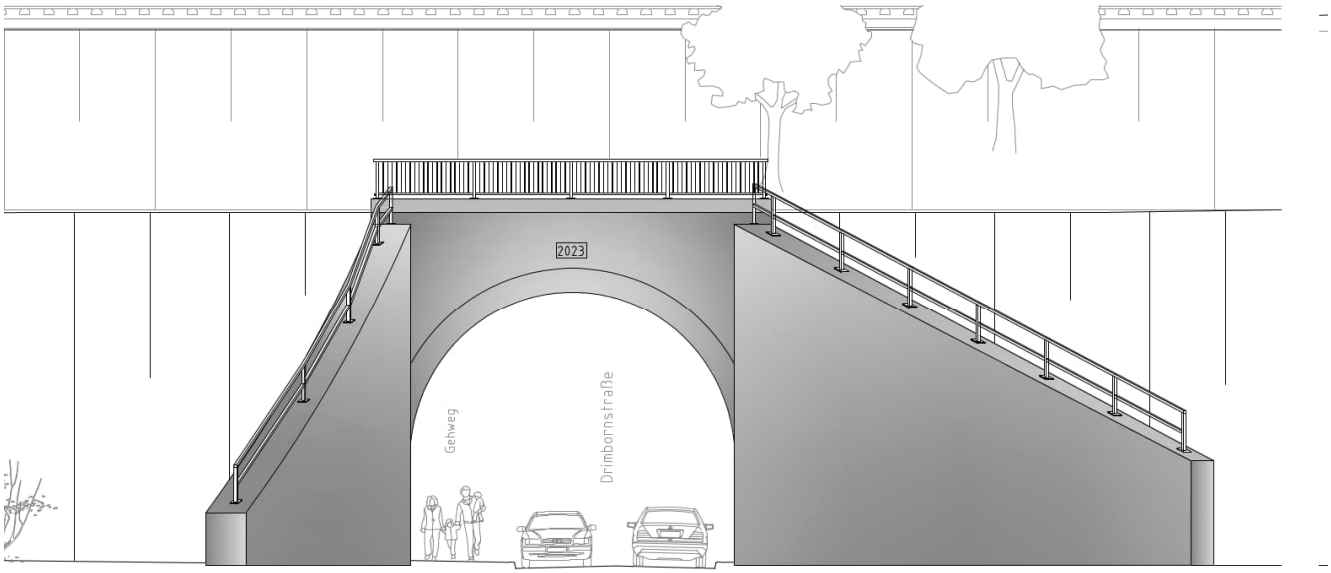
DB Engineering & Consulting GmbH

Strecke	2600	km 68,493
Bauwerksnummer	2600/68,493/1615	Entwurfsplanung

Statische Berechnung im Rahmen der Entwurfsplanung Stützwände Nord



EÜ Drimbornstraße in Aachen

Inhalt

1 Vorbemerkungen 5
1.1 Beschreibung des Tragwerks 5
1.2 Quellen 6
1.2.1 Technische Vorschriften 6
1.2.2 Literatur 6
1.2.3 Programme 6
1.2.4 Gutachten/Aktenvermerke 7
1.3 Geometrisches System 7
1.4 Materialkennwerte 7
1.4.1 Betonfestigkeitsklasse 7
1.4.2 Eigenschaften der Baustoffe 8
1.4.3 Betondeckung 8
1.5 Baugrundverhältnisse 10
1.5.1 Bodenarten und Schichtenfolge 10
1.5.2 Baugrundaufbau gemäß Baugrundgutachten 12
1.5.3 Grundwasser gemäß Baugrundgutachten 12
1.5.4 Gründung 12
2 Darstellung und Beschreibung des statischen Systems 13
2.1.1 Kennwerte für die Bemessung 14
2.1.2 Verankerung 15
2.1.1 Statisches System 16
3 Einwirkungen und Einwirkungskombination 17
3.1 Ständige Einwirkungen 17
3.1.1 Eigengewicht des Bauwerks 17
3.1.2 Ständiger Erddruck 17
3.2 Veränderliche Einwirkungen 17
3.3 Außergewöhnliche Einwirkungen 17
3.3.1 Ankerausfall 17
3.3.2 Erdbebenbeanspruchung 18
4 Nachweise am Gesamtsystem 20
4.1 Teilsicherheitsbeiwerte 20
4.2 Nachweise für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 21
4.3 Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit 21
4.4 Benötigte Bewehrung 22
4.4.1 Längsbewehrung 22

4.4.2 Schubbewehrung 22
5 EDV-Ausdrucke 22

Tabellen

Tabelle 1: Streckenparameter der Strecke 2600 5
Tabelle 2: Betoneigenschaften bewehrter Pfähle 8
Tabelle 3: Betoneigenschaften Vorsatzschale 8
Tabelle 4: Betonstahleigenschaften 8
Tabelle 5: Betondeckung Pfähle 8
Tabelle 6: Betondeckung Vorsatzschale 9
Tabelle 7: Charakteristische Zahlenwerte ausgewählter geotechnischer Kenngrößen (IBES Baugrundgutachten) 12
Tabelle 8: Kennwerte der Stützwand 14
Tabelle 9: Bodenkennwerte 14
Tabelle 10: Maße der Anker 15
Tabelle 11: Details der Litzenanker 16
Tabelle 12: Abstand des Radwegs zur Bohrpfahlwand 17
Tabelle 13: Ankerkräfte ohne Ankerausfall 17
Tabelle 14: Ersatzlasten des Ankerausfalls 18
Tabelle 15:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination 20
Tabelle 16:Teilsicherheitsbeiwerte HYD und UPL 20
Tabelle 17:Teilsicherheitsbeiwerte STR und GEO-2 20
Tabelle 18:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination 20
Tabelle 19:Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände von Bauteilen und Boden 21
Tabelle 20: Max. Verformungen der Verbauten 21
Tabelle 21: Ausnutzungsgrade μ für verschiedene Nachweise 22

Abbildungen

Abbildung 1: Draufsicht der Nordeinfahrt mit Stützwänden 7
Abbildung 2: Lageplan mit Erkundungspunkten 10
Abbildung 3: Bohrkern BK1 11
Abbildung 4: Bohrkerne BK2 und BK3 11
Abbildung 5: Bohrpfahlwand – Schnitt GGU-RETAIN [m] 13
Abbildung 6: Verankerung 15
Abbildung 7: Details der Gurtungen 16

1 Vorbemerkungen

1.1 Beschreibung des Tragwerks

Die hier vorgelegten Standsicherheitsnachweise betreffen die quer zum Gleis verlaufende Stützwand der EÜ Drimbornstraße in Aachen, die die Strecken 2600, 2564 und 2560 über die Drimbornstraße überführt. Die betrachteten Stützwände befinden sich auf der Nordseite der EÜ.

Grundlage der Berechnungen sind die Vorplanungspläne der DB Engineering & Consulting GmbH sowie die Baugrundgutachten von IBES vom 15.01.2016.

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die Streckenparameter zusammengefasst:

Strecke 2600				
Entwurfsgeschwindigkeit (Bahnstrecke)	v_e	=	160	km/h
Überhöhung	u	=	0	mm
Radius	r	=	∞	m
Höhe der Schienenoberkante	H	=	184,8	mNN
Gleislängsneigung	I	=	ca. 2	‰

Tabelle 1: Streckenparameter der Strecke 2600

Zur Böschungssicherung des Bahndamms werden straßenparallel Stützwände benötigt. Diese Stützwände befinden sich auf der Nordseite und bestehen aus rückverankerten Bohrpfahlwänden.

Die geplanten straßenparallelen Stützwände werden in der BS-P, BS-T und BS-A als rückverankerte Bohrpfahlwände bemessen und dienen der Bahndamm- und Böschungssicherung. Im Endzustand verbleiben die Anker im Bahndamm und haben eine tragende Wirkung.

Umgesetzt werden die Stützwände als rückverankerte Stahlbetonwände, die mittels Kopfplatte auf Pfählen tiefgegründet werden. Die Bemessung des Systems als rückverankerte Bohrpfahlwände ist gleichwertig und liegt auf der sicheren Seite.

Wenn andere Bodeneigenschaften als angenommen vorgefunden werden, ist der Aufsteller zu kontaktieren.

1.2 Quellen

1.2.1 Technische Vorschriften

DIN EN 1990 DIN EN 1990/NA	Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung und Nationaler Anhang
DIN EN 1991-1-1 DIN EN 1991-1-1/NA	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-1: Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau und Nationaler Anhang
DIN EN 1991-1-5 DIN EN 1991-1-5/NA	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-5: Temperatureinwirkungen und Nationaler Anhang
DIN EN 1991-1-7 DIN EN 1991-1-7/NA	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-7: Außergewöhnliche Einwirkungen und Nationaler Anhang
DIN EN 1994-2 DIN EN 1994-2/NA	Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton Teil 2: Allgemeine Bemessungs- und Anwendungsregeln für Brücken und Nationaler Anhang
DIN EN 1997-1 DIN EN 1997-1/NA	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik Teil 1: Allgemeine Regeln und Nationaler Anhang
DIN 1054	Baugrund und Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
DIN 4149	Bauten in deutschen Erdbebengebieten Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten
ZTV-ING	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten
RiZ-ING	Richtzeichnungen für Ingenieurbauten
EAB	Empfehlung des Arbeitskreises Baugruben 5. Auflage
EA-Pfähle	Empfehlung des Arbeitskreises „Pfähle“ 2. Auflage

1.2.2 Literatur

Schneider Bautabellen, 20. Auflage, Werner-Verlag 2012

1.2.3 Programme

GGU-RETAIN Berechnung von Verbauwänden, Version 10.34 04.01 2021, Civilserve GmbH

1.2.4 Gutachten/Aktenvermerke

DB E&C GmbH: Vor- und Entwurfsplanung Unterlagen, Stand 05.02.2022

IBES Baugrundinstitut GmbH: Baugrund- und Gründungsgutachten IBES-Projekt-Nr. 13.090.1 vom 15.01.2016 + diverse Stellungnahmen

1.3 Geometrisches System

Die in dieser Statik betrachteten Stützwände verlaufen nördlich der EÜ und parallel zur Straße, wie Abbildung 1 zu entnehmen ist:

Draufsicht

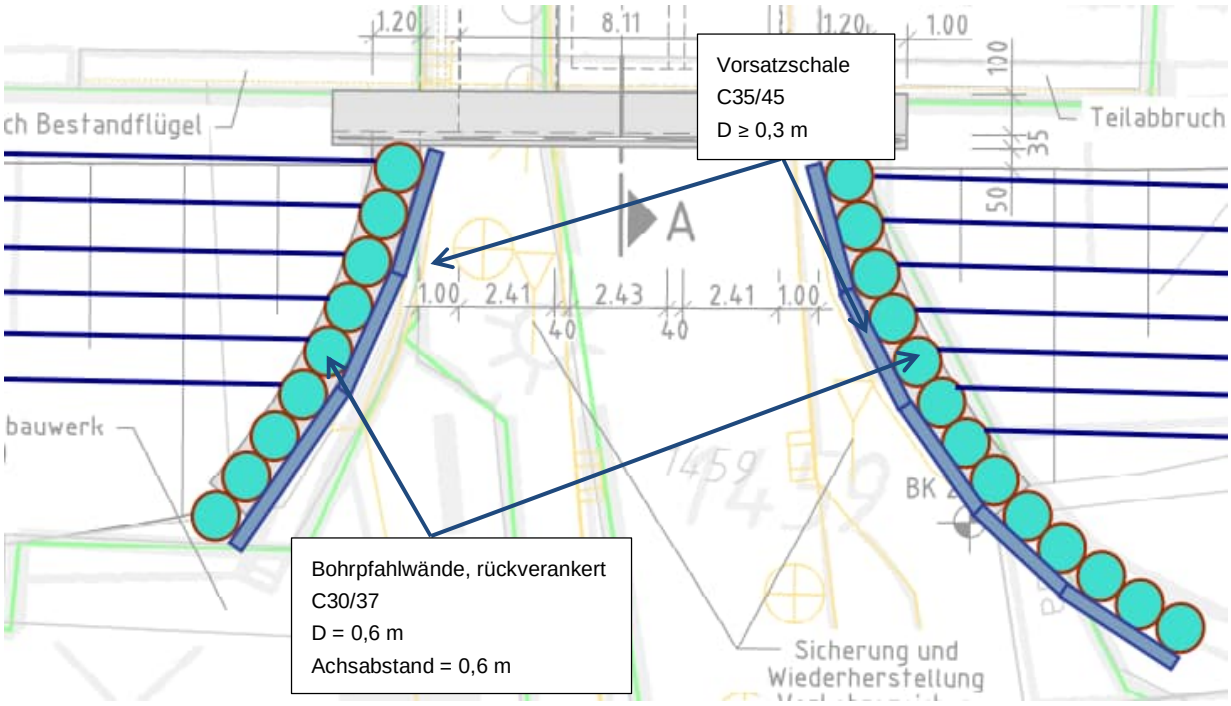


Abbildung 1: Draufsicht der Nordeinfahrt mit Stützwänden

Die Abmessungen der Bauteile sind den Planunterlagen zu entnehmen.

1.4 Materialkennwerte

1.4.1 Betonfestigkeitsklasse

Die Wahl der Betonfestigkeitsklasse hängt von der Expositionsklasse ab. Nach Abschnitt 2(6) der Ril 804.4201 ist für Bauteile von Eisenbahnbrücken im Sprühnebel- und Spritzwasserbereich von Straßen, Rad- und Gehwegen, d.h. mit einem Abstand a < 10 m von der Fahrbahn als tausalzbeansprucht anzusehen. Für diese Bauteile gelten die Anforderungen der ZTV-ING Teil 3 Abschnitt 1 Kapitel 4. Wenn keine Tausalzbeanspruchung vorhanden ist, gilt DIN EN 1992-2.

Ohne Tausalzbeanspruchung ist i.d.R. eine Zuordnung in:

XC1 bis XC4 (Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung),

XF1, XF3 (Frostangriff ohne Taumittel),

XA1 bis XA3 (Betonkorrosion durch chem. Angriff).

1.4.2 Eigenschaften der Baustoffe

Für die bewehrten Pfähle wird die Betonfestigkeitsklasse C30/37 gewählt, siehe Tabelle 2:

Beton				
Charakteristischer Wert der Druckfestigkeit	f_{ck}	=	30	MN/m^2
Elastizitätsmodul	E_{cm}	=	33.000	MN/m^2
Mittlere Zugfestigkeit	f_{ctm}	=	2,9	MN/m^2
Temperaturkoeffizient	α_T	=	$10 \cdot 10^{-6}$	K^{-1}

Tabelle 2: Betoneigenschaften bewehrter Pfähle

Für die Vorsatzschale wird die Betonfestigkeitsklasse C35/34 gewählt, siehe Tabelle 3:

Beton				
Charakteristischer Wert der Druckfestigkeit	f_{ck}	=	35	MN/m^2
Elastizitätsmodul	E_{cm}	=	34.000	MN/m^2
Mittlere Zugfestigkeit	f_{ctm}	=	3,2	MN/m^2
Temperaturkoeffizient	α_T	=	$10 \cdot 10^{-6}$	K^{-1}

Tabelle 3: Betoneigenschaften Vorsatzschale

Die Eigenschaften des Betonstahls sind nachfolgender Tabelle 4 zu entnehmen.

Betonstahl BSt 500S				
Charakteristischer Wert der Streckgrenze	f_{yk}	=	500	MN/m^2
Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit	$f_{tk,cal}$	=	525	MN/m^2
Elastizitätsmodul	E	=	200.000	MN/m^2

Tabelle 4: Betonstahleigenschaften

1.4.3 Betondeckung

Für die Bohrpfähle gilt nach DIN 1536 die in Tabelle 5 aufgelistete Betondeckung:

Expositionsklasse	Klasse	Beschreibung	Mindestmaß c_{min}
Bewehrungskorrosion, durch Karbonatisierung	XC2	Gründungsbauteile	60 mm

Tabelle 5: Betondeckung Pfähle

Maßgebende Betondeckung $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 60 + 15 = 75$ mm

Für die Vorsatzschale gilt nach DIN 1536 die in Tabelle 5 aufgelistete Betondeckung:

Expositionsklasse	Klasse	Beschreibung	Mindestmaß c_{min}
Bewehrungskorrosion, durch Chloride	XD3	Bauteile im Spritzwasserbereich	40 mm

Tabelle 6: Betondeckung Vorsatzschale

Maßgebende Betondeckung $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 40 + 15 = 55$ mm

1.5 Baugrundverhältnisse

1.5.1 Bodenarten und Schichtenfolge

Der angenommene Baugrundaufbau für die statischen Berechnungen liegen die Ergebnisse der Baugrunderkundung von IBES zugrunde. Eine Übersicht der Lage der Bohrkerne ist Abbildung 2 zu entnehmen:

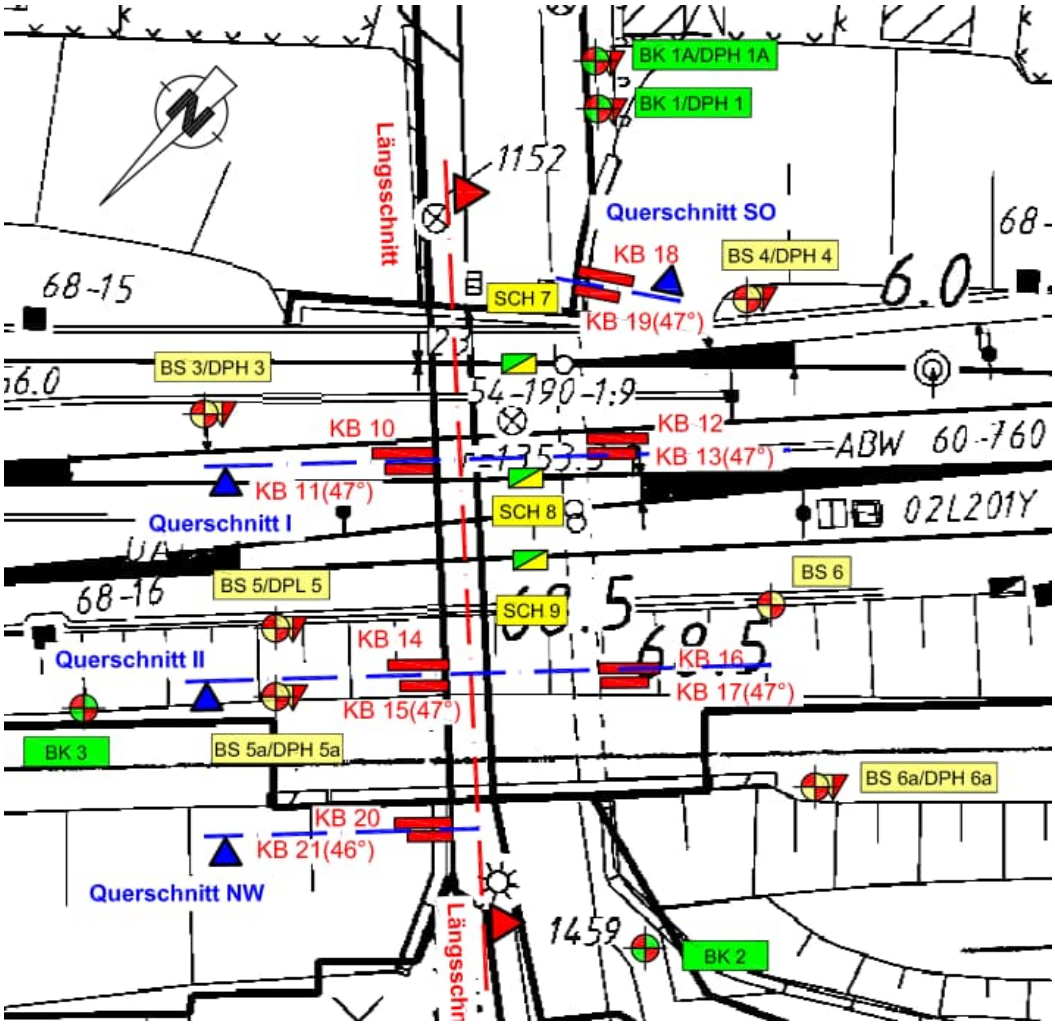


Abbildung 2: Lageplan mit Erkundungspunkten

In Abbildung 3 und Abbildung 4 werden die Ergebnisse der Bohrkerne BK1, BK2 und BK3 dargestellt, die für die Modellierung des Baugrunds verwendet werden.

1.5.1.1 Südseite

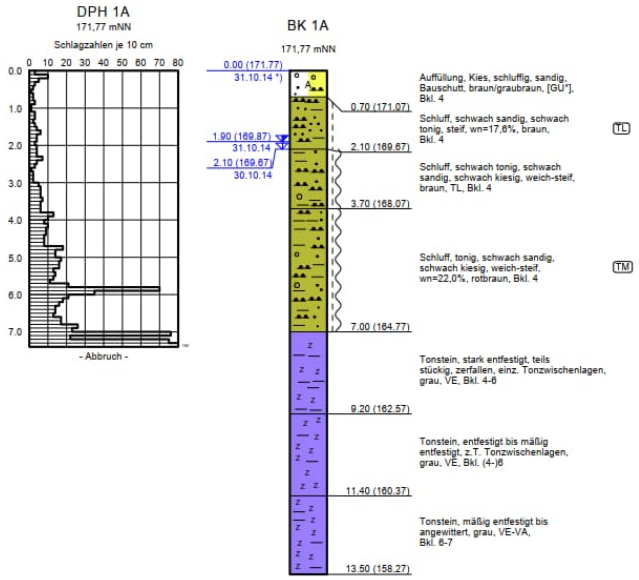


Abbildung 3: Bohrkern BK1

1.5.1.2 Nordseite

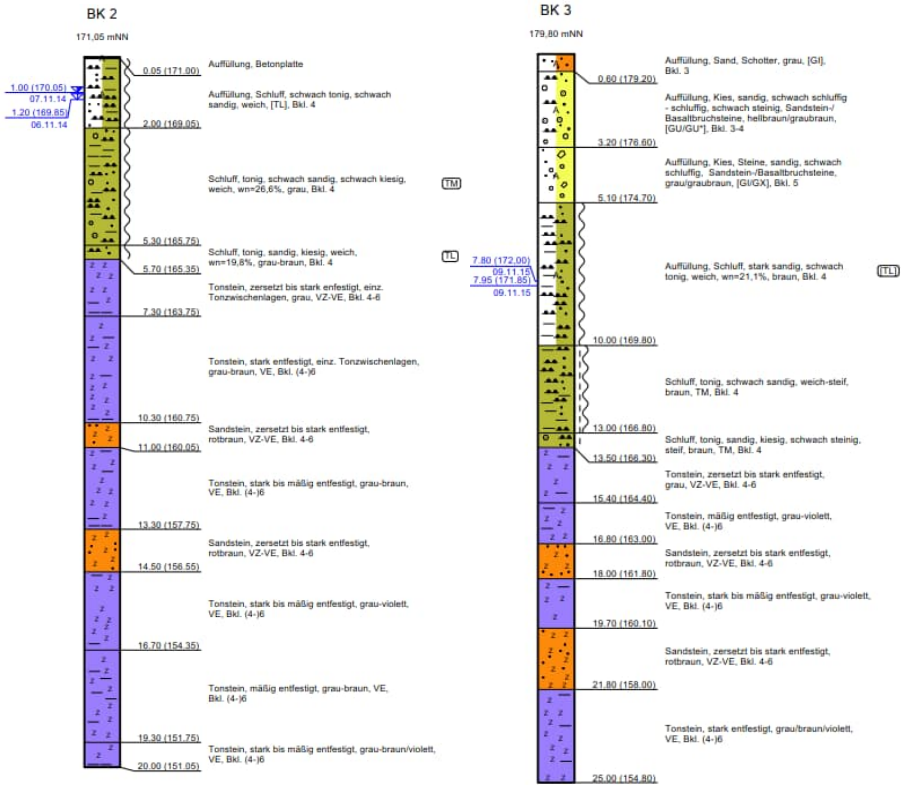


Abbildung 4: Bohrkerne BK2 und BK3

1.5.2 Baugrundaufbau gemäß Baugrundgutachten

In Tabelle 7 sind die charakteristischen Werte der geotechnischen Kenngrößen zusammengefasst:

Schicht-komplex	Bodenart *)	Bodengruppe n. DIN 18196	Konsistenz / Lagerungsdichte / Verwitterungsgrad	γ (γ') [kN/m³]	φ_k' [°]	c_k' [kN/m²]	$E_{s,k}$ [MN/m²]
(1)	Kies, sandhaltig,z.T. schwach schluffig / Sand, kieshaltig, z.T. schw. schluffig	[GI], [GU], ([GX]) [SI], [SU]	locker mitteldicht	18 (10) 19 (11)	32,5 35,0	0	30 60
	Kies, sandhaltig, (stark) schluffig / Sand, kieshaltig, (stark) schluffig	[GU*] [SU*]	locker mitteldicht	19 (9) 20 (10)	30,0 32,5	0 3	20 40
	Schluff, ton-, sandhaltig	[TL]	weich steif	19 (10) 20 (11)	27,5	2 5	5 8
		[TM]	weich steif	19 (10) 20 (11)	25,0	2 7	5 8
(2)	Schluff, ton-, sandhaltig	TL	weich steif	19 (10) 20 (11)	27,5	2 5	5 8
		TM	weich steif	19 (10) 20 (11)	25,0	2 7	5 8
(3)	(verwitterter) Tonstein (Sandstein)	(VZ)	zersetzt	21 (12)	25,0	10-20	10 - 20
		(VE)	entfestigt	22 (13)		20-40	20 - 50
		(VA)	angewittert	24 (14)	35,0	40-60	50 - 150

γ (γ') Wichte (Wichte unter Auftrieb) — c_k' charakteristischer Wert für die Kohäsion

φ_k' charakteristischer Wert für den Reibungswinkel — $E_{s,k}$ charakteristischer Wert für die Steifeziffer

*) Nebenbestandteile, die bei der Vergabe der Kenngrößen unbedeutend sind, sind in dieser Spalte nicht mit aufgeführt.

Tabelle 7: Charakteristische Zahlenwerte ausgewählter geotechnischer Kenngrößen (IBES Baugrundgutachten)

1.5.3 Grundwasser gemäß Baugrundgutachten

Folgende Grundwasserstände werden den Berechnungen für die unterschiedlichen Bemessungssituationen zugrunde gesetzt:

- **$Wsp._{BS-P}$ = 170,5 mNN (= HGW)**
- **$Wsp._{BS-A}$ = 171,0 mNN (= HGW zuzügl. 0,5 m Sicherheitszuschlag)**
- **$Wsp._{BS-T}$ = 170,0 mNN (~ MHGW)**

1.5.4 Gründung

Die Stützwand wird tief gegründet und ist gemäß EA-Pfähle mindestens 2,5 m in ausreichend tragfähige Bodenschichten unterhalb ~ 165 mNN abzusetzen.

2 Darstellung und Beschreibung des statischen Systems

In dieser Statik sollen die nördlichen Flügelwände der EÜ Drimbornstraße berechnet werden. Diese Stützwände dienen der Bahndamm- und Böschungssicherung und schließen über eine Fuge an das Gewölbeportal der EÜ an.

Die Stützwand wird rückverankert und besteht aus einer Bohrpfahlwand mit den Pfahl-Durchmessern 0,6 m, siehe Abbildung 5. Die Bohrpfahlwand wird tangierend hergestellt mit einem Pfahl-Achsabstand von 0,6 m. Straßenseitig wird eine Vorsatzschale eingebracht. Die Höhe der Bohrpfahlwand nimmt mit zunehmender Entfernung von der EÜ mit einer Steigung von 1:1,5 ab. Im Abschnitt der max. freien Höhe der Wand sind 2 Ankerreihen vorgesehen. Die Anzahl der Anker reduziert sich mit abnehmender Höhe der Wand. Die Wände sind je ca. 15 m lang.

In der außergewöhnlichen Bemessungssituation wird der Ankerausfall berücksichtigt. Da an der maßgebenden Stelle 2 Ankerreihen benötigt werden, sollen 2 Fälle unterschieden werden. Bei jedem Fall wird je eine der 2 Ankerreihen weggelassen und stattdessen die Hälfte der fehlenden Ankerkraft als Kraft angesetzt. Durch diese Ersatzlast soll dargestellt werden, dass nicht die gesamte Ankerreihe ausfällt.

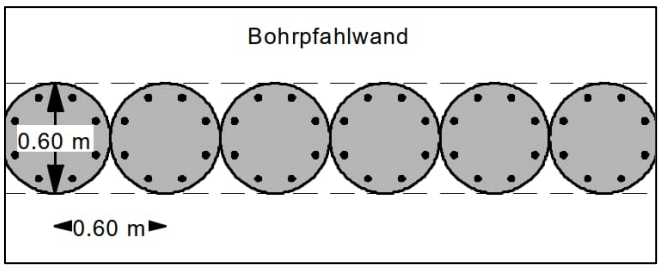


Abbildung 5: Bohrpfahlwand – Schnitt GGU-RETAIN [m]

Die Nachweise erfolgen mittels EDV-Berechnung (Programm: GGU-RETAIN).

2.1.1 Kennwerte für die Bemessung

Der Bemessung werden folgende Kennwerte zugrunde gelegt, siehe Tabelle 8:

Konstruktionsart	Ortbeton
Material bewehrter Pfähle	C 30/37
Material Vorsatzschale	C 35/45
Gesamtbreite	ca. 15 m
Durchmesser	0,6 m
Achsabstand	0,6 m
Max. Stützwand-OK	179,5 mNN
Straßen-OK	170,5 mNN
Max. freie Höhe	9 m
Einbindung BS-P	13,8 m
Ankerabstand in hor. Richtung	1,5 m
Ankerabstand in hor. Richtung bei Ankerausfall	2,25 m

Tabelle 8: Kennwerte der Stützwand

Die angenommenen Bodenkennwerte sind Tabelle 9 zu entnehmen:

Schicht	Schicht-UK [mNN]	γ (γ') [kN/m³]	ϕ [°]	c [kN/m²]	Mantelreibung Anker $q_{s,k}$ l_0 = 6 m [MN/m²]	Mantelreibung BPW $q_{s,k}$ [MN/m²]	Spitzenwiderstand BPW $q_{b,k}$ [MN/m²]
Auffüllung	171	19 (10)	25	2	0,1	0,01	0
Schluff	165	19 (10)	25	2	0,1	0,01	0
Tonstein	160	21 (12)	25	10	0,26	0,08	1,2
Tonstein	150	22 (13)	25	20	0,42	0,15	2,0

Tabelle 9: Bodenkennwerte

2.1.2 Verankerung

Die Lage der Verankerungen der Stützwand ist Abbildung 6 zu entnehmen.

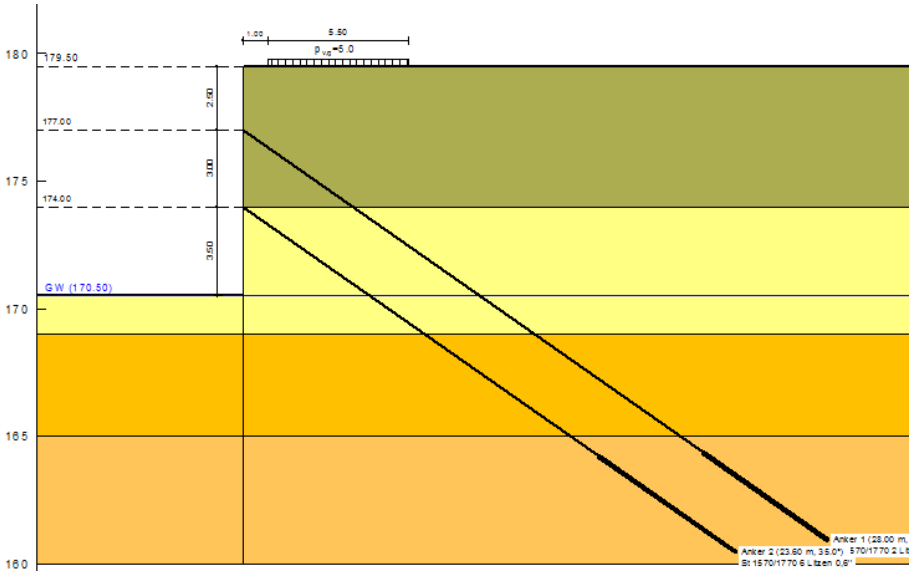


Abbildung 6: Verankerung

Die Kennwerte der 2 Anker sind Tabelle 10 zu entnehmen:

Tiefe [mNN]	Neigung [°]	Länge bis Verpresskörper [m]	Verpresskörper-länge BS-T [m]	EA [kN]	Durchmesser [m]
177	35	22	6,0	$3{,}15 \cdot 10^5$	0,2
174	35	17	6,6	$3{,}15 \cdot 10^5$	0,2

Tabelle 10: Maße der Anker

Hinweise des IBES Baugrundinstituts:

Durch die geringe Tragfähigkeit des Bodens und die hohen Lasten in den Ankern, können die Verpresskörper folgendermaßen angepasst werden.

1. *Es besteht die Möglichkeit Stufenanker zu wählen. Diese spezielle Form des Verpressankers wird speziell in weichen Böden oder in Böden mit wechselnden Schichten eingesetzt. Die Längen der Einzellitzen werden dabei gestaffelt ausgeführt. Die Krafteinleitung in den Boden erfolgt dabei nicht konzentriert, sondern wird über die Verankerungslänge aufgeteilt, wodurch eine gleichmäßigere Lasteintragung in den Untergrund und eine bessere Ausnutzung der verfügbaren Scherspannung des Bodens erreicht wird.*
2. *Abhilfe kann auch durch die Planung von Doppelankern (oder Dreifachankern) geschaffen werden, die so anzuordnen sind, dass sich die Verpresskörper nicht gegenseitig beeinflussen (Steuerung über horizontale/vertikale Ankerneigung).*

Die Details der Litzenanker sind Tabelle 11 zu entnehmen:

	BS-P	BS-T	BS-A/E
Ankerstahl	St 1570/1770	St 1570/1770	St 1570/1770
Durchmesser	0,6“	0,6“	0,6“
Querschnittsfläche	140 mm²	140 mm²	140 mm²
Streckgrenze pro Litzen	218 kN	218 kN	218 kN
Ankerreihe 1	2 Litzen	2 Litzen	≤ 3 Litzen
Ankerreihe 2	6 Litzen	5 Litzen	≤ 5 Litzen

Tabelle 11: Details der Litzenanker

Die Details der Gurtungen sind Tabelle 11 zu entnehmen:

	BS-P	BS-T	BS-A/E
Stahlgüte	S335	S335	S335
Streckgrenze f_y	335 N/mm²	335 N/mm²	335 N/mm²
σ_r	33,5 kN/cm²	33,5 kN/cm²	33,5 kN/cm²
τ_r	19,34 kN/cm²	19,34 kN/cm²	19,34 kN/cm²
Ankerreihe 1	UPE 120	UPE 120	≤ UPE 140
Ankerreihe 2	UPE 240	UPE 200	≤ UPE 220

Abbildung 7: Details der Gurtungen

2.1.1 Statisches System

Die Einbindetiefe der Bohrpfahlwand wird über eine volle Einspannung am Fuß bestimmt.

3 Einwirkungen und Einwirkungskombination

3.1 Ständige Einwirkungen

3.1.1 Eigengewicht des Bauwerks

Das Eigengewicht der Bohrpfahlwand wird programmintern ermittelt.

γ_{StB} = 25 kN/m³

3.1.2 Ständiger Erddruck

Gemäß ZTV-ING, Abschnitt 2, 3.3.3 wird 50% des aktiven Erddrucks und 50% des Erdruhedrucks als ständig wirkend angesetzt. Die Erddrucklasten werden programmintern ermittelt.

3.2 Veränderliche Einwirkungen

Rechtwinklig zur Stützwand verläuft an der OK der Wand ein Geh- und Radweg. Da diese Verkehrslast insbesondere an der Stelle des betrachteten Schnitts bei der max. Höhe der Stützwand eine Auswirkung auf die Wand hat, wird diese Last auf der sicheren Seite berücksichtigt.

Nach DIN EN 1991-2 5.3.2.1 sollte für Fußgänger- oder Radwege auf eine gleichmäßig verteilte Last q_{fk} festgelegt werden, siehe Tabelle 12:

Tiefe [mNN]	Beginn [m]	Ende [m]
179,5	1,0	6,5

Tabelle 12: Abstand des Radwegs zur Bohrpfahlwand

Verkehrslast: q_{fk} = 5 kN/m²

3.3 Außergewöhnliche Einwirkungen

3.3.1 Ankerausfall

Zur Berechnung der außergewöhnlichen Bemessungssituation soll der Ankerausfall untersucht werden. Dafür wird jeweils eine der 2 Ankerreihen vernachlässigt und stattdessen eine Ersatzlast aufgegeben. Dazu werden zuerst die Ankerkräfte der BS-T betrachtet, die vorherrschen, wenn kein Anker ausfällt, siehe Tabelle 13:

Tiefe [mNN]	$N_{g,k}$ [kN]	$N_{q,k}$ [kN]	N_k [kN]
177	191,4	9,8	201,2
174	561,0	12,1	573,0

Tabelle 13: Ankerkräfte ohne Ankerausfall

Die Ersatzlasten ergeben sich aus der Hälfte der jeweiligen Ankerkraft, aufgeteilt in Vertikal- und Horizontalkomponente, siehe Tabelle 14:

Ausfall in Reihe	Tiefe [mNN]	$H_{g,k}$ [kN]	$H_{q,k}$ [kN]	$V_{g,k}$ [kN]	$V_{q,k}$ [kN]
1	177	78 kN	4 kN	55 kN	3 kN
2	174	230 kN	5 kN	161 kN	3 kN

Tabelle 14: Ersatzlasten des Ankerausfalls

3.3.2 Erdbebenbeanspruchung

3.3.2.1 Bemessungsgrundlagen

Der Nachweis der Erdbebenbeanspruchung für Stützwände für die Sicherung von Böschungen von Eisenbahnbrücken wird nach DIN 4149:2005-04 in Verbindung mit DIN EN 1998 (Eurocode 8) geführt. Gebiete, die nicht den Erdbebenzonen 1 bis 3 zugeordnet sind, werden als Gebiete geringer Seismizität eingestuft, so dass für Bauwerke in diesen Gebieten kein Erdbebennachweis erforderlich ist.

Laut Baugrund- und Gründungsgutachten ist gemäß DIN EN 1998-1/NA: 2011-01 das Bauvorhaben folgende Einteilung vorzunehmen:

- Erdbebenzone 2
- Geologische Untergrundklasse R
- Baugrundklasse B

Aufgrund dieser Einstufung müssten Einwirkungen aus dem Lastfall Erdbeben berücksichtigt werden. Diese könnte durch den Ansatz eines, um den Erdbebenanteil erhöhten Erddrucks erfolgen.

Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung (DIN EN 1998-1/NA:2011-01):

Referenz-Bodenbeschleunigung: $a_{g,R} = 0{,}6$ m/s²

Bedeutungsbeiwert (DIN EN 1998-1/NA Tab. NA.6) $\gamma_1 = 1{,}0$ –

Bodenbeschleunigung (DIN EN 1998-1 3.2): $a_g = a_{g,R} \cdot \gamma_1 = 0{,}6 \cdot 1{,}0 = 0{,}6$ m/s²

Vertikale Bodenbeschleunigung (DIN EN 1998-1/NA 3.2.2.3(1)P):

$a_{vg} = 0{,}5 \cdot a_{gR} \cdot \gamma_1 =$

$a_{vg} = 0{,}5 \cdot 0{,}6 \cdot 1{,}0 = 0{,}3$ m/s²

Parameter des horizontalen elastischen Antwortspektrums (DIN EN 1998-2/NA, Tabelle NA.4):

Untergrundverhältnis B-R: $S = 1{,}25$ –

Parameter der Schwingdauer: $T_B = 0{,}05$ -

$T_C = 0{,}25$ -

$T_D = 2{,}0$ -

Erdbeschleunigung $g = 9{,}81$ m/s²

Beiwert für die Berechnung des horizontalen Erdbebenbeiwerts (DIN EN 1998-5 Tab. 7.):

$r = 1{,}0$ -

Wenn keine genaueren Untersuchungen vorliegen, müssen die horizontalen und vertikalen Erdbebenbeiwerte, die alle Massen betreffen, wie folgt angenommen werden (DIN EN 1998-5 7.3.2.2):

Horizontaler Erdbebenbeiwert: $k_h = a_g / g \cdot S / r =$
$k_h = 0{,}6 / 9{,}81 \cdot 1{,}25 / 1{,}0 = 0{,}076$ -

Verhältnis der vertikalen Bodenbeschleunigung: $a_{vg} / a_g = 0{,}3 / 0{,}6 = 0{,}5$ -

Vertikaler Erdbebenbeiwert: $k_v = k_h \cdot 0{,}33 = 0{,}025$ -

3.3.2.2 Berechnungsverfahren

Die Einwirkungen aus Erdbeben werden in GGU-RETAIN durch aktive Erddruckbeiwerte gemäß DIN EN 1998-5 (Eurocode 8) ermittelt.

4 Nachweise am Gesamtsystem

4.1 Teilsicherheitsbeiwerte

Die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen werden der DIN EN 1990/NA, Tab. 1.2 und der DIN EN 1990/NA/A1:2012-08, Tab. NA.A2.1 entnommen und folgendermaßen festgelegt:

γ	BS-P		BS-T		BS-A	
	ungünstig	günstig	ungünstig	günstig	ungünstig	günstig
Ständige Einwirkungen	1,35	1,0	1,35	1,0	1,0	1,0
Veränderliche Einwirkungen	1,5	0	1,5	0	1,0	0

Tabelle 15:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination

Die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen der Tabelle 16 und Tabelle 17 werden der DIN 1054:2010-12 Tabelle A.2.1 und A 2.2 entnommen.

HYD und UPL Versagen durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen	γ	BS-P	BS-T	BS-A
Destabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
Stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95
Destabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
Stabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,stb}$	0	0	0

Tabelle 16:Teilsicherheitsbeiwerte HYD und UPL

STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund	γ	BS-P	BS-T	BS-A
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen, allgemein	γ_G	1,35	1,20	1,10
Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruhedruck	γ_{E0g}	1,20	1,10	1,00
Beanspruchungen aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,30	1,00
Beanspruchungen aus günstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	0	0	0

Tabelle 17:Teilsicherheitsbeiwerte STR und GEO-2

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe werden der DIN EN 1992-2 entnommen und folgendermaßen festgelegt:

γ	BS-P	BS-A	Erdbeben
Beton	1,5	1,3	1,5
Betonstahl	1,15	1,0	1,15

Tabelle 18:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände der Tabelle 19 von Bauteilen und Boden werden der 1054:2010-12 Tabelle A.2.3 entnommen und folgendermaßen festgelegt:

STR und GEO-2 Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund	γ	BS-P	BS-T	BS-A
Bodenwiderstände				
Erdwiderstand und Grundbruchwiderstand	$\gamma_{R,e}$, $\gamma_{R,v}$	1,40	1,30	1,20
Gleitwiderstand	$\gamma_{R,h}$	1,10	1,10	1,10
Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobebelastungen				
Mantelreibung (Druck)	γ_s	1,10	1,10	1,10
Gesamtwiderstand (Druck)	γ_t	1,10	1,10	1,10
Mantelreibung (Zug)	$\gamma_{s,t}$	1,15	1,15	1,15
Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobebelastungen				
Druckpfähle	γ_b γ_s γ_t	1,40	1,40	1,40
Zugpfähle (nur in Ausnahmefällen)	$\gamma_{s,t}$	1,50	1,50	1,50

Tabelle 19:Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände von Bauteilen und Boden

4.2 Nachweise für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die maximalen Verformungen sind kleiner als 20 mm sein, siehe Tabelle 20:

Verformung [mm]	
BS-P	BS-T
12,4	6,5

Tabelle 20: Max. Verformungen der Verbauten

Die angegebenen Verformungen beziehen sich auf den Schnitt der Wand mit max. Höhe und 2 Ankerreihen. Im Bereich mit weniger bzw. ohne Verankerung wird sich eine höhere Verformung einstellen.

4.3 Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Bemessung erfolgt auf Grundlage des EC 7 (DIN EN 1997-1) in Kombination mit DIN 1054:2010-12 für die Bemessungssituationen BS-P, BS-T, BS-E und BS-A. Die Berechnung der rückverankerten Bohrpfahlwand erfolgte mit dem Programm GGU-RETAIN. Auf der sicheren Seite wird der erhöhte aktive Erddruck angesetzt.

Nachfolgender Tabelle 21 sind die Ausnutzungsgrade der geführten Nachweise für die BS-P und BS-T zu entnehmen:

Nachweise	BS-P	BS-T
Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	0,83	0,77
Nachweis Aufbruchsicherheit nach EB 99	0,21	0,18
Nachweis Fußauflager	1,0	1,0
Nachweis gegen das Herausziehen von Verpressankern	≤ 0,99	≤ 0,75
Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge	≤ 0,48	≤ 0,30
Nachweis gegen Materialversagen von Verpressankern[1]	≤ 0,89	≤ 0,80

Tabelle 21: Ausnutzungsgrade μ für verschiedene Nachweise

Die Ausnutzungsgrade der außergewöhnlichen Bemessungssituation sind nicht genauer aufgeführt und können dem Anhang entnommen werden.

4.4 Benötigte Bewehrung

4.4.1 Längsbewehrung

BS-P: $A_s = 35{,}4$ cm²

BS-T, BS-A/E: $A_s \leq 20{,}7$ cm²

4.4.2 Schubbewehrung

BS-P: $a_{s,b} = 5{,}6$ cm²/m

BS-T, BS-A/E: $a_{s,b} = 5{,}6$ cm²/m

5 EDV-Ausdrucke

Anlagen 1-5: GGU-RETAIN-Bemessungen

[1] Berechnet mit A_{Ed}/A_{Rd}, Werte aus GGU

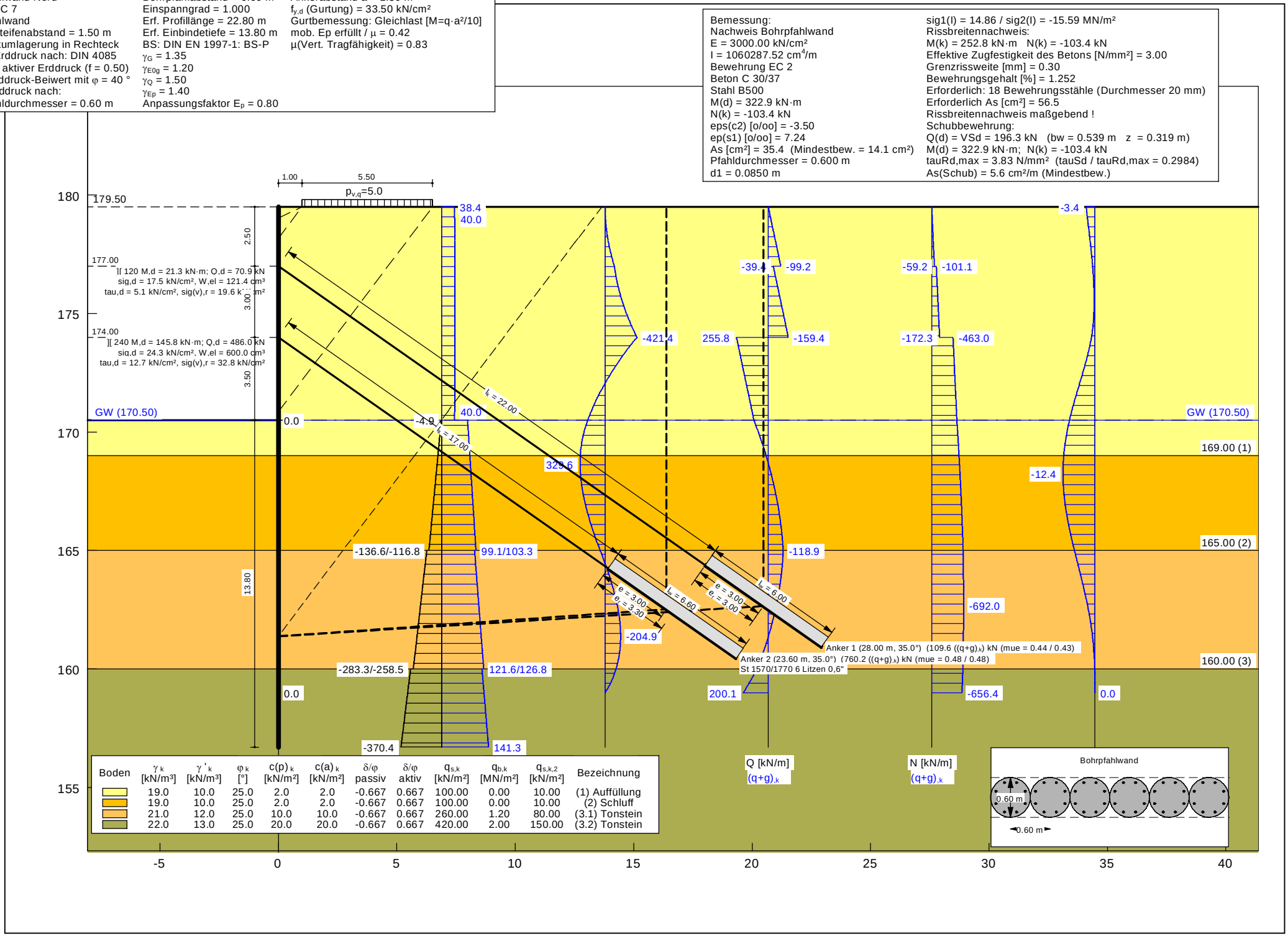
Bohrpfahlwand Nord
Norm: EC 7
Bohrpfahlwand
Anker- Steifenabstand = 1.50 m
Erddruckumlagerung in Rechteck
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Erhöhter aktiver Erddruck (f = 0.50)
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach:
Bohrpfahldurchmesser = 0.60 m

Bohrpfahlabstand = 0.60 m
Einspanngrad = 1.000
Erf. Profillänge = 22.80 m
Erf. Einbindetiefe = 13.80 m
BS: DIN EN 1997-1: BS-P
γ_G = 1.35
γ_{E0g} = 1.20
γ_Q = 1.50
γ_{Ep} = 1.40
Anpassungsfaktor E_p = 0.80

Ankerabstand a = 1.50 m
$f_{y,d}$ (Gurtung) = 33.50 kN/cm²
Gurtbemessung: Gleichlast [M=q·a²/10]
mob. Ep erfüllt / μ = 0.42
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.83

Bemessung:
Nachweis Bohrpfahlwand
E = 3000.00 kN/cm²
I = 1060287.52 cm⁴/m
Bewehrung EC 2
Beton C 30/37
Stahl B500
M(d) = 322.9 kN·m
N(k) = -103.4 kN
eps(c2) [o/oo] = -3.50
ep(s1) [o/oo] = 7.24
As [cm²] = 35.4 (Mindestbew. = 14.1 cm²)
Pfahldurchmesser = 0.600 m
d1 = 0.0850 m

sig1(I) = 14.86 / sig2(I) = -15.59 MN/m²
Rissbreitennachweis:
M(k) = 252.8 kN·m N(k) = -103.4 kN
Effektive Zugfestigkeit des Betons [N/mm²] = 3.00
Grenzrissweite [mm] = 0.30
Bewehrungsgehalt [%] = 1.252
Erforderlich: 18 Bewehrungsstähle (Durchmesser 20 mm)
Erforderlich As [cm²] = 56.5
Rissbreitennachweis maßgebend !
Schubbewehrung:
Q(d) = VSd = 196.3 kN (bw = 0.539 m z = 0.319 m)
M(d) = 322.9 kN·m; N(k) = -103.4 kN
tauRd,max = 3.83 N/mm² (tauSd / tauRd,max = 0.2984)
As(Schub) = 5.6 cm²/m (Mindestbew.)



Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	c(p)$_k$ [kN/m²]	c(a)$_k$ [kN/m²]	δ/φ passiv	δ/φ aktiv	$q_{s,k}$ [kN/m²]	$q_{b,k}$ [MN/m²]	$q_{s,k,2}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	19.0	10.0	25.0	2.0	2.0	-0.667	0.667	100.00	0.00	10.00	(1) Auffüllung
	19.0	10.0	25.0	2.0	2.0	-0.667	0.667	100.00	0.00	10.00	(2) Schluff
	21.0	12.0	25.0	10.0	10.0	-0.667	0.667	260.00	1.20	80.00	(3.1) Tonstein
	22.0	13.0	25.0	20.0	20.0	-0.667	0.667	420.00	2.00	150.00	(3.2) Tonstein

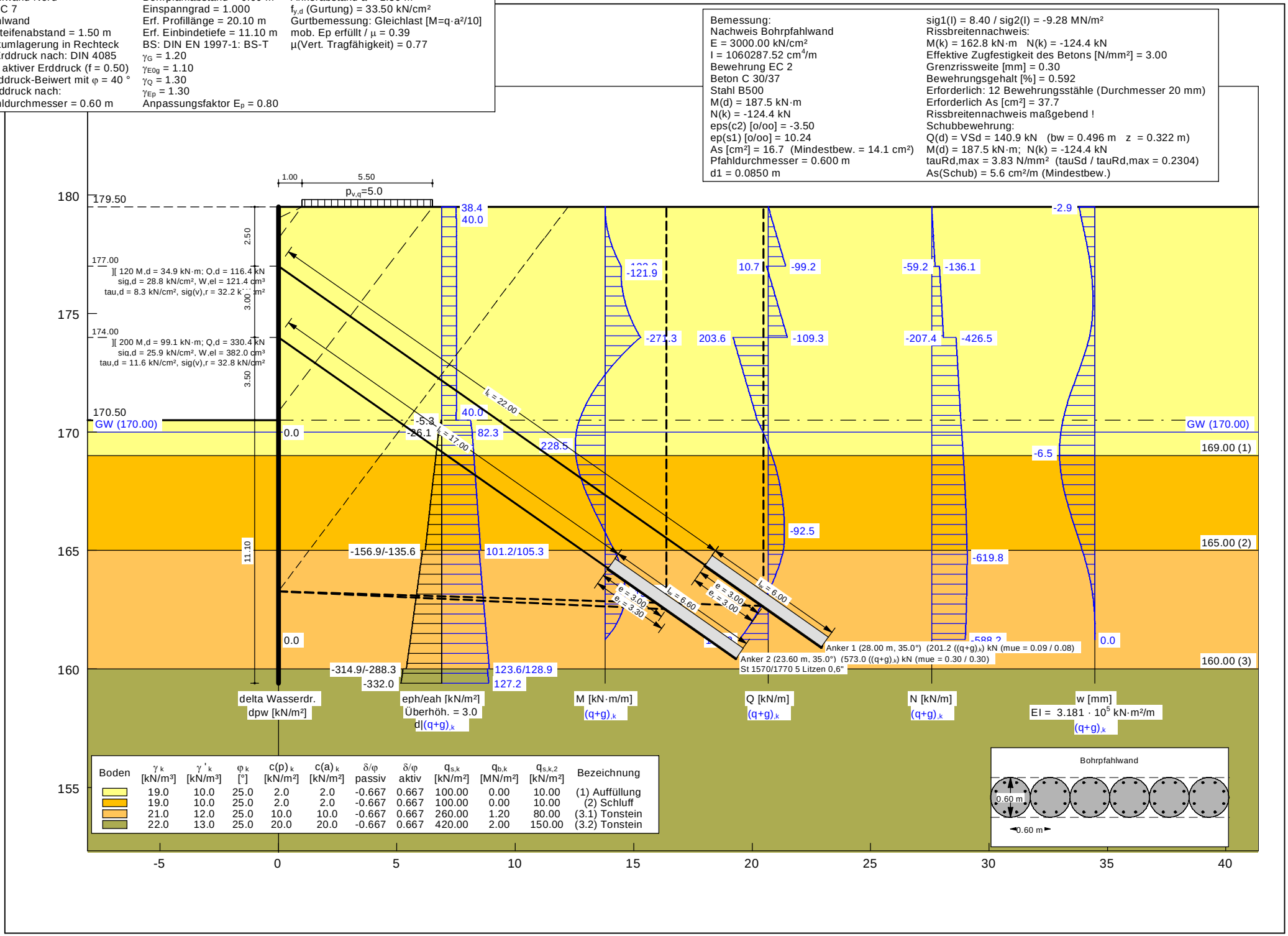
Bohrpfahlwand Nord
Norm: EC 7
Bohrpfahlwand
Anker- Steifenabstand = 1.50 m
Erddruckumlagerung in Rechteck
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Erhöhter aktiver Erddruck (f = 0.50)
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach:
Bohrpfahldurchmesser = 0.60 m

Bohrpfahlabstand = 0.60 m
Einspanngrad = 1.000
Erf. Profillänge = 20.10 m
Erf. Einbindetiefe = 11.10 m
BS: DIN EN 1997-1: BS-T
γ_G = 1.20
γ_{E0g} = 1.10
γ_Q = 1.30
γ_{Ep} = 1.30
Anpassungsfaktor E_p = 0.80

Ankerabstand a = 1.50 m
$f_{y,d}$ (Gurtung) = 33.50 kN/cm²
Gurtbemessung: Gleichlast [M=q·a²/10]
mob. Ep erfüllt / μ = 0.39
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.77

Bemessung:
Nachweis Bohrpfahlwand
E = 3000.00 kN/cm²
I = 1060287.52 cm⁴/m
Bewehrung EC 2
Beton C 30/37
Stahl B500
M(d) = 187.5 kN·m
N(k) = -124.4 kN
eps(c2) [o/oo] = -3.50
ep(s1) [o/oo] = 10.24
As [cm²] = 16.7 (Mindestbew. = 14.1 cm²)
Pfahldurchmesser = 0.600 m
d1 = 0.0850 m

sig1(I) = 8.40 / sig2(I) = -9.28 MN/m²
Rissbreitennachweis:
M(k) = 162.8 kN·m N(k) = -124.4 kN
Effektive Zugfestigkeit des Betons [N/mm²] = 3.00
Grenzrissweite [mm] = 0.30
Bewehrungsgehalt [%] = 0.592
Erforderlich: 12 Bewehrungsstähle (Durchmesser 20 mm)
Erforderlich As [cm²] = 37.7
Rissbreitennachweis maßgebend !
Schubbewehrung:
Q(d) = VSd = 140.9 kN (bw = 0.496 m z = 0.322 m)
M(d) = 187.5 kN·m; N(k) = -124.4 kN
tauRd,max = 3.83 N/mm² (tauSd / tauRd,max = 0.2304)
As(Schub) = 5.6 cm²/m (Mindestbew.)



Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	c(p)$_k$ [kN/m²]	c(a)$_k$ [kN/m²]	δ/φ passiv	δ/φ aktiv	$q_{s,k}$ [kN/m²]	$q_{b,k}$ [MN/m²]	$q_{s,k,2}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	19.0	10.0	25.0	2.0	2.0	-0.667	0.667	100.00	0.00	10.00	(1) Auffüllung
	19.0	10.0	25.0	2.0	2.0	-0.667	0.667	100.00	0.00	10.00	(2) Schluff
	21.0	12.0	25.0	10.0	10.0	-0.667	0.667	260.00	1.20	80.00	(3.1) Tonstein
	22.0	13.0	25.0	20.0	20.0	-0.667	0.667	420.00	2.00	150.00	(3.2) Tonstein

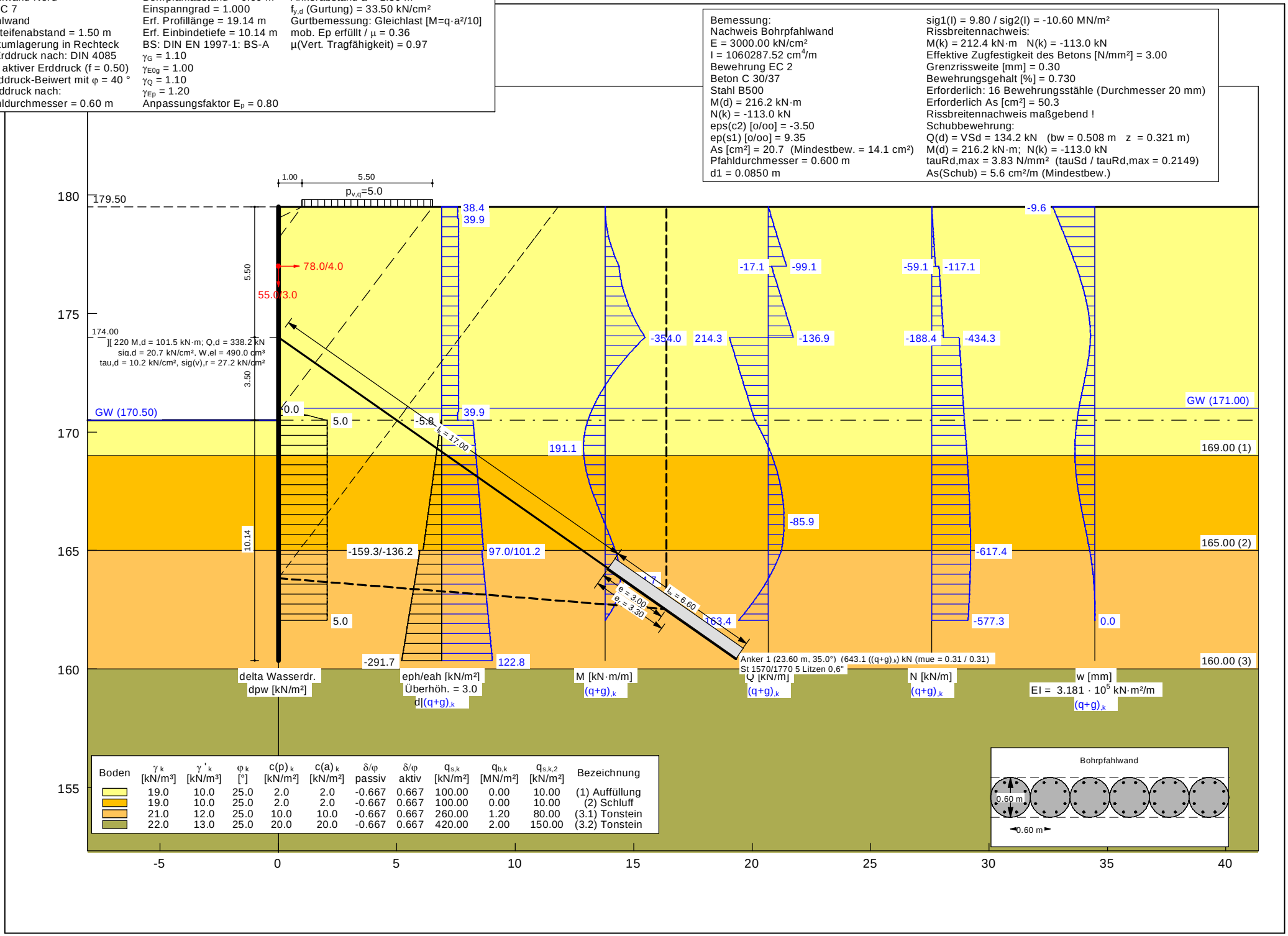
Bohrpfahlwand Nord
Norm: EC 7
Bohrpfahlwand
Anker- Steifenabstand = 1.50 m
Erddruckumlagerung in Rechteck
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Erhöhter aktiver Erddruck (f = 0.50)
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach:
Bohrpfahldurchmesser = 0.60 m

Bohrpfahlabstand = 0.60 m
Einspanngrad = 1.000
Erf. Profillänge = 19.14 m
Erf. Einbindetiefe = 10.14 m
BS: DIN EN 1997-1: BS-A
γ_G = 1.10
γ_{E0g} = 1.00
γ_Q = 1.10
γ_{Ep} = 1.20
Anpassungsfaktor E_p = 0.80

Ankerabstand a = 1.50 m
$f_{y,d}$ (Gurtung) = 33.50 kN/cm²
Gurtbemessung: Gleichlast [M=q·a²/10]
mob. Ep erfüllt / μ = 0.36
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.97

Bemessung:
Nachweis Bohrpfahlwand
E = 3000.00 kN/cm²
I = 1060287.52 cm⁴/m
Bewehrung EC 2
Beton C 30/37
Stahl B500
M(d) = 216.2 kN·m
N(k) = -113.0 kN
eps(c2) [o/oo] = -3.50
ep(s1) [o/oo] = 9.35
As [cm²] = 20.7 (Mindestbew. = 14.1 cm²)
Pfahldurchmesser = 0.600 m
d1 = 0.0850 m

sig1(l) = 9.80 / sig2(l) = -10.60 MN/m²
Rissbreitennachweis:
M(k) = 212.4 kN·m N(k) = -113.0 kN
Effektive Zugfestigkeit des Betons [N/mm²] = 3.00
Grenzrissweite [mm] = 0.30
Bewehrungsgehalt [%] = 0.730
Erforderlich: 16 Bewehrungsstähle (Durchmesser 20 mm)
Erforderlich As [cm²] = 50.3
Rissbreitennachweis maßgebend !
Schubbewehrung:
Q(d) = VSd = 134.2 kN (bw = 0.508 m z = 0.321 m)
M(d) = 216.2 kN·m; N(k) = -113.0 kN
tauRd,max = 3.83 N/mm² (tauSd / tauRd,max = 0.2149)
As(Schub) = 5.6 cm²/m (Mindestbew.)



Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	c(p)$_k$ [kN/m²]	c(a)$_k$ [kN/m²]	δ/φ passiv	δ/φ aktiv	$q_{s,k}$ [kN/m²]	$q_{b,k}$ [MN/m²]	$q_{s,k,2}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	19.0	10.0	25.0	2.0	2.0	-0.667	0.667	100.00	0.00	10.00	(1) Auffüllung
	19.0	10.0	25.0	2.0	2.0	-0.667	0.667	100.00	0.00	10.00	(2) Schluff
	21.0	12.0	25.0	10.0	10.0	-0.667	0.667	260.00	1.20	80.00	(3.1) Tonstein
	22.0	13.0	25.0	20.0	20.0	-0.667	0.667	420.00	2.00	150.00	(3.2) Tonstein

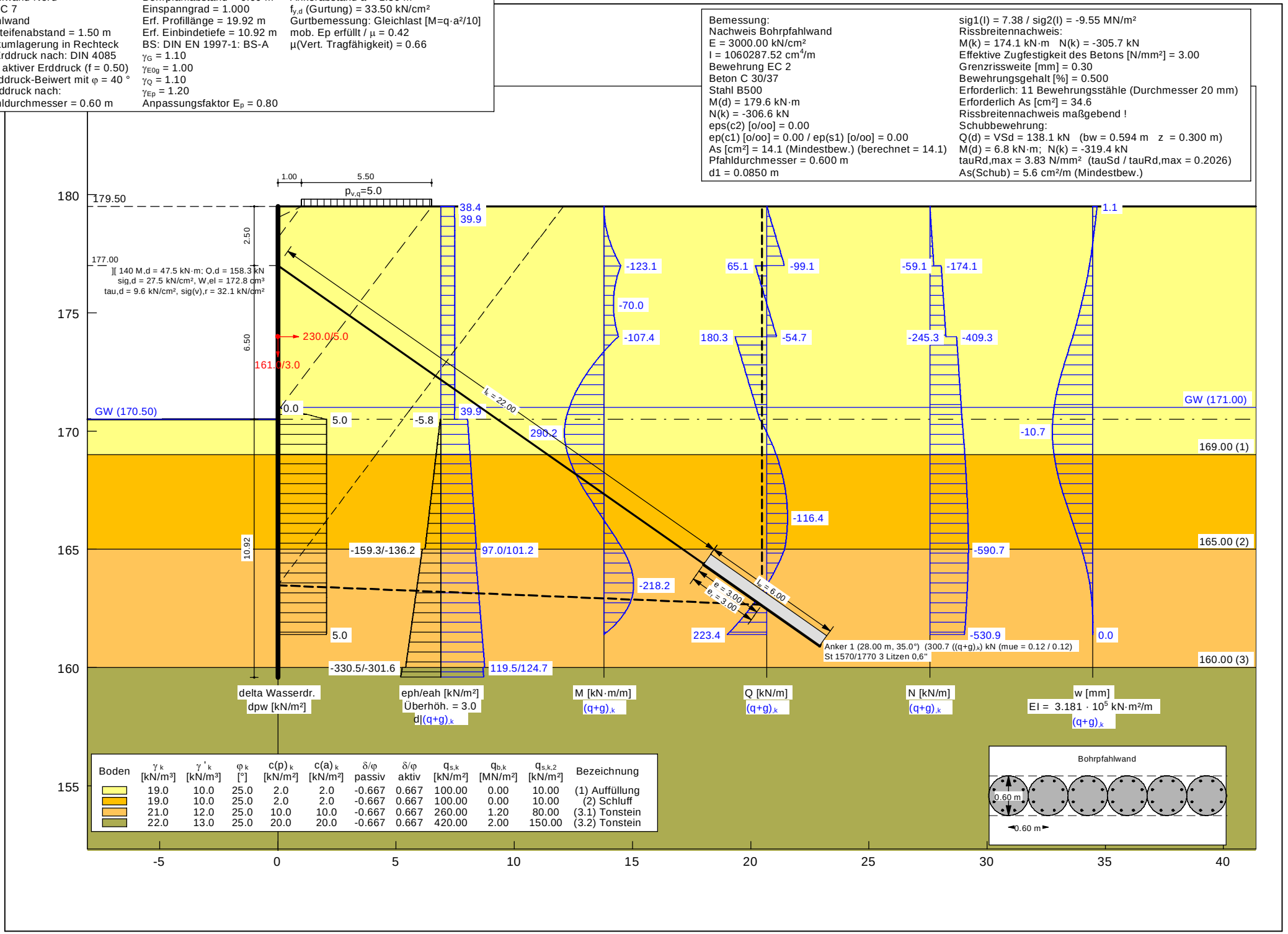
Bohrpfahlwand Nord
Norm: EC 7
Bohrpfahlwand
Anker- Steifenabstand = 1.50 m
Erddruckumlagerung in Rechteck
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Erhöhter aktiver Erddruck (f = 0.50)
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach:
Bohrpfahldurchmesser = 0.60 m

Bohrpfahlabstand = 0.60 m
Einspanngrad = 1.000
Erf. Profillänge = 19.92 m
Erf. Einbindetiefe = 10.92 m
BS: DIN EN 1997-1: BS-A
γ_G = 1.10
γ_{E0g} = 1.00
γ_Q = 1.10
γ_{Ep} = 1.20
Anpassungsfaktor E_p = 0.80

Ankerabstand a = 1.50 m
$f_{y,d}$ (Gurtung) = 33.50 kN/cm²
Gurtbemessung: Gleichlast [M=q·a²/10]
mob. Ep erfüllt / μ = 0.42
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.66

Bemessung:
Nachweis Bohrpfahlwand
E = 3000.00 kN/cm²
I = 1060287.52 cm⁴/m
Bewehrung EC 2
Beton C 30/37
Stahl B500
M(d) = 179.6 kN·m
N(k) = -306.6 kN
eps(c2) [o/oo] = 0.00
ep(c1) [o/oo] = 0.00 / ep(s1) [o/oo] = 0.00
As [cm²] = 14.1 (Mindestbew.) (berechnet = 14.1)
Pfahldurchmesser = 0.600 m
d1 = 0.0850 m

sig1(I) = 7.38 / sig2(I) = -9.55 MN/m²
Rissbreitennachweis:
M(k) = 174.1 kN·m N(k) = -305.7 kN
Effektive Zugfestigkeit des Betons [N/mm²] = 3.00
Grenzrissweite [mm] = 0.30
Bewehrungsgehalt [%] = 0.500
Erforderlich: 11 Bewehrungsstähle (Durchmesser 20 mm)
Erforderlich As [cm²] = 34.6
Rissbreitennachweis maßgebend !
Schubbewehrung:
Q(d) = VSd = 138.1 kN (bw = 0.594 m z = 0.300 m)
M(d) = 6.8 kN·m; N(k) = -319.4 kN
tauRd,max = 3.83 N/mm² (tauSd / tauRd,max = 0.2026)
As(Schub) = 5.6 cm²/m (Mindestbew.)



Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	$c(p)_k$ [kN/m²]	$c(a)_k$ [kN/m²]	δ/φ passiv	δ/φ aktiv	$q_{s,k}$ [kN/m²]	$q_{b,k}$ [MN/m²]	$q_{s,k,2}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	19.0	10.0	25.0	2.0	2.0	-0.667	0.667	100.00	0.00	10.00	(1) Auffüllung
	19.0	10.0	25.0	2.0	2.0	-0.667	0.667	100.00	0.00	10.00	(2) Schluff
	21.0	12.0	25.0	10.0	10.0	-0.667	0.667	260.00	1.20	80.00	(3.1) Tonstein
	22.0	13.0	25.0	20.0	20.0	-0.667	0.667	420.00	2.00	150.00	(3.2) Tonstein

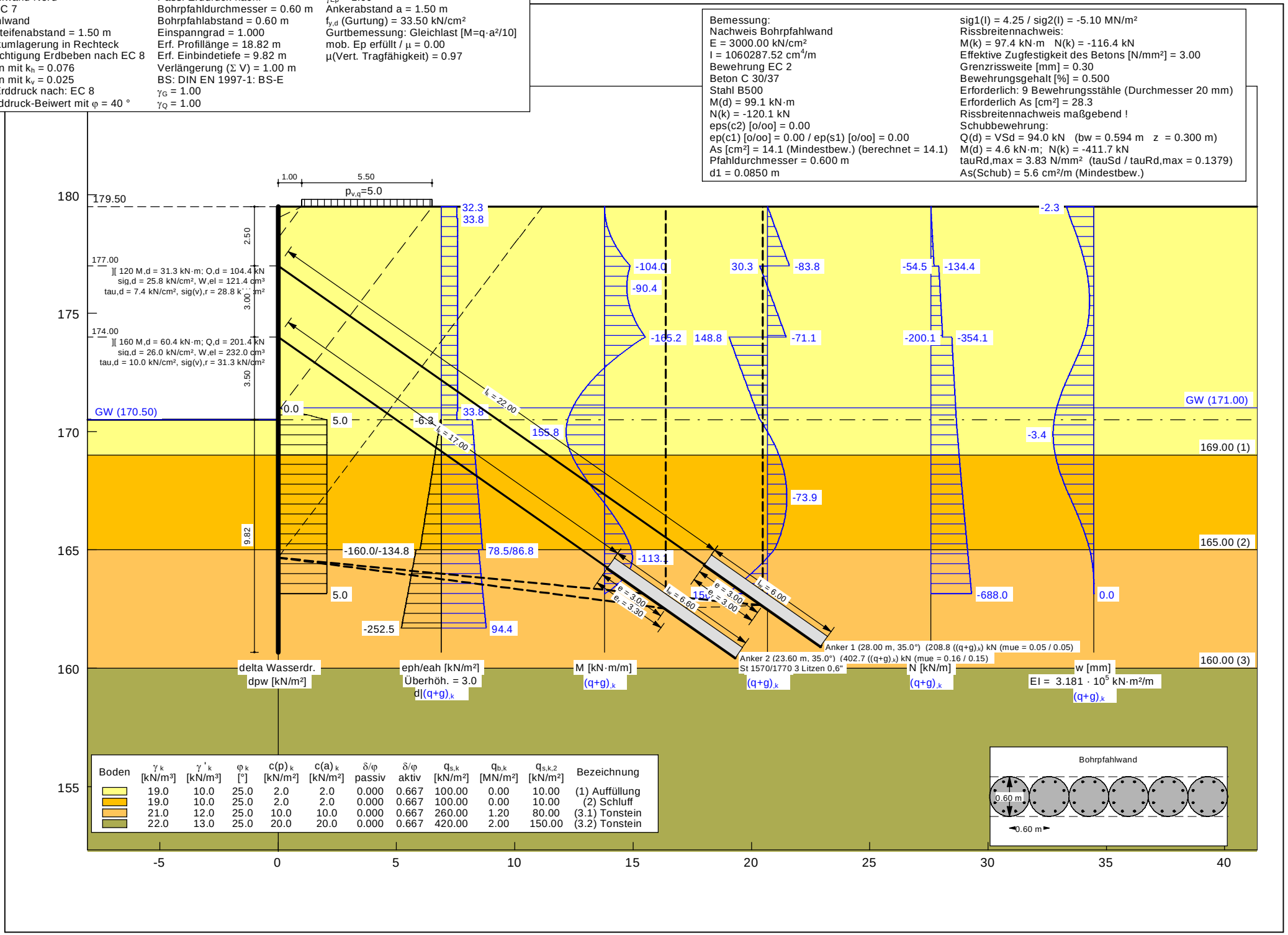
Bohrpfahlwand Nord
Norm: EC 7
Bohrpfahlwand
Anker- Steifenabstand = 1.50 m
Erddruckumlagerung in Rechteck
Berücksichtigung Erdbeben nach EC 8
Erdbeben mit k_h = 0.076
Erdbeben mit k_v = 0.025
Aktiver Erddruck nach: EC 8
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °

Pass. Erddruck nach:
Bohrpfahldurchmesser = 0.60 m
Bohrpfahlabstand = 0.60 m
Einspanngrad = 1.000
Erf. Profillänge = 18.82 m
Erf. Einbindetiefe = 9.82 m
Verlängerung (Σ V) = 1.00 m
BS: DIN EN 1997-1: BS-E
γ_G = 1.00
γ_Q = 1.00

γ_{Ep} = 1.00
Ankerabstand a = 1.50 m
$f_{y,d}$ (Gurtung) = 33.50 kN/cm²
Gurtbemessung: Gleichlast [M=q·a²/10]
mob. Ep erfüllt / μ = 0.00
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.97

Bemessung:
Nachweis Bohrpfahlwand
E = 3000.00 kN/cm²
I = 1060287.52 cm⁴/m
Bewehrung EC 2
Beton C 30/37
Stahl B500
M(d) = 99.1 kN·m
N(k) = -120.1 kN
eps(c2) [o/oo] = 0.00
ep(c1) [o/oo] = 0.00 / ep(s1) [o/oo] = 0.00
As [cm²] = 14.1 (Mindestbew.) (berechnet = 14.1)
Pfahldurchmesser = 0.600 m
d1 = 0.0850 m

sig1(I) = 4.25 / sig2(I) = -5.10 MN/m²
Rissbreitennachweis:
M(k) = 97.4 kN·m N(k) = -116.4 kN
Effektive Zugfestigkeit des Betons [N/mm²] = 3.00
Grenzrissweite [mm] = 0.30
Bewehrungsgehalt [%] = 0.500
Erforderlich: 9 Bewehrungsstähle (Durchmesser 20 mm)
Erforderlich As [cm²] = 28.3
Rissbreitennachweis maßgebend !
Schubbewehrung:
Q(d) = VSd = 94.0 kN (bw = 0.594 m z = 0.300 m)
M(d) = 4.6 kN·m; N(k) = -411.7 kN
tauRd,max = 3.83 N/mm² (tauSd / tauRd,max = 0.1379)
As(Schub) = 5.6 cm²/m (Mindestbew.)



Boden	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	$c(p)_k$ [kN/m²]	$c(a)_k$ [kN/m²]	δ/φ passiv	δ/φ aktiv	$q_{s,k}$ [kN/m²]	$q_{b,k}$ [MN/m²]	$q_{s,k,2}$ [kN/m²]	Bezeichnung
	19.0	10.0	25.0	2.0	2.0	0.000	0.667	100.00	0.00	10.00	(1) Auffüllung
	19.0	10.0	25.0	2.0	2.0	0.000	0.667	100.00	0.00	10.00	(2) Schluff
	21.0	12.0	25.0	10.0	10.0	0.000	0.667	260.00	1.20	80.00	(3.1) Tonstein
	22.0	13.0	25.0	20.0	20.0	0.000	0.667	420.00	2.00	150.00	(3.2) Tonstein