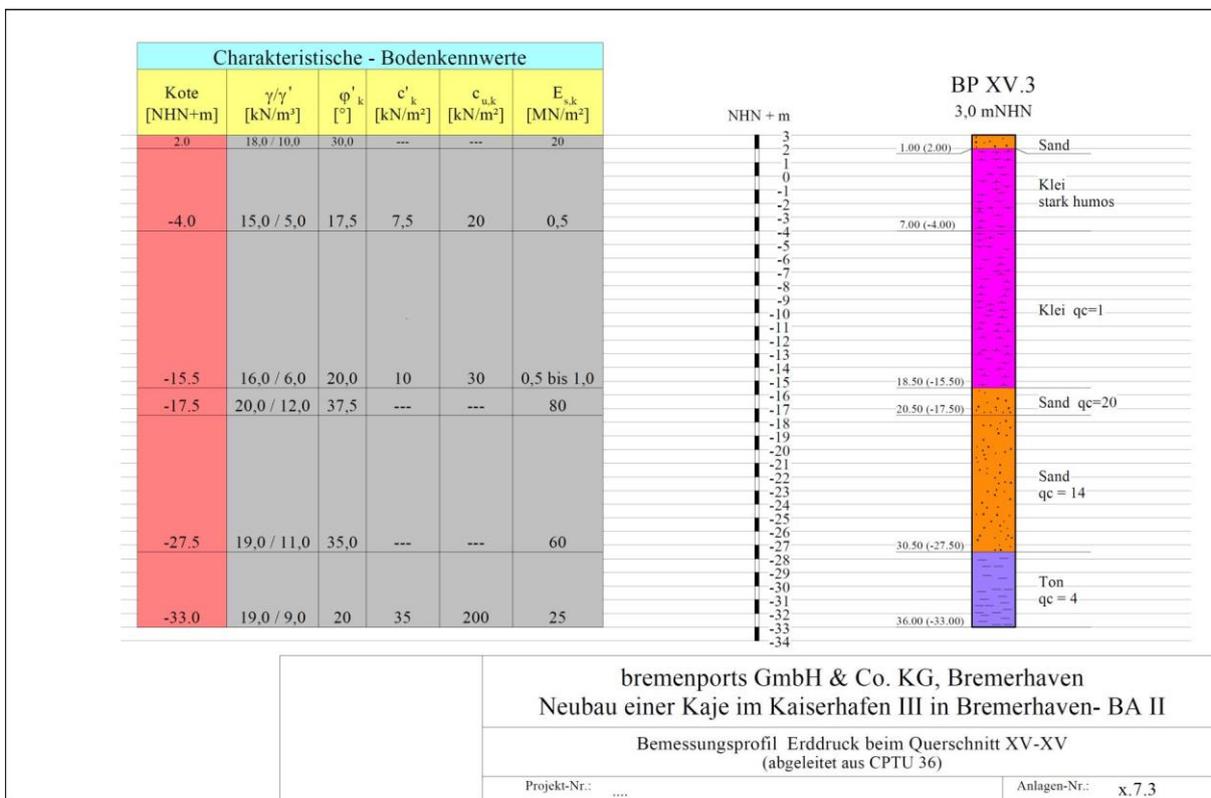


Abbildung 55 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

8.7.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

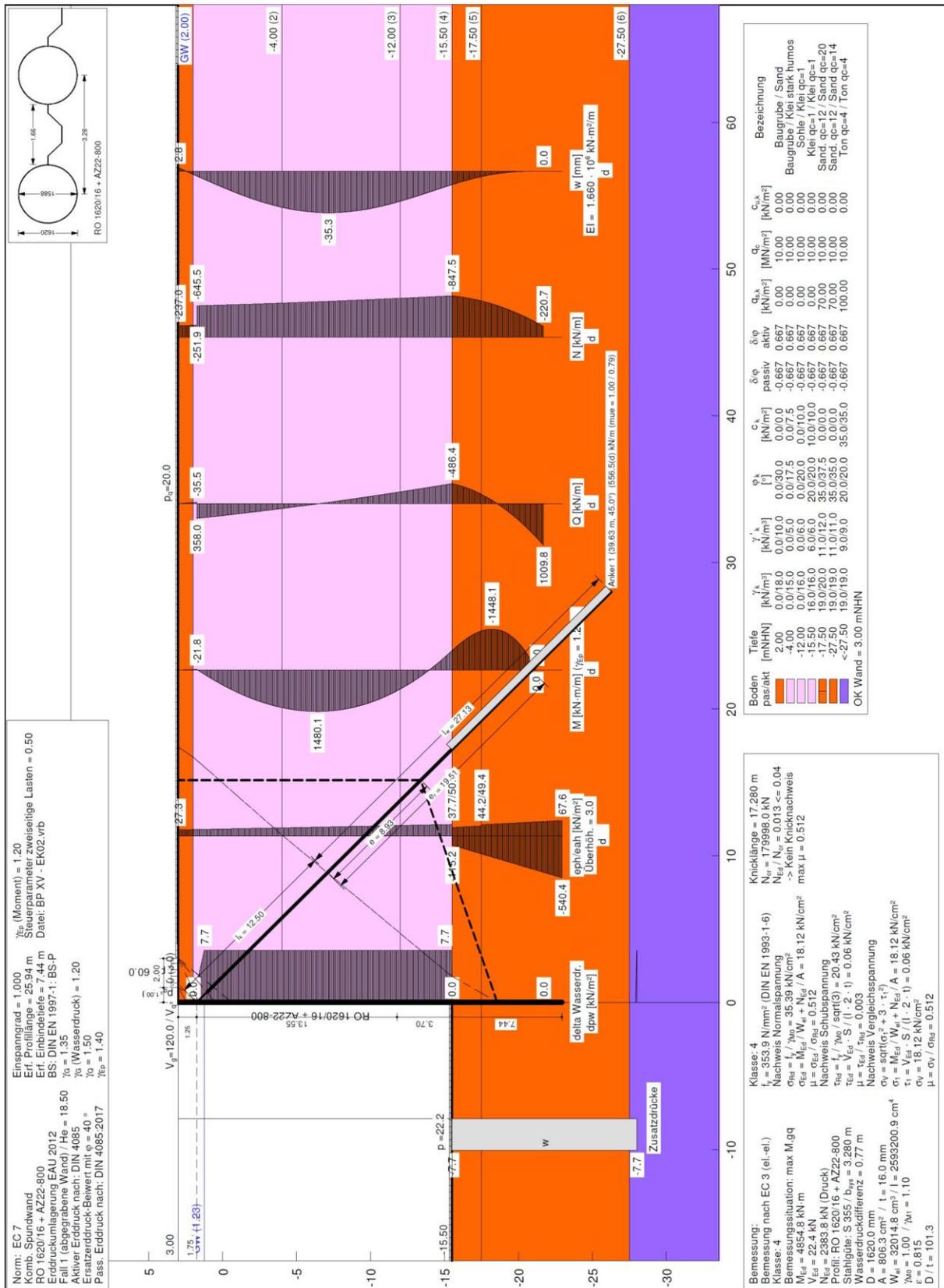
$$BS-P = (-11,80 + 15,50) \cdot 6 = 22,20 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 22,20 - 7,50 = 14,70 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
-

8.7.4 Spundwand- und Ankernachweise

8.7.4.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)



Biagebemessung am Bemessungsprofil XV nicht maßgebend, vgl. Abschnitt 8.1.4.2.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.06 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 319.94 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 220.55 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 745.88 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 739.32 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -573.43 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 252.91$ (Druck) kN/m

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.32 bis -29.42 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

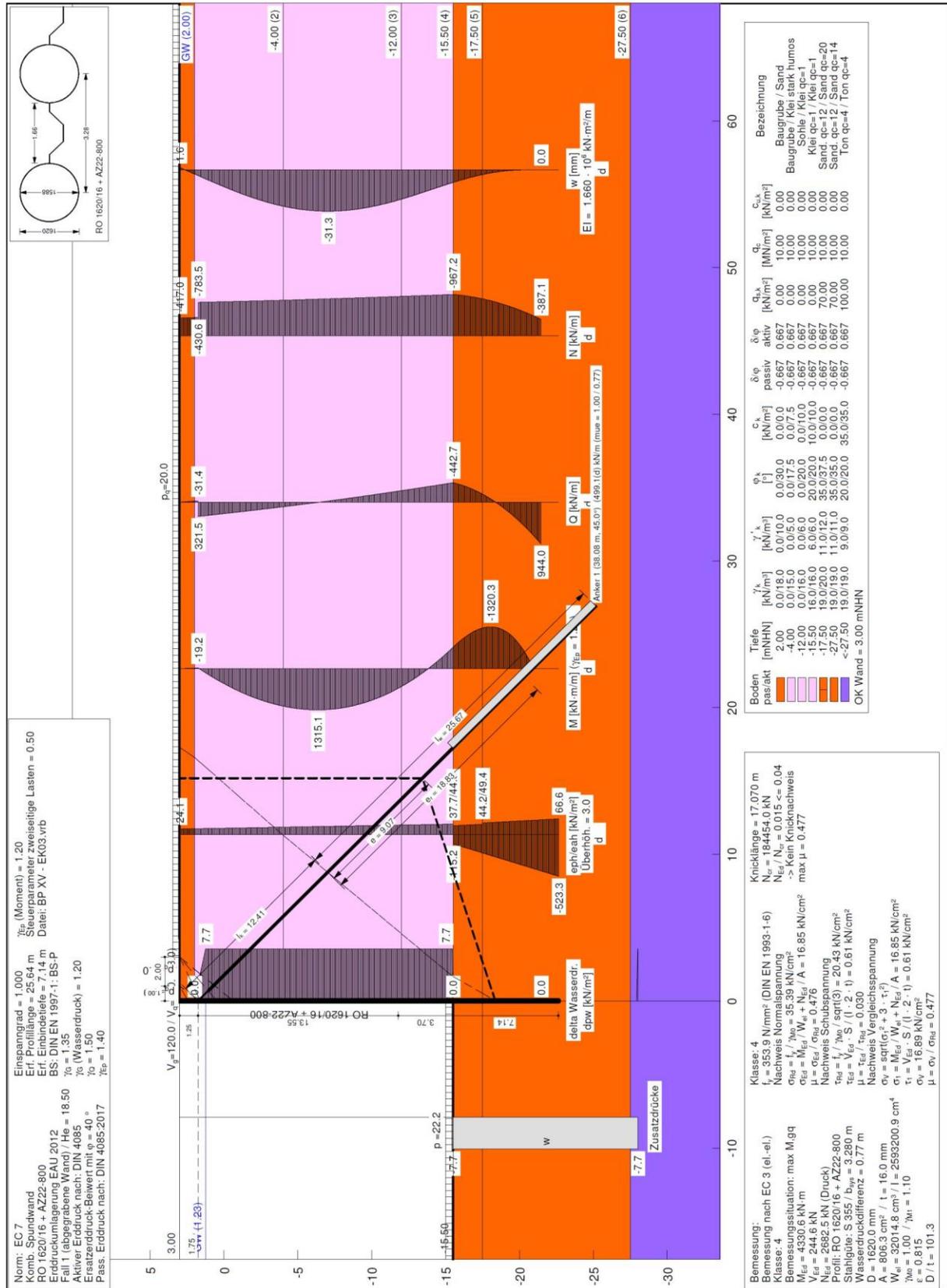
von	bis	$q_{s,k}$ [kN/m^2]	Bezeichnung
-15.50	-17.50	26.67	Sand. $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-22.94	26.67	Sand. $q_c=12$ / Sand $q_c=14$

Mantelfläche bis -22.94 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 494.89 / 1.40 = 353.50 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 929.42 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 221.65 + 1004.26 + 2097.70 = 3323.60 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3323.60 / 929.42 = 3.58$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

8.7.4.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 49.48 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 318.47 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 203.66 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 678.07 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 697.18 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -537.74 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 256.21$ (Druck) kN/m

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.02 bis -29.12 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k}$ [kN/m^2]	Bezeichnung
-15.50	-17.50	26.67	Sand, $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-22.64	26.67	Sand, $q_c=12$ / Sand $q_c=14$

Mantelfläche bis -22.64 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 474.94 / 1.40 = 339.24 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 915.17 \text{ kN}$

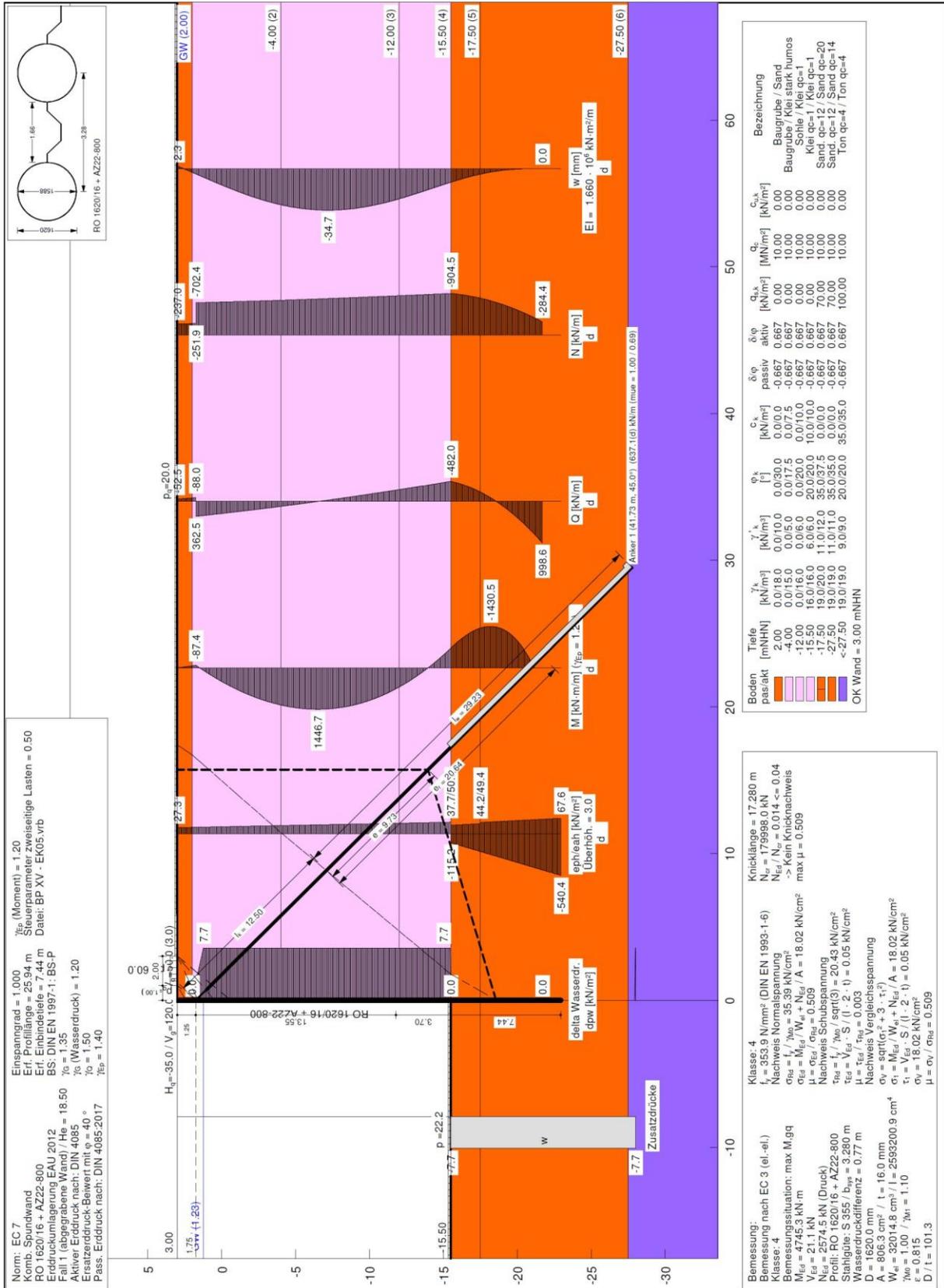
Einwirkungen

$V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 219.09 + 923.35 + 2554.74 = 3697.18 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3697.18 / 915.17 = 4.04$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.7.4.3 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.06 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 319.98 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 220.55 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 745.88 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 731.73 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -568.87 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 255.09 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.32 bis -29.42 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	Bezeichnung
-15.50	-17.50	26.67	Sand, $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-22.94	26.67	Sand, $q_c=12$ / Sand $q_c=14$

Mantelfläche bis -22.94 m = 2.494 m²/m $\Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 494.89 / 1.40 = 353.50 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 929.42 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 221.65 + 1004.26 + 2284.55 = 3510.45 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3510.45 / 929.42 = 3.78$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.7.4.4 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil **BP XV**

EK	01		02		03		04		05		06		07		Bemessungssituation	Zusammenfassung					
	Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutzlast	Verkehrsband 40 (q=40 kN/m² b=3,50 m)	Verkehrsband 60 (q=60 kN/m² b=2,00 m)	Schwerlaststapler	Kranbahn	Polierzug	BS-P	BS-P	BS-P	BS-P	BS-P		BS-T	Profilänge l [m]	Max. M _{ed} / Min. M _{ed} [kNm/m]	max. l _u [-]	Ankerkraft N _{ed} [kN/m]	Nachweis ΣV V _d [kN]
01	X	BS 3a	-	X	X										BS-P						
02	X	BS 3a	-	X		X									BS-P	26,00	14,81	0,51	557	3324	
03	X	BS 3a	-	X			X								BS-P	26,90	-13,21	0,48	500	3698	
04	X	BS 3a	-	X				X							BS-P						
05	X	BS 3a	-	X		X							X		BS-P	26,00	14,47	0,51	638	3511	
10	X	BS 3a	-	X									X		BS-T						

8.7.4.5 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt und ergibt sich zu:

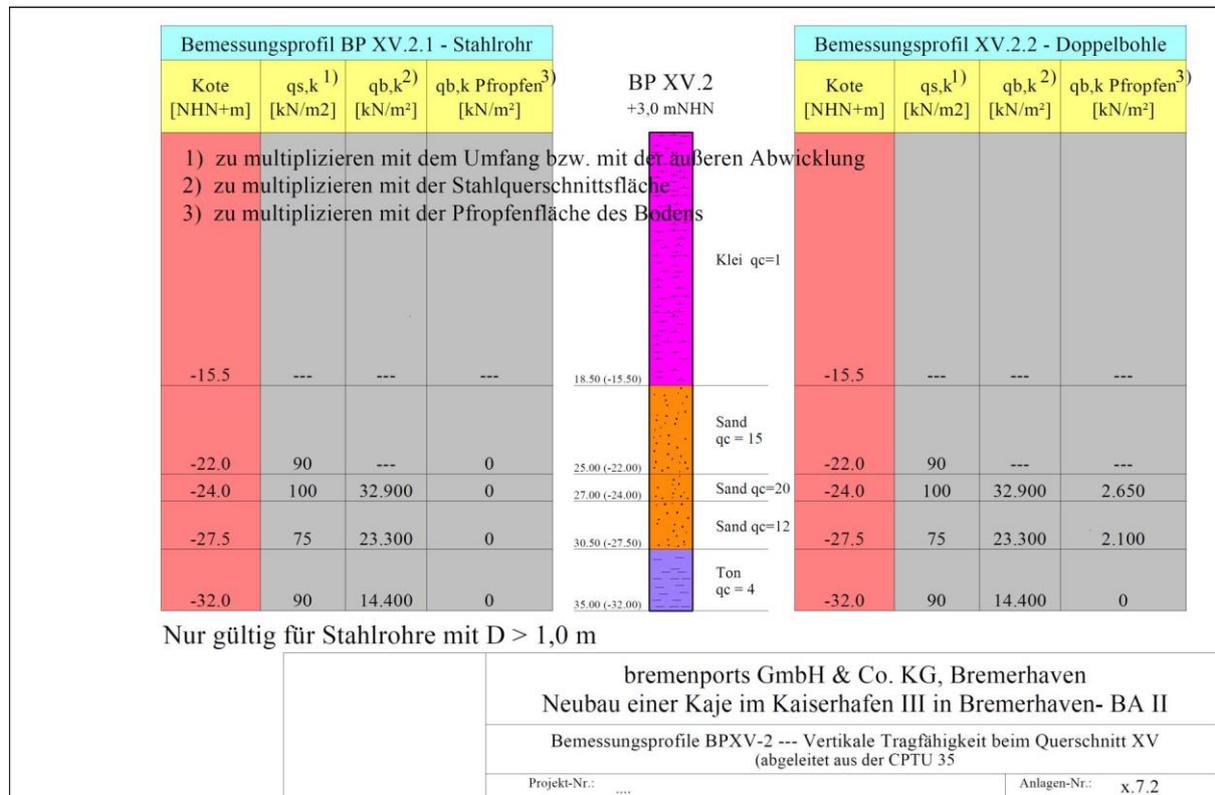


Abbildung 56 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BP XV - Vertikale Tragfähigkeit

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahlänge gem. GGU		m			
Verlängerung infolge ΣV		m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	0,50 m			
Freie Eingabe	$l_p =$	26 m			
Gewählte Pfahlänge	$l_p =$	26,00 m			

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 220 kN/m =	220 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Ja	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	=	0 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 924 kN/m =	924 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 2555 kN/m =	2.555 kN
	$\Sigma G =$	3699	3.699 kN
	$Q_1 =$	0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$	0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-15,50	18,50	0	0	1	2,54	18,50	0
2	Sand qc=15	-15,50	-17,00	1,50	0	90	1	2,54	1,50	344
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand qc=15	-17,00	-22,00	5,00		90	2	5,09	5,00	2.290
5	Sand qc=20	-22,00	-24,00	2,00	32.900	100	2	5,09	1,00	509
6	Sand qc=12	-24,00	-27,50	3,50	23.300	75	2	5,09	0,00	0
7	Ton qc=4	-27,50	-32,00	4,50	14.400	90	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-23,00	26,00	32.900	-				3.143

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfusswiderstand bei $z = -23,00$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 2.653 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 3.143 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 3.699 kN $E_{1,d} =$ 3.699 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 5.795 kN $R_{1,d} =$ 5.269 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 3.699 kN $<$ 5.269 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 70%.

8.7.4.6 Nachweis gegen Herausziehen

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 geführt und ergibt sich zu:

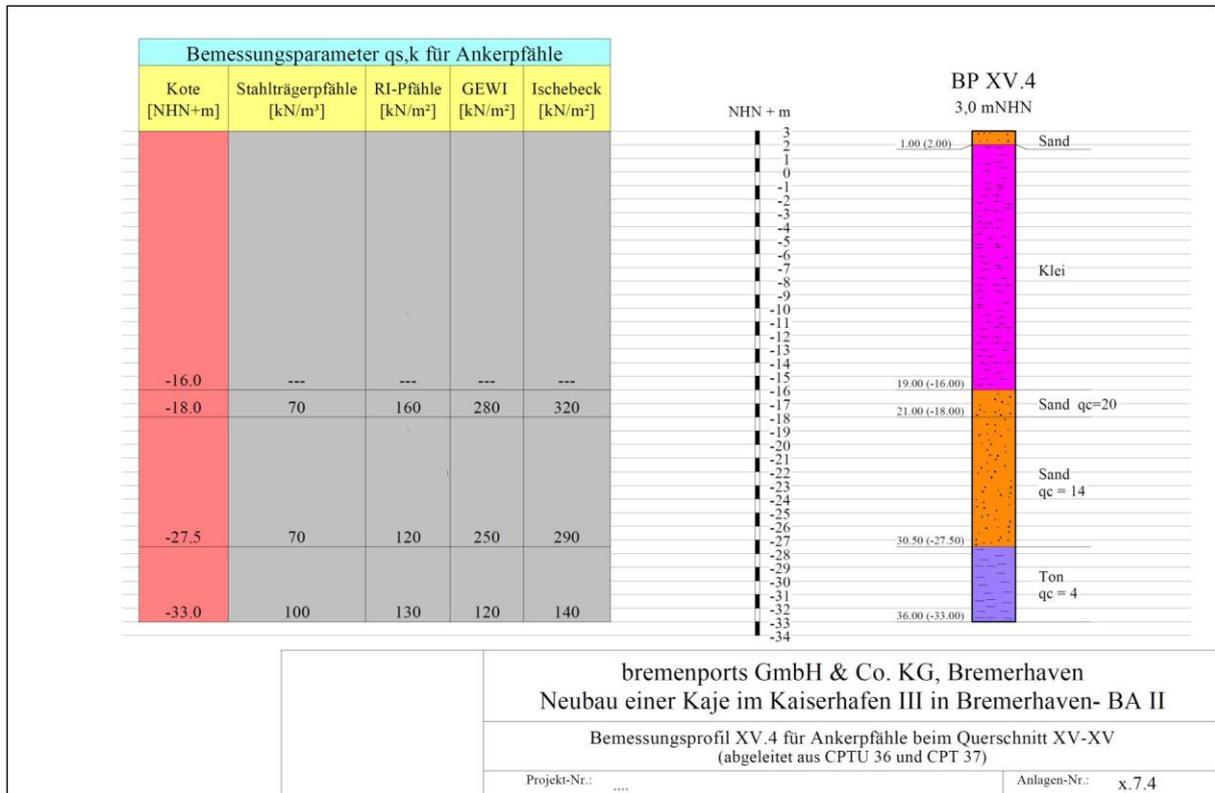


Abbildung 57 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Herausziehwiderstand [U1]

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BP XV - Herauszieh Widerstand
 Lastfallkombination: 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 39,00$ m
 Pfahlneigung: $\alpha = 45,00^\circ$
 UK Pfahl: UK= -25,83 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche: $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-15,50	7,50	0	10,61	0	
3	Sand $q_c=20$	-15,50	-18,00	2,50	70	3,54	621	
4	Sand $q_c=14$	-18,00	-27,50	9,50	70	11,07	1.945	
5	Ton $q_c=4$	-27,50	-33,00	5,50	100	0,00	0	
6	Annahme Ton $q_c=4$	-33,00	-34,00	1,00	100	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-25,83		40,55	39,00	2566	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 638$ kN/m $E_{1,d} = 2.093$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{Fc} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 2.566$ kN $R_{1,d} = 2.231$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 2.093$ kN < 2.231 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 94%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 2.093$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 121$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 34%.

8.8 Bemessungsprofil XVI

8.8.1 Übersicht

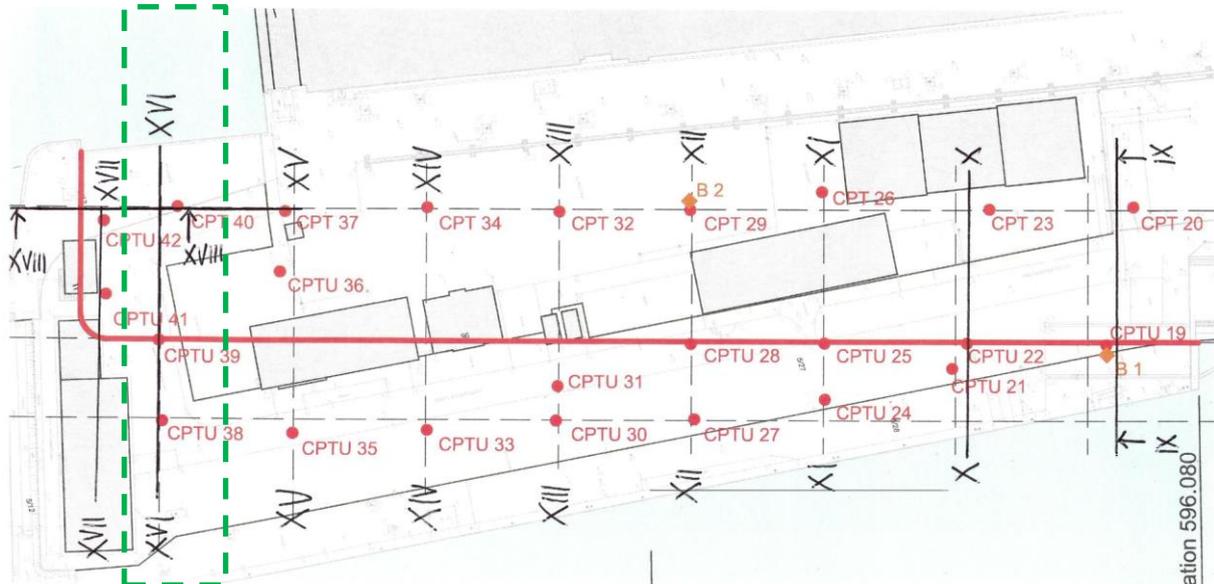


Abbildung 58 Bemessungsprofil XVI - Lage [U1]

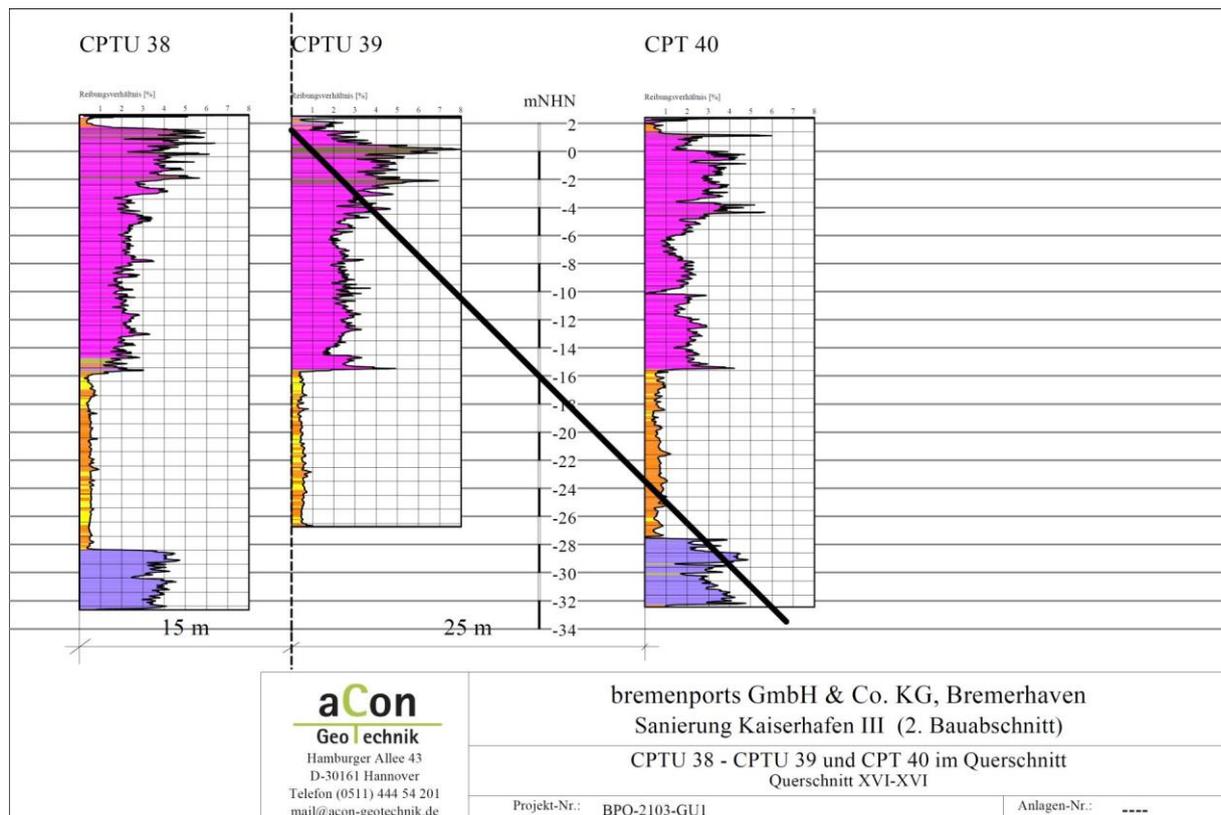


Abbildung 59 Bemessungsprofil XVI - Querschnitt [U2]

8.8.2 Bodenkennwerte Erddruck

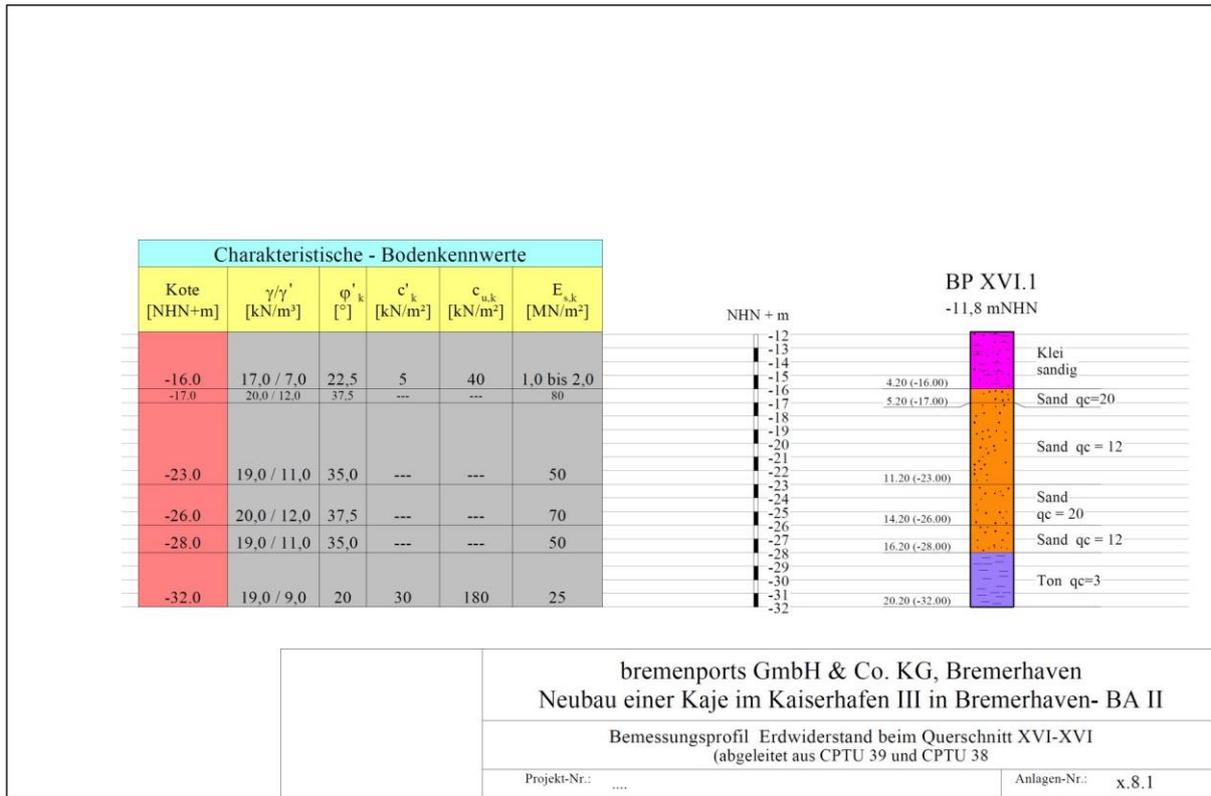


Abbildung 60 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]

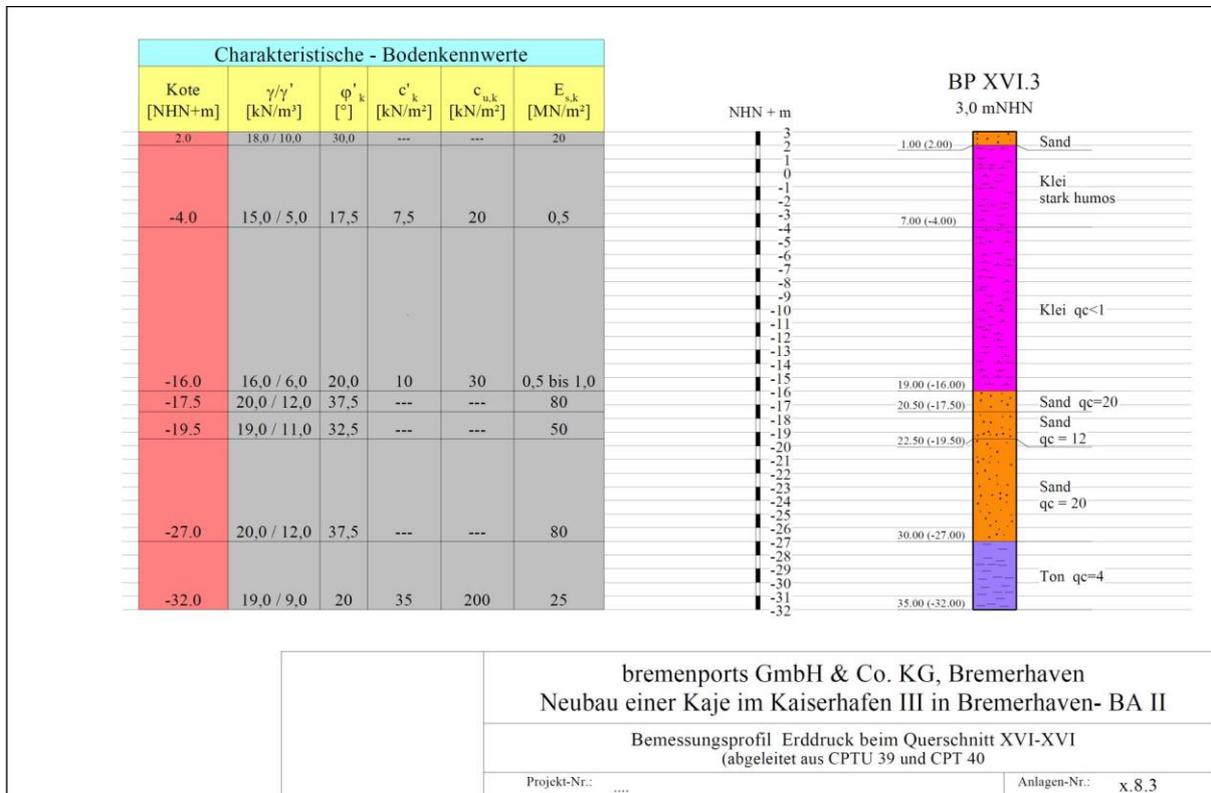


Abbildung 61 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

8.8.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

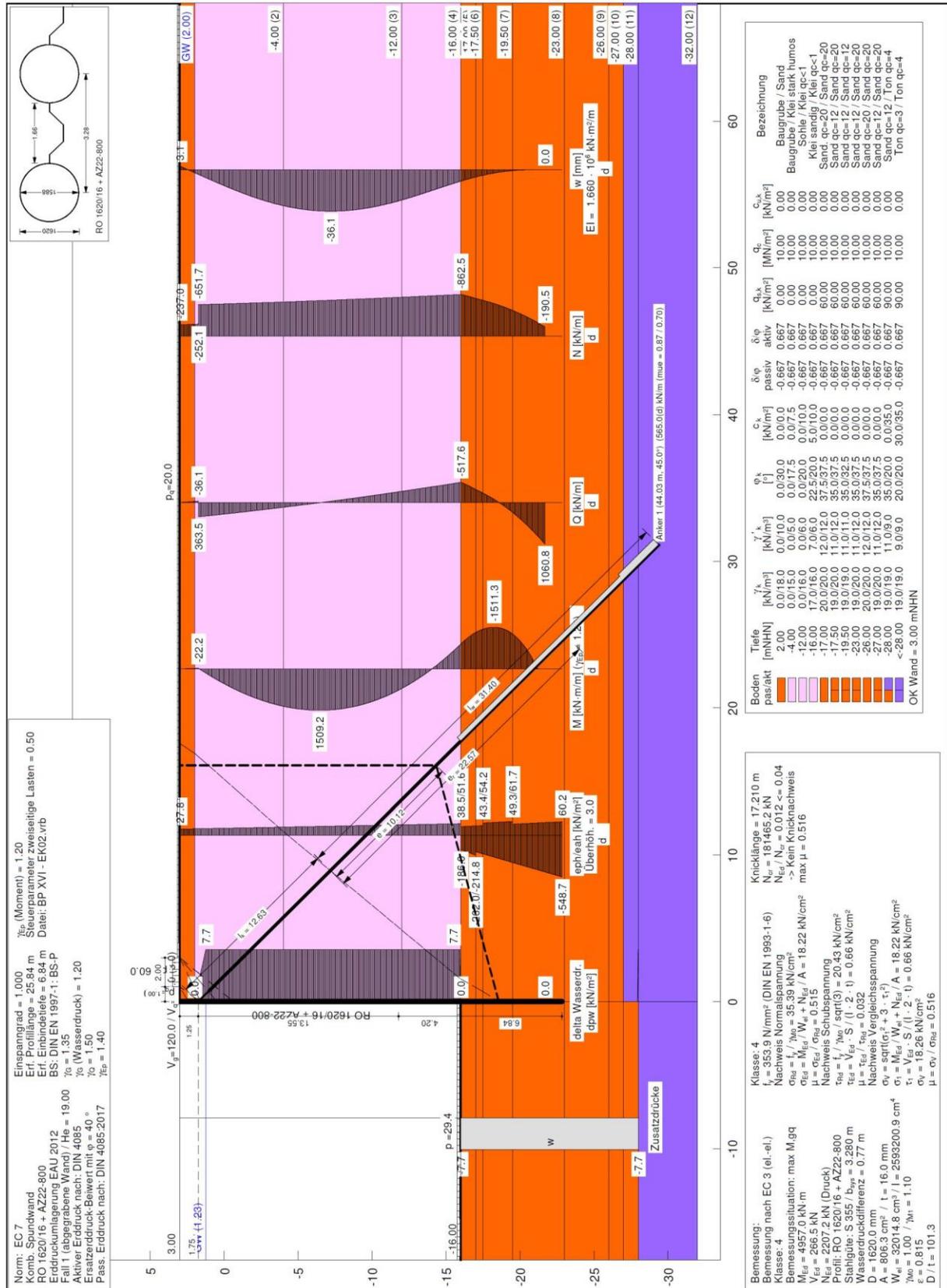
$$BS-P = (-11,80 + 16,00) \cdot 7 = 29,40 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 29,40 - 7,50 = 21,90 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
-

8.8.4 Spundwand- und Ankernachweise

8.8.4.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)



Bigebemessung am Bemessungsprofil XVI nicht maßgebend, vgl. Abschnitt 8.1.4.2.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 49.86 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 324.91 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 217.72 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 750.95 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 777.03 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -597.36 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.5$
Summe $V(g+q)_{,k} = 248.85 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.22 bis -29.32 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand. $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-19.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-19.50	-22.84	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$

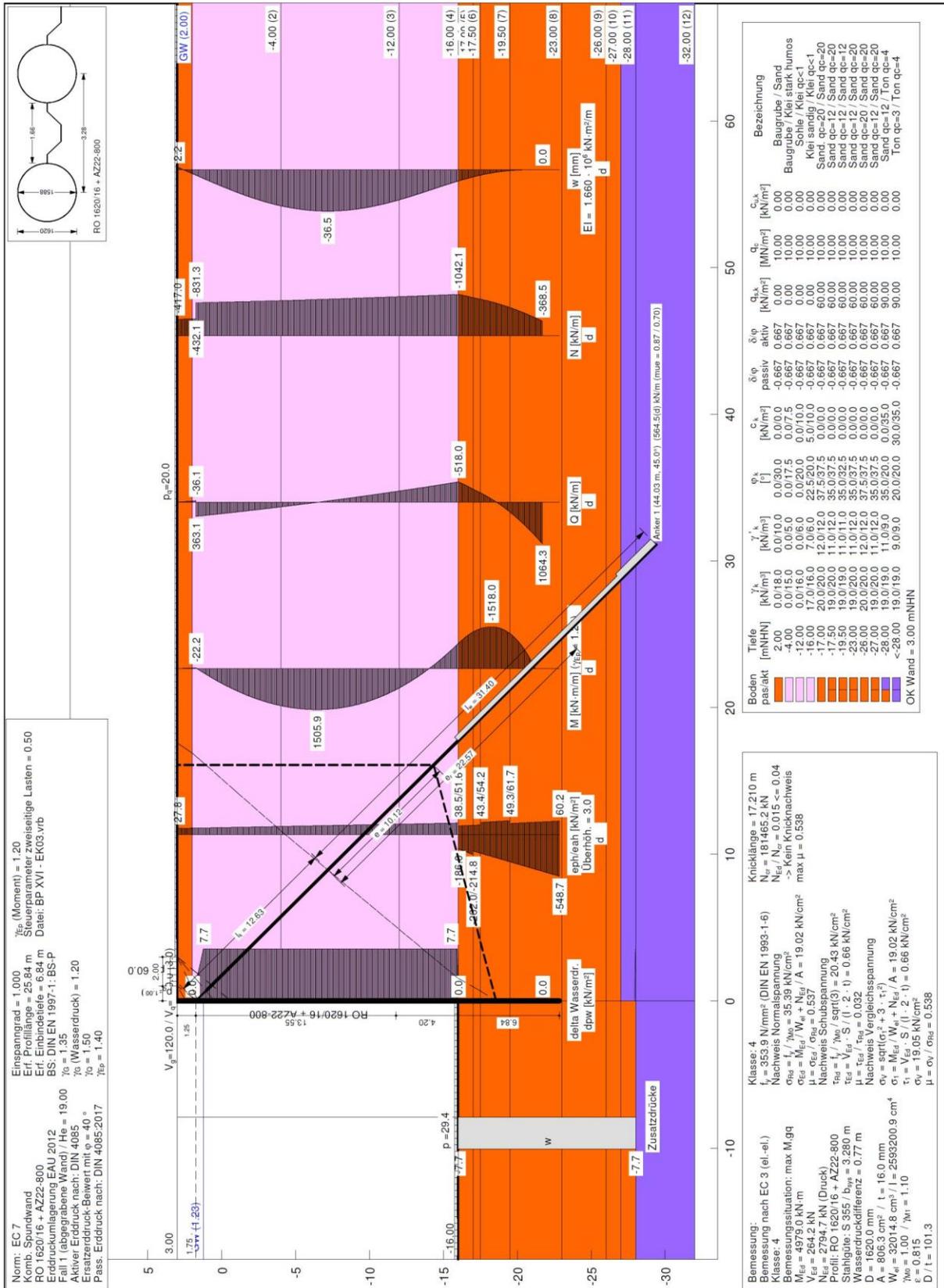
Mantelfläche bis -22.84 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 454.98 / 1.40 = 324.99 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 900.92 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 220.80 + 991.73 + 2117.58 = 3330.11 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3330.11 / 900.92 = 3.70$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.8.4.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta[C]) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta[p])$
 $G_{,k} = 49.86 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 324.91 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 217.72 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 750.95 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 779.33 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -598.48 \text{ kN/m}$
 $\delta[p] [^\circ] = -23.3$
 $\delta[C] [^\circ] = 12.5$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 248.49 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -21.22 bis -29.32 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-19.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-19.50	-22.84	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$

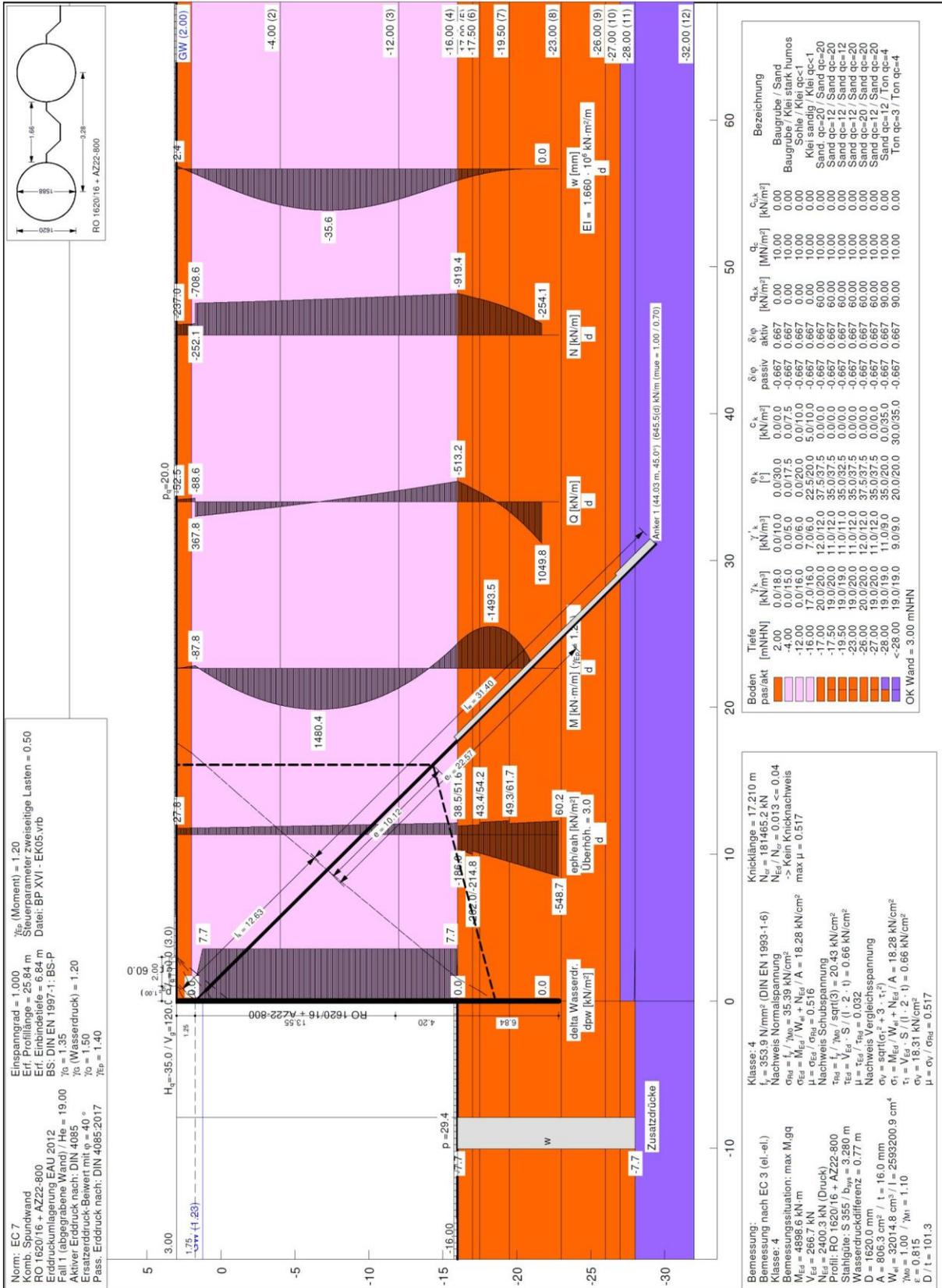
Mantelfläche bis -22.84 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 454.98 / 1.40 = 324.99 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 900.92 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 220.80 + 991.73 + 2706.67 = 3919.20 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3919.20 / 900.92 = 4.35$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.8.4.3 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 49.86 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 324.92 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 217.72 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 750.95 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 769.67 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -592.88 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.5$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 250.94 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -21.22 bis -29.32 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-19.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-19.50	-22.84	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$

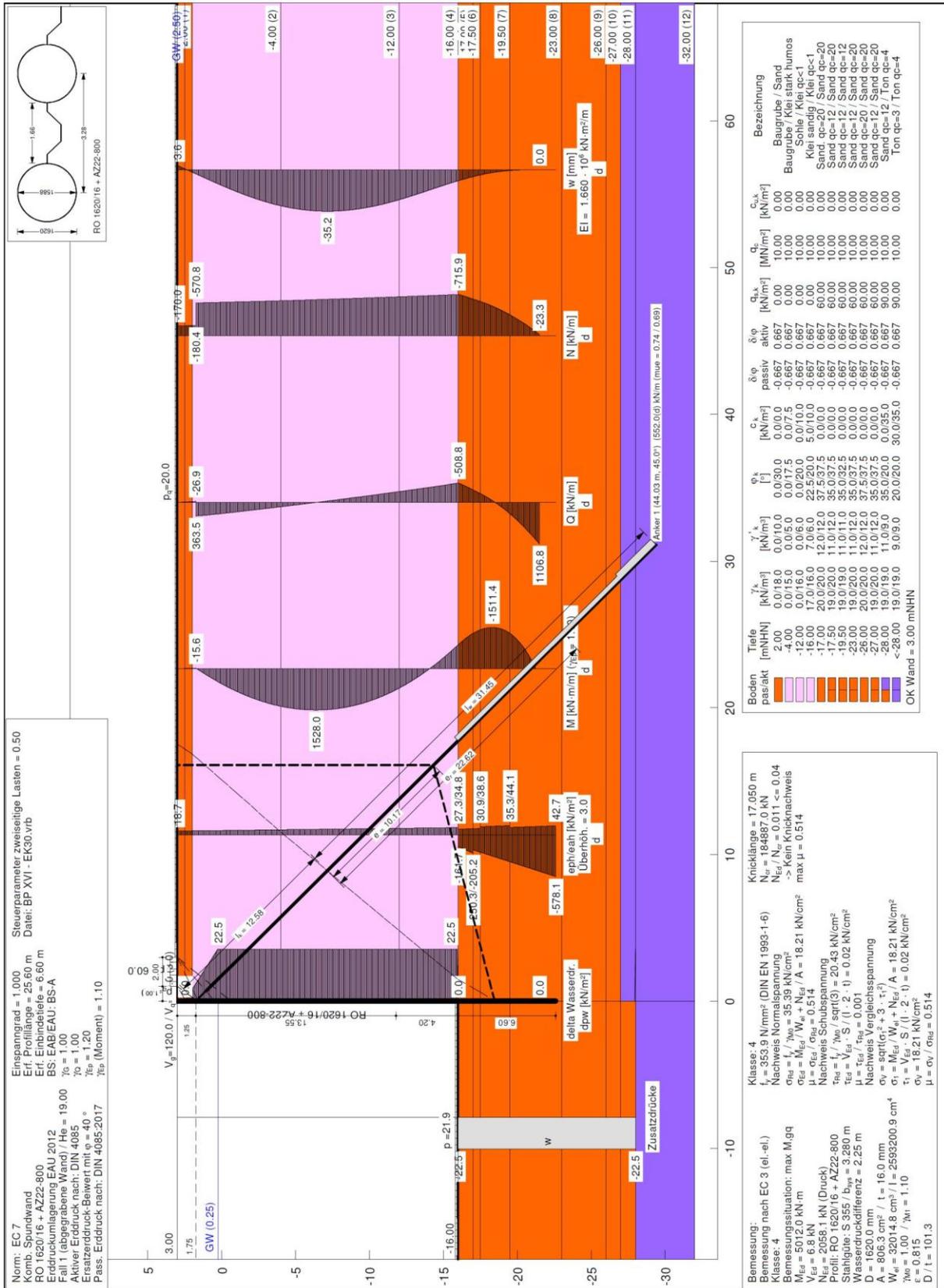
Mantelfläche bis -22.84 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 454.98 / 1.40 = 324.99 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 900.92 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 220.80 + 991.73 + 2304.19 = 3516.72 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3516.72 / 900.92 = 3.90$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.8.4.4 EK 30 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-A)



8.8.4.5 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil
 BP XVI

EK	Lastfall										Zusammenfassung GGU								
	01	02		03	4a	4b	05	06	07	08	09	Profilänge l [m]	Max. Med [kNm/m]	Min. Med [kNm/m]	max tl [-]	Ankerkraft Med [kN/m]	Ankerlänge [m]	Nachweis ΣV [kN]	
BS-P		Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutzlast q=20 kN/m ²	Verkehrsband 40 (q=40 kN/m ² b=3,50 m)	Verkehrsband 60 (q=60 kN/m ² b=2,00 m)	Schwerlaststapler	Kranbahn	Polierzug	Negative Mantelreibung	Formwasserüberdruck							
	01	X	BS 3a	-	X	X													
	02	X	BS 3a	-	X	X	X								0,52	565	✓	3331	
	03	X	BS 3a	-	X			X							0,54	565		3920	
	04	X	BS 3a	-	X				X										
	05	X	BS 3a	-	X	X	X			X					0,52	646	440	3517	
	06	X	BS 3a	-	X						X								
BS-T																			
	10	X	BS 3a	-	X		X		X										
	11	X	BS 3a	-	X		X					X							
	12	X	BS 3a	-	X				X			X							
	13	X	BS 3a	-	X	X						X							
	14	X	BS 3a	-	X						X	X							
BS-A																			
	20	X	BS-3a	-	X	X			X			X							
	30	X	BS-3c	X	X	X													

8.8.4.6 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt und ergibt sich zu:

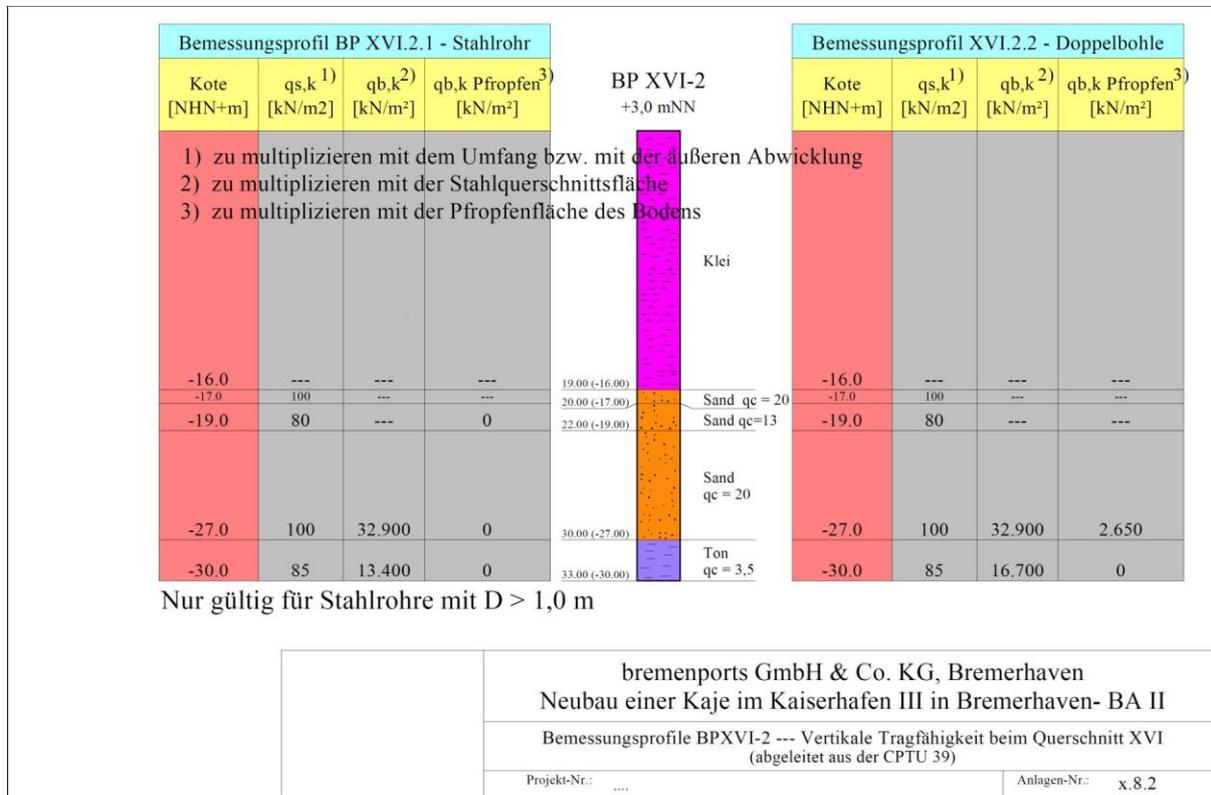


Abbildung 62 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BP XVI - Vertikale Tragfähigkeit

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahlänge gem. GGU		m			
Verlängerung infolge ΣV		m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	0,50 m			
Freie Eingabe	$l_p =$	26 m			
Gewählte Pfahlänge	$l_p =$	26,00 m			

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 221 kN/m =	221 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Ja	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	=	0 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 992 kN/m =	992 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 2707 kN/m =	2.707 kN
	$\Sigma G =$	3920	3.920 kN
	$Q_1 =$	0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$	0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,00	19,00	0	0	1	2,54	19,00	0
2	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,00	1,00	0	100	1	2,54	1,00	254
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand $q_c=13$	-17,00	-19,00	2,00	0	80	2	5,09	2,00	814
5	Sand $q_c=20$	-19,00	-27,00	8,00	32.900	100	2	5,09	4,00	2.036
6	Ton $q_c=3,5$	-27,00	-30,00	3,00	13.400	85	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-23,00	26,00	32.900	-				3.105

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfußwiderstand bei $z = -23,00$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 2.653 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 3.105 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 3.920 kN $E_{1,d} =$ 3.920 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 5.757 kN $R_{1,d} =$ 5.234 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 3.920 kN $<$ 5.234 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 75%.

8.8.4.7 Nachweis gegen Herausziehen

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 geführt und ergibt sich zu:

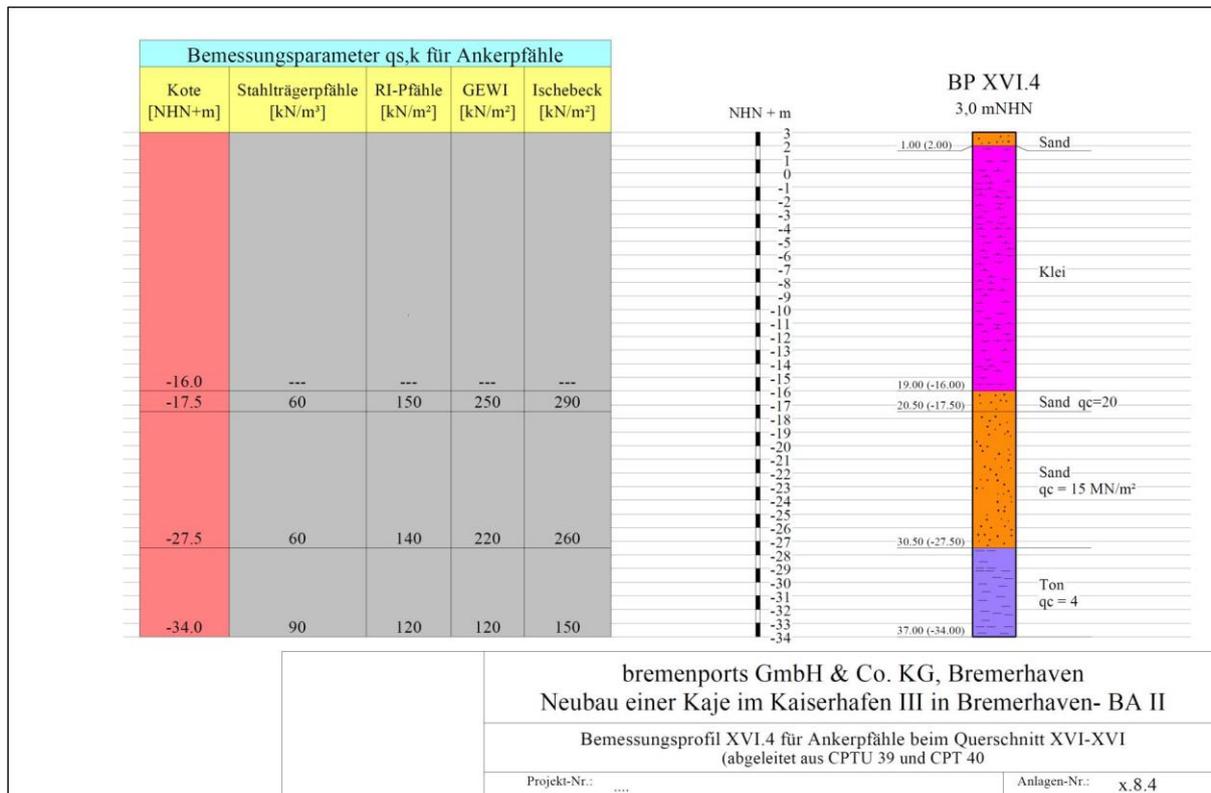


Abbildung 63 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Herauszieh Widerstand [U1]

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BP XVI - Herauszieh Widerstand
 Lastfallkombination: 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 42,00$ m
 Pfahlneigung: $\alpha = 45,00^\circ$
 UK Pfahl: UK= -27,95 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche: $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-16,00	8,00	0	11,31	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,50	1,50	60	2,12	319	
4	Sand $q_c=15$	-17,50	-27,50	10,00	60	14,14	2.130	
5	Ton $q_c=4$	-27,50	-34,00	6,50	90	0,63	143	
6	Annahme Ton $q_c=4$	-34,00	-50,00	16,00	90	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-27,95		36,61	42,00	2593	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 646$ kN/m $E_{1,d} = 2.119$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{Pc} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 2.593$ kN $R_{1,d} = 2.254$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 2.119$ kN < 2.254 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 94%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 2.119$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 122$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 35%.

8.9 Bemessungsprofil XVII

8.9.1 Übersicht

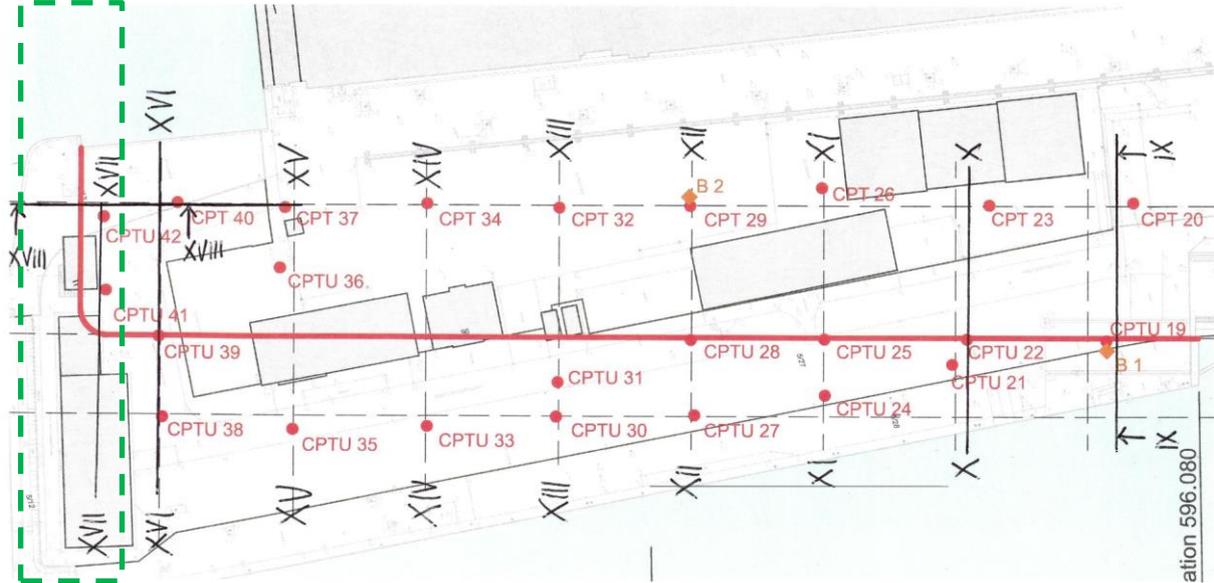


Abbildung 64 Bemessungsprofil XVII - Lage [U1]

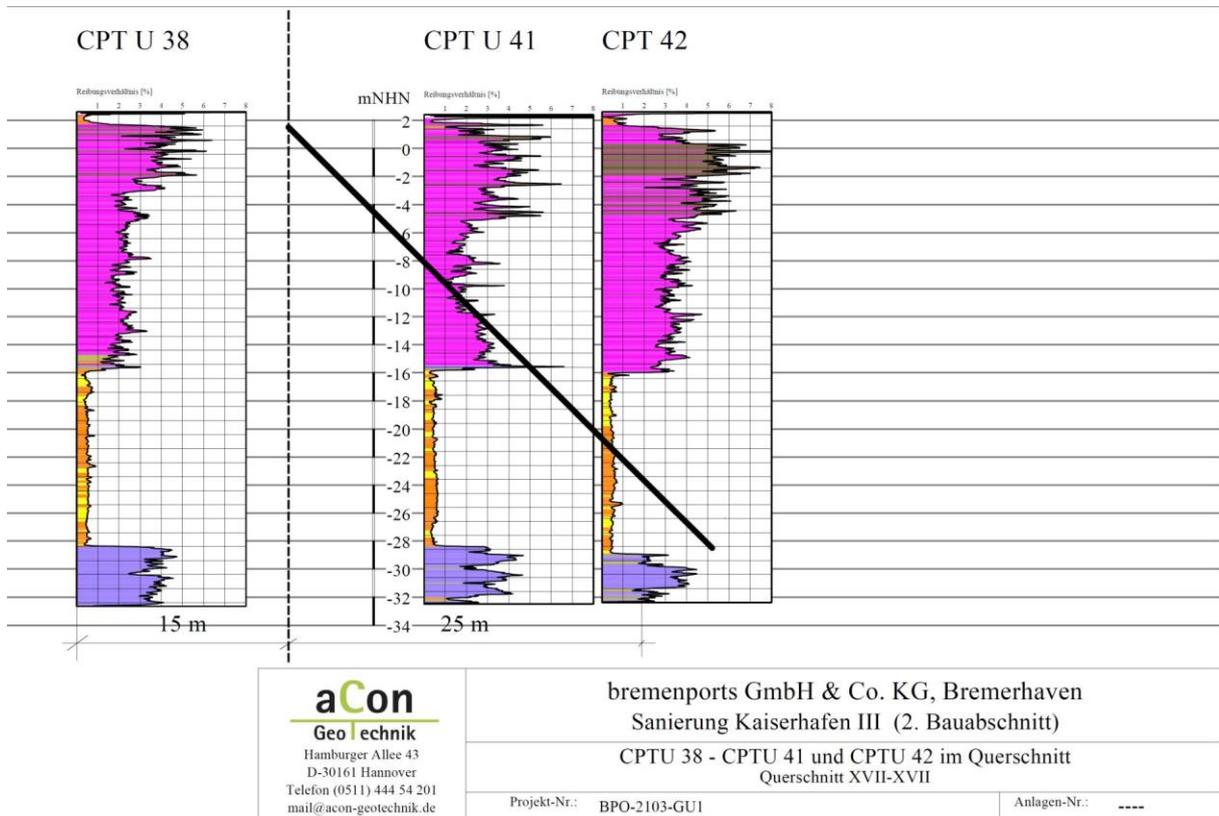


Abbildung 65 Bemessungsprofil XVII - Querschnitt [U2]

8.9.2 Bodenkennwerte Erddruck

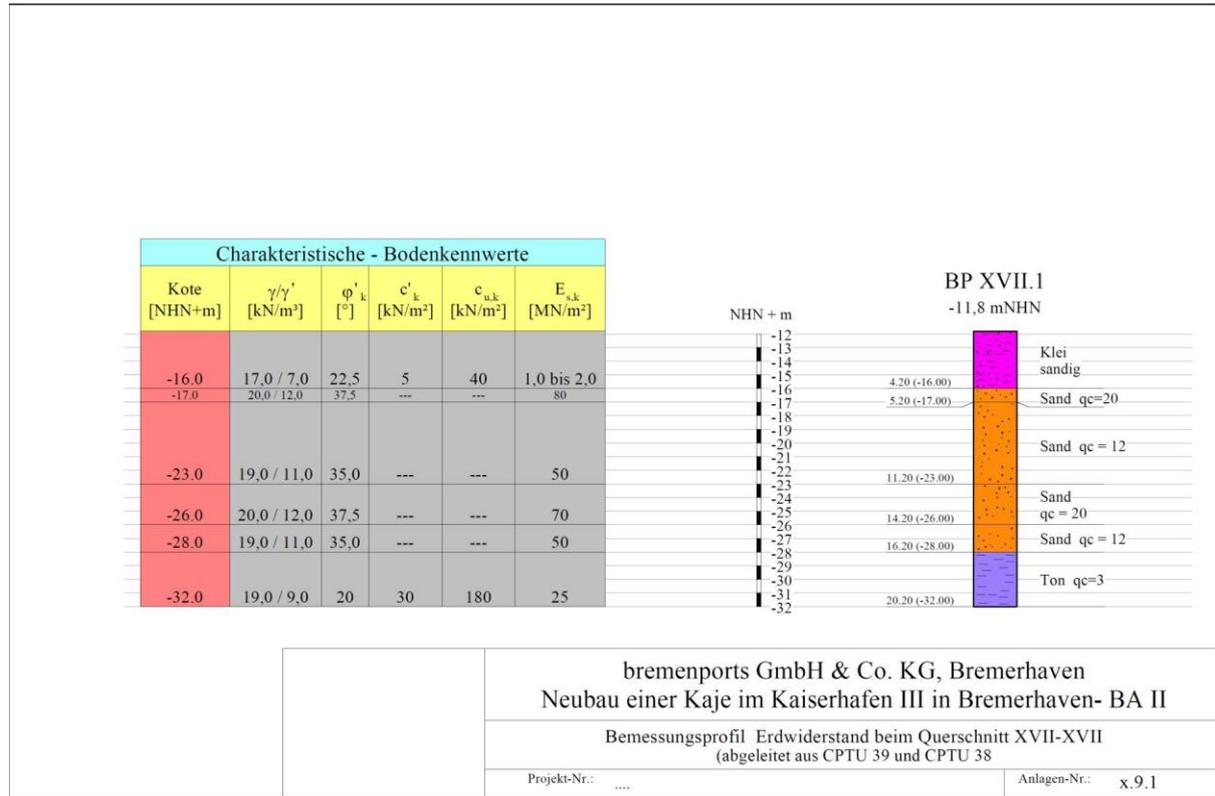


Abbildung 66 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

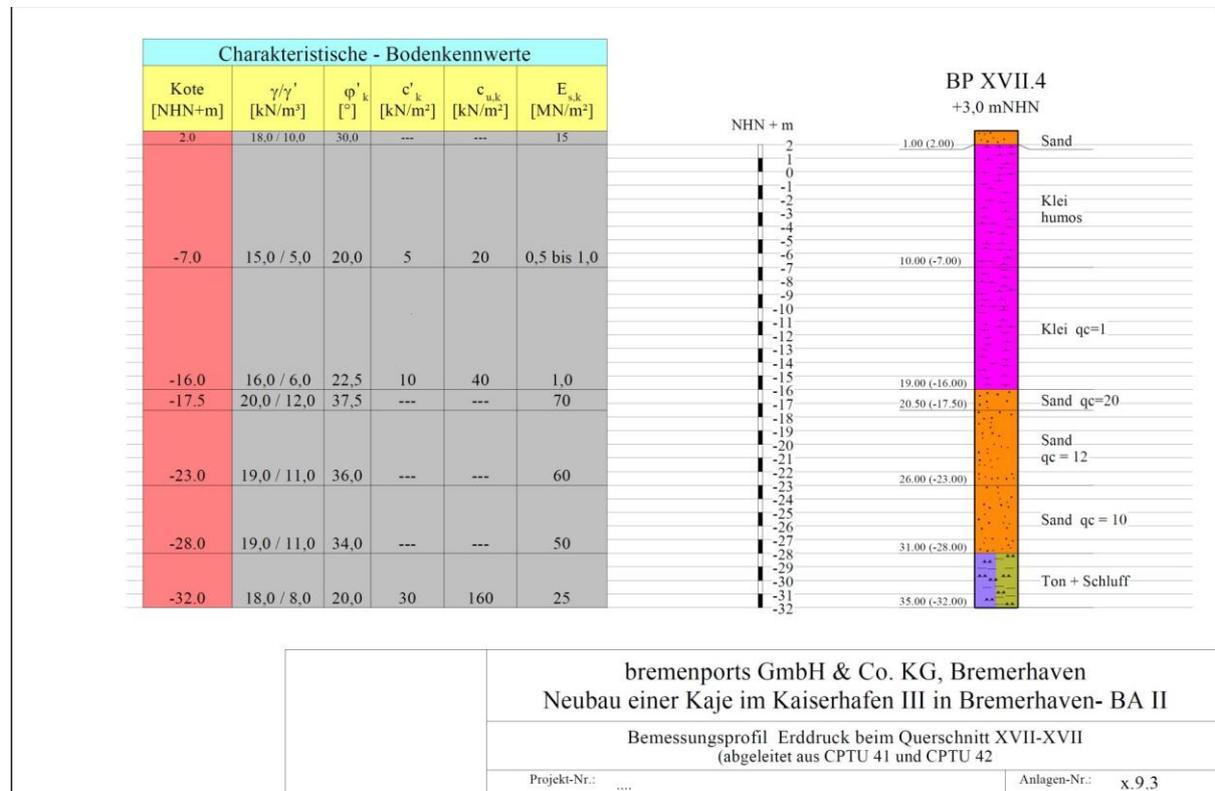


Abbildung 67 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

8.9.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

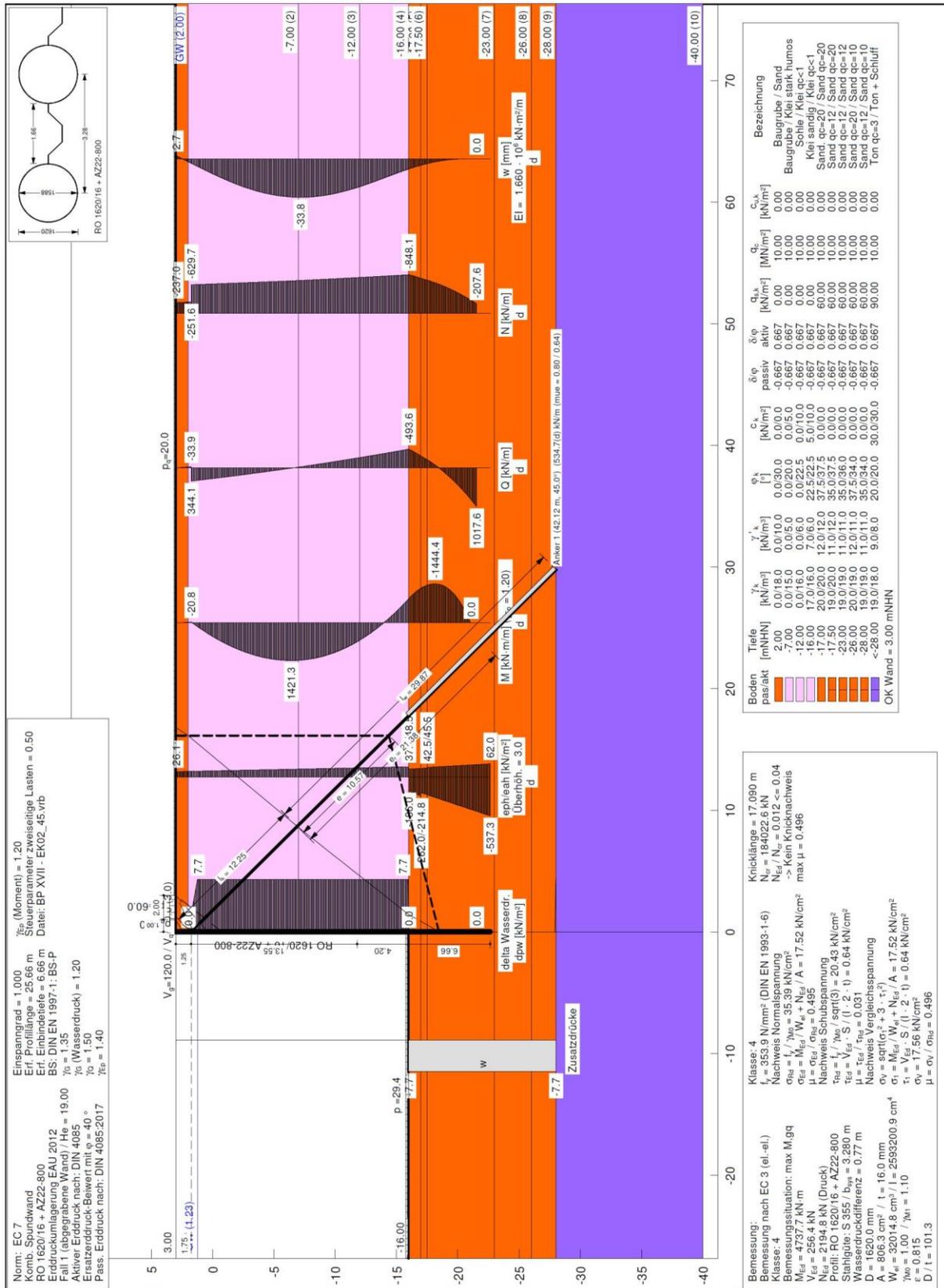
$$BS-P = (-11,80 + 16,00) \cdot 7 = 29,40 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 29,40 - 7,50 = 21,90 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
-

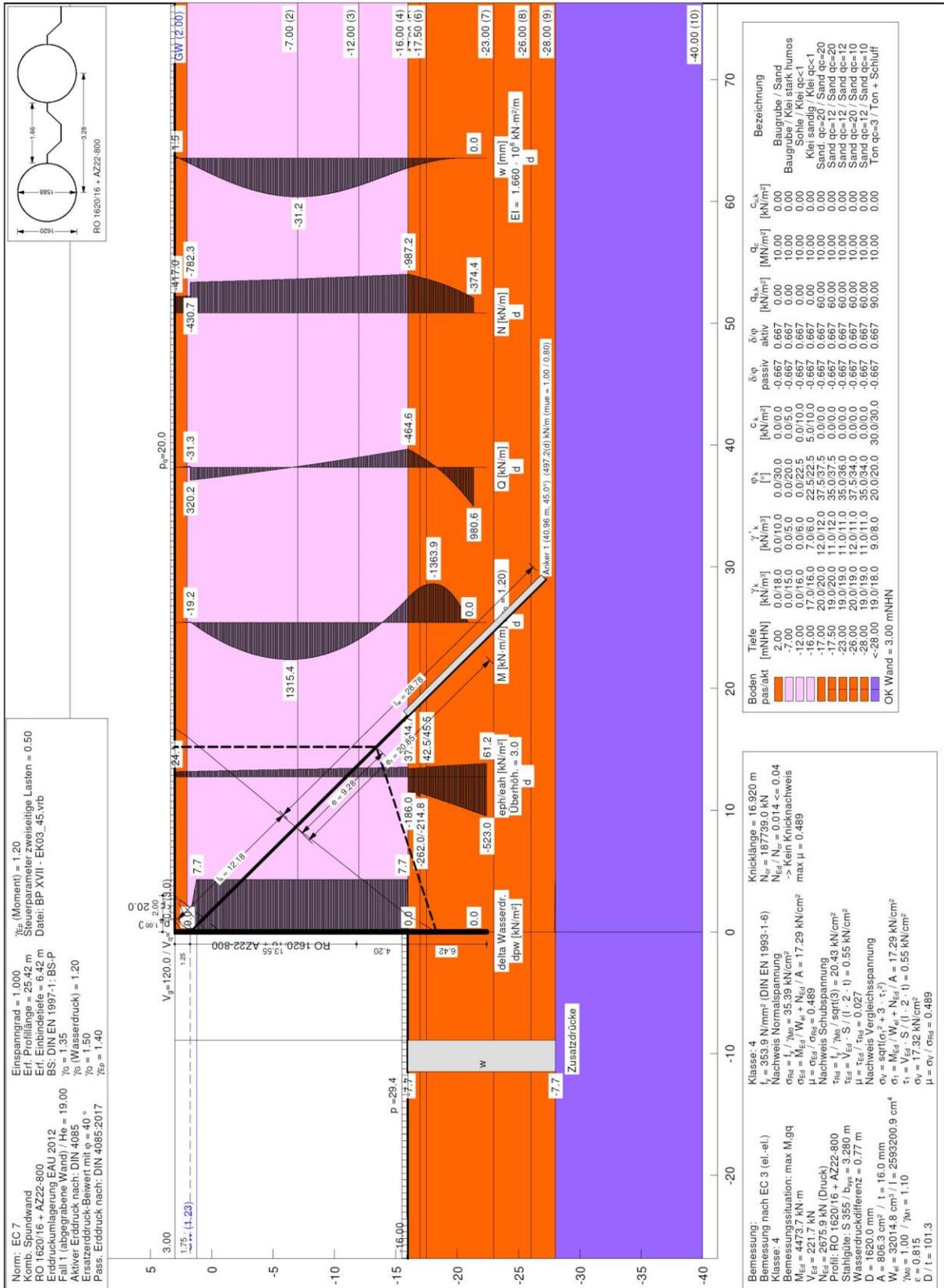
8.9.4 Spundwand- und Ankernachweise $\alpha=45^\circ$

8.9.4.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)



Biegebemessung am Bemessungsprofil XVII nicht maßgebend, vgl. Abschnitt 8.1.4.2.

8.9.4.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta[C]) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta[p])$
 $G_{,k} = 49.05 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 315.60 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 205.18 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 656.67 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 723.89 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -548.01 \text{ kN/m}$
 $\delta[p] [^\circ] = -23.3$
 $\delta[C] [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 254.90 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -20.80 bis -28.90 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-22.42	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$

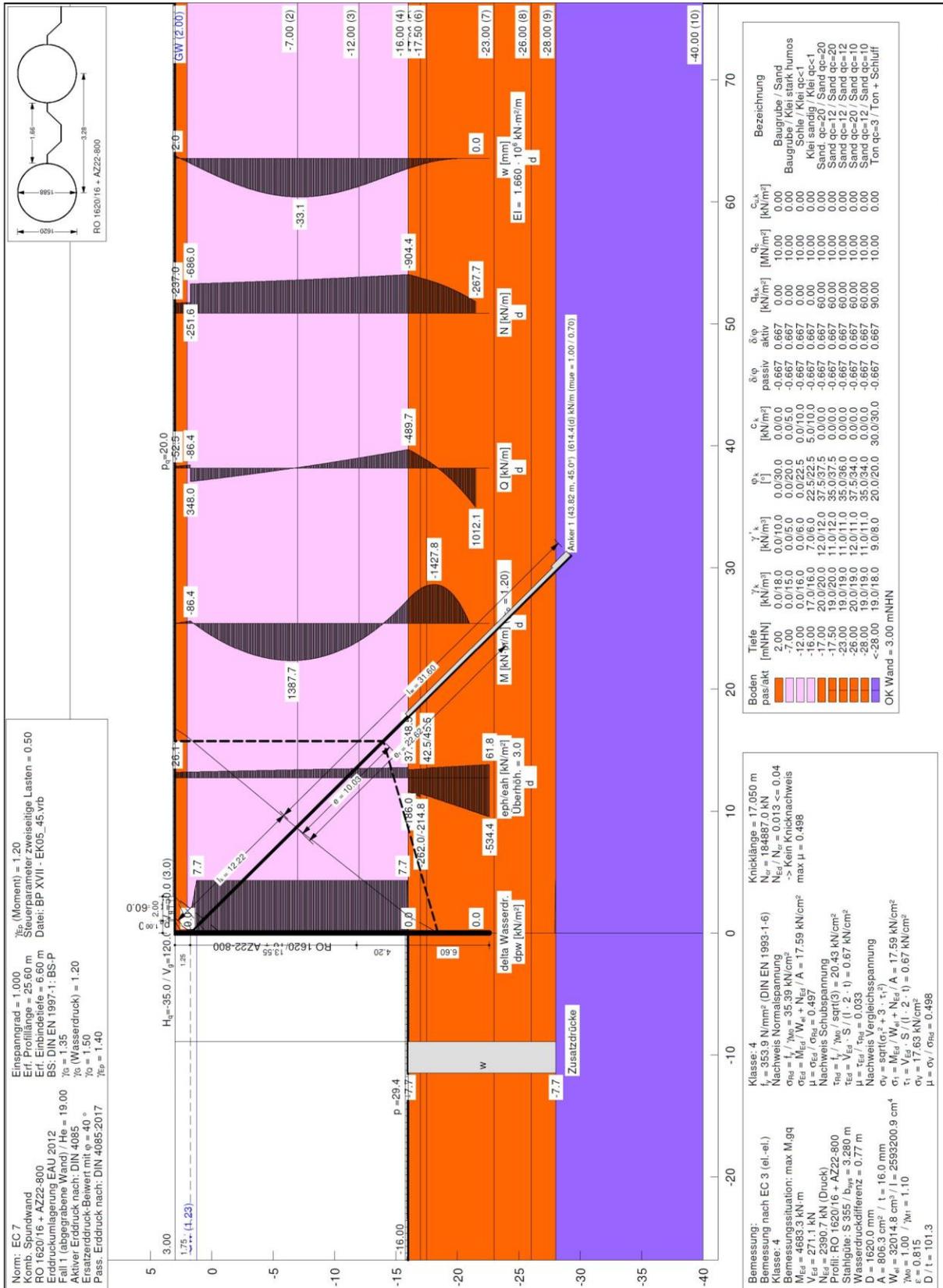
Mantelfläche bis -22.42 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 427.05 / 1.40 = 305.03 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 880.96 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 217.21 + 932.21 + 2550.28 = 3699.70 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3699.70 / 880.96 = 4.20$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.9.4.3 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{v,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{v,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{v,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{v,k} = 49.40 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 316.48 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 216.96 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 700.08 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{v,k} = 743.66 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -566.45 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
Summe $V(g+q)_{v,k} = 255.83 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -20.98 bis -29.08 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-22.60	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$

Mantelfläche bis -22.60 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{s1,d}$
 $R_{s1,d} = R_{s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 439.02 / 1.40 = 313.58 \text{ kN}$
 $R_{d} = R_{b,d} + R_{s1,d} = 889.51 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{d} = G_{d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 218.75 + 988.90 + 2231.79 = 3439.43 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{d} / R_{d} = 3439.43 / 889.51 = 3.87$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.9.4.4 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil **BP XVII** 45° Ohne Bodenankern

EK	Lastfall										Zusammenfassung GGU							
	01	02		03	04a	04b	05	06	07	08	09	Profilänge l [m]	Max. M_{ed} [kNm/m]	Min. M_{ed} [kNm/m]	max. l_1 [-]	Ankerkraft N_{ed} [kN/m]	Ankerlänge [m]	Nachweis ΣV [kN]
	Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutzlast $q=20 \text{ kN/m}^2$	Verkehrsband 40 ($q=40 \text{ kN/m}^2$ $b=3,50 \text{ m}$)	Verkehrsband 60 ($q=60 \text{ kN/m}^2$ $b=2,00 \text{ m}$)	Schwerstapler	Kranbahn	Pollerzug	Negative Mantelreibung	Porenwasserüberdruck							
BS-P																		
01	X	BS 3a	-	X	X							26,0	1422	-1445	0,50	535		
02	X	BS 3a	-	X	X							26,0	1316	-1364	0,48	498		3700
03	X	BS 3a	-	X		X												
04	X	BS 3a	-	X			X											
05	X	BS 3a	-	X		X		X				26,0	1388	-1428	0,50	615	44,0	3440
06	X	BS 3a	-	X					X									
BS-T																		
10	X	BS 3a	-	X			X											
11	X	BS 3a	-	X			X				X							
12	X	BS 3a	-	X				X										
13	X	BS 3a	-	X		X					X							
14	X	BS 3a	-	X							X							
BS-A																		
20	X	BS-3a	-	X		X					X							
30	X	BS-3c	X	X		X												

8.9.4.5 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt und ergibt sich zu:

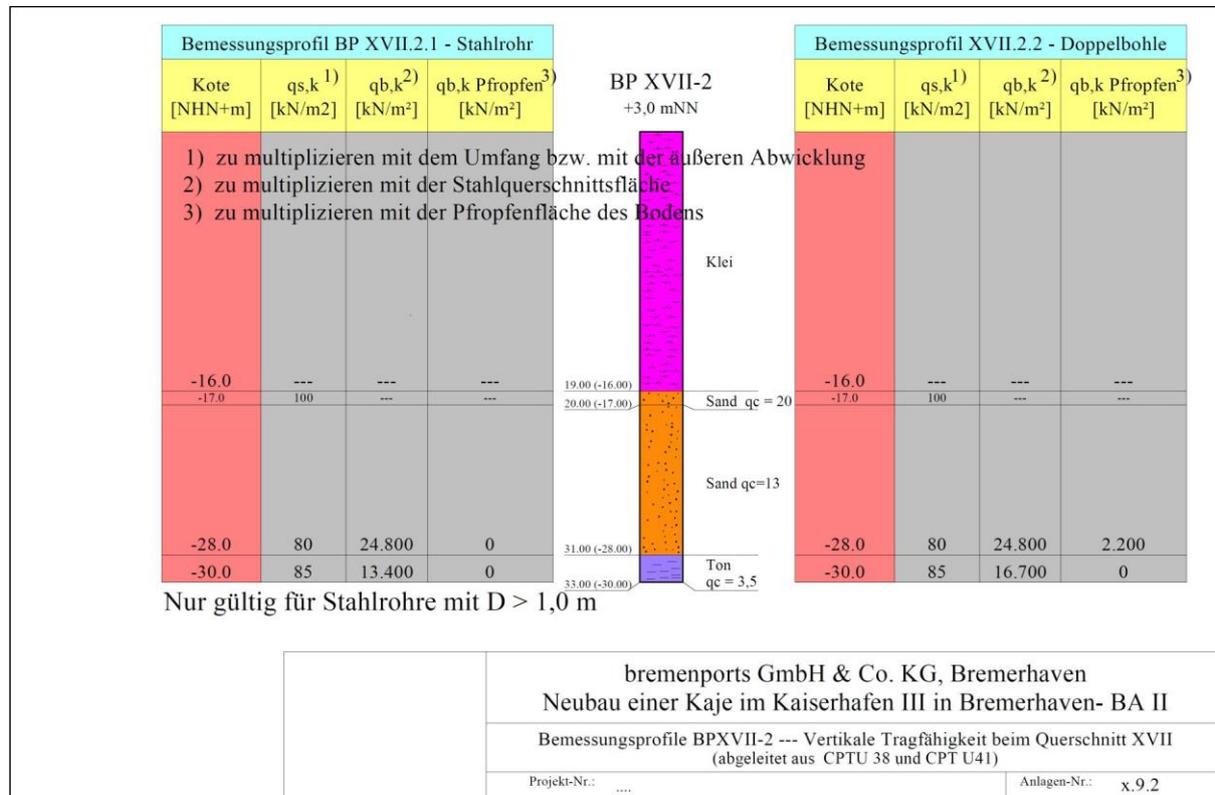


Abbildung 68 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BP XVII - Vertikale Tragfähigkeit 45 -

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahllänge gem. GGU		26,00 m			
Verlängerung infolge ΣV		m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	26,50 m			
Freie Eingabe		$l_p =$	m		
Gewählte Pfahllänge		$l_p =$	26,50 m		

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 218 kN/m =	218 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Nein	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	0,50 m * 8,54 kN/m =	4 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 933 kN/m =	933 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 2551 kN/m =	2.551 kN
	$\Sigma G =$	3702	3.706 kN
	$Q_1 =$	0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$	0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,50	19,50	0	0	1	2,54	19,50	0
2	Sand $q_c=20$	-16,50	-17,00	0,50	0	100	1	2,54	0,50	127
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand $q_c=15$	-17,00	-28,00	11,00	24.800	80	2	5,09	6,50	2.646
5	Ton $q_c=4$	-28,00	-30,00	2,00	13.400	85	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-23,50	26,50	24.800	-				2.774

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfußwiderstand bei $z = -23,50$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 2.000 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 2.774 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 3.706 kN $E_{1,d} =$ 3.706 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 4.773 kN $R_{1,d} =$ 4.339 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 3.706 kN $<$ 4.339 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 85%.

8.9.4.6 Nachweis gegen Herausziehen

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 geführt und ergibt sich zu:

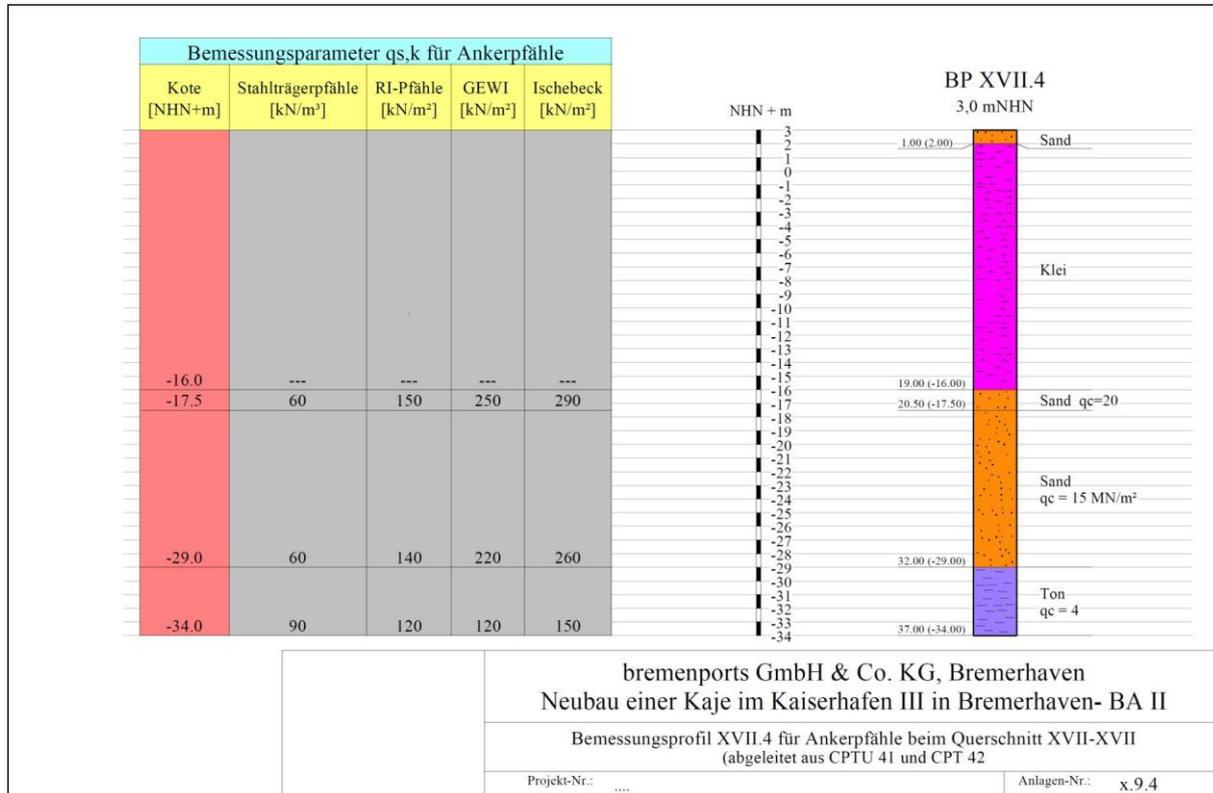


Abbildung 69 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Herausziehewiderstand [U1]

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BP XVII - 45 - Herauszieh Widerstand
 Lastfallkombination: 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 42,00$ m
 Pfahlneigung: $\alpha = 45,00^\circ$
 UK Pfahl: UK= -27,95 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche: $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-16,00	8,00	0	11,31	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,00	1,00	60	1,41	213	
4	Sand $q_c=15$	-17,00	-29,00	12,00	60	15,48	2.332	
5	Ton $q_c=4$	-29,00	-34,00	5,00	60	0,00	0	
6	Annahme Ton $q_c=4$	-34,00	-50,00	16,00	90	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-27,95		35,94	42,00	2545	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 615$ kN/m $E_{1,d} = 2.017$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{Pc} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 2.545$ kN $R_{1,d} = 2.213$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 2.017$ kN < 2.213 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 91%.

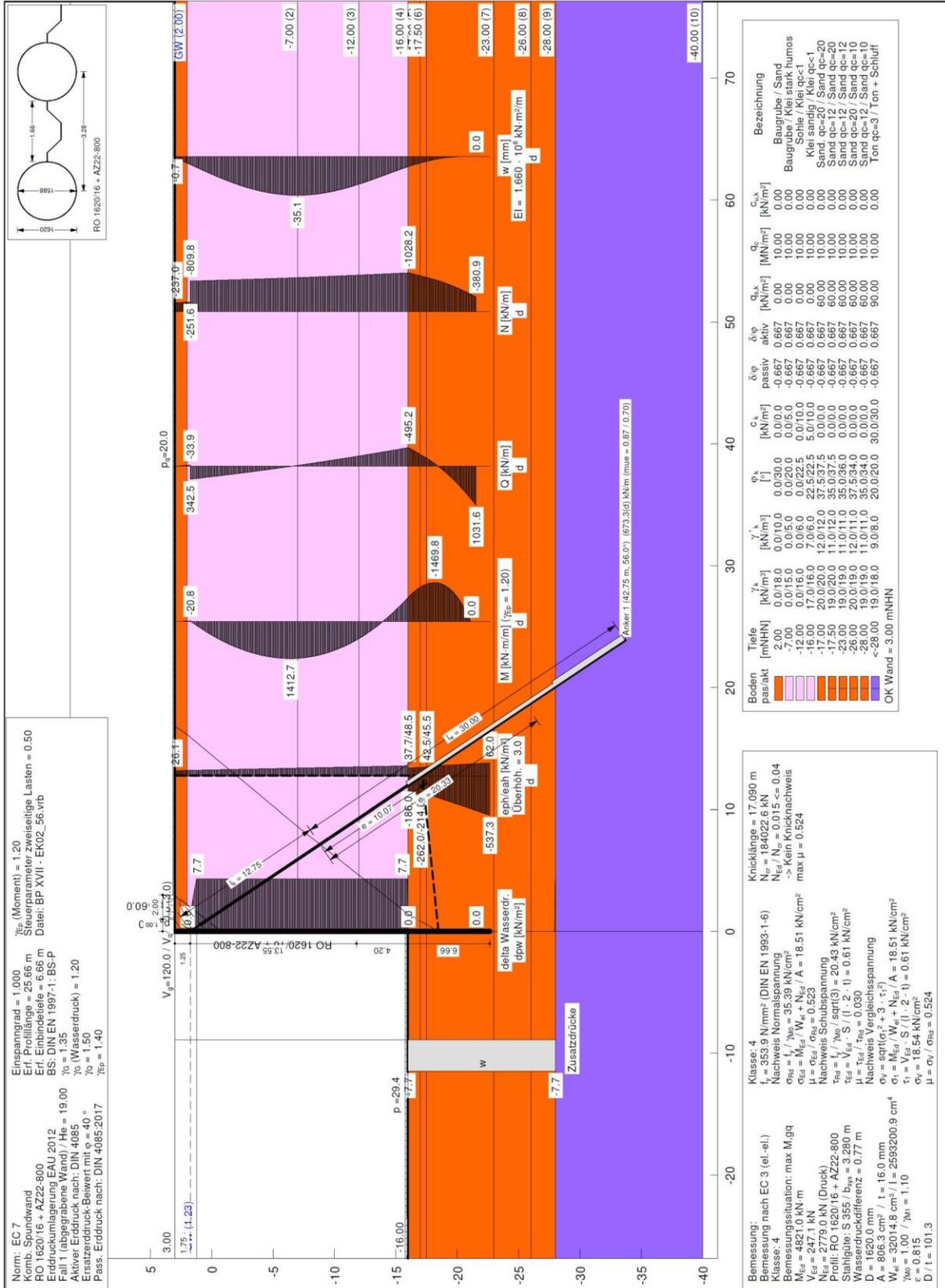
Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 2.017$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 117$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 33%.

8.9.5 Spundwand- und Ankernachweise $\alpha=56^\circ$

8.9.5.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)



Biegebemessung am Bemessungsprofil XVII nicht maßgebend, vgl. Abschnitt 8.1.4.2.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 49.52 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 410.52 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 217.91 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 702.22 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 757.12 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -574.78 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
Summe $V(g+q)_{,k} = 346.93 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.04 bis -29.14 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma_{(q_b,k)} = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

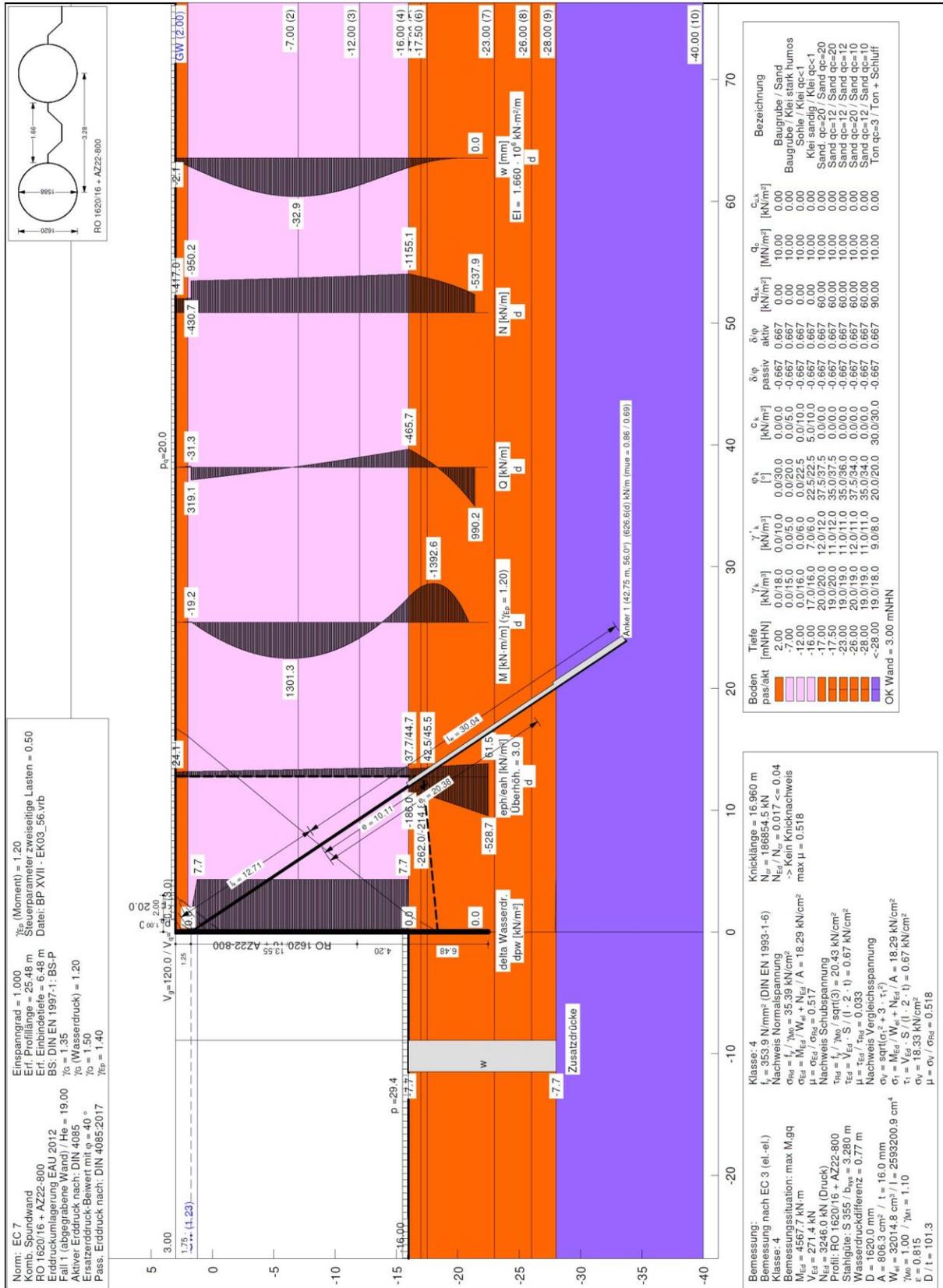
von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-22.66	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$

Mantelfläche bis -22.66 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma_{(q_s,k)} = 443.01 / 1.40 = 316.44 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 892.36 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 219.26 + 993.16 + 2651.86 = 3864.28 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3864.28 / 892.36 = 4.33$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

8.9.5.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_k + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_k \cdot \tan(\delta[C]) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_k) \cdot \tan(\delta[p])$
 $G_k = 49.17 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 409.20 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 206.13 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 658.79 \text{ kN/m}$)
 $Ch_k = 730.75 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -552.21 \text{ kN/m}$
 $\delta[p] [^\circ] = -23.3$
 $\delta[C] [^\circ] = 12.0$
Summe $V(g+q)_k = 347.56 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -20.86 bis -28.96 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-22.48	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$

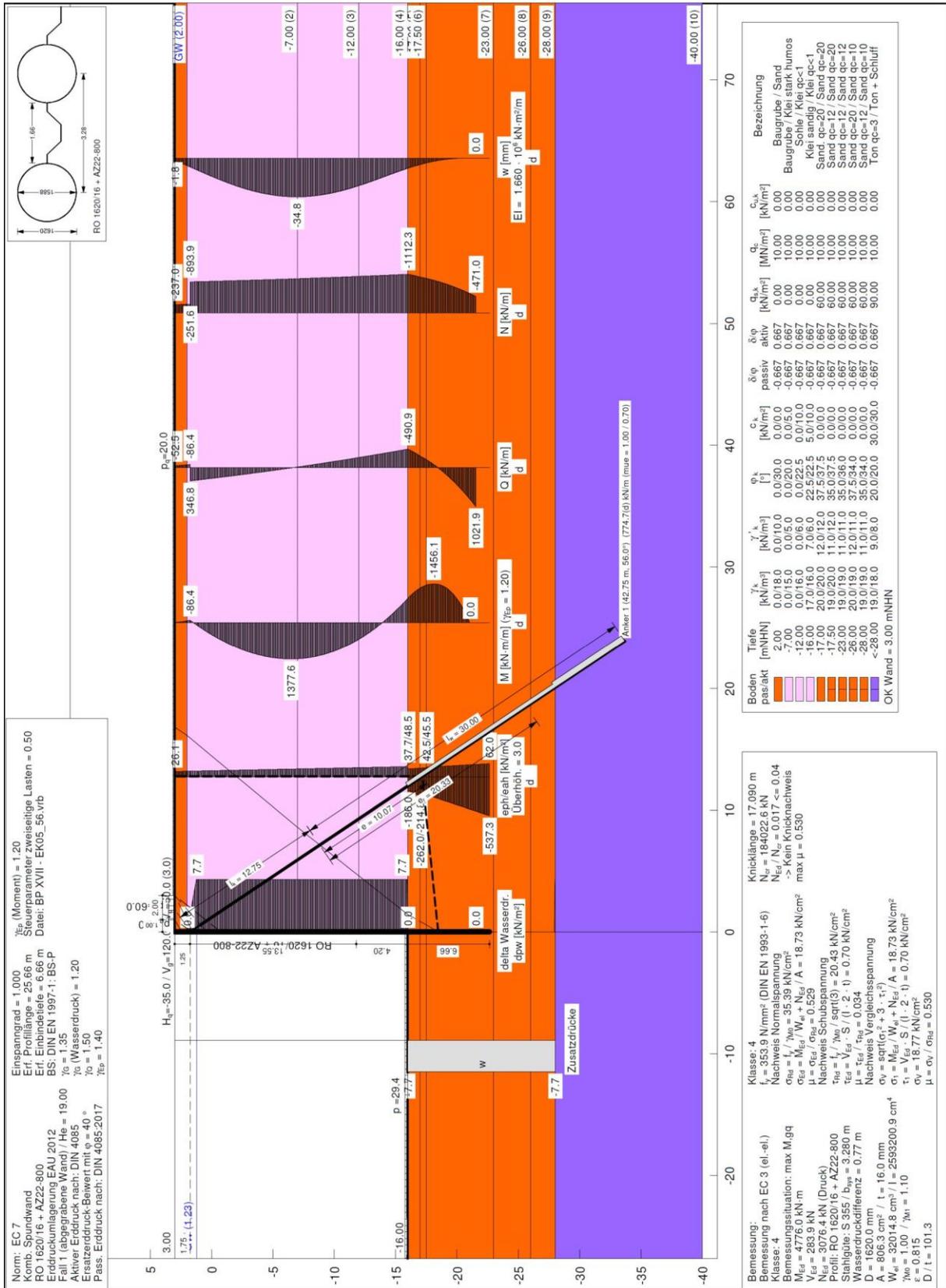
Mantelfläche bis -22.48 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{s1,d}$
 $R_{s1,d} = R_{s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 431.04 / 1.40 = 307.88 \text{ kN}$
 $R_{d} = R_{b,d} + R_{s1,d} = 883.81 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_d = G_d + E_{av,d} + P_{v,d} = 217.72 + 936.44 + 3115.14 = 4269.30 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_d / R_d = 4269.30 / 883.81 = 4.83$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.9.5.3 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 49.52 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 410.53 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 217.91 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 702.22 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 750.65 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -570.73 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
Summe $V(g+q)_{,k} = 348.91 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.04 bis -29.14 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand. $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-22.66	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$

Mantelfläche bis -22.66 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 443.01 / 1.40 = 316.44 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 892.36 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 219.26 + 993.16 + 2927.74 = 4140.16 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4140.16 / 892.36 = 4.64$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.9.5.4 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil **BP XVII** $d = 56^\circ$

EK	Lastfall										Bemessungssituation	Zusammenfassung							
	01	02		03	4a	4b	05	06	07			Profilänge l [m]	Max. M_{ed} / Min. M_{ed} [kNm/m]	max μ [-]	Ankerkraft N_{ed} [kN/m]	Nachweis N_V [kN]			
01	X	BS 3a	-	X	X														
02	X	BS 3a	-	X	X										26,0	-1470	0,53	674	3865
03	X	BS 3a	-	X	X										26,0	-1393	0,52	627	4270
04	X	BS 3a	-	X	X														
05	X	BS 3a	-	X	X										26,0	-1456	0,53	775	4141
10	X	BS 3a	-	X	X														

8.9.5.5 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt und ergibt sich zu:

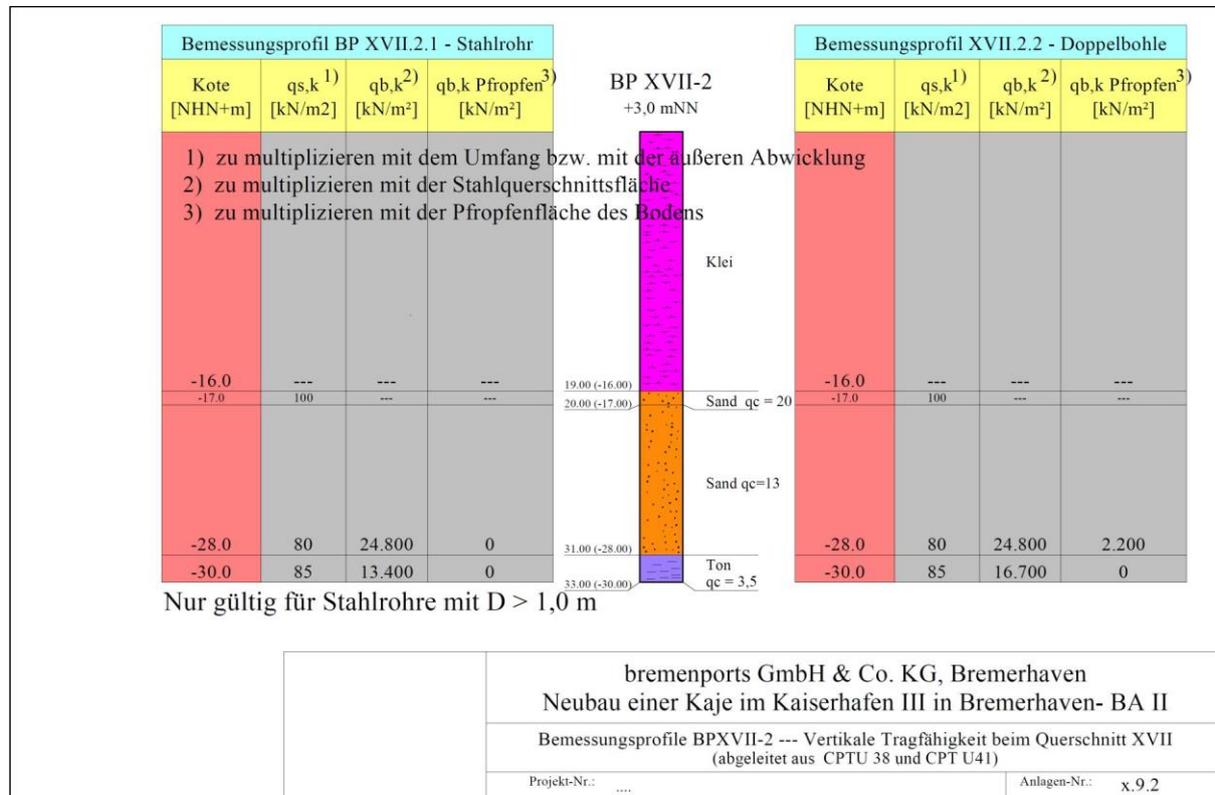


Abbildung 70 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BP XVII - Vertikale Tragfähigkeit 56 -

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahllänge gem. GGU		26,00 m			
Verlängerung infolge ΣV		m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	26,50 m			
Freie Eingabe		$l_p =$	m		
Gewählte Pfahllänge		$l_p =$	26,50 m		

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 218 kN/m =	218 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Nein	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	0,50 m * 8,54 kN/m =	4 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 937 kN/m =	937 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 3115 kN/m =	3.115 kN
	$\Sigma G =$	4270	4.274 kN
	$Q_1 =$	0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$	0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,50	19,50	0	0	1	2,54	19,50	0
2	Sand $q_c=20$	-16,50	-17,00	0,50	0	100	1	2,54	0,50	127
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand $q_c=15$	-17,00	-28,00	11,00	24.800	80	2	5,09	6,50	2.646
5	Ton $q_c=4$	-28,00	-30,00	2,00	13.400	85	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-23,50	26,50	24.800	-				2.774

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfußwiderstand bei $z = -23,50$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 2.000 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 2.774 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 4.274 kN $E_{1,d} =$ 4.274 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 4.773 kN $R_{1,d} =$ 4.339 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 4.274 kN $<$ 4.339 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 98%.

8.9.5.6 Nachweis gegen Herausziehen

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 geführt und ergibt sich zu:

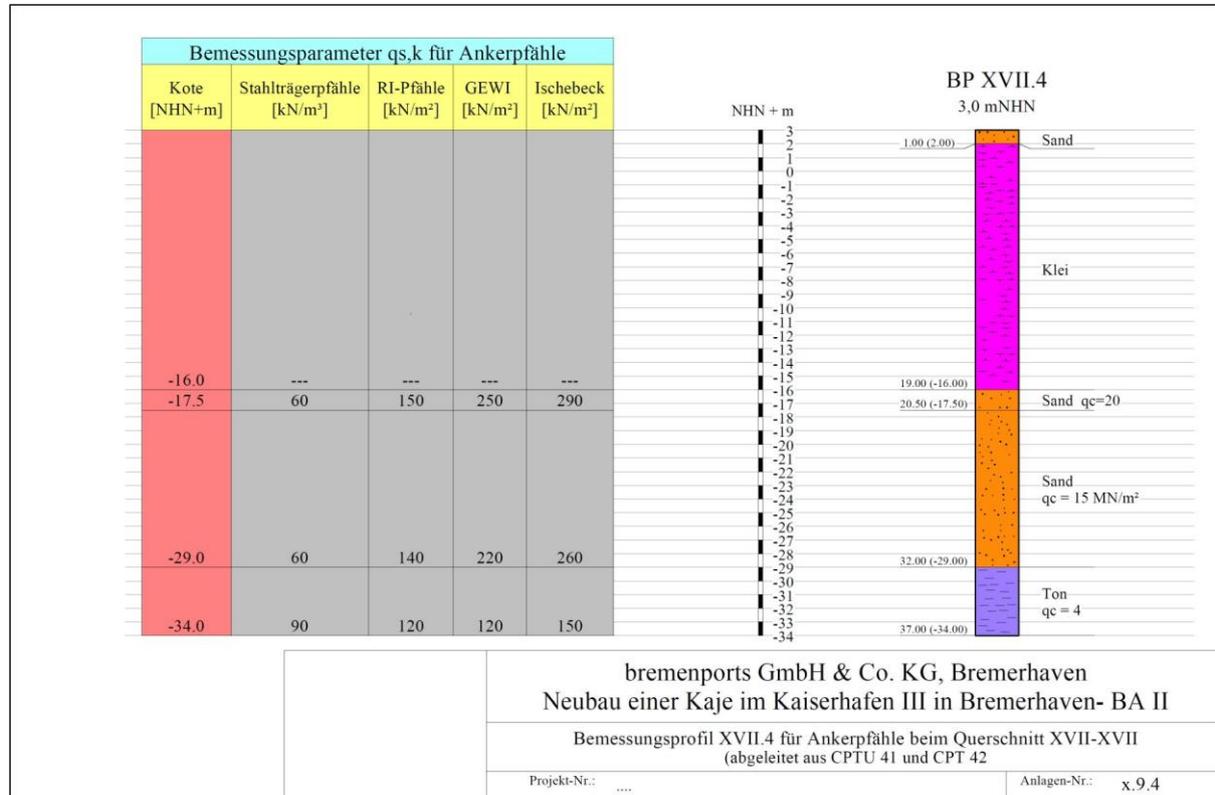


Abbildung 71 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Herausziehewiderstand [U1]

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BP XVII - 56 - Herauszieh Widerstand
 Lastfallkombination: 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 42,00$ m
 Pfahlneigung: $\alpha = 56,00^\circ$
 UK Pfahl: UK= -33,07 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche: $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	11,76	0	
2	Klei	-8,00	-16,00	8,00	0	9,65	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,00	1,00	60	1,21	182	
4	Sand $q_c=15$	-17,00	-29,00	12,00	60	14,47	2.180	
5	Ton $q_c=4$	-29,00	-34,00	5,00	60	4,91	739	
6	Annahme Ton $q_c=4$	-34,00	-50,00	16,00	90	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-33,07		40,85	42,00	3101	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 775$ kN/m $E_{1,d} = 2.542$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{Pc} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 3.101$ kN $R_{1,d} = 2.696$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 2.542$ kN < 2.696 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 94%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 2.542$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 147$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 41%.

8.10 Bemessungsprofil XVIII

8.10.1 Übersicht

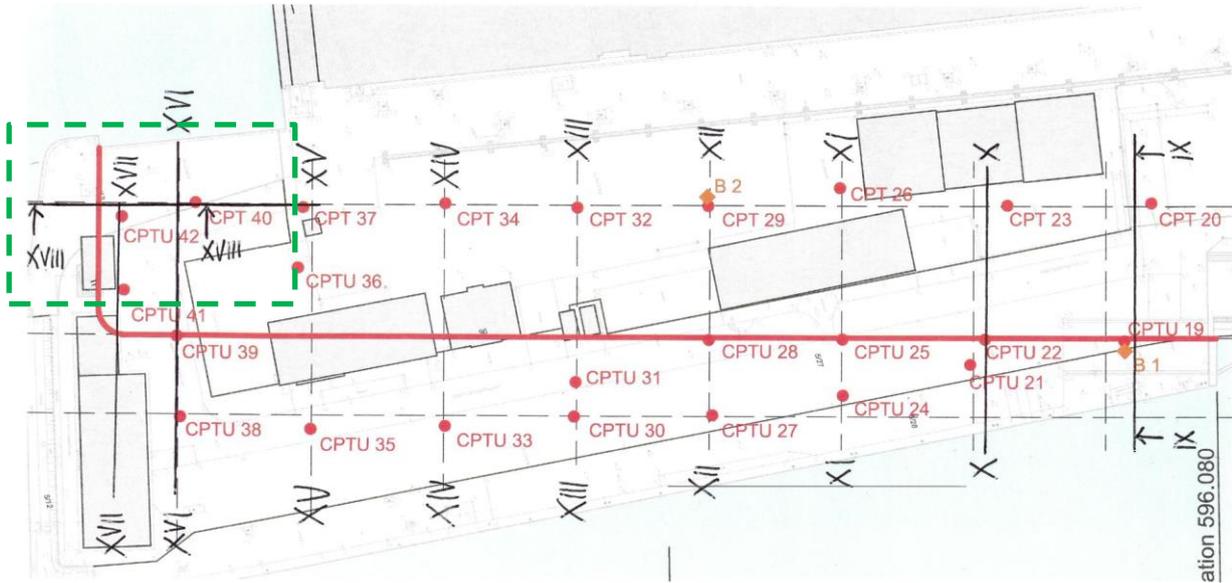


Abbildung 72 Bemessungsprofil XVIII - Lage [U1]

8.10.2 Bodenkennwerte Erddruck

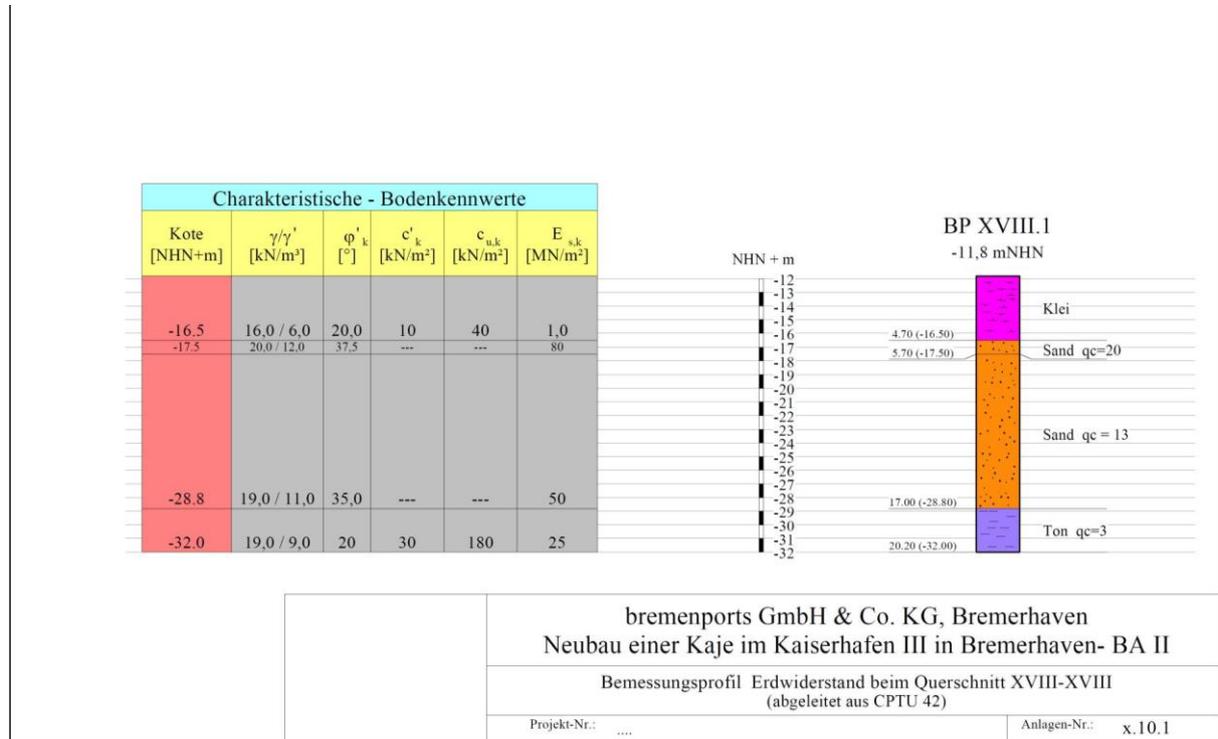


Abbildung 73 Bemessungsprofil XVIII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

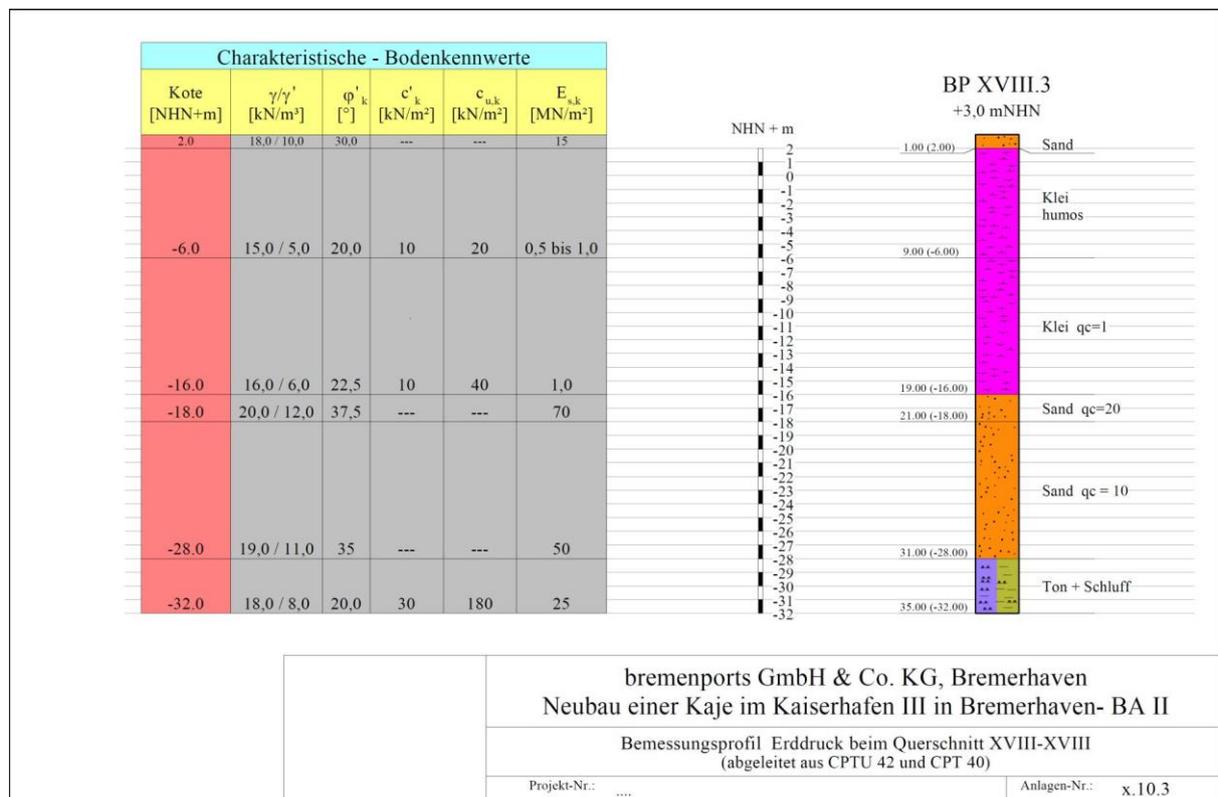


Abbildung 74 Bemessungsprofil XVIII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

8.10.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

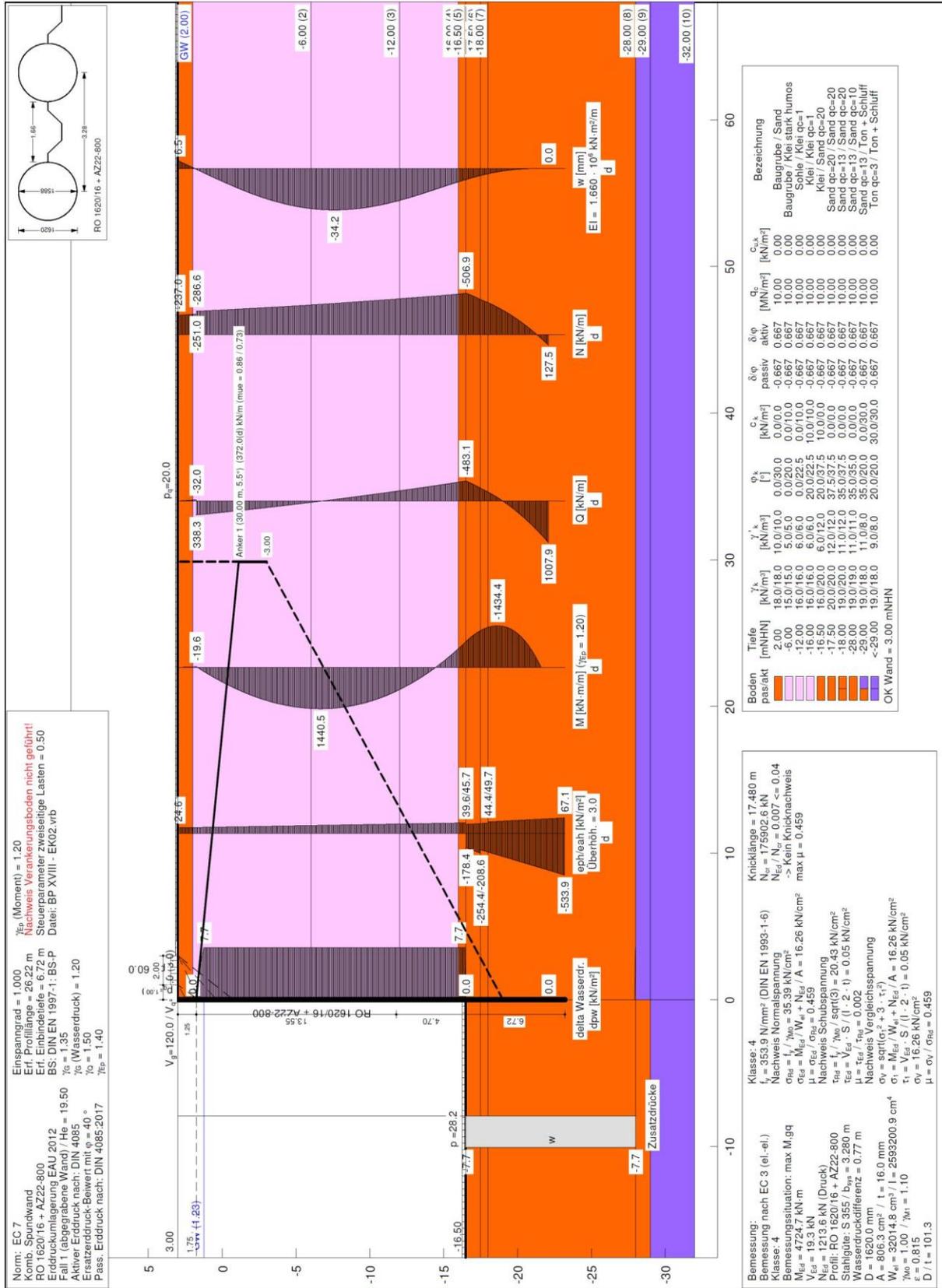
$$BS-P = (-11,80 + 16,50) \cdot 6 = 28,20 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 28,20 - 7,50 = 20,70 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
- Die Schnittgrößenermittlung erfolgt unter Berücksichtigung der Dehnsteifigkeit der Rundstahlanker (M 90)
 $EA = 21.000 \cdot 38,48 / 3,28 = 2,46E05 \text{ kN/m}$

8.10.4 Spundwand- und Ankernachweise

8.10.4.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)



Biegebemessung am Bemessungsprofil XVIII nicht maßgebend, vgl. Abschnitt 8.1.4.2.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.60 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 138.36 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 223.47 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 702.99 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 740.07 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -571.16 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 77.31$ (Druck) kN/m

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.60 bis -29.70 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

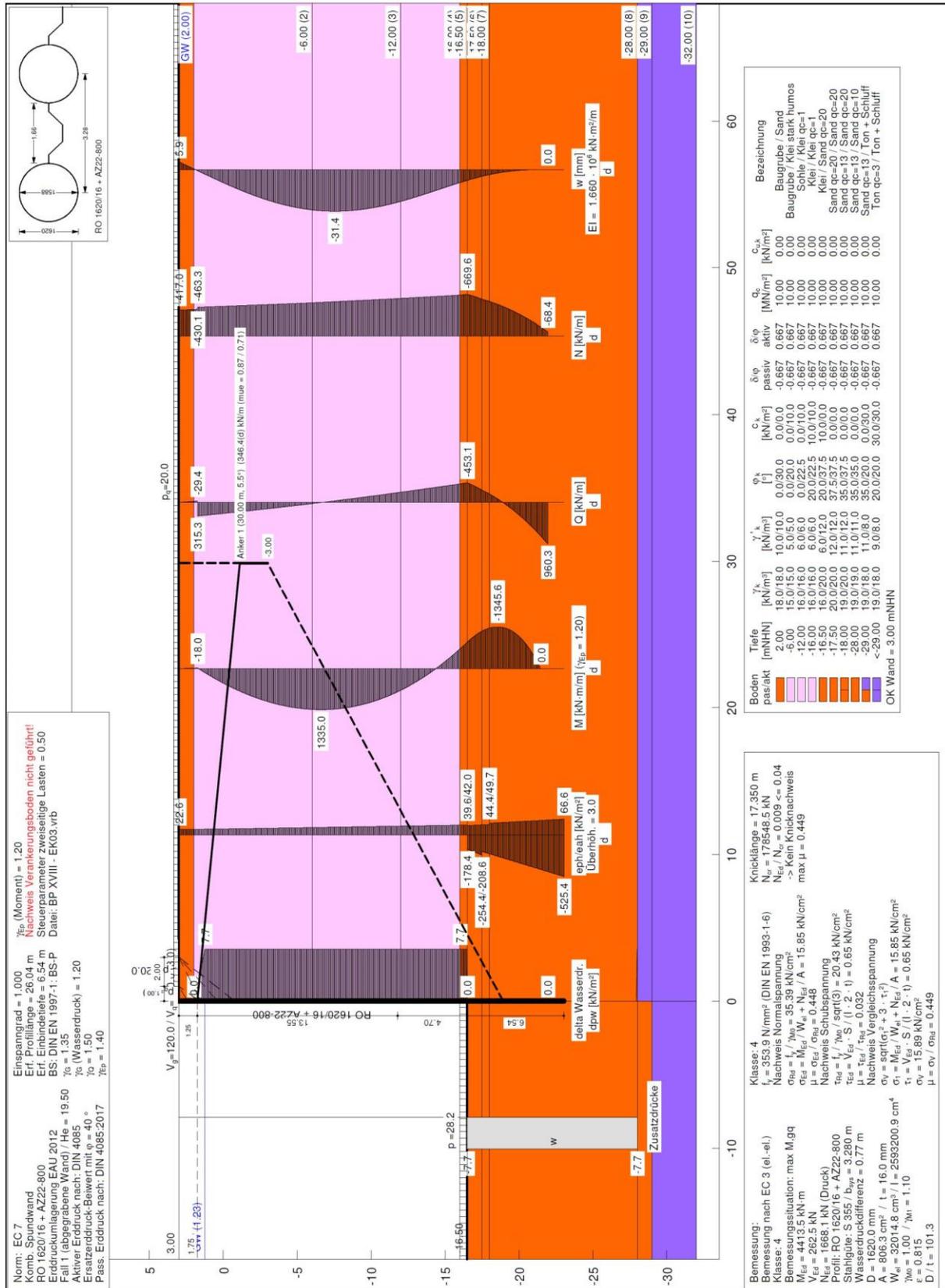
von	bis	$q_{s,k}$ [kN/m^2]	Bezeichnung
-16.50	-17.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-18.00	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=20$
-18.00	-23.22	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -23.22 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{s1,d}$
 $R_{s1,d} = R_{s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 447.00 / 1.40 = 319.29 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{s1,d} = 895.21 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 224.04 + 1018.35 + 897.23 = 2139.63 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 2139.63 / 895.21 = 2.39$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

8.10.4.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.25 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 138.28 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 211.54 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 659.01 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 709.54 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -546.36 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 80.00$ (Druck) kN/m

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.42 bis -29.52 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k}$ [kN/m^2]	Bezeichnung
-16.50	-17.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-18.00	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=20$
-18.00	-23.04	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -23.04 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 435.03 / 1.40 = 310.73 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 886.66 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 222.51 + 960.97 + 1479.57 = 2663.04 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 2663.04 / 886.66 = 3.00$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

8.10.4.3 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil **BP XVIII**

EK	Lastfall										Bemessungssituation	Zusammenfassung					
	01	02		03	4a	4b	05	06	07			Profilänge l [m]	Max. M _{ed} / Min. M _{ed} [kNm/m]	max μ [-]	Ankerkraft N _{ed} [kN/m]	Nachweis ΣV V _d [kN]	
01	X	Eigenlasten		X	X							BS-P					
02	X	Wasserdruck	-	X	X							BS-P	26,50	1441	0,50	372	2140
03	X	Grundwasserströmung	-	X		X						BS-P	26,50	-1346	0,45	347	2663
04	X	Nutzlast		X					X			BS-P					
05	X	Verkehrsband 40 (q=40 kN/m ² b=3,50 m)		X					X			BS-P					
10	X	Verkehrsband 60 (q=60 kN/m ² b=2,00 m)			X				X			BS-P					
		Schwerlaststapler				X						BS-P					
		Kranbahn							X			BS-P					
		Polleuzug							X			BS-I					

Kein Festmachen in diesem Bereich zulässig \Rightarrow kein Poller!

8.10.4.4 Nachweis gegen Aufbruch des Verankerungsbodens

Der Nachweis gegen den Aufbruch des Verankerungsbodens wird via GGU Retain für die Einwirkungskombinationen EK 02 geführt. Der Nachweis wird sowohl ohne als auch mit einem Bodenaustausch geführt.

Die Bettungsmoduln werden nach dem Ansatz von De Beer und unter Verwendung der Steifeziffern des Bemessungsprofils BPXVIII.3 ermittelt und ergeben sich wie folgt:

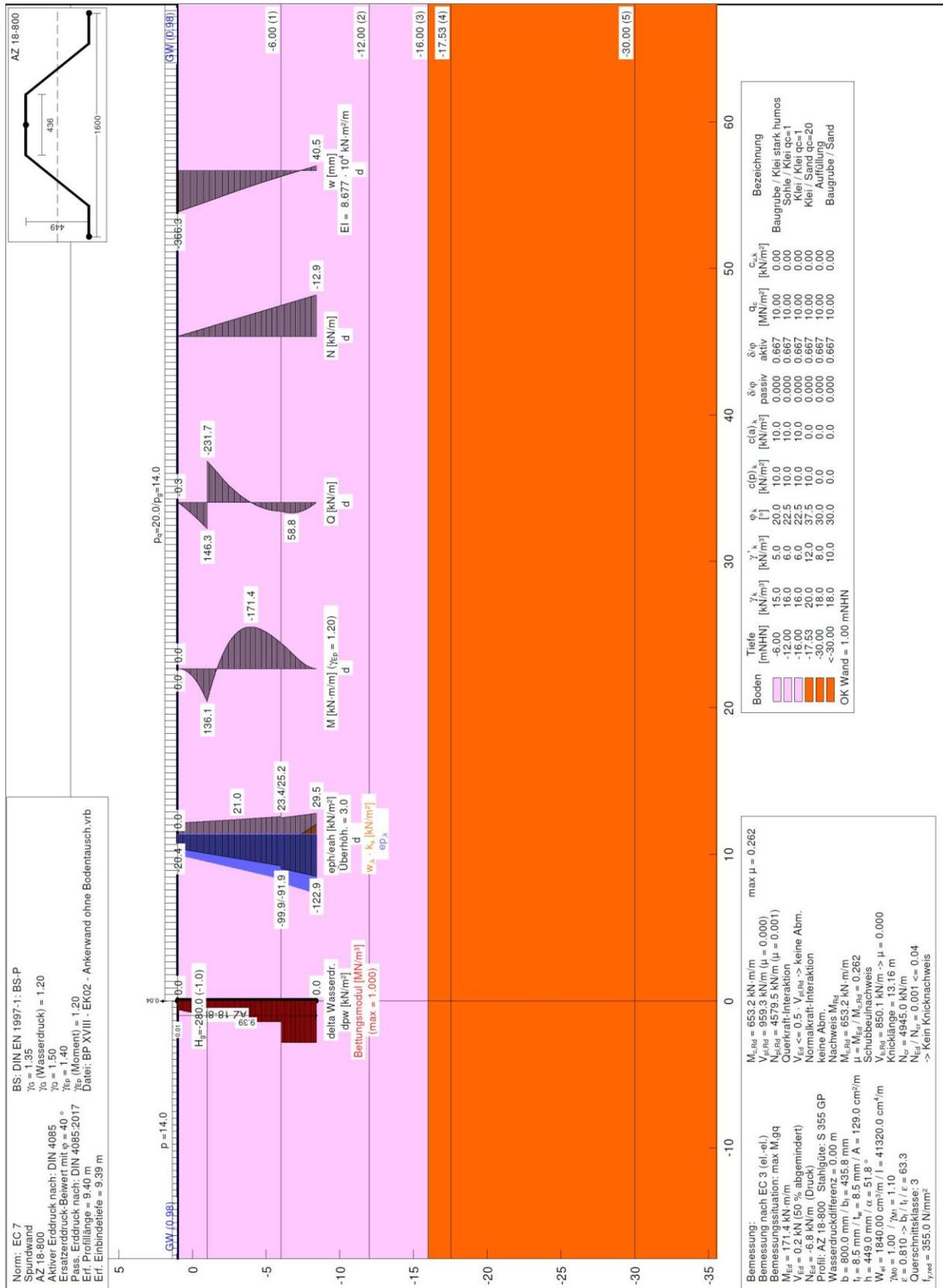
De Beer -> $k_s = 1,33 \cdot E_s / \sqrt[3]{(l \cdot b^2)}$

Ohne Bodenaustausch

Auffüllung -> $k_s = 1,33 \cdot 15,00 / ((3,0 - 2,0) \cdot 1,0^2)^{1/3} = 19,95 \text{ MN/m}^2$

Klei, humos -> $k_s = 1,33 \cdot 0,75 / ((2,0 + 6,0) \cdot 1,0^2)^{1/3} = 0,50 \text{ MN/m}^2$

Klei qc=1 -> $k_s = 1,33 \cdot 1,00 / ((-6,0 + 10,0) \cdot 1,0^2)^{1/3} = 0,84 \text{ MN/m}^2$



Die Verformungen sind zu groß! Eine Ankerwand / ein Totmannanker ist nur mit einer Bodenverbesserung möglich.

9 Spundwandberechnungen (Bodentausch)

9.1 Bemessungsprofil XV

9.1.1 Übersicht

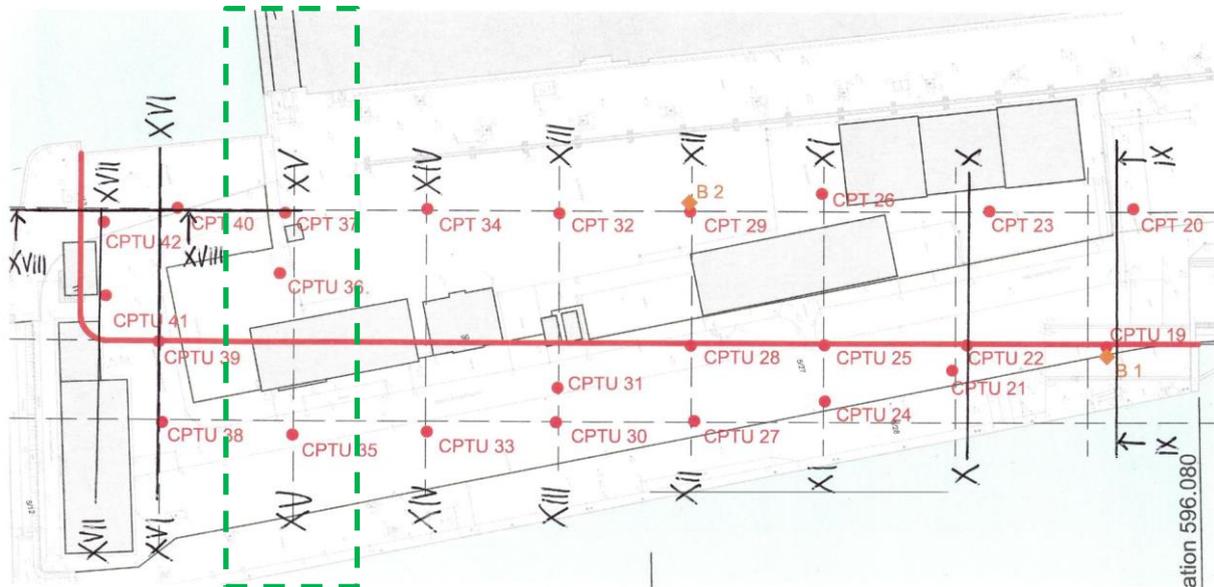


Abbildung 75 Bemessungsprofil XV - Lage [U1]

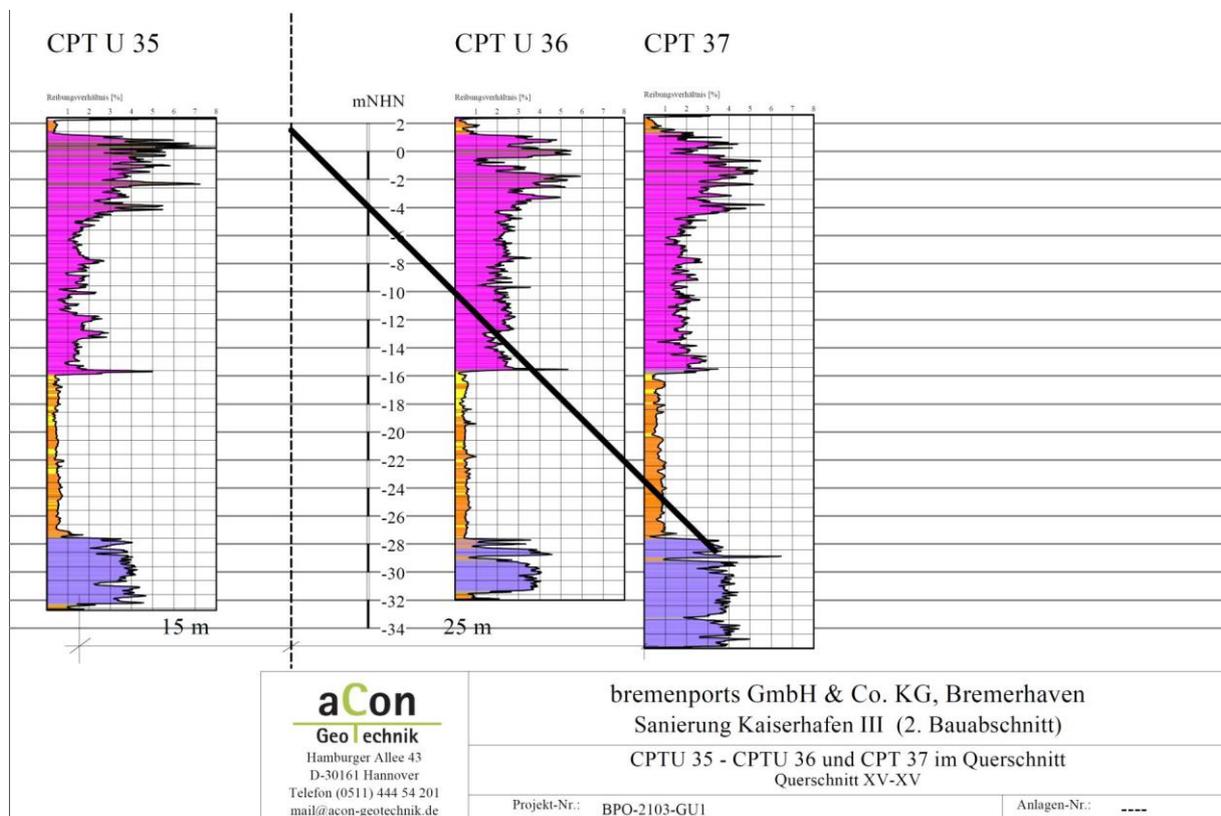


Abbildung 76 Bemessungsprofil XV - Querschnitt [U2]

9.1.2 Bodenkennwerte Erddruck

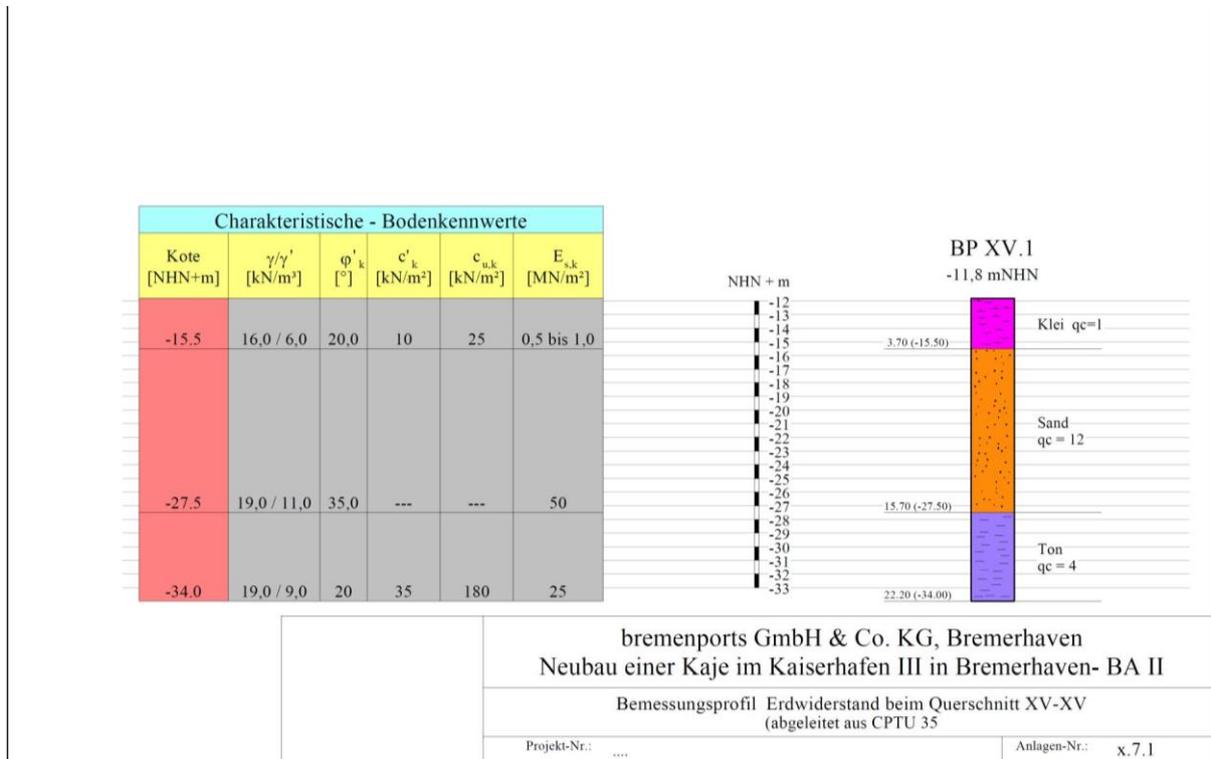


Abbildung 77 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

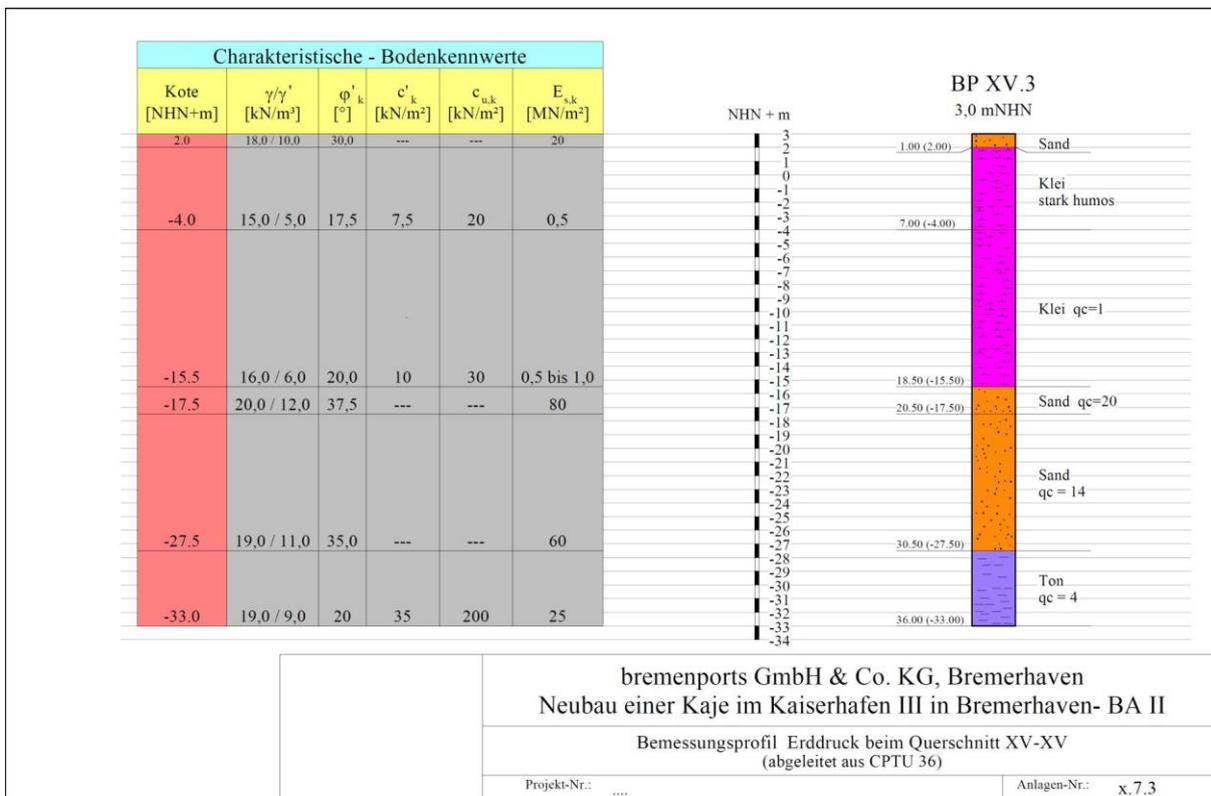


Abbildung 78 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

9.1.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

$$BS-P = (-11,80 + 15,50) * 6 = 22,20 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 22,20 - 7,50 = 14,70 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
- Zwischen GOK und -3,00 mNN wird der vorhandene Boden gegen Sand ($\gamma / \gamma' = 19/11 \text{ kN/m}^3$; $\varphi' = 32,5^\circ$) ausgetauscht um eine Verankerung mittels Ankertafel zu ermöglichen.
- Durch den Bodentausch entsteht im Klei zeitweise ein Porenwasserüberdruck. Dieser ergibt sich wie folgt:

$$P_{WÜ} = (2,00 \text{ mNN} - -3,00 \text{ mNN}) * (11 \text{ kN/m}^3 - 5 \text{ kN/m}^3) = 30 \text{ kN/m}^2$$

- Durch den Bodentausch entsteht eine negative Mantelreibung, diese wird bis UK Klei auf -16,00 mNN angesetzt. Die Negative Mantelreibung wird durch die folgenden Erfahrungswerte begrenzt:

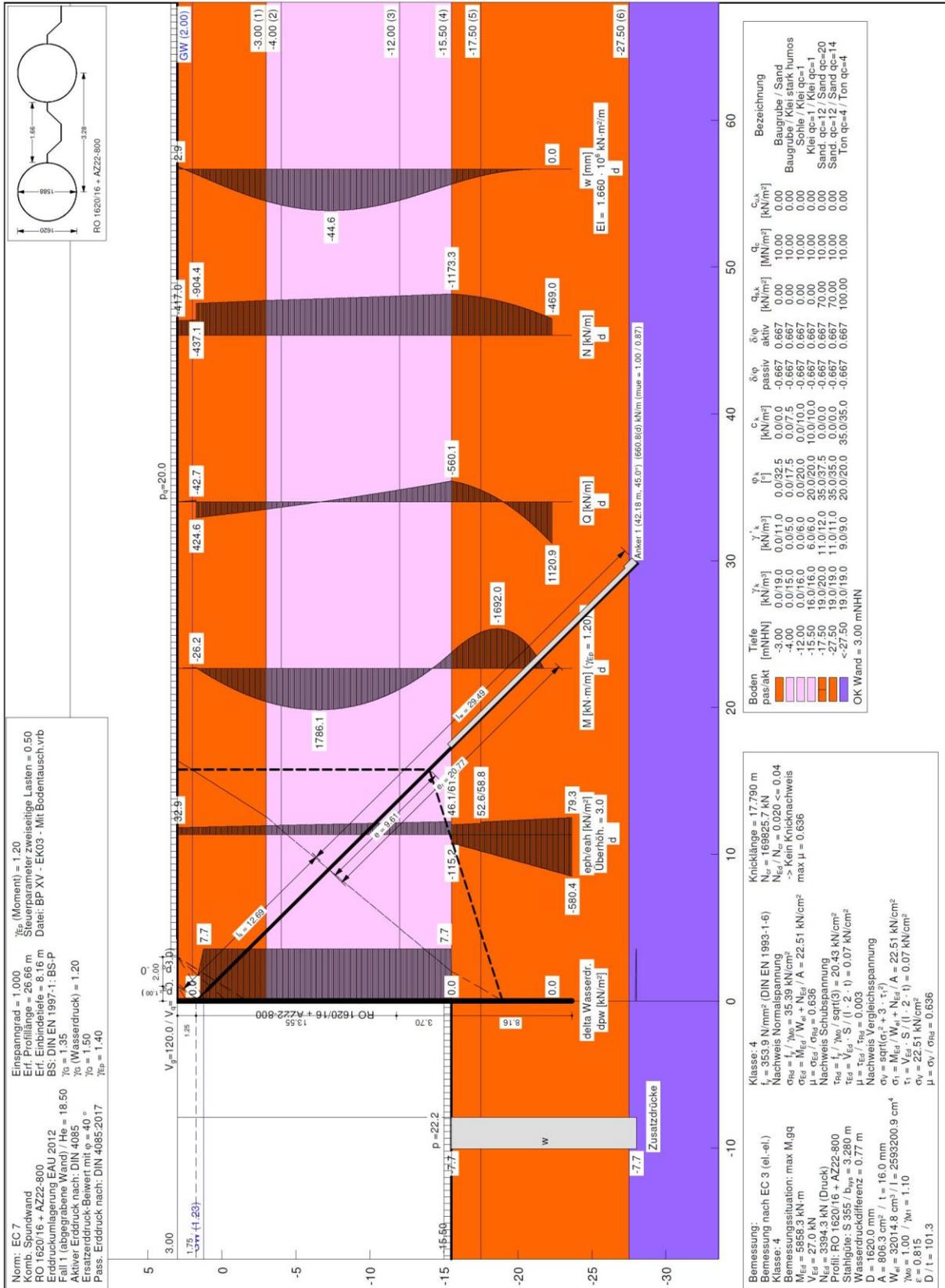
$$\text{Sand:} \quad \max \tau_{f,k} = 0,25 * \sigma_v \leq 50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bindige Böden:} \quad \max \tau_{cu,k} = 0,50 * c_u$$

- Für die Berechnung mittels GGU Retain wird nur die Differenz von negativer Mantelreibung und aktivem Erddruck ($\Delta F_{k,GGU}$) angesetzt. Auf eine erneute Berechnung der Differenz wird verzichtet und stattdessen die des Bemessungsprofils BP XVIII gewählt.

9.1.4 Spundwand- und Ankernachweise

9.1.4.1 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 51.45 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 411.57 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 295.68 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 937.71 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 830.44 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -670.34 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 353.21 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.04 bis -30.14 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-15.50	-17.50	26.67	Sand. $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.66	26.67	Sand. $q_c=12$ / Sand $q_c=14$

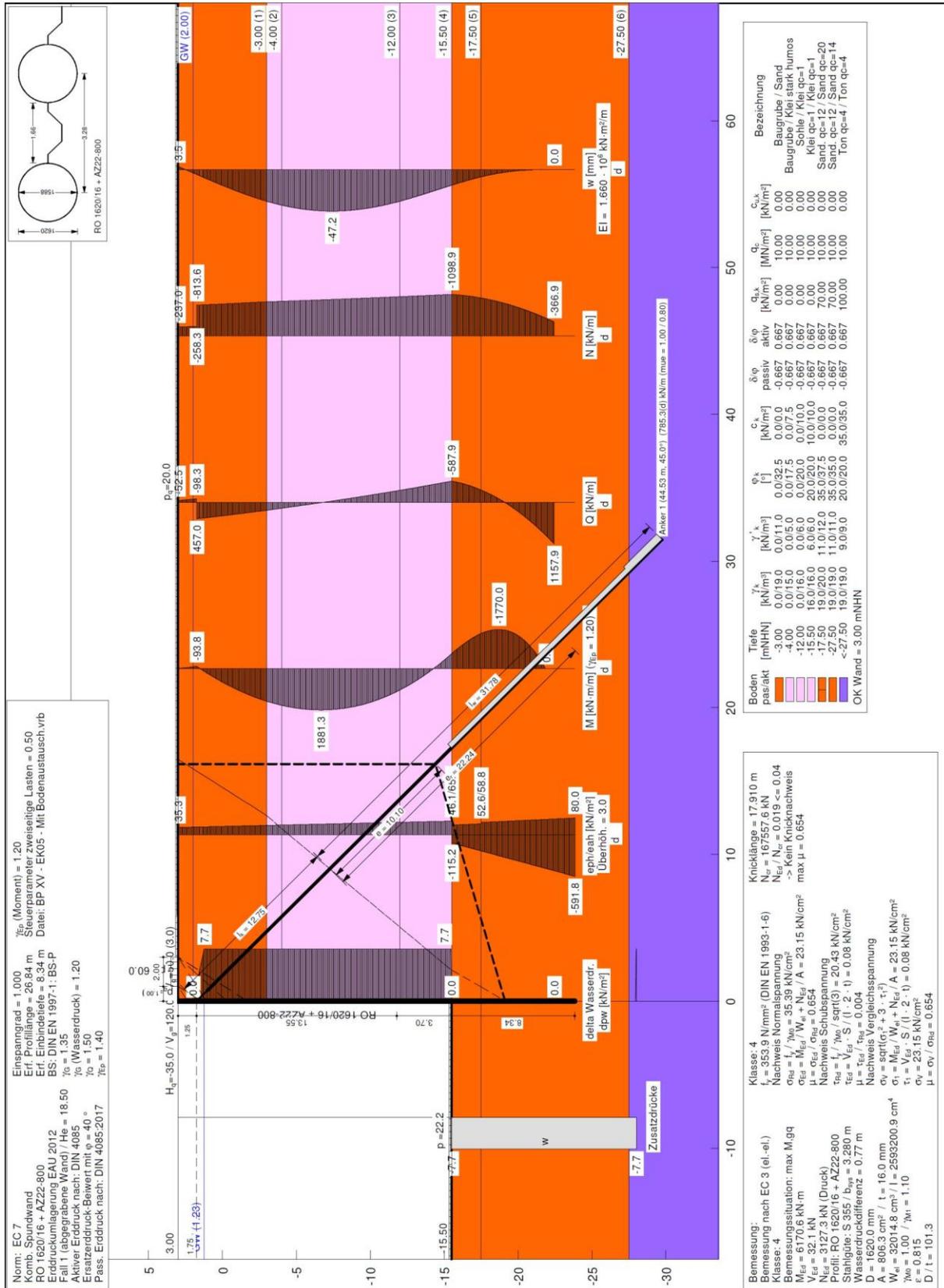
Mantelfläche bis -23.66 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 542.79 / 1.40 = 387.70 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 963.63 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 227.80 + 1331.01 + 2930.46 = 4489.28 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4489.28 / 963.63 = 4.66$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.1.4.2 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 51.79 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 412.84 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 316.01 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 988.15 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 854.05 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -692.03 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 361.01$ (Druck) kN/m

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.22 bis -30.32 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k}$ [kN/m^2]	Bezeichnung
-15.50	-17.50	26.67	Sand, $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.84	26.67	Sand, $q_c=12$ / Sand $q_c=14$

Mantelfläche bis -23.84 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 554.76 / 1.40 = 396.26 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 972.19 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 229.34 + 1429.43 + 2628.78 = 4287.55 \text{ kN}$

$\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4287.55 / 972.19 = 4.41$
Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.1.4.3 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil BP XV mit Bodentausch

EK	Lastfall										Zusammenfassung GGU							
	01	02	03	04a	04b	05	06	07	08	09	Profilänge l [m]	Max. Med [kNm/m]	Min. Med [kNm/m]	max l [-]	Ankerkraft [kN/m]	Ankerlänge [m]	Nachweis ΣV [kN]	
BS-P	Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutzlast q=20 kN/m ²	Verkehrsband 40 (q=40 kN/m ² b=3,50 m)	Verkehrsband 60 (q=60 kN/m ² b=2,00 m)	Schwerlaststapler	Kranbahn	Polierzug	Negative Mantelreibung	Porenwasserüberdruck							
	01	BS 3a	-	X	X													
	02	BS 3a	-	X		X												
	03	BS 3a	-	X		X	X								66,1	47,5	4490	
	04	BS 3a	-	X				X										
	05	BS 3a	-	X		X			X						78,6	45,0	4288	
06	BS 3a	-	X						X									
BS-T																		
	10	BS 3a	-	X			X		X									
	11	BS 3a	-	X			X				X							
	12	BS 3a	-	X					X		X							
	13	BS 3a	-	X		X					X							
	14	BS 3a	-	X						X								
BS-A																		
	20	BS-3a	-	X		X			X		X							
	30	BS-3c	X		X													

9.1.4.4 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt und ergibt sich zu:

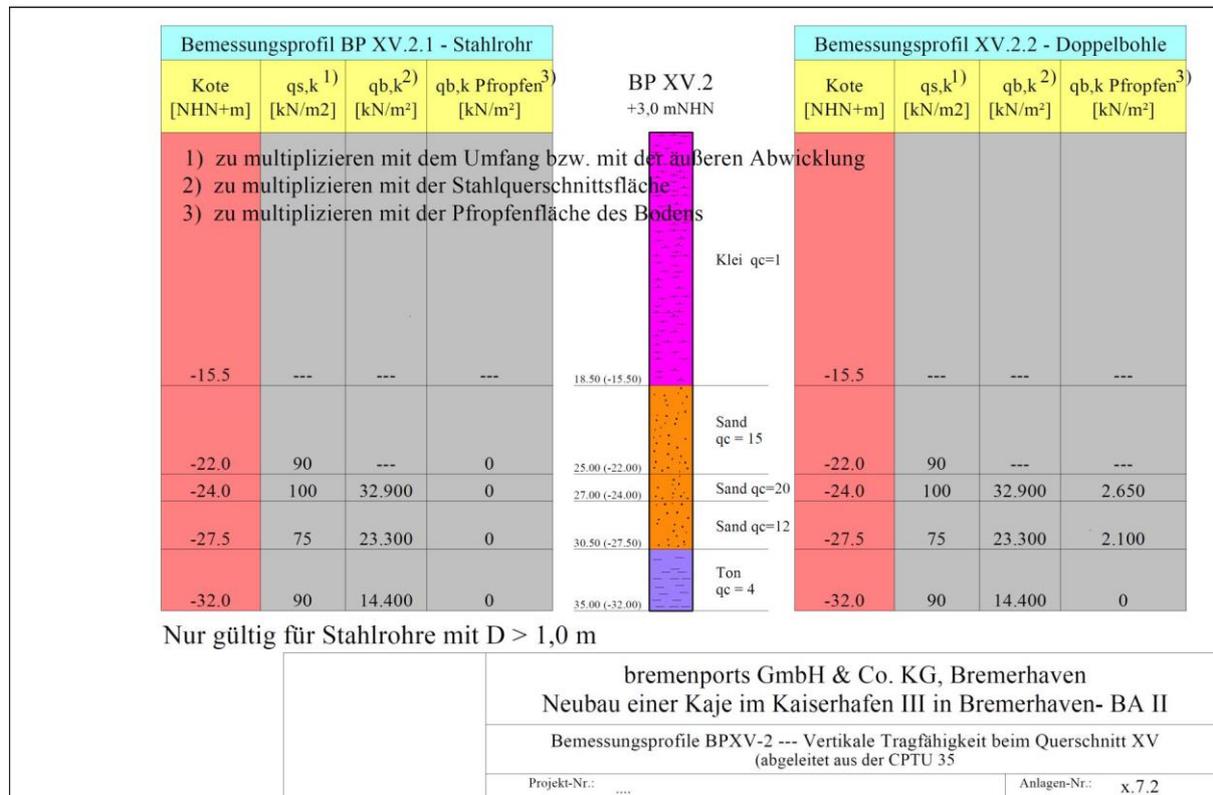


Abbildung 79 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BP XV - Mit Bodentausch Vertikale Tragfähigkeit

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahlänge gem. GGU		26,50 m			
Verlängerung infolge ΣV		m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	27,00 m			
Freie Eingabe	$l_p =$	m			
Gewählte Pfahlänge	$l_p =$	27,00 m			

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 228 kN/m =	228 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Ja	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	=	0 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 1331 kN/m =	1.331 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 2931 kN/m =	2.931 kN
	$\Sigma G =$	4490	4.490 kN
	$Q_1 =$	0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$	0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-15,50	18,50	0	0	1	2,54	18,50	0
2	Sand qc=15	-15,50	-17,00	1,50	0	90	1	2,54	1,50	344
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand qc=15	-17,00	-22,00	5,00		90	2	5,09	5,00	2.290
5	Sand qc=20	-22,00	-24,00	2,00	32.900	100	2	5,09	2,00	1.018
6	Sand qc=12	-24,00	-27,50	3,50	23.300	75	2	5,09	0,00	0
7	Ton qc=4	-27,50	-32,00	4,50	14.400	90	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-24,00	27,00	23.300	-				3.652

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfußwiderstand bei $z = -24,00$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 1.879 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 3.652 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 4.490 kN $E_{1,d} =$ 4.490 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 5.530 kN $R_{1,d} =$ 5.028 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 4.490 kN $<$ 5.028 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 89%.

9.1.4.5 Nachweis gegen Herausziehen

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 geführt und ergibt sich zu:

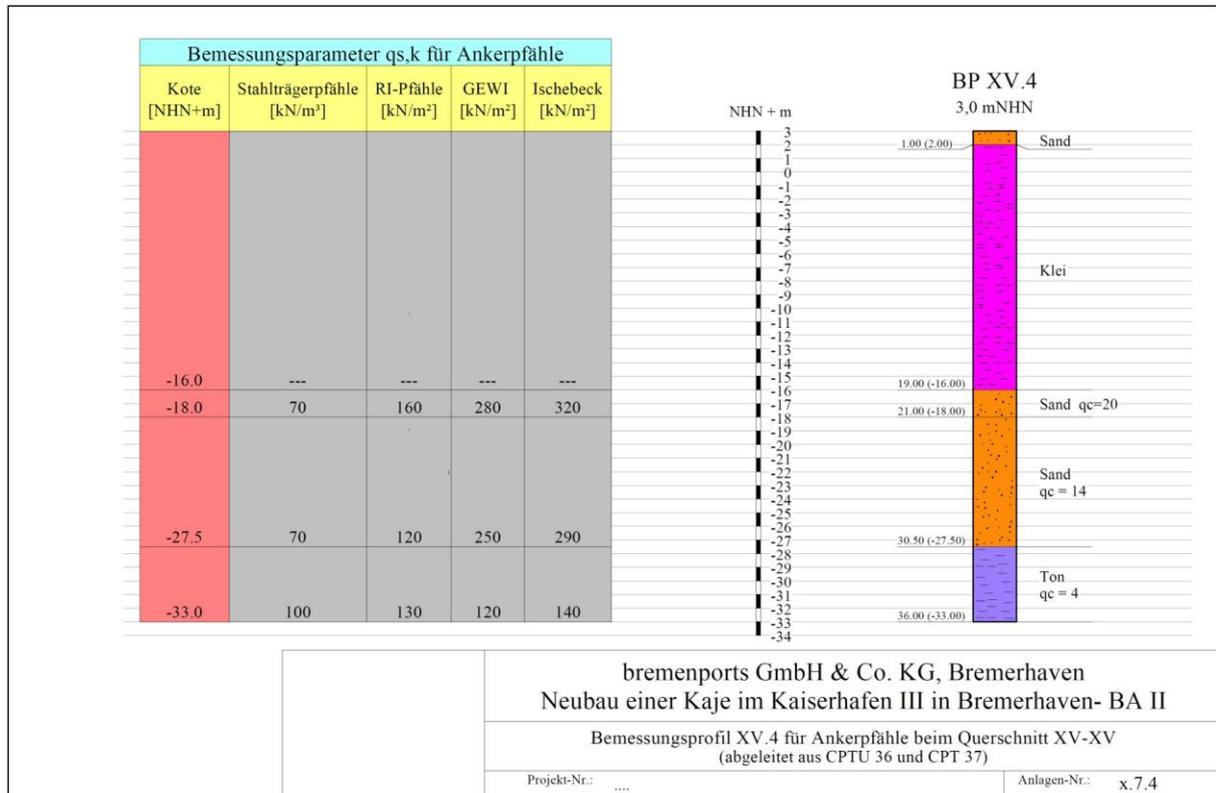


Abbildung 80 Bemessungsprofil XV - Bodenkennwerte Herausziehwiderstand [U1]

Im Bereich des Bodentausches kommt es zu einer Erhöhung der Vertikalspannungen im Boden und somit zu einer Erhöhung der zulässigen Mantelreibungsspannungen (β -Verfahren). Auf der sicheren Seite liegend wird am BPXV (Übergangsbereich mit / ohne Bodentausch) auf die rechnerische Erhöhung der zulässigen Mantelreibungsspannung verzichtet.

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BP XV - Mit Bodentausch - Herauszieh Widerstand
 Lastfallkombination: 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: l_p = 42,00 m
 Pfahlneigung: α = 45,00 °
 UK Pfahl: UK= -27,95 mNN
 Ankerraster: a= 3,28 m
 Mantelfläche: U= 2,51 m $\varnothing_{\text{Ersatz}}$ = 0,80 m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK	UK	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
		[mNN]	[mNN]					
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-15,50	7,50	0	10,61	0	
3	Sand $q_c=20$	-15,50	-18,00	2,50	70	3,54	621	
4	Sand $q_c=14$	-18,00	-27,50	9,50	70	13,44	2.361	
5	Ton $q_c=4$	-27,50	-33,00	5,50	100	0,63	159	
6	Annahme Ton $q_c=4$	-33,00	-34,00	1,00	100	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-27,95		44,36	42,00	3141	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d}$ = kN/m $N_{1,d}$ = 0 kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d}$ $N_{1,d}$ = 790 kN/m $E_{1,d}$ = 2.591 kN
 Teilsicherheitsbeiwert: γ_{Pc} = 1,15 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k}$ = 3.141 kN $R_{1,d}$ = 2.731 kN

Nachweis: $E_{1,d}$ = 2.591 kN < 2.731 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 95%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

N_{Ed} = 2.591 kN M_{Ed} = 0 kNm
 A = 173 cm² W_y = 3.489 cm²
 $f_{y,k}$ = 355 N/mm² γ_M = 1,00 -

Nachweis: σ_{Ed} = 150 N/mm² < $f_{y,d}$ = 355 N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 42%.

9.2 Bemessungsprofil XVI

9.2.1 Übersicht

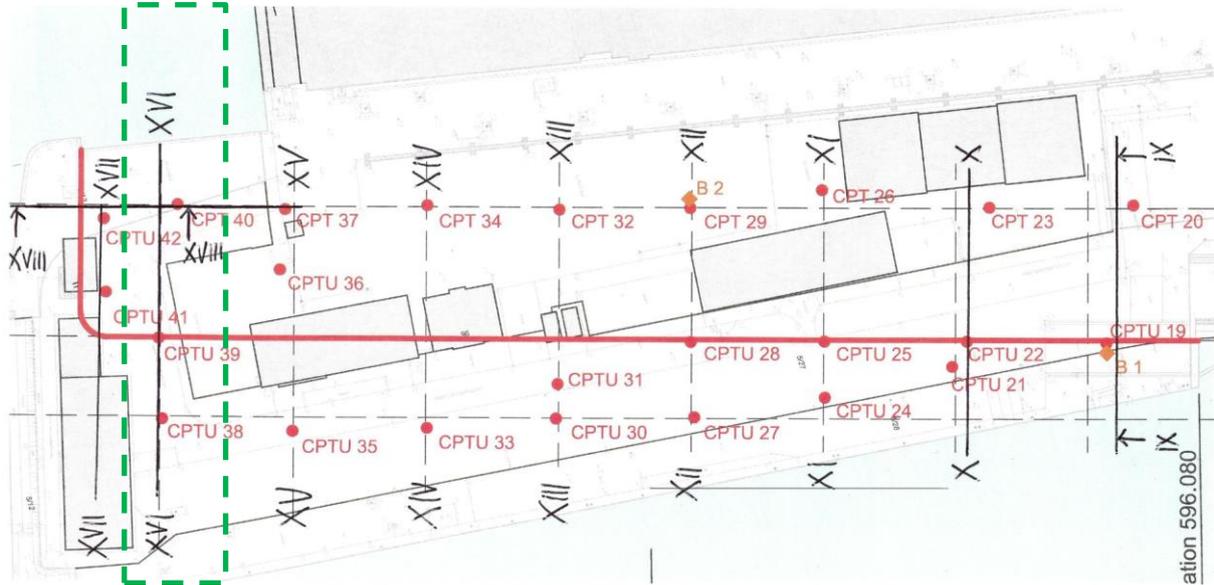


Abbildung 81 Bemessungsprofil XVI - Lage [U1]

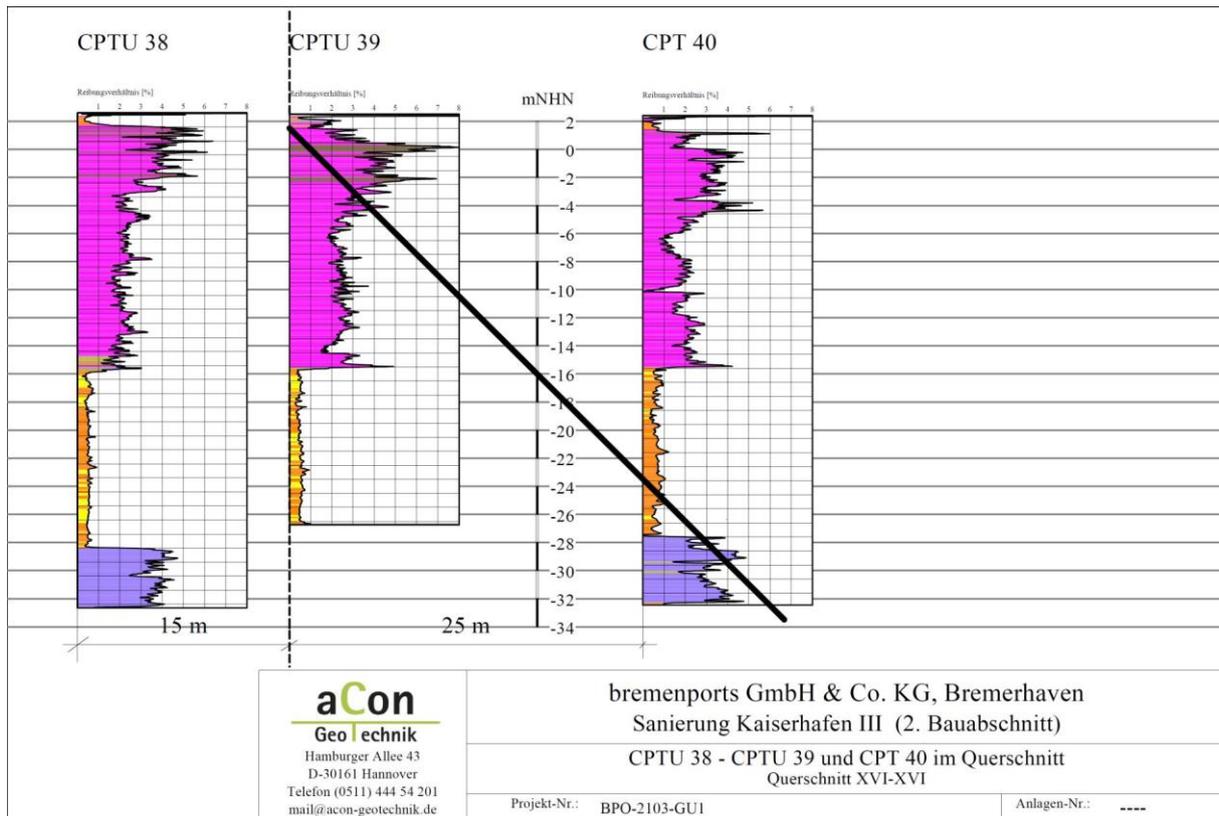


Abbildung 82 Bemessungsprofil XVI - Querschnitt [U2]

9.2.2 Bodenkennwerte Erddruck

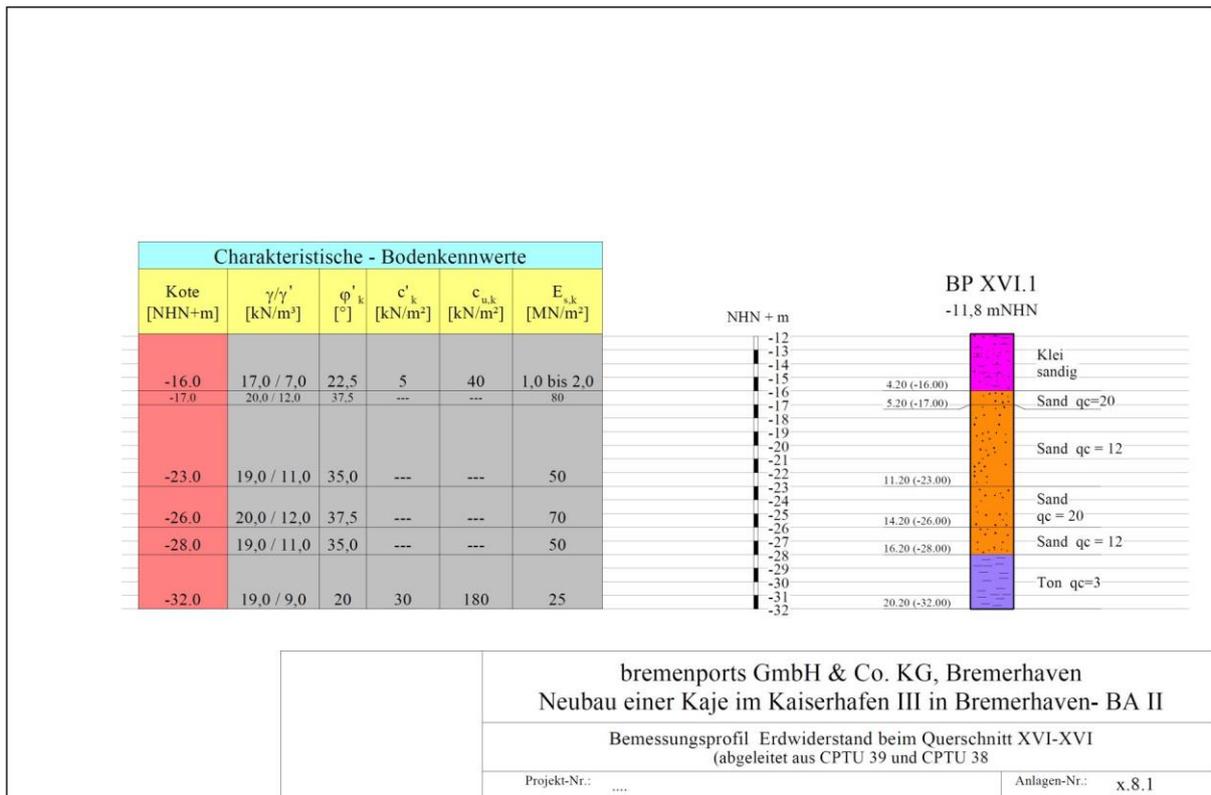


Abbildung 83 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]

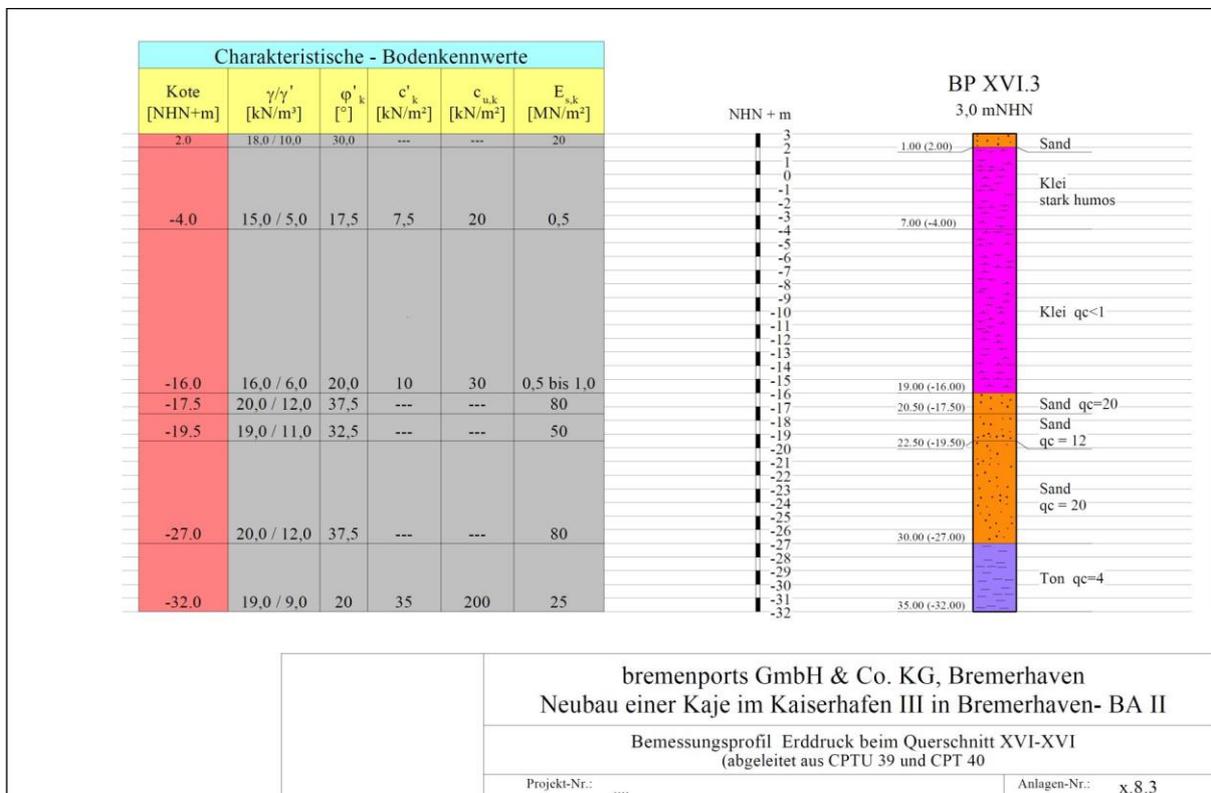


Abbildung 84 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

9.2.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

$$BS-P = (-11,80 + 16,00) \cdot 7 = 29,40 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 29,40 - 7,50 = 21,90 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
- Zwischen GOK und -3,00 mNN wird der vorhandene Boden gegen Sand ($\gamma / \gamma' = 19/11 \text{ kN/m}^3$; $\varphi' = 32,5^\circ$) ausgetauscht um eine Verankerung mittels Ankertafel zu ermöglichen.
- Durch den Bodentausch entsteht im Klei zeitweise ein Porenwasserüberdruck. Dieser ergibt sich wie folgt:

$$P_{WÜ} = (2,00 \text{ mNN} - -3,00 \text{ mNN}) \cdot (11 \text{ kN/m}^3 - 5 \text{ kN/m}^3) = 30 \text{ kN/m}^2$$

- Durch den Bodentausch entsteht eine negative Mantelreibung, diese wird bis UK Klei auf -16,00 mNN angesetzt. Die Negative Mantelreibung wird durch die folgenden Erfahrungswerte begrenzt:

$$\text{Sand:} \quad \max \tau_{f,k} = 0,25 \cdot \sigma_v \leq 50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bindige Böden:} \quad \max \tau_{cu,k} = 0,50 \cdot c_u$$

- Für die Berechnung mittels GGU Retain wird nur die Differenz von negativer Mantelreibung und aktivem Erddruck ($\Delta F_{k,GGU}$) angesetzt. Auf eine erneute Berechnung der Differenz wird verzichtet und stattdessen die des Bemessungsprofils BP XVIII gewählt.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta[C]) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta[p])$
 $G_{,k} = 51.60 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 418.48 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 312.61 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 992.30 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 903.21 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -721.43 \text{ kN/m}$
 $\delta[p] [^\circ] = -23.3$
 $\delta[C] [^\circ] = 12.5$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 356.19 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -22.12 bis -30.22 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma_{(q_{b,k})} = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-19.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-19.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-23.00	-23.74	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$

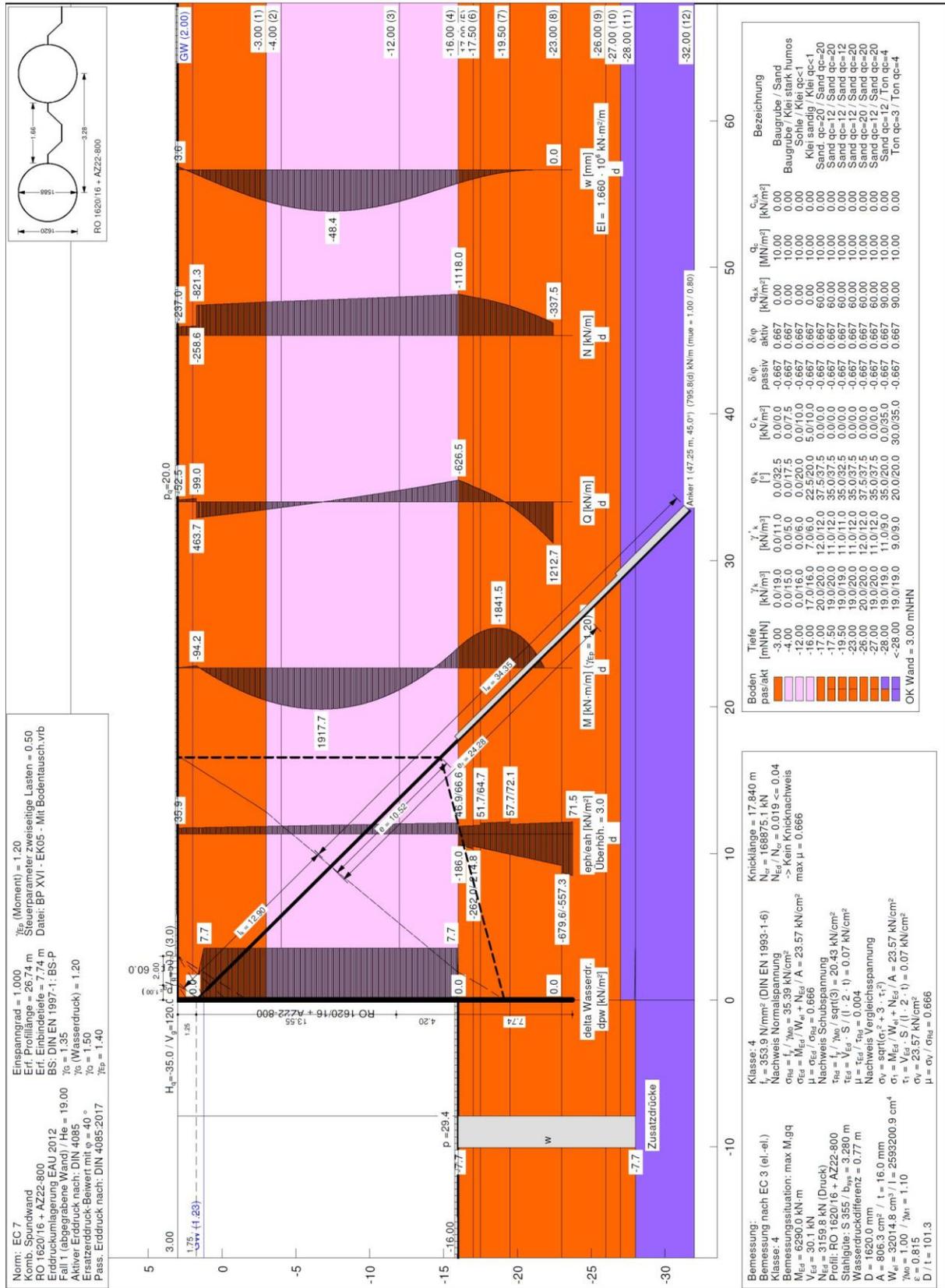
Mantelfläche bis -23.74 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma_{(q_{s,k})} = 514.85 / 1.40 = 367.75 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 943.68 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 228.49 + 1414.35 + 3056.30 = 4699.14 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4699.14 / 943.68 = 4.98$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.2.4.2 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 51.60 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 418.48 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 312.61 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 992.30 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 894.63 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -716.34 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.5$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 358.48 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -22.12 bis -30.22 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-19.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-19.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-23.00	-23.74	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$

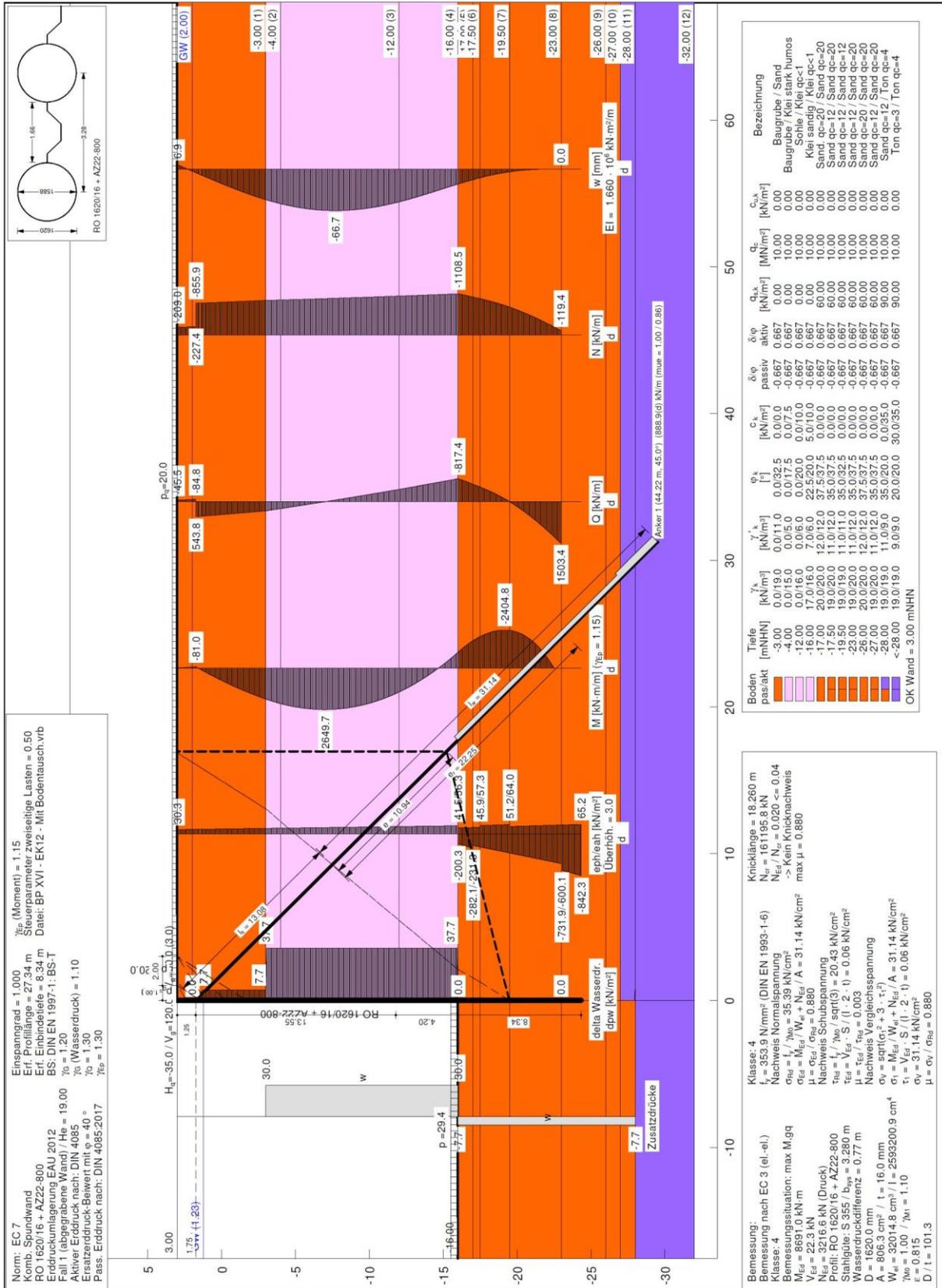
Mantelfläche bis -23.74 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 514.85 / 1.40 = 367.75 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 943.68 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 228.49 + 1414.35 + 2653.42 = 4296.25 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4296.25 / 943.68 = 4.55$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.2.4.3 EK 12 - Nutzlast + Pollerzug + Porenwasserüberdruck (BS-T)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 52.76 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 550.64 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 312.71 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 988.21 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 1290.96 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -1003.55 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.5$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 334.10 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -22.72 bis -30.82 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-19.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-19.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-23.00	-24.34	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$

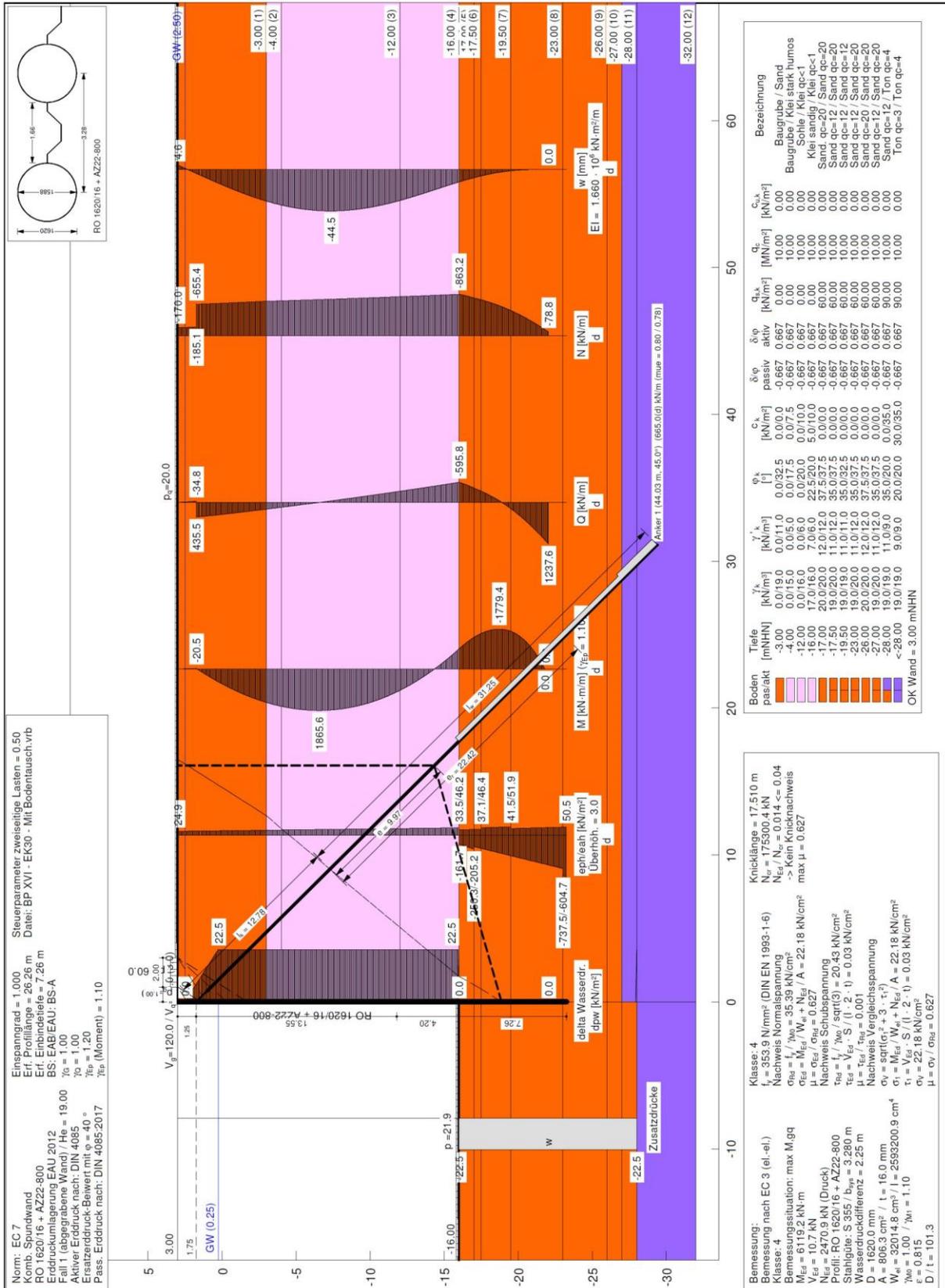
Mantelfläche bis -24.34 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 554.76 / 1.40 = 396.26 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 972.19 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 207.66 + 1247.42 + 2809.67 = 4264.75 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4264.75 / 972.19 = 4.39$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.2.4.4 EK 30 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-A)



9.2.4.5 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil BP XVI mit Bodentausch

EK	Laetfall										Zusammenfassung GGU								
	01	02		03	4a	4b	05	06	07	08	09	Profilänge l [m]	Max. Med [kNm/m]	Min. Med [kNm/m]	max l [-]	Ankerkraft Med [kNm]	Ankerlänge [m]	Nachweis ΣV [kN]	
BS-P	01	Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutzlast q=20 kN/m ²	Verkehrsband 40 (q=40 kN/m ² b=3,50 m)	Verkehrsband 60 (q=60 kN/m ² b=2,00 m)	Schwerlaststapler	Kranbahn	Pollerzug	Negative Mantelreibung	Formwasserüberdruck							
	02	X	BS 3a	-	X														
	03	X	BS 3a	-	X	X		X					27,0	1950	-1865	0,69	715	46,0	4700
	04	X	BS 3a	-	X				X				27,0	1918	-1812	0,67	796	47,5	4297
	05	X	BS 3a	-	X		X			X									
	06	X	BS 3a	-	X						X								
BS-T	10	X	BS 3a	-	X		X		X										
	11	X	BS 3a	-	X		X				X								
	12	X	BS 3a	-	X				X			X	27,5	2650	-2405	0,88	889	44,2	4265
	13	X	BS 3a	-	X		X												
	14	X	BS 3a	-	X						X								
BS-A	20	X	BS-3a	-	X	X			X		X								
	30	X	BS-3c	X	X	X													

9.2.4.6 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt und ergibt sich zu:

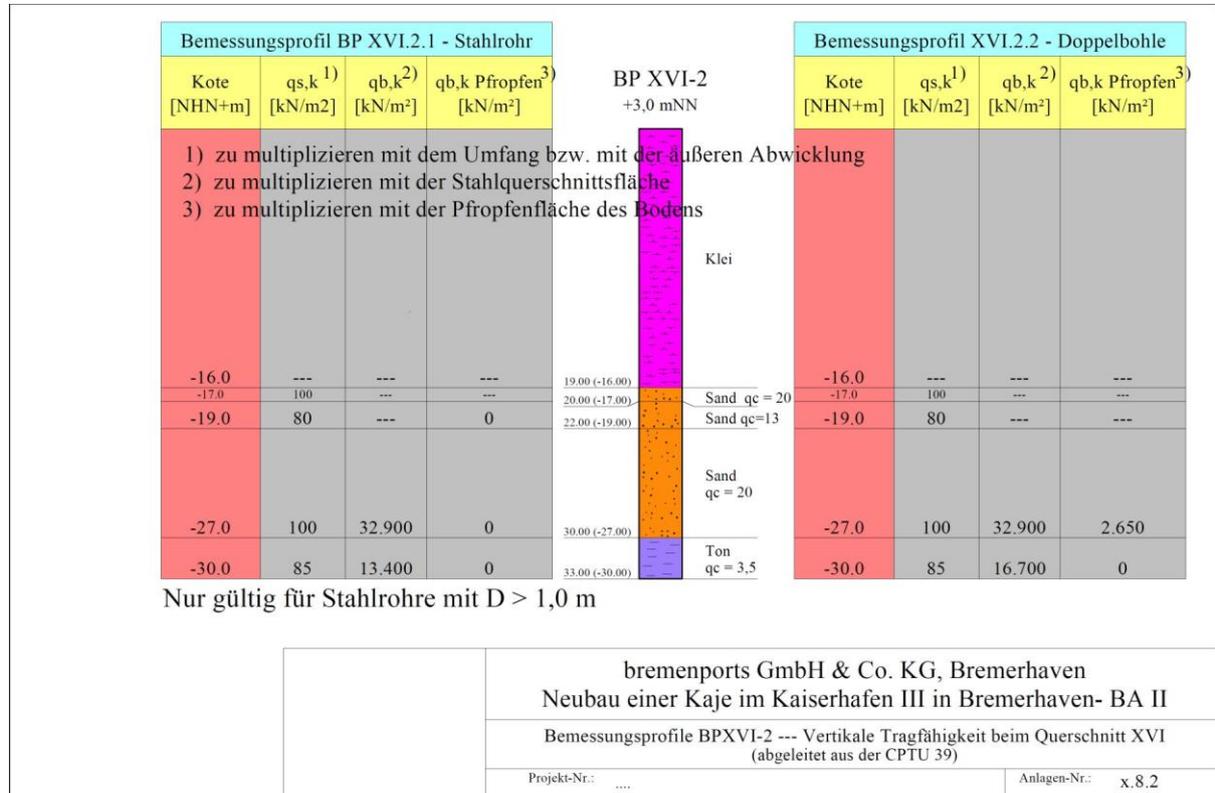


Abbildung 85 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BP XVI - Mit Bodenaustausch Vertikale Tragfähigkeit

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahllänge gem. GGU		27,00 m			
Verlängerung infolge ΣV		0,00 m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	27,50 m			
Freie Eingabe	$l_p =$	m			
Gewählte Pfahllänge	$l_p =$	27,50 m			

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 229 kN/m =	229 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Ja	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	=	0 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 1415 kN/m =	1.415 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 3057 kN/m =	3.057 kN
	$\Sigma G =$	4701	4.701 kN
	$Q_1 =$	0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$	0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,00	19,00	0	0	1	2,54	19,00	0
2	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,00	1,00	0	100	1	2,54	1,00	254
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand $q_c=13$	-17,00	-19,00	2,00	0	80	2	5,09	2,00	814
5	Sand $q_c=20$	-19,00	-27,00	8,00	32.900	100	2	5,09	5,50	2.799
6	Ton $q_c=3,5$	-27,00	-30,00	3,00	13.400	85	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-24,50	27,50	32.900	-				3.868

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfußwiderstand bei $z = -24,50$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 2.653 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 3.868 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 4.701 kN $E_{1,d} =$ 4.701 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 6.521 kN $R_{1,d} =$ 5.928 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 4.701 kN $<$ 5.928 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 79%.

9.2.4.7 Nachweis gegen Herausziehen

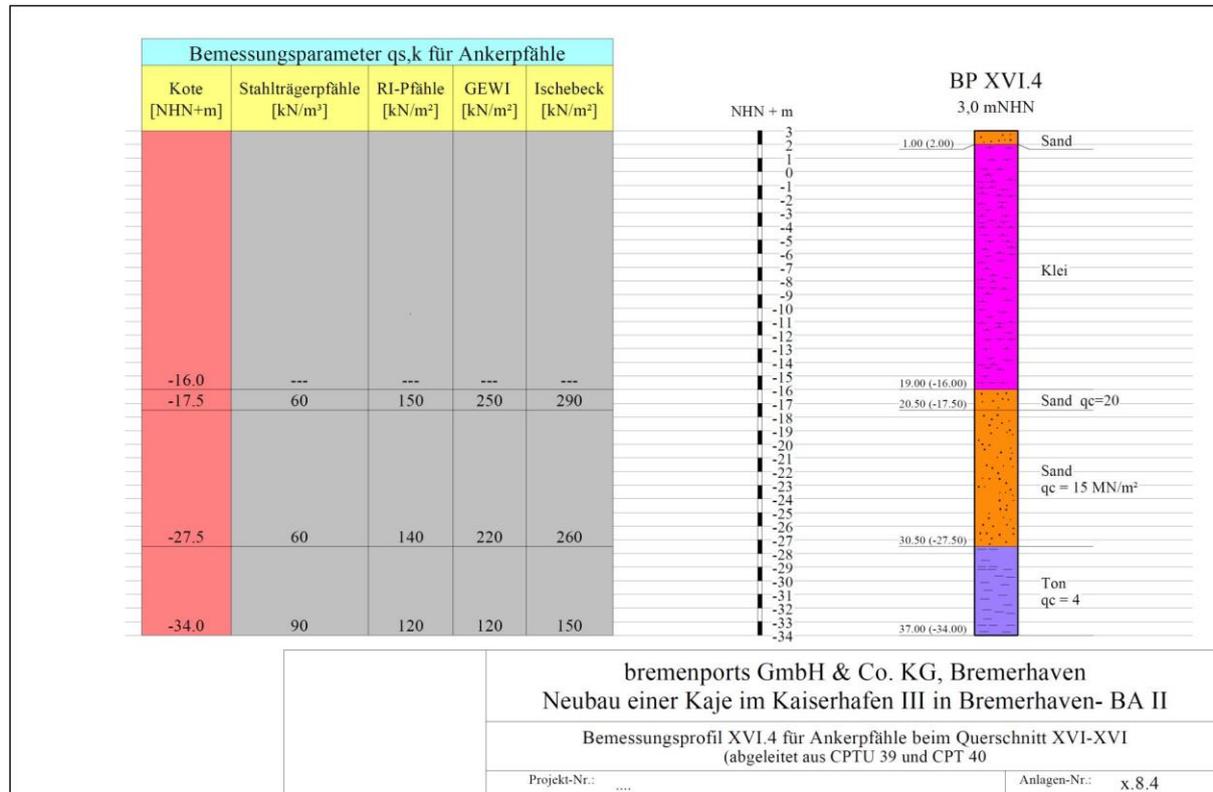


Abbildung 86 Bemessungsprofil XVI - Bodenkennwerte Herauszieh Widerstand [U1]

Durch den Bodentausch kommt es zu einer Erhöhung der Vertikalspannungen im Boden und somit zu einer Erhöhung der zulässigen Mantelreibungsspannungen (β -Verfahren; EA Pfähle Abschnitt 4.4). Die erhöhten Mantelreibungsspannungen werden wie folgt ermittelt:

$$q_{sk,neu} = q_{sk,alt} \cdot \sigma_{v,Neu} / \sigma_{v,Alt}$$

Boden	Alt					Neu					$\frac{\sigma_{v,UK,neu}}{\sigma_{v,UK,alt}}$	
	OK [mNN]	UK [mNN]	γ [kN/m³]	d [m]	$\sigma_{v,UK}$ [kN/m²]	Boden	OK [mNN]	UK [mNN]	γ [kN/m³]	d [m]		$\sigma_{v,UK}$ [kN/m²]
Sand, trocken	3,00	2,00	18	1,00	18	Sand, trocken	3,00	2,00	19	1,00	19	1,06
Klei	2,00	-4,00	5	6,00	48	Sand, naß	2,00	-3,00	11	5,00	74	1,54
Klei	-4,00	-16,00	6	8,00	96	Klei	-3,00	-16,00	6	13,00	152	1,58
Sand	-16,00	-17,00	12	1,00	108	Sand	-16,00	-17,00	12	1,00	164	1,52
Sand	-17,00	-29,00	11	12,00	240	Sand	-17,00	-29,00	11	12,00	296	1,23
Ton	-29,00	-34,00	9	5,00	285	Sand	-29,00	-34,00	9	5,00	341	1,20

Konservativ werden die Mantelreibungsspannungen im Sand um rd. 20% erhöht. Im Ton wird auf eine Erhöhung verzichtet.

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 und EK 12 geführt und ergibt sich zu:

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BP XVI - Herauszieh Widerstand mit Bodentausch
 Lastfallkombination: 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 43,50$ m
 Pfahlneigung: $\alpha = 45,00^\circ$
 UK Pfahl: UK= -29,01 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche: $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK	UK	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
		[mNN]	[mNN]					
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-16,00	8,00	0	11,31	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,50	1,50	70	2,12	373	
4	Sand $q_c=15$	-17,50	-27,50	10,00	70	14,14	2.485	
5	Ton $q_c=4$	-27,50	-34,00	6,50	90	2,13	482	
6	Annahme Ton $q_c=4$	-34,00	-50,00	16,00	90	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-29,01		44,78	43,50	3340	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 800$ kN/m $E_{1,d} = 2.624$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{Pc} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 3.340$ kN $R_{1,d} = 2.904$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 2.624$ kN < 2.904 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 90%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 2.624$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 152$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 43%.

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BP XVI - Herauszieh Widerstand mit Bodentausch
 Lastfallkombination: 12 - Nutzlast + Pollerzug + Porenwasserüberdruck (BS-T)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: l_p = 43,50 m
 Pfahlneigung: α = 45,00 °
 UK Pfahl: UK= -29,01 mNN
 Ankerraster: a= 3,28 m
 Mantelfläche: U= 2,51 m $\varnothing_{\text{Ersatz}}$ = 0,80 m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK	UK	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
		[mNN]	[mNN]					
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-16,00	8,00	0	11,31	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,50	1,50	70	2,12	373	
4	Sand $q_c=15$	-17,50	-27,50	10,00	70	14,14	2.485	
5	Ton $q_c=4$	-27,50	-34,00	6,50	90	2,13	482	
6	Annahme Ton $q_c=4$	-34,00	-50,00	16,00	90	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-29,01		44,78	43,50	3340	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d}$ = kN/m $N_{1,d}$ = 0 kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d}$ $N_{1,d}$ = 889 kN/m $E_{1,d}$ = 2.916 kN
 Teilsicherheitsbeiwert: γ_{Pc} = 1,15 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k}$ = 3.340 kN $R_{1,d}$ = 2.904 kN

Nachweis: $E_{1,d}$ = 2.916 kN > 2.904 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 100%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

N_{Ed} = 2.916 kN M_{Ed} = 0 kNm
 A = 173 cm² W_y = 3.489 cm²
 $f_{y,k}$ = 355 N/mm² γ_M = 1,00 -

Nachweis: σ_{Ed} = 169 N/mm² < $f_{y,d}$ = 355 N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 47%.

9.3 Bemessungsprofil XVII

9.3.1 Übersicht

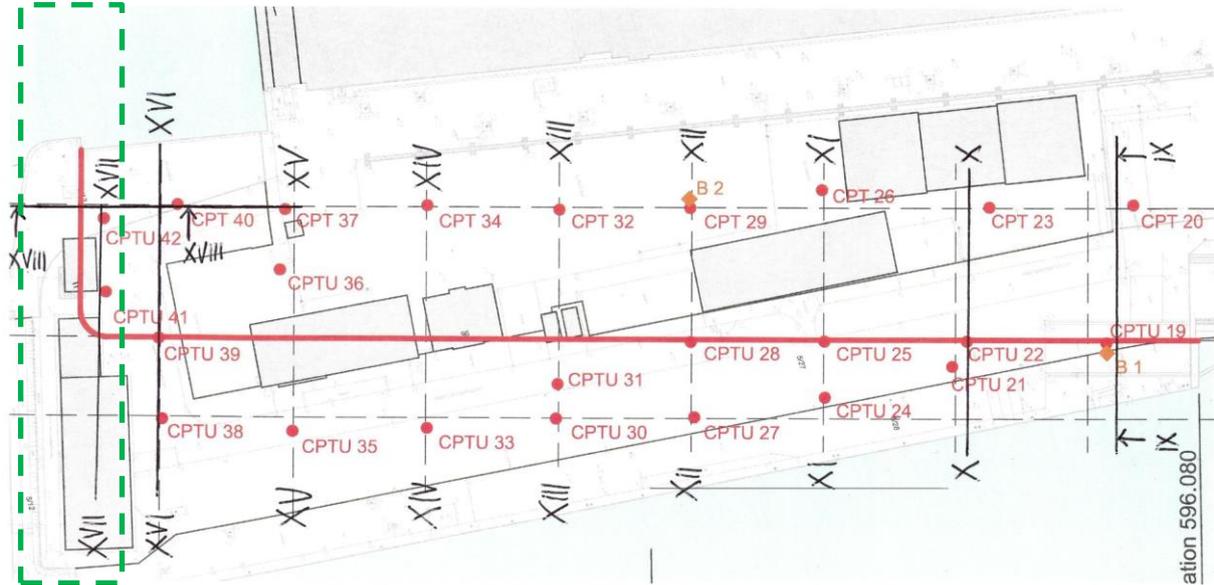


Abbildung 87 Bemessungsprofil XVII - Lage [U1]

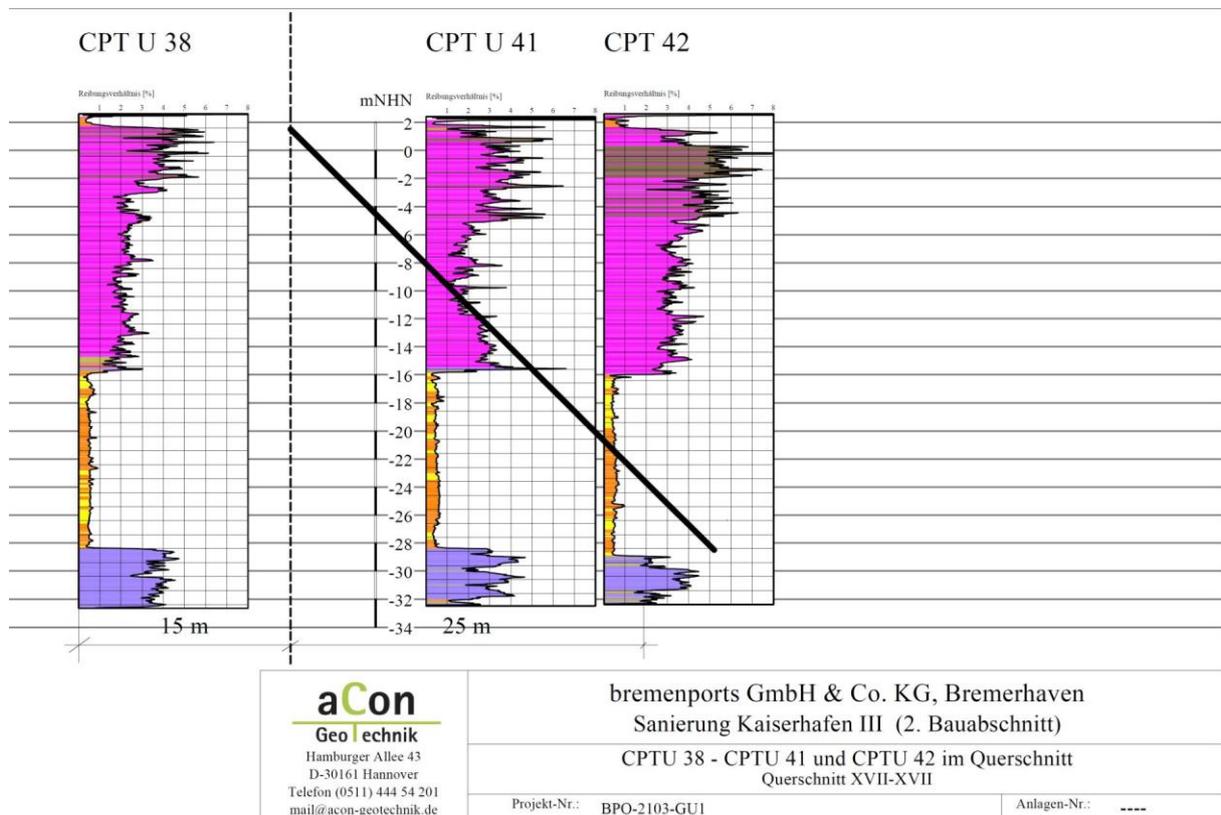


Abbildung 88 Bemessungsprofil XVII - Querschnitt [U2]

9.3.2 Bodenkennwerte Erddruck

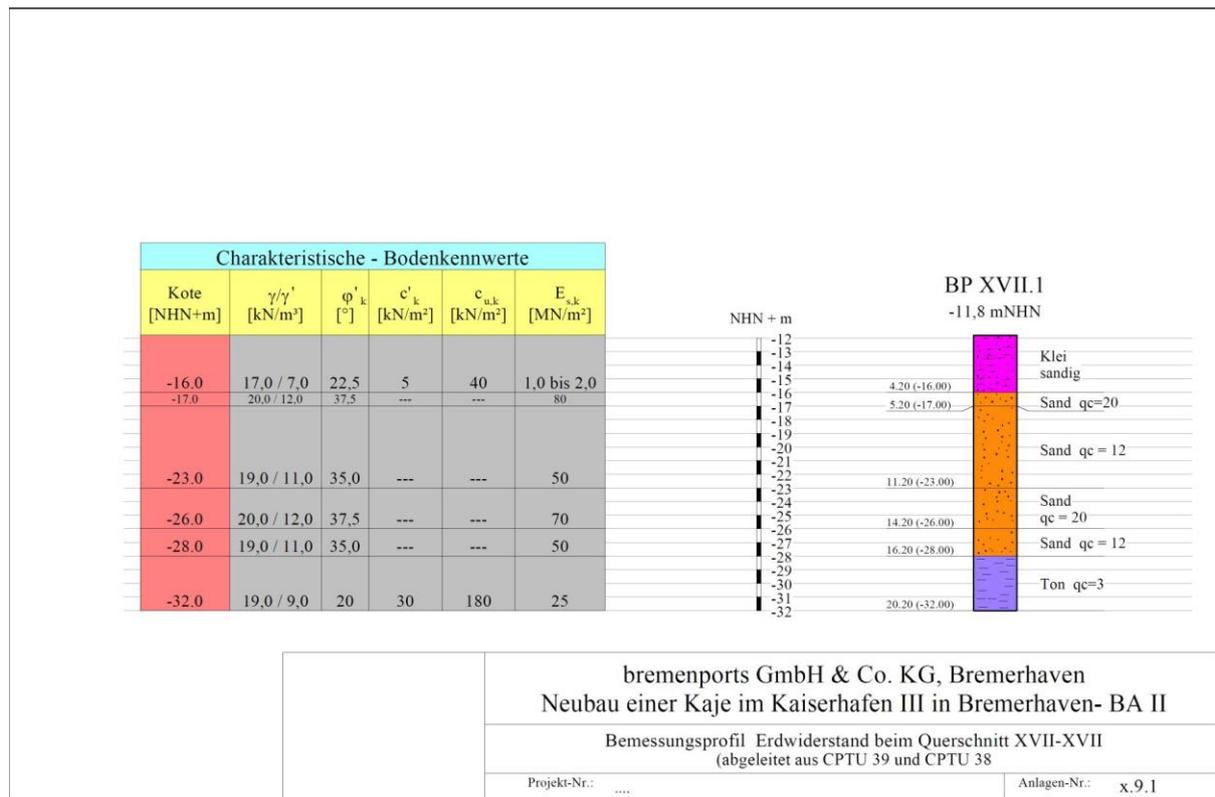


Abbildung 89 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Erdwiderstand [U1]

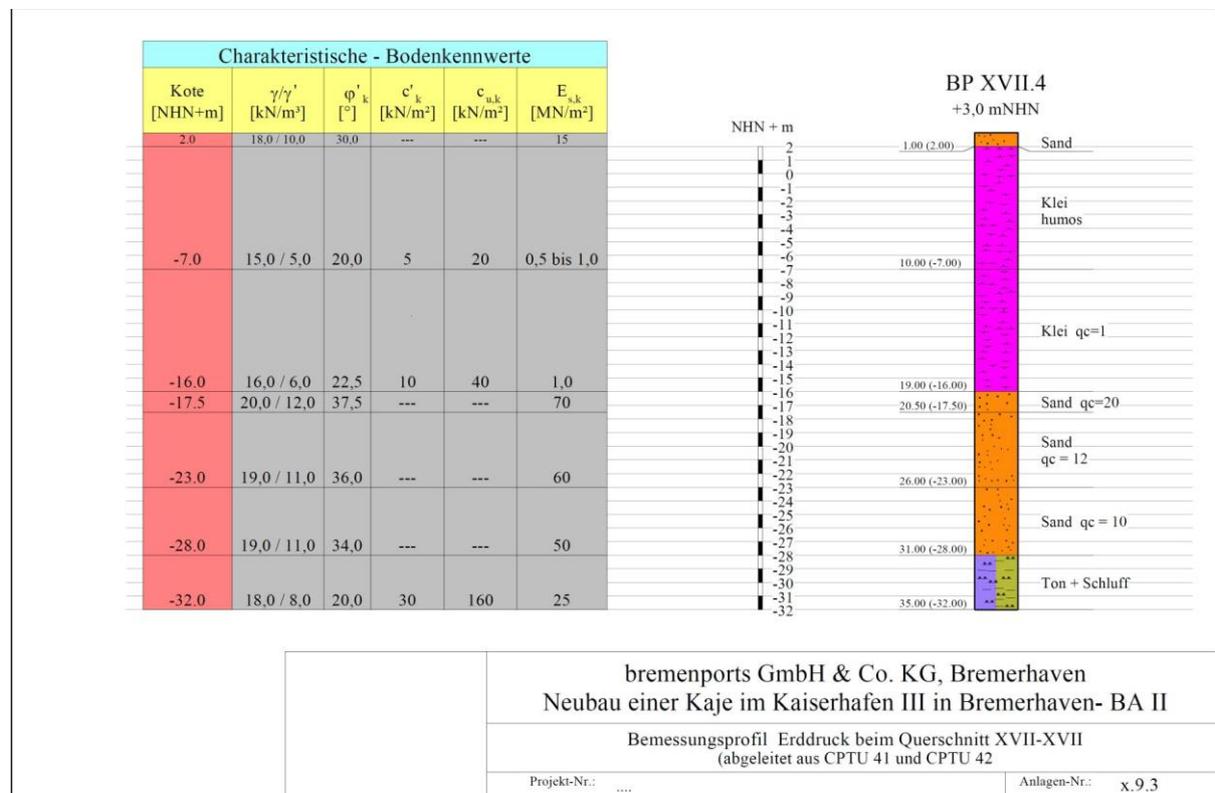


Abbildung 90 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

9.3.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

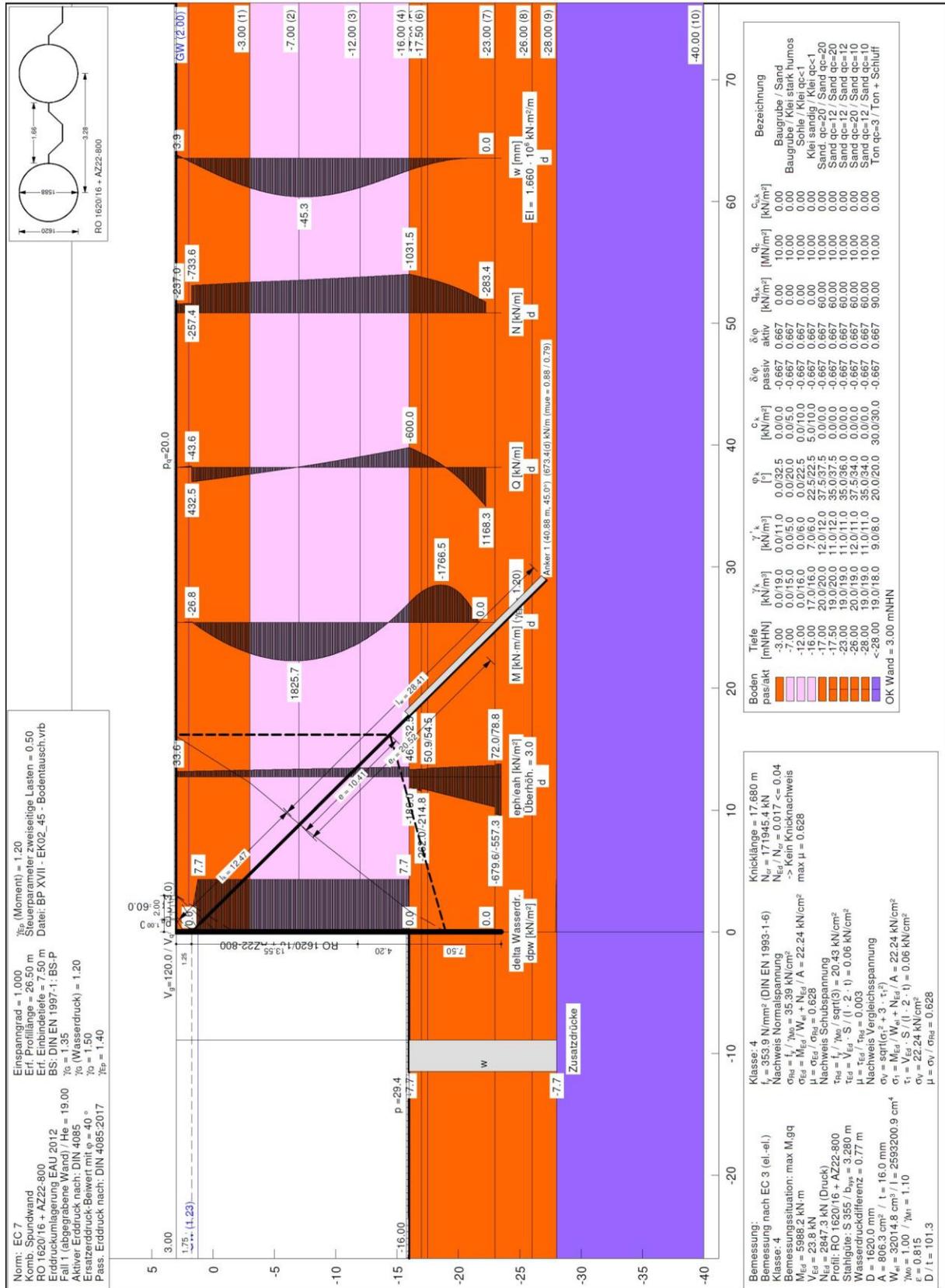
$$BS-P = (-11,80 + 16,00) \cdot 7 = 29,40 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 29,40 - 7,50 = 21,90 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
- Zwischen GOK und -3,00 mNN wird der vorhandene Boden gegen Sand ($\gamma / \gamma' = 19/11 \text{ kN/m}^3$; $\varphi' = 32,5^\circ$) ausgetauscht um eine Verankerung mittels Ankertafel zu ermöglichen.
- Durch den Bodentausch entsteht im Klei zeitweise ein Porenwasserüberdruck. Dieser ergibt sich wie folgt:
$$P_{w\ddot{u}} = (2,00 \text{ mNN} - -3,00 \text{ mNN}) \cdot (11 \text{ kN/m}^3 - 5 \text{ kN/m}^3) = 30 \text{ kN/m}^2$$
- Durch den Bodentausch entsteht eine negative Mantelreibung, diese wird bis UK Klei auf -16,00 mNN angesetzt. Die Negative Mantelreibung wird durch die folgenden Erfahrungswerte begrenzt:
Sand: $\max \tau_{f,k} = 0,25 \cdot \sigma_v \leq 50 \text{ kN/m}^2$
Bindige Böden: $\max \tau_{cu,k} = 0,50 \cdot c_u$
- Für die Berechnung mittels GGU Retain wird nur die Differenz von negativer Mantelreibung und aktivem Erddruck ($\Delta F_{k,GGU}$) angesetzt. Auf eine erneute Berechnung der Differenz wird verzichtet und stattdessen die des Bemessungsprofils BP XVIII gewählt.

9.3.4 Spundwand- und Ankernachweise $\alpha=45^\circ$

9.3.4.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 51.14 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 401.05 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 308.22 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 928.15 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 862.09 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -685.20 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 352.78 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -21.88 bis -29.98 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

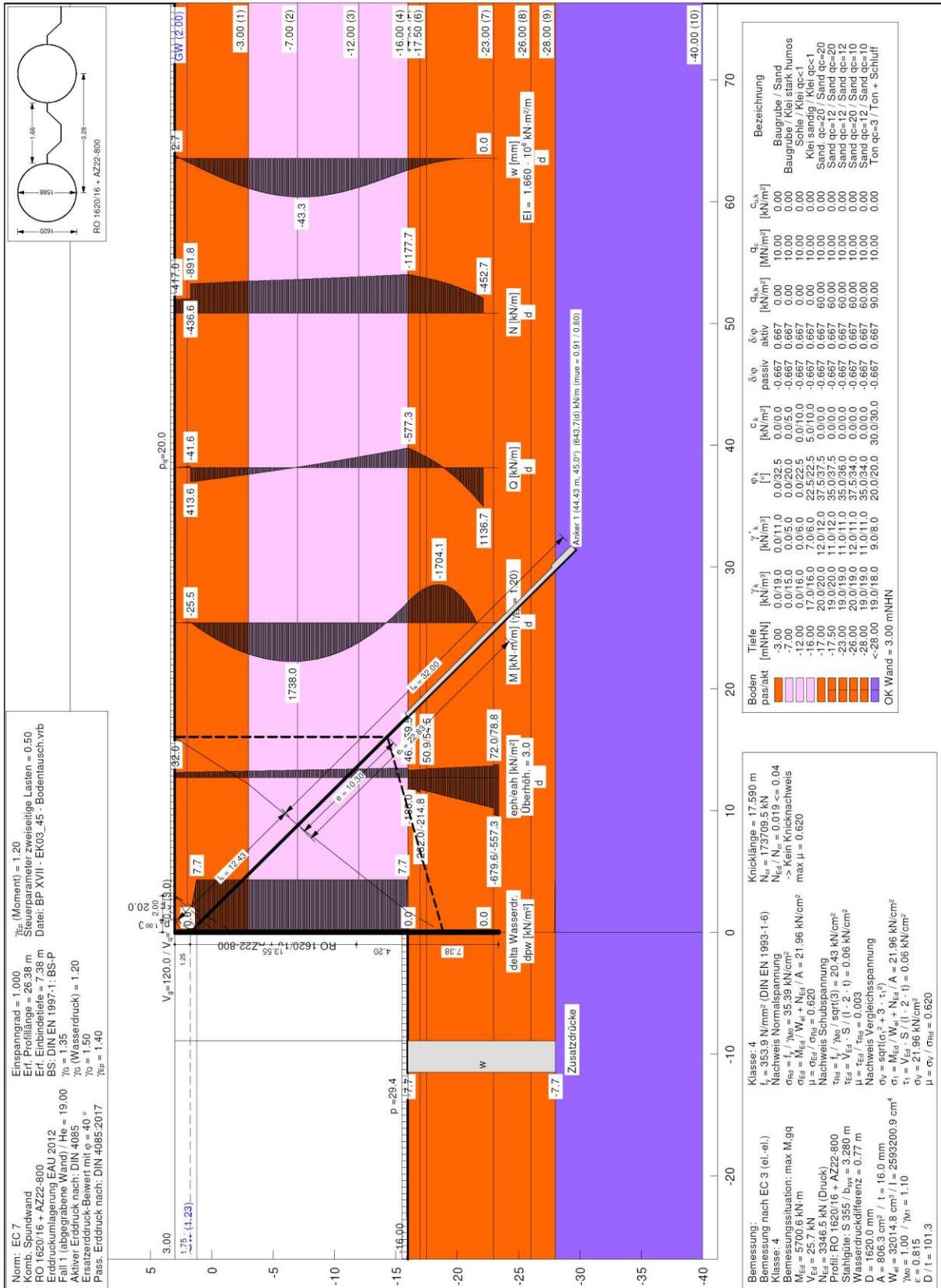
Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-23.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -23.50 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 498.88 / 1.40 = 356.35 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 932.27 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 226.44 + 1394.92 + 2369.26 = 3990.62 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3990.62 / 932.27 = 4.28$
 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

9.3.4.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta[C]) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta[p])$
 $G_{,k} = 50.91 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 400.23 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 294.39 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 893.96 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 841.86 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -667.77 \text{ kN/m}$
 $\delta[p] [^\circ] = -23.3$
 $\delta[C] [^\circ] = 12.0$
Summe $V(g+q)_{,k} = 348.81 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.76 bis -29.86 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-23.38	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -23.38 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 490.90 / 1.40 = 350.64 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 926.57 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 225.41 + 1327.89 + 2890.90 = 4444.20 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4444.20 / 926.57 = 4.80$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 51.02 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 400.63 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 307.09 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 925.59 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 859.62 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -682.05 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 353.45 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -21.82 bis -29.92 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-23.44	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

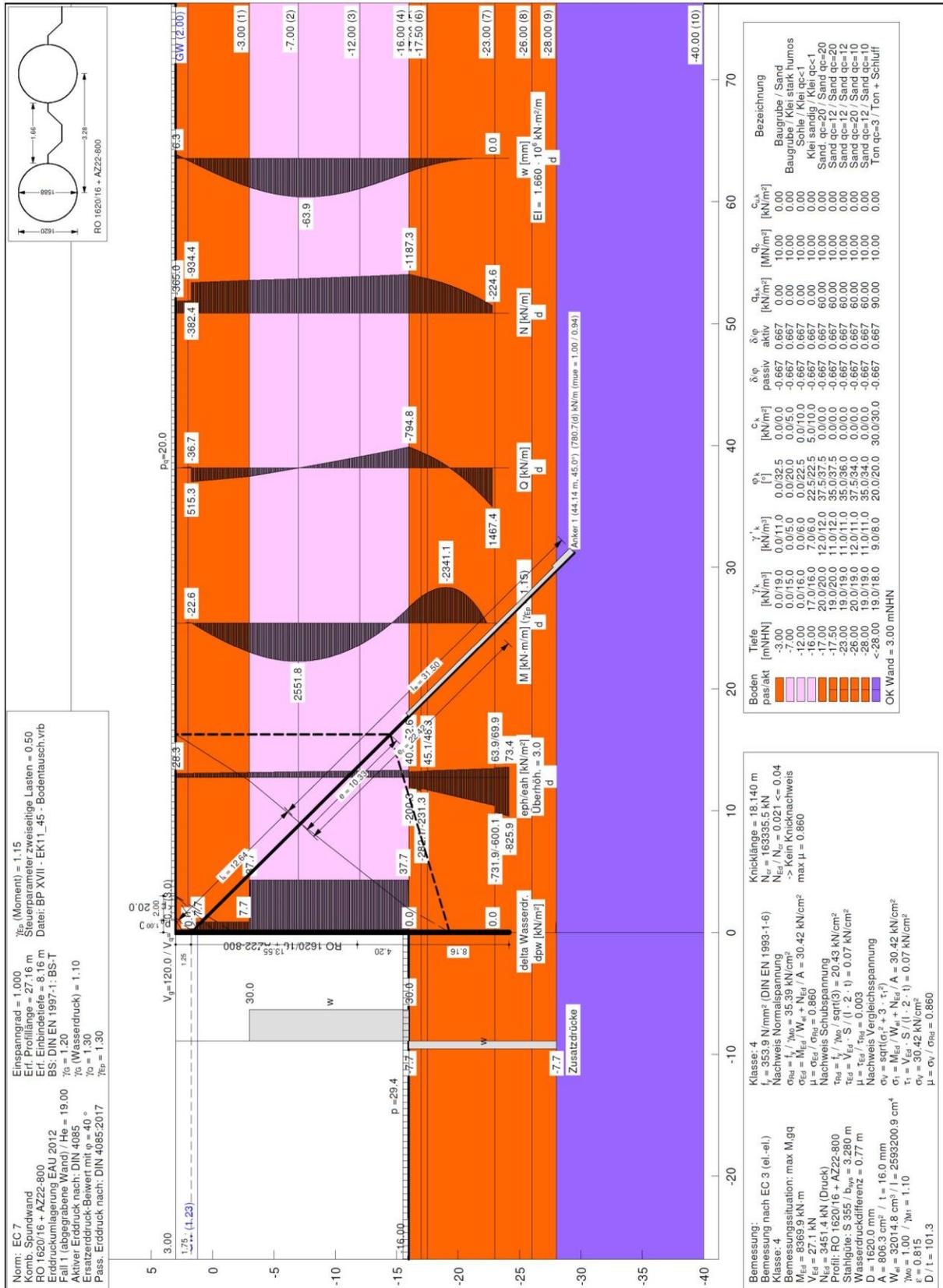
Mantelfläche bis -23.44 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 494.89 / 1.40 = 353.50 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 929.42 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 225.92 + 1389.84 + 2553.26 = 4169.02 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4169.02 / 929.42 = 4.49$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.3.4.4 EK 11 - Nutzlast + Schwerlaststapler + Porenwasserüberdruck (BS-T)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 52.41 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 532.48 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 309.35 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 927.54 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 1261.69 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -975.70 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 324.76 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -22.54 bis -30.64 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-24.16	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -24.16 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 542.79 / 1.40 = 387.70 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 963.63 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 206.29 + 1234.22 + 3070.03 = 4510.54 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4510.54 / 963.63 = 4.68$
 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 52.41 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 532.45 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 309.35 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 927.54 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 1253.77 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -970.94 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 326.95 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -22.54 bis -30.64 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-24.16	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -24.16 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 542.79 / 1.40 = 387.70 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 963.63 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 206.29 + 1234.22 + 2720.59 = 4161.09 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4161.09 / 963.63 = 4.32$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 52.64 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 533.85 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 323.25 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 961.87 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 1277.20 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -990.77 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 330.20$ (Druck) kN/m

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -22.66 bis -30.76 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k}$ [kN/m^2]	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-24.28	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -24.28 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 550.77 / 1.40 = 393.41 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 969.33 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 207.20 + 1292.78 + 2621.17 = 4121.16 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4121.16 / 969.33 = 4.25$
 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.3.4.7 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil BP XVII mit Bodentausch $d = 45^e$

EK	Lastfall										Zusammenfassung GGU							
	01	02		03	4a	4b	05	06	07	08	09	Profilänge l [m]	Max. Med [kNm/m]	Min. Med [kNm/m]	max. l [-]	Ankerkraft N_{Ed} [kN/m]	Ankerlänge [m]	Nachweis ΣV [kN]
BS-P	01	X		X	X							26,5	1826	-1767	0,63	674	41,0	3991
	02	X		X		X						26,5	1738	-1704	0,62	644	44,5	4441
	03	X		X														
	04	X		X				X										
	05	X		X		X			X			26,5	1791	-1751	0,63	753	47,0	4169
	06	X		X						X		E _{u06}	< E _{u03}	= a.w.	N.			
BS-T	10	X		X					X			Nicht maßgebend						
	11	X		X		X				X		27,5	2552	-2342	0,86	781	44,5	4511
	12	X		X					X			27,5	2522	-2322	0,84	851	44,5	4162
	13	X		X		X				X		27,5	2637	-2396	0,87	808	44,0	4122
	14	X		X						X		E _{u14}	< E _u	AA	o.w.			
BS-A	20	X		X		X			X									
	30	X		X		X												
																		Maßgebend $d = 56^e$

9.3.4.8 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt und ergibt sich zu:

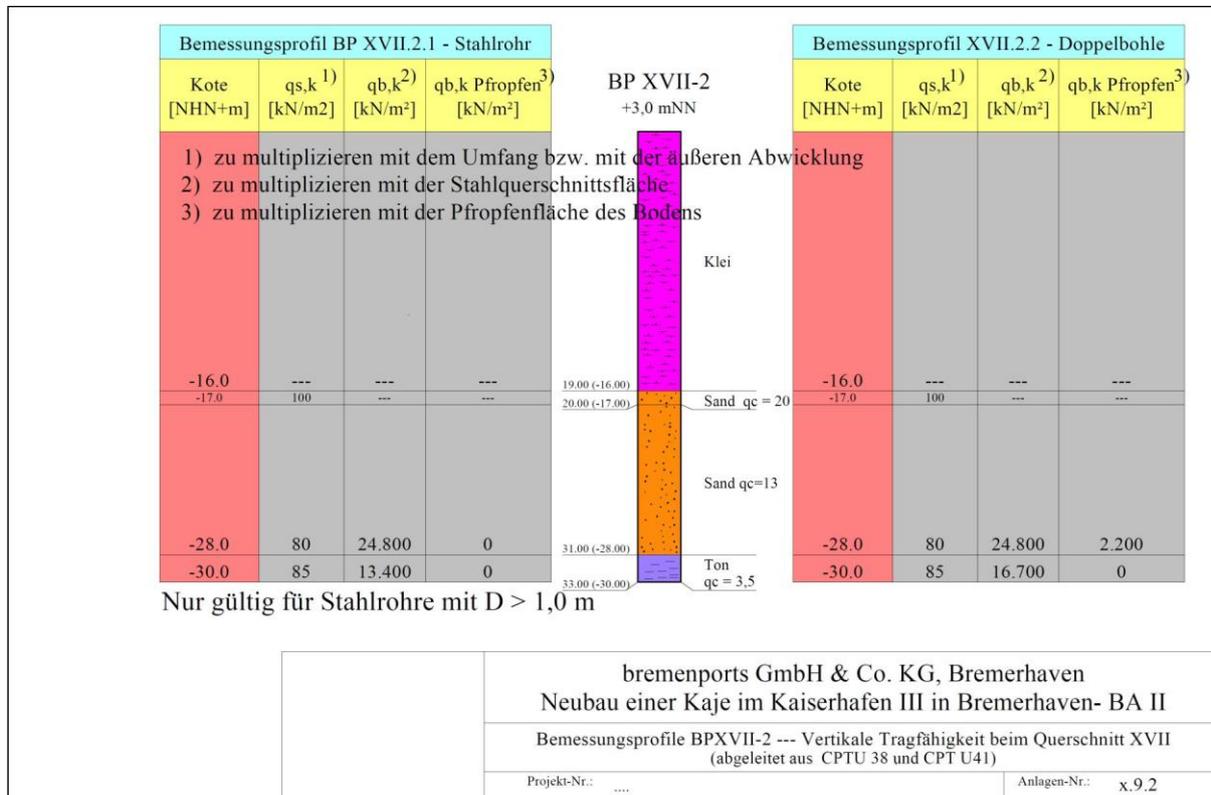


Abbildung 91 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BP XVII - Vertikale Tragfähigkeit 45 - Mit Bodentausch

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahllänge gem. GGU		27,00 m			
Verlängerung infolge ΣV		m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	27,50 m			
Freie Eingabe	$l_p =$	m			
Gewählte Pfahllänge	$l_p =$	27,50 m			

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 226 kN/m =	226 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Nein	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	0,50 m * 8,54 kN/m =	4 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 1328 kN/m =	1.328 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 2891 kN/m =	2.891 kN
	$\Sigma G =$	4445	4.449 kN
	$Q_1 =$		kN
	$Q_2 =$		kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,50	19,50	0	0	1	2,54	19,50	0
2	Sand $q_c=20$	-16,50	-17,00	0,50	0	100	1	2,54	0,50	127
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand $q_c=15$	-17,00	-28,00	11,00	24.800	80	2	5,09	7,50	3.054
5	Ton $q_c=4$	-28,00	-30,00	2,00	13.400	85	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-24,50	27,50	24.800	-				3.181

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfußwiderstand bei $z = -24,50$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 2.000 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 3.181 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 4.449 kN $E_{1,d} =$ 4.449 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 5.180 kN $R_{1,d} =$ 4.710 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 4.449 kN $<$ 4.710 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 94%.

9.3.4.9 Nachweis gegen Herausziehen

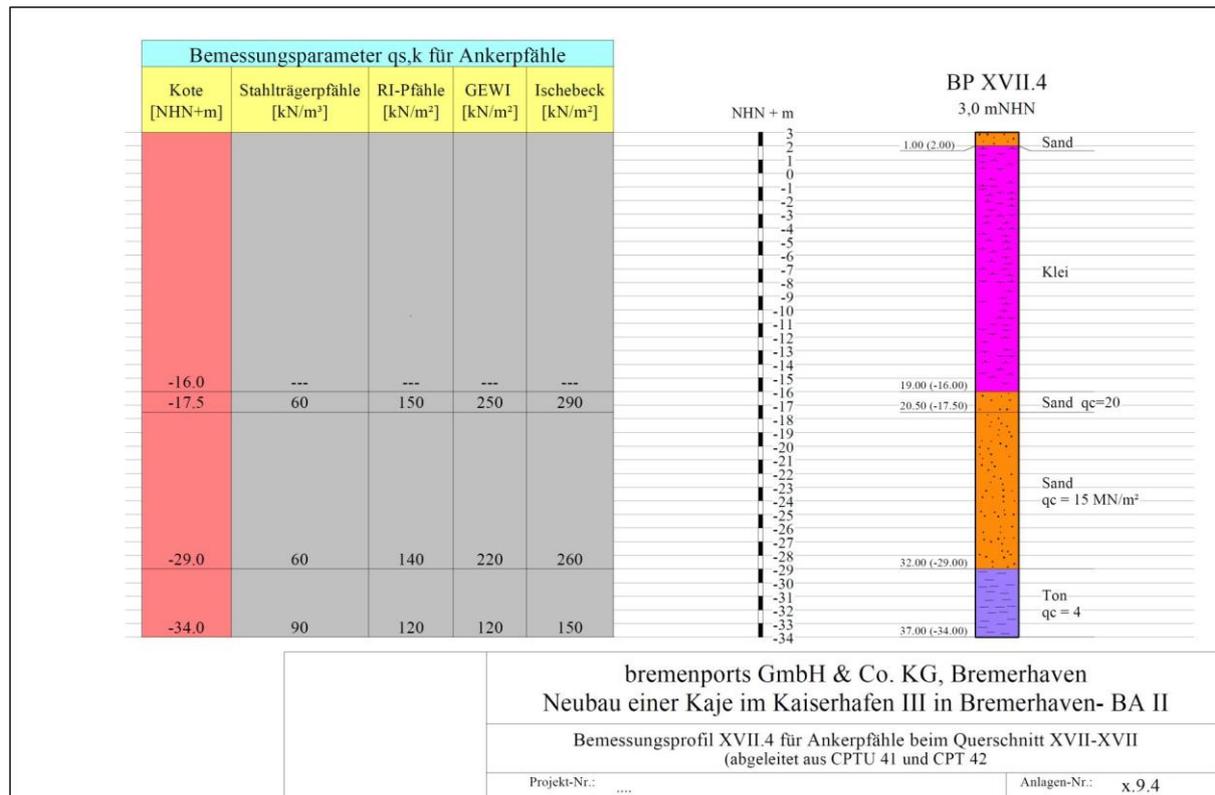


Abbildung 92 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Herausziehewiderstand [U1]

Durch den Bodentausch kommt es zu einer Erhöhung der Vertikalspannungen im Boden und somit zu einer Erhöhung der zulässigen Mantelreibungsspannungen (β -Verfahren; EA Pfähle Abschnitt 4.4). Die erhöhten Mantelreibungsspannungen werden wie folgt ermittelt:

$$q_{sk,neu} = q_{sk,alt} \cdot \sigma_{v,Neu} / \sigma_{v,Alt}$$

Boden	Alt					Neu					$\frac{\sigma_{v,UK,neu}}{\sigma_{v,UK,alt}}$	
	OK [mNN]	UK [mNN]	γ [kN/m³]	d [m]	$\sigma_{v,UK}$ [kN/m²]	Boden	OK [mNN]	UK [mNN]	γ [kN/m³]	d [m]		$\sigma_{v,UK}$ [kN/m²]
Sand, trocken	3,00	2,00	18	1,00	18	Sand, trocken	3,00	2,00	19	1,00	19	1,06
Klei	2,00	-4,00	5	6,00	48	Sand, naß	2,00	-3,00	11	5,00	74	1,54
Klei	-4,00	-16,00	6	8,00	96	Klei	-3,00	-16,00	6	13,00	152	1,58
Sand	-16,00	-17,00	12	1,00	108	Sand	-16,00	-17,00	12	1,00	164	1,52
Sand	-17,00	-29,00	11	12,00	240	Sand	-17,00	-29,00	11	12,00	296	1,23
Ton	-29,00	-34,00	9	5,00	285	Sand	-29,00	-34,00	9	5,00	341	1,20

Konservativ werden die Mantelreibungsspannungen im Sand um rd. 20% erhöht. Im Ton wird auf eine Erhöhung verzichtet.

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 und EK 12 geführt und ergibt sich zu:

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BP XVII - 45 - Herauszieh Widerstand - Mit Bodentausch
 Lastfallkombination: 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: l_p = 43,00 m
 Pfahlneigung: α = 45,00 °
 UK Pfahl: UK= -28,66 mNN
 Ankerraster: a= 3,28 m
 Mantelfläche: U= 2,51 m $\varnothing_{\text{Ersatz}}$ = 0,80 m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-16,00	8,00	0	11,31	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,00	1,00	70	1,41	248	$q_{s,k} = 1,2 \cdot 60 = 72$
4	Sand $q_c=15$	-17,00	-29,00	12,00	70	16,48	2.896	$q_{s,k} = 1,2 \cdot 60 = 72$
5	Ton $q_c=4$	-29,00	-34,00	5,00	90	0,00	0	
6	Annahme Ton $q_c=4$	-34,00	-50,00	16,00	90	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-28,66		42,89	43,00	3145	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d}$ = kN/m $N_{1,d}$ = 0 kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d}$ $N_{1,d}$ = 753 kN/m $E_{1,d}$ = 2.470 kN
 Teilsicherheitsbeiwert: γ_{Fc} = 1,15 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k}$ = 3.145 kN $R_{1,d}$ = 2.734 kN

Nachweis: $E_{1,d}$ = 2.470 kN < 2.734 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 90%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

N_{Ed} = 2.470 kN M_{Ed} = 0 kNm
 A = 173 cm² W_y = 3.489 cm²
 $f_{y,k}$ = 355 N/mm² γ_M = 1,00 -

Nachweis: σ_{Ed} = 143 N/mm² < $f_{y,d}$ = 355 N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 40%.

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BP XVII - 45 - Herauszieh Widerstand - Mit Bodentausch
 Lastfallkombination: 12 - Nutzlast + Pollerzug + Porenwasserüberdruck (BS-T)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 43,00$ m
 Pfahlneigung: $\alpha = 45,00^\circ$
 UK Pfahl: UK= -28,66 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche: $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	13,79	0	
2	Klei	-8,00	-16,00	8,00	0	11,31	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,00	1,00	70	1,41	248	$q_{s,k} = 1,2 \cdot 60 = 72$
4	Sand $q_c=15$	-17,00	-29,00	12,00	70	16,48	2.896	$q_{s,k} = 1,2 \cdot 60 = 72$
5	Ton $q_c=4$	-29,00	-34,00	5,00	90	0,00	0	
6	Annahme Ton $q_c=4$	-34,00	-50,00	16,00	90	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-28,66		42,89	43,00	3145	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 851$ kN/m $E_{1,d} = 2.791$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{Pc} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 3.145$ kN $R_{1,d} = 2.734$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 2.791$ kN > 2.734 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 102%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 2.791$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 161$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 45%.

Im Hinblick auf den nur kurzfristig wirkenden, vollen Porenwasserüberdruck wird die Überschreitung akzeptiert.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 51.25 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 535.67 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 309.36 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 930.71 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 869.05 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -689.64 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 486.45 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -21.94 bis -30.04 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

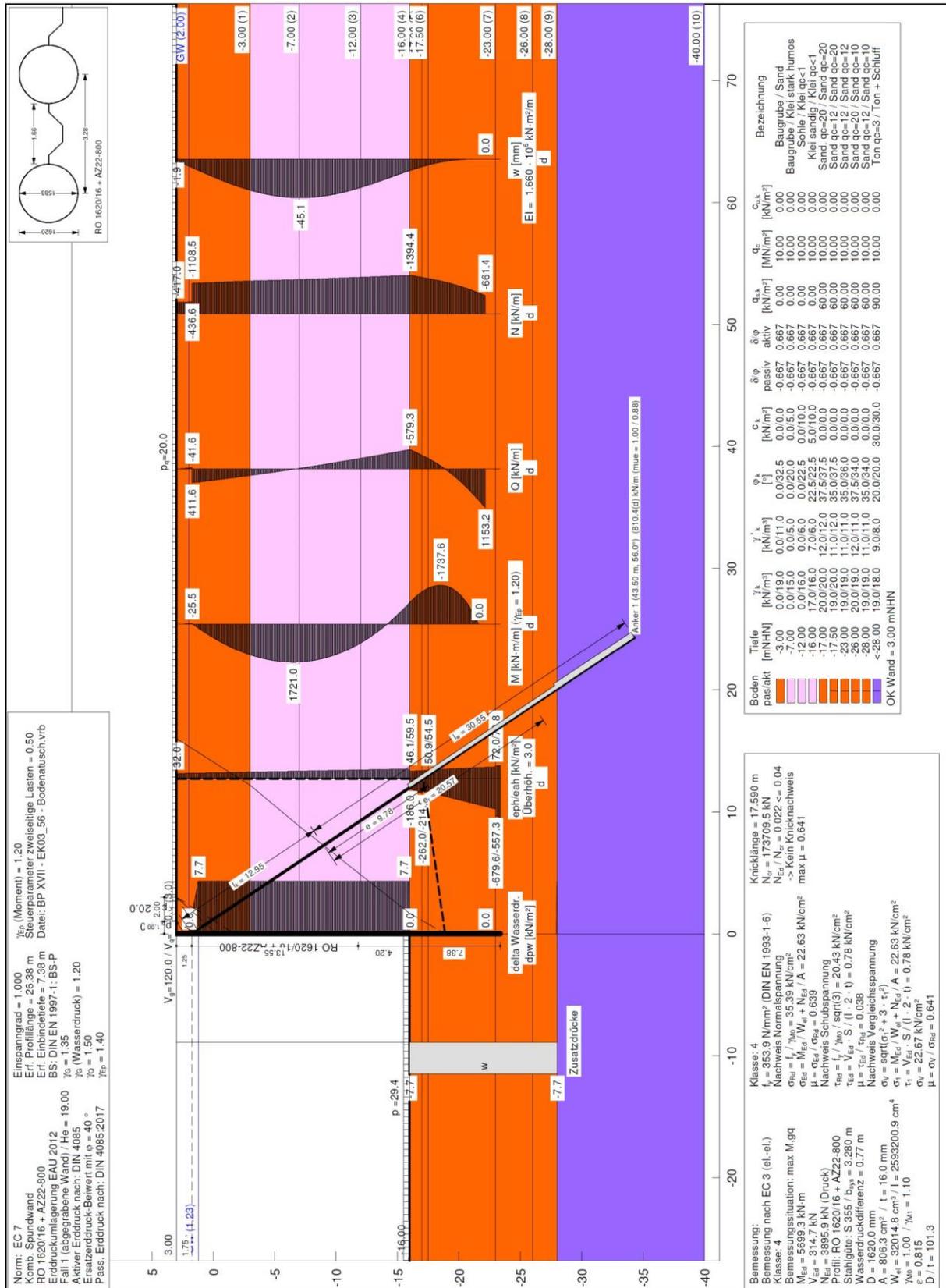
von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-23.56	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -23.56 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 502.88 / 1.40 = 359.20 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 935.13 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 226.95 + 1400.02 + 3131.65 = 4758.62 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4758.62 / 935.13 = 5.09$
 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.3.5.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta[C]) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta[p])$
 $G_{,k} = 50.91 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 533.85 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 294.39 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 893.96 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 853.89 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -673.64 \text{ kN/m}$
 $\delta[p] [^\circ] = -23.3$
 $\delta[C] [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 480.43 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -21.76 bis -29.86 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-23.38	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

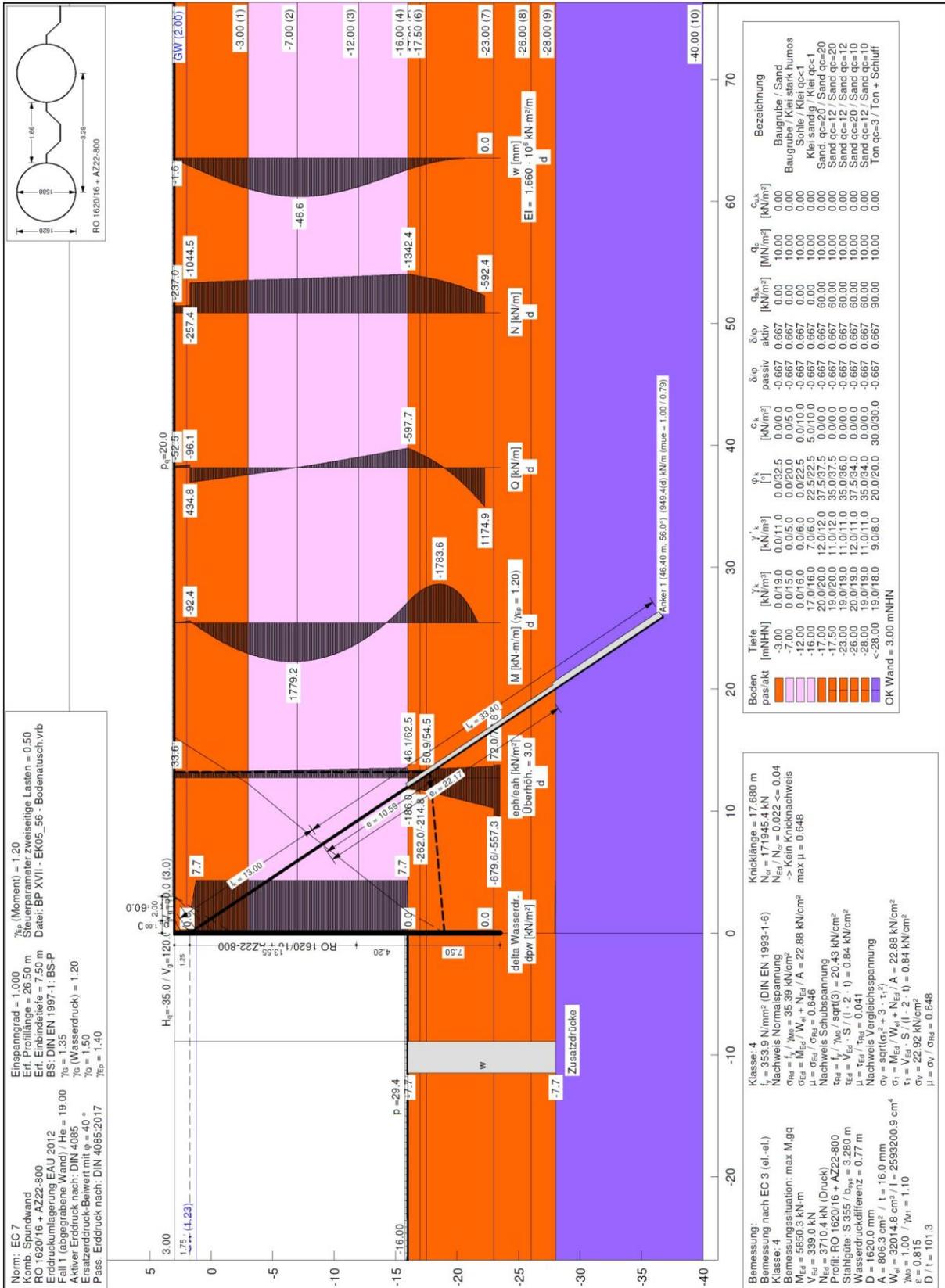
Mantelfläche bis -23.38 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 490.90 / 1.40 = 350.64 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 926.57 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 225.41 + 1327.89 + 3616.04 = 5169.34 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 5169.34 / 926.57 = 5.58$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.3.5.3 EK 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 51.14 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 535.06 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 308.22 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 928.15 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 867.53 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -686.96 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
Summe $V(g+q)_{,k} = 486.78 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -21.88 bis -29.98 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-23.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -23.50 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 498.88 / 1.40 = 356.35 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 932.27 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 226.44 + 1394.92 + 3403.59 = 5024.95 \text{ kN}$

$\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 5024.95 / 932.27 = 5.39$
Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.91 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 651.62 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 294.39 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 893.96 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 852.00 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -672.72 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 598.52 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -21.76 bis -29.86 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-23.38	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -23.38 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 490.90 / 1.40 = 350.64 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 926.57 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 225.41 + 1327.89 + 3549.93 = 5103.23 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 5103.23 / 926.57 = 5.51$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 49.63 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 527.08 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 293.64 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 895.42 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 929.03 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -703.45 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 466.03 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -21.10 bis -29.20 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-22.72	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$

Mantelfläche bis -22.72 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 447.00 / 1.40 = 319.29 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 895.21 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 195.35 + 1175.44 + 2962.75 = 4333.55 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4333.55 / 895.21 = 4.84$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 52.53 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 730.39 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 310.52 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 930.16 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 1269.98 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -980.83 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
Summe $V(g+q)_{,k} = 521.50 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.60 bis -30.70 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-24.22	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -24.22 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 546.78 / 1.40 = 390.56 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 966.48 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 206.75 + 1238.85 + 3967.54 = 5413.13 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 5413.13 / 966.48 = 5.60$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 52.41 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 729.36 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 309.35 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 927.54 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 1267.60 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -977.73 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 521.51 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -22.54 bis -30.64 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-24.16	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

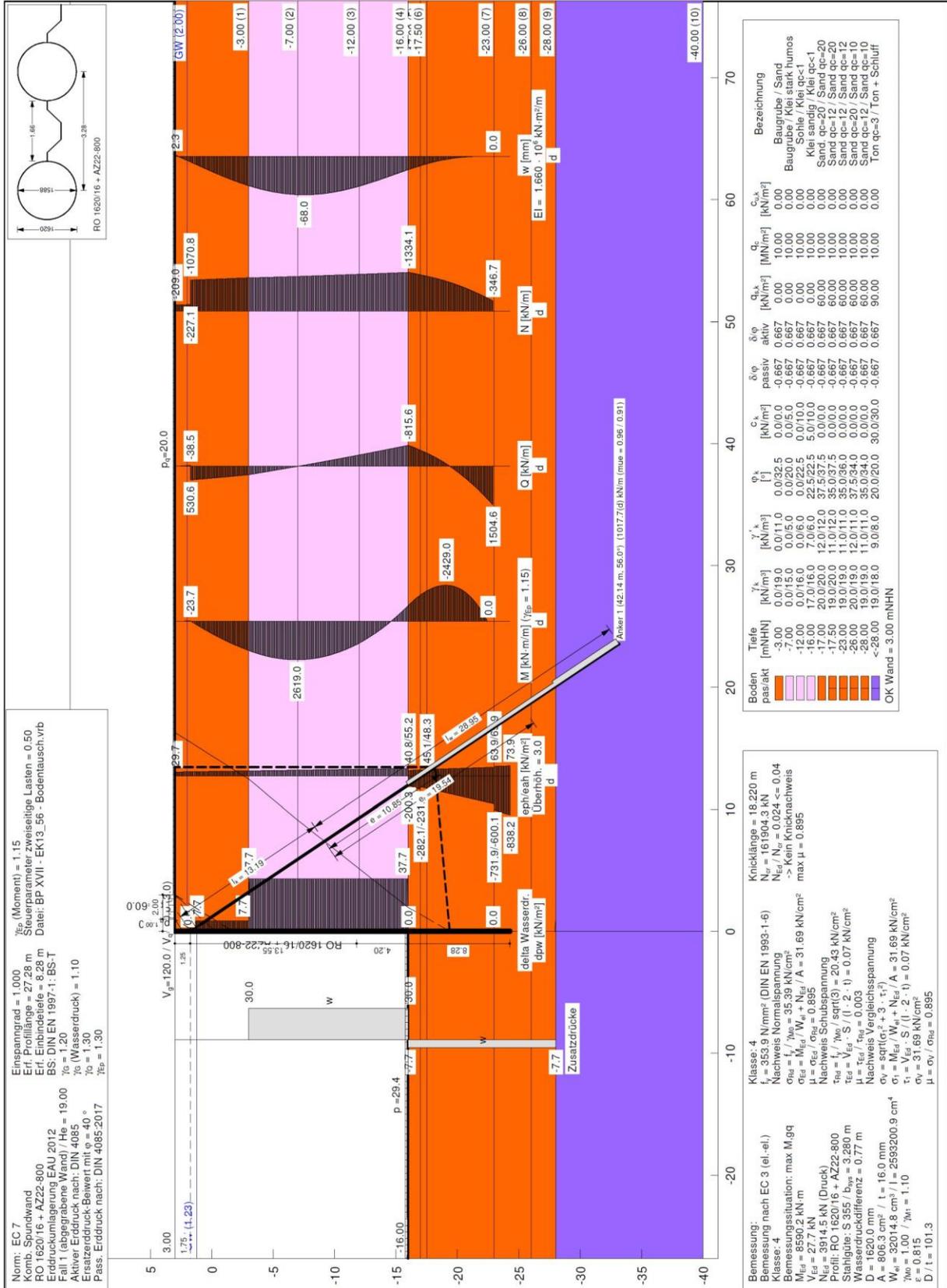
Mantelfläche bis -24.16 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 542.79 / 1.40 = 387.70 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 963.63 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 206.29 + 1234.22 + 3691.94 = 5132.45 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 5132.45 / 963.63 = 5.33$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.3.5.8 EK 13 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Porenwasserüberdruck (BS-T)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 52.64 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 731.45 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 323.25 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 961.87 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 1290.22 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -997.17 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
Summe $V(g+q)_{,k} = 525.58 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.66 bis -30.76 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-24.28	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

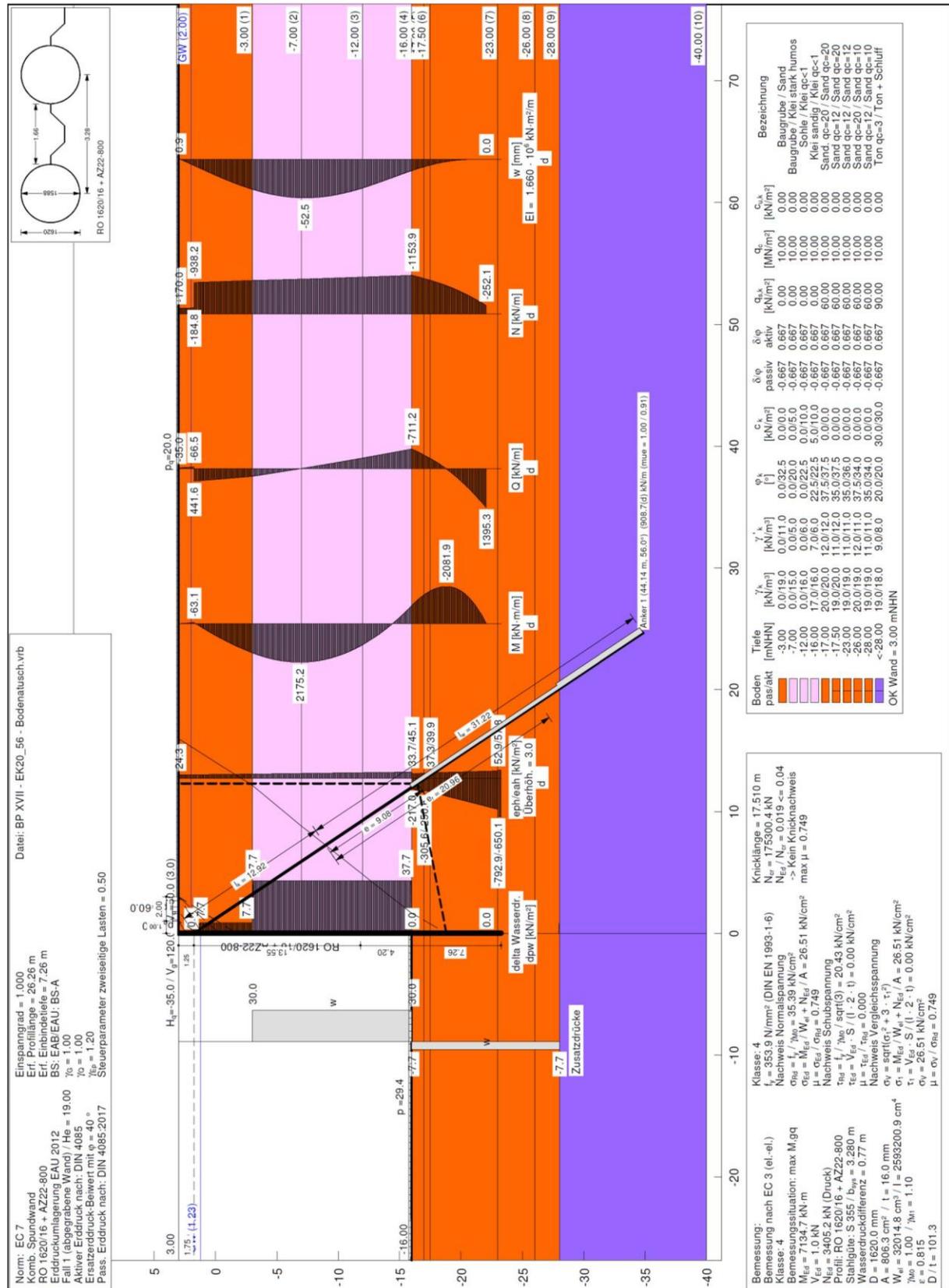
Mantelfläche bis -24.28 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 550.77 / 1.40 = 393.41 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 969.33 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 207.20 + 1292.78 + 3545.11 = 5045.09 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 5045.09 / 969.33 = 5.20$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.3.5.9 EK 20 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-T)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.67 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 713.74 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 303.69 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 917.97 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 1395.30 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -1030.16 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 487.19 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -21.64 bis -29.74 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-23.26	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

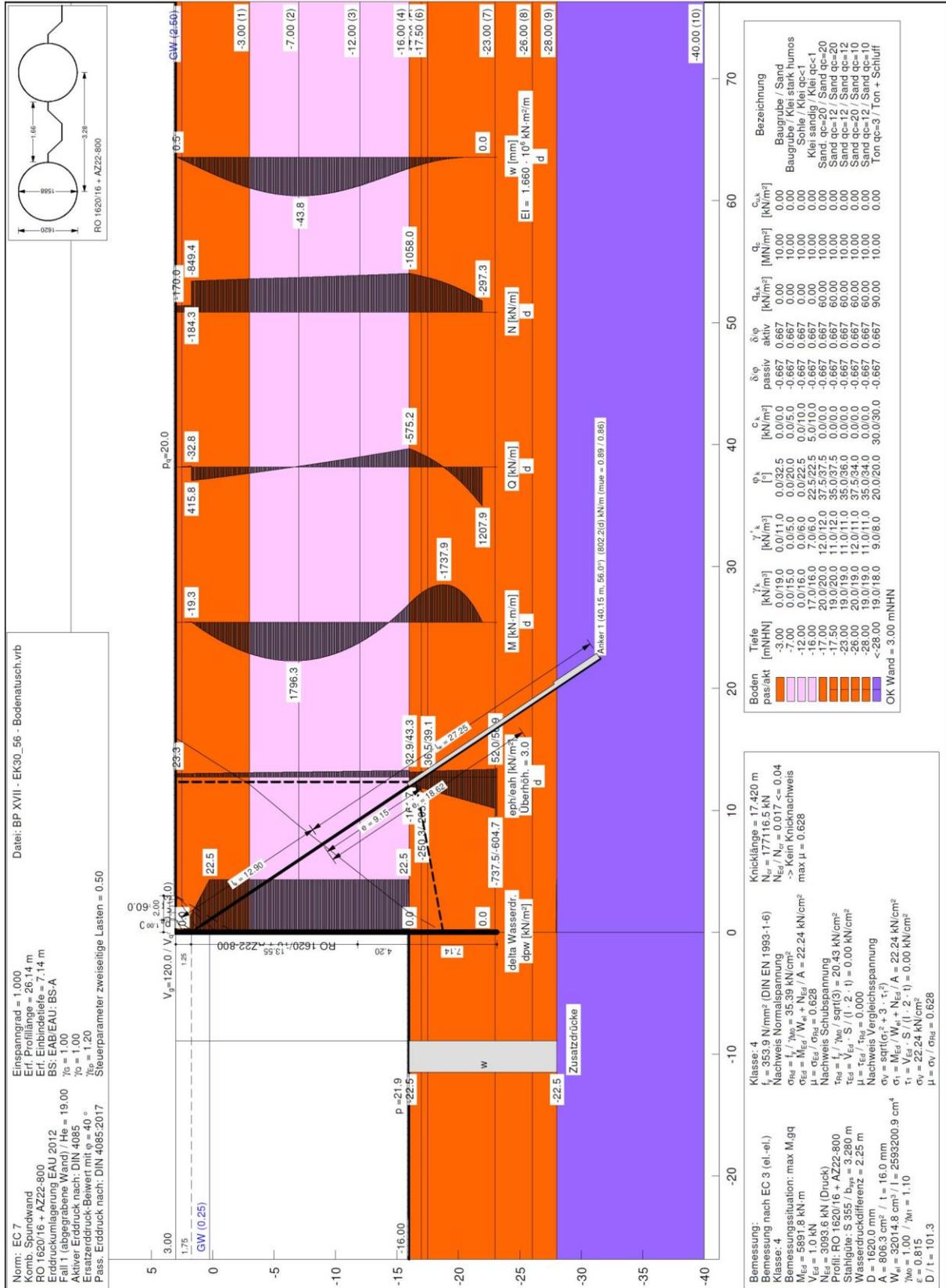
Mantelfläche bis -23.26 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 482.92 / 1.40 = 344.94 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 920.87 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 166.21 + 996.10 + 3028.63 = 4190.94 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 4190.94 / 920.87 = 4.55$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.3.5.10 EK 30 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-A)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 50.44 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 681.49 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 291.76 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 881.99 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 1207.89 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -884.29 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 12.0$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 528.32 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -21.52 bis -29.62 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.00	-17.00	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.00	-17.50	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-23.00	26.67	Sand $q_c=12$ / Sand $q_c=12$
-23.00	-23.14	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -23.14 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 474.94 / 1.40 = 339.24 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 915.17 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 165.45 + 956.98 + 2739.10 = 3861.53 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3861.53 / 915.17 = 4.22$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.3.5.11 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung
 Bemessungsprofil **BP XVII** mit Bodenaustausch $d = 56^\circ$

EK	Lastfall										Zusammenfassung GGU							
	01	02		03	4a	4b	05	06	07	08	09	Profilänge l [m]	Max. M _{Ed} [kNm/m]	Min. M _{Ed} [kNm/m]	max. μ [-]	Ankerkraft N _{Ed} [kN/m]	Ankerlänge [m]	Nachweis ΣV [kN]
BS-P	01	X	-	X	X							27,0	1816	-1797	0,65	850	44,5	4759
	02	X	-	X		X						26,5	1721	-1738	0,64	811	43,5	5170
	03	X	-	X														
	04	X	-	X			X											
	05	X	-	X		X			X			26,5	1780	-1784	0,65	950	46,50	5025
	06	X	-	X						X		26,5	1724	-1731	0,64	811	43,5	5103
BS-T	10	X	-	X			X					26,0	1530	-1595	0,57	827	<44,0	4334
	11	X	-	X			X			X		27,5	2541	-2377	0,89	985	44,5	5413
	12	X	-	X				X				27,5	2511	-2358	0,87	1072	44,0	5133
	13	X	-	X		X						27,5	2649	-2429	0,90	1018	42,5	5045
	14	X	-	X						X				0.w. N.				
BS-A	EK 14 nicht möglich ←											$Q_{u,14} = 170 \text{ kN} > Q_{u,14} = 50 + 18 \cdot 20 + 80 = 168 \text{ kN}$						
	20	X	-	X		X			X			27,0	2176	-2082	0,75	909	44,5	4191
	30	X	X	X		X						26,5	1797	-1738	0,63	803	40,5	3862

9.3.5.12 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 und EK 05 geführt und ergibt sich zu:

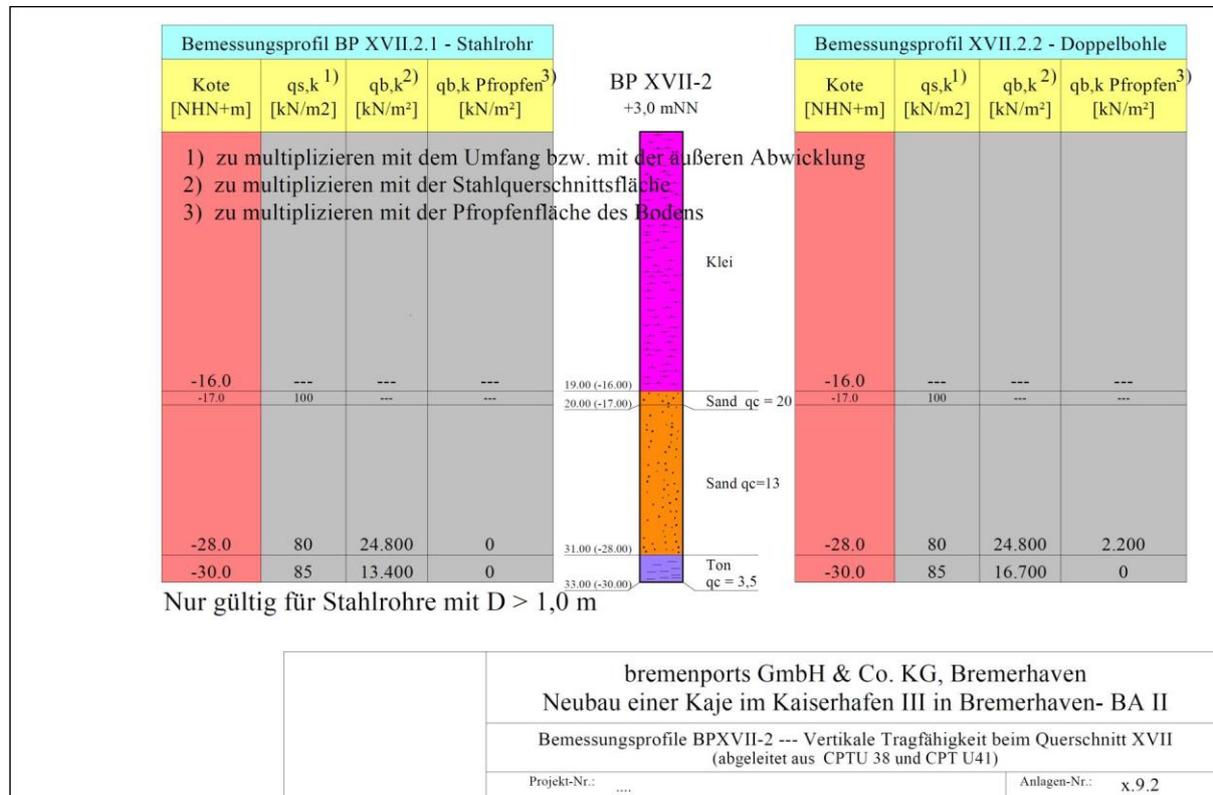


Abbildung 93 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)
 Bemessungsprofil BP XVII - Vertikale Tragfähigkeit 56 - Mit Bodenaustausch -

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdicke	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahllänge gem. GGU		27,50 m			
Verlängerung infolge ΣV		2,00 m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	30,00 m			
Freie Eingabe	$l_p =$	m			
Gewählte Pfahllänge	$l_p =$	30,00 m			

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 226 kN/m =	226 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Nein	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	2,50 m * 8,54 kN/m =	21 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 1328 kN/m =	1.328 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 3617 kN/m =	3.617 kN
	$\Sigma G =$	5171	5.192 kN
	$Q_1 =$	0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$	0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,50	19,50	0	0	1	2,54	19,50	0
2	Sand $q_c=20$	-16,50	-17,00	0,50	0	100	1	2,54	0,50	127
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand $q_c=15$	-17,00	-28,00	11,00	24.800	80	2	5,09	10,00	4.072
5	Ton $q_c=4$	-28,00	-50,00	22,00	13.400	85	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-27,00	30,00	24.800	-				4.199

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfusswiderstand bei $z = -27,00$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 2.000 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 1
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 4.199 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 5.192 kN $E_{1,d} =$ 5.192 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 6.198 kN $R_{1,d} =$ 5.635 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 5.192 kN $<$ 5.635 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 92%.

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

Lastfallkombination **Einwirkungskombination 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)**
 Bemessungsprofil **BP XVII - Vertikale Tragfähigkeit 56 - Mit Bodenaustausch -**

Geometrie

Profil:	RO 1620*16	Rohr	$b_{sys} =$	1,00 m	
Höhe	$h =$	1620 mm	Breite	$w =$	1620 mm
Stegdick	$s =$	16 mm	Flanschdicke	$t =$	16 mm
Stahlquerschnitt	$A =$	806 cm ²		$A =$	0,08 m ²
	$g_k \approx$	6,33 kN/m		$g_d \approx$	8,54 kN/m
Mantelfläche über Fußpkt.	$U_1 =$	2,54 m/m	Mantelfläche unter Fußpkt	$U_2 =$	5,09 m/m
Pfahllänge gem. GGU		27,50 m			
Verlängerung infolge ΣV		0,50 m			
Aufrunden		0,50 m			
	$\Sigma =$	28,50 m			
Freie Eingabe	$l_p =$	m			
Gewählte Pfahllänge	$l_p =$	28,50 m			

Lasteingabe (Bemessungswerte)

Lasten in Eigengewichtsrichtung sind positiv anzusetzen

Profil	$G_1 =$	1,00 m * 226 kN/m =	226 kN
Längenzuschlag in $G_{1,k}$ enthalten?		Nein	
Verlängerung infolge ΣV	$G_2 =$	1,00 m * 8,54 kN/m =	9 kN
Eavd	$G_3 =$	1,00 m * 1328 kN/m =	1.328 kN
Pv,d	$G_4 =$	1,00 m * 3617 kN/m =	3.617 kN
	$\Sigma G =$	5171	5.180 kN
	$Q_1 =$	0 kN/m =	kN
	$Q_2 =$	0 kN/m =	kN
	$\Sigma Q =$	0	0 kN

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schichtdicke [m]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	U_i	U_{mi} [m]	h_M [m]	$R_{s,i,k} = q_{s,k} \times A_M$ [kN]
1	Klei	3,00	-16,50	19,50	0	0	1	2,54	19,50	0
2	Sand qc=20	-16,50	-17,00	0,50	0	0	1	2,54	0,50	0
3	UK FB	-17,00	-17,00	0,00	0	0	1	2,54	0,00	0
4	Sand qc=15	-17,00	-28,00	11,00	24.800	0	2	5,09	8,50	0
5	Ton qc=4	-28,00	-50,00	22,00	13.400	0	2	5,09	0,00	0
-	Pfahl	3,00	-25,50	28,50	24.800	-				0

Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_{1,d} = \gamma_{G,dest} \times \Sigma G_k + \gamma_{Q,dest} \times \Sigma Q_k < R_{1,d} = (R_{b,1,k} + R_{s,1,k}) / \gamma_{Fc}$$

Pfahlfusswiderstand bei $z = -25,50$ mNN $R_{b,k} = n \times A_B \times q_{b,k} =$ 5.999 kN Faktor Stahlquerschnitt $n =$ 3
 Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k} = \Sigma R_{s,i,k} =$ 0 kN

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,dest} =$ 1,00 $\gamma_{Q,dest} =$ 1,00
 $\gamma_{Fc} =$ 1,10 (Bei Probelastung d. Pfähle auf Druck)

Einwirkung: $E_{1,k} =$ 5.180 kN $E_{1,d} =$ 5.180 kN
 Widerstand: $R_{1,k} =$ 5.999 kN $R_{1,d} =$ 5.454 kN

Nachweis: $E_{1,d} =$ 5.180 kN $<$ 5.454 kN $= R_{1,d}$
 Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 95%.

Die Rohre werden eingestellt und die Aufstandsfläche mit Blechen vergrößert. Konservativ wird keine Mantelreibung angesetzt.

9.3.5.13 Nachweis gegen Herausziehen

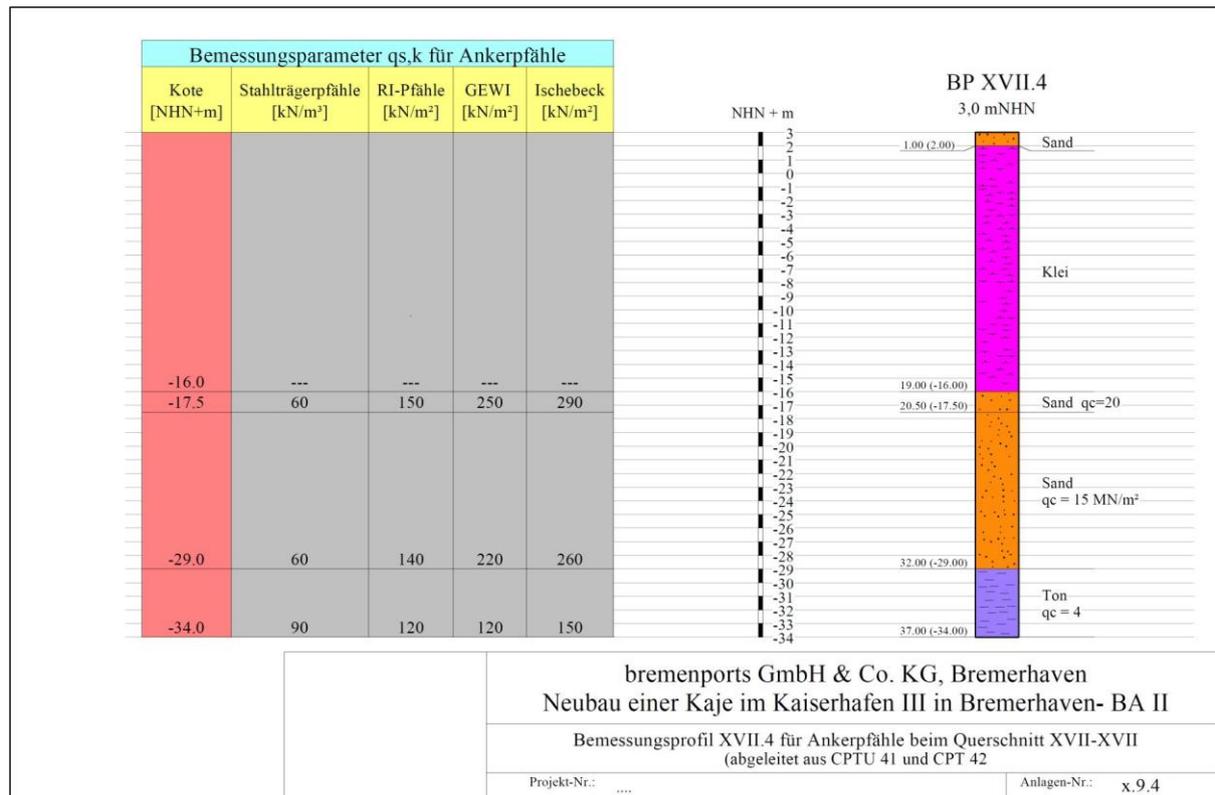


Abbildung 94 Bemessungsprofil XVII - Bodenkennwerte Herausziehungswiderstand [U1]

Durch den Bodentausch kommt es zu einer Erhöhung der Vertikalspannungen im Boden und somit zu einer Erhöhung der zulässigen Mantelreibungsspannungen (β -Verfahren; EA Pfähle Abschnitt 4.4). Die erhöhten Mantelreibungsspannungen werden wie folgt ermittelt:

$$q_{sk,neu} = q_{sk,alt} \cdot \sigma_{v,Neu} / \sigma_{v,Alt}$$

Boden	Alt					Neu					$\frac{\sigma_{v,UK,neu}}{\sigma_{v,UK,alt}}$	
	OK [mNN]	UK [mNN]	γ [kN/m ³]	d [m]	$\sigma_{v,UK}$ [kN/m ²]	Boden	OK [mNN]	UK [mNN]	γ [kN/m ³]	d [m]		$\sigma_{v,UK}$ [kN/m ²]
Sand, trocken	3,00	2,00	18	1,00	18	Sand, trocken	3,00	2,00	19	1,00	19	1,06
Klei	2,00	-4,00	5	6,00	48	Sand, naß	2,00	-3,00	11	5,00	74	1,54
Klei	-4,00	-16,00	6	8,00	96	Klei	-3,00	-16,00	6	13,00	152	1,58
Sand	-16,00	-17,00	12	1,00	108	Sand	-16,00	-17,00	12	1,00	164	1,52
Sand	-17,00	-29,00	11	12,00	240	Sand	-17,00	-29,00	11	12,00	296	1,23
Ton	-29,00	-34,00	9	5,00	285	Sand	-29,00	-34,00	9	5,00	341	1,20

Konservativ werden die Mantelreibungsspannungen im Sand um rd. 20% erhöht. Im Ton wird auf eine Erhöhung verzichtet.

Der Nachweis gegen Herausziehen wird für die Einwirkungskombinationen EK 05 und EK 12 geführt und ergibt sich zu:

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BP XVII - 56 - Herauszieh Widerstand - Mit Bodentausch -
 Lastfallkombination: 05 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Pollerzug (BS-P)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 43,00$ m
 Pfahlneigung: $\alpha = 56,00^\circ$
 UK Pfahl: UK= -33,90 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche: $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	11,76	0	
2	Klei	-8,00	-16,00	8,00	0	9,65	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,00	1,00	70	1,21	212	$q_{s,k} = 1,2 \times 60 = 72$
4	Sand $q_c=15$	-17,00	-29,00	12,00	70	14,47	2.543	$q_{s,k} = 1,2 \times 60 = 72$
5	Ton $q_c=4$	-29,00	-34,00	5,00	90	5,91	1.335	
6	Annahme Ton $q_c=4$	-34,00	-50,00	16,00	90	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-33,90		52,16	43,00	4090	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 950$ kN/m $E_{1,d} = 3.116$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{Fc} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 4.090$ kN $R_{1,d} = 3.556$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 3.116$ kN < 3.556 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 88%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 3.116$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 180$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 51%.

Nachweis des Herauszieh Widerstands

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BP XVII - 56 - Herauszieh Widerstand - Mit Bodentausch -
 Lastfallkombination: 12 - Nutzlast + Pollerzug + Porenwasserüberdruck (BS-T)

Pfahlgeometrie

Profil: HTM 600/136
 OK Pfahl: OK= 1,75 mNN
 Pfahllänge: $l_p = 43,00$ m
 Pfahlneigung: $\alpha = 56,00^\circ$
 UK Pfahl: UK= -33,90 mNN
 Ankerraster: $a = 3,28$ m
 Mantelfläche: $U = 2,51$ m $\varnothing_{\text{Ersatz}} = 0,80$ m

Bodenkennwerte

Nr	Bodenschicht Bezeichnung	OK [mNN]	UK [mNN]	Schicht- dicke [m]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	l_M [m]	$q_{s,k} \times l_M$ [kN]	Anmerkungen
1	Erddruck-Gleitlinie	1,75	-8,00	9,75	0	11,76	0	
2	Klei	-8,00	-16,00	8,00	0	9,65	0	
3	Sand $q_c=20$	-16,00	-17,00	1,00	70	1,21	212	$q_{s,k} = 1,2 \cdot 60 = 72$
4	Sand $q_c=15$	-17,00	-29,00	12,00	70	14,47	2.543	$q_{s,k} = 1,2 \cdot 60 = 72$
5	Ton $q_c=4$	-29,00	-34,00	5,00	90	5,91	1.335	
6	Annahme Ton $q_c=4$	-34,00	-50,00	16,00	90	0,00	0	
-	Pfahl	1,75	-33,90		52,16	43,00	4090	

Nachweis der äußeren Tragfähigkeit

NR: Horizontale Ankerkraft $a_{H,d} =$ kN/m $N_{1,d} = 0$ kN/m
 Ankernormalkraft $e_{1,d} = N_{1,d} = 1.075$ kN/m $E_{1,d} = 3.526$ kN
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_{Pc} = 1,15$ (Bei Probelastung d. Pfähle auf Zug)
 Widerstand: $R_{1,k} = 4.090$ kN $R_{1,d} = 3.556$ kN

Nachweis: $E_{1,d} = 3.526$ kN < 3.556 kN = $R_{1,d}$
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 99%.

Nachweis der inneren Tragfähigkeit

$N_{Ed} = 3.526$ kN $M_{Ed} = 0$ kNm
 $A = 173$ cm² $W_y = 3.489$ cm²
 $f_{y,k} = 355$ N/mm² $\gamma_M = 1,00$

Nachweis: $\sigma_{Ed} = 204$ N/mm² < $f_{y,d} = 355$ N/mm²
Der Nachweis wurde erfüllt, die Ausnutzung beträgt 57%.

9.4 Bemessungsprofil XVIII

9.4.1 Übersicht

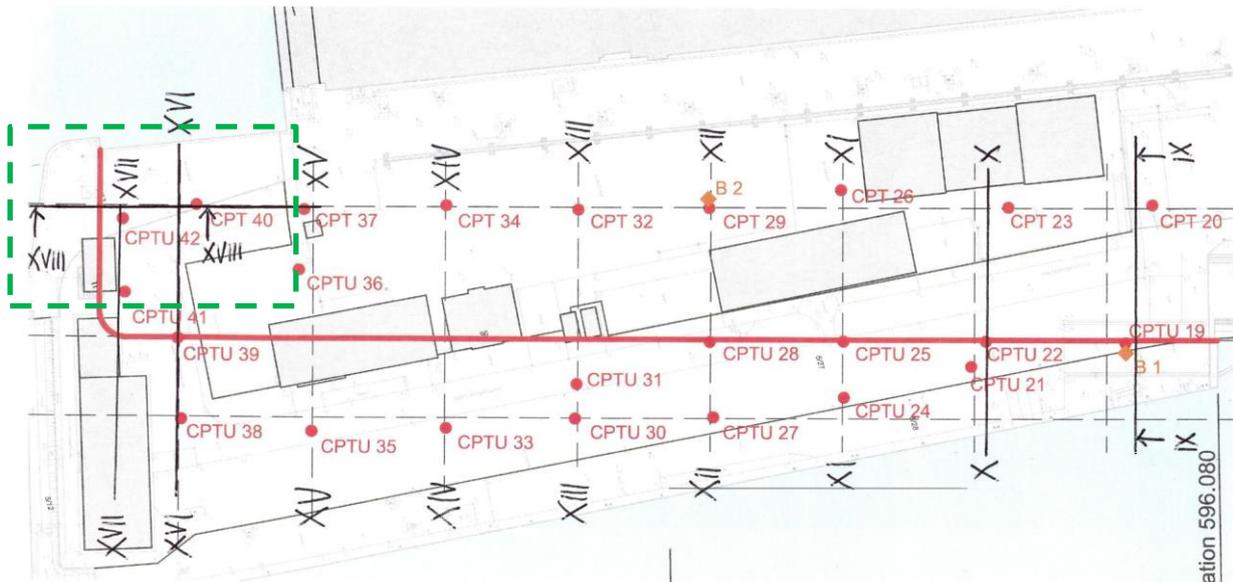


Abbildung 95 Bemessungsprofil XVIII - Lage [U1]

9.4.2 Bodenkennwerte Erddruck

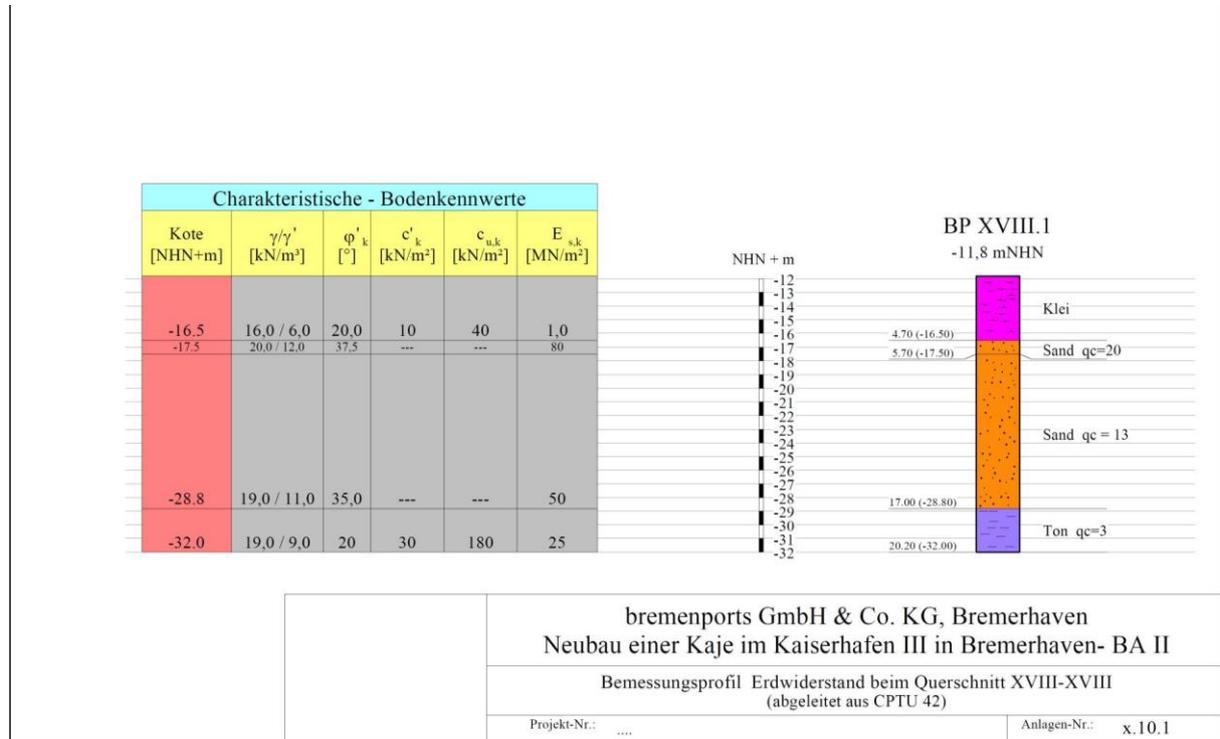


Abbildung 96 Bemessungsprofil XVIII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

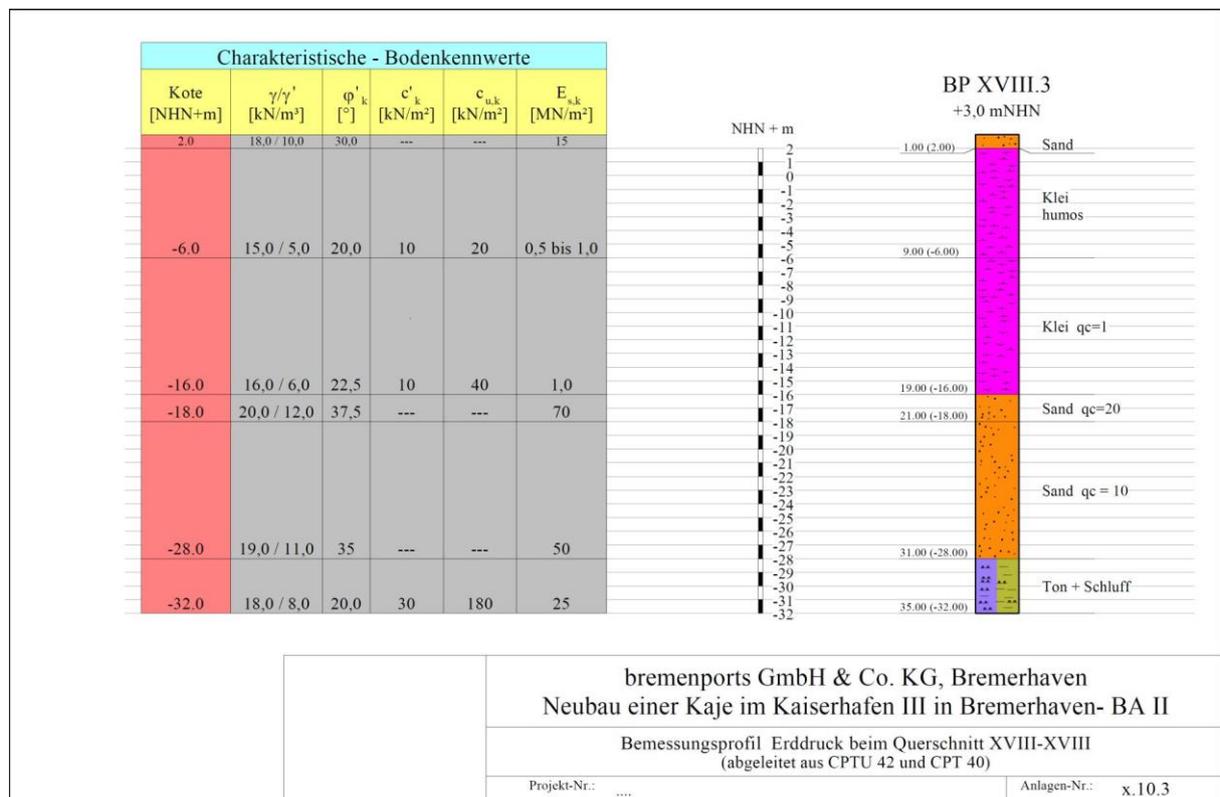


Abbildung 97 Bemessungsprofil XVIII - Bodenkennwerte Erddruck [U1]

9.4.3 Besondere Berechnungsannahmen

- Der Klei im Erdwiderstandsbereich wird für die Bemessungssituation BS-P nur als Auflast angesetzt. Eine horizontale, stützende Wirkung darf im Hinblick auf die hydraulische Gradienten in der Bemessungssituation BS-A (Klei wird gewichtslos) und die damit einhergehenden, dauerhaften Verformungen der Wand nicht angesetzt werden.

Die Auflast ergibt sich in Abhängigkeit zur Bemessungssituation wie folgt:

$$BS-P = (-11,80 + 16,50) * 6 = 28,20 \text{ kN/m}^2$$

$$BS-A = 28,20 - 7,50 = 20,70 \text{ kN/m}^2$$

- Ansatz von $\gamma_{EP,red}$
- Ermittlung des Erdwiderstands mit gekrümmten Gleitflächen $\rightarrow \delta_{p,k} = \varphi'_{,k}$
- Die Schnittgrößenermittlung erfolgt unter Berücksichtigung der Dehnsteifigkeit der Rundstahlanker (M 90)
 $EA = 21.000 * 38,48 / 3,28 = 2,46E05 \text{ kN/m}$
- Zwischen GOK und -3,00 mNN wird der vorhandene Boden gegen Sand ($\gamma / \gamma' = 19/11 \text{ kN/m}^3$; $\varphi' = 32,5^\circ$) ausgetauscht um eine Verankerung mittels Ankertafel zu ermöglichen.
- Durch den Bodentausch entsteht im Klei zeitweise ein Porenwasserüberdruck. Dieser ergibt sich wie folgt:
 $P_{WÜ} = (2,00 \text{ mNN} - -3,00 \text{ mNN}) * (11 \text{ kN/m}^3 - 5 \text{ kN/m}^3) = 30 \text{ kN/m}^2$
- Durch den Bodentausch entsteht eine negative Mantelreibung, diese wird bis UK Klei auf -16,00 mNN angesetzt. Die Negative Mantelreibung wird durch die folgenden Erfahrungswerte begrenzt:
Sand: $\max \tau_{f,k} = 0,25 * \sigma_v \leq 50 \text{ kN/m}^2$
Bindige Böden: $\max \tau_{cu,k} = 0,50 * c_u$
- Für die Berechnung mittels GGU Retain wird nur die Differenz von negativer Mantelreibung und aktivem Erddruck ($\Delta F_{k,GGU}$) angesetzt.

Berechnung des aktiven Erdrucks nach Müller-Breslau

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 BP XVIII

Bemessungsprofil:
 Anmerkung:

$$K_{\text{aktiv}} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_a) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \delta_a)}} \right]^2} K_{\text{aktiv}} = \frac{2 \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \varphi \cdot \cos(\alpha + \delta_a)}{[1 + \sin(\varphi + \alpha + \delta_a - \beta)] \cdot \cos \alpha}$$

GOK= 3 mNN $\gamma/\phi = 1,35$
 $\alpha = 0^\circ$ $\gamma/\alpha = 1,50$
 $\beta = 0^\circ$
 $\delta/\varphi = 0,867$
 $g = 0 \text{ kN/m}^2$
 $\Delta \sigma_x = \text{depon setzungswirksame Konsolidierungspg.}$
 $q = 20 \text{ kN/m}^2$
 Grundwasserstand 2 mNN
 Hafenwasserstand 1,23 mNN
 $m \text{ min } k_{\text{sp}} = 0,18$

Ohne Berücksichtigung des Mindesterdrucks!

Schicht	Kote [mNN]	h [m]	γ [kN/m³]	$\Delta \gamma$ [kN/m³]	φ [°]	c' [kN/m²]	c_u [kN/m²]	U_{set} [-]	δ_a [°]	k_{sp} [-]	k_{san} [-]	σ_{vs} [kN/m²]	$e_{\text{vs},k}$ [kN/m²]	Δu_k [kN/m²]	$e_{\text{vs},k} + \Delta u_k$ [kN/m²]	$\Sigma e_{\text{vs},k}$ [kN/m²]	$e_{\text{vs},k}$ [kN/m²]	$e_{\text{vs},k}$ [kN/m²]	$P_{\text{vs},k}$ [kN/m]	$E_{\text{vs},k}$ [kN/m]										
Sand trocken	OK 3,00 UK 2,00	1	19,00		32,5			1,00	21,7	0,25	0,87	0,00	5,01	0	5,01	5	0,00	0,00	2	2	1	2								
Sand nass	OK 2,00 UK -1,00	3	11,00		32,5			1,00	21,7	0,25	0,87	19,00	5,01	4,76	10	10	5,01	5,01	27	15	11	6								
Klei stark humos	OK -1,00 UK -7,00	6	5,00		20,0	5,0	20,0	1,00	13,3	0,43	1,18	52,00	-5,90	22,16	25	16 >	8,52	8,52	171	51	-35	41	12	-8						
Klei qc<1	OK -7,00 UK -16,00	9	6,00		22,5	10,0	40,0	1,00	15,0	0,38	1,11	82,00	-5,90	31,48	28	20 >	7,68	7,68	377	89	-100	101	19	-27						
Sand qc=20	OK -16,00 UK -18,00	2	12,00		37,5			1,00	25,0	0,20	0,76	136,00	4,01	27,26	31	27	4,01	4,01	59	8		28	4							
Sand qc=10	OK -18,00 UK -28,00	10	11,00		36,0			1,00	24,0	0,21	0,79	160,00	4,29	34,33	36	32	4,29	4,29	461	43		206	19							
Ton + Schluff	OK -28,00 UK -32,00	4	8,00		20,0	30,0	180,0	1,00	13,3	0,43	1,18	270,00	-35,40	115,05	88	80 >	8,52	-35,40	487	34	-142	116	8	-34						
												302,00	-35,40	128,69	102	93 >	8,52													
													$\Sigma E_{\text{vs},k}$	1585	0	-277	225	$\Sigma E_x =$	1585	0	-277	225	$\Sigma E_x =$	1585	0	-277	502	70	-69	
													$\Sigma E_{\text{vs},k}$	2140	0	-374	338	$\Sigma E_{\text{vs},k}$	2140	0	-374	338	$\Sigma E_{\text{vs},k}$	2140	0	-374	678	104	-93	
													$\Sigma E_{\text{vs},k}$	1534				$\Sigma E_{\text{vs},k}$	1534				$\Sigma E_{\text{vs},k}$	1534			503			
													$\Sigma E_{\text{vs},k}$	2104				$\Sigma E_{\text{vs},k}$	2104				$\Sigma E_{\text{vs},k}$	2104			689			
													$Z =$	-16,00	mNN			$Z =$	-16,00	mNN			$Z =$	-16,00	mNN					
													$\Sigma E_x =$	577	0	140	-135	153	39	-35										
													$\Sigma E_x =$	582				$\Sigma E_x =$	582				$\Sigma E_x =$	582			157			

Hinweis zur Berechnung:

Bei Eingabe eines Verfestigungsgrades des Bodens $U_{\text{set}} < 1,0$ und einer setzungswirksamen Konsolidierungsspannung $\Delta u > 0$, erzeugt diese einen Porenwasserüberdruck $\Delta u = \Delta \sigma' \cdot (1 - U_{\text{set}})$. Die verbleibenden nicht setzungswirksamen Vertikalspannungen $\sigma_{\text{vs}} = \sigma_{\text{vs},g} - \Delta u_k$ erzeugen einen Erdruck $e_{\text{vs},k}$ ($e_{\text{vs},k} > 0$) bzw. einen Porenwasserdruck u ($u < 0$). Erd- und Porenwasserdruck werden gemeinsam als $e_{\text{vs},k}$ ausgewiesen.

UK kompressible Schicht

Berechnung der negativen Mantelreibung

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bereich: BP XVIII

Bemessungsprofil:

Geländeoberkante GOK= 3 mNN
 Neigung der Spundwand $\alpha = 0^\circ$
 Neigung der Geländeoberfläche $\beta = 0^\circ$
 Wandreibungswinkel $\delta / \varphi = 1,000$
 Ständige Flächenlast $q_k = 0 \text{ kN/m}^2$
 Veränderliche Flächenlast $q_k = 0 \text{ kN/m}^2$
 Grundwasserstand 2 mNN
 Hafengewässerstand 1,23 mNN

mit $K_0 = 1 - \sin \varphi'$

$\tau_{n\varphi,k} = K_0 \cdot \sigma'_{zz} \cdot \tan \varphi'$

$\tau_{nc,k} = \alpha_n \cdot c_{uk}$

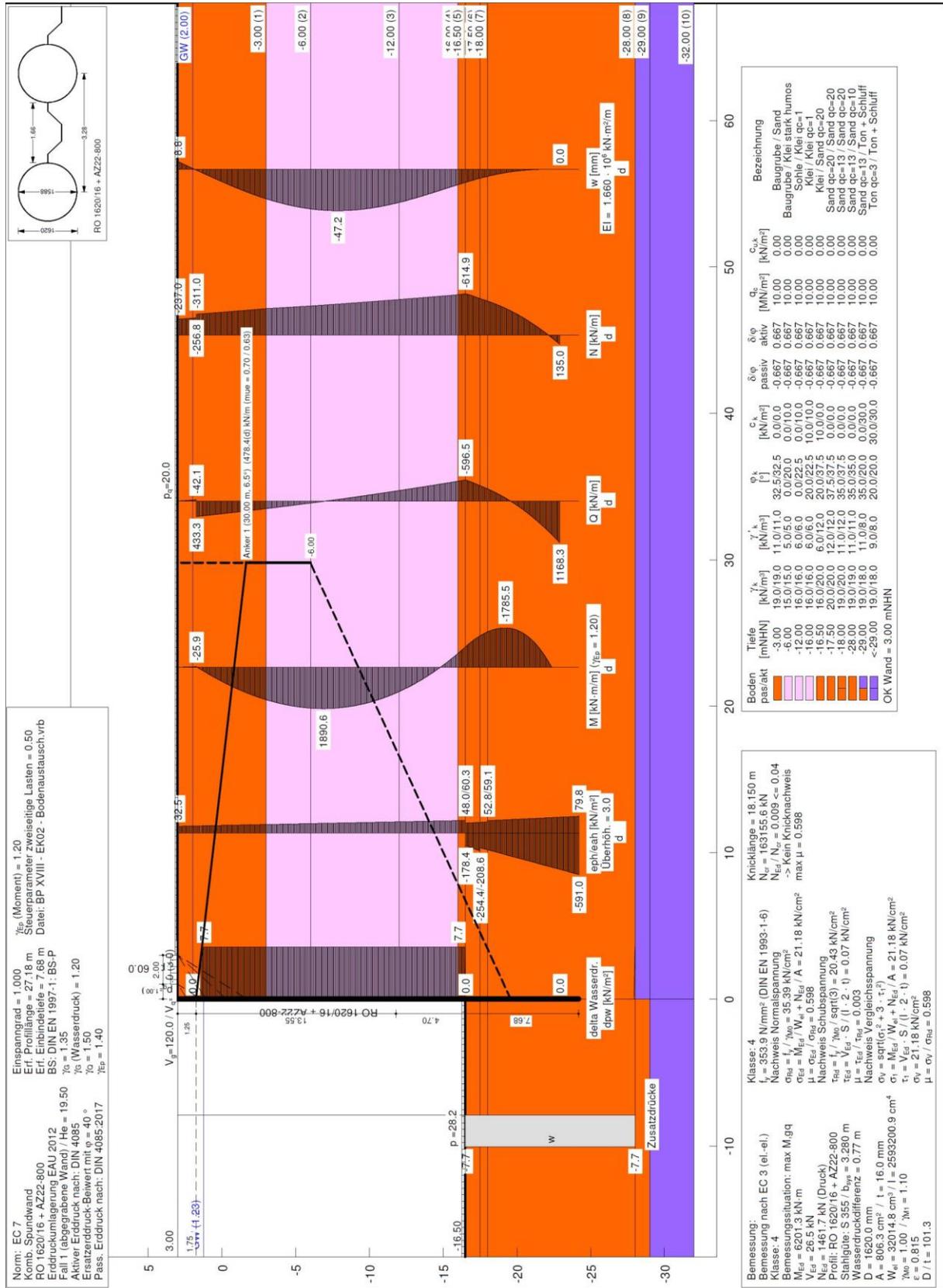
Rechnerische neg. Mantelreibung

Schicht	Kote [mNN]	h [m]	γ [kN/m ³]	$\Delta\gamma$ [kN/m ²]	φ' [°]	c' [kN/m ²]	c_u [kN/m ²]	δ [°]	k_0	β_n	$\sigma'_{zz,g}$ [kN/m ²]	$\tau_{ng,k}$ [kN/m ²]	$\tau_{n\varphi,k}$ [kN/m ²]	$\tau_{nc,k}$ [kN/m ²]	$F_{ng,k}$ [kN/m]	$F_{n\varphi,k}$ [kN/m]	$F_{nc,k}$ [kN/m]	max $F_{\varphi,k}$ [kN/m]	max $F_{ou,k}$ [kN/m]	F_k [kN/m]	$\Sigma F_{k,ogu}$ [kN/m]
Sand trocken	OK 3,00 UK 2,00	1,0	19,00	+/- 0,00	32,5	0,0	0,0	32,5	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	0	2,38	0,00	2,38	1,43
Sand nass	OK 2,00 UK -1,00	3,0	11,00	+/- 0,00	32,5	0,0	0,0	32,5	0,46	0,00	19,00	5,60	0,00	0,00	31,39	0,00	0	26,63	0,00	26,63	16,02
Klei stark humos	OK -1,00 UK -7,00	6,0	5,00	+/- 0,00	20,0	5,0	20,0	20,0	0,66	1,00	52,00	12,45	0,00	20,00	96,27	0,00	120,00	100,50	60,00	60,00	19,38
Klei qc<1	OK -7,00 UK -16,00	9,0	6,00	+/- 0,00	22,5	10,0	40,0	22,5	0,62	1,00	82,00	19,64	0,00	40,00	250,84	0,00	360,00	245,25	180,00	180,00	79,04
Sand qc=20	OK -16,00 UK -18,00	2,0	12,00	+/- 0,00	37,5	0,0	0,0	37,5	0,39	0,00	136,00	40,83	0,00	0,00	88,86	0,00	0	74,00	0,00	74,00	46,32
Sand qc=10	OK -18,00 UK -28,00	10,0	11,00	+/- 0,00	36,0	0,0	0,0	36,0	0,41	0,00	160,00	47,92	0,00	0,00	643,91	0,00	0	478,64	0,00	478,64	273,13
Ton + Schluff	OK -28,00 UK -32,00	4,0	8,00	+/- 0,00	20,0	30,0	160,0	20,0	0,66	1,00	270,00	80,86	0,00	160,00	273,97	0,00	640,00	200,00	320,00	320,00	204,41

UK kompressible Schicht z=	-16,00 mNN	$\Sigma E_s =$	381	0	480
Querkraftnullpunkt z=	0,00 mNN	$\Sigma E_s =$	34	0	0
			375	240	116
			29	0	17

9.4.4 Spundwand- und Ankernachweise

9.4.4.1 EK 02 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 52.45 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 151.89 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 320.73 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 949.19 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 862.43 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -696.08 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 104.06 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.56 bis -30.66 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

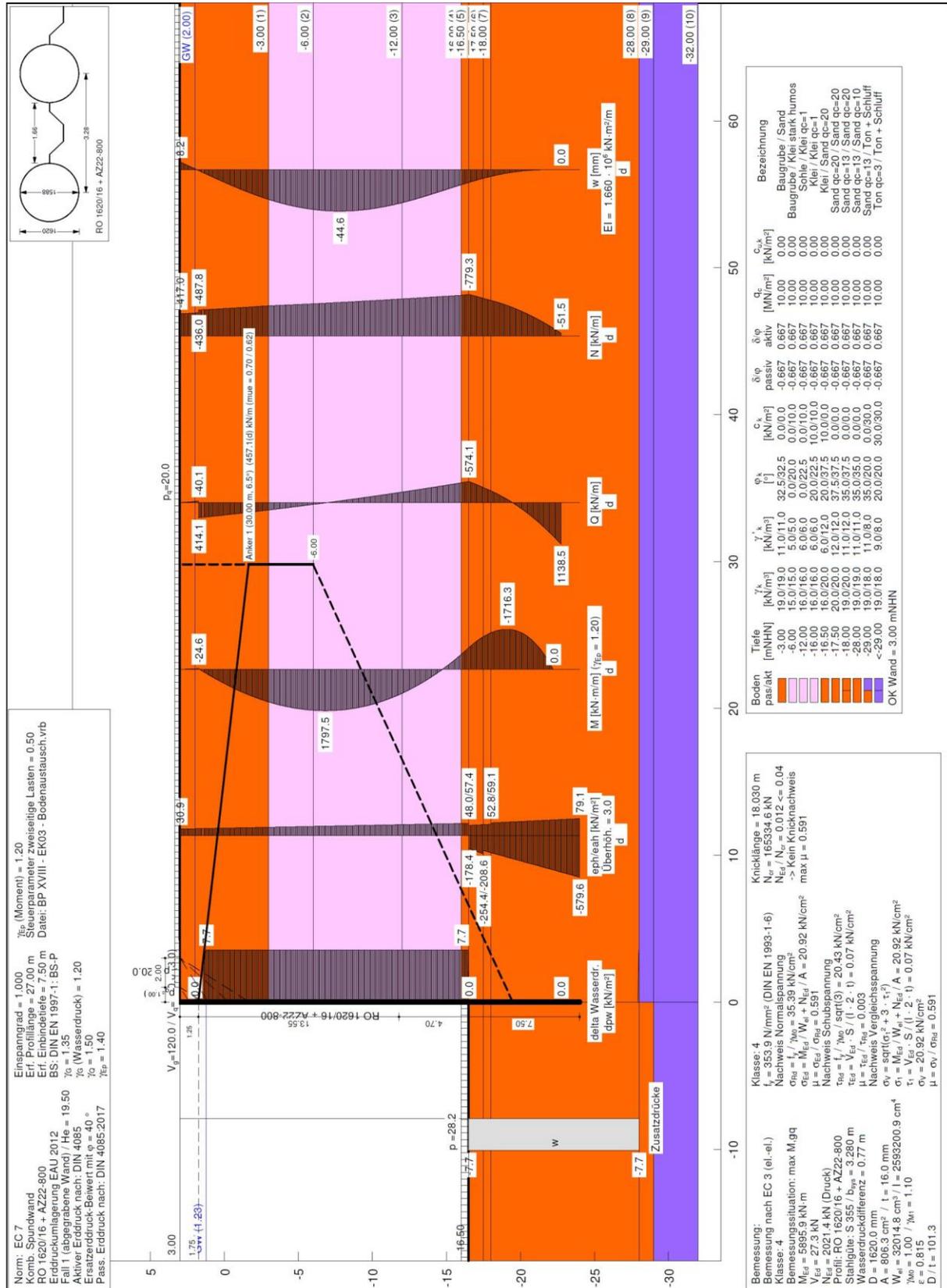
von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-17.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-18.00	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=20$
-18.00	-24.18	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -24.18 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{s1,d}$
 $R_{s1,d} = R_{s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 510.86 / 1.40 = 364.90 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{s1,d} = 940.83 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 232.25 + 1451.00 + 958.54 = 2641.79 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 2641.79 / 940.83 = 2.81$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

9.4.4.2 EK 03 - Nutzlast + Stapler (BS-P)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 52.10 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 151.76 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 305.60 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 911.82 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 843.80 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -678.13 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 100.44 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.38 bis -30.48 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-17.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-18.00	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=20$
-18.00	-24.00	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -24.00 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 498.88 / 1.40 = 356.35 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 932.27 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 230.71 + 1378.15 + 1541.00 = 3149.86 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3149.86 / 932.27 = 3.38$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 52.10 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 269.76 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 305.60 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 911.82 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 843.66 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -678.07 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 218.47 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -22.38 bis -30.48 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-17.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-18.00	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=20$
-18.00	-24.00	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -24.00 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 498.88 / 1.40 = 356.35 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 932.27 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 230.71 + 1378.15 + 1473.11 = 3081.98 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 3081.98 / 932.27 = 3.31$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.4.4.4 EK 11 - Nutzlast + Schwerlaststapler + Porenwasserüberdruck



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
 Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 54.42 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 167.90 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 329.88 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 968.09 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 1221.36 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -880.06 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -21.0$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
 Summe $V(g+q)_{,k} = 32.53 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
 (Erfahrungswerte nach EAU 2012)
 Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
 Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
 Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 (gemittelt von -23.58 bis -31.68 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-17.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-18.00	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=20$
-18.00	-25.20	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -25.20 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 578.71 / 1.40 = 413.36 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 989.29 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 214.19 + 1315.70 + 1414.76 = 2944.65 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 2944.65 / 989.29 = 2.98$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.4.4.5 EK 13 - Nutzlast + Verkehrsband 60 + Porenwasserüberdruck (BS-T)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 54.65 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 168.05 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 343.93 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 1002.94 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 1238.93 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -894.45 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -21.0$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 37.75 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -23.70 bis -31.80 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-17.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-18.00	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=20$
-18.00	-25.32	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=10$

Mantelfläche bis -25.32 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 586.69 / 1.40 = 419.06 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 994.99 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 215.10 + 1374.85 + 910.16 = 2500.11 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 2500.11 / 994.99 = 2.51$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.4.4.6 EK 13 – Vergleichsrechnung mit Teileinspannung



9.4.4.7 EK 14 - Nutzlast + neg. Mantelreibung + Porenwasserüberdruck (BS-T)



Die Einwirkungen für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit ergeben sich gemäß GGU Retain wie folgt:

Nachweis Summe V ✕

Nachweis des mobilisierten Erdwiderstands
Bedingung: $G_{,k} + P_{v,k} + E_{av,k} + 0.5 \cdot Ch_{,k} \cdot \tan(\delta(C)) \geq (B_{v,k} - 0.5 \cdot Ch_{,k}) \cdot \tan(\delta(p))$
 $G_{,k} = 54.07 \text{ kN/m}$
 $P_{v,k} = 285.72 \text{ kN/m}$
 $E_{av,k} = 326.17 \text{ kN/m}$ ($E_{ah,k} = 959.49 \text{ kN/m}$)
 $Ch_{,k} = 1250.56 \text{ kN/m}$
 $B_{v,k} = -982.58 \text{ kN/m}$
 $\delta(p) [^\circ] = -23.3$
 $\delta(C) [^\circ] = 11.7$
Summe $V(g+q)_{,k} = 82.23 \text{ (Druck) kN/m}$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit
(Erfahrungswerte nach EAU 2012)
Verfahren 2: EAU Bild E 4-3 (rechts)
Profil: RO 1620/16 + AZ22-800
Spitzendruck $q_{c,m} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
(gemittelt von -23.40 bis -31.50 m) $\Rightarrow q_{b,k} = 10.00 \text{ MN/m}^2$
 $R_{b,d} = A \cdot q_{b,k} / \gamma(q_{b,k}) = 0.0806 \cdot 10.00 \cdot 1000 / 1.40 = 575.93 \text{ kN}$

Mantelreibung

von	bis	$q_{s,k} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	Bezeichnung
-16.50	-17.50	26.67	Sand $q_c=20$ / Sand $q_c=20$
-17.50	-18.00	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=20$
-18.00	-25.02	26.67	Sand $q_c=13$ / Sand $q_c=10$

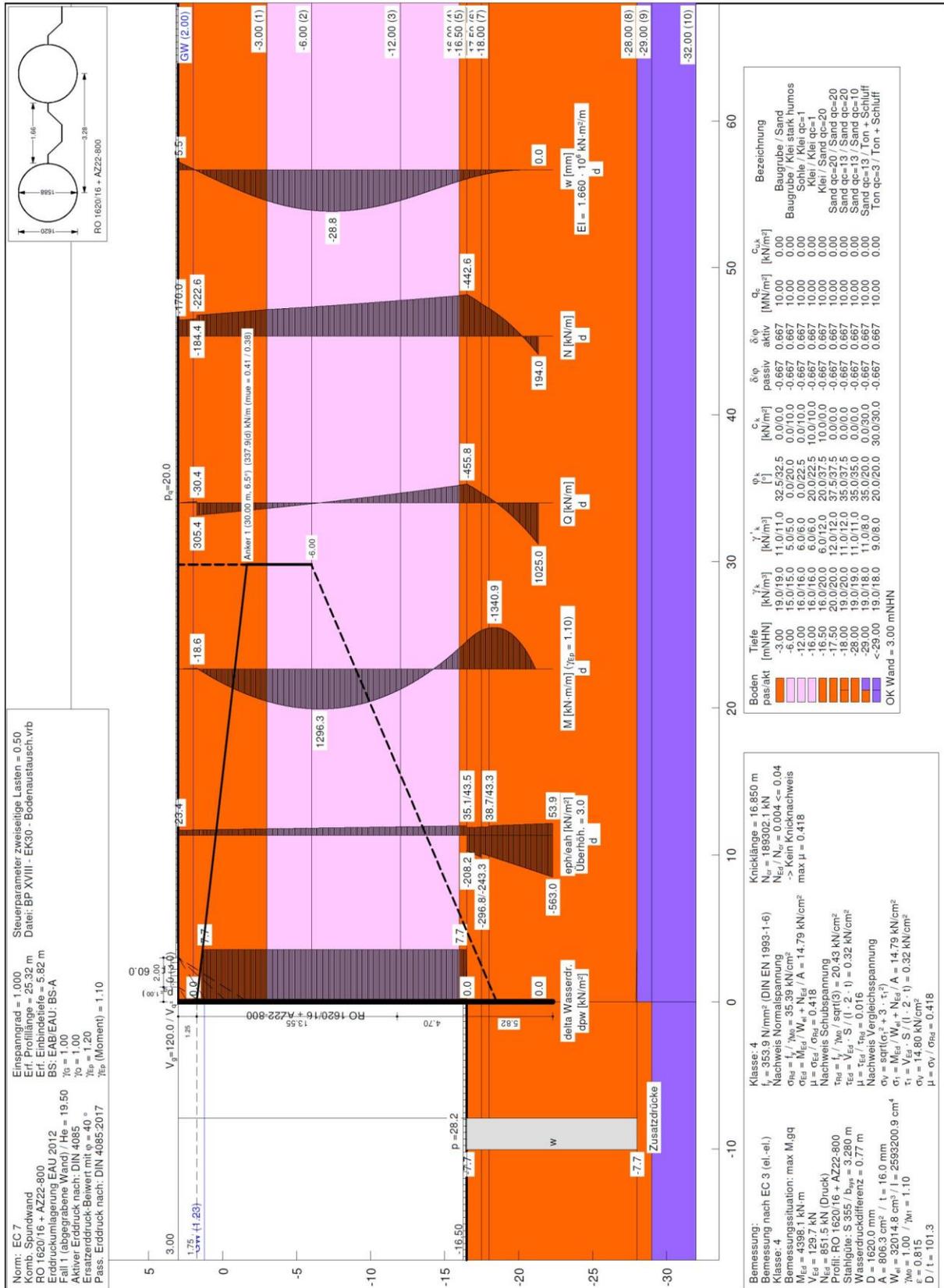
Mantelfläche bis -25.02 m = $2.494 \text{ m}^2/\text{m} \Rightarrow R_{,s1,d}$
 $R_{,s1,d} = R_{,s1,k} / \gamma(q_{s,k}) = 566.73 / 1.40 = 404.81 \text{ kN}$
 $R_{,d} = R_{b,d} + R_{,s1,d} = 980.74 \text{ kN}$

Einwirkungen
 $V_{,d} = G_{,d} + E_{av,d} + P_{v,d} = 212.82 + 1301.00 + 1366.77 = 2880.59 \text{ kN}$
 $\Rightarrow \mu = V_{,d} / R_{,d} = 2880.59 / 980.74 = 2.94$

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit nicht erbracht.

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung von [U1] per Excel geführt.

9.4.4.8 EK 30 - Nutzlast + Verkehrsband 60 (BS-A)



9.4.4.9 Zusammenfassung GGU Retain

Zusammenfassung GGU

EK	Lastfall										Profilänge l [m]	Max. M _{Ed} [kNm/m]	Min. M _{Ed} [kNm/m]	max. l _r [-]	Ankerkraft N _{Ed} [kN/m]	Ankerlänge [m]	Nachweis ΔV [kN]
	01	02	03	4a	4b	05	06	07	08	09							
	Eigenlasten	Wasserdruck	Grundwasserströmung	Nutzlast q=20 kN/m ²	Verkehrsband 40 (q=40 kN/m ² b=3,50 m)	Verkehrsband 60 (q=60 kN/m ² b=2,00 m)	Schwerlaststapler	Kranbahn	Pollerzug	Negative Mantelreibung	Porwasserüberdruck						
BS-P																	
01	X	BS 3a	-	X									Nicht maßgebend				
02	X	BS 3a	-	X	X								0,60	479		2642	
03	X	BS 3a	-	X		X							0,59	457		3150	
04	X	BS 3a	-	X				X									
05	X	BS 3a	-	X	X				X				bei	BP XVIII			
06	X	BS 3a	-	X						X			0,59	457		3082	
BS-T																	
10	X	BS 3a	-	X			X		X				bei	BP XVIII			
11	X	BS 3a	-	X			X				X		0,88	586		2945	
12	X	BS 3a	-	X					X								
13	X	BS 3a	-	X	X						X		0,89	605		2501	
14	X	BS 3a	-	X						X			0,86	584		2881	
#13	mit Türlinnsparnung																
BS-A																	
20	X	BS-3a	-	X		X			X				in	BP XVIII			
30	X	BS-3c	X	X	X	X							0,42	338		1778	

9.4.4.10 Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit wird für die Einwirkungskombinationen EK 03 geführt und ergibt sich zu:

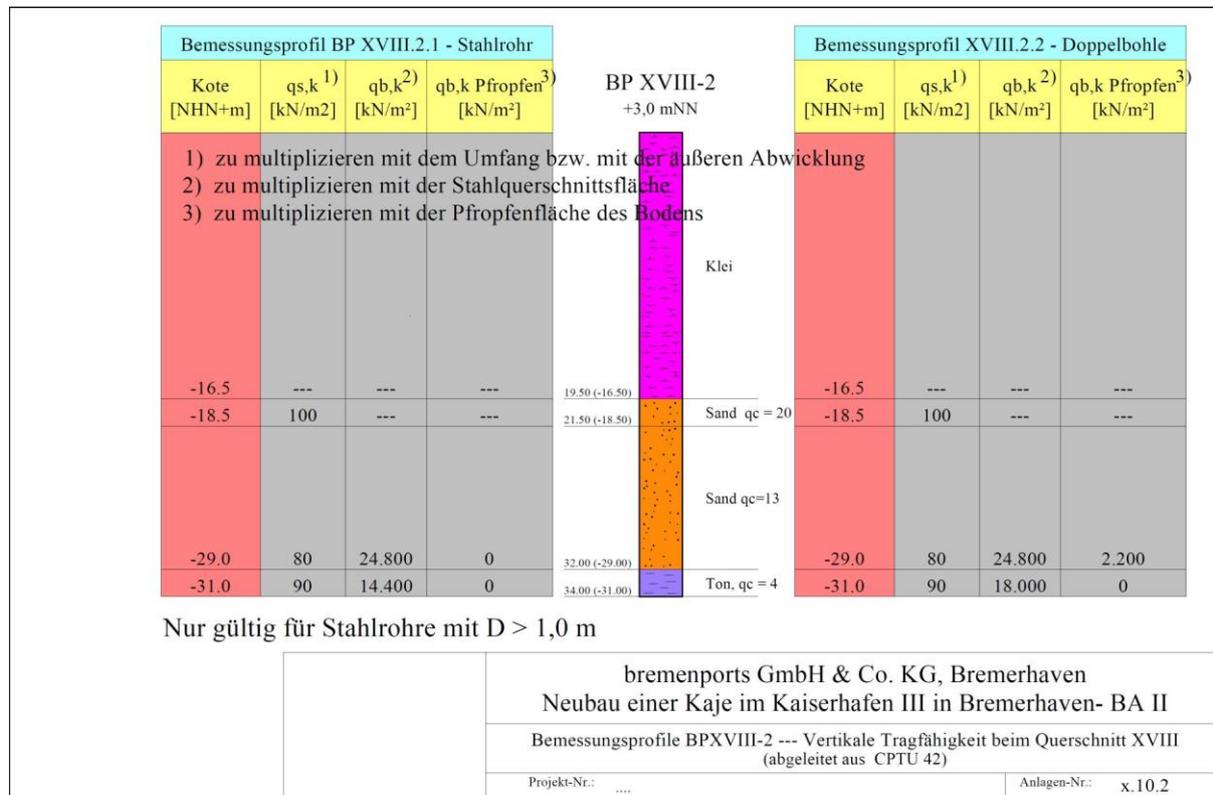


Abbildung 98 Bemessungsprofil XVIII - Bodenkennwerte Vertikale Tragfähigkeit [U1]

Aufgrund der geringen Ankerneigung sind die Vertikallasten gering. Keine weiteren Nachweise.

9.4.4.11 Nachweis gegen Aufbruch des Verankerungsbodens

Der Nachweis gegen den Aufbruch des Verankerungsbodens wird via GGU Retain geführt. Die Bettungsmoduln werden nach dem Ansatz von De Beer und unter Verwendung der Steifeziffern des Bemessungsprofils BPXVIII.3 ermittelt und ergeben sich wie folgt:

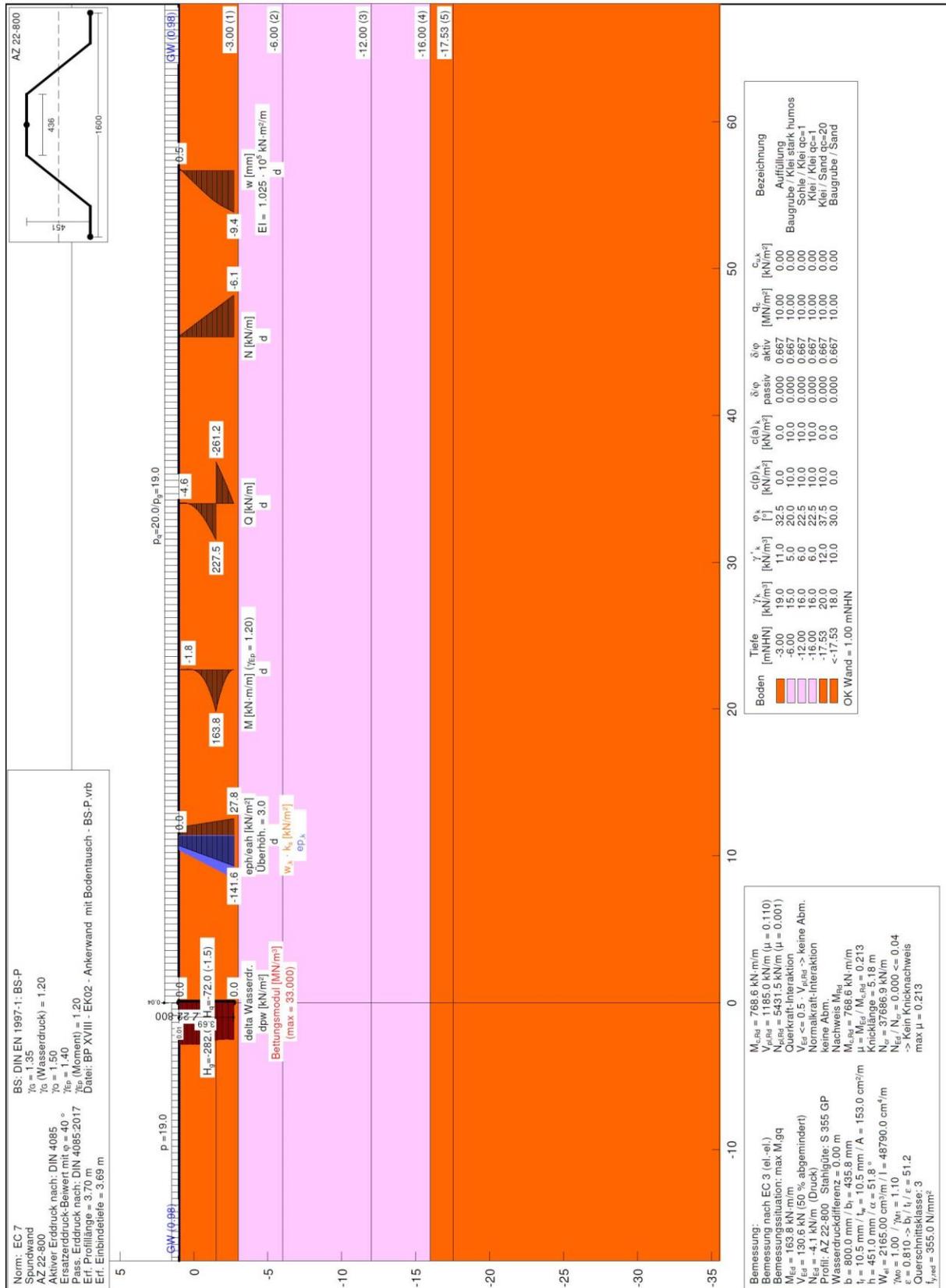
De Beer $\rightarrow k_s = 1,33 * E_s / \sqrt[3]{(l * b^2)}$

Mit Bodenaustausch (Sand, $E_s=40 \text{ MN/m}^2$)

Sand $\rightarrow k_s = 1,33 * 40,00 / ((1,0 + 3,0) * 1,0^2)^{1/3} = 33,51 \text{ MN/m}^2$

Klei, humos, konsolidiert $\rightarrow k_s = 1,33 * 1,00 / ((-6,0 + 10,0) * 1,0^2)^{1/3} = 0,84 \text{ MN/m}^2$

Für die Bemessungssituation BS-P



Für die Bemessungssituation BS-T



9.4.4.12 Nachweis einer horizontalen Gleitfuge

BS-P:

$$E_d = 653 \text{ kN/m}$$

$$R_d = 2 * 30 \text{ m} * 20 \text{ kN/m}^2 / 1,5 = 800 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu = 653 / 800 = 0,82 < 1,00$$

BS-T:

$$E_d = 788 \text{ kN/m}$$

$$R_d = 2 * 30 \text{ m} * 20 \text{ kN/m}^2 / 1,3 = 923 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu = 788 / 923 = 0,85 < 1,00$$

9.4.4.13 Vertikale Tragfähigkeit

Nachweis Summe V

Belastung

Ankerkraft	$n_{Ed} = 635 \text{ kN}$	\Rightarrow	$a_{H,d} = 631 \text{ kN}$
		\Rightarrow	$a_{v,d} = 72 \text{ kN}$
	$\gamma_G = 1,35$		
	$\gamma_Q = 1,50$		

Geometrie

Profilhöhe = Gurtbreite	$h = 400 \text{ mm}$
Gewicht Gurtung	$g_{Gurt} = 0,72 \text{ kN/m}$
Oberkante Ankertafel	$OK_{SpW} = 1 \text{ mNN}$
Unterkante Ankertafel	$UK_{SpW} = -6 \text{ mNN}$
Länge Ankertafel	$l_{SpW} = 7 \text{ m}$
Gewicht Ankertafel	$g_{SpW} = 1,21 \text{ kN/m}$

Lastzusammenstellung in Vertikalrichtung

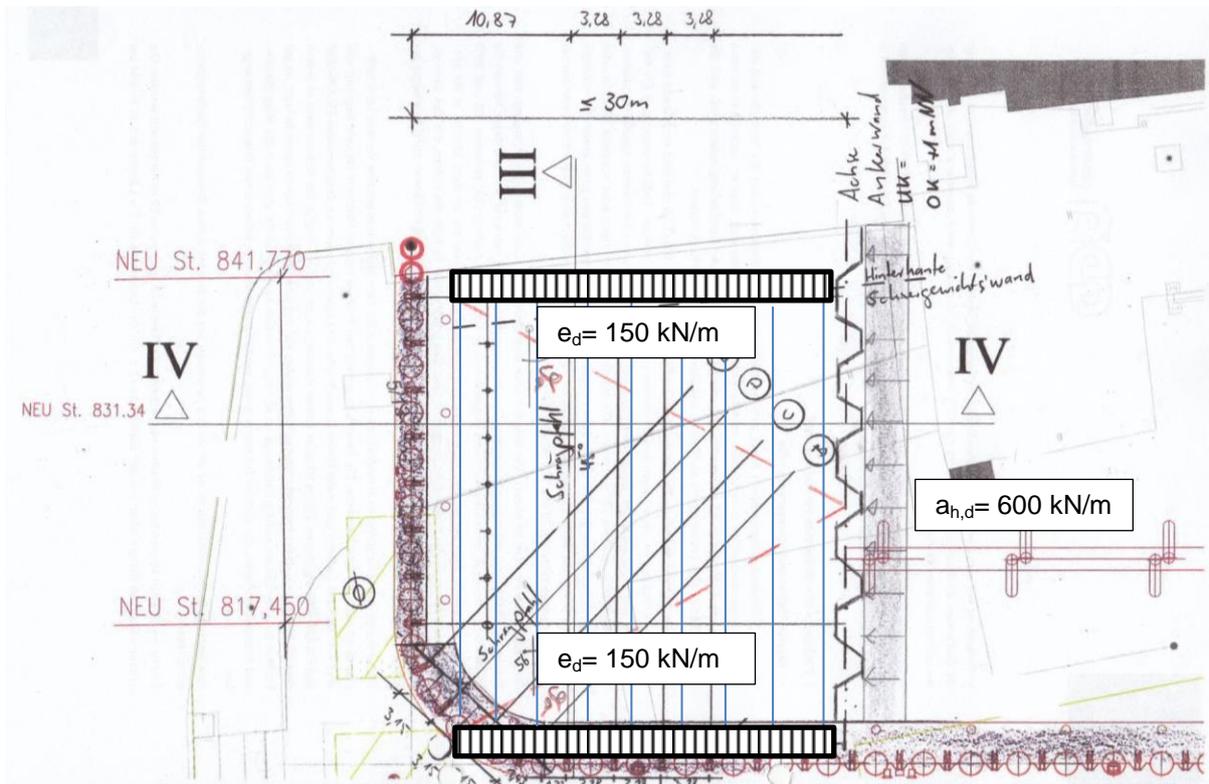
aus Gurtung	$g_{k,1} = 2 * 0,72$	=	1,44 kN/m
aus Spundbohle	$g_{k,2} = 7 * 1,20$	=	8,40 kN/m
aus Bodenauflast	$g_{k,3} = 19 * 1 + 11 * 3 =$	=	52 kN/m
aus Erddruck	$e_{agv,k} =$		12 kN/m
bezogen auf die 1-fache Gurtbreite	$\Sigma g_k = 1,44 + 8,40 + 52 * 1 * 400 / 1000 + 12,00$	=	41,20 kN/m
aus Nutzlast*	$q_k =$		20,00 kN/m ²
aus Erddruck	$e_{apv,k} =$		8 kN/m
bezogen auf die 1-fache Gurtbreite	$\Sigma q_k = 20 * 1 * 400 / 1000 + 8$	=	16,00 kN/m
	$g_k + q_k = 41,20 + 16,00$	=	57,20 kN/m
	$g_d + q_d = 1,35 * 41,20 + 1,50 * 16,00$	=	79,62 kN/m
Aus Ankerkraft	$a_{v,k} =$	=	53,25 kN/m
	$a_{v,d} =$	=	71,88 kN/m

Nachweis

$a_{v,k} = 53,25 \text{ kN/m}$	<	$g_k + q_k = 57,20 \text{ kN/m}$
$a_{v,d} = 71,88 \text{ kN/m}$	<	$g_d + q_d = 79,62 \text{ kN/m}$

Der Nachweis wurde erfüllt. Die maximale Ausnutzung beträgt 93%

9.4.4.14 Rückverankerung von Abtriebskräften



Gewählt: Rundstahlanker M60; $a=3,28 \text{ m}$ S355 JR; $F_{t,Rd} = 565 \text{ kN}$

Sand $\varphi=32,5^\circ \rightarrow k_{agh} = 0,25$

$e_d = 600 \text{ kN/m} * 0,25 = 150 \text{ kN/m}$

$E_d = 150 \text{ kN/m} * 3,28 \text{ m} = 492 \text{ kN} < F_{t,Rd} = 565 \text{ kN}$

10 Nachweise zum Ende der Lebensdauer

10.1 Vorbemerkung

Maßgebend für den Spannungsnachweis zum Ende der Lebensdauer ist das Bemessungsprofil BP XVI mit Bodentausch.

Die Schnittgrößen für das Feldmoment ergeben sich gemäß GGU Retain zu:

Maximalwerte ✕

Bemessungswerte

Maximales Moment = 1865.6 kN·m/m (Tiefe = -6.55 m)
Zugehörige Werte: N = -753.3 kN/m; Q = 3.3 kN/m; w = 44.2 mm

Maximale Querkraft = 1237.6 kN/m (Tiefe = -22.05 mNHN)
Zugehörige Werte: N = -78.8 kN/m; M = 0.0 kN·m/m; w = 0.0 mm

Maximale Normalkraft = 863.2 kN/m (Tiefe = -16.00 mNHN)
Zugehörige Werte: Q = -595.8 kN/m; M = -888.3 kN·m/m; w = 13.5 mm

Maximale Verschiebung = 44.5 mm (Tiefe = -7.35 mNHN)
Zugehörige Werte: N = -761.7 kN/m; Q = -43.6 kN/m; M = 1846.7 kN·m/m

Bemessungswerte g,d

Maximales Moment = 1579.3 kN·m/m (Tiefe = -6.50 mNHN)
Zugehörige Werte: N = -605.1 kN/m; Q = 3.8 kN/m; w = 44.1 mm

Maximale Querkraft = 1043.3 kN/m (Tiefe = -22.05 mNHN)
Zugehörige Werte: N = -33.7 kN/m; M = 0.0 kN·m/m; w = 0.0 mm

Maximale Normalkraft = 692.5 kN/m (Tiefe = -16.00 mNHN)
Zugehörige Werte: Q = -501.0 kN/m; M = -750.8 kN·m/m; w = 11.4 mm

max w,k = 44.5 mm (Tiefe = -7.35 mNHN)
Zugehörige Werte: N = -761.7 kN/m; Q = -43.6 kN/m; M = 1846.7 kN·m/m

10.2 Querschnittsklasse

Vor Abrostung

Durchmesser	$D_A =$	1620 mm		
Wandstärke	$t =$	16 mm		
Streckgrenze	$f_y =$	355 N/mm ²		
Materialparameter	$\varepsilon =$	0,81 -		
Querschnittseinstufung	$D/(t * \varepsilon^2) =$	153	>	90

->Querschnittsklasse 4

Red. Streckgrenze für QKL 3	$f_{y,red} =$	208,89 N/mm ²
-----------------------------	---------------	--------------------------

Nach Abrostung

<i>Wasserseite</i>		<i>Landseite</i>	
Durchmesser	$D_{A,red} =$	1614 mm	$D_{A,red} =$ 1618 mm
Wandstärke	$t_{red} =$	13,2 mm	$t_{red} =$ 15 mm
Streckgrenze	$f_y =$	355 mm	$f_y =$ 355 mm
Materialparameter	$\varepsilon =$	0,81 -	$\varepsilon =$ 0,81 -
Querschnittseinstufung	$D/(t * \varepsilon^2) =$	185 > 90	$D/(t * \varepsilon^2) =$ 163 > 90

->Querschnittsklasse 4

->Querschnittsklasse 4

Red. Streckgrenze für QKL 3	$f_{y,red} =$	172,93 N/mm ²	$f_{y,red} =$	196,08 N/mm ²
-----------------------------	---------------	--------------------------	---------------	--------------------------

Für die die Querschnitte der Querschnittsklassen 4 wird ein Nachweis nach DIN EN 1993-5, Anhang D erforderlich!

10.3 Querschnittswerte nach Abrostung

Abrostung

Landseite $\Delta t_{LS} = 1,0$ mm

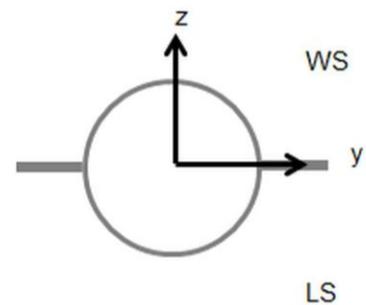
Wasserseite $\Delta t_{WS} = 2,8$ mm

Rohr

Durchmesser $D_a = 1620$ mm

$D_i = 1588$ mm

Wandstärke $t = 16$ mm



Rohres ohne Abrostung

	Einzelnes Rohr	Rohrwand a=
Stahlquerschnittsfläche	$A_{Rohr} = 806$ cm ²	3,28 m 246 cm ² /m
Rohrgewicht	$G_{Stahl} = 633$ kg/m	193 kg/m ²
	$A_v = 403$ cm ²	123 cm ² /m
Umfang außen	$U_{Da} = 508,9$ cm	155,2 cm/m
Umfang innen	$U_{Di} = 498,9$ cm	152,1 cm/m
Flächenträgheitsmoment	$I_y = 2.593.201$ cm ⁴	790.610 cm ⁴ /m
Trägheitsradius	$i = 56,7$ cm	17,3 cm/m
El. Widerstandsmoment	$W_{el} = 32.015$ cm ³	9.761 cm ³ /m
Pl. Widerstandsmoment	$W_{pl} = 41.166$ cm ³	12.551 cm ³ /m
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl/el} = 1,286$ -	1,286 -
Torsionsträgheitsmoment	$I_t = 5.185.886$ cm ⁴	1.581.063 cm ⁴ /m
Torsionswiderstandsmoment	$W_t = 64.030$ cm ³	19.521 cm ³ /m
Statisches Moment	$S = 10.292$ cm ³	3.138 cm ³ /m

Landseitige Abrostung

Radius außen $r_a = 810$ mm

Radius innen $r_i = 809,0$ mm

Abrostung $t = 1,0$ mm

Stahlquerschnittsfläche $A_{LS} = -25,45$ cm²

Flächenträgheitsmoment $I_y = -15.834$ cm⁴

Schwerpunktstand $e_z = -51,57$ cm

Wasserseitige Abrostung

$r_a = 810$ mm

$r_i = 807,2$ mm

$t = 2,8$ mm

$A_{WS} = -71,25$ cm²

$I_y = -44.188$ cm⁴

$e_z = 51,57$ cm

Resultierender Querschnitt

Schwerpunktverschiebung $z_s = -3,33 \text{ cm}$

Teilquerschnitt	i	$I_{y,i}$	A_i	z_i	$A_i * z_i$	$A_i * z_i^2$
	[-]	[cm ⁴]	[cm ²]	[cm]	[cm ³]	[cm ⁴]
Rohres ohne Abrostung	1	2.593.201	806	3,33	2.684	8.934
Landseitige Abrostung	2	-15.834	-25	-48,24	1.227	-59.211
Wasserseitige Abrostung	3	-44.188	-71	54,89	-3.911	-214.713
Resultierender Querschnitt	Σ	2.533.179	710		0	-264.990

Flächenträgheitsmoment	$I_y =$	2.268.188 cm⁴	691.521 cm⁴/m
Stahlquerschnittsfläche	$A =$	710 cm²	216 cm²/m
	$z_{LS} =$	77,67 cm	
	$z_{WS} =$	84,33 cm	
El. Widerstandsmoment LS	$W_{y,LS} =$	29.202 cm³	8.903 cm³/m
El. Widerstandsmoment WS	$W_{y,WS} =$	26.897 cm³	8.200 cm³/m

10.4 Spannungsnachweis

Spannungsnachweise Rohr

Material

Streckgrenze	$f_{y,k} =$	355 N/mm ²
	$\gamma_{M0} =$	1,00 -

Querschnittswerte

Stahlquerschnittsfläche	$A =$	216 cm ² /m
Flächenträgheitsmoment	$I_y =$	691.521 cm ⁴ /m
El. Widerstandsmoment LS	$W_{y,LS} =$	8.903 cm ³ /m
El. Widerstandsmoment WS	$W_{y,LS} =$	8.200 cm ³ /m

Bemessungsschnittgrößen

Normalkraft	$N_{Ed} =$	754 kN/m
Biegemoment	$M_{Ed} =$	1.870 kNm/m
Schwerpunktverschiebung infolge Abrostung	$z_s =$	33 mm
Versatzmoment	$\Delta M_{Ed} =$	25 kNm/m

Spannungsnachweis

Normalspannung Landseite	$\sigma_{E,d} =$	248 N/mm ²	<	$\sigma_{R,d} =$	355 N/mm ²
Normalspannung Wasserseite	$\sigma_{E,d} =$	231 N/mm ²	<	$\sigma_{R,d} =$	355 N/mm ²

Nachweis erfüllt!

Spannungsnachweis mit reduzierter Streckgrenze

Material

Streckgrenze	$f_{y,red,k} =$	196 N/mm ²
	$\gamma_{M0} =$	1,00 -

Spannungsnachweis

Normalspannung Landseite	$\sigma_{E,d} =$	248 N/mm ²	>	$\sigma_{R,d} =$	196 N/mm ²
Normalspannung Wasserseite	$\sigma_{E,d} =$	231 N/mm ²	>	$\sigma_{R,d} =$	178 N/mm ²

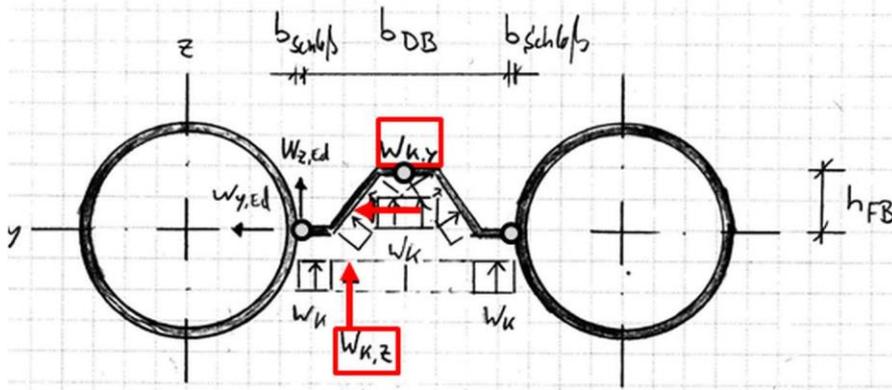
Spannungsüberschreitung beim vereinfachten Ansatz, es ist ein detaillierter Beulnachweis erforderlich.

10.5 Ovalisation

Ovalisation infolge Lasteinleitung aus Füllbohlen nach DIN 1993-5 Anhang D.2

System und Belastung

Breite Füllbohle	$b_{DB} =$	800 mm	$b_{DB} =$	1600 mm
Höhe Füllbohle	$h_{DB} =$	451 mm		
Breite Schloss	$b_{Schloss} =$	30 mm		
Wasserdruck	$w_k =$	22,5 kN/m ²		



Resultierende in z-Richtung	$W_{k,z} =$	18,68 kN/m
Resultierende in y-Richtung	$W_{k,y} =$	10,15 kN/m

Auflagerkräfte

Zugkraft am Rohr ($\Sigma M=0$)	$W_{y,Ed} =$	12,11 kN/m
-----------------------------------	--------------	------------

Berechnung der Ovalisierung

Auflagerkraft	$W_{y,Ed} =$	12,11 kN/m
Blechedicke nach Abrostung	$t_{red} =$	13,20 mm
Radius der Mittellinie	$r_{M,red} =$	800,60 mm
Schalenbiegesteifigkeit des Rohr	$EI =$	402.494 kNcm ²
Ovalisierung	$e =$	11 mm < 80 mm
Krümmungsradius	$\alpha =$	833,59 mm

10.6 Beulnachweis

Beulnachweis der Rohre nach DIN EN 1993-6

Geometrie

Länge des Zylinders	$l =$	16,15 m	
Durchmesser	$D_{A,red} =$	1618 mm	(Druckseite)
Abstand	$b_{sys} =$	3,28 m	
Blechdicke	$t =$	13,20 mm	(Druckseite)
Krümmungsradius	$\alpha =$	833,59 mm	
E-Modul	$E =$	210.000 N/mm ²	
Streckgrenze	$f_y =$	355 N/mm ²	

Ideale Meridianbeulspannung

Längenparameter	$\omega =$	157 -	>	30
Parameter	$C_{xb} =$	1,00 -		
Faktor (rechnerisch)	$C_x =$	0,60 -		
Faktor (gewählt)	$C_x =$	1,00 -		
Ideale Meridianbeulspannung	$\sigma_{x,R\alpha} =$	2012 N/mm ²		

Parameter für Meridianbeulen

Parameter für Herstellqualität	$Q =$	16 -
Charakteristische Imperfektionsam $\Delta w_k =$		6,56 -
Elastischer Imperfektions-Abminder $\alpha_x =$		0,37 -
Vollplastische Grenzsclankheitsgr $\lambda_{x0} =$		0,20 -
Plastischer Bereichsfaktor $\beta =$		0,60 -
Beulkurvenexponent $\eta =$		1,00 -

Spannungsbasierter Beulnachweis

Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_{M1} =$	1,10 -
Bezogener Schlankheitsgrad	$\lambda_x =$	0,42 -
Teilplastischer Grenzsclankheitsg $\lambda_p =$		0,96 -
Beulabminderungsfaktor $\kappa_x =$		0,83 -
Bemessungsbeulspannung	$\sigma_{x,Rk} =$	293 N/mm ²
	$\sigma_{x,Rd} =$	266 N/mm ²
Spannung aus Biegung	$\sigma_{x,Ed} =$	236 N/mm ²

Nachweis

Normalspannung Landseite	$\sigma_{E,d} =$	236 N/mm ²	<	$\sigma_{R,d} =$	266 N/mm ²
--------------------------	------------------	-----------------------	---	------------------	-----------------------

Nachweis erfüllt, die maimale Ausnutzung beträgt 89%.

11 Nachweise im Bestand

11.1 Bemessungsprofil XIX - Tornische

11.1.1 Übersicht

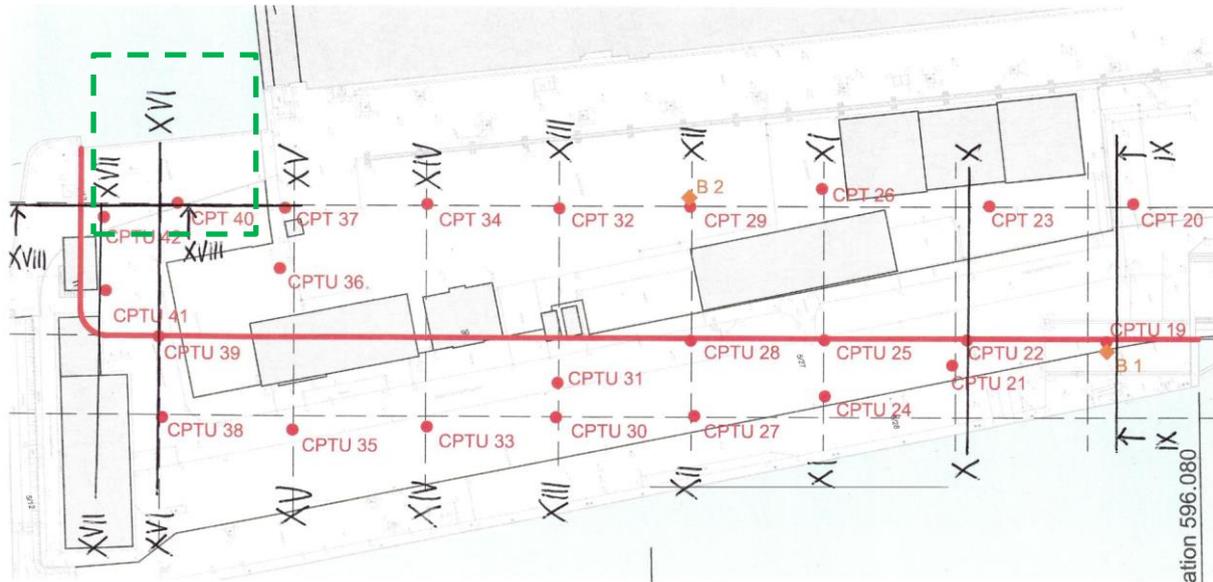


Abbildung 99 Bemessungsprofil XIX - Tornische - Lage [U1]

11.1.2 Bestandsquerschnitt

Zur tatsächlichen Konstruktion der Tornische liegen keine Bestandsunterlagen mehr vor. Für die Erstellung der EW-Bau kann aber davon ausgegangen werden, dass die Kaje baugleich zur Westkaje des Kaiserhafens III (Querschnitt 8) ausgeführt wurde.

Bei der bestehenden Konstruktion handelt es sich demnach um eine tiefgegründete Schwergewichtswand mit einem Überbau in Mauerwerkbauweise und aufgesetzter Betonkrone. Der Überbau steht auf einer Holzpfahlgründung mit Balkenrost. Wasserseitig wurde eine Holzspundwand $d=28$ cm in Neigung 4:1 eingebracht. Die Pfahlköpfe und das Balkenrost liegen unter dem Hafenwasserspiegel. Die erste Pfahlreihe besteht nur aus Druckpfählen (wie die Spundwand zur Wasserseite geneigt). Die 2. und 3. Pfahlreihe wurden im Wechsel als Zug oder Druckpfähle ausgebildet. Das Pfahlraster wird nach Querschnitt 8 mit 0,675 m angegeben

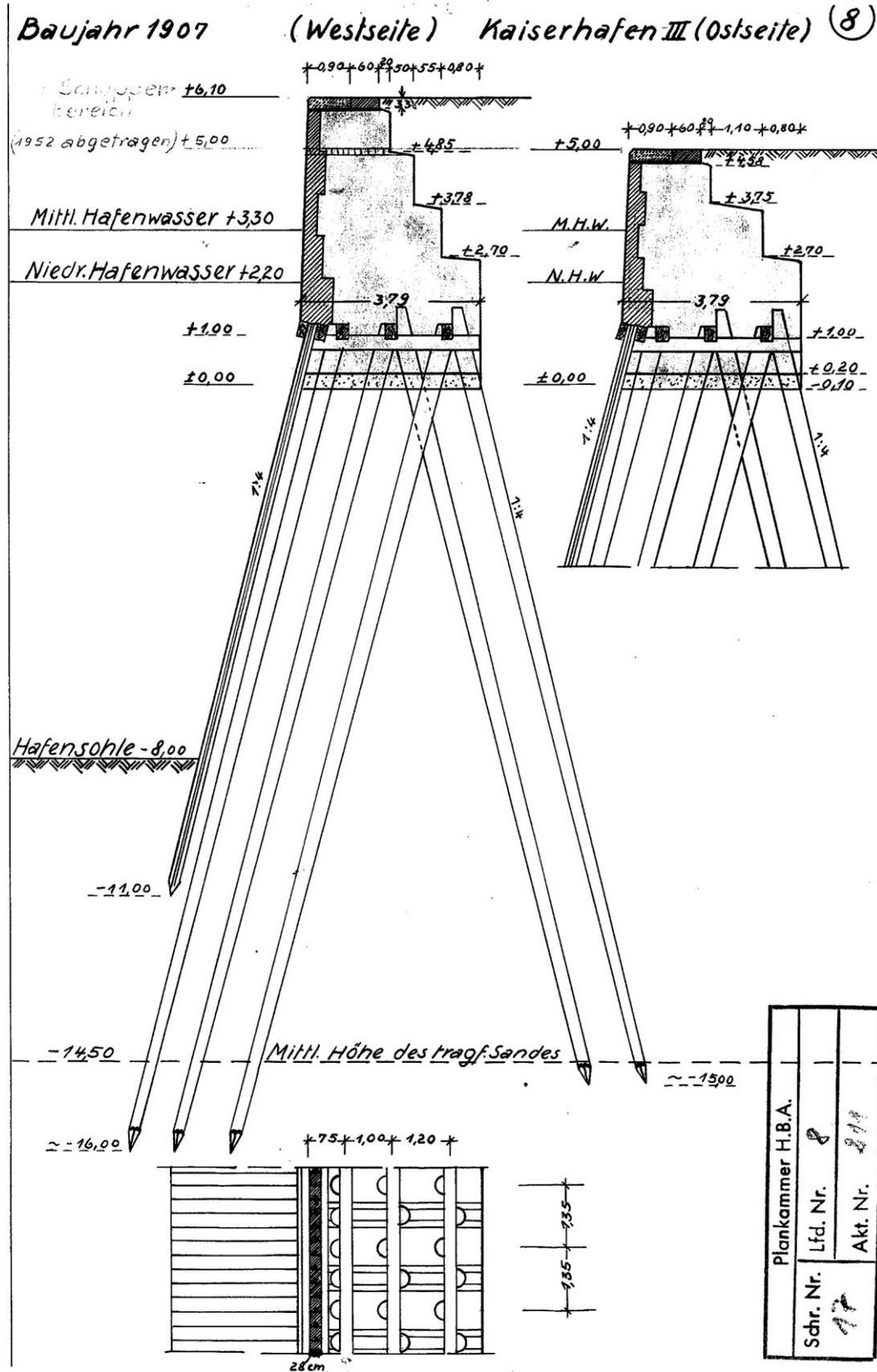


Abbildung 100 Bemessungsprofil XIX - Tornische - Bestandsquerschnitt

11.1.3 Bodenkennwerte Erddruck

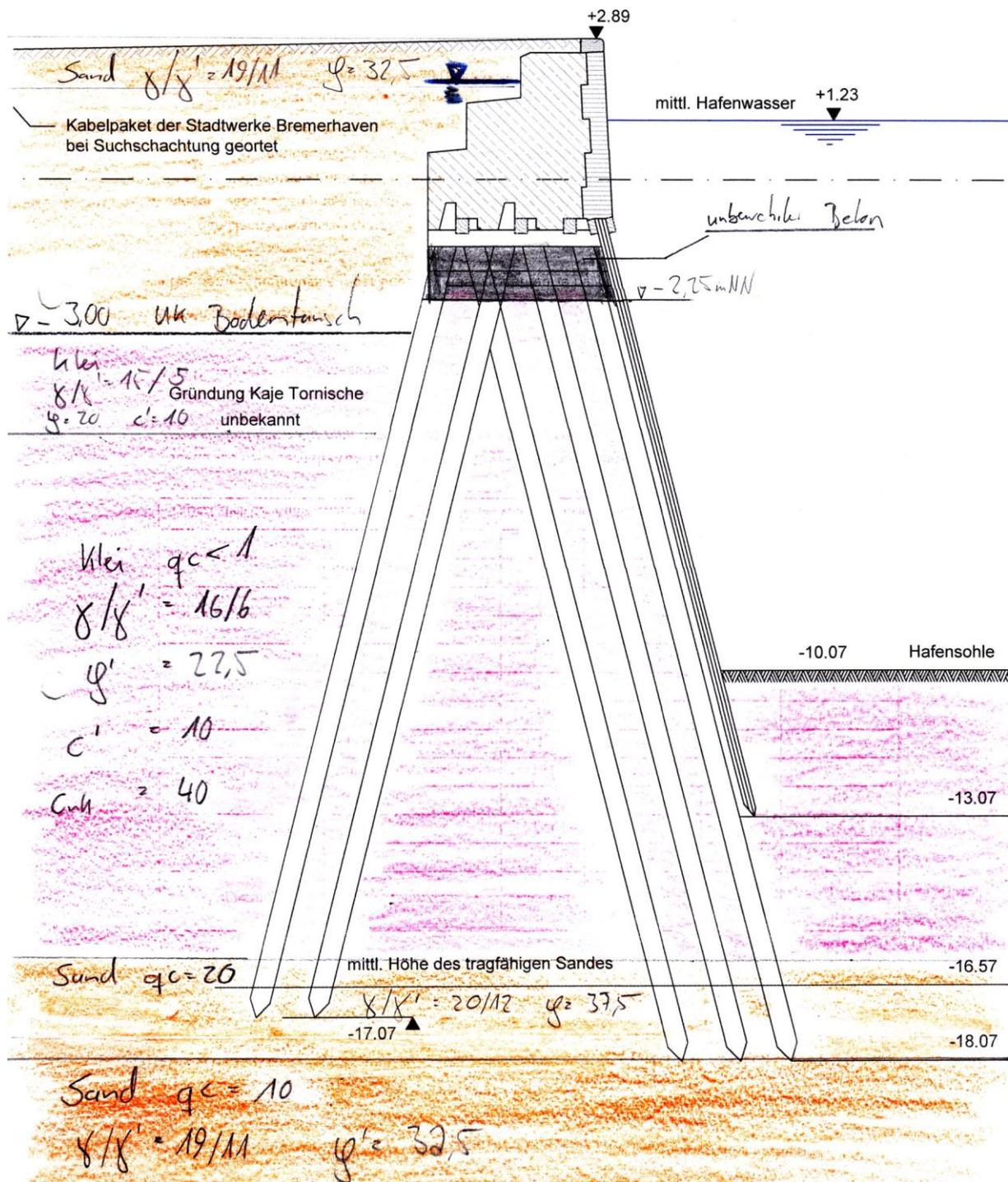


Abbildung 101 Bemessungsprofil XIX - Tornische - Bodenkennwerte Erddruck / -widerstand (BP XVIII.3) [U1]

11.1.4 Besondere Berechnungsannahmen

- Zwischen GOK und -3,00 mNN wird der vorhandene Boden gegen Sand ($\gamma / \gamma' = 19/11 \text{ kN/m}^3$; $\varphi' = 32,5^\circ$) ausgetauscht.
- Durch den Bodentausch entsteht im Klei zeitweise ein Porenwasserüberdruck. Dieser ergibt sich wie folgt:
$$P_{w\ddot{u}} = (2,00 \text{ mNN} - -3,00 \text{ mNN}) * (11 \text{ kN/m}^3 - 5 \text{ kN/m}^3) = 30 \text{ kN/m}^2$$
- Durch den Bodentausch entsteht eine negative Mantelreibung, diese wird bis UK Klei auf -16,00 mNN angesetzt. Die Negative Mantelreibung wird durch die folgenden Erfahrungswerte begrenzt:
Sand: $\max \tau_{f,k} = 0,25 * \sigma_v \leq 50 \text{ kN/m}^2$
Bindige Böden: $\max \tau_{cu,k} = 0,50 * c_u$
- Aufgrund der eingebauten Vertikaldräns wird der Porenwasserdruck in die Bemessungssituation BS-A eingestuft.
- Aufgrund der Vernadelung (Holzpfähle $D \approx 30 \text{ cm}$; $a = 67,5 \text{ cm}$) wird kein Fließdruck angesetzt.
- Der Querschnitt wird analog zum früheren Vorgehen als Fundament nachgewiesen.
- Der Fundamentkörper wird mit einem E-Modul von 9.000 kN/m^2 (Nadelholz dauerhaft feucht) berechnet.
- Auf einen Detailnachweis der Bauteile wird verzichtet, stattdessen wird über vorgespannte Anker gewährleistet, dass die neuen Schnittgrößen die alten nicht überschreiten.
-
-

11.1.5 Erddruckberechnung

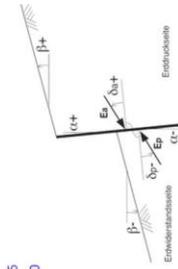
Berechnung des aktiven Erddrucks nach Müller-Breslau

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bemessungsprofil: BP XIX
 Anmerkung:

$$K_{\text{act}} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_0) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \delta_0)}} \right]^2} K_{\text{acth}} = \frac{2 \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos(\varphi \cdot \cos(\alpha + \delta_0))}{1 + \sin(\varphi + \alpha + \delta_0 - \beta)} \cdot \cos \alpha$$

Geländeoberkante
 Neigung der Spundwand
 Wandreibungswinkel
 Ständige Flächenlast
 → davon setzungswirksame Konsolidierungsspg.
 Veränderte Flächenlast
 Grundwasserstand
 Hafengewässerstand
 mit k_{sp}

GOK= 3 mNIN
 $\alpha = 14^\circ$
 $\beta = 0^\circ$
 $\delta_1 / \varphi = 0,667$
 $q = 0$ kN/m²
 $\Delta \sigma_1 = 20$ kN/m²
 $q_0 = 2$ mNIN
 1,23 mNIN
 0,18



Ohne Berücksichtigung des Mindesterdrukts/

Schicht	Kote [mNIN]	h [m]	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	φ [°]	c' [kN/m ²]	c_u [kN/m ²]	U_{ver} [-]	f_{a} [°]	k_{sp} [-]	n_{sp} [-]	σ'_{zg} [kN/m ²]	$E_{\text{sp},k}$ [kN/m ²]	Δu_k [kN/m ²]	$E_{\text{sp},k}$ [kN/m ²]	$\Delta \sigma_{\text{a},k}$ [kN/m ²]	$E_{\text{sp},k} + \Delta \sigma_{\text{a},k} + E_{\text{a},k}$ [kN/m ²]	Min $E_{\text{sp},k}$ [kN/m ²]	
Sand trocken	OK 3,00	1	19,00	19,00	32,5			1,00	21,7	0,31	0,70	0,00	0,00		6,29	6	6	0	
	UK 2,00			19,00								6,29	5,97		6,29	12	6		
Sand nass	OK 2,00	5	11,00	19,00	32,5	0,0		1,00	21,7	0,31	0,70	74,00	5,97	23,25	6,29	30	23		
	UK -3,00			74,00								74,00	36,12	-9,45	9,76	36	27	13,00	ok
Klei stark humos	OK -5,00	2	5,00	84,00	20,0	10,0		1,00	13,3	0,49	0,95	84,00	41,01	-9,45	9,76	41	32	15,00	ok
	UK -6,00			84,00								84,00	37,58	-9,91	8,95	38	29	15,00	ok
Klei qc<1	OK -10,00	11	6,00	150,00	22,5	10,0	0,0	1,00	15,0	0,45	0,89	150,00	67,10	-9,91	8,95	67	58	27,00	ok
	UK -16,00			150,00								150,00	38,31	-9,91	8,95	45	39		
Sand qc=20	OK -17,00	1	12,00	182,00	37,5			1,00	25,0	0,26	0,62	182,00	42,45		5,24	48	42		
	UK -17,00			182,00								182,00	42,45		5,24	48	42		
Sand qc=20	OK -18,00	1	12,00	174,00	37,5			1,00	25,0	0,26	0,62	174,00	45,59		5,24	51	46		
	UK -18,00			174,00								174,00	45,59		5,24	51	46		

Hinweis zur Berechnung:
 Bei Eingabe eines Verfestigungsgrades des Bodens $U_{\text{ver}} < 1,0$ und einer setzungswirksamen Konsolidierungsspannung $\Delta u_r > 0$, erzeugt diese einen Porenwasserüberdruck $\Delta u = \Delta u_r \cdot (1 - U_{\text{ver}})$.
 Die verbleibenden -nicht setzungswirksamen- Vertikalspannungen $\sigma'_{\text{v}} = \sigma'_{\text{zg}} - \Delta u_k$ erzeugen einen Erddruck e_{sp} ($e_{\text{sp}} < 0$) bzw. einen Porenwasserdruck u ($e_{\text{sp}} = 0$). Erf- und Porenwasserdruck werden gemeinsam als e_{sp} ausgedrückt.

$E_{\text{sp},k}$ [kN/m]	$P_{\text{a},k}$ [kN/m]	$E_{\text{sp},k}$ [kN/m]									
3		6		2		5					
73		31		52		23					
77		20		-19		40		10		-10	
576		98		-98		319		55		-54	
41		5		33		4					
44		5		36		4					
Σ $E_{\text{sp},k}$	Σ $P_{\text{a},k}$	Σ $E_{\text{sp},k}$									
1099	0	863	1190	715	100	-87	519	715	100	-87	519
Σ $E_{\text{sp},k}$	Σ $P_{\text{a},k}$	Σ $E_{\text{sp},k}$									
729	0	156	-117	414	92	-64	715	715	92	-64	715
Σ $E_{\text{sp},k}$	Σ $P_{\text{a},k}$	Σ $E_{\text{sp},k}$									
770	0	161	-117	447	96	-64	719	719	96	-64	719
Σ $E_{\text{sp},k}$	Σ $P_{\text{a},k}$	Σ $E_{\text{sp},k}$									
814	0	166	-117	414	92	-64	715	715	92	-64	715
Σ $E_{\text{sp},k}$	Σ $P_{\text{a},k}$	Σ $E_{\text{sp},k}$									
729	0	156	-117	414	92	-64	715	715	92	-64	715
Σ $E_{\text{sp},k}$	Σ $P_{\text{a},k}$	Σ $E_{\text{sp},k}$									
770	0	161	-117	447	96	-64	719	719	96	-64	719
Σ $E_{\text{sp},k}$	Σ $P_{\text{a},k}$	Σ $E_{\text{sp},k}$									
814	0	166	-117	414	92	-64	715	715	92	-64	715
Σ $E_{\text{sp},k}$	Σ $P_{\text{a},k}$	Σ $E_{\text{sp},k}$									
729	0	156	-117	414	92	-64	715	715	92	-64	715
Σ $E_{\text{sp},k}$	Σ $P_{\text{a},k}$	Σ $E_{\text{sp},k}$									
770	0	161	-117	447	96	-64	719	719	96	-64	719
Σ $E_{\text{sp},k}$	Σ $P_{\text{a},k}$	Σ $E_{\text{sp},k}$									
814	0	166	-117	414	92	-64	715	715	92	-64	715
Σ $E_{\text{sp},k}$	Σ $P_{\text{a},k}$	Σ $E_{\text{sp},k}$									

UK kompressible Schicht	z =	$E_{\text{sp},k}$ [kN/m]	$P_{\text{a},k}$ [kN/m]	$E_{\text{sp},k}$ [kN/m]							
UK kompressible Schicht	z =	-16,00 mNIN									
UK Füllbohle	z =	-17,00 mNIN									
UK Spundwand	z =	-18,00 mNIN									

Berechnung der negativen Mantelreibung

Kaje: Sanierung Westkaje Kaiserhafen III 2. Bauabschnitt
 Bereich: BP XIX

Bemessungsprofil:

Geländeoberkante GOK= 3 mNN
 Neigung der Spundwand $\alpha = 0^\circ$
 Neigung der Geländeoberfläche $\beta = 0^\circ$
 Wandreibungswinkel $\delta / \varphi = 1,000$
 Ständige Flächenlast $q_k = 0$ kN/m²
 Veränderliche Flächenlast $q_k = 0$ kN/m²
 Grundwasserstand 2 mNN
 Hafenwasserstand 1,23 mNN

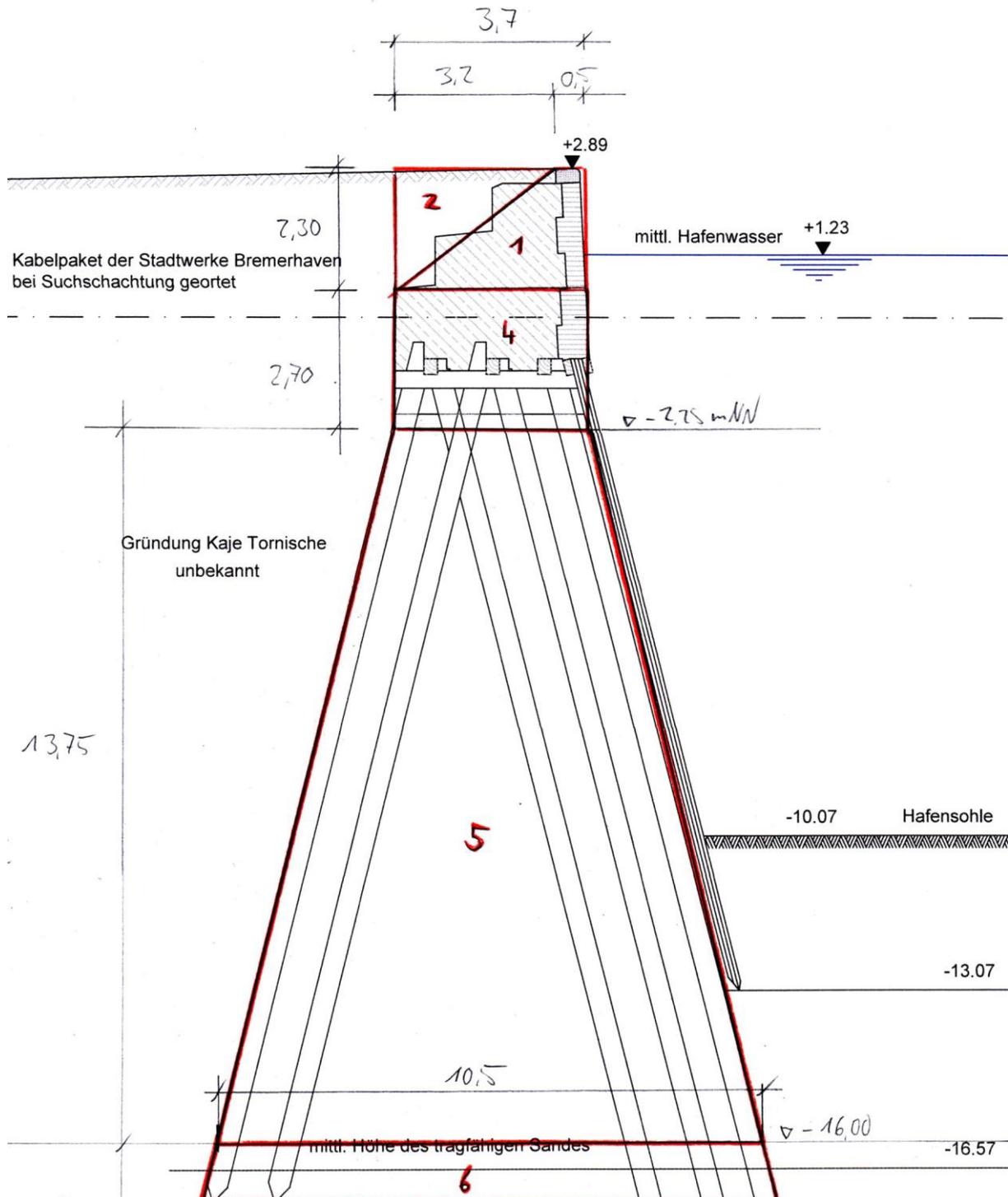
$T_{n\varphi,k} = K_0 \cdot \sigma'_{zz} \cdot \tan \varphi'$
 mit $K_0 = 1 - \sin \varphi'$

$T_{nc,k} = \alpha_n \cdot c_{uk}$

Schicht	Kote [mNN]	h [m]	γ [kN/m ³]	$\Delta\gamma$ [kN/m ³]	φ' [°]	c' [kN/m ²]	c_u [kN/m ²]	δ [°]	k_0	β'_n	σ'_{zz} [kN/m ²]	$T_{n\varphi,k}$ [kN/m ²]	$T_{nc,k}$ [kN/m ²]	T_{reck} [kN/m ²]	$F_{rep,k}$ [kN/m]	$F_{rep,k}$ [kN/m]	F_{reck} [kN/m]	Grenzerte gem. Baugrundearten:		Gewählt	
																		max $F_{a,k}$ [kN/m]	max $F_{o,k}$ [kN/m]		F_k [kN/m]
Sand trocken	OK UK	3,00 2,00	1,0	19,00	+/-0,00	32,5	0,0	32,5	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	0	2,38	0,00	2,38	0,23
Sand nass	OK UK	2,00 -3,00	5,0	11,00	+/-0,00	32,5	0,0	32,5	0,46	19,00	5,60	0,00	5,60	0,00	68,53	0,00	0	58,13	0,00	58,13	5,67
Klei stark humos	OK UK	-3,00 -5,00	2,0	5,00	+/-0,00	20,0	10,0	20,0	0,66	74,00	21,81	0,00	21,81	0,00	37,84	0,00	0	39,50	0,00	37,84	-2,04
Klei qc<1	OK UK	-5,00 -16,00	11,0	6,00	+/-0,00	22,5	10,0	22,5	0,62	84,00	21,48	0,00	21,48	0,00	329,09	0,00	0	321,75	0,00	321,75	2,53
Sand qc=20	OK UK	-16,00 -17,00	1,0	12,00	+/-0,00	37,5	0,0	37,5	0,39	150,00	45,03	0,00	45,03	0,00	46,83	0,00	0	39,00	0,00	39,00	5,88
Sand qc=20	OK UK	-17,00 -18,00	1,0	12,00	+/-0,00	37,5	0,0	37,5	0,39	162,00	48,63	0,00	48,63	0,00	50,43	0,00	0	42,00	0,00	42,00	6,34
	OK		0,0	0,00	+/-0,00	0,0	0,0	0,0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
	UK																				

UK kompressible, ca. $\sigma'_{zz} = 16,00$ mNN
 UK Fullbohle z= -17,00 mNN

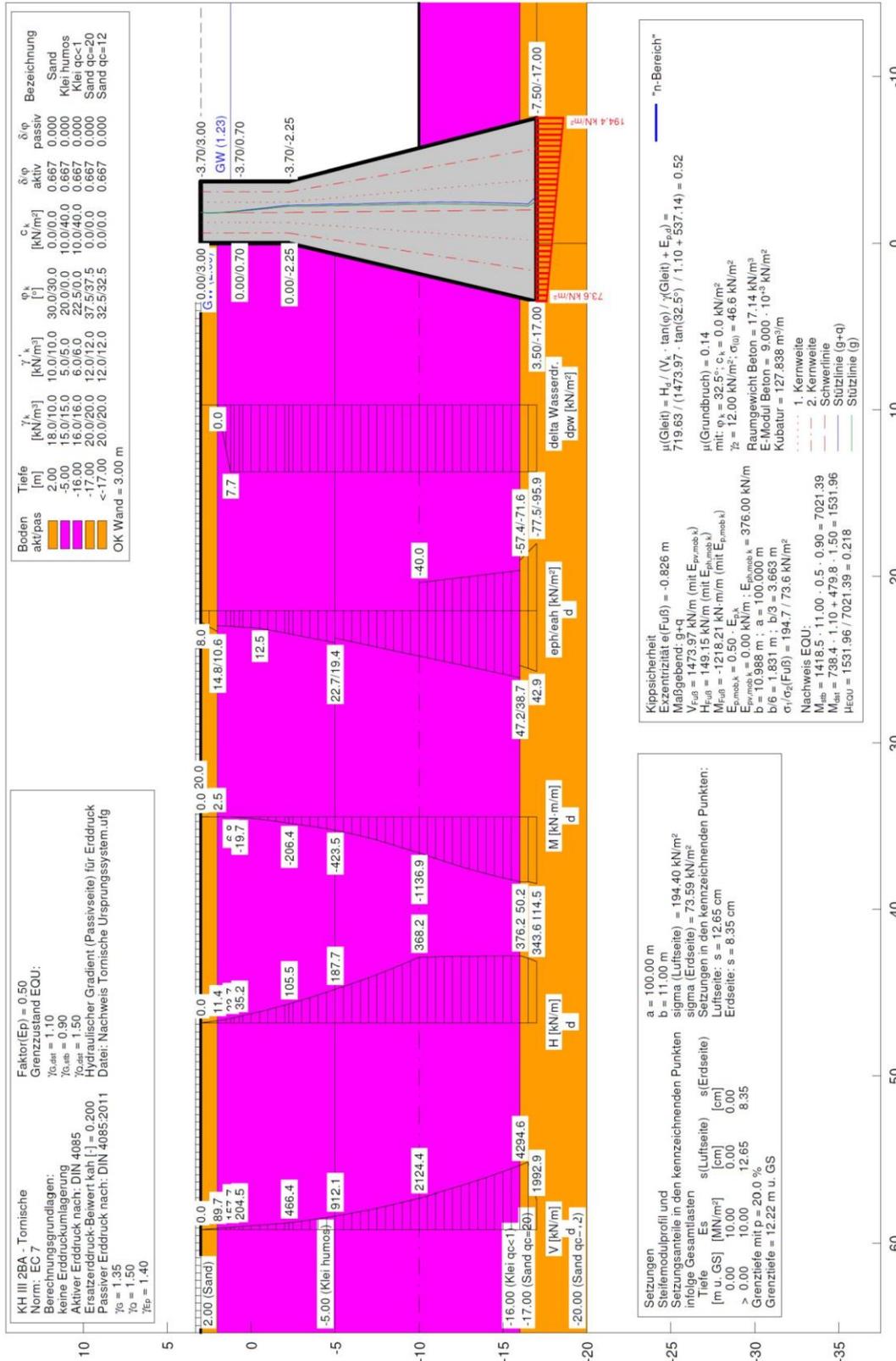
11.1.6 Fundamentgeometrie



i	Material	l_{oben}	l_{unten}	h	A	γ	G_k
[-]		[m]	[m]	[m]	[m ²]	[kN/m ³]	[kN/m]
1	Beton	0,50	3,70	2,30	4,83	23,00	111
2	Auffüllung /	3,20	0,00	2,30	3,68	18,00	66
3	Auftrieb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
4	Beton	3,70	3,70	2,70	9,99	23,00	230
5	Klei	3,70	10,50	13,75	97,63	16,00	1.562
6	Sand	10,50	11,00	1,07	11,50	19,00	219
7	Sand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
	Summe				128	17,14	2.188

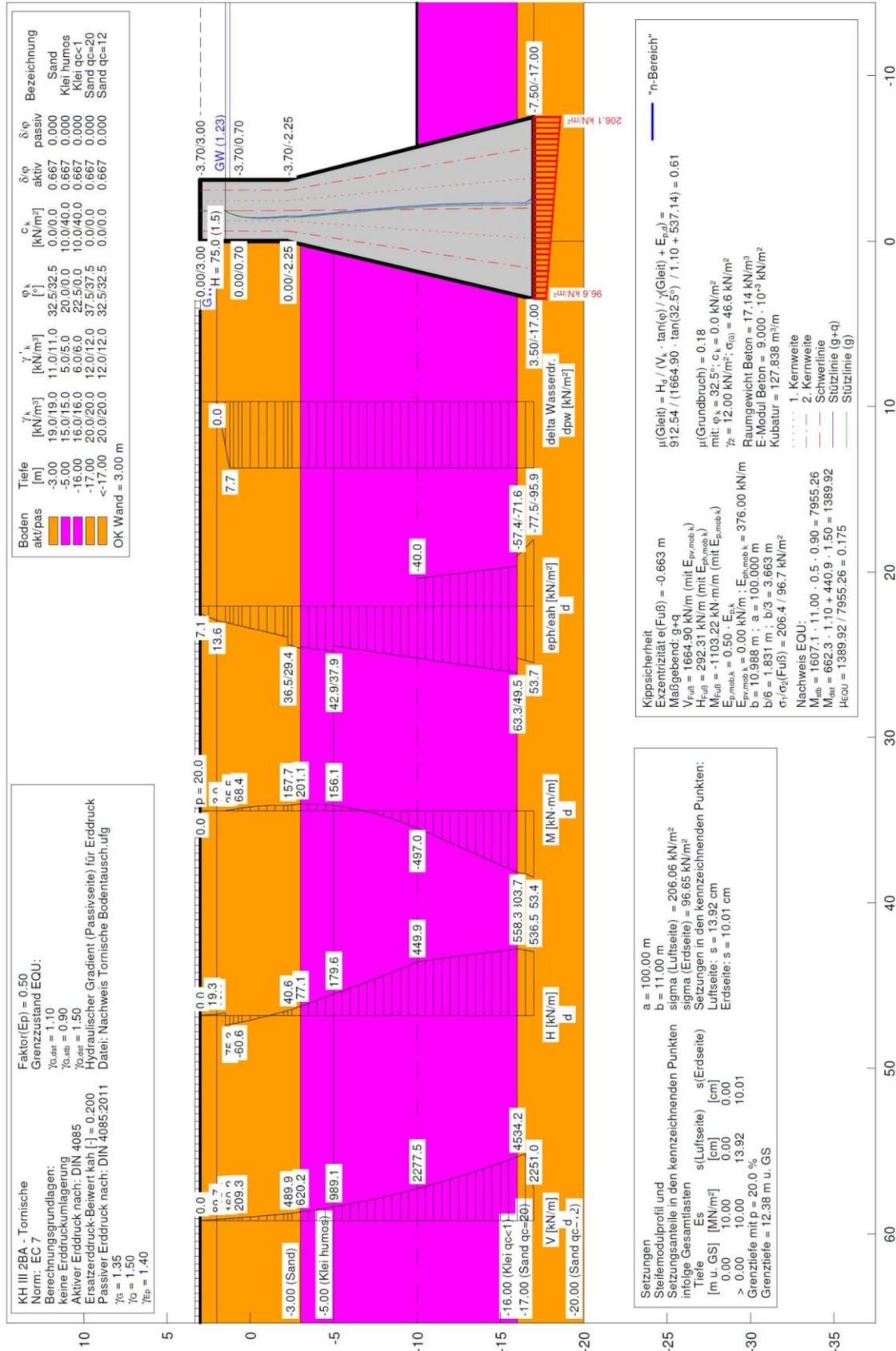
11.1.7 Versagen des Bodenauflegers

11.1.7.1 Vergleichsrechnung Urzustand



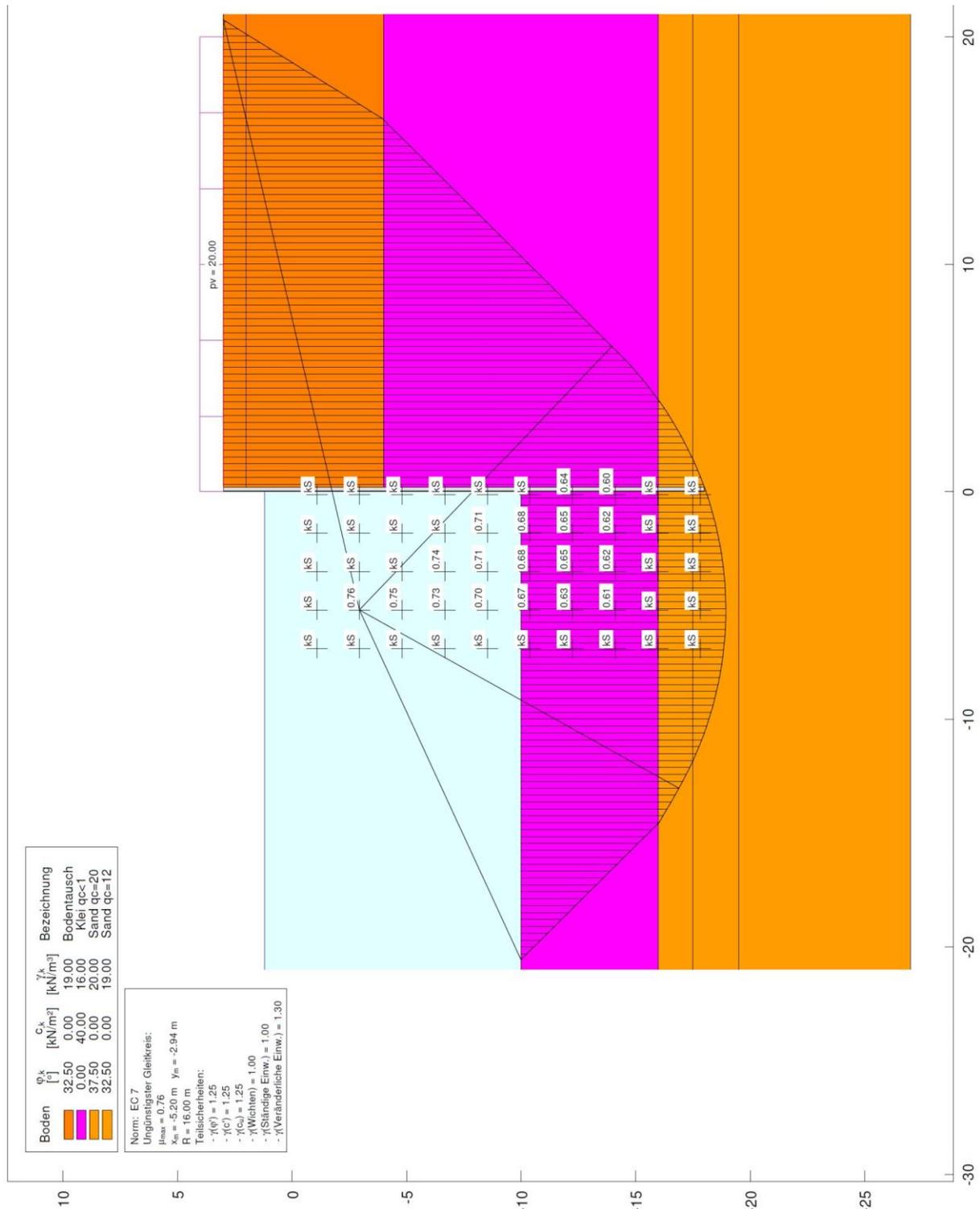
Das maximale, charakteristische Biegemoment ergibt sich zu -1.220 kNm/m.

11.1.7.2 Neuberechnung mit Bodentausch



Das maximale, charakteristische Biegemoment ergibt sich zu -1.100 kNm/m.

11.1.8 Geländebruchnachweis



12 Zusammenfassung Profilabmessungen

12.1 Ohne Bodenaustausch

Zusammenfassung (Ohne Bodenaustausch)

BP	Tragbohle	Profillänge [m]	Füllbohle	Profillänge [m]	Anker	Profillänge [m]
VIII	RO 1620 / 16	26,0	A 222 - 800	20,0	HTM 600 / 136	35,0 / 37,0
IX	- u -	27,0 *	- u -	- u -	- u -	43,5 $\mu=0,93$
X	- u -	27,0	- u -	- u -	- u -	43,5 $\mu=0,91$
XI	- u -	27,0	- u -	- u -	- u -	41,5 $\mu=0,92$
XII	- u -	27,0	- u -	- u -	- u -	42,0 $\mu=0,92$
XIII	- u -	27,0	- u -	- u -	- u -	41,0 $\mu=0,93$
XIV	- u -	- u -	- u -	- u -	- u -	41,5 $\mu=0,92$
XV	- u -	26,0	- u -	- u -	- u -	39,0 $\mu=0,94$
XVI	- u -	26,0	- u -	- u -	- u -	42,4 $\mu=0,94$
XVII	- u -	26,0	- u -	- u -	- u -	42,4
XVIII	- u -	26,5	- u -	- u -	M 90 $\mu=0,95$	42,0

*) Teileinspannung
GEWÄHLT

1) Ab GOK $\approx +3,00 \text{ m/NM}$

2) Ab Achsenmitt $\approx +1,75 \text{ m/NM}$

12.2 Mit Bodenaustausch

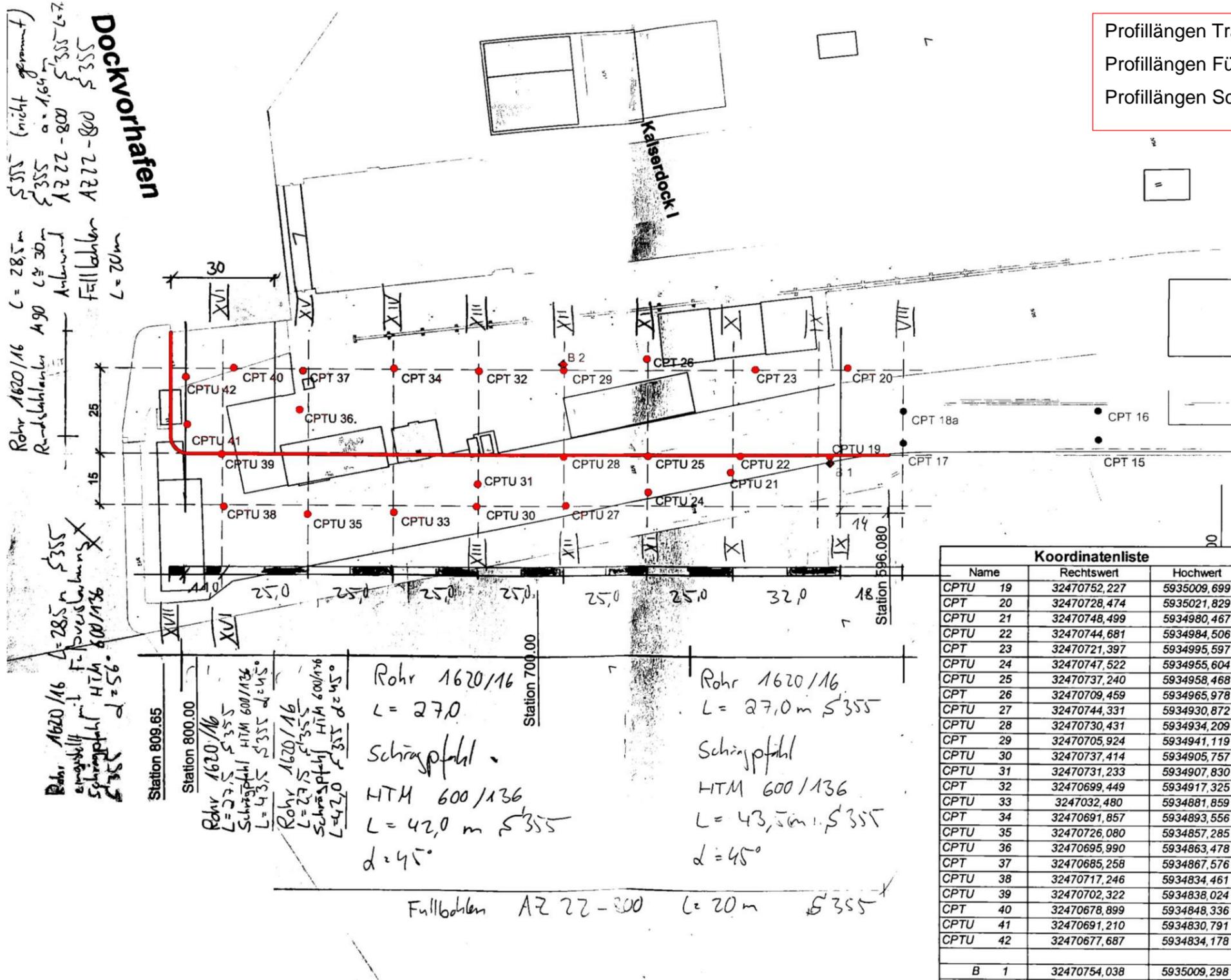
Zusammenfassung Profillängen mit Bodenaustausch

BP	Tragbohle	Profillänge ¹⁾ [m]	Füllbohle	Profillänge ¹⁾ [m]	Anker	Profillänge ²⁾ [m]
VIII						
IX						
X						
XI						
XII						
XIII						
XIV						
XV	RO 1620/16	270	A 222-800	20,0	HFM 600/136	420
XVI		27,5				45 43,5
XVII		27,5				430 43,0
XVIII		28,5			M90 635	30,0

Handwritten notes:
 - "Einflub" written vertically in the middle of the table.
 - "Bodenaustausch ohne" written vertically in the middle of the table.
 - "Bodenaustausch o.N.N" written vertically in the middle of the table.
 - Red arrows pointing to values 27,5 and 27,5 in the Profillänge¹⁾ column.
 - Red arrows pointing to values 43,5 and 43,0 in the Profillänge²⁾ column.
 - Red arrow pointing to value 28,5 in the Profillänge¹⁾ column.
 - Red arrow pointing to value 30,0 in the Profillänge²⁾ column.
 - "GEWAHLT" written vertically in red on the right side of the table.
 - "1) Ab Geländeroberkante = +3,00 m NN"
 - "2) Ab Achsenschnittpunkt = +17 m NN"
 - "3) Ohne konstruktive Maßnahme"

13 Übersicht Profilabmessungen

13.1 Mit Bodentausch



Profillängen Tragbohlen gerechnet ab GOK +3,00 mNN
 Profillängen Füllbohlen gerechnet ab GOK +3,00 mNN
 Profillängen Schrägpfähle gerechnet ab +1,75 mNN

Koordinatenliste		
Name	Rechtswert	Hochwert
CPTU 19	32470752,227	5935009,699
CPT 20	32470728,474	5935021,829
CPTU 21	32470748,499	5934980,467
CPTU 22	32470744,681	5934984,506
CPT 23	32470721,397	5934995,597
CPTU 24	32470747,522	5934955,604
CPTU 25	32470737,240	5934958,468
CPT 26	32470709,459	5934965,978
CPTU 27	32470744,331	5934930,872
CPTU 28	32470730,431	5934934,209
CPT 29	32470705,924	5934941,119
CPTU 30	32470737,414	5934905,757
CPTU 31	32470731,233	5934907,830
CPT 32	32470699,449	5934917,325
CPTU 33	3247032,480	5934881,859
CPT 34	32470691,857	5934893,556
CPTU 35	32470726,080	5934857,285
CPTU 36	32470695,990	5934863,478
CPT 37	32470685,258	5934867,576
CPTU 38	32470717,246	5934834,461
CPTU 39	32470702,322	5934838,024
CPT 40	32470678,899	5934848,336
CPTU 41	32470691,210	5934830,791
CPTU 42	32470677,687	5934834,178
B 1	32470754,038	5935009,298