

**FE 15.0530/2011/FRB**

**A N L A G E N**

**Auswirkungen der nationalen Umsetzung  
des Eurocode 7  
bei der Bemessung  
von Grund- und Tunnelbauwerken**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

# **Stand sicherheitsnachweis für einen Spundwandverbau**

## **Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis**  
**für einen Spundwandverbau**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	1
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	3
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	7
IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	11
1. Berechnungsgrundlagen	13
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	13
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	15
1.3 Statisches System	17
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	19
2. Berechnungsablauf	27
3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen	33
4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	45
5. Nachweis des Erdwiderlagers	61
6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge	63
7. Nachweis der Geländebruchsicherheit	71
8. Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch	75
9. Bemessung der Bauteile	81
9.1 Bemessung der Spundwand	81
9.2 Bemessung der Anker	83
10. Ergebnis der Verbaubemessung	91

Bauteil: I. Inhaltsverzeichnis	Seite 1	Archiv-Nr.
Block:		
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

**Standsicherheitsnachweis  
für einen Spundwandverbau**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	2
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	4
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	8
IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	12
1. Berechnungsgrundlagen	14
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	14
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	16
1.3 Statisches System	18
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	20
2. Berechnungsablauf	28
3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen	34
4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	46
5. Nachweis des Erdwiderlagers	62
6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge	64
7. Nachweis der Geländebruchsicherheit	72
8. Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch	76
9. Bemessung der Bauteile	82
9.1 Bemessung der Spundwand	82
9.2 Bemessung der Anker	84
10. Ergebnis der Verbaubemessung	92

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis	Seite 2	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Das betrachtete Bauwerk ist ein Baugrubenverbau für die Herstellung eines Trogbauwerkes. Es ist eine Aushubtiefe von 9,55 Metern erforderlich, die durch eine geböschte Baugrube in Verbindung mit einem einfach verankerten Spundwandverbau gesichert wird.

### Baugrund und Grundwasser

Im Bereich der betrachteten Baugrube steht ab ca. 4,0 m unter OK Gelände bis in größere Tiefen halbfester bis fester Geschiebemergel an. Er wird überlagert von locker bis mitteldicht gelagerten Sanden mit Mächtigkeiten von rund 4,0 m. Die Geländeoberfläche wird von einer Dezimeter dicken Mutterbodenschicht gebildet. Der Grundwasserspiegel liegt zwischen 3,0 m und 6,0 m unter OK Gelände.

### Herstellung und Tragsystem

Nach einem Voraushub in Form einer geböschten Baugrube von 2,0 m Tiefe werden Spundwände als Baugrubensicherung hergestellt. Die Spundwände werden 0,5 m unterhalb des Wandkopfes und damit 0,5 m über dem höchsten Grundwasserspiegel mit vorgespannten Verpressankern gestützt. Der anstehende Mergel ist hinreichend wasserdicht, so dass ein Aushub unter gleichzeitigem Lenzen des Grundwassers innerhalb der Grube und eine offene Wasserhaltung über einen Pumpensumpf in der Grube möglich sind. Die Baugrubenwand wird als Baubehelf für Wasserdruck und aktiven Erddruck bemessen. Sie wird nach dem Verfüllen des Arbeitsraumes wieder gezogen.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 3
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Das betrachtete Bauwerk ist ein Baugrubenverbau für die Herstellung eines Trogbauwerkes. Es ist eine Aushubtiefe von 9,55 Metern erforderlich, die durch eine geböschte Baugrube in Verbindung mit einem einfach verankerten Spundwandverbau gesichert wird.

### Baugrund und Grundwasser

Im Bereich der betrachteten Baugrube steht ab ca. 4,0 m unter OK Gelände bis in größere Tiefen halbfester bis fester Geschiebemergel an. Er wird überlagert von locker bis mitteldicht gelagerten Sanden mit Mächtigkeiten von rund 4,0 m. Die Geländeoberfläche wird von einer Dezimeter dicken Mutterbodenschicht gebildet. Der Grundwasserspiegel liegt zwischen 3,0 m und 6,0 m unter OK Gelände.

### Herstellung und Tragsystem

Nach einem Voraushub in Form einer geböschten Baugrube von 2,0 m Tiefe werden Spundwände als Baugrubensicherung hergestellt. Die Spundwände werden 0,5 m unterhalb des Wandkopfes und damit 0,5 m über dem höchsten Grundwasserspiegel mit vorgespannten Verpressankern gestützt. Der anstehende Mergel ist hinreichend wasserdicht, so dass ein Aushub unter gleichzeitigem Lenzen des Grundwassers innerhalb der Grube und eine offene Wasserhaltung über einen Pumpensumpf in der Grube möglich sind. Die Baugrubenwand wird als Baubehelf für Wasserdruck und aktiven Erddruck bemessen. Sie wird nach dem Verfüllen des Arbeitsraumes wieder gezogen.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 4	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

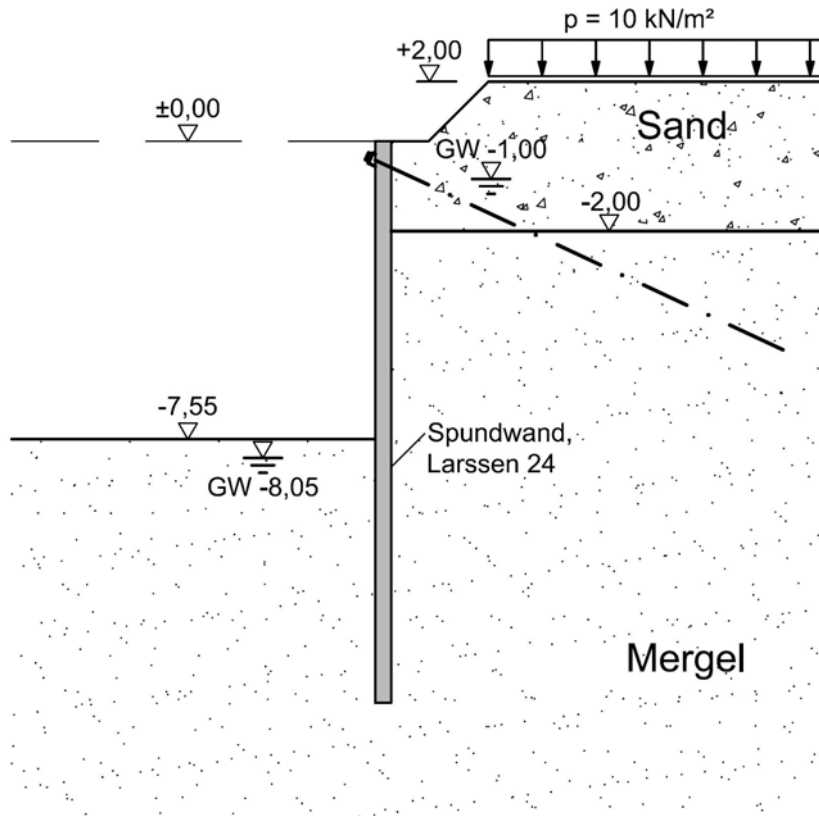


Bild II.1: Spundwandverbau, Querschnitt

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Seite 5	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

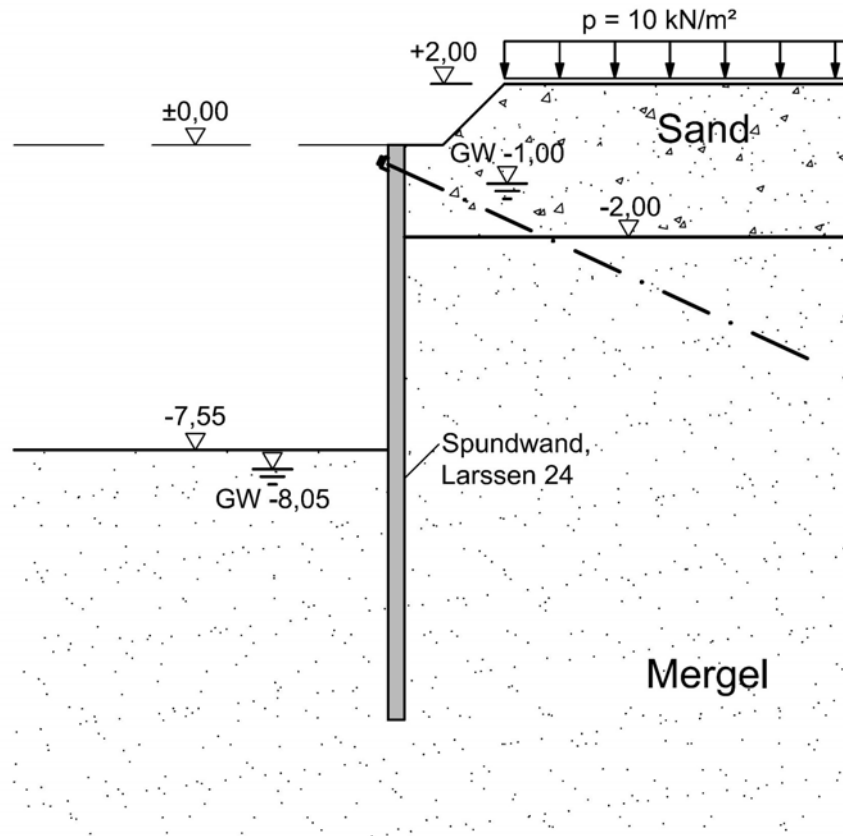


Bild II.1: Spundwandverbau, Querschnitt

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 6	
Vorgang:			



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 2, Abschn. 1	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Grundbau, Baugruben, Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2007-12
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005-01
DIN 1055 Teil 1	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, Ausgabe 2002-06
DIN 1055 Teil 2	Lastannahmen für Bauten, Bodenkenngrößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel, Ausgabe 1976-02
DIN 4084	Baugrund – Geländebruchberechnungen, Ausgabe 2009-01
DIN 4085	Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe 2011-05
DIN 18800-1	Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion, Ausgabe 2008-11
DIN EN 1537	Verpressanker, Ausgabe 2001-01
DIN EN 1537, Ber.1	Verpressanker, Berichtigung 1, Ausgabe 2011-12
DIN EN 10248 Teil1	Warmgewalzte Spundbohlen aus unlegierten Stählen; Technische Lieferbedingungen, Ausgabe 8.95
EAB	Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst und Sohn, 4. Auflage , 2006
Spundwandhandbuch	Berechnungen, Hoesch Stahl AG

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 7
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 2, Abschn. 1	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Grundbau, Baugruben, Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwurf 2012-08
DIN EN 1990	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1990/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1990, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-1-1, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1993-1-1	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1993-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1993-1-1, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1993-5	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 5: Pfähle und Spundwände, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1993-5/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1993-5, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1997-1	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Ausgabe 2009-09
DIN EN 1997-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1055 Teil 2	Lastannahmen für Bauten, Bodenkenngößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel, Ausgabe 1976-02
DIN 4084	Baugrund – Geländebruchberechnungen, Ausgabe 2009-01
DIN 4085	Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe 2011-05
DIN EN 1537	Verpressanker, Ausgabe 2001-01
DIN EN 1537, Ber.1	Verpressanker, Berichtigung 1, Ausgabe 2011-12
DIN EN 10248 Teil1	Warmgewalzte Spundbohlen aus unlegierten Stählen; Technische Lieferbedingungen, Ausgabe 8.95
EAB	Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst und Sohn, 5. Auflage, 2012
Spundwandhandbuch	Berechnungen, Hoesch Stahl AG

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen		Archiv-Nr.
Block:		Seite 8	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

EDV-Programme:

PGruWIN	Berechnung von Baugrubenwänden, Verfasser: Dr.-Ing. D. Winselmann, Braunschweig 2007
PRaWIN	Berechnen und Zeichnen von Rahmen und Trägerrosten, Verfasser: Dr.-Ing. D. Winselmann, Braunschweig 2009
GGU-Stability	Böschungsbruch nach DIN 4084(2009), Verfasser: GGU Braunschweig, 2012
GGU-SS-FLOW2D	Berechnung von zweidimensionalen Grundwasserströmungen mit der Finiten-Element- Methode, Verfasser: GGU Braunschweig, 2012

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 9
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

EDV-Programme:

PGruWIN	Berechnung von Baugrubenwänden, Verfasser: Dr.-Ing. D. Winselmann, Braunschweig 2007
PRaWIN	Berechnen und Zeichnen von Rahmen und Trägerrosten, Verfasser: Dr.-Ing. D. Winselmann, Braunschweig 2009
GGU-Stability	Böschungsbruch nach DIN 4084(2009), Verfasser: GGU Braunschweig, 2012
GGU-SS-FLOW2D	Berechnung von zweidimensionalen Grundwasserströmungen mit der Finiten-Element- Methode, Verfasser: GGU Braunschweig, 2012

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen		Archiv-Nr.
Block:		Seite 10	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des Baubehelfes gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1 (Grundbau, Baugruben).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN 1054(2005): für die Sicherheitsnachweise des Baugrubenverbaus einschließlich der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser
- DIN 4084: für die Böschungsbruchberechnung
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung
- DIN 18800-1: für die Bemessung und die Material-Teilsicherheitsbeiwerte der Spundwand
- EAB: für Details der Nachweise

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 11	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des Baubehelfes gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1 (Grundbau, Baugruben).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise des Baugrubenverbaus
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser
- DIN 4084: für die Böschungsbruchberechnung
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung
- DIN EN 1993-5: für die Bemessung und die Material-Teilsicherheitsbeiwerte der Spundwand
- EAB: für Details der Nachweise

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 12	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Tiefe unter GOK	Wichte feucht	Wichte unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	Durchlässigkeit
	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	m/s
Sand	0,0 - 4,0	19	11	35	0	1,0E-4
Mergel	4,0 - >20,0	22	12	30	20	1,0E-7

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Die Grundwasserstände sind wie folgt anzunehmen:

Grundwasser	Tiefe unter GOK
	m
max GW	3,0
min GW	6,0

Tabelle 1.2: Grundwasserstände

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 13
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Tiefe unter GOK	Wichte feucht	Wichte unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	Durchlässigkeit
	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	m/s
Sand	0,0 - 4,0	19	11	35	0	1,0E-4
Mergel	4,0 - >20,0	22	12	30	20	1,0E-7

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Die Grundwasserstände sind wie folgt anzunehmen:

Grundwasser	Tiefe unter GOK
	m
max GW	3,0
min GW	6,0

Tabelle 1.2: Grundwasserstände

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 14	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

Für den Baugrubenverbau werden auf der Grundlage einer Vorbemessung die nachfolgenden Verbaumittel gewählt:

### Spundwand

Spundwandtyp	Larssen 24	
Spundwandstahl	S 240 GP	DIN EN 10248-1
Streckgrenze	$f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 10248-1
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_M = 1,0$	DIN 18800-1, 7.5.2 (747)

### Litzenanker

Litzenanzahl	3 Ø 0,6"	
Stahlgüte	St 1570/1770	
charakteristische Spannstahlspannung bei 0,1 % bleib. Dehnung	$f_{t,0.1,k} = 1500 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 1537

Teilsicherheitsbeiwerte GZ 1B DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

Stahlzugglied	$\gamma_M = 1,15 \text{ (LF 2)}$
Verpresskörper	$\gamma_A = 1,10 \text{ (LF 2)}$

### Boden

Teilsicherheitsbeiwerte GZ 1B DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

Erdwiderstand	$\gamma_{Ep} = 1,30 \text{ (LF 2)}$
Erdwiderstand beim LF Ankerfall	$\gamma_{Ep} = 1,20 \text{ (LF 3)}$

Tiefe Gleitfuge  $\gamma_{Ep} = 1,30 \text{ (LF 2)}$  EAB, EB 44, (7.3)

Teilsicherheitsbeiwerte GZ 1C DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$	$\gamma_{\varphi} = 1,15 \text{ (LF 2)}$
Kohäsion $c'$	$\gamma_c = 1,15 \text{ (LF 2)}$
Verpresskörper	$\gamma_A = 1,10 \text{ (LF 2)}$

Bauteil:	IV. A Baugrubenverbau		Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 15	
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

Für den Baugrubenverbau werden auf der Grundlage einer Vorbemessung die nachfolgenden Verbaumittel gewählt:

### Spundwand

Spundwandtyp	Larssen 24	
Spundwandstahl	S 240 GP	DIN EN 10248-1
Streckgrenze	$f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 10248-1, DIN EN 1993-5
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_{M0} = 1,0$	DIN EN 1993-1-1

### Litzenanker

Litzenanzahl	3 Ø 0,6"	
Stahlgüte	St 1570/1770	
charakteristische Spannstahlspannung bei 0,1 % bleib. Dehnung	$f_{t,0.1,k} = 1500 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 1537

Teilsicherheitsbeiwerte STR und GEO-2 DIN 1054, Tab. A2.3

Stahlzugglied	$\gamma_M = 1,15 \text{ (BS-T)}$
Verpreßkörper	$\gamma_a = 1,10 \text{ (BS-T)}$

### Boden

Teilsicherheitsbeiwerte GEO-2 DIN 1054, Tab. A2.3

Erdwiderstand	$\gamma_{R,e} = 1,30 \text{ (BS-T)}$
Erdwiderstand beim LF AnkerAusfall	$\gamma_{R,e} = 1,20 \text{ (BS-A)}$

Tiefe Gleitfuge  $\gamma_{R,e} = 1,30 \text{ (BS-T)}$  EAB, EB 44 (7.3)

Teilsicherheitsbeiwerte GEO-3 DIN 1054, Tab. A2.2

Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$	$\gamma_{\varphi'} = 1,15 \text{ (BS-T)}$
Kohäsion $c'$	$\gamma_{c'} = 1,15 \text{ (BS-T)}$
Verpresskörper	$\gamma_a = 1,10 \text{ (BS-T)}$

Bauteil:	IV. A Baugrubenverbau		Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 16	
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

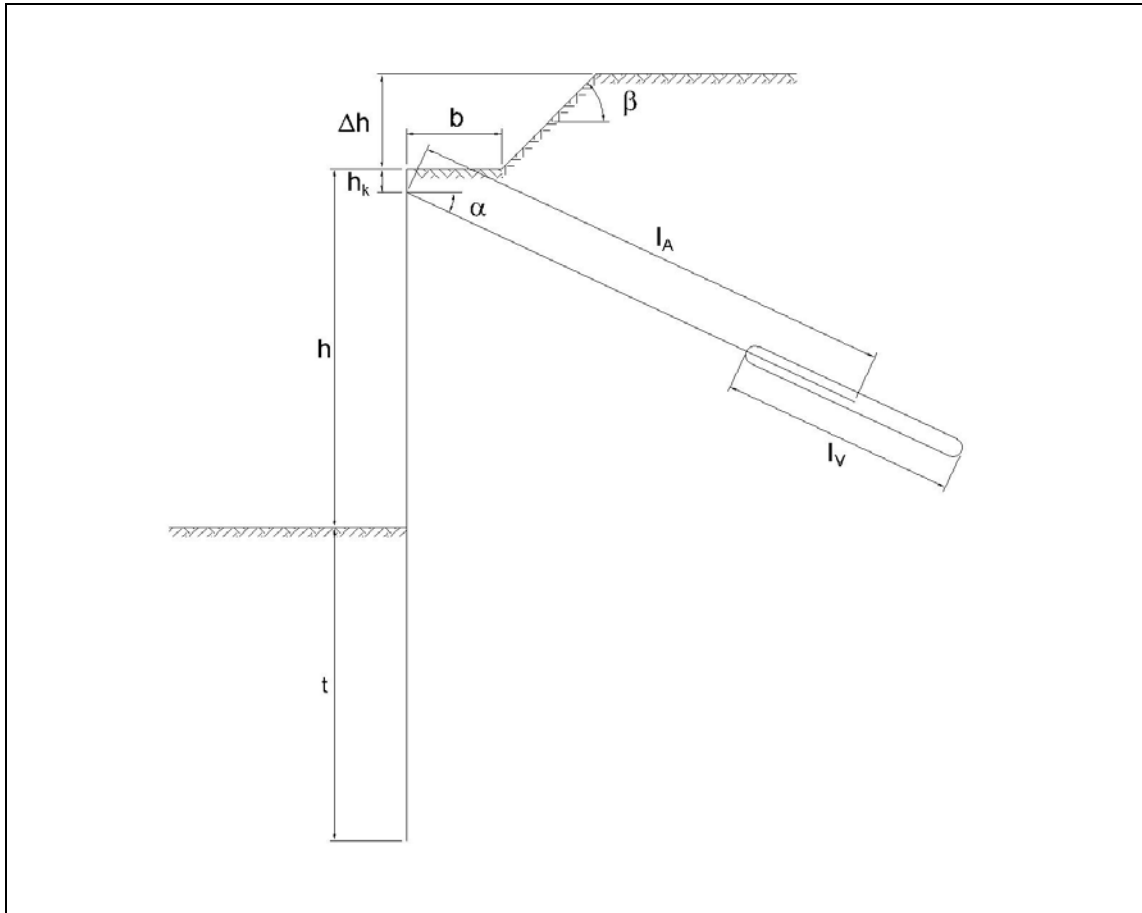


Bild 1.1: Statisches System

#### Geometrie:

Höhe der Böschung	$\Delta h =$	2,0 m
Böschungsneigung	$\beta =$	45 °
Breite der Berme	$b =$	2,0 m
Höhe der Spundwand	$h =$	7,55 m
erf. Einbindetiefe	$t$	
Ankeransatzhöhe	$h_k =$	0,50 m
Ankerneigung	$\alpha =$	25 °
Ankerlänge	$l_A$	
Verpressstrecke	$l_V =$	5,00 m
Ankerabstand	$a =$	2,00 m

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 17
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

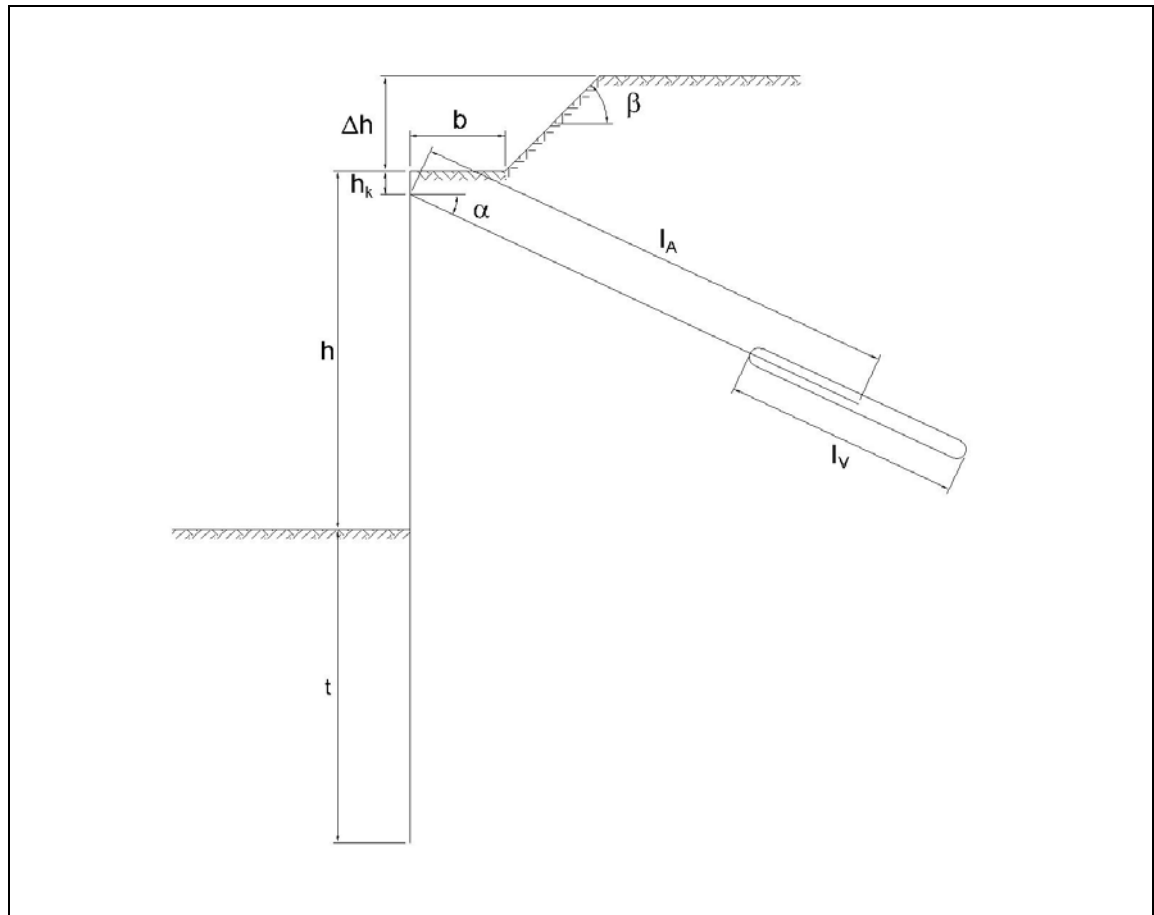


Bild 1.1: Statisches System

#### Geometrie:

Höhe der Böschung	$\Delta h =$	2,0 m
Böschungsneigung	$\beta =$	45 °
Breite der Berme	$b =$	2,0 m
Höhe der Spundwand	$h =$	7,55 m
erf. Einbindetiefe	$t$	
Ankeransatzhöhe	$h_k =$	0,50 m
Ankerneigung	$\alpha =$	25 °
Ankerlänge	$l_A$	
Verpressstrecke	$l_V =$	5,00 m
Ankerabstand	$a =$	2,00 m

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 18
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. <span style="float: right;">Datum: 31.03.13</span>

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

### Spundwandeigengewicht

$$g_k = 78,5 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,0223 \text{ m}^2/\text{m} = 1,75 \text{ kN/m}^2$$

DIN 1055-1

### Aktiver Erddruck

Es wird der aktive Erddruck angesetzt, da keine besonderen Anforderungen an die Verformungsbegrenzung vorliegen.

DIN 1054, 10.3.1 (1)

Wandreibungswinkel  $\delta_a = \frac{2}{3} \varphi'_k$

DIN 4085, Anhang A

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh}(\text{Sand}) = 0,224$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$K_{agh}(\text{Mergel}) = 0,279$

$K_{ach}(\text{Mergel}) = -0,922$

Mindesterddruck bei kohäsiven Böden:

DIN 4085, Abschn. 6.3.1.5

$$K^*_{agh} = K_{agh}(\varphi'_k=40^\circ) = 0,179$$

### Zusatzdrücke aus Berme und Nutzlast

Sp-Hb, Abschn. 4.9.2, Bild 4.13

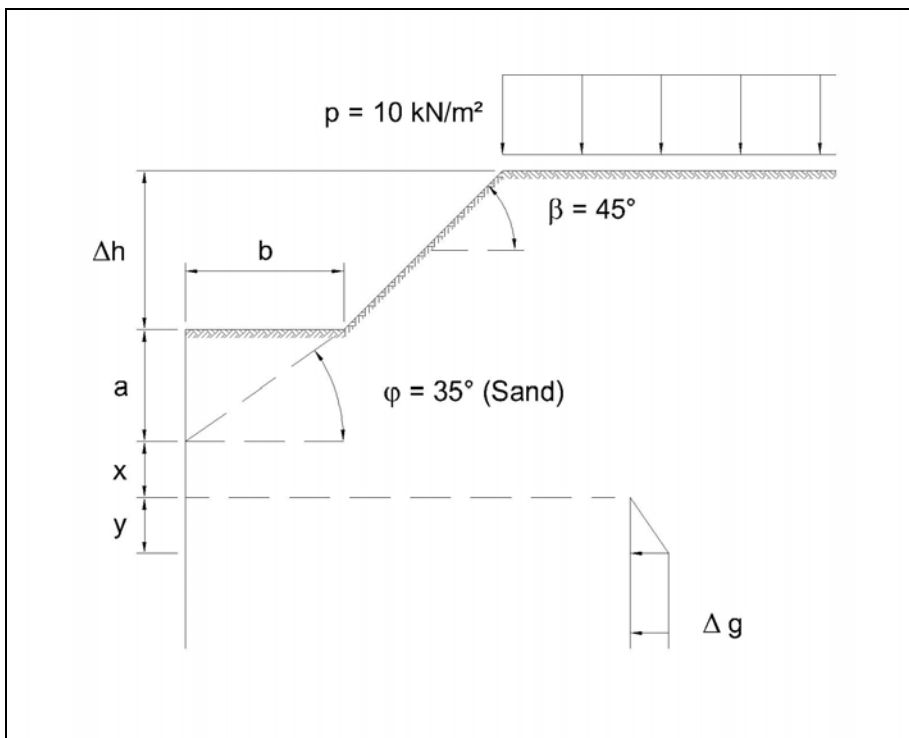


Bild 1.2: Lotrechter Zusatzdruck aus gebrochener Böschung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 19
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

### Spundwandeigengewicht

$$g_k = 78,5 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,0223 \text{ m}^2/\text{m} = 1,75 \text{ kN/m}^2$$

DIN EN 1991-1-1

### Aktiver Erddruck

Es wird der aktive Erddruck angesetzt, da keine besonderen Anforderungen an die Verformungsbegrenzung vorliegen.

DIN 1054, 9.5.1, A (2b)

Wandreibungswinkel  $\delta_a = \frac{2}{3} \varphi'_k$

DIN 4085, Anhang A

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh}(\text{Sand}) = 0,224$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$K_{agh}(\text{Mergel}) = 0,279$

$K_{ach}(\text{Mergel}) = -0,922$

Mindesterddruck bei kohäsiven Böden:

DIN 4085, Abschn. 6.3.1.5

$$K^*_{agh} = K_{agh}(\varphi'_k=40^\circ) = 0,179$$

### Zusatzdrücke aus Berme und Nutzlast

Sp-Hb, Abschn. 4.9.2, Bild 4.13

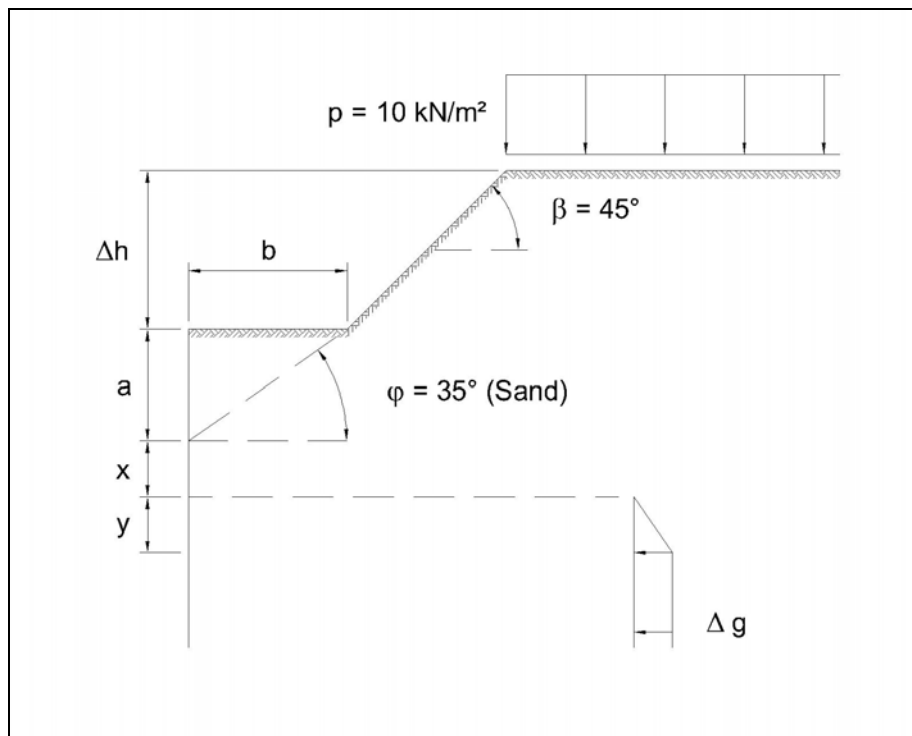


Bild 1.2: Lotrechter Zusatzdruck aus gebrochener Böschung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 20
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

$$a = b \cdot \tan \varphi = 1,40 \text{ m}$$

$$x = k_{ah0} / (k_{ah\varphi} - k_{ah0}) \cdot a = k \cdot a = 0,704 \text{ m} \quad \text{Sp-Hb, Abschn. 4.9.2.2, Gl. (4.25)}$$

mit  $k_{ah\varphi} = 0,671$

$$y = \tan \varphi / \tan \beta \cdot k \cdot \Delta h = 0,704 \text{ m} \quad \text{Sp-Hb, Abschn. 4.9.2.2, Gl. (4.26) und (4.27)}$$

$$\Delta g_k = \gamma \cdot \Delta h + p = 48,0 \text{ kN/m}^2$$

Maßgebend für die Bemessung sind die Erddruckordinaten bei max GW:

Schicht	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	$\Delta g$	$k_{agh}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	$e_{ac,k}$	$e_{ah,k}$	$E_{ah,k}$
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	0,00				0,00	0,00	0,224	0,00	0,00	0,00	0,00
	-1,00	1,00	19	0	19,00	0,00	0,224	4,26	0,00	4,26	2,13
	-2,00	1,00	11	0	30,00	0,00	0,224	6,73	0,00	6,72	7,62
2	-2,00				30,00	0,00	0,279	8,37	-18,44	5,37	7,62
	-2,10	0,10	12	20	31,25	0,00	0,279	8,72	-18,44	5,59	8,19
	-2,81	0,70	12	20	39,70	48,00	0,279	24,47	-18,44	15,70	15,68
	-5,00	2,19	12	20	66,00	48,00	0,279	31,81	-18,44	20,41	55,25
	-7,55	2,55	12	20	96,60	48,00	0,279	40,34	-18,44	25,88	114,27
	-8,05	0,50	12	20	102,6	48,00	0,279	42,02	-18,44	26,96	127,48
	-10,77	2,72	12	20	135,24	48,00	0,279	51,12	-18,44	32,80	208,75
	-10,86	0,09	12	20	136,92	48,00	0,279	51,43	-18,44	32,99	211,71
	-11,09	0,23	12	20	139,08	48,00	0,279	52,20	-18,44	33,76	219,39
	-12,98	1,89	12	20	161,76	48,00	0,279	58,52	-18,44	40,08	289,16
	-13,48	0,5	12	20	167,76	48,00	0,279	60,20	-18,44	41,76	309,62
	-15,00	1,52	12	20	186,00	48,00	0,279	65,29	-18,44	46,85	376,96

Tabelle 1.3: aktive Erddruckordinaten bei max GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

$$a = b \cdot \tan \varphi = 1,40 \text{ m}$$

$$x = k_{ah0} / (k_{ah\varphi} - k_{ah0}) \cdot a = k \cdot a = 0,704 \text{ m} \quad \text{Sp-Hb, Abschn. 4.9.2.2, Gl. (4.25)}$$

mit  $k_{ah\varphi} = 0,671$

$$y = \tan \varphi / \tan \beta \cdot k \cdot \Delta h = 0,704 \text{ m} \quad \text{Sp-Hb, Abschn. 4.9.2.2, Gl. (4.26) und (4.27)}$$

$$\Delta g_k = \gamma \cdot \Delta h + p = 48,0 \text{ kN/m}^2$$

Maßgebend für die Bemessung sind die Erddruckordinaten bei max GW:

Schicht	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	$\Delta g$	$k_{agh}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	$e_{ac,k}$	$e_{ah,k}$	$E_{ah,k}$
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	0,00				0,00	0,00	0,224	0,00	0,00	0,00	0,00
		1,00	19	0							
	-1,00				19,00	0,00	0,224	4,26	0,00	4,26	2,13
		1,00	11	0							
	-2,00				30,00	0,00	0,224	6,73	0,00	6,72	7,62
2	-2,00				30,00	0,00	0,279	8,37	-18,44	5,37	7,62
		0,10	12	20							
	-2,10				31,25	0,00	0,279	8,72	-18,44	5,59	8,19
		0,70	12	20							
	-2,81				39,70	48,00	0,279	24,47	-18,44	15,70	15,68
		2,19	12	20							
	-5,00				66,00	48,00	0,279	31,81	-18,44	20,41	55,25
		2,55	12	20							
	-7,55				96,60	48,00	0,279	40,34	-18,44	25,88	114,27
		0,50	12	20							
	-8,05				102,6	48,00	0,279	42,02	-18,44	26,96	127,48
		2,72	12	20							
	-10,77				135,24	48,00	0,279	51,12	-18,44	32,80	208,75
		0,09	12	20							
	-10,86				136,92	48,00	0,279	51,43	-18,44	32,99	211,71
	0,23	12	20								
-11,09				139,08	48,00	0,279	52,20	-18,44	33,76	219,39	
	1,89	12	20								
-12,98				161,76	48,00	0,279	58,52	-18,44	40,08	289,16	
	0,5	12	20								
-13,48				167,76	48,00	0,279	60,20	-18,44	41,76	309,62	
	1,52	12	20								
-15,00				186,00	48,00	0,279	65,29	-18,44	46,85	376,96	

Tabelle 1.3: aktive Erddruckordinaten bei max GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 22
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Rechteckförmige Erddruckumlagerung bis zur Baugrubensohle EAB, EB 70 (6.2, Abs. 2)

$$e_{ah,k} = E_{ah,k} / h = 114,27 / 7,55 = 15,1 \text{ kN/m}^2$$

### Passiver Erddruck

Der passive Erddruck wird für gekrümmte Gleitflächen ermittelt:

- Wandreibungswinkel  $\delta_p = -2/3 \varphi'_k$  DIN 4085, Anhang A
- $k_{pgh}$  (Mergel) = 5,0 DIN 4085, 6.5.1
- $k_{pch}$  (Mergel) = 5,4 DIN 4085, 6.5.1

$-2/3 \varphi'_k$	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	$K_{pgh}$	$\Sigma g \cdot k_{ph}$	$K_{pch}$	$e_{pc,k}$	$e_{ph,k}$	$E_{ph,k}$
Schicht	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
2	-7,55				0,00	5,0	0,00	5,4	108,0	108,00	0
		0,50	22	20							
	-8,05				11,00	5,0	55,00	5,4	108,0	163,00	67,75
		0,95	12	20							
	-9,00				22,40	5,0	112,00	5,4	108,0	220,00	249,68
		1,91	12	20							
	-10,91				45,32	5,0	226,60	5,4	108,0	334,60	779,32
		2,07	12	20							
	-12,98				70,16	5,0	350,80	5,4	108,0	458,80	1600,5
	1,02	12	20								
-14,00				82,40	5,0	412,00	5,4	108,0	520,00	2099,7	

Tabelle 1.4: passive Erddruckordinaten bei  $\delta_p = -2/3 \varphi'_k$

Der passive Wandreibungswinkel und die entsprechenden passiven Erddruckbeiwerte werden im Zuge der Nachweise iterativ so verändert, dass das Gleichgewicht der Vertikalkräfte sichergestellt ist.

- Wandreibungswinkel  $\delta_p = -1/2 \varphi'_k$
- $k_{pgh}$  (Mergel) = 4,5 DIN 4085, 6.5.1
- $k_{pch}$  (Mergel) = 5,0 DIN 4085, 6.5.1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen <span style="float: right;">Seite 23</span>	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Rechteckförmige Erddruckumlagerung bis zur Baugrubensohle

EAB, EB 70 (6.2, Abs. 2)

$$e_{ah,k} = E_{ah,k} / h = 114,27 / 7,55 = 15,1 \text{ kN/m}^2$$

### Passiver Erddruck

Der passive Erddruck wird für gekrümmte Gleitflächen ermittelt:

- Wandreibungswinkel  $\delta_p = -2/3 \varphi'_k$

DIN 4085, Anhang A

-  $k_{pgh}$  (Mergel) = 5,0

DIN 4085, 6.5.1

-  $k_{pch}$  (Mergel) = 5,4

DIN 4085, 6.5.1

$-2/3 \varphi'_k$	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	$K_{pgh}$	$\Sigma g \cdot k_{ph}$	$K_{pch}$	$e_{pc,k}$	$e_{ph,k}$	$E_{ph,k}$
Schicht	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
2	-7,55				0,00	5,0	0,00	5,4	108,0	108,00	0
		0,50	22	20							
	-8,05				11,00	5,0	55,00	5,4	108,0	163,00	67,75
		0,95	12	20							
	-9,00				22,40	5,0	112,00	5,4	108,0	220,00	249,68
		1,91	12	20							
	-10,91				45,32	5,0	226,60	5,4	108,0	334,60	779,32
		2,07	12	20							
	-12,98				70,16	5,0	350,80	5,4	108,0	458,80	1600,5
	1,02	12	20								
-14,00				82,40	5,0	412,00	5,4	108,0	520,00	2099,7	

Tabelle 1.4: passive Erddruckordinaten bei  $\delta_p = -2/3 \varphi'_k$

Der passive Wandreibungswinkel und die entsprechenden passiven Erddruckbeiwerte werden im Zuge der Nachweise iterativ so verändert, dass das Gleichgewicht der Vertikalkräfte sichergestellt ist.

- Wandreibungswinkel  $\delta_p = -1/2 \varphi'_k$

-  $k_{pgh}$  (Mergel) = 4,5

DIN 4085, 6.5.1

-  $k_{pch}$  (Mergel) = 5,0

DIN 4085, 6.5.1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 24
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

$-1/2 \varphi'_k$	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	$K_{pgh}$	$\Sigma g \cdot k_{ph}$	$K_{pch}$	$e_{pc,k}$	$e_{ph,k}$	$E_{ph,k}$
Schicht	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
2	-7,55				0,00	4,5	0,00	5,0	100,0	100,00	0
		0,50	22	20							
	-8,05				11,00	4,5	49,50	5,0	100,0	149,50	62,38
		0,95	12	20							
	-9,00				22,40	4,5	100,80	5,0	100,0	200,80	228,77
		1,00	12	20							
	-10,00				34,40	4,5	154,80	5,0	100,0	254,80	456,57
		1,09	12	20							
	-11,09				47,48	4,5	213,66	5,0	100,0	313,66	766,38
	2,39	12	20								
-13,48				76,16	4,5	342,72	5,0	100,0	442,72	1670,25	

Tabelle 1.5: passive Erddruckordinaten bei  $\delta_p = -1/2 \varphi'_k$

#### Wasserdruck

-  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

DIN 1054, Abschn. 6.1.3 (3)

- Wasserstand Aktivseite: -1,0 m

- Wasserstand Passivseite: -8,05 m

Aufgrund des dichten Mergels, der eine Umströmung der Spundwand verhindert, wird der hydrostatische Wasserdruck angesetzt.

DIN 1054, Abschn. 10.3.2 (5)

Dieser Ansatz ist nach einer Vergleichsberechnung gegenüber dem Ansatz eines Strömungsdruckes mit einem infolge der Umströmung abgeminderten Erdwiderstand maßgebend.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

$-1/2 \varphi'_k$	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	$K_{pgh}$	$\Sigma g \cdot k_{ph}$	$K_{pch}$	$e_{pc,k}$	$e_{ph,k}$	$E_{ph,k}$
Schicht	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
2	-7,55				0,00	4,5	0,00	5,0	100,0	100,00	0
		0,50	22	20							
	-8,05				11,00	4,5	49,50	5,0	100,0	149,50	62,38
		0,95	12	20							
	-9,00				22,40	4,5	100,80	5,0	100,0	200,80	228,77
		1,00	12	20							
	-10,00				34,40	4,5	154,80	5,0	100,0	254,80	456,57
		1,09	12	20							
	-11,09				47,48	4,5	213,66	5,0	100,0	313,66	766,38
	2,39	12	20								
-13,48				76,16	4,5	342,72	5,0	100,0	442,72	1670,25	

Tabelle 1.5: passive Erddruckordinaten bei  $\delta_p = -1/2 \varphi'_k$

#### Wasserdruck

-  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

DIN EN 1991-1-1

- Wasserstand Aktivseite: -1,0 m

- Wasserstand Passivseite: -8,05 m

Aufgrund des dichten Mergels, der eine Umströmung der Spundwand verhindert, wird der hydrostatische Wasserdruck angesetzt.

DIN 1054, Abschn. 9.6, A (8),  
DIN 1054, Abschn. 9.5.6 A (4),

Dieser Ansatz ist nach einer Vergleichsberechnung gegenüber dem Ansatz eines Strömungsdruckes mit einem infolge der Umströmung abgeminderten Erdwiderstand maßgebend.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 26
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. BERECHNUNGSABLAUF

Der Baugrubenverbau ist auf der Grundlage der DIN 1054 nachzuweisen. Diese fordert die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.

Für den vorliegenden Baugrubenverbau sind die folgenden Nachweise erforderlich:

1. Grenzzustand GZ 1A: Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit:  
Für diesen Grenzzustand wird die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nachgewiesen.
2. Grenzzustand GZ 1B: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen:  
In diesem Grenzzustand werden die Bauteile Spundwand, Anker und Gurtung bemessen. Hierin enthalten ist auch der Nachweis in der tiefen Gleitfuge, der die Länge und Neigung der Anker bestimmt.
3. Grenzzustand GZ 1C: Grenzzustand des Verlustes der Gesamtsicherheit:  
Hier wird die Geländebruchsicherheit nachgewiesen.

Die Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (Verformungen, Dichtigkeit) entfallen für den Spundwandverbau, vgl. DIN 1054, 10.7.1, da keine setzungsempfindlichen baulichen Anlagen in der Nähe des Verbaus vorhanden sind.

Ergänzend zu DIN 1054 werden in den Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB) konkrete Angaben zu den zu führenden Nachweisen gemacht. Die EAB sind gemäß ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1, zu beachten.

Demnach ergibt sich der folgende Berechnungsablauf:

### 1) Ermittlung der Einbindelänge und Schnittgrößenermittlung

DIN 1054, 10.6.3

Die Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen ist prinzipiell unter charakteristischen Einwirkungen und charakteristischen Bodenreaktionen durchzuführen.

EAB, EB 80 (4.3, Absatz 1)  
EAB, EB 82 (4.4, Absatz 1)

Bei linear-elastischen Systemen kann die erforderliche Einbindelänge der Spundwand jedoch auch direkt durch Ansatz der Bemessungswerte von Einwirkungen und Widerständen im Grenzzustand GZ 1B ermittelt werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 27
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. BERECHNUNGSABLAUF

Der Baugrubenverbau ist auf der Grundlage der DIN EN 1997-1 und der DIN 1054 nachzuweisen. Diese fordern die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.

Für den vorliegenden Baugrubenverbau sind die folgenden Nachweise erforderlich:

1. Grenzzustand HYD: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch:  
Für diesen Grenzzustand wird die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nachgewiesen.
2. Grenzzustand STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund:  
In diesem Grenzzustand werden die Bauteile Spundwand, Anker und Gurtung bemessen. Hierin enthalten ist auch der Nachweis in der tiefen Gleitfuge, der die Länge und Neigung der Anker bestimmt.
3. Grenzzustand GEO-3: Grenzzustand des Verlustes der Gesamtsicherheit:  
Hier wird die Geländebruchsicherheit nachgewiesen.

Die Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (Verformungen, Dichtigkeit) entfallen für den Spundwandverbau, vgl. DIN 1054, 9.8.1.1, A(1a), da keine setzungsempfindlichen baulichen Anlagen in der Nähe des Verbaus vorhanden sind.

Ergänzend zu DIN EN 1997-1 und DIN 1054 werden in den Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB) konkrete Angaben zu den zu führenden Nachweisen gemacht. Die EAB sind gemäß ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1, zu beachten.

Demnach ergibt sich der folgende Berechnungsablauf:

### 1) Ermittlung der Einbindelänge und Schnittgrößenermittlung

Die Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen ist prinzipiell unter charakteristischen Einwirkungen und charakteristischen Bodenreaktionen durchzuführen.

Bei linear-elastischen Systemen kann die erforderliche Einbindelänge der Spundwand jedoch auch direkt durch Ansatz der Bemessungswerte von Einwirkungen und Widerständen im Grenzzustand STR und GEO-2 ermittelt werden.

DIN 1054, A9.7.1.2 und A9.7.1.4

EAB, EB 80 (4.3)  
EAB, EB 82 (4.4)  
EAB, EB 104 (4.11)

EAB, EB 80 (4.3, Absatz 11)  
EAB, EB 104 (4.11)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 28
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

## 2) Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstandes

DIN 1054, 10.6.3  
EAB, EB 9 (4.8)

Für die gewählte Einbindelänge ist der Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstandes zu führen. Dies geschieht unter Ansatz charakteristischer Lasten.

Wenn der Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstandes nicht erfüllt wird, ist die Neigung des passiven Erddruckes iterativ zu verringern und die Einbindelänge neu zu ermitteln, bis der Nachweis erfüllt ist.

## 3) Nachweis des Erdwiderlagers

DIN 1054, 10.6.3

EAB, EB 80 (4.3, Absatz 5 und 8)

Es ist nachzuweisen, dass der resultierende, mobilisierte Erdwiderstand kleiner ist als der mögliche Erdwiderstand. Dieser Nachweis wird unter Ansatz der Bemessungswerte des mobilisierten und des möglichen Erdwiderstandes im Grenzzustand GZ1B geführt.

## 4) Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge

DIN 1054, 10.6.7

EAB, EB 44 (7.4)

Bei verankerten Konstruktionen ist der Nachweis des Versagens in der tiefen Gleitfuge zu führen. Dieser Nachweis erfolgt unter charakteristischen Einwirkungen und Scherparametern. Die Festlegung der erforderlichen Ankerlänge erfolgt anschließend mit den Teilsicherheiten des Grenzzustandes GZ 1B.

## 5) Nachweis der Geländebruchsicherheit

DIN 1054, 12.3

EAB, EB 45 (7.4)

Bei verankerten Baugrubenwänden ist grundsätzlich auch der Nachweis der Geländebruchsicherheit zu erbringen. Dieser wird im Grenzzustand GZ 1C unter Ansatz abgeminderter Scherparameter des Baugrundes geführt.

## 6) Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

DIN 1054, 10.6.9

EAB, EB 61 (10.4)

Der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch wird im Grenzzustand GZ 1A geführt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 29
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

#### 2) Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstandes

DIN 1054, A9.7.8

Für die gewählte Einbindelänge ist der Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstandes zu führen. Dies geschieht unter Ansatz charakteristischer Lasten.

EAB, EB 9 (4.7)

Wenn der Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstandes nicht erfüllt wird, ist die Neigung des passiven Erddruckes iterativ zu verringern und die Einbindelänge neu zu ermitteln, bis der Nachweis erfüllt ist.

#### 3) Nachweis des Erdwiderlagers

DIN EN 1997-1, 9.7.4

Es ist nachzuweisen, dass der resultierende, mobilisierte Erdwiderstand kleiner ist als der mögliche Erdwiderstand. Dieser Nachweis wird unter Ansatz der Bemessungswerte des mobilisierten und des möglichen Erdwiderstandes im Grenzzustand GEO-2 geführt.

EAB, EB 80 (4.3, Absatz 5 und 8)

#### 4) Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge

DIN 1054, A9.7.9

Bei verankerten Konstruktionen ist der Nachweis des Versagens in der tiefen Gleitfuge zu führen. Dieser Nachweis erfolgt unter charakteristischen Einwirkungen und Scherparametern. Die Festlegung der erforderlichen Ankerlänge erfolgt anschließend mit den Teilsicherheiten des Grenzzustandes GEO-2.

EAB, EB 44 (7.4)

#### 5) Nachweis der Geländebruchsicherheit

DIN EN 1997-1, 9.7.2

Bei verankerten Baugrubenwänden ist grundsätzlich auch der Nachweis der Geländebruchsicherheit zu erbringen. Dieser wird im Grenzzustand GEO-3 unter Ansatz abgeminderter Scherparameter des Baugrundes geführt.

EAB, EB 45 (7.4)

#### 6) Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

DIN EN 1997-1, 10.3

Der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch wird im Grenzzustand HYD geführt.

EAB, EB 61 (10.4)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 30
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 7) Bemessung der Bauteile

DIN 1054, 10.6.8

Die Bemessung der Bauteile (Spundwand, Anker) erfolgt im Grenzzustand GZ 1B auf der Grundlage der DIN 18800-1 bzw. der DIN 1054. Für die Anker sind darüber hinaus die DIN EN 1537 in Verbindung mit DIN SPEC 18537 und die bauaufsichtlichen Zulassungen zu beachten.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 31	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 7) Bemessung der Bauteile

DIN EN 1997-1, 9.7.6

Die Bemessung der Bauteile (Spundwand, Anker) erfolgt im Grenzzustand STR auf der Grundlage der DIN EN 1993-5 bzw. der DIN 1054. Für die Anker sind darüber hinaus die DIN EN 1537 in Verbindung mit DIN SPEC 18537 und die bauaufsichtlichen Zulassungen zu beachten.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 32	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. ERMITTLUNG DER EINBINDELÄNGE UND DER SCHNITTGRÖSSEN

Die erforderliche Einbindelänge der Spundwand darf bei linear-elastischen Systemen direkt durch Ansatz der Bemessungswerte von Einwirkungen und Widerständen ermittelt werden.

In den Berechnungen wird eine Volleinspannung der Baugrubenwand am Fuß angesetzt, da Spundwände i.a. ausreichend biegeweich sind, damit sich bei dem hier vorliegenden steifen bindigen Boden eine volle bodenmechanische Einspannung ausbildet.

EAB, EB 26 (6.4)

Die Ermittlung der Einbindetiefe und der Schnittgrößen erfolgt mit dem Baugrubenprogramm PGruWIN. Die erforderliche Einbindetiefe wird dabei vom Programm iterativ unter Ansatz der Ersatzkraft nach Blum ermittelt.

Der aktive Erddruck wird bis zur Baugrubensohle rechteckförmig umgelagert und mit der Teilsicherheit des Grenzzustandes GZ 1B auf das System aufgebracht.

EAB EB 70 (6.2, Abs. 2)

Der Teilsicherheitsbeiwert für den Wasserdruck wird durch Vorgabe einer größeren Wichte für das Wasser ( $\gamma_G = 1,20 \rightarrow \gamma_w = 12 \text{ kN/m}^3$ ) berücksichtigt.

Der Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand wird gemäß DIN 1054 vorgegeben.

Für die baugrundspezifischen Einwirkungen und Widerstände – hierzu zählen auch die Verpressanker – sind die Teilsicherheitsbeiwerte aus DIN 1054, Tab. 2 und 3 zu entnehmen. Für die baugrundunabhängigen Widerstände gelten die entsprechenden Materialnormen. Für die Spundwand ist DIN 18800-1 maßgebend.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, GZ 1B, LF 2  
ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,20$ :

DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

- Spundwandeigengewicht
- aktiver Erddruck
- Nutzlast ( $p=10 \text{ kN/m}^2$ )
- Wasserdruck

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 33	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

### 3. ERMITTLUNG DER EINBINDELÄNGE UND DER SCHNITTGRÖSSEN

Die erforderliche Einbindelänge der Spundwand darf bei linear-elastischen Systemen direkt durch Ansatz der Bemessungswerte von Einwirkungen und Widerständen ermittelt werden. EAB, EB 80 (4.3, Absatz 11)

In den Berechnungen wird eine Volleinspannung der Baugrubenwand am Fuß angesetzt, da Spundwände i.a. ausreichend biegeweich sind, damit sich bei dem hier vorliegenden steifen bindigen Boden eine volle bodenmechanische Einspannung ausbildet. EAB, EB 26 (6.4)

Die Ermittlung der Einbindetiefe und der Schnittgrößen erfolgt mit dem Baugrubenprogramm PGruWIN. Die erforderliche Einbindetiefe wird dabei vom Programm iterativ unter Ansatz der Ersatzkraft nach Blum ermittelt.

Der aktive Erddruck wird bis zur Baugrubensohle rechteckförmig umgelagert und mit der Teilsicherheit des Grenzzustandes GEO-2 auf das System aufgebracht. EAB EB 70 (6.2, Abs. 2)

Der Teilsicherheitsbeiwert für den Wasserdruck wird durch Vorgabe einer größeren Wichte für das Wasser ( $\gamma_G = 1,20 \rightarrow \gamma_w = 12 \text{ kN/m}^3$ ) berücksichtigt.

Der Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand wird gemäß DIN 1054 vorgegeben.

Für die baugrundspezifischen Einwirkungen und Widerstände – hierzu zählen auch die Verpressanker – sind die Teilsicherheitsbeiwerte aus DIN 1054, Tab. A 2.1 bis A 2.3 zu entnehmen. Für die baugrundunabhängigen Widerstände gelten die entsprechenden Materialnormen. Für die Spundwand ist DIN EN 1993-5 maßgebend.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, STR / GEO-2, BS-T  
ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,20$ : DIN 1054, Tab. A2.1

- Spundwandeigengewicht
- aktiver Erddruck
- Nutzlast ( $p=10 \text{ kN/m}^2$ )
- Wasserdruck

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 34	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände, GZ 1B, LF 2

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

- Erdwiderstand:

für Bemessung Einbindelänge:  $\gamma_{Ep} = 1,30$

für Schnittgrößen des Verbaus:  $\gamma_{Ep} = 1,30$

für LF Ankerausfall:  $\gamma_{Ep} = 1,20$

Auf den nachfolgenden Seiten werden die Eingabewerte und Ergebnisse von zwei Rechenläufen dargestellt:

Lauf 1 mit Neigungswinkel des Erdwiderstandes  $\delta_p = -2/3\varphi'_k = -20^\circ$  und – da dieser Ansatz nicht das Gleichgewicht in vertikaler Richtung erfüllt – Lauf 2 mit  $\delta_p = -1/2 \varphi'_k = -15^\circ$ .

Aus dem Berechnungslauf 2 ergibt sich eine rechnerisch erforderliche Einbindelänge von  $(13,48 - 7,55) = 5,93$  m. Diese ist gemäß EAB mit einem Längenzuschlag von 20% zu versehen.

Erforderliche Einbindelänge:  $t = 1,2 \cdot 5,93 = 7,12$  m

Gesamtlänge der Spundwand:  $l = 7,55 + 7,12 = 14,67$  m

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 35	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände, STR / GEO-2, BS-T

DIN 1054, Tab. A2.3

- Erdwiderstand:

für Bemessung Einbindelänge:  $\gamma_{R,e} = 1,30$

für Schnittgrößen des Verbaus:  $\gamma_{R,e} = 1,30$

für LF Ankerausfall:  $\gamma_{R,e} = 1,20$

Auf den nachfolgenden Seiten werden die Eingabewerte und Ergebnisse von zwei Rechenläufen dargestellt:

Lauf 1 mit Neigungswinkel des Erdwiderstandes  $\delta_p = -2/3\varphi'_k = -20^\circ$  und – da dieser Ansatz nicht das Gleichgewicht in vertikaler Richtung erfüllt – Lauf 2 mit  $\delta_p = -1/2 \varphi'_k = -15^\circ$ .

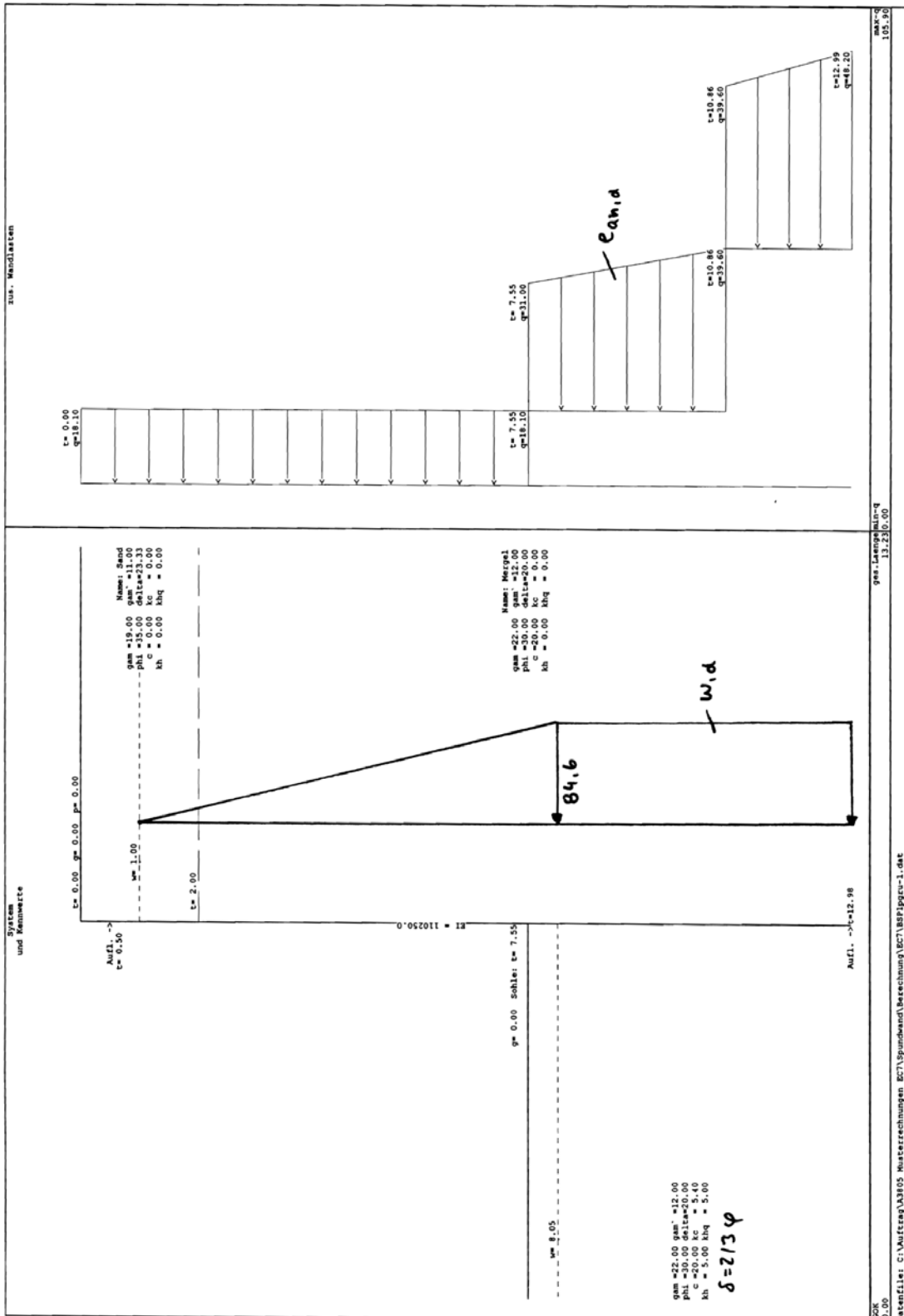
Aus dem Berechnungslauf 2 ergibt sich eine rechnerisch erforderliche Einbindelänge von  $(13,48 - 7,55) = 5,93$  m. Diese ist gemäß EAB mit einem Längenzuschlag von 20% zu versehen.

Erforderliche Einbindelänge:  $t = 1,2 \cdot 5,93 = 7,12$  m

Gesamtlänge der Spundwand:  $l = 7,55 + 7,12 = 14,67$  m

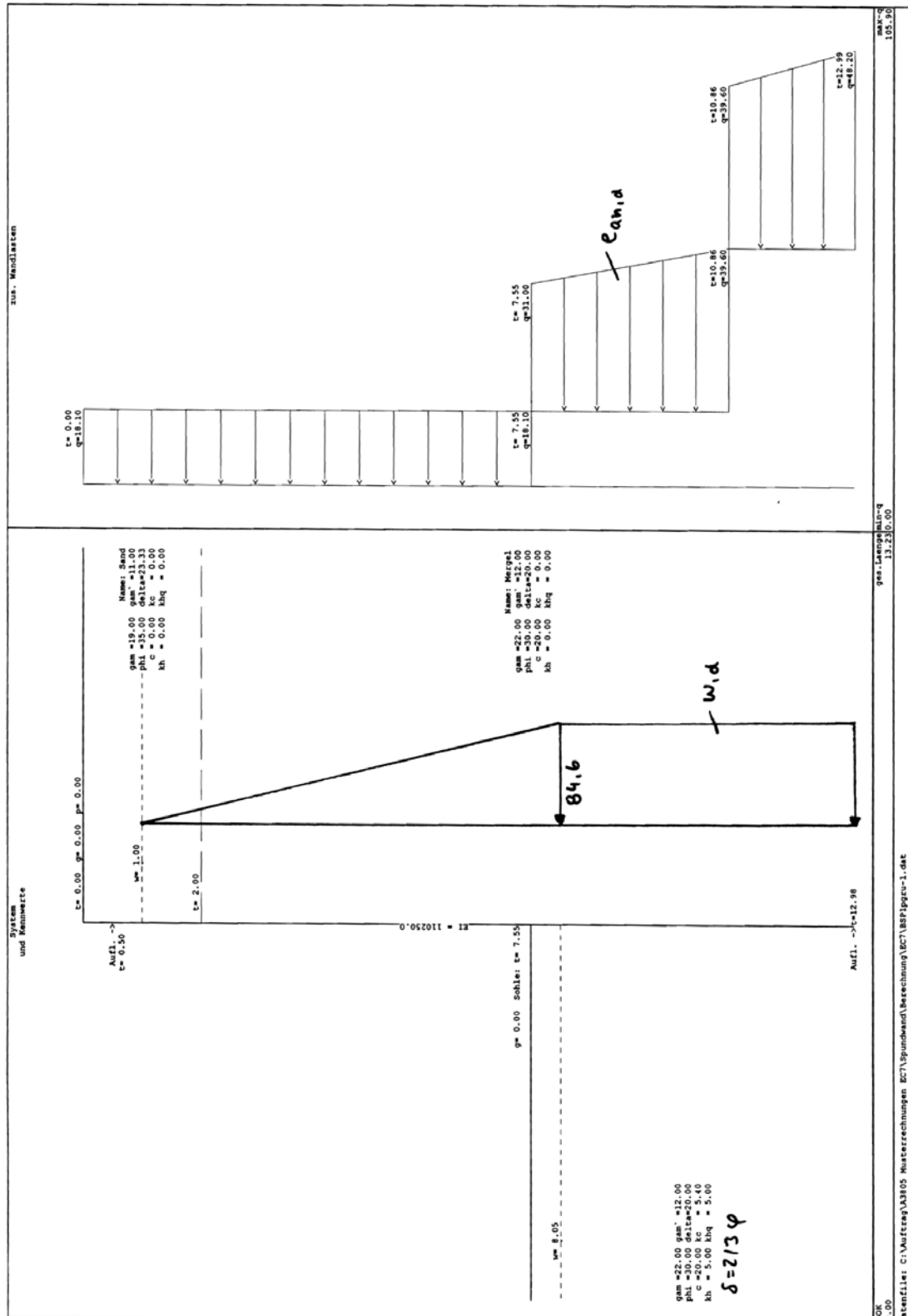
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 36	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 37	
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ (\Sigma V \neq 0)$	

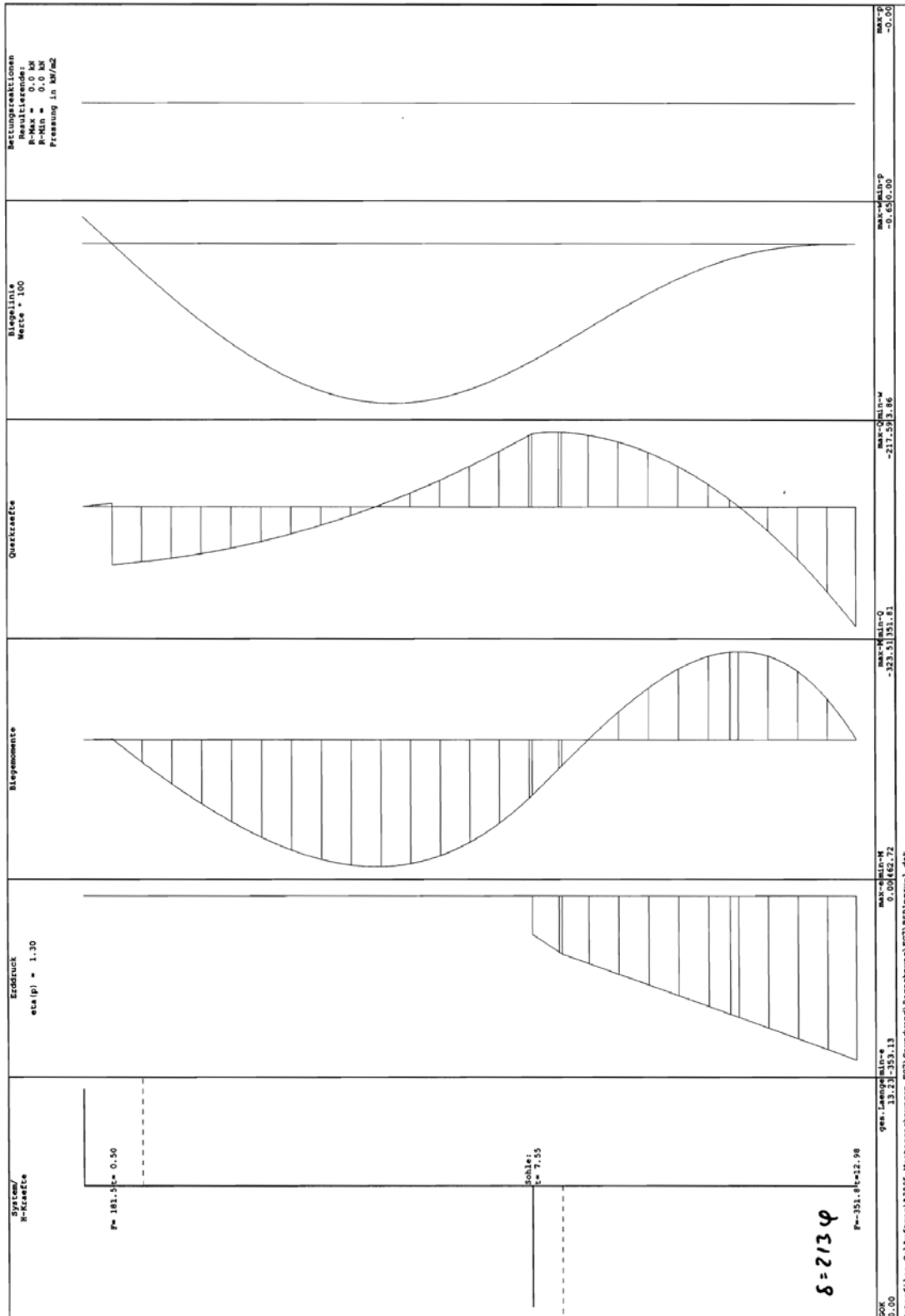
Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen	Seite 38
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 1: $\delta_p = -2/3\phi'_k = 20^\circ$ ( $\Sigma V \neq 0$ )	

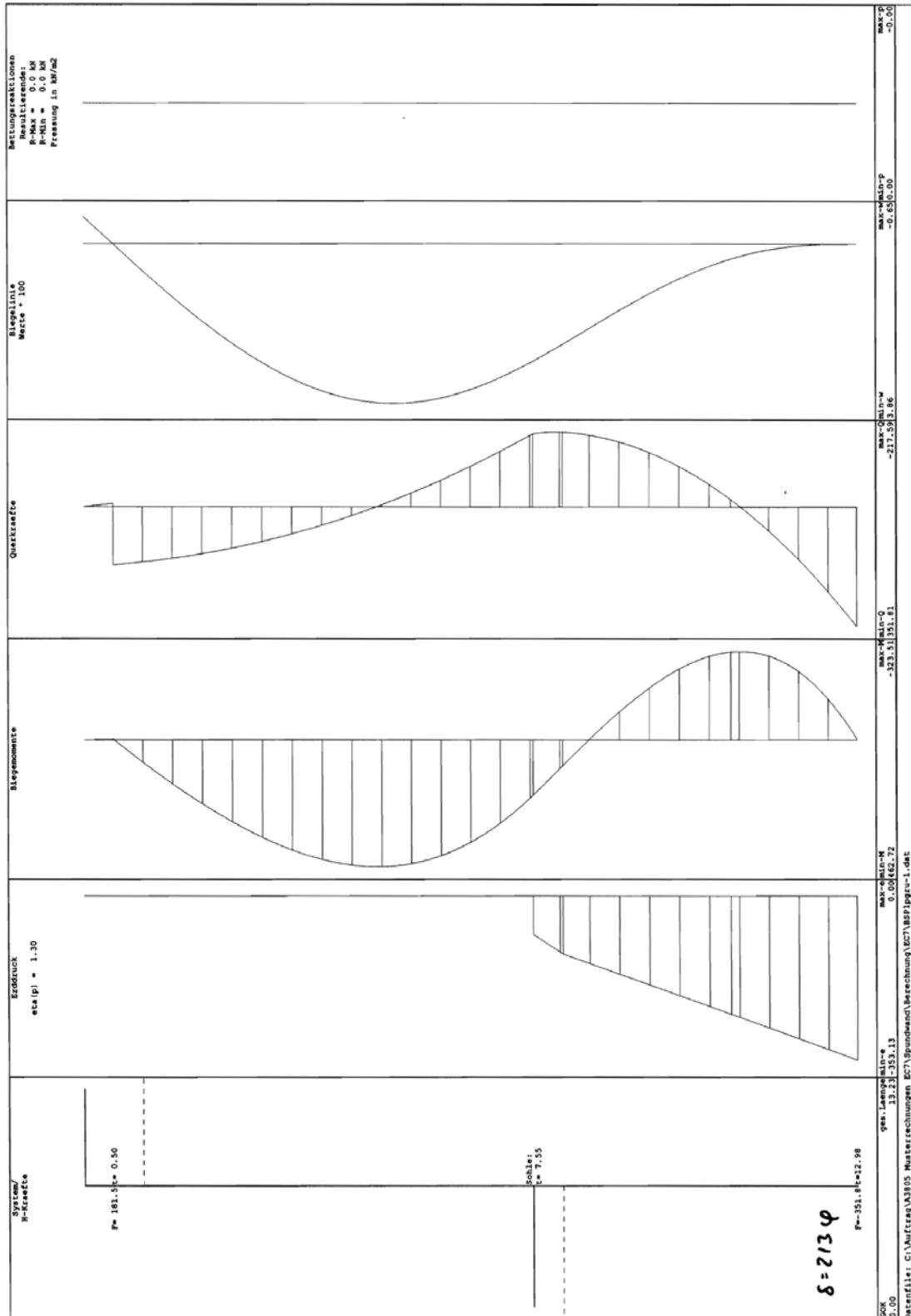


Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13



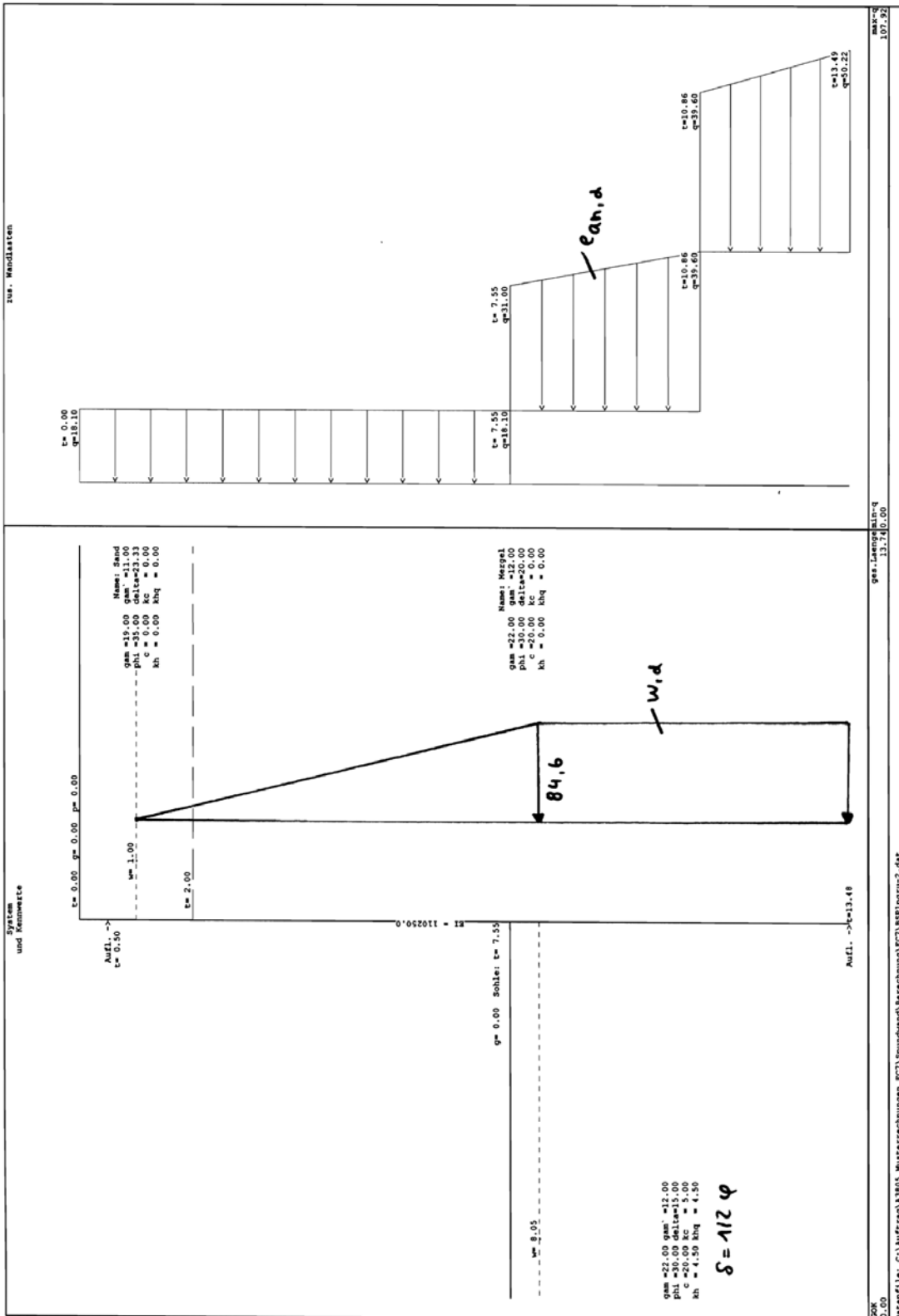
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 39	
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ$ ( $\Sigma V \neq 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13



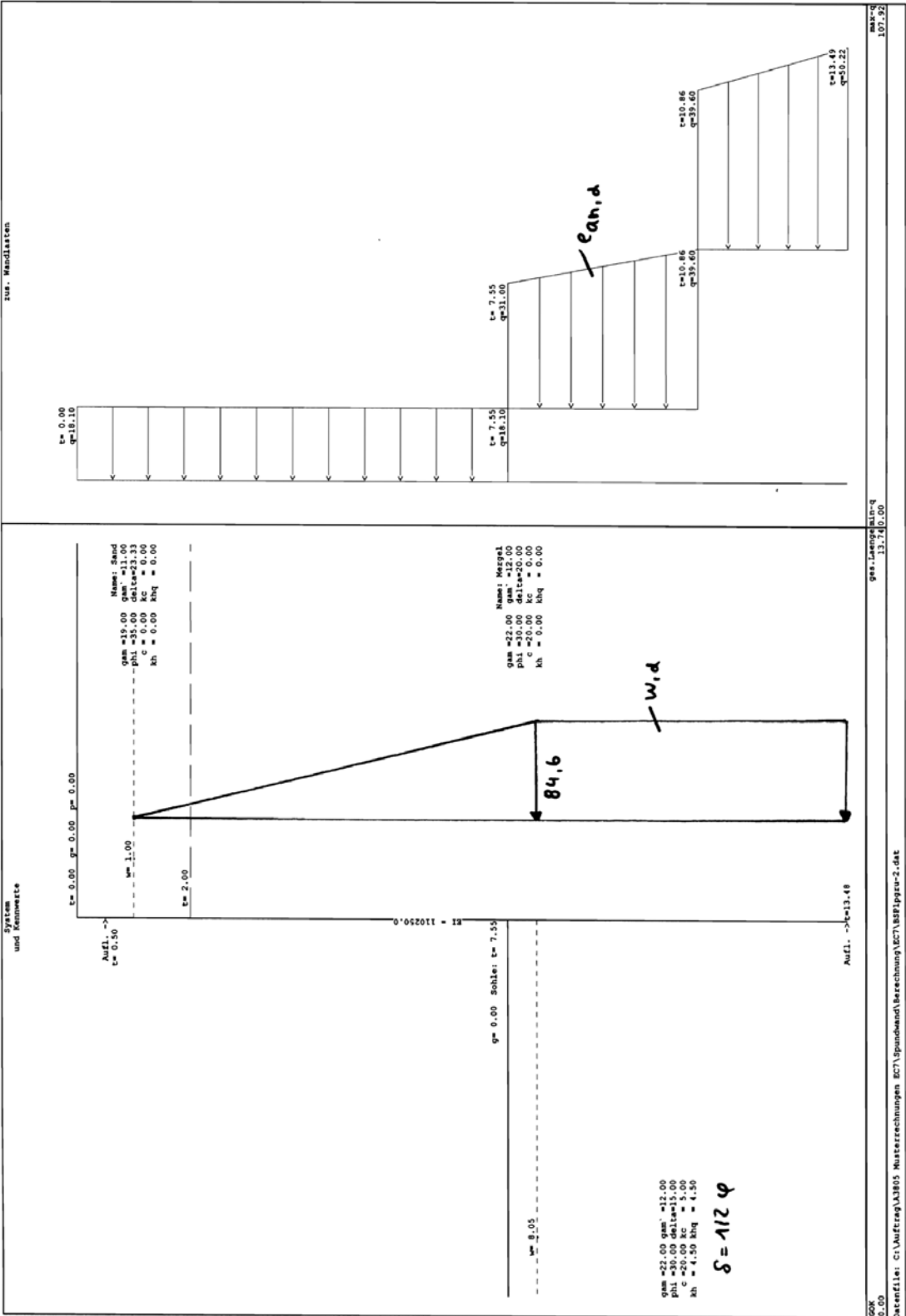
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen	Seite 40
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ (\Sigma V \neq 0)$	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



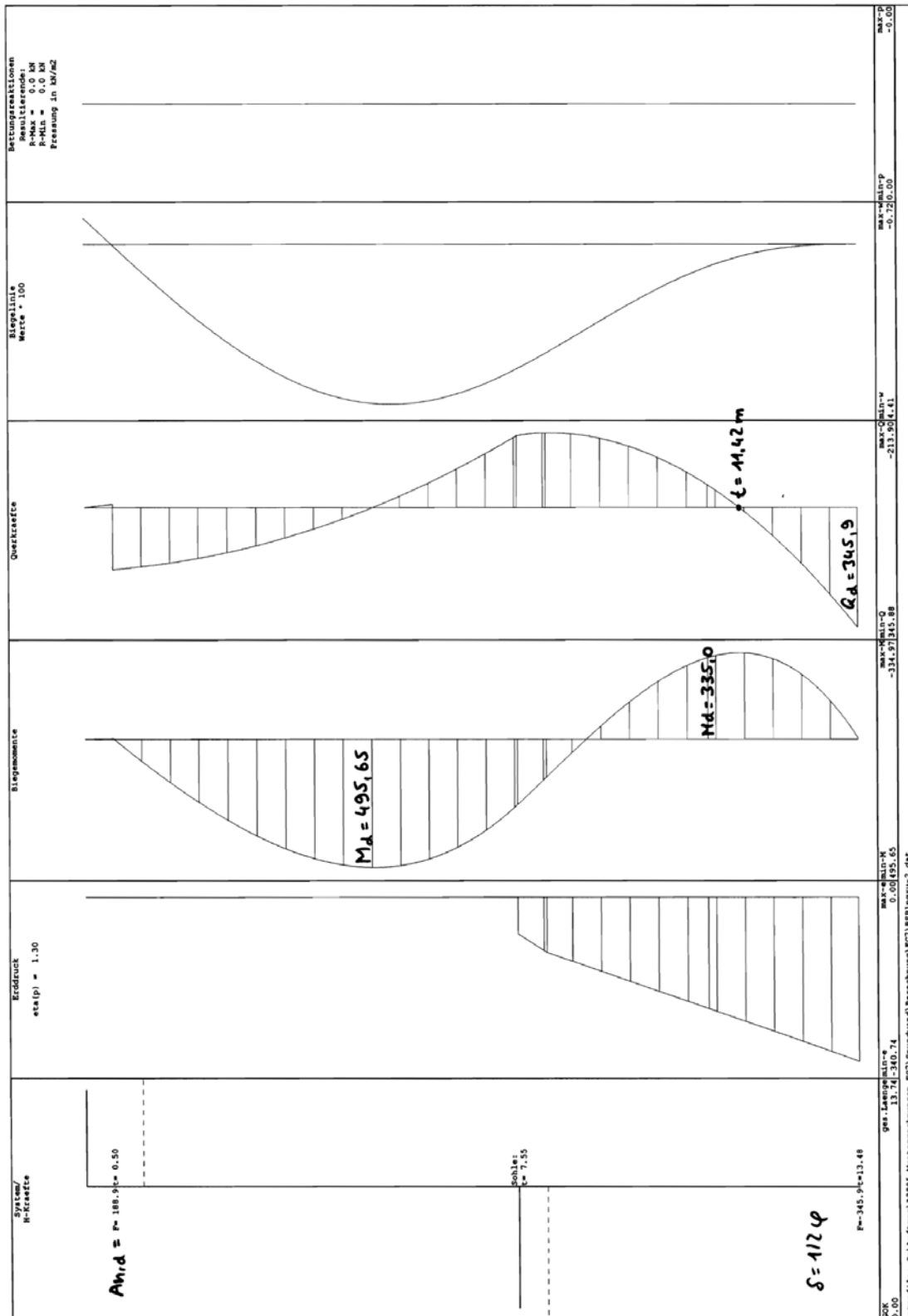
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 41	
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 2: $\delta_p = -1/2 \varphi'_k = 15^\circ (\Sigma V = 0)$	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



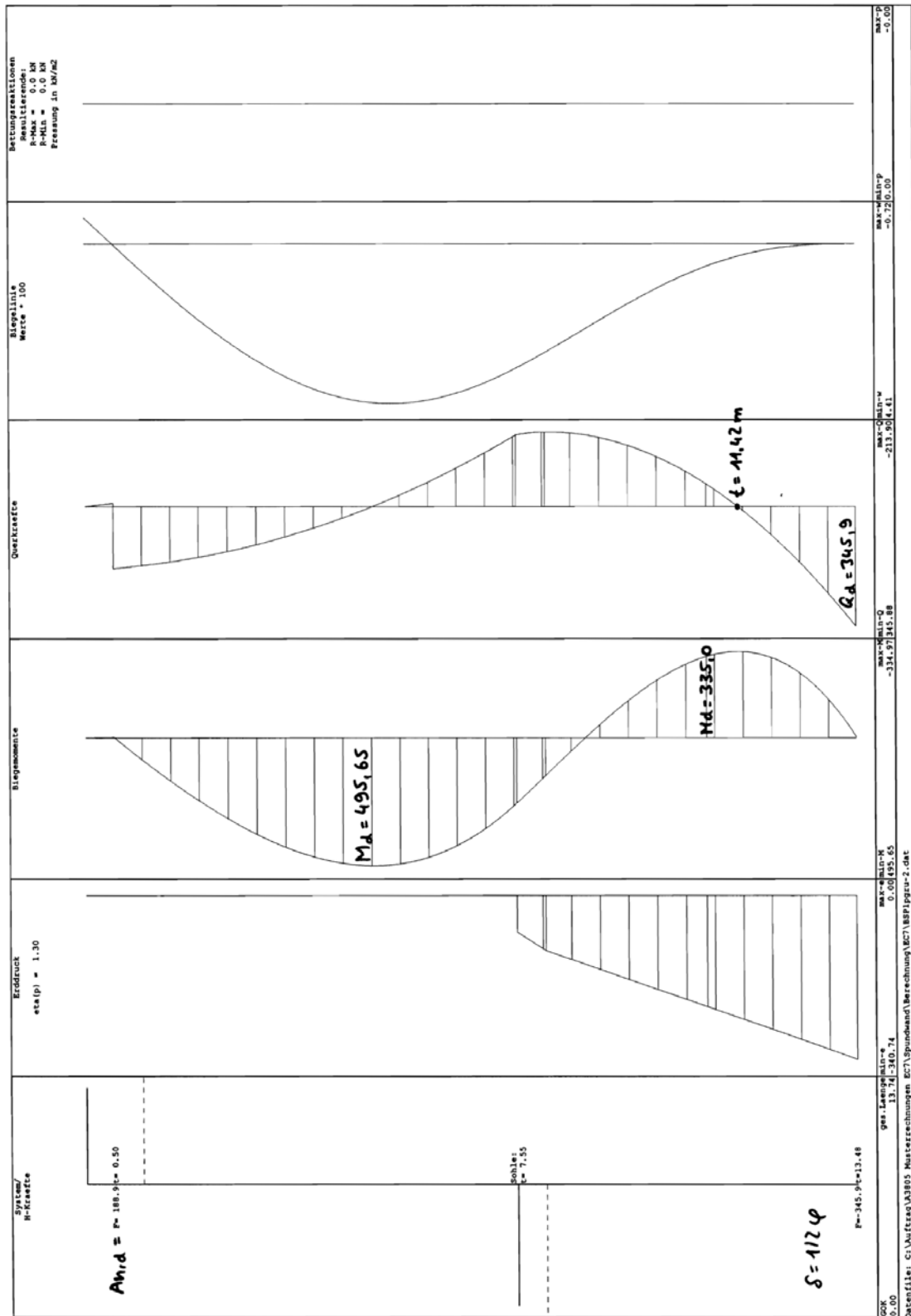
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen	Seite 42
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ (\Sigma V = 0)$	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 43	
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 2: $\delta_p = -1/2 \varphi'_k = 15^\circ (\Sigma V = 0)$	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen	Seite 44
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ (\Sigma V = 0)$	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. NACHWEIS DES GLEICHGEWICHTS DER VERTIKALKRÄFTE

Für den Nachweis des Gleichgewichtes der Vertikalkräfte sind die Gleichgewichtsbedingungen Gl. (51) und Gl. (53) in DIN 1054 einzuhalten. Damit wird bei relativ kleinen nach unten gerichteten Vertikalkräften eine aufwärts gerichtete Bewegung der Verbauwand ausgeschlossen (Gl. (51)) und bei relativ großen abwärts gerichteten Kräften ein Versinken der Wand ausgeschlossen (Gl. (53)).

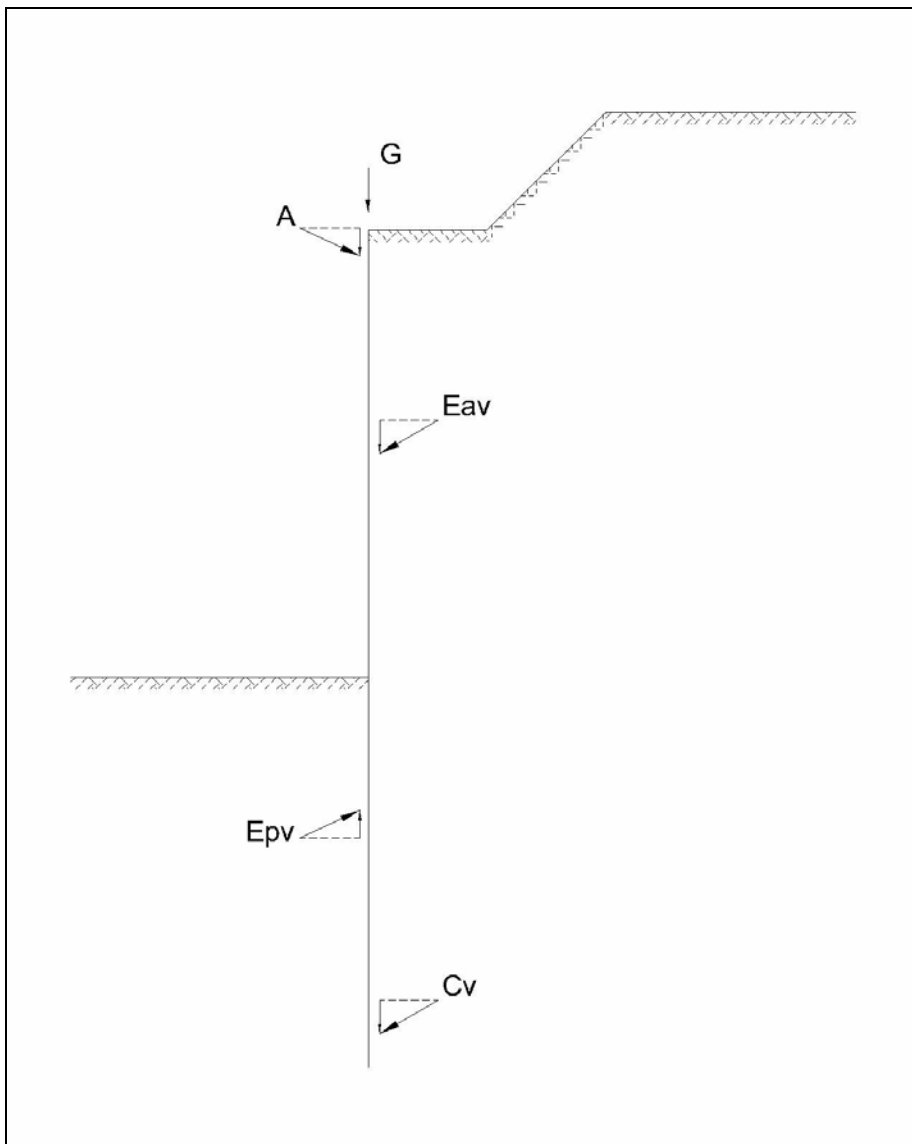


Bild 4.1: Vertikalkraftanteile

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 45
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. NACHWEIS DES GLEICHGEWICHTS DER VERTIKALKRÄFTE

Für den Nachweis des Gleichgewichtes der Vertikalkräfte sind die Gleichgewichtsbedingungen Gl. A (9.6) und Gl. A (9.8) in DIN 1054 einzuhalten. Damit wird bei relativ kleinen nach unten gerichteten Vertikalkräften eine aufwärts gerichtete Bewegung der Verbauwand ausgeschlossen (Gl. A (9.8)) und bei relativ großen abwärts gerichteten Kräften ein Versinken der Wand ausgeschlossen (Gl. A (9.6)).

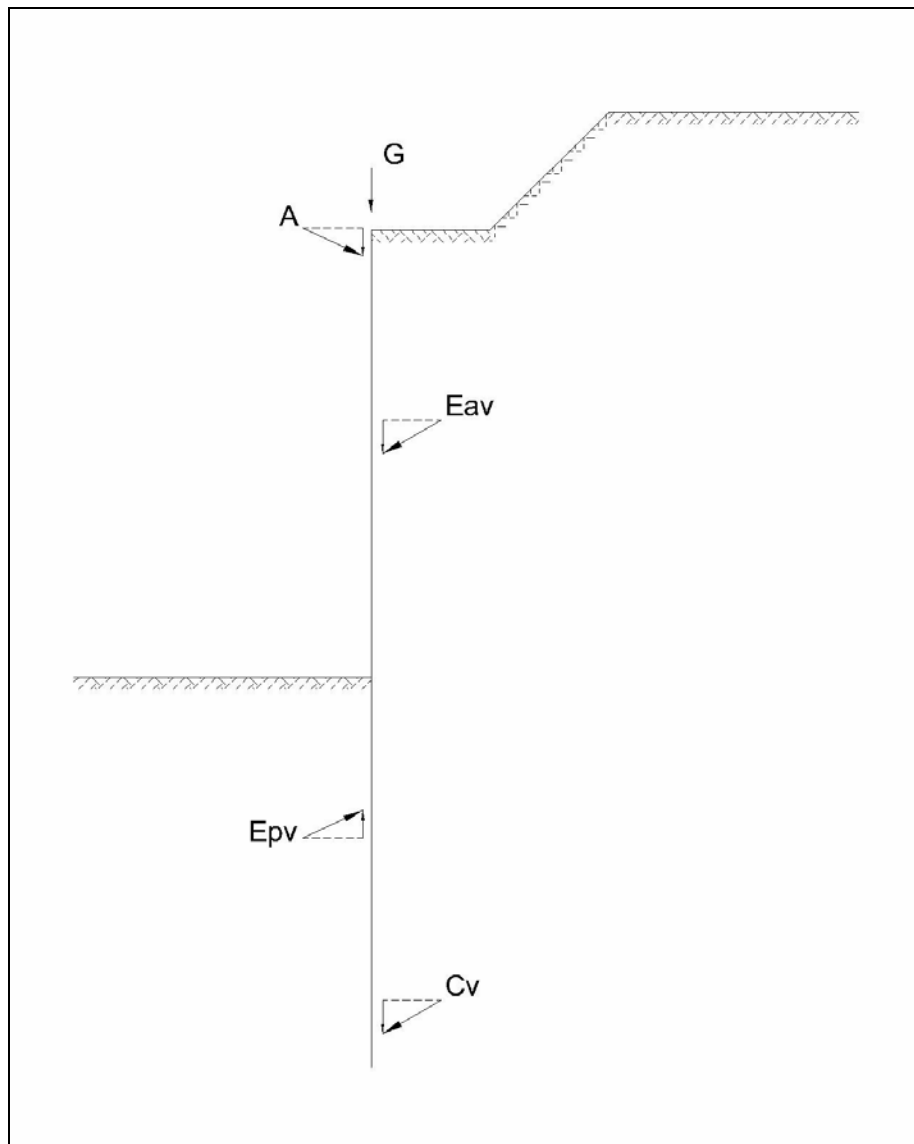


Bild 4.1: Vertikalkraftanteile

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 46
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Rechenlauf 1 mit $\delta_p = 2/3 \varphi'_k$

Der Nachweis erfolgt unter Ansatz charakteristischer Lasten.

EAB, EB 9 (4.8)

Dazu werden an einem Stabwerk die charakteristischen Auflagerkräfte des Ankers sowie des Spundwandfußes ermittelt. Hierzu werden die charakteristischen Erddruckordinaten bei umgelagertem Erddruck gemäß Tabelle 1.3, die charakteristischen Wasserdrücke und die charakteristischen Erdwiderstandsordinaten bei Ansatz von  $\delta_p = 2/3 \varphi'_k$  gemäß Tabelle 1.4 angesetzt.

rechnerischer Fußpunkt aus Baugrubenberechnung:

$$x = -12,98 \text{ m}$$

Das Lager B wird dabei in Höhe der Erddruckresultierenden  $E_{pk}$  angesetzt:  $h' = 3,22 \text{ m}$

vgl. EAB, EB 26 (6.4, Bild EB26-1)

Es ergeben sich die folgenden Auflagerkräfte:

$$A_{h,k} = 71,7 + 96,9 = 168,6 \text{ kN/m}$$

$$B_{h,k} = 269,6 + 658,9 = 928,5 \text{ kN/m}$$

$$C_{h,k} = 52,3 + 159,8 = 212,1 \text{ kN/m}$$

Es ist der folgende Nachweis zu führen:

DIN 1054, Gl. (51)

$$V_k = G_k + E_{av,k} + A_{v,k} + 0,5 \cdot C_{v,k} \geq (B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk}$$

EAB EB 9 (4.8, Abs. 3)

Eigengewicht Spundwand:

$$G_k = x \cdot A \cdot \gamma = 78,5 \cdot 0,0223 \cdot 12,98 = 22,7 \text{ kN/m}$$

vertikaler aktiver Erddruck:

$$E_{av,k} = E_{ah,k} \cdot \tan \delta_a$$

$$\text{im Sand: } E_{av,k} = 15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(2/3 \cdot 35^\circ) = 13,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{im Mergel: } E_{av,k} = (289,16 - 15,1 \cdot 2,0) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ) \\ = 94,3 \text{ kN/m}$$

$$\text{gesamt: } E_{av,k} = 13,0 + 94,3 = 107,3 \text{ kN/m}$$

Ankerkraft:

$$A_{v,k} = A_{h,k} \cdot \tan \alpha = 168,6 \cdot \tan(25^\circ) = 78,6 \text{ kN/m}$$

mit  $\alpha = 25^\circ$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 47
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Rechenlauf 1 mit  $\delta_p = 2/3 \varphi'_k$

Der Nachweis erfolgt unter Ansatz charakteristischer Lasten.

EAB, EB9 (4.7)

Dazu werden an einem Stabwerk die charakteristischen Auflagerkräfte des Ankers sowie des Spundwandfußes ermittelt. Hierzu werden die charakteristischen Erddruckordinaten bei umgelagertem Erddruck gemäß Tabelle 1.3, die charakteristischen Wasserdrücke und die charakteristischen Erdwiderstandsordinaten bei Ansatz von  $\delta_p = 2/3 \varphi'_k$  gemäß Tabelle 1.4 angesetzt.

rechnerischer Fußpunkt aus Baugrubenberechnung:

$$x = -12,98 \text{ m}$$

Das Lager B wird dabei in Höhe der Erddruckresultierenden  $E_{pk}$  angesetzt:  $h' = 3,22 \text{ m}$

vgl. EAB, EB 26 (6.4, Bild EB26-1)

Es ergeben sich die folgenden Auflagerkräfte:

$$A_{h,k} = 71,7 + 96,9 = 168,6 \text{ kN/m}$$

$$B_{h,k} = 269,6 + 658,9 = 928,5 \text{ kN/m}$$

$$C_{h,k} = 52,3 + 159,8 = 212,1 \text{ kN/m}$$

Es ist der folgende Nachweis zu führen:

DIN 1054, Gl. A (9.8)

$$V_k = G_k + E_{av,k} + A_{v,k} + 0,5 \cdot C_{v,k} \geq (B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk}$$

EAB EB 9 (4.7, Abs. 3)

Eigengewicht Spundwand:

$$G_k = x \cdot A \cdot \gamma = 78,5 \cdot 0,0223 \cdot 12,98 = 22,7 \text{ kN/m}$$

vertikaler aktiver Erddruck:

$$E_{av,k} = E_{ah,k} \cdot \tan \delta_a$$

im Sand:  $E_{av,k} = 15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(2/3 \cdot 35^\circ) = 13,0 \text{ kN/m}$

im Mergel:  $E_{av,k} = (289,16 - 15,1 \cdot 2,0) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)$   
 $= 94,3 \text{ kN/m}$

gesamt:  $E_{av,k} = 13,0 + 94,3 = 107,3 \text{ kN/m}$

Ankerkraft:

$$A_{v,k} = A_{h,k} \cdot \tan \alpha = 168,6 \cdot \tan(25^\circ) = 78,6 \text{ kN/m}$$

mit  $\alpha = 25^\circ$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 48
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Ersatzkraft:

$$C_{v,k} = C_{h,k} \cdot \tan \delta_C = 212,1 \cdot \tan (10^\circ) = 37,4 \text{ kN/m}$$

mit  $\delta_C = 1/3 \varphi'_k = 10^\circ$

EAB EB 9 (4.8, Abs. 3)

Nachweis:

$$V_k = 22,7 + 107,3 + 78,6 + 0,5 \cdot 37,4 = 227,3 \text{ kN/m}$$

$$(B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk} = (928,5 - 0,5 \cdot 212,1) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)$$

$$= 299,3 \text{ kN/m} > 227,3 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist nicht erfüllt. Der passive Reibungswinkel muss verringert werden, damit das Gleichgewicht der Vertikalkräfte sichergestellt ist.

Rechenlauf 2 mit  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$

Der Nachweis erfolgt unter Ansatz charakteristischer Lasten. Dazu werden an einem Stabwerk die charakteristischen Auflagerkräfte des Ankers sowie des Spundwandfußes ermittelt. Hierzu werden die charakteristischen Erddruckordinaten bei umgelagertem Erddruck gemäß Tabelle 1.3, die charakteristischen Wasserdrücke und die charakteristischen Erdwiderstandsordinaten bei Ansatz von  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$  gemäß Tabelle 1.5 angesetzt.

EAB, E B9 (4.8)

rechnerischer Fußpunkt aus Baugrubenberechnung:

$$x = -13,48 \text{ m}$$

Das Lager B wird dabei in Höhe der Erddruckresultierenden  $E_{pk}$  angesetzt:  $h' = 3,54 \text{ m}$

vgl. EAB, EB 26 (6.4, Bild EB26-1)

Es ergeben sich die folgenden Auflagerkräfte:

$$A_{h,k} = 74,3 + 103,6 = 177,9 \text{ kN/m}$$

$$B_{h,k} = 282,8 + 681,0 = 963,8 \text{ kN/m}$$

$$C_{h,k} = 47,5 + 153,3 = 200,8 \text{ kN/m}$$

Es ist der folgende Nachweis zu führen:

$$V_k = G_k + E_{av,k} + A_{v,k} + 0,5 \cdot C_{v,k} \geq (B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk}$$

DIN 1054, Gl. (51)

EAB EB 9 (4.8, Abs. 3)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 49
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Ersatzkraft:

$$C_{v,k} = C_{h,k} \cdot \tan \delta_C = 212,1 \cdot \tan (10^\circ) = 37,4 \text{ kN/m}$$

mit  $\delta_C = 1/3 \varphi'_k = 10^\circ$

EAB EB 9 (4.7, Abs. 3)

Nachweis:

$$V_k = 22,7 + 107,3 + 78,6 + 0,5 \cdot 37,4 = 227,3 \text{ kN/m}$$

$$(B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk} = (928,5 - 0,5 \cdot 212,1) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ) \\ = 299,3 \text{ kN/m} > 227,3 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist nicht erfüllt. Der passive Reibungswinkel muss verringert werden, damit das Gleichgewicht der Vertikalkräfte sichergestellt ist.

Rechenlauf 2 mit  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$

Der Nachweis erfolgt unter Ansatz charakteristischer Lasten.

EAB, EB 9 (4.7)

Dazu werden an einem Stabwerk die charakteristischen Auflagerkräfte des Ankers sowie des Spundwandfußes ermittelt. Hierzu werden die charakteristischen Erddruckordinaten bei umgelagertem Erddruck gemäß Tabelle 1.3, die charakteristischen Wasserdrücke und die charakteristischen Erdwiderstandsordinaten bei Ansatz von  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$  gemäß Tabelle 1.5 angesetzt.

rechnerischer Fußpunkt aus Baugrubenberechnung:

$$x = -13,48 \text{ m}$$

Das Lager B wird dabei in Höhe der Erddruckresultierenden  $E_{pk}$  angesetzt:  $h' = 3,54 \text{ m}$

vgl. EAB, EB 26 (6.4, Bild EB26-1)

Es ergeben sich die folgenden Auflagerkräfte:

$$A_{h,k} = 74,3 + 103,6 = 177,9 \text{ kN/m}$$

$$B_{h,k} = 282,8 + 681,0 = 963,8 \text{ kN/m}$$

$$C_{h,k} = 47,5 + 153,3 = 200,8 \text{ kN/m}$$

Es ist der folgende Nachweis zu führen:

DIN 1054, Gl. A (9.8)

$$V_k = G_k + E_{av,k} + A_{v,k} + 0,5 \cdot C_{v,k} \geq (B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk}$$

EAB EB 9 (4.7, Abs. 3)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 50
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

Eigengewicht Spundwand:

$$G_k = x \cdot A \cdot \gamma = 78,5 \cdot 0,0223 \cdot 13,48 = 23,6 \text{ kN/m}$$

vertikaler aktiver Erddruck:

$$E_{av,k} = E_{ah,k} \cdot \tan \delta_a$$

im Sand:  $E_{av,k} = 15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(2/3 \cdot 35^\circ) = 13,0 \text{ kN/m}$

im Mergel:  $E_{av,k} = (309,6 - 15,1 \cdot 2,0) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)$   
 $= 101,7 \text{ kN/m}$

gesamt:  $E_{av,k} = 13,0 + 101,7 = 114,7 \text{ kN/m}$

Ankerkraft:

$$A_{v,k} = A_{h,k} \cdot \tan \alpha = 177,9 \cdot \tan(25^\circ) = 82,9 \text{ kN/m}$$

mit  $\alpha = 25^\circ$

Ersatzkraft:

$$C_{v,k} = C_{h,k} \cdot \tan \delta_C = 200,8 \cdot \tan(10^\circ) = 35,4 \text{ kN/m}$$

mit  $\delta_C = 1/3 \varphi'_{k} = 10^\circ$

EAB EB 9 (4.8, Abs. 3)

Nachweis:

$$V_k = 23,6 + 114,7 + 82,9 + 0,5 \cdot 35,4 = 238,9 \text{ kN/m}$$

$$(B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk} = (963,8 - 0,5 \cdot 200,8) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)$$

$$= 231,3 \text{ kN/m} < 238,9 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Der Nachweis nach Gl. (53) erübrigt sich, da ein Versinken aufgrund des möglichen größeren Wandreibungswinkels am Wandfuß nicht auftreten kann.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 51
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Eigengewicht Spundwand:

$$G_k = x \cdot A \cdot \gamma = 78,5 \cdot 0,0223 \cdot 13,48 = 23,6 \text{ kN/m}$$

vertikaler aktiver Erddruck:

$$E_{av,k} = E_{ah,k} \cdot \tan \delta_a$$

im Sand:  $E_{av,k} = 15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(2/3 \cdot 35^\circ) = 13,0 \text{ kN/m}$

im Mergel:  $E_{av,k} = (309,6 - 15,1 \cdot 2,0) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)$   
 $= 101,7 \text{ kN/m}$

gesamt:  $E_{av,k} = 13,0 + 101,7 = 114,7 \text{ kN/m}$

Ankerkraft:

$$A_{v,k} = A_{h,k} \cdot \tan \alpha = 177,9 \cdot \tan(25^\circ) = 82,9 \text{ kN/m}$$

mit  $\alpha = 25^\circ$

Ersatzkraft:

$$C_{v,k} = C_{h,k} \cdot \tan \delta_C = 200,8 \cdot \tan(10^\circ) = 35,4 \text{ kN/m}$$

mit  $\delta_C = 1/3 \varphi'_k = 10^\circ$

EAB EB 9 (4.7, Abs. 3)

Nachweis:

$$V_k = 23,6 + 114,7 + 82,9 + 0,5 \cdot 35,4 = 238,9 \text{ kN/m}$$

$$(B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk} = (963,8 - 0,5 \cdot 200,8) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)$$

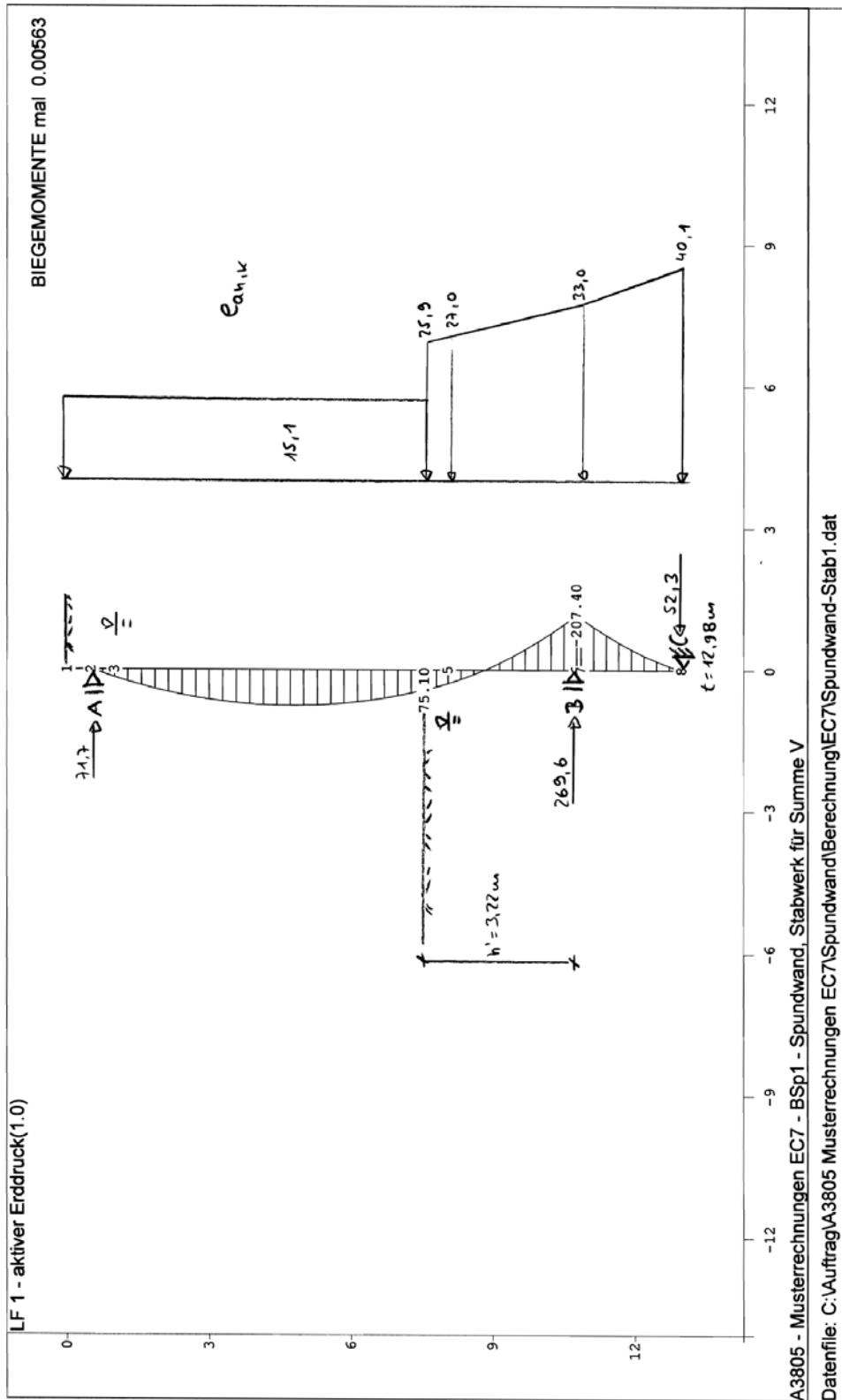
$$= 231,3 \text{ kN/m} < 238,9 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Der Nachweis nach Gl. A (9.6) erübrigt sich, da ein Versinken aufgrund des möglichen größeren Wandreibungswinkels am Wandfuß nicht auftreten kann.

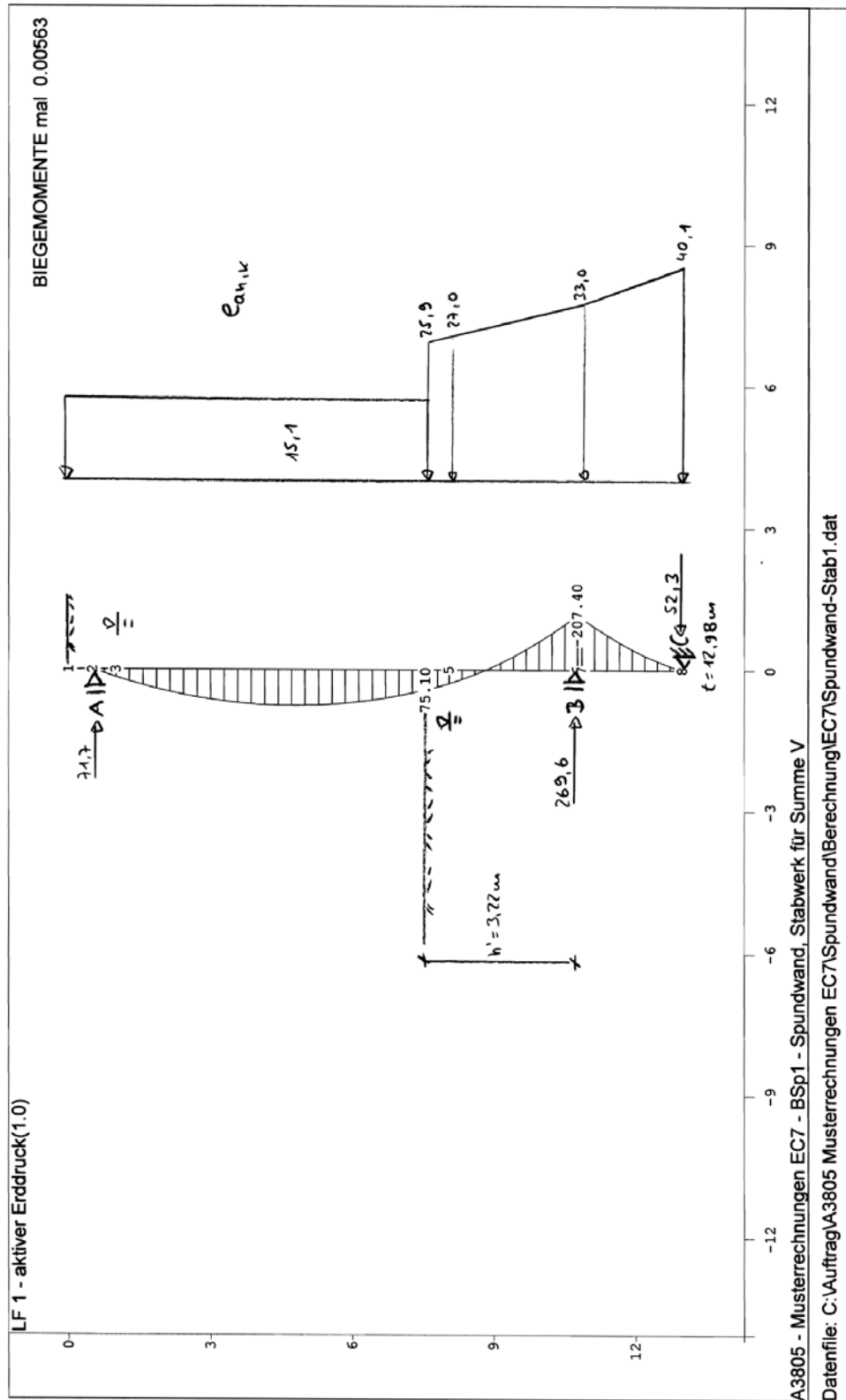
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 52
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 53
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ$ ( $\Sigma V \neq 0$ )	

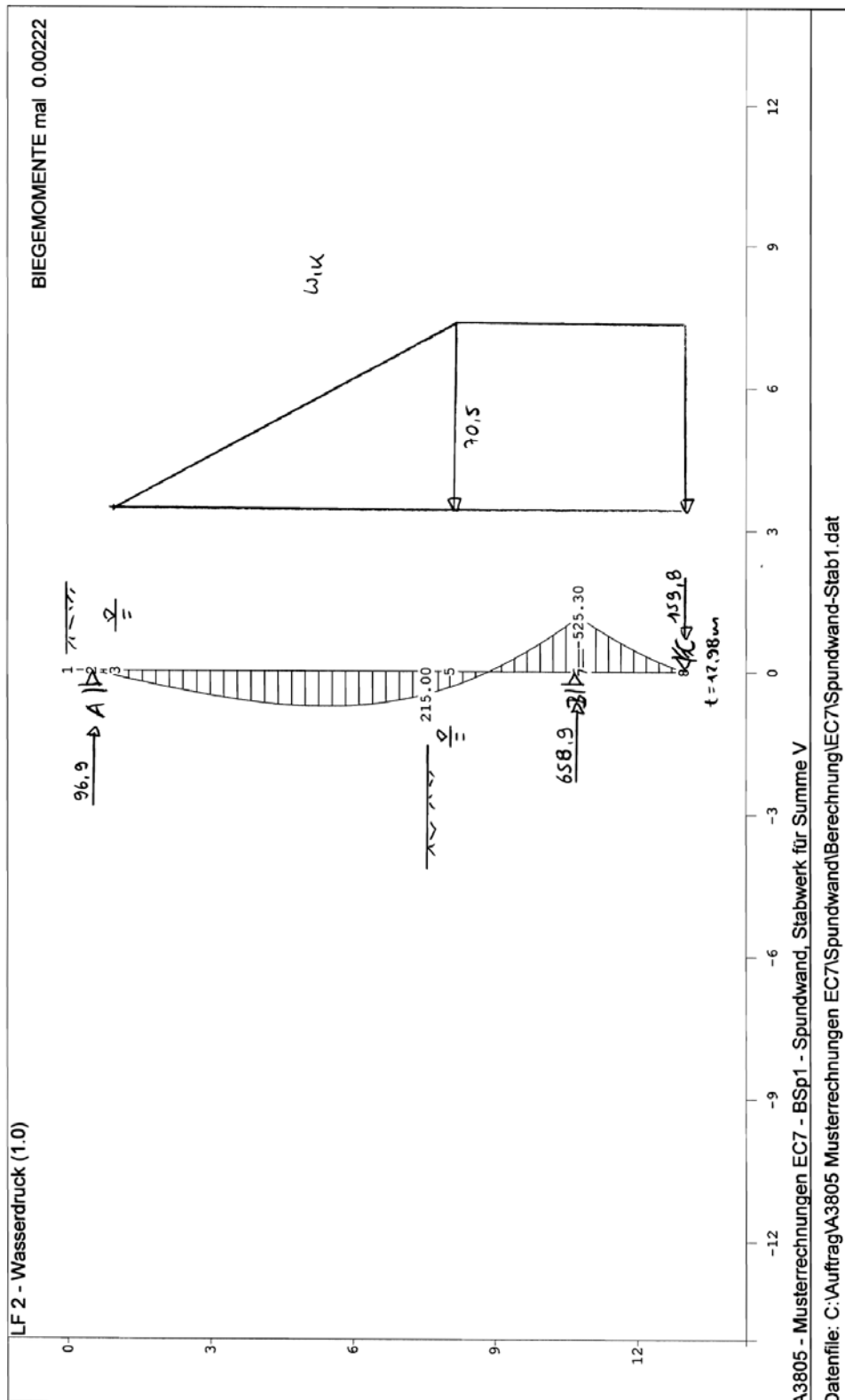
Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 54
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ$ ( $\Sigma V \neq 0$ )	

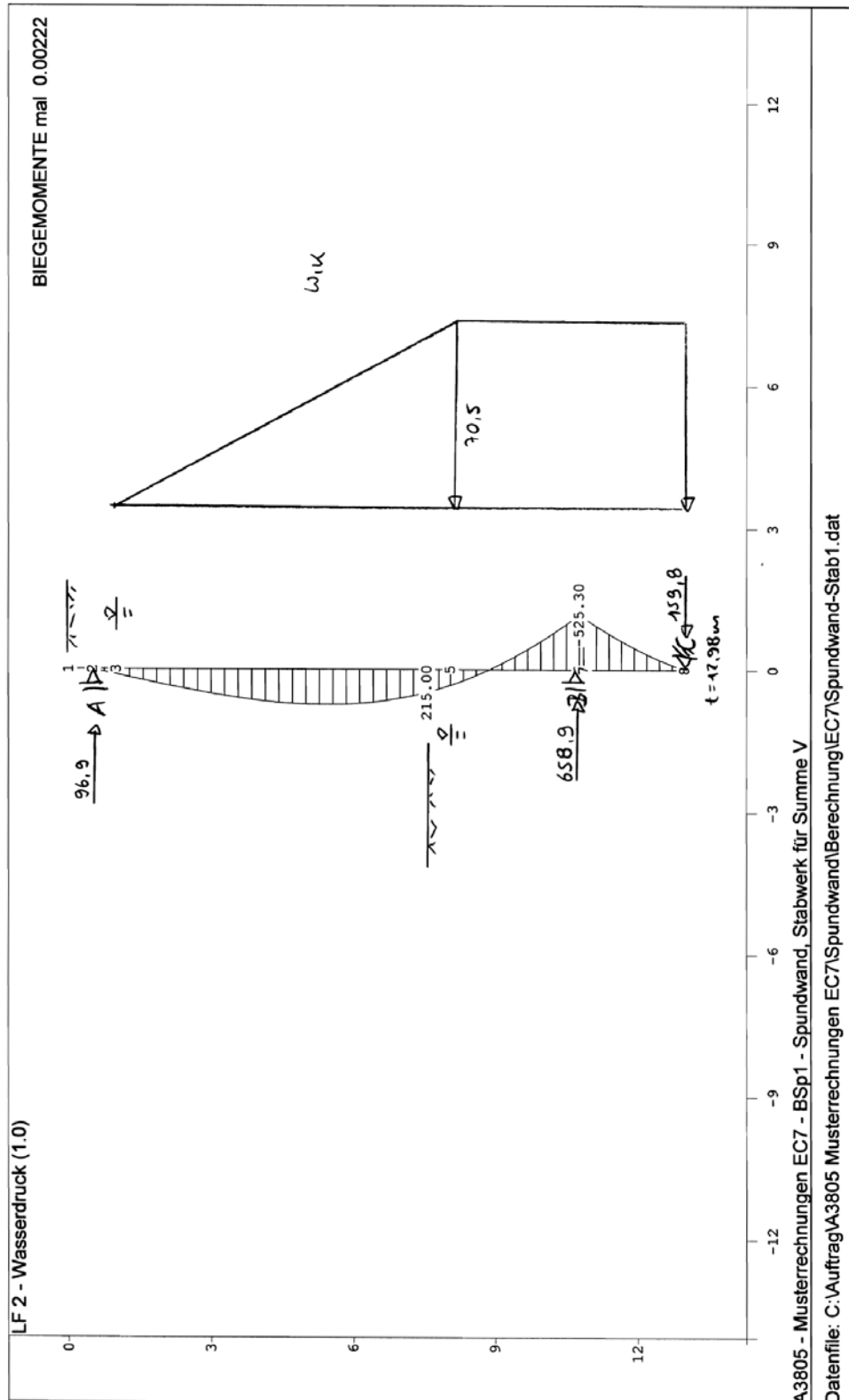


Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



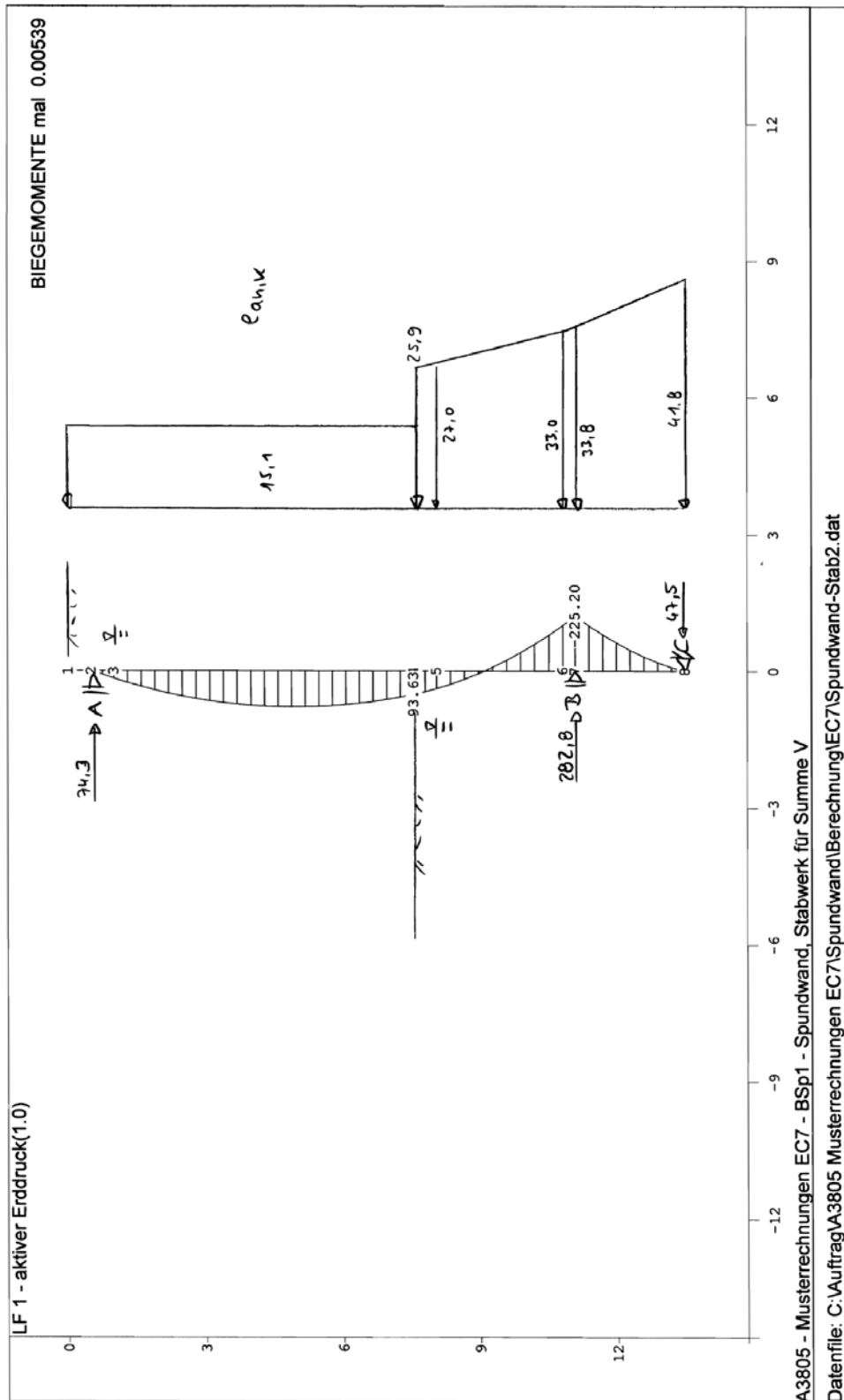
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 55
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ$ ( $\Sigma V \neq 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



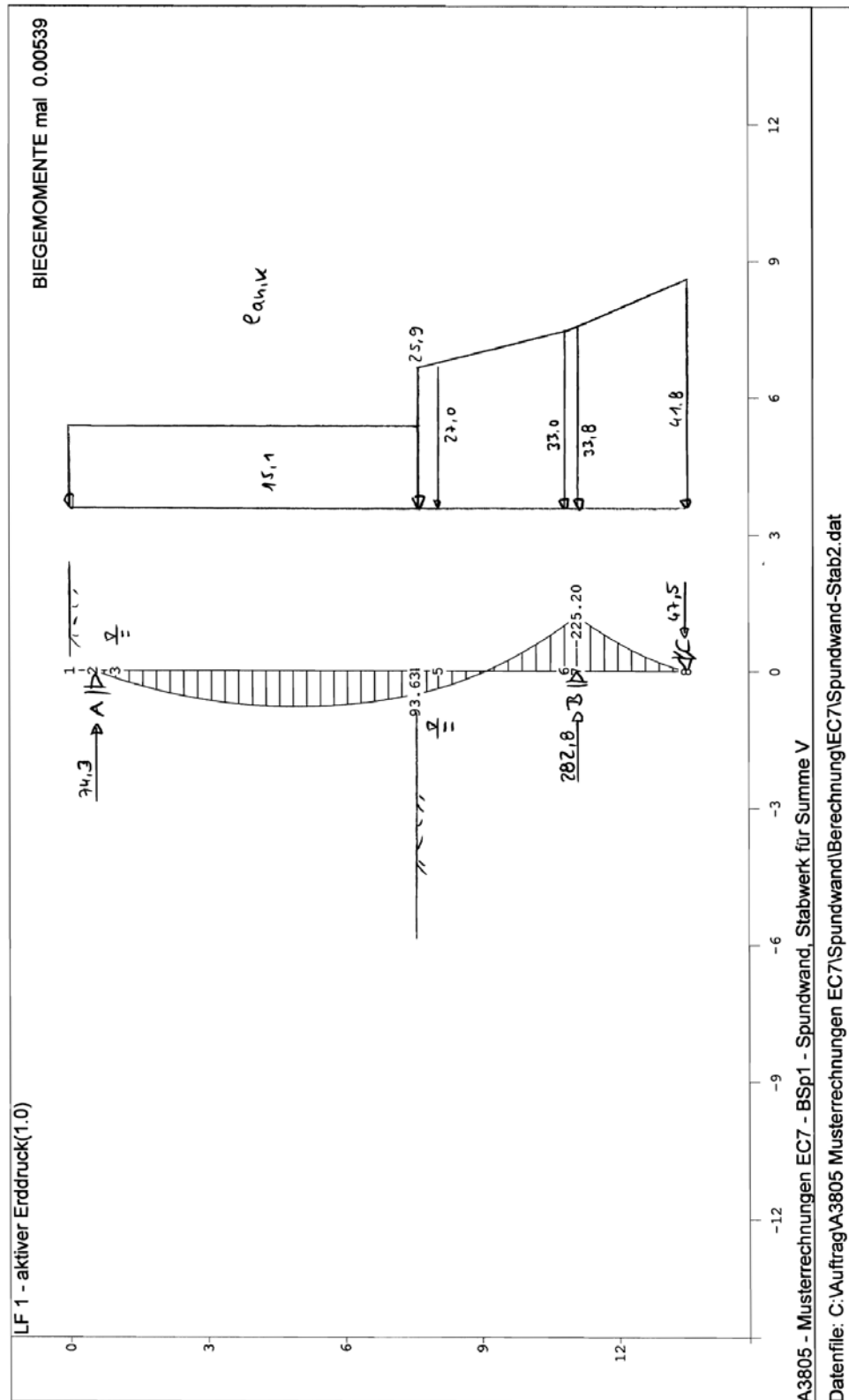
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 56
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 1: $\delta_p = -2/3\phi'_k = 20^\circ$ ( $\Sigma V \neq 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



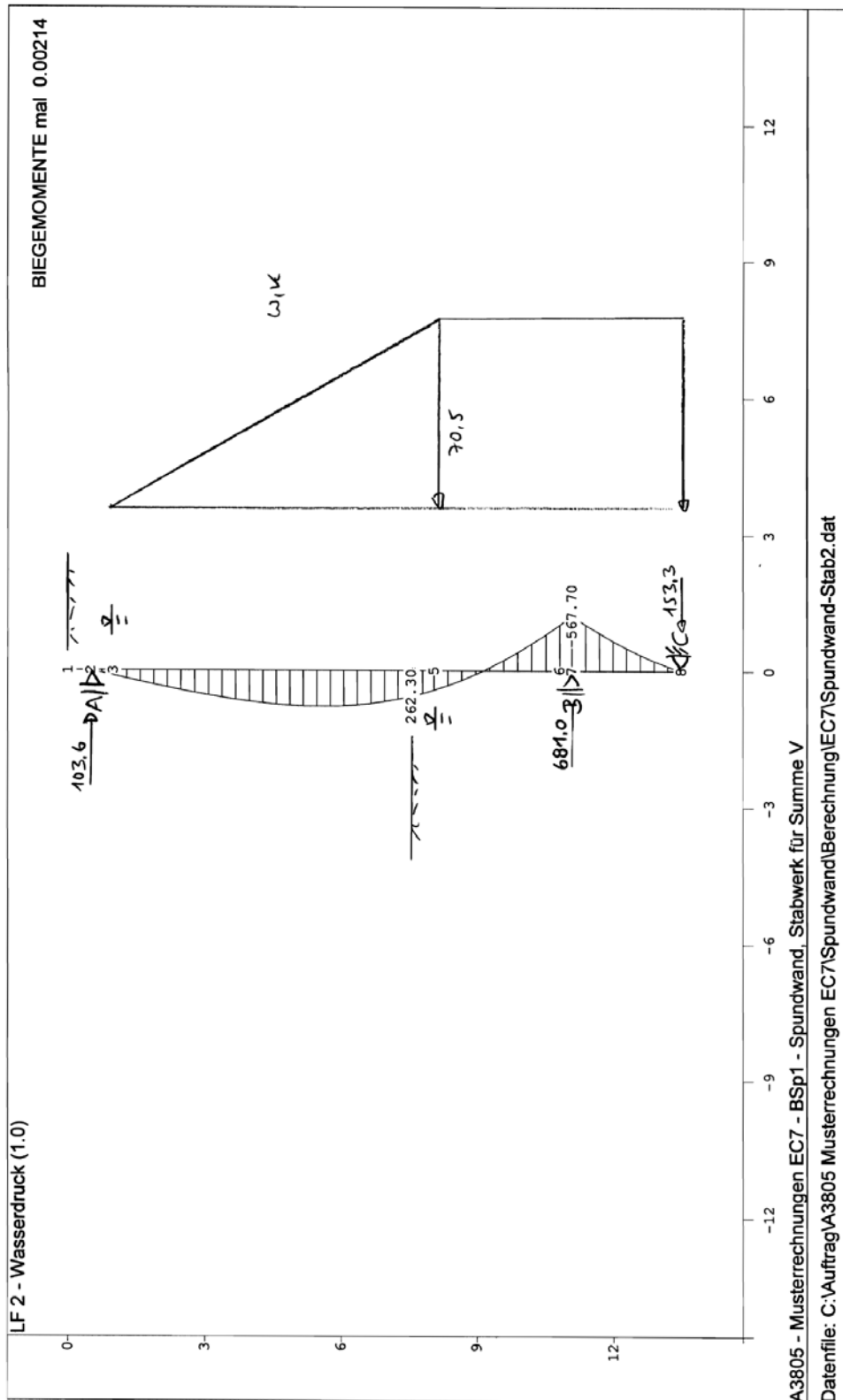
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 57
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ$ ( $\Sigma V = 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



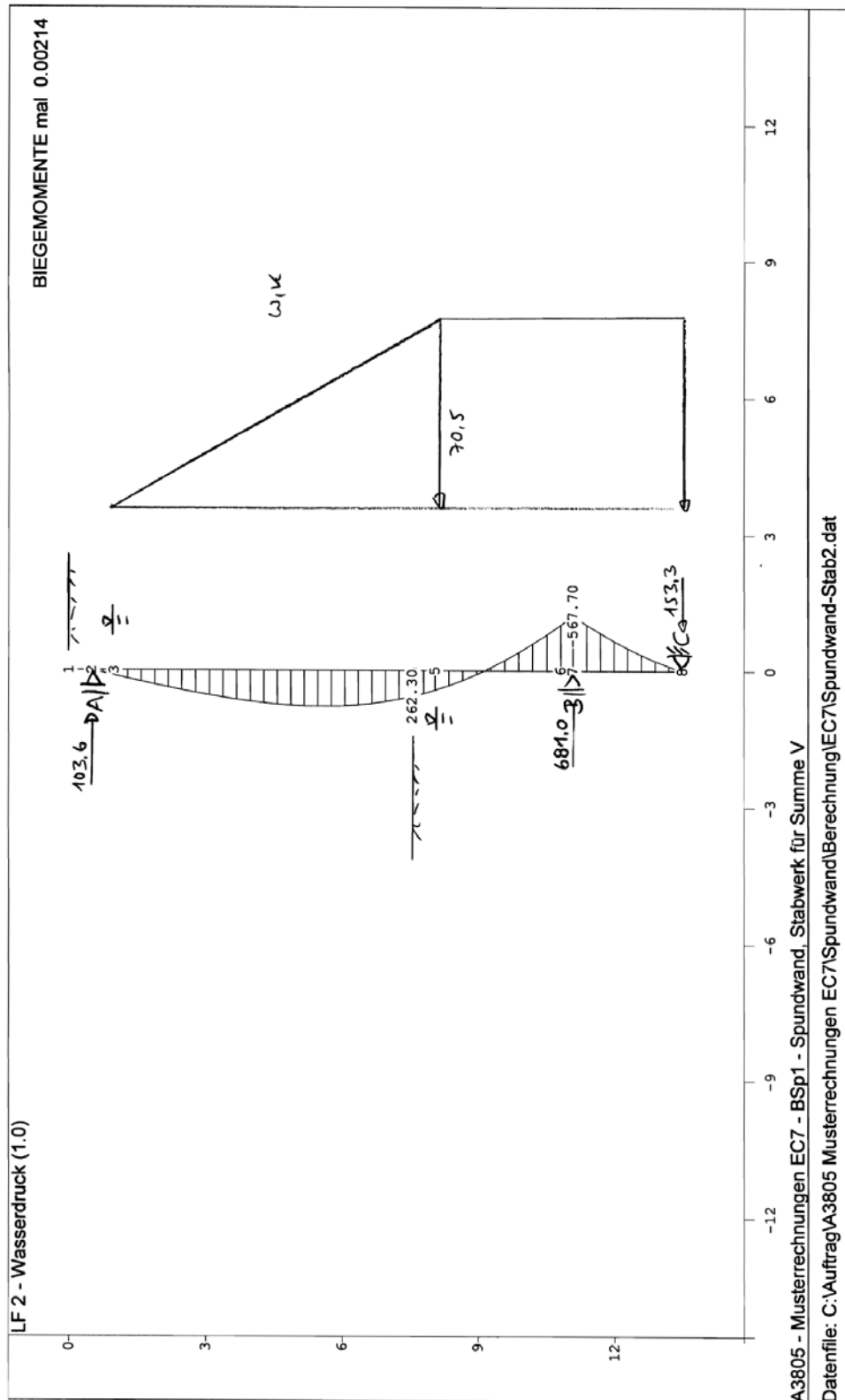
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 58	
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ$ ( $\Sigma V = 0$ )		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 59
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ$ ( $\Sigma V = 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 60
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ$ ( $\Sigma V = 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. NACHWEIS DES ERDWIDERLAGERS

Gemäß DIN 1054, 10.6.3 ist nachzuweisen, dass bei der gewählten Einbindelänge der Spundwand für das Erdwiderlager die Grenzzustandsbedingung  $B_{h,d} \leq E_{ph,d}$  erfüllt ist.

$B_{h,d}$  wird hierbei aus den charakteristischen Einwirkungen errechnet, die mit den Teilsicherheitsbeiwerten des Grenzzustandes GZ 1B multipliziert werden.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, GZ 1B, LF 2

DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,20$ :

- Spundwandeigengewicht
- aktiver Erddruck
- Nutzlast
- Wasserdruck

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände, GZ 1B, LF 2

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

- Erdwiderstand:  $\gamma_{Ep} = 1,30$

Aus der maßgebenden Stabwerksberechnung für  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$  ergibt sich bei einer rechnerischen Spundwandlänge von 13,48 m:

vgl. Rechenlauf 2 aus Abschnitt 4.

$$B_{h,k} = 963,8 \text{ kN/m}$$

$$B_{h,d} = 1,20 \cdot 963,8 = 1156,6 \text{ kN/m}$$

Der charakteristische Erdwiderstand  $E_{ph,k}$  ergibt sich gemäß der Erddruckermittlung in Tabelle 1.5 zu:

$$E_{ph,k} = 1670,3 \text{ kN/m}$$

$$E_{ph,d} = 1670,3 / 1,30 = 1284,8 \text{ kN/m} > 1156,6 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Nachweis des Erdwiderlagers	Seite 61
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. NACHWEIS DES ERDWIDERLAGERS

Gemäß DIN 1054, 9.7.4, A (4) ist nachzuweisen, dass bei der gewählten Einbindelänge der Spundwand für das Erdwiderlager die Grenzzustandsbedingung  $B_{h,d} \leq E_{ph,d}$  erfüllt ist.

$B_{h,d}$  wird hierbei aus den charakteristischen Einwirkungen errechnet, die mit den Teilsicherheitsbeiwerten des Grenzzustandes STR / GEO-2 multipliziert werden.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, STR / GEO-2, BS-T DIN 1054, Tab. A2.1

ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,20$ :

- Spundwandeigengewicht
- aktiver Erddruck
- Nutzlast
- Wasserdruck

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände, STR / GEO-2, BS-T DIN 1054, Tab. A2.3

- Erdwiderstand:  $\gamma_{R,e} = 1,30$

Aus der maßgebenden Stabwerksberechnung für  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$  vgl. Rechenlauf 2 aus Abschnitt 4.  
ergibt sich bei einer rechnerischen Spundwandlänge von  
13,48 m:

$$B_{h,k} = 963,8 \text{ kN/m}$$

$$B_{h,d} = 1,20 \cdot 963,8 = 1156,6 \text{ kN/m}$$

Der charakteristische Erdwiderstand  $E_{ph,k}$  ergibt sich gemäß der Erddruckermittlung in Tabelle 1.5 zu:

$$E_{ph,k} = 1670,3 \text{ kN/m}$$

$$E_{ph,d} = 1670,3 / 1,30 = 1284,8 \text{ kN/m} > 1156,6 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Nachweis des Erdwiderlagers	Seite 62
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

## 6. NACHWEIS DER STANDSICHERHEIT IN DER TIEFEN GLEITFUGE

Mit dem Standsicherheitsnachweis in der tiefen Gleitfuge wird die erforderliche Ankerlänge festgelegt. Es wird nachgewiesen, dass der von der Verankerung erfasste Bodenkörper bei einer Drehung um einen tief gelegenen Punkt nicht auf einer tiefen Gleitfuge abrutschen kann.

Der Standsicherheitsnachweis für die tiefe Gleitfuge wird für den Grenzzustand GZ 1B gemäß DIN 1054, 10.6.7 und EAB EB 44 mit den charakteristischen Erddrücken und Scherparametern geführt.

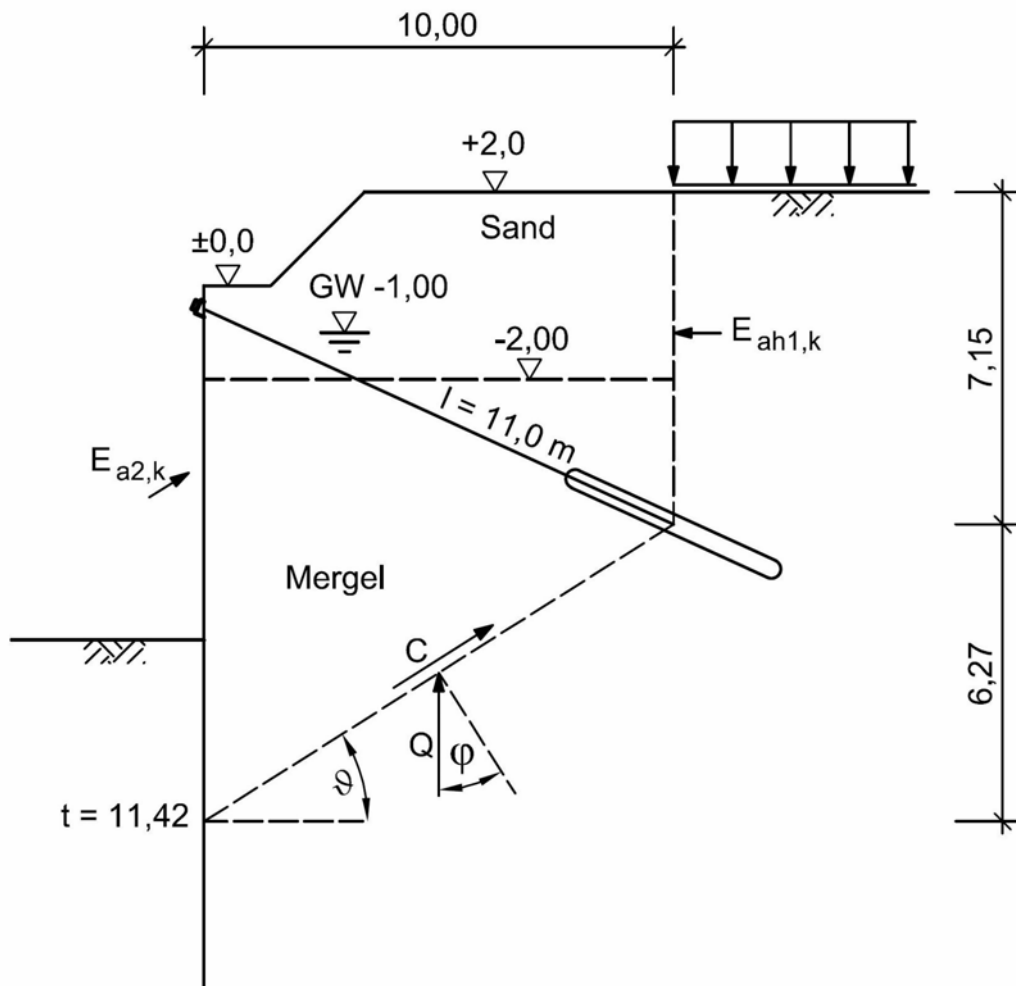


Bild 6.1: Kraftanteile für den Nachweis der tiefen Gleitfuge

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge	Seite 63
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 6. NACHWEIS DER STANDSICHERHEIT IN DER TIEFEN GLEITFUGE

Mit dem Standsicherheitsnachweis in der tiefen Gleitfuge wird die erforderliche Ankerlänge festgelegt. Es wird nachgewiesen, dass der von der Verankerung erfasste Bodenkörper bei einer Drehung um einen tief gelegenen Punkt nicht auf einer tiefen Gleitfuge abrutschen kann.

Der Standsicherheitsnachweis für die tiefe Gleitfuge wird für den Grenzzustand GEO-2 gemäß DIN 1054, A 9.7.9 und EAB EB 44 mit den charakteristischen Erddrücken und Scherparametern geführt.

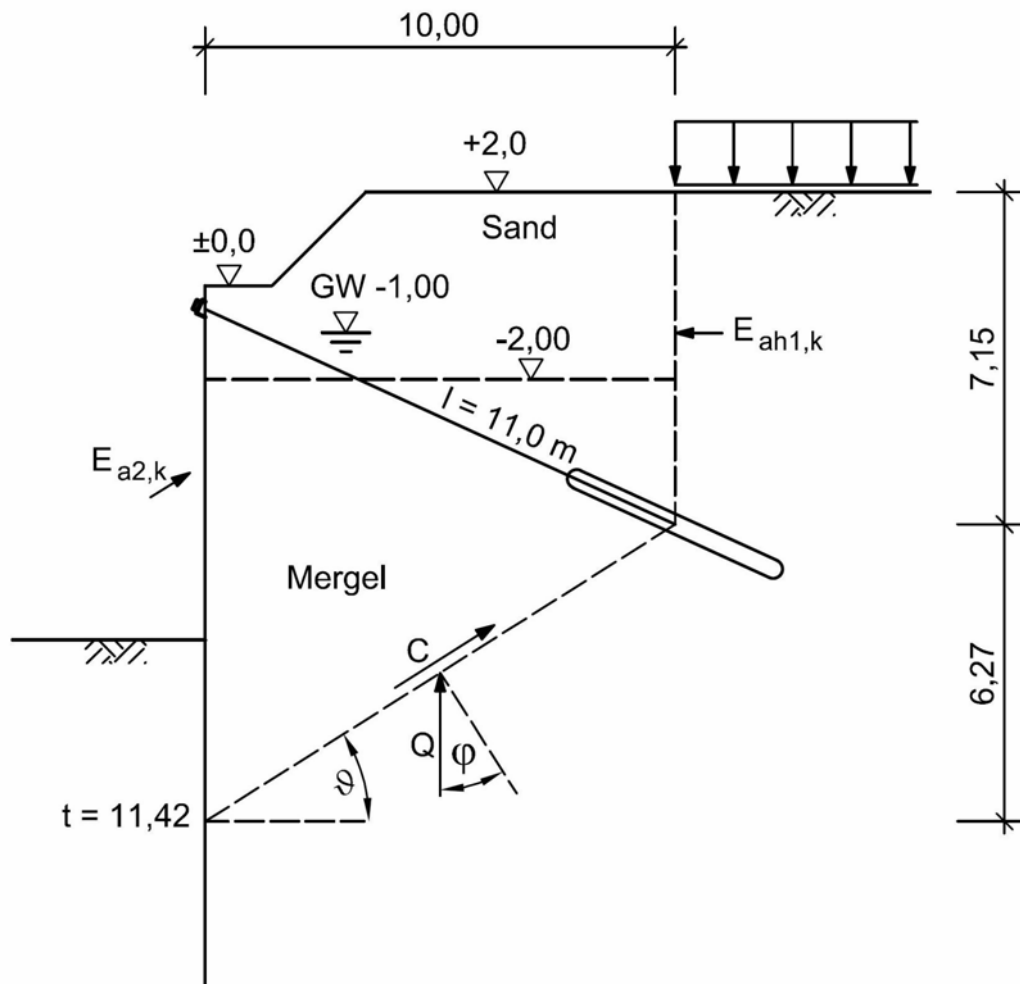


Bild 6.1: Kraftanteile für den Nachweis der tiefen Gleitfuge

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 64	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Der rechnerische Bodenkörper wird begrenzt durch den Schwerpunkt der Verpressstrecke des Ankers auf der Erdseite und durch den Querkraftnullpunkt der Verbauwand in der Tiefe. Der Querkraftnullpunkt wird der Schnittgrößenermittlung (unter Bemessungsschnittgrößen) entnommen:  $t = 11,42$  m.

vgl. Rechenlauf 2 aus Abschnitt 3.

Der Nachweis wird für die aufgrund einer Vorbemessung gewählte Ankerlänge von 11,0 m (bis zum Schwerpunkt der Verpressstrecke) geführt.

Gewichtskraft des Bodenkörpers:

$$G_k = 1320,2 \text{ kN/m}$$

mit der in Bild 6.1 dargestellten Geometrie.

Verkehrslast auf Bruchkörper:

$$P_k = 6,0 \cdot 10,0 = 60,0 \text{ kN/m}$$

Erddruck auf Ersatzankerwand:

Der Erddruck auf die Ersatzankerwand wird unter Ansatz von  $\delta = \beta = 0^\circ$  ermittelt.

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh}(\text{Sand}) = 0,271$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$K_{agh}(\text{Mergel}) = 0,333$

$K_{ach}(\text{Mergel}) = -1,15$

Mindesterddruck:  $K^*_{agh} = K_{agh}(\varphi'_k=40^\circ) = 0,217$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1.5

Schicht	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	p	$k_{agh}$	$(\Sigma g+p) \cdot k_{ah}$	$e_{ac,k}$	$e_{ah,k}$	$E_{ah,k}$
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	2,00				0,00	10,0	0,271	2,71	0,00	2,71	0,00
		3,00	19	0							
	-1,00				57,00	10,0	0,271	18,16	0,00	18,16	31,30
		1,00	11	0							
2	-2,00				68,00	10,0	0,271	21,14	0,00	21,14	50,95
		3,15	12	20							
	-5,15				105,80	10,0	0,333	838,56	-23,0	25,13	117,2

Tabelle 6.1: aktive Erddruckordinaten auf die Ersatzankerwand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 65	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Der rechnerische Bodenkörper wird begrenzt durch den Schwerpunkt der Verpressstrecke des Ankers auf der Erdseite und durch den Querkraftnullpunkt der Verbauwand in der Tiefe. Der Querkraftnullpunkt wird der Schnittgrößenermittlung (unter Bemessungsschnittgrößen) entnommen:  $t = 11,42$  m

vgl. Rechenlauf 2 aus Abschnitt 3.

Der Nachweis wird für die aufgrund einer Vorbemessung gewählte Ankerlänge von 11,0 m (bis zum Schwerpunkt der Verpressstrecke) geführt.

Gewichtskraft des Bodenkörpers:

$$G_k = 1320,2 \text{ kN/m}$$

mit der in Bild 6.1 dargestellten Geometrie.

Verkehrslast auf Bruchkörper:

$$P_k = 6,0 \cdot 10,0 = 60,0 \text{ kN/m}$$

Erddruck auf Ersatzankerwand:

Der Erddruck auf die Ersatzankerwand wird unter Ansatz von  $\delta = \beta = 0^\circ$  ermittelt.

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh}(\text{Sand}) = 0,271$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$K_{agh}(\text{Mergel}) = 0,333$

$K_{ach}(\text{Mergel}) = -1,15$

Mindesterddruck:  $K_{agh}^* = K_{agh}(\varphi'_k=40^\circ) = 0,217$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1.5

Schicht	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	p	$k_{agh}$	$(\Sigma g+p) \cdot k_{ah}$	$e_{ac,k}$	$e_{ah,k}$	$E_{ah,k}$
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	2,00				0,00	10,0	0,271	2,71	0,00	2,71	0,00
		3,00	19	0							
	-1,00				57,00	10,0	0,271	18,16	0,00	18,16	31,30
		1,00	11	0							
2	-2,00				68,00	10,0	0,271	21,14	0,00	21,14	50,95
		3,15	12	20							
	-5,15				105,80	10,0	0,333	838,56	-23,0	25,13	117,2

Tabelle 6.1: aktive Erddruckordinaten auf die Ersatzankerwand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 66	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

Erddruck auf Baugrubenwand (bis zur Tiefe 11,42 m):

$$E_{ah2,k} = 230,7 \text{ kN/m}$$

vgl. Tab.1.3

$$E_{av2,k} = E_{ah,k} \cdot \tan \delta_a$$

$$= 15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(23,33^\circ) + (230,7 - 15,1 \cdot 2,0) \cdot \tan(20^\circ)$$

$$= 86,0 \text{ kN/m}$$

Kohäsion in der Gleitfuge:

$$C_k = l_A \cdot c'_k = 2,0 \cdot 11,78 = 235,6 \text{ kN/m}$$

Die mögliche Ankerkraft wird zeichnerisch aus dem Kräfteck aller am Bruchkörper angreifenden Kräfte ermittelt:

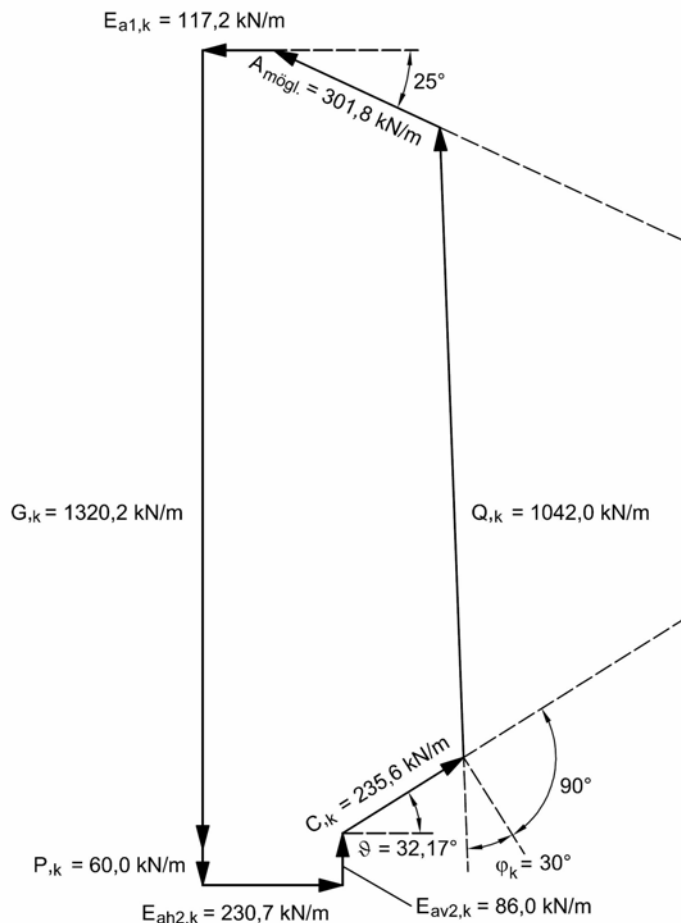


Bild 6.2: Kräfteck

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 67	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruck auf Baugrubenwand (bis zur Tiefe 11,42 m):

$$E_{ah2,k} = 230,7 \text{ kN/m}$$

vgl. Tab.1.3

$$E_{av2,k} = E_{ah,k} \cdot \tan \delta_a$$

$$= 15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(23,33^\circ) + (230,7 - 15,1 \cdot 2,0) \cdot \tan(20^\circ)$$

$$= 86,0 \text{ kN/m}$$

Kohäsion in der Gleitfuge:

$$C_k = l_A \cdot c'_k = 2,0 \cdot 11,78 = 235,6 \text{ kN/m}$$

Die mögliche Ankerkraft wird zeichnerisch aus dem Kräfteck aller am Bruchkörper angreifenden Kräfte ermittelt:

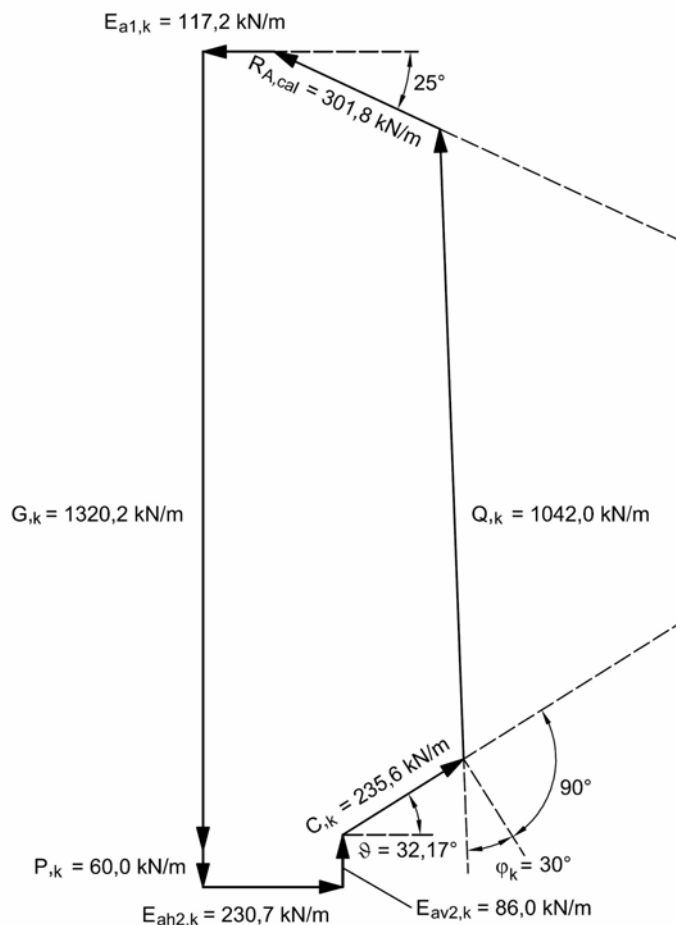


Bild 6.2: Kräfteck

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 68	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

mögliche Ankerkraft (abgelesen):

$$A_{\text{mögl.,k}} = 301,8 \text{ kN/m}$$

$$A_{\text{mögl.,d}} = A_{\text{mögl.,k}} / \gamma_{\text{Ep}} = 301,8 / 1,30 = 232 \text{ kN/m}$$

Vorhandene Ankerkraft:

$$A_{\text{h,d}} = 188,9 \text{ kN/m}$$

$$A_{\text{,d}} = 188,9 / \cos(25^\circ) = 208,4 \text{ kN/m}$$

vgl. Rechenlauf 2 aus Abschnitt 3.

Nachweis:  $A_{\text{,d}} = 208,4 \text{ kN/m} < 232 \text{ kN/m} = A_{\text{mögl.,d}}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 69	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

mögliche Ankerkraft (abgelesen):

$$R_{A,cal} = 301,8 \text{ kN/m}$$

$$R_{A,d} = R_{A,cal} / \gamma_{R,e} = 301,8 / 1,30 = 232 \text{ kN/m}$$

Vorhandene Ankerkraft:

$$A_{h,d} = 188,9 \text{ kN/m}$$

$$A_{,d} = 188,9 / \cos(25^\circ) = 208,4 \text{ kN/m}$$

vgl. Rechenlauf 2 aus Abschnitt 3.

Nachweis:  $A_{,d} = 208,4 \text{ kN/m} < 232 \text{ kN/m} = R_{A,d}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 70	
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

## 7. NACHWEIS DER GELÄNDEBRUCHSICHERHEIT

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt auf der Grundlage der DIN 4084 im Grenzzustand GZ 1C für den Lastfall 2.

DIN 1054, 12.3  
DIN 4084,  
EAB, EB 45 (7.4)

Für diesen Nachweis gehen die ständigen Einwirkungen und die großflächige Verkehrslast von  $p = 10 \text{ kN/m}^2$  mit einer Teilsicherheit  $\gamma_G = 1,00$  in die Berechnung ein.

DIN 1054, 6.4.1, Tab. 2

Die Scherparameter (Widerstände) gehen mit abgeminderten Kennwerten in die Gleitkreisberechnung ein:

DIN 1054, 6.4.2, Tab. 3

$$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi = \tan \varphi'_k / 1,15$$

$$c'_d = c'_k / \gamma_c = c'_k / 1,15$$

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt mit dem Programm GGU-Stability mit dem Lamellenverfahren von Bishop.

Es ergibt sich ein Ausnutzungsgrad von  $1/f = 0,58 < 1,0$ .

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	7. Nachweis der Geländebruchsicherheit	Seite 71
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

## 7. NACHWEIS DER GELÄNDEBRUCHSICHERHEIT

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt auf der Grundlage der DIN 4084 im Grenzzustand GEO-3 für die Bemessungssituation BS-T.

DIN EN 1997-1, 9.7.2  
DIN 4084,  
EAB, EB 45 (7.4)

Für diesen Nachweis gehen die ständigen Einwirkungen und die großflächige Verkehrslast von  $p = 10 \text{ kN/m}^2$  mit einer Teilsicherheit  $\gamma_G = 1,00$  in die Berechnung ein.

DIN 1054, Tab. A2.1

Die Scherparameter (Widerstände) gehen mit abgeminderten Kennwerten in die Gleitkreisberechnung ein:

DIN 1054, Tab. A2.2

$$\begin{aligned}\tan \varphi'_d &= \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi = \tan \varphi'_k / 1,15 \\ c'_d &= c'_k / \gamma_c = c'_k / 1,15\end{aligned}$$

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt mit dem Programm GGU-Stability mit dem Lamellenverfahren von Bishop.

Es ergibt sich ein Ausnutzungsgrad von  $1/f = 0,58 < 1,0$ .

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	7. Nachweis der Geländebruchsicherheit	Seite 72
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau	ASB Nr.	Datum: 31.03.13
	DIN 1054(2005)		

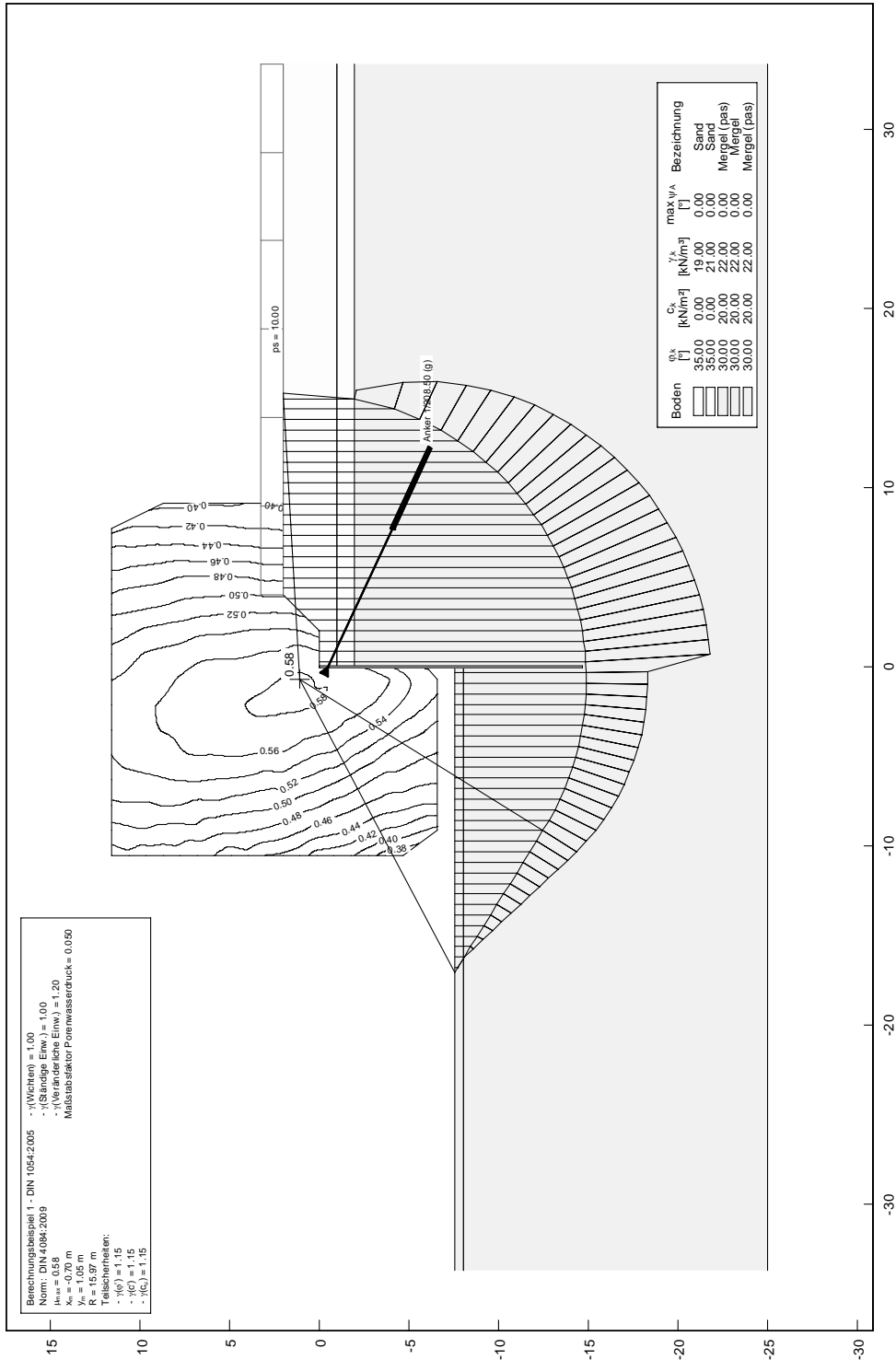


Bild 7.1: Nachweis der Geländebruchsicherheit

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	7. Nachweis der Geländebruchsicherheit	Seite 73
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

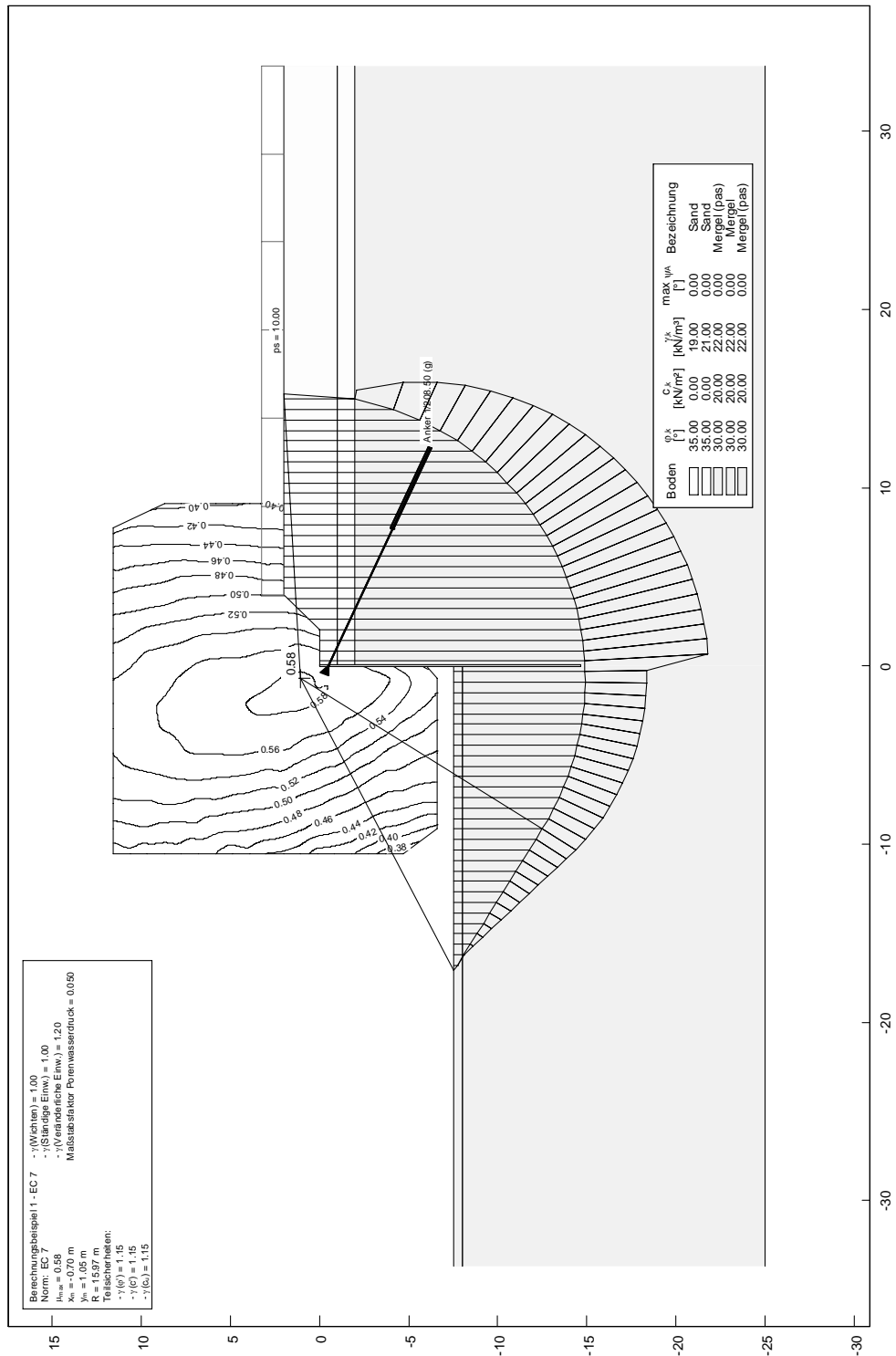


Bild 7.1: Nachweis der Geländebruchsicherheit

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	7. Nachweis der Geländebruchsicherheit	Seite 74
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 8. NACHWEIS DER SICHERHEIT GEGEN HYDRAULISCHEN GRUNDBRUCH

Der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch erfolgt im Grenzzustand GZ 1A gemäß DIN 1054, 11.5. Es kommt das Näherungsverfahren von Terzaghi-Peck zur Anwendung. Das Stromliniennetz wird mit Hilfe des Programms SS-FLOW-2D von GGU ermittelt.

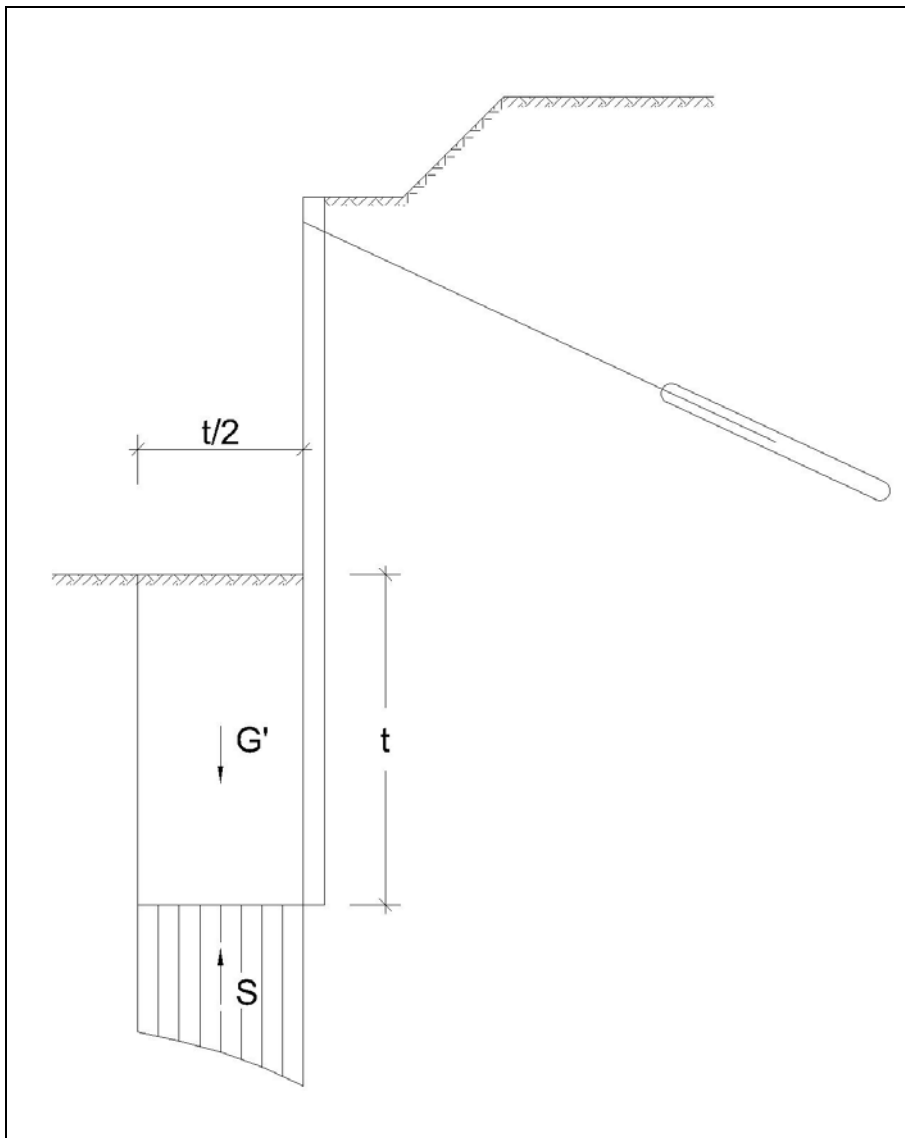


Bild 8.1: Kraftanteile für den Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nach Terzaghi-Peck

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	8. Nachweis der Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Seite 75
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 8. NACHWEIS DER SICHERHEIT GEGEN HYDRAULISCHEN GRUNDBRUCH

Der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch erfolgt im Grenzzustand HYD gemäß DIN 1054, 10.3. Es kommt das Näherungsverfahren von Terzaghi-Peck zur Anwendung. Das Stromliniennetz wird mit Hilfe des Programms SS-FLOW-2D von GGU ermittelt.

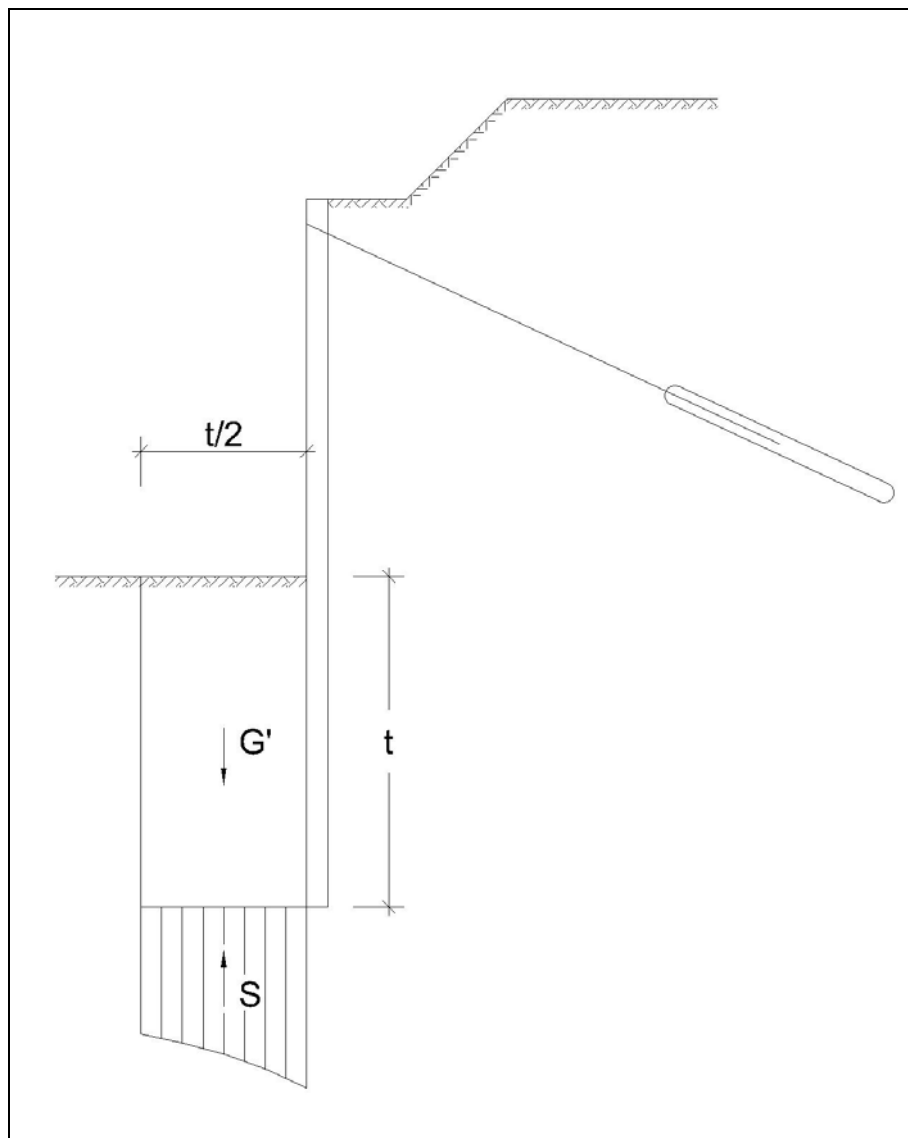


Bild 8.1: Kraftanteile für den Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nach Terzaghi-Peck

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	8. Nachweis der Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Seite 76
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

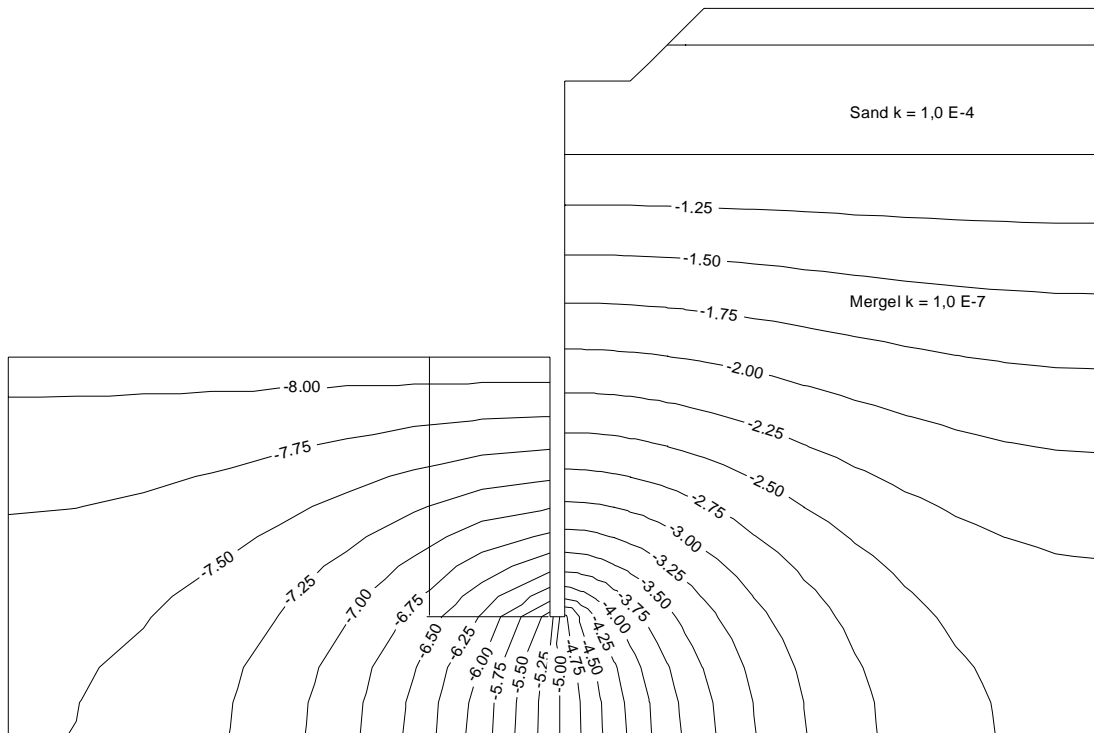


Bild 8.2: Stromliniennetz aus GGU-SS-FLOW-2D

Es ist nachzuweisen, dass die folgende Grenzzustandsbedingung eingehalten wird:

$$S'_k \cdot \gamma_H \leq G'_k \cdot \gamma_{G,stb}$$

DIN 1054, Abschn. 11.5. Gl. (62)

Spundwandlänge gewählt:  $l = 14,67 \text{ m}$

Einbindetiefe  $t = 14,67 - 7,55 = 7,12 \text{ m}$

Breite des Bodenkörpers  $b = t / 2 = 3,56 \text{ m}$

Gewichtskraft unter Auftrieb:

Da die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch maßgeblich von den Wichten des Baugrundes abhängt, sind für diesen Nachweis die unteren charakteristischen Werte der Wichten anzusetzen.

DIN 1054, Abschn. 5.3.1 (4)

Sofern das Baugrundgutachten hierüber keine Angaben enthält, können die üblicherweise angegebenen charakteristischen Mittelwerte der Wichten analog zu DIN 1055, Teil 2 (1976) abgemindert werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	8. Nachweis der Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Seite 77
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

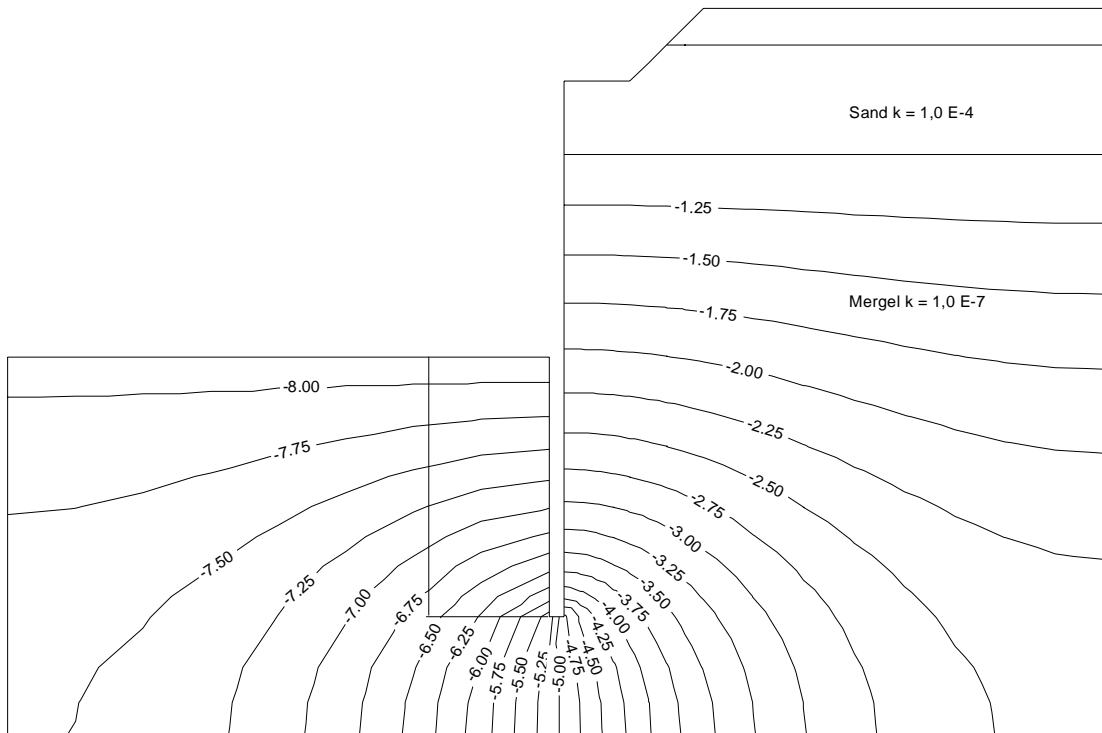


Bild 8.2: Stromliniennetz aus GGU-SS-FLOW-2D

Es ist nachzuweisen, dass die folgende Grenzzustandsbedingung eingehalten wird:

$$S'_k \cdot \gamma_H \leq G'_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

DIN EN 1997-1, 2.4.7.5 und 10.3

Spundwandlänge gewählt:  $l = 14,67 \text{ m}$   
 Einbindetiefe  $t = 14,67 - 7,55 = 7,12 \text{ m}$   
 Breite des Bodenkörpers  $b = t / 2 = 3,56 \text{ m}$

Gewichtskraft unter Auftrieb:

Da die Auftriebssicherheit maßgeblich von den Wichten des Baugrundes abhängt, sind für den Auftriebssicherheitsnachweis die unteren charakteristischen Werte der Wichten anzusetzen.

DIN EN 1997-1, 2.3.5.2 (8)

Sofern das Baugrundgutachten hierüber keine Angaben enthält, können die üblicherweise angegebenen charakteristischen Mittelwerte der Wichten analog zu DIN 1055, Teil 2 (1976) abgemindert werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	8. Nachweis der Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Seite 78
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

$$G'_k = \gamma' \cdot b \cdot (t - 0,5m) + \gamma \cdot b \cdot 0,5m = 294,8 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma' = (12 - 1) = 11 \text{ kN/m}^3$

$$\gamma = (22 - 2) = 20 \text{ kN/m}^3$$

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

Strömungskraft:

Wasserdruckhöhendifferenz:  $8,05 - 1,0 = 7,05 \text{ m}$

$$S'_k = (s_a + s_b) / 2 \cdot b = 73,0 \text{ kN/m}$$

mit  $s_a = (1 - (5,375 - 1,0) / 7,05) \cdot 7,05 \cdot 10,0 = 26,8 \text{ kN/m}^2$

$$s_b = (1 - (6,625 - 1,0) / 7,05) \cdot 7,05 \cdot 10,0 = 14,3 \text{ kN/m}^2$$

Wasserdruckhöhendifferenz:  $8,05 - 1,0 = 7,05 \text{ m}$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen GZ 1A:

DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

$$\gamma_{G, \text{stb}} = 0,95 \text{ (LF 2)}$$

$$\gamma_H = 1,30 \text{ (LF 2) (günstiger Untergrund)}$$

Nachweis:

$$73,0 \cdot 1,3 = 94,9 \text{ kN/m} < 294,8 \cdot 0,95 = 280,1 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	8. Nachweis der Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Seite 79
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

$$G'_k = \gamma' \cdot b \cdot (t - 0,5m) + \gamma \cdot b \cdot 0,5m = 294,8 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma' = (12 - 1) = 11 \text{ kN/m}^3$   
 $\gamma = (22 - 2) = 20 \text{ kN/m}^3$

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

Strömungskraft:

Wasserdruckhöhendifferenz:  $8,05 - 1,0 = 7,05 \text{ m}$

$$S'_k = (s_a + s_b) / 2 \cdot b = 73,0 \text{ kN/m}$$

mit  $s_a = (1 - (5,375 - 1,0) / 7,05) \cdot 7,05 \cdot 10,0 = 26,8 \text{ kN/m}^2$   
 $s_b = (1 - (6,625 - 1,0) / 7,05) \cdot 7,05 \cdot 10,0 = 14,3 \text{ kN/m}^2$

Wasserdruckhöhendifferenz:  $8,05 - 1,0 = 7,05 \text{ m}$   
 $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen HYD:

DIN 1054, Tab. A2.1

$$\gamma_{G, \text{stb}} = 0,95 \text{ (BS-T)}$$

$$\gamma_H = 1,30 \text{ (BS-T) (günstiger Untergrund)}$$

Nachweis:

$$73,0 \cdot 1,3 = 94,9 \text{ kN/m} < 294,8 \cdot 0,95 = 280,1 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	8. Nachweis der Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Seite 80
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 9. BEMESSUNG DER BAUTEILE

### 9.1 Bemessung der Spundwand

Die Schnittgrößen der Spundwand werden dem maßgebenden Berechnungslauf 2 aus Abschnitt 3. entnommen. Die Bemessung erfolgt gemäß DIN 18800-1.

Maßgebende Schnittgrößen aus Baugrubenberechnung:

$$\max M_d = 495,65 \text{ kNm/m} \quad \text{bei } t = -5,04 \text{ m}$$

$$\text{zug } N_d = A_{v,d} + E_{av,d} + G_d = -128,4 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } A_{v,d} = 188,9 \cdot \tan 25^\circ = 88,1 \text{ kN/m}$$

$$E_{av,d} = 1,20 \cdot (15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(2/3 \cdot 35^\circ) + 15,1 \cdot 3,04 \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)) = 29,7 \text{ kN/m}$$

$$G_d = 1,20 \cdot 78,5 \cdot 0,0223 \cdot 5,04 = 10,6 \text{ kN/m}$$

$$\max V_d = 345,9 \text{ kN/m} \quad (\text{am theoretischen Spundwandfuß})$$

Nachweis Elastisch-Elastisch:

DIN 18800-1, 7.5.2  
EAB, EB 49 (13.4, Absatz 5)

Die Spundwandbohlen werden als Doppelbohlen mit verschweißten Spundwandschlössern eingebracht. Daher kann für die Biege- und Schubnachweise mit den vollen Querschnittswerten der durchlaufenden Wand gerechnet werden.

EAB, EB 49 (13.4)

$$\sigma_{S,d} = N_d / A + M_d / W_{el} = 20,4 \text{ kN/cm}^2 < 24,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } A = 223 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Lieferprogramm Hoesch

$$W_{el} = 2500 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$\sigma_{R,d} = f_{y,k} / \gamma_M = 24,0 / 1,0 = 24,0 \text{ kN/m}^2$$

DIN 18800-1, 7.5.2 (746)

$$\tau_{S,d} = V_d \cdot S \cdot \sin \alpha \cdot b / (I \cdot s) = 4,33 \text{ kN/cm}^2 < 13,9 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } S = 1400 \text{ cm}^3/\text{m}$$

Lieferprogramm Hoesch

$$\alpha = 70^\circ$$

$$b = 0,5 \text{ m}$$

$$I = 52500 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$\tau_{R,d} = f_{y,k} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_M) = 13,9 \text{ kN/cm}^2$$

DIN 18800-1, 7.5.2 (746)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 81
Vorgang:	9.1 Bemessung der Spundwand	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 9. BEMESSUNG DER BAUTEILE

### 9.1 Bemessung der Spundwand

Die Schnittgrößen der Spundwand werden dem maßgebenden Berechnungslauf 2 aus Abschnitt 3 entnommen. Die Bemessung erfolgt gemäß DIN EN 1993-5.

Maßgebende Schnittgrößen aus Baugrubenberechnung:

$$\max M_d = 495,65 \text{ kNm/m} \quad \text{bei } t = -5,04 \text{ m}$$

$$\text{zug } N_d = A_{v,d} + E_{av,d} + G_d = -128,4 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } A_{v,d} = 188,9 \cdot \tan 25^\circ = 88,1 \text{ kN/m}$$

$$E_{av,d} = 1,20 \cdot (15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(2/3 \cdot 35^\circ) + 15,1 \cdot 3,04 \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)) = 29,7 \text{ kN/m}$$

$$G_d = 1,20 \cdot 78,5 \cdot 0,0223 \cdot 5,04 = 10,6 \text{ kN/m}$$

$$\max V_d = 345,9 \text{ kN/m} \quad (\text{am theoretischen Spundwandfuß})$$

Nachweis Elastisch-Plastisch:

Das gewählte Profil Larssen 24 ist ein Klasse-2-Profil, daher ist ein Nachweis Elastisch-Plastisch zulässig.

Die Spundwandbohlen werden als Doppelbohlen mit verschweißten Spundwandschlössern eingebracht. Beim Nachweis Elastisch-Plastisch sind Abminderungsfaktoren für die Biegetragfähigkeit und Biegesteifigkeit zu berücksichtigen.

$$\sigma_{S,d} = N_d / A + M_d / (\beta_B \cdot W_{pl}) = 20,2 \text{ kN/cm}^2 < 24,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } A = 223 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$W_{pl} = 2800 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$\sigma_{R,d} = f_{y,k} / \gamma_{M0} = 24,0 / 1,0 = 24,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\beta_B = 0,9$$

$$\beta_D = 0,8$$

DIN EN 1995-3, 5.2.2  
EAB, EB 49 (13.4)  
DIN EN 1993-5, 5.2.2  
Lieferprogramm Hoesch

EAB, EB 49 (13.4, 1.c)  
DIN EN 1993-5/NA, NDP zu 6.4 (3)

Lieferprogramm Hoesch

DIN EN 1993-1-1

DIN EN 1993-5/NA, Tabelle NA.1

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{y,d} = 1120,7 \text{ kN/m} > V_d = 345,9 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } A_v = 2 \cdot t_w \cdot (h - t_f) = 80,88 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$t_w = 10 \text{ mm}$$

$$h = 420 \text{ cm}$$

$$t_f = 15,6 \text{ mm}$$

$$f_{y,d} = f_{y,k} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 13,9 \text{ kN/cm}^2$$

Lieferprogramm Hoesch

DIN EN 1993-1-1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 82
Vorgang:	9.1 Bemessung der Spundwand	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Bei geneigten Verankerungen ist zu prüfen, ob ein Stabilitätsnachweis gemäß DIN 18800-2 zu führen ist.

EAB, EB 49 (13.4)

Ein Knicknachweis kann entfallen, wenn die Bedingung

DIN 18800-1, 7.5.1 (739)

$$N_d \leq 0,10 \cdot N_{ki,d}$$

eingehalten ist.

$$N_{ki,d} = \pi^2 \cdot E \cdot I / s_k^2 = 13169 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = 52500 \text{ cm}^4/\text{m}$$

Für die Knicklänge  $s_k$  wird wegen der Fußeinspannung der 0,7-fache Abstand zwischen Ankerlage und Momentennullpunkt angesetzt:

$$l = 13,48 - 0,5 = 12,98 \text{ m}$$

$$s_k = 0,7 \cdot l = 9,09 \text{ m}$$

$$\text{Nachweis: } N_d = 128,4 \text{ kN/m} < 0,1 \cdot 13169 = 1316,9 \text{ kN/m}$$

Das Abgrenzungskriterium ist erfüllt, daher kann der Biegeknicknachweis entfallen.

## 9.2 Bemessung der Anker

Für den Regellastfall LF 2 ergibt sich gemäß Abschnitt 3 eine Ankerkraft von:

$$A_{h,d} = 188,9 \text{ kN/m}$$

Der Ankerabstand beträgt 2,0 m.

Die Nachweise für Verpressanker sind im Vollaushubzustand mit den Teilsicherheiten des Lastfalles 1 zu führen:

DIN 1054, Abschn. 10.4.5 (4)

ständige Einwirkungen:  $\gamma_G = 1,35$

DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

$$A_{h,d} = 188,9 \cdot 1,35 / 1,20 \cdot 2,0 = 425,0 \text{ kN}$$

$$A_d = 425,0 / \cos(25^\circ) = 469,0 \text{ kN}$$

Zusätzlich zum Tragfähigkeitsnachweis für den Lastfall 2 ist ein rechnerischer Nachweis für einen möglichen Ausfall eines Verpressankers zu führen. Dieser Nachweis wird gemäß ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1 dem Lastfall 3 zugeordnet.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, GZ 1B, LF 3

DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

ständige Einwirkungen:  $\gamma_G = 1,10$ :

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 83
Vorgang:	9.2 Bemessung der Anker	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

Bei geneigten Verankerungen ist zu prüfen, ob ein Stabilitätsnachweis gemäß DIN EN 1993-5 zu führen ist. EAB, EB 49 (13.4)

Ein Knicknachweis kann entfallen, wenn die Bedingung  $N_{Ed} \leq 0,04 \cdot N_{cr}$  eingehalten ist. DIN EN 1993-5, 5.2.3 (1)

$N_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot I \cdot \beta_D / l^2 = 10535 \text{ kN/m}$

mit  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

$I = 52500 \text{ cm}^4 / \text{m}$

Für die Knicklänge  $l$  wird wegen der Fußspannung der 0,7-fache Abstand zwischen Ankerlage und Momentennullpunkt angesetzt: DIN EN 1993-5, Bild 5-3

$L = 13,48 - 0,5 = 12,98 \text{ m}$

$l = 0,7 \cdot L = 9,09 \text{ m}$

Nachweis:  $N_d = 128,4 \text{ kN/m} < 0,04 \cdot 10535 = 421,4 \text{ kN/m}$

Das Abgrenzungskriterium ist erfüllt, daher kann der Biegeknicknachweis entfallen.

## 9.2 Bemessung der Anker

Für den Regellastfall BS-T ergibt sich gemäß Abschnitt 3. eine Ankerkraft von:

$$A_{h,d} = 188,9 \text{ kN/m}$$

Der Ankerabstand beträgt 2,0 m.

Die Nachweise für Verpressanker sind im Vollaushubzustand mit den Teilsicherheiten der BS-P zu führen: DIN 1054, Abschn. A 9.7.1.3, A (5)

ständige Einwirkungen:  $\gamma_G = 1,35$  DIN 1054, Tab. A2.1

$$A_{h,d} = 188,9 \cdot 1,35 / 1,20 \cdot 2,0 = 425,0 \text{ kN}$$

$$A_d = 425,0 / \cos(25^\circ) = 469,0 \text{ kN}$$

Zusätzlich zum Tragfähigkeitnachweis für die Bemessungssituation BS-T ist ein rechnerischer Nachweis für einen möglichen Ausfall eines Verpressankers zu führen. Dieser Nachweis wird gemäß ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1 der BS-A zugeordnet.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, STR / GEO-2, BS-A DIN 1054, Tab. A2.1

ständige Einwirkungen:  $\gamma_G = 1,10$ :

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 84
Vorgang:	9.2 Bemessung der Anker	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände, GZ 1B, LF 3

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

- Erdwiderstand:  $\gamma_{Ep} = 1,20$

Die Ermittlung der Ankerkraft im Lastfall 3 erfolgt in einem zusätzlichen Berechnungslauf mit dem Baugrubenprogramm PGruWIN. Dabei werden die Einwirkungen mit ihren Bemessungswerten auf das System aufgebracht.

Der aktive Erddruck wird bis zur Baugrubensohle rechteckförmig umgelagert und mit der Teilsicherheit des Grenzzustandes GZ 1B (LF3) auf das System aufgebracht.

Der Teilsicherheitsbeiwert für den Wasserdruck wird durch Vorgabe einer größeren Wichte für das Wasser ( $\gamma_G = 1,10 \rightarrow \gamma_w = 11 \text{ kN/m}^3$ ) berücksichtigt.

Für den passiven Erddruck wird der im Abschnitt 3 ermittelte Wandreibungswinkel  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$  angesetzt. Der Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand wird gemäß DIN 1054 vorgegeben.

Es ergibt sich für den Lastfall „Ankerausfall“ eine Ankerkraft von

$$A_{h,d} = 161,4 \text{ kN/m}$$

Bei einem Ankerausfall lagert sich diese Ankerkraft je zur Hälfte auf die benachbarten Anker um. Bei einem Ankerabstand von  $a = 2,0 \text{ m}$  ergibt sich:

$$A_{h,d,A} = 161,4 \cdot 2,0 \cdot 1,5 = 484,2 \text{ kN}$$

$$A_{d,A} = A_{h,d,A} / \cos \alpha = 484,2 / \cos (25^\circ) = 534,3 \text{ kN (maßgebend)}$$

Nachweis des Stahlzugliedes

DIN 1054, 9.4.2

$$A_d = 534,3 \text{ kN} < 547,8 \text{ kN} = R_{t,d}$$

$$\text{mit } R_{t,d} = A_s \cdot f_{t,0,1,k} / \gamma_M = 547,8 \text{ kNmm}^2$$

DIN 1054, 9.4.2, (1)

$$A_s = 420 \text{ mm}^2 \text{ für Litzenanker } 3 \text{ } \varnothing 0,6''$$

siehe bauaufsichtliche Zulassung

$$f_{t,0,1,k} = 1500 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,15$$

DIN 1054, Tab. 3

Der Herauszieh Widerstand der Verpressanker ist durch Eignungs- und Abnahmeprüfungen nachzuweisen.

DIN 1054, 9.4.1,  
DIN EN 1537  
DIN SPEC 18537

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	9. Bemessung der Bauteile		Seite 85
Vorgang:	9.2 Bemessung der Anker		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände, STR / GEO-2, BS-A

DIN 1054, Tab. A2.3

- Erdwiderstand:  $\gamma_{R,e} = 1,20$

Die Ermittlung der Ankerkraft für die BS-A erfolgt in einem zusätzlichen Berechnungslauf mit dem Baugrubenprogramm PGruWIN. Dabei werden die Einwirkungen mit ihren Bemessungswerten auf das System aufgebracht.

Der aktive Erddruck wird bis zur Baugrubensohle rechteckförmig umgelagert und mit der Teilsicherheit des Grenzzustandes STR /GEO-2 (BS-A) auf das System aufgebracht.

Der Teilsicherheitsbeiwert für den Wasserdruck wird durch Vorgabe einer größeren Wichte für das Wasser ( $\gamma_G = 1,10 \rightarrow \gamma_w = 11 \text{ kN/m}^3$ ) berücksichtigt.

Für den passiven Erddruck wird der im Abschnitt 3 ermittelte Wandreibungswinkel  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$  angesetzt. Der Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand wird gemäß DIN 1054 vorgegeben.

Es ergibt sich für den Lastfall „Ankerausfall“ eine Ankerkraft von

$$A_{h,d} = 161,4 \text{ kN/m}$$

Bei einem Ankerausfall lagert sich diese Ankerkraft je zur Hälfte auf die benachbarten Anker um. Bei einem Ankerabstand von  $a = 2,0 \text{ m}$  ergibt sich:

$$A_{h,d,A} = 161,4 \cdot 2,0 \cdot 1,5 = 484,2 \text{ kN}$$

$$A_{d,A} = A_{h,d,A} / \cos \alpha = 484,2 / \cos (25^\circ) = 534,3 \text{ kN (maßgebend)}$$

Nachweis des Stahlzuggliedes

DIN EN 1997-1, 8.5.4

$$A_d = 534,3 \text{ kN} < 547,8 \text{ kN} = R_{t,d}$$

mit  $R_{t,d} = A_s \cdot f_{t,0,1,k} / \gamma_M = 547,8 \text{ kNmm}^2$

DIN EN 1997-1, 8.5.4, Gl. A (8.3)

$$A_s = 420 \text{ mm}^2 \text{ für Litzenanker } 3 \text{ } \varnothing 0,6''$$

siehe bauaufsichtliche Zulassung

$$f_{t,0,1,k} = 1500 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,15$$

DIN 1054, Tab. A2.3

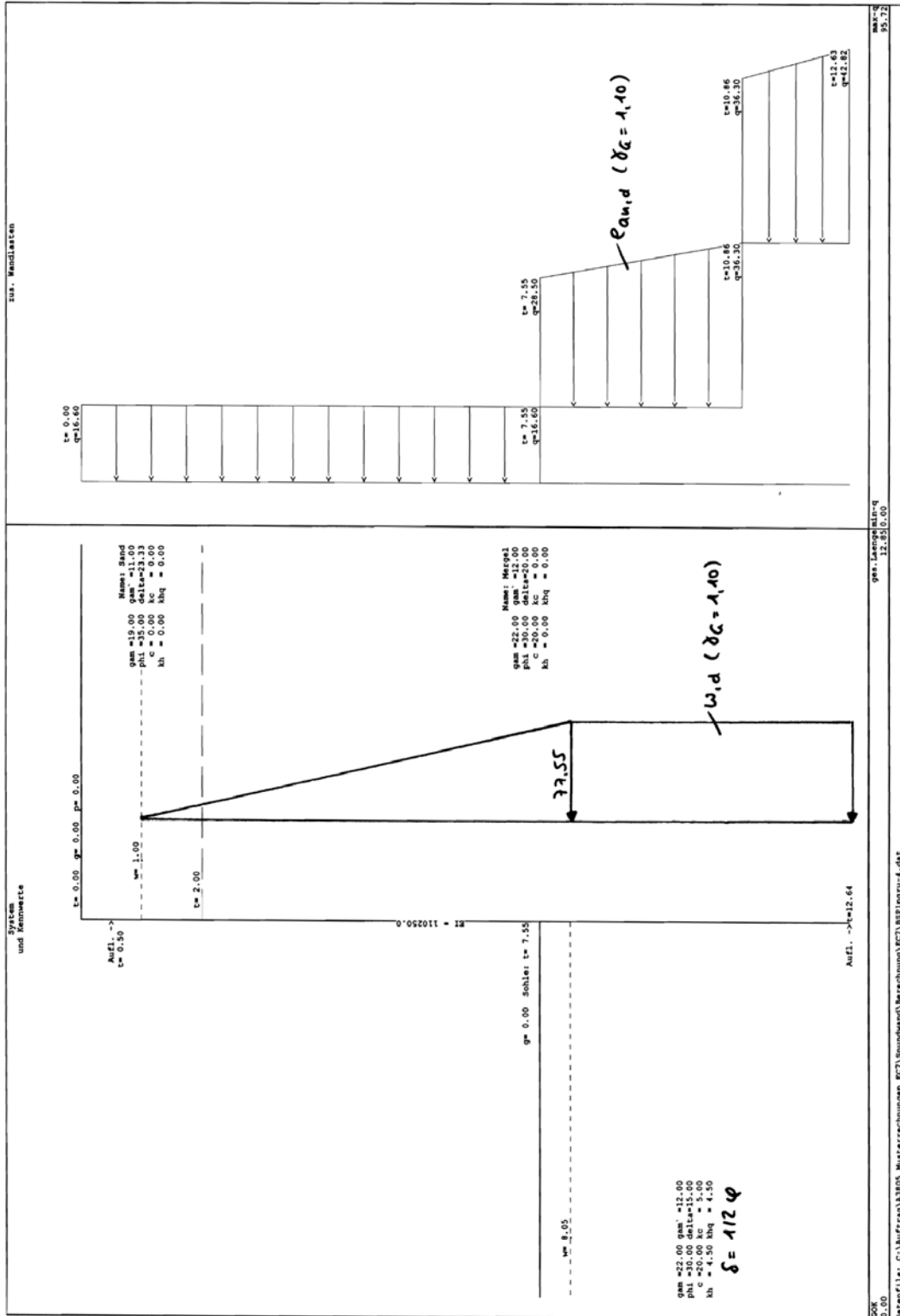
Der Herauszieh Widerstand der Verpressanker ist durch Eignungs- und Abnahmeprüfungen nachzuweisen.

DIN EN 1997-1, 8.5.1, A (3)  
DIN EN 1537  
DIN SPEC 18537

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 86
Vorgang:	9.2 Bemessung der Anker	

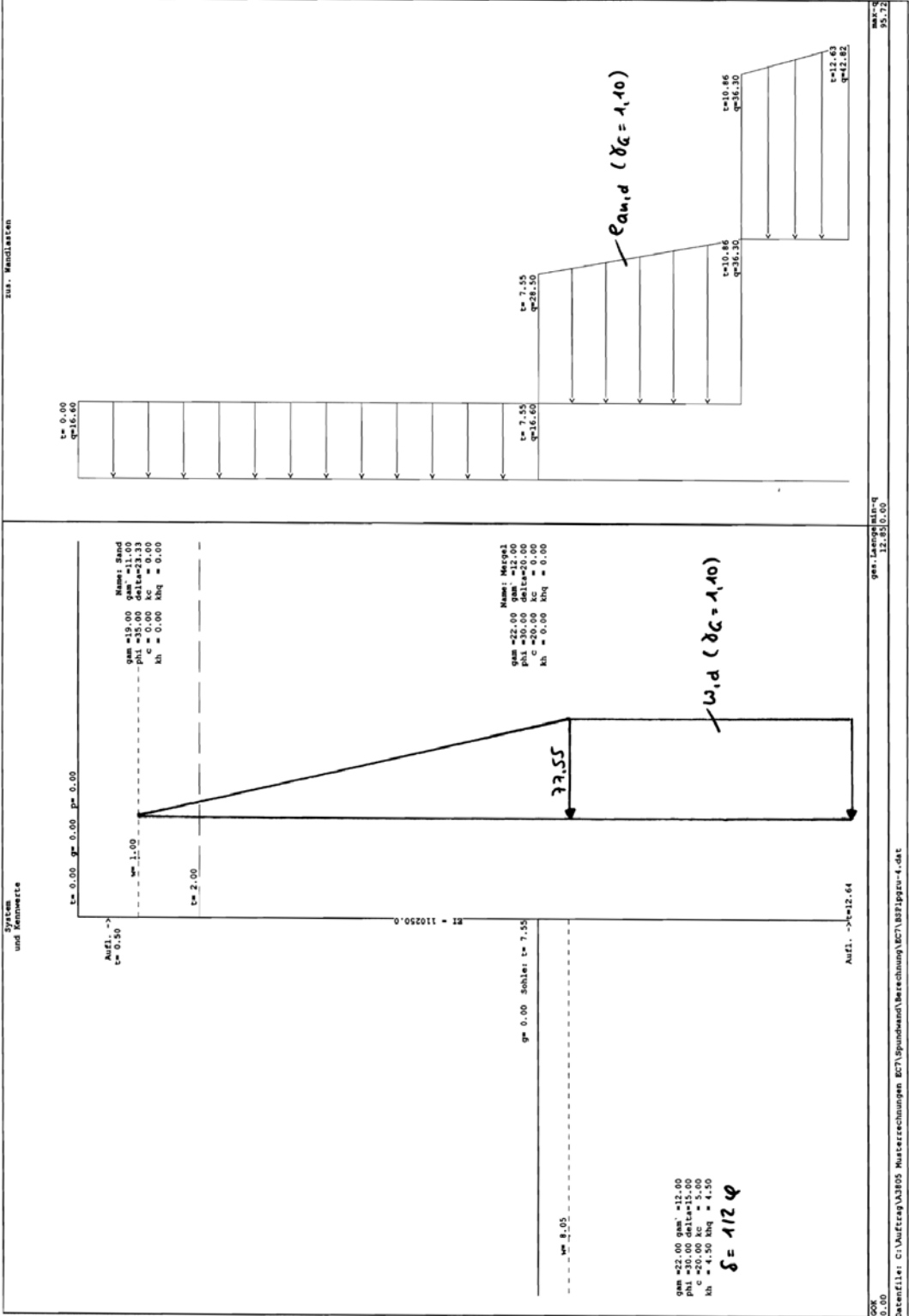


Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



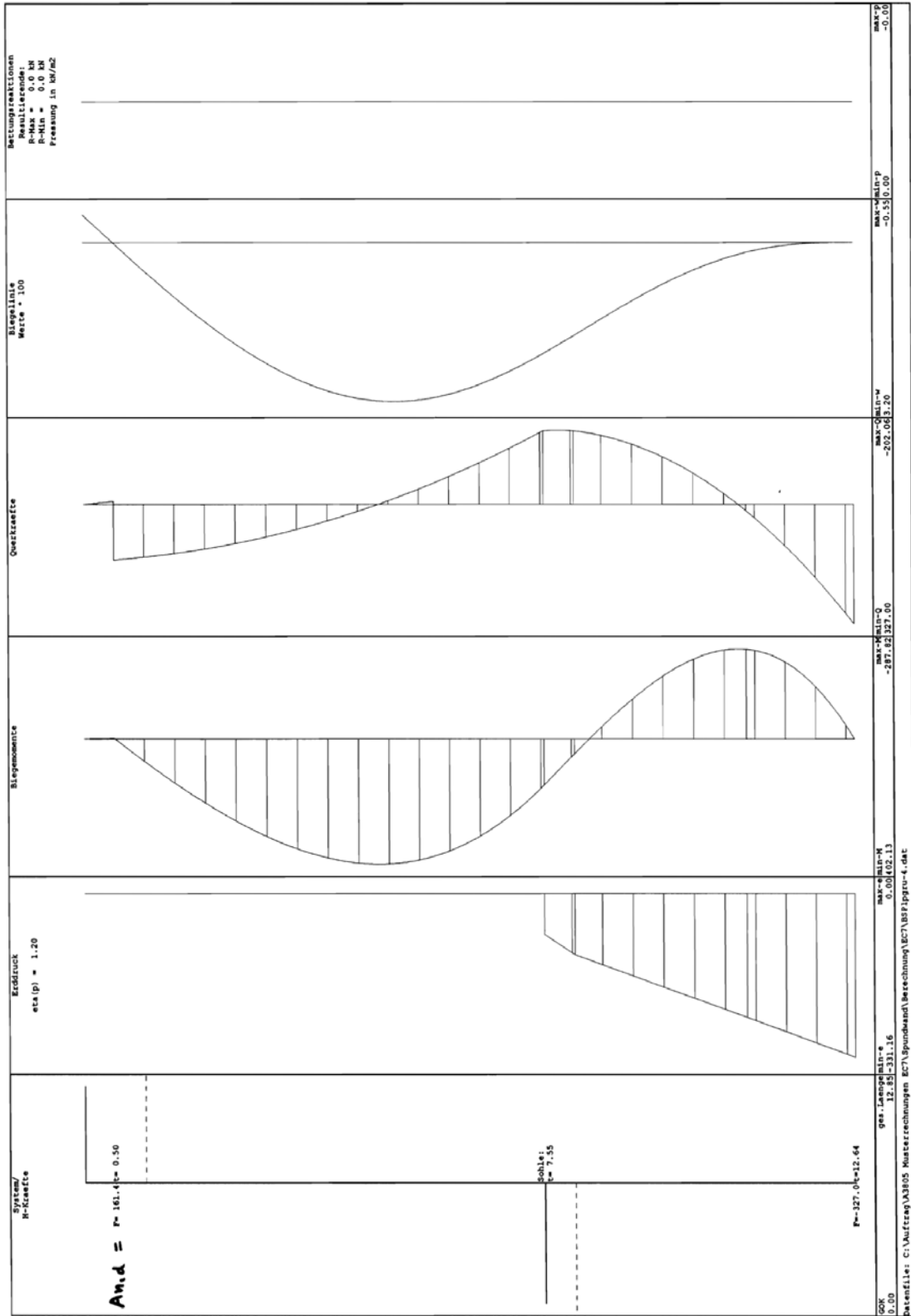
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 87
Vorgang:	Ergebnis Berechnungslauf 3 im LF 3 (Ankerausfall)	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



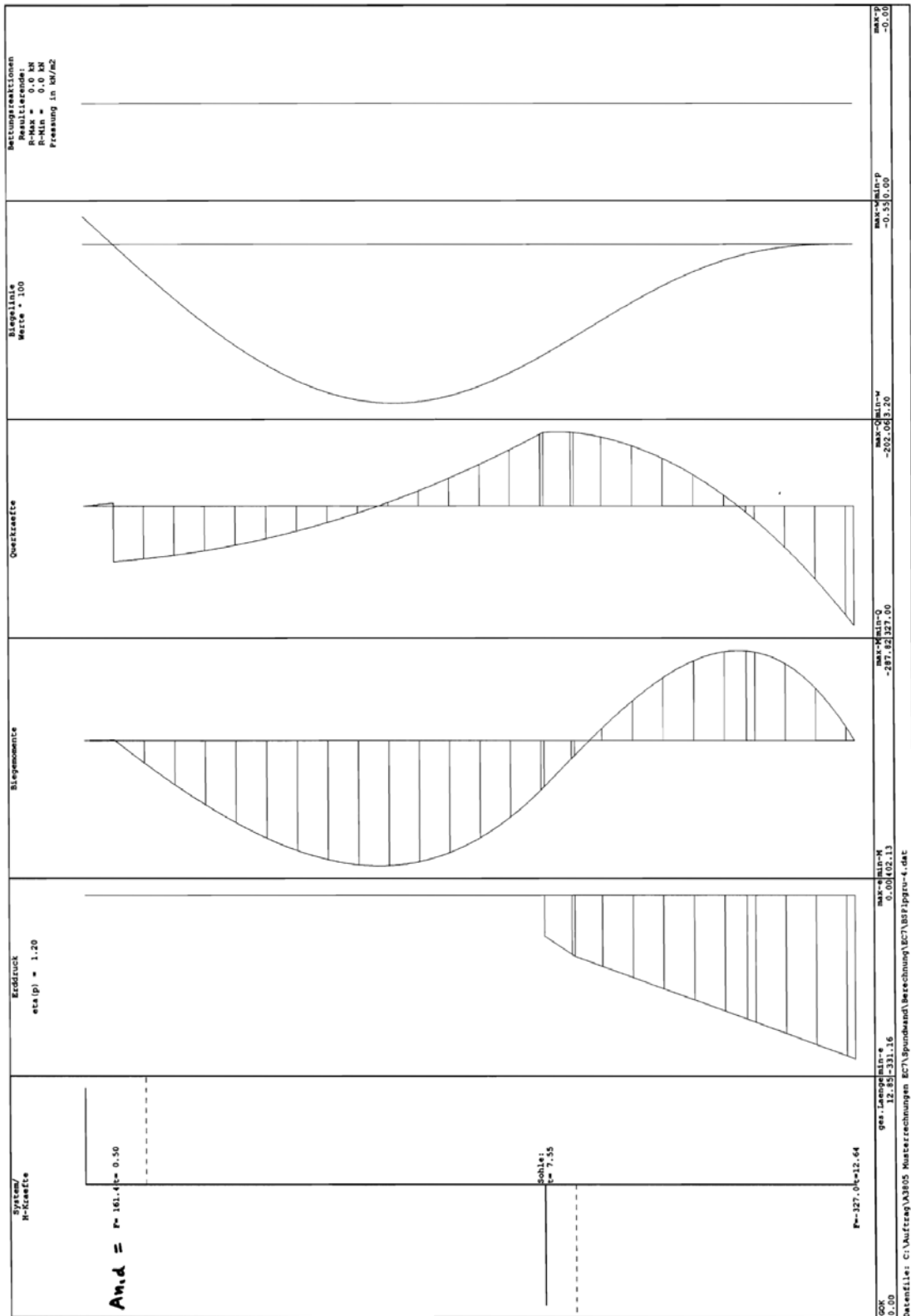
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 88
Vorgang:	Ergebnis Berechnungslauf 3, BS-A (Ankerausfall)	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 89
Vorgang:	Ergebnis Berechnungslauf 3 im LF 3 (Ankerausfall)	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 90
Vorgang:	Ergebnis Berechnungslauf 3, BS-A (Ankerausfall)	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 10. ERGEBNIS DER VERBAUBEMESSUNG

Spundwand: Larssen 24, S240 GP  
Gesamtlänge  $L = 14,67$  m  
Einbindelänge  $t = 7,12$

Anker: Litzenanker 3  $\varnothing 0,6$  "  
St 1570 / 1770  
Ankerlänge  $L_A = 11,0$  m  
Ankerabstand  $a = 2,00$  m  
Ankerneigung  $\alpha = 25^\circ$

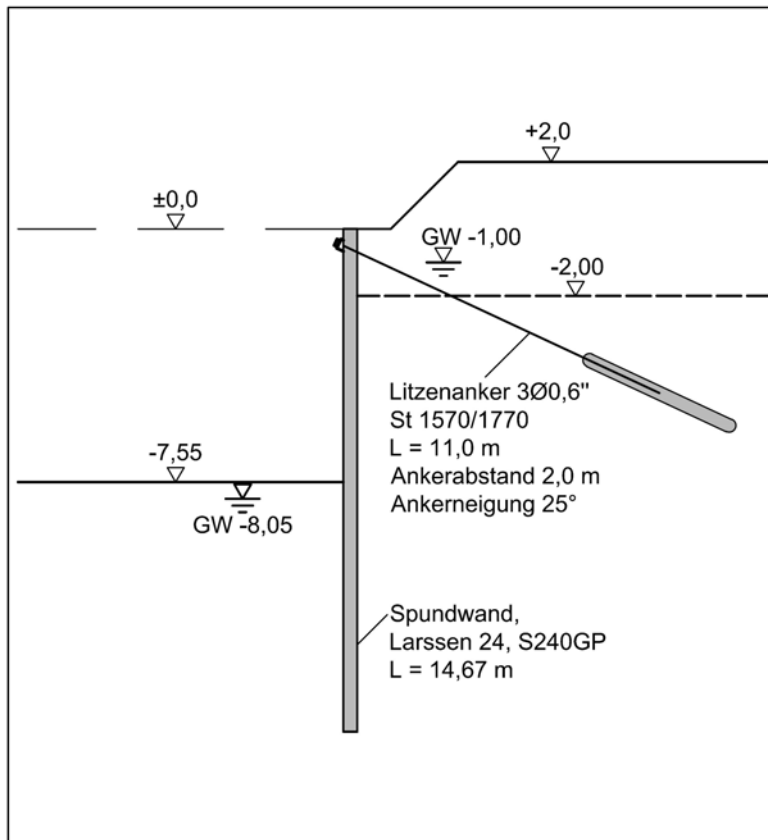


Bild 10.1: Ergebnis der Verbaubemessung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	10. Ergebnis der Verbaubemessung	Seite 91
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 10. ERGEBNIS DER VERBAUBEMESSUNG

Spundwand: Larsen 24, S240 GP  
Gesamtlänge  $L = 14,67$  m  
Einbindelänge  $t = 7,12$

Anker: Litzenanker 3  $\varnothing 0,6$  "  
St 1570 / 1770  
Ankerlänge  $L_A = 11,0$  m  
Ankerabstand  $a = 2,00$  m  
Ankerneigung  $\alpha = 25^\circ$

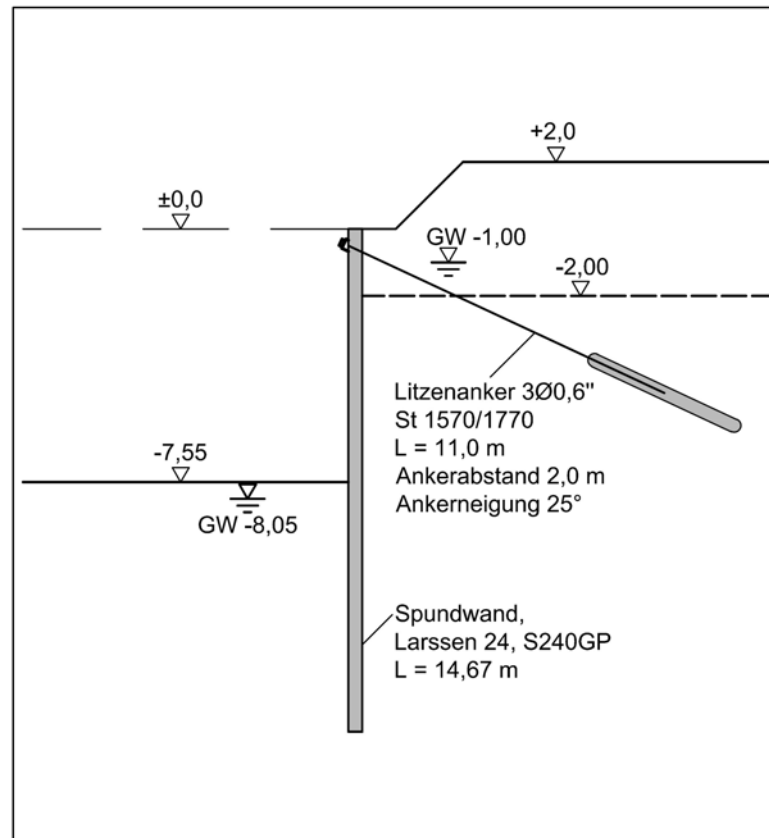


Bild 10.1: Ergebnis der Verbaubemessung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	10. Ergebnis der Verbaubemessung	Seite 92
Vorgang:		

# **Stand sicherheitsnachweis für einen Spundwandverbau**

## **Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis**  
**für einen Spundwandverbau**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	1
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	3
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	7
IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	11
1. Berechnungsgrundlagen	13
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	13
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	15
1.3 Statisches System	17
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	19
2. Berechnungsablauf	27
3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen	33
4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	45
5. Nachweis des Erdwiderlagers	61
6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge	63
7. Nachweis der Geländebruchsicherheit	71
8. Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch	75
9. Bemessung der Bauteile	81
9.1 Bemessung der Spundwand	81
9.2 Bemessung der Anker	83
10. Ergebnis der Verbaubemessung	91

Bauteil: I. Inhaltsverzeichnis	Seite 1	Archiv-Nr.
Block:		
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Das betrachtete Bauwerk ist ein Baugrubenverbau für die Herstellung eines Trogbauwerkes. Es ist eine Aushubtiefe von 9,55 Metern erforderlich, die durch eine geböschte Baugrube in Verbindung mit einem einfach verankerten Spundwandverbau gesichert wird.

### Baugrund und Grundwasser

Im Bereich der betrachteten Baugrube steht ab ca. 4,0 m unter OK Gelände bis in größere Tiefen halbfester bis fester Geschiebemergel an. Er wird überlagert von locker bis mitteldicht gelagerten Sanden mit Mächtigkeiten von rund 4,0 m. Die Geländeoberfläche wird von einer Dezimeter dicken Mutterbodenschicht gebildet. Der Grundwasserspiegel liegt zwischen 3,0 m und 6,0 m unter OK Gelände.

### Herstellung und Tragsystem

Nach einem Voraushub in Form einer geböschten Baugrube von 2,0 m Tiefe werden Spundwände als Baugrubensicherung hergestellt. Die Spundwände werden 0,5 m unterhalb des Wandkopfes und damit 0,5 m über dem höchsten Grundwasserspiegel mit vorgespannten Verpressankern gestützt. Der anstehende Mergel ist hinreichend wasserdicht, so dass ein Aushub unter gleichzeitigem Lenzen des Grundwassers innerhalb der Grube und eine offene Wasserhaltung über einen Pumpensumpf in der Grube möglich sind. Die Baugrubenwand wird als Baubehelf für Wasserdruck und aktiven Erddruck bemessen. Sie wird nach dem Verfüllen des Arbeitsraumes wieder gezogen.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 3
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

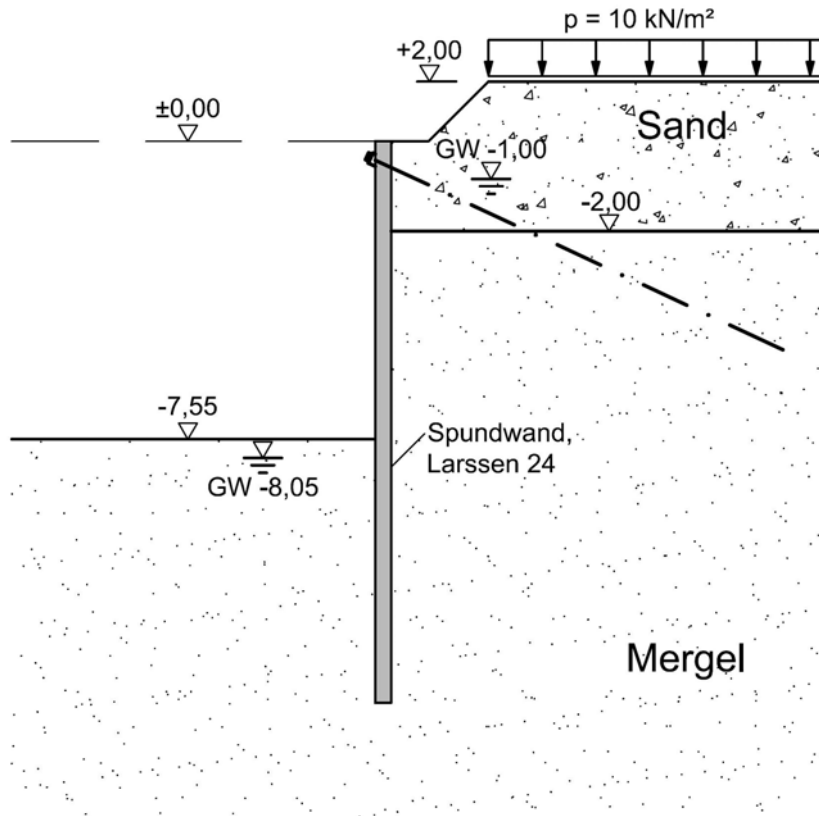


Bild II.1: Spundwandverbau, Querschnitt

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Seite 5	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 2, Abschn. 1	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Grundbau, Baugruben, Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2007-12
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005-01
DIN 1055 Teil 1	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, Ausgabe 2002-06
DIN 1055 Teil 2	Lastannahmen für Bauten, Bodenkenngrößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel, Ausgabe 1976-02
DIN 4084	Baugrund – Geländebruchberechnungen, Ausgabe 2009-01
DIN 4085	Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe 2011-05
DIN 18800-1	Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion, Ausgabe 2008-11
DIN EN 1537	Verpressanker, Ausgabe 2001-01
DIN EN 1537, Ber.1	Verpressanker, Berichtigung 1, Ausgabe 2011-12
DIN EN 10248 Teil1	Warmgewalzte Spundbohlen aus unlegierten Stählen; Technische Lieferbedingungen, Ausgabe 8.95
EAB	Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst und Sohn, 4. Auflage , 2006
Spundwandhandbuch	Berechnungen, Hoesch Stahl AG

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 7
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

EDV-Programme:

PGruWIN	Berechnung von Baugrubenwänden, Verfasser: Dr.-Ing. D. Winselmann, Braunschweig 2007
PRaWIN	Berechnen und Zeichnen von Rahmen und Trägerrosten, Verfasser: Dr.-Ing. D. Winselmann, Braunschweig 2009
GGU-Stability	Böschungsbruch nach DIN 4084(2009), Verfasser: GGU Braunschweig, 2012
GGU-SS-FLOW2D	Berechnung von zweidimensionalen Grundwasserströmungen mit der Finiten-Element- Methode, Verfasser: GGU Braunschweig, 2012

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 9
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des Baubehelfes gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1 (Grundbau, Baugruben).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN 1054(2005): für die Sicherheitsnachweise des Baugrubenverbaus einschließlich der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser
- DIN 4084: für die Böschungsbruchberechnung
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung
- DIN 18800-1: für die Bemessung und die Material-Teilsicherheitsbeiwerte der Spundwand
- EAB: für Details der Nachweise

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 11	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Tiefe unter GOK	Wichte feucht	Wichte unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	Durchlässigkeit
	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	m/s
Sand	0,0 - 4,0	19	11	35	0	1,0E-4
Mergel	4,0 - >20,0	22	12	30	20	1,0E-7

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Die Grundwasserstände sind wie folgt anzunehmen:

Grundwasser	Tiefe unter GOK
	m
max GW	3,0
min GW	6,0

Tabelle 1.2: Grundwasserstände

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 13
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

Für den Baugrubenverbau werden auf der Grundlage einer Vorbemessung die nachfolgenden Verbaumittel gewählt:

### Spundwand

Spundwandtyp	Larssen 24	
Spundwandstahl	S 240 GP	DIN EN 10248-1
Streckgrenze	$f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 10248-1
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_M = 1,0$	DIN 18800-1, 7.5.2 (747)

### Litzenanker

Litzenanzahl	3 Ø 0,6"	
Stahlgüte	St 1570/1770	
charakteristische Spannstahlspannung bei 0,1 % bleib. Dehnung	$f_{t,0.1,k} = 1500 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 1537

Teilsicherheitsbeiwerte GZ 1B DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

Stahlzugglied	$\gamma_M = 1,15 \text{ (LF 2)}$
Verpresskörper	$\gamma_A = 1,10 \text{ (LF 2)}$

### Boden

Teilsicherheitsbeiwerte GZ 1B DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

Erdwiderstand	$\gamma_{Ep} = 1,30 \text{ (LF 2)}$
Erdwiderstand beim LF Ankerfall	$\gamma_{Ep} = 1,20 \text{ (LF 3)}$

Tiefe Gleitfuge  $\gamma_{Ep} = 1,30 \text{ (LF 2)}$  EAB, EB 44, (7.3)

Teilsicherheitsbeiwerte GZ 1C DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$	$\gamma_{\varphi} = 1,15 \text{ (LF 2)}$
Kohäsion $c'$	$\gamma_c = 1,15 \text{ (LF 2)}$
Verpresskörper	$\gamma_A = 1,10 \text{ (LF 2)}$

Bauteil:	IV. A Baugrubenverbau	Seite 15	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

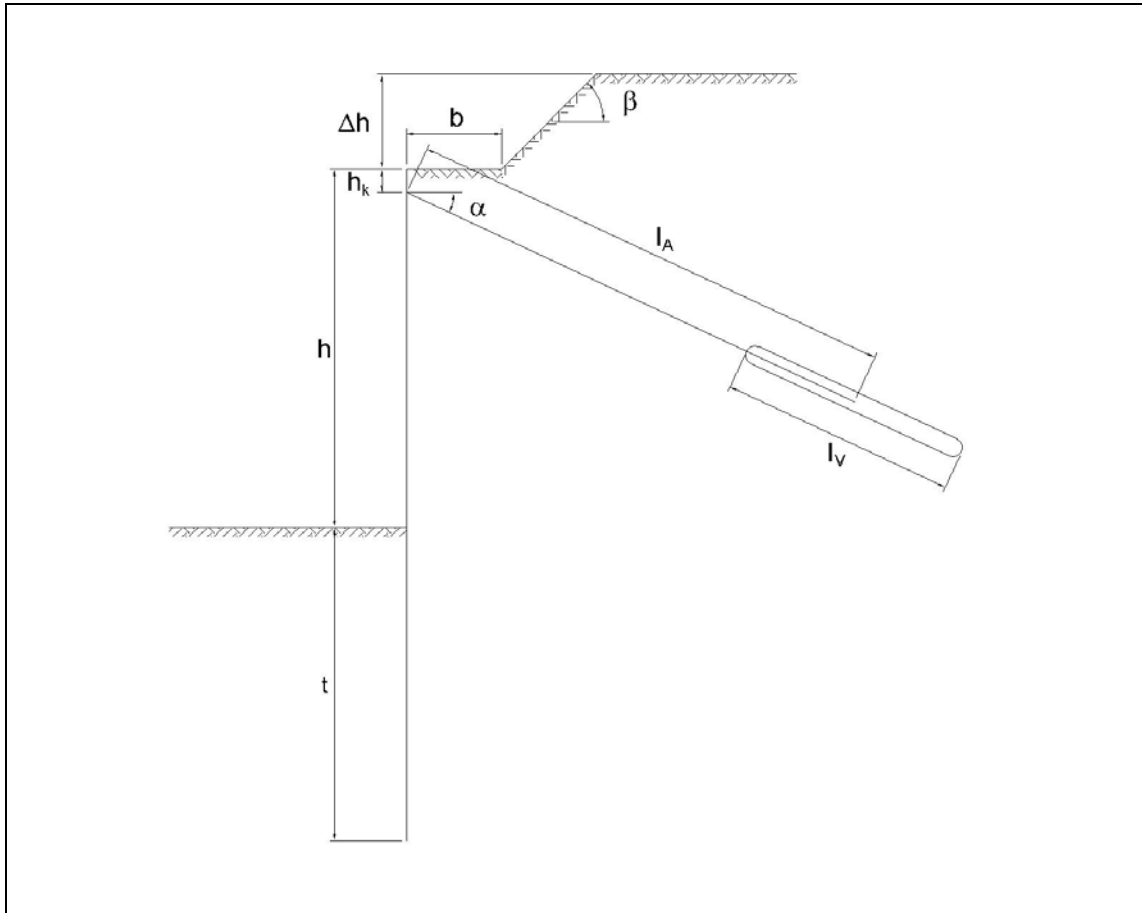


Bild 1.1: Statisches System

#### Geometrie:

Höhe der Böschung	$\Delta h =$	2,0 m
Böschungsneigung	$\beta =$	45 °
Breite der Berme	$b =$	2,0 m
Höhe der Spundwand	$h =$	7,55 m
erf. Einbindetiefe	$t$	
Ankeransatzhöhe	$h_k =$	0,50 m
Ankerneigung	$\alpha =$	25 °
Ankerlänge	$l_A$	
Verpressstrecke	$l_V =$	5,00 m
Ankerabstand	$a =$	2,00 m

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 17
Vorgang:	1.3 Statisches System	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. <span style="float: right;">Datum: 31.03.13</span>

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

### Spundwandeigengewicht

$$g_k = 78,5 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,0223 \text{ m}^2/\text{m} = 1,75 \text{ kN/m}^2$$

DIN 1055-1

### Aktiver Erddruck

Es wird der aktive Erddruck angesetzt, da keine besonderen Anforderungen an die Verformungsbegrenzung vorliegen.

DIN 1054, 10.3.1 (1)

Wandreibungswinkel  $\delta_a = \frac{2}{3} \varphi'_k$

DIN 4085, Anhang A

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh}(\text{Sand}) = 0,224$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$K_{agh}(\text{Mergel}) = 0,279$

$K_{ach}(\text{Mergel}) = -0,922$

Mindesterddruck bei kohäsiven Böden:

DIN 4085, Abschn. 6.3.1.5

$$K^*_{agh} = K_{agh}(\varphi'_k=40^\circ) = 0,179$$

### Zusatzdrücke aus Berme und Nutzlast

Sp-Hb, Abschn. 4.9.2, Bild 4.13

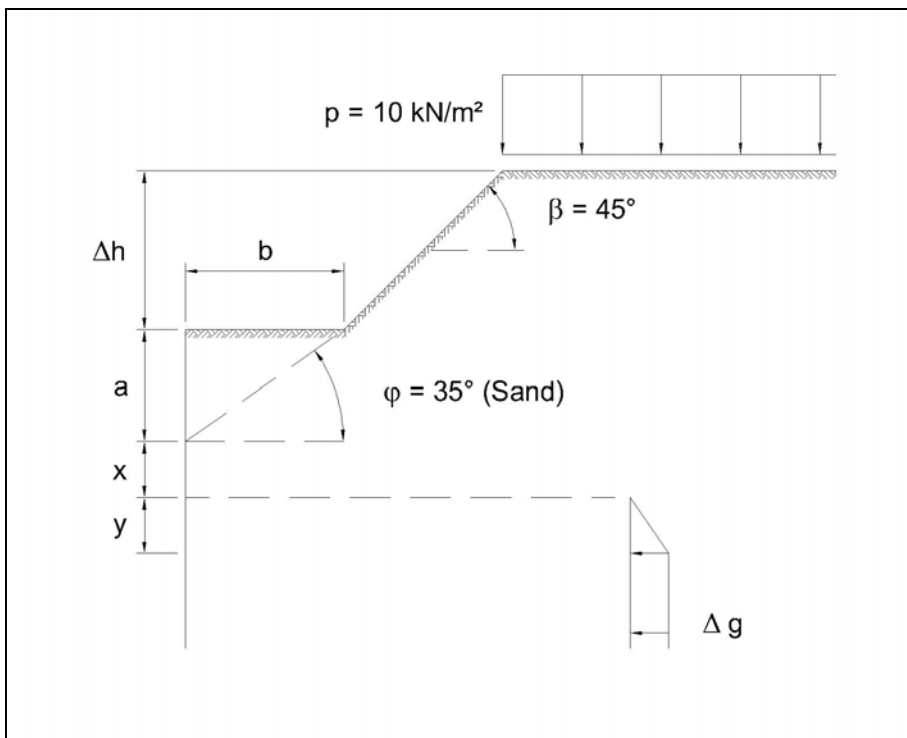


Bild 1.2: Lotrechter Zusatzdruck aus gebrochener Böschung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 19
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

$$a = b \cdot \tan \varphi = 1,40 \text{ m}$$

$$x = k_{ah0} / (k_{ah\varphi} - k_{ah0}) \cdot a = k \cdot a = 0,704 \text{ m} \quad \text{Sp-Hb, Abschn. 4.9.2.2, Gl. (4.25)}$$

mit  $k_{ah\varphi} = 0,671$

$$y = \tan \varphi / \tan \beta \cdot k \cdot \Delta h = 0,704 \text{ m} \quad \text{Sp-Hb, Abschn. 4.9.2.2, Gl. (4.26) und (4.27)}$$

$$\Delta g_k = \gamma \cdot \Delta h + p = 48,0 \text{ kN/m}^2$$

Maßgebend für die Bemessung sind die Erddruckordinaten bei max GW:

Schicht	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	$\Delta g$	$k_{agh}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	$e_{ac,k}$	$e_{ah,k}$	$E_{ah,k}$
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	0,00				0,00	0,00	0,224	0,00	0,00	0,00	0,00
		1,00	19	0							
	-1,00				19,00	0,00	0,224	4,26	0,00	4,26	2,13
		1,00	11	0							
	-2,00				30,00	0,00	0,224	6,73	0,00	6,72	7,62
2	-2,00				30,00	0,00	0,279	8,37	-18,44	5,37	7,62
		0,10	12	20							
	-2,10				31,25	0,00	0,279	8,72	-18,44	5,59	8,19
		0,70	12	20							
	-2,81				39,70	48,00	0,279	24,47	-18,44	15,70	15,68
		2,19	12	20							
	-5,00				66,00	48,00	0,279	31,81	-18,44	20,41	55,25
		2,55	12	20							
	-7,55				96,60	48,00	0,279	40,34	-18,44	25,88	114,27
		0,50	12	20							
	-8,05				102,6	48,00	0,279	42,02	-18,44	26,96	127,48
		2,72	12	20							
	-10,77				135,24	48,00	0,279	51,12	-18,44	32,80	208,75
		0,09	12	20							
	-10,86				136,92	48,00	0,279	51,43	-18,44	32,99	211,71
		0,23	12	20							
-11,09				139,08	48,00	0,279	52,20	-18,44	33,76	219,39	
	1,89	12	20								
-12,98				161,76	48,00	0,279	58,52	-18,44	40,08	289,16	
	0,5	12	20								
-13,48				167,76	48,00	0,279	60,20	-18,44	41,76	309,62	
	1,52	12	20								
-15,00				186,00	48,00	0,279	65,29	-18,44	46,85	376,96	

Tabelle 1.3: aktive Erddruckordinaten bei max GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 21
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Rechteckförmige Erddruckumlagerung bis zur Baugrubensohle EAB, EB 70 (6.2, Abs. 2)

$$e_{ah,k} = E_{ah,k} / h = 114,27 / 7,55 = 15,1 \text{ kN/m}^2$$

### Passiver Erddruck

Der passive Erddruck wird für gekrümmte Gleitflächen ermittelt:

- Wandreibungswinkel  $\delta_p = -2/3 \varphi'_k$  DIN 4085, Anhang A
- $k_{pgh}$  (Mergel) = 5,0 DIN 4085, 6.5.1
- $k_{pch}$  (Mergel) = 5,4 DIN 4085, 6.5.1

$-2/3 \varphi'_k$	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	$K_{pgh}$	$\Sigma g \cdot k_{ph}$	$K_{pch}$	$e_{pc,k}$	$e_{ph,k}$	$E_{ph,k}$
Schicht	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
2	-7,55				0,00	5,0	0,00	5,4	108,0	108,00	0
		0,50	22	20							
	-8,05				11,00	5,0	55,00	5,4	108,0	163,00	67,75
		0,95	12	20							
	-9,00				22,40	5,0	112,00	5,4	108,0	220,00	249,68
		1,91	12	20							
	-10,91				45,32	5,0	226,60	5,4	108,0	334,60	779,32
		2,07	12	20							
	-12,98				70,16	5,0	350,80	5,4	108,0	458,80	1600,5
	1,02	12	20								
-14,00				82,40	5,0	412,00	5,4	108,0	520,00	2099,7	

Tabelle 1.4: passive Erddruckordinaten bei  $\delta_p = -2/3 \varphi'_k$

Der passive Wandreibungswinkel und die entsprechenden passiven Erddruckbeiwerte werden im Zuge der Nachweise iterativ so verändert, dass das Gleichgewicht der Vertikalkräfte sichergestellt ist.

- Wandreibungswinkel  $\delta_p = -1/2 \varphi'_k$
- $k_{pgh}$  (Mergel) = 4,5 DIN 4085, 6.5.1
- $k_{pch}$  (Mergel) = 5,0 DIN 4085, 6.5.1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen <span style="float: right;">Seite 23</span>	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

$-1/2 \varphi'_k$	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	$K_{pgh}$	$\Sigma g \cdot k_{ph}$	$K_{pch}$	$e_{pc,k}$	$e_{ph,k}$	$E_{ph,k}$
Schicht	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
2	-7,55				0,00	4,5	0,00	5,0	100,0	100,00	0
		0,50	22	20							
	-8,05				11,00	4,5	49,50	5,0	100,0	149,50	62,38
		0,95	12	20							
	-9,00				22,40	4,5	100,80	5,0	100,0	200,80	228,77
		1,00	12	20							
	-10,00				34,40	4,5	154,80	5,0	100,0	254,80	456,57
		1,09	12	20							
	-11,09				47,48	4,5	213,66	5,0	100,0	313,66	766,38
	2,39	12	20								
-13,48				76,16	4,5	342,72	5,0	100,0	442,72	1670,25	

Tabelle 1.5: passive Erddruckordinaten bei  $\delta_p = -1/2 \varphi'_k$

#### Wasserdruck

-  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

DIN 1054, Abschn. 6.1.3 (3)

- Wasserstand Aktivseite: -1,0 m

- Wasserstand Passivseite: -8,05 m

Aufgrund des dichten Mergels, der eine Umströmung der Spundwand verhindert, wird der hydrostatische Wasserdruck angesetzt.

DIN 1054, Abschn. 10.3.2 (5)

Dieser Ansatz ist nach einer Vergleichsberechnung gegenüber dem Ansatz eines Strömungsdruckes mit einem infolge der Umströmung abgeminderten Erdwiderstand maßgebend.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. BERECHNUNGSABLAUF

Der Baugrubenverbau ist auf der Grundlage der DIN 1054 nachzuweisen. Diese fordert die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.

Für den vorliegenden Baugrubenverbau sind die folgenden Nachweise erforderlich:

1. Grenzzustand GZ 1A: Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit:  
Für diesen Grenzzustand wird die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nachgewiesen.
2. Grenzzustand GZ 1B: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen:  
In diesem Grenzzustand werden die Bauteile Spundwand, Anker und Gurtung bemessen. Hierin enthalten ist auch der Nachweis in der tiefen Gleitfuge, der die Länge und Neigung der Anker bestimmt.
3. Grenzzustand GZ 1C: Grenzzustand des Verlustes der Gesamtsicherheit:  
Hier wird die Geländebruchsicherheit nachgewiesen.

Die Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (Verformungen, Dichtigkeit) entfallen für den Spundwandverbau, vgl. DIN 1054, 10.7.1, da keine setzungsempfindlichen baulichen Anlagen in der Nähe des Verbaus vorhanden sind.

Ergänzend zu DIN 1054 werden in den Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB) konkrete Angaben zu den zu führenden Nachweisen gemacht. Die EAB sind gemäß ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1, zu beachten.

Demnach ergibt sich der folgende Berechnungsablauf:

### 1) Ermittlung der Einbindelänge und Schnittgrößenermittlung

DIN 1054, 10.6.3

Die Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen ist prinzipiell unter charakteristischen Einwirkungen und charakteristischen Bodenreaktionen durchzuführen.

EAB, EB 80 (4.3, Absatz 1)  
EAB, EB 82 (4.4, Absatz 1)

Bei linear-elastischen Systemen kann die erforderliche Einbindelänge der Spundwand jedoch auch direkt durch Ansatz der Bemessungswerte von Einwirkungen und Widerständen im Grenzzustand GZ 1B ermittelt werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 27
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

## 2) Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstandes

DIN 1054, 10.6.3  
EAB, EB 9 (4.8)

Für die gewählte Einbindelänge ist der Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstandes zu führen. Dies geschieht unter Ansatz charakteristischer Lasten.

Wenn der Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstandes nicht erfüllt wird, ist die Neigung des passiven Erddruckes iterativ zu verringern und die Einbindelänge neu zu ermitteln, bis der Nachweis erfüllt ist.

## 3) Nachweis des Erdwiderlagers

DIN 1054, 10.6.3

EAB, EB 80 (4.3, Absatz 5 und 8)

Es ist nachzuweisen, dass der resultierende, mobilisierte Erdwiderstand kleiner ist als der mögliche Erdwiderstand. Dieser Nachweis wird unter Ansatz der Bemessungswerte des mobilisierten und des möglichen Erdwiderstandes im Grenzzustand GZ1B geführt.

## 4) Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge

DIN 1054, 10.6.7

EAB, EB 44 (7.4)

Bei verankerten Konstruktionen ist der Nachweis des Versagens in der tiefen Gleitfuge zu führen. Dieser Nachweis erfolgt unter charakteristischen Einwirkungen und Scherparametern. Die Festlegung der erforderlichen Ankerlänge erfolgt anschließend mit den Teilsicherheiten des Grenzzustandes GZ 1B.

## 5) Nachweis der Geländebruchsicherheit

DIN 1054, 12.3

EAB, EB 45 (7.4)

Bei verankerten Baugrubenwänden ist grundsätzlich auch der Nachweis der Geländebruchsicherheit zu erbringen. Dieser wird im Grenzzustand GZ 1C unter Ansatz abgeminderter Scherparameter des Baugrundes geführt.

## 6) Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

DIN 1054, 10.6.9

EAB, EB 61 (10.4)

Der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch wird im Grenzzustand GZ 1A geführt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 29
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 7) Bemessung der Bauteile

DIN 1054, 10.6.8

Die Bemessung der Bauteile (Spundwand, Anker) erfolgt im Grenzzustand GZ 1B auf der Grundlage der DIN 18800-1 bzw. der DIN 1054. Für die Anker sind darüber hinaus die DIN EN 1537 in Verbindung mit DIN SPEC 18537 und die bauaufsichtlichen Zulassungen zu beachten.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 31	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. ERMITTLUNG DER EINBINDELÄNGE UND DER SCHNITTGRÖSSEN

Die erforderliche Einbindelänge der Spundwand darf bei linear-elastischen Systemen direkt durch Ansatz der Bemessungswerte von Einwirkungen und Widerständen ermittelt werden.

In den Berechnungen wird eine Volleinspannung der Baugrubenwand am Fuß angesetzt, da Spundwände i.a. ausreichend biegeweich sind, damit sich bei dem hier vorliegenden steifen bindigen Boden eine volle bodenmechanische Einspannung ausbildet.

EAB, EB 26 (6.4)

Die Ermittlung der Einbindetiefe und der Schnittgrößen erfolgt mit dem Baugrubenprogramm PGruWIN. Die erforderliche Einbindetiefe wird dabei vom Programm iterativ unter Ansatz der Ersatzkraft nach Blum ermittelt.

Der aktive Erddruck wird bis zur Baugrubensohle rechteckförmig umgelagert und mit der Teilsicherheit des Grenzzustandes GZ 1B auf das System aufgebracht.

EAB EB 70 (6.2, Abs. 2)

Der Teilsicherheitsbeiwert für den Wasserdruck wird durch Vorgabe einer größeren Wichte für das Wasser ( $\gamma_G = 1,20 \rightarrow \gamma_w = 12 \text{ kN/m}^3$ ) berücksichtigt.

Der Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand wird gemäß DIN 1054 vorgegeben.

Für die baugrundspezifischen Einwirkungen und Widerstände – hierzu zählen auch die Verpressanker – sind die Teilsicherheitsbeiwerte aus DIN 1054, Tab. 2 und 3 zu entnehmen. Für die baugrundunabhängigen Widerstände gelten die entsprechenden Materialnormen. Für die Spundwand ist DIN 18800-1 maßgebend.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, GZ 1B, LF 2  
ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,20$ :

DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

- Spundwandeigengewicht
- aktiver Erddruck
- Nutzlast ( $p=10 \text{ kN/m}^2$ )
- Wasserdruck

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 33	
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände, GZ 1B, LF 2

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

- Erdwiderstand:

für Bemessung Einbindelänge:  $\gamma_{Ep} = 1,30$

für Schnittgrößen des Verbaus:  $\gamma_{Ep} = 1,30$

für LF Ankerausfall:  $\gamma_{Ep} = 1,20$

Auf den nachfolgenden Seiten werden die Eingabewerte und Ergebnisse von zwei Rechenläufen dargestellt:

Lauf 1 mit Neigungswinkel des Erdwiderstandes  $\delta_p = -2/3\varphi'_k = -20^\circ$  und – da dieser Ansatz nicht das Gleichgewicht in vertikaler Richtung erfüllt – Lauf 2 mit  $\delta_p = -1/2 \varphi'_k = -15^\circ$ .

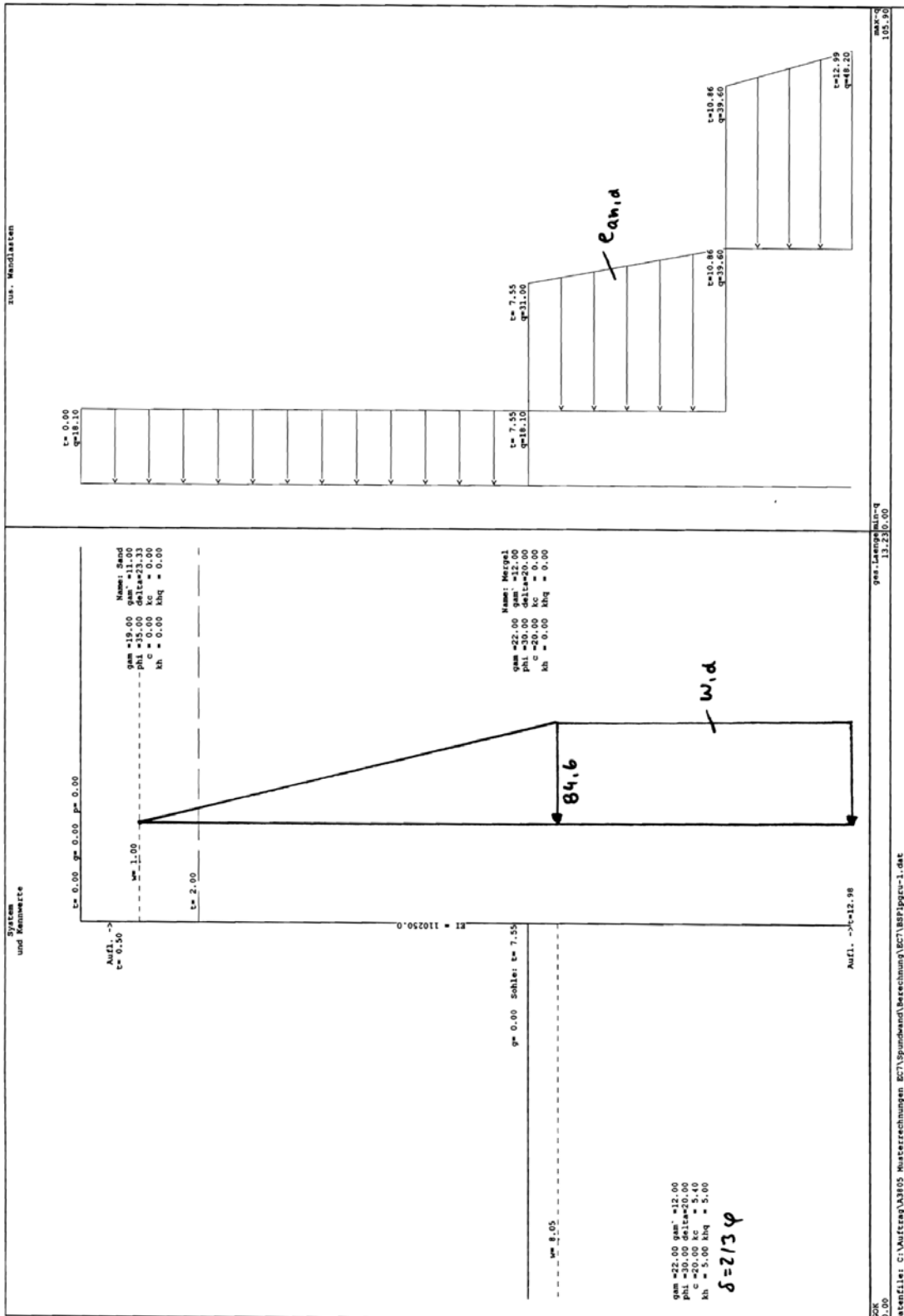
Aus dem Berechnungslauf 2 ergibt sich eine rechnerisch erforderliche Einbindelänge von  $(13,48 - 7,55) = 5,93$  m. Diese ist gemäß EAB mit einem Längenzuschlag von 20% zu versehen.

Erforderliche Einbindelänge:  $t = 1,2 \cdot 5,93 = 7,12$  m

Gesamtlänge der Spundwand:  $l = 7,55 + 7,12 = 14,67$  m

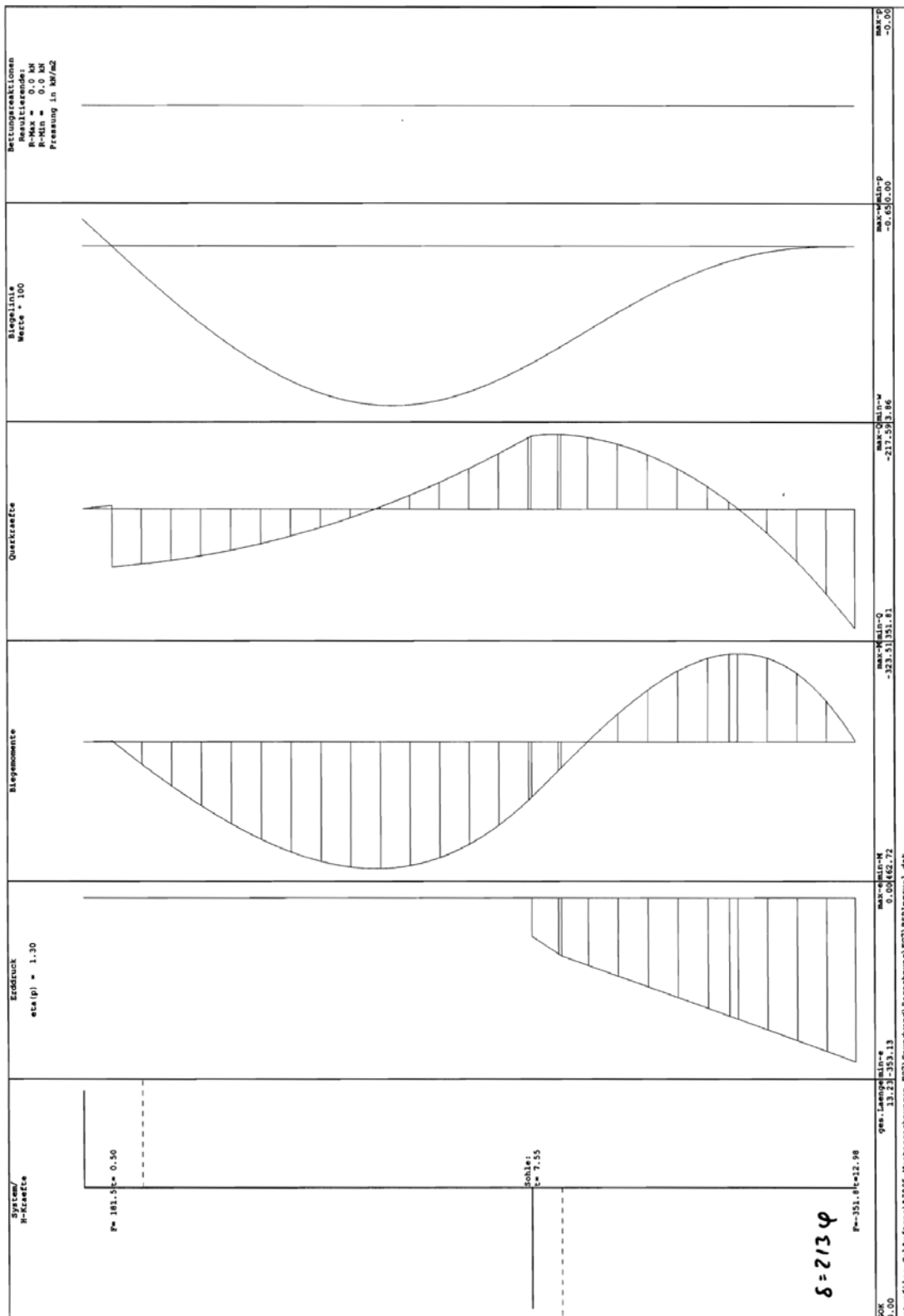
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 35	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



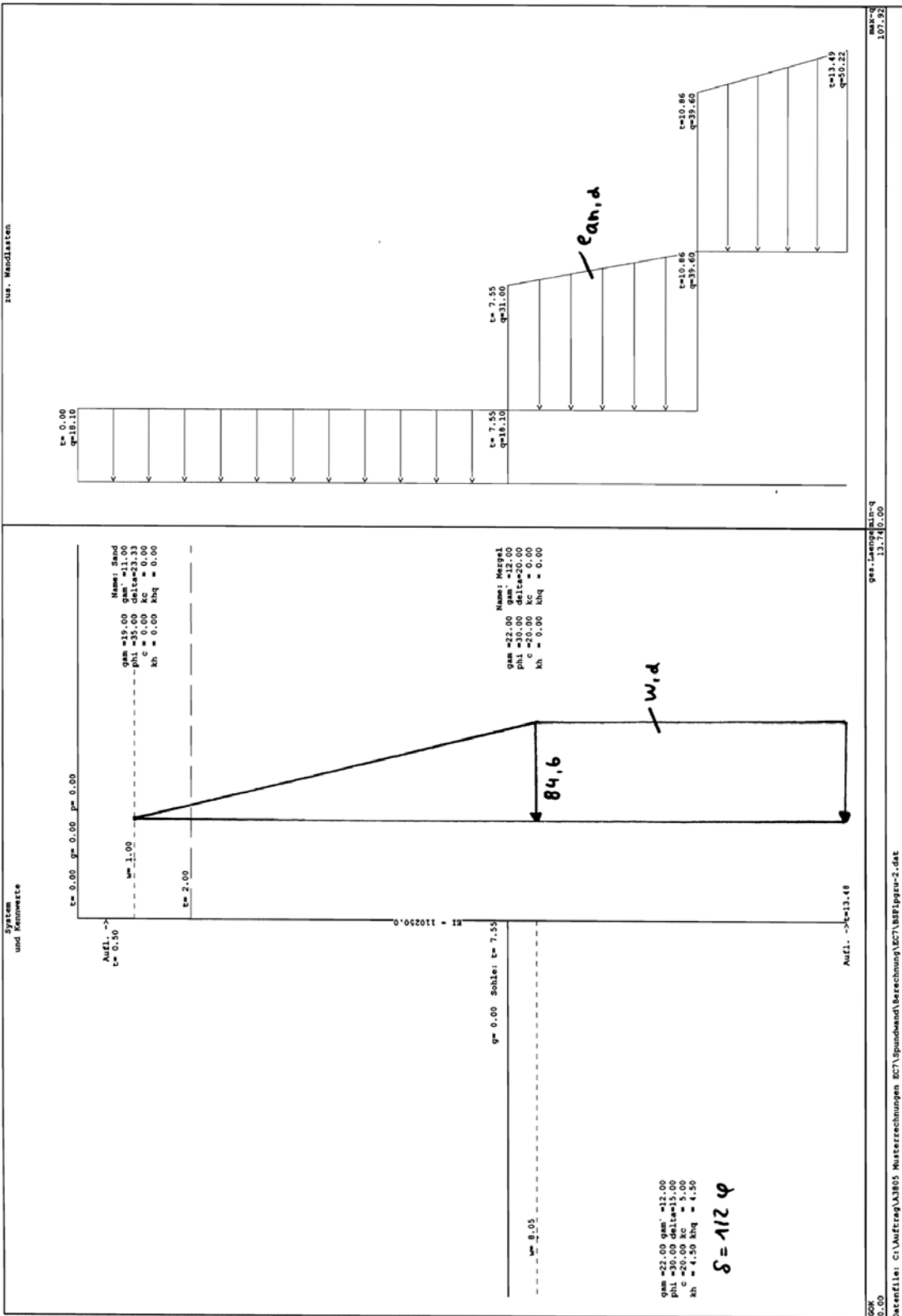
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 37	
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ (\Sigma V \neq 0)$	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



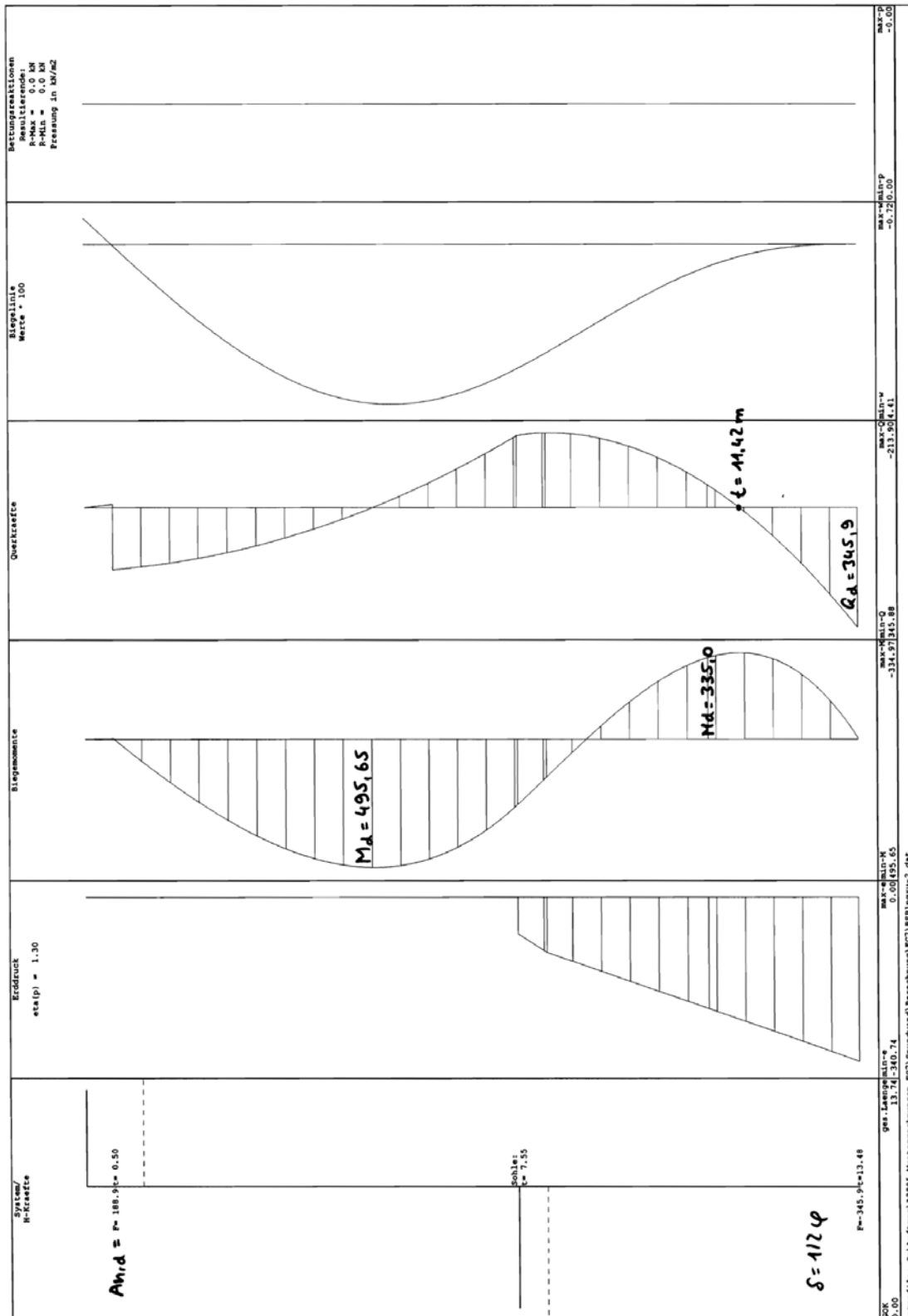
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 39	
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ$ ( $\Sigma V \neq 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 41	
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 2: $\delta_p = -1/2\phi'_k = 15^\circ$ ( $\Sigma V = 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 43	
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ$ ( $\Sigma V = 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

#### 4. NACHWEIS DES GLEICHGEWICHTS DER VERTIKALKRÄFTE

Für den Nachweis des Gleichgewichtes der Vertikalkräfte sind die Gleichgewichtsbedingungen Gl. (51) und Gl. (53) in DIN 1054 einzuhalten. Damit wird bei relativ kleinen nach unten gerichteten Vertikalkräften eine aufwärts gerichtete Bewegung der Verbauwand ausgeschlossen (Gl. (51)) und bei relativ großen abwärts gerichteten Kräften ein Versinken der Wand ausgeschlossen (Gl. (53)).

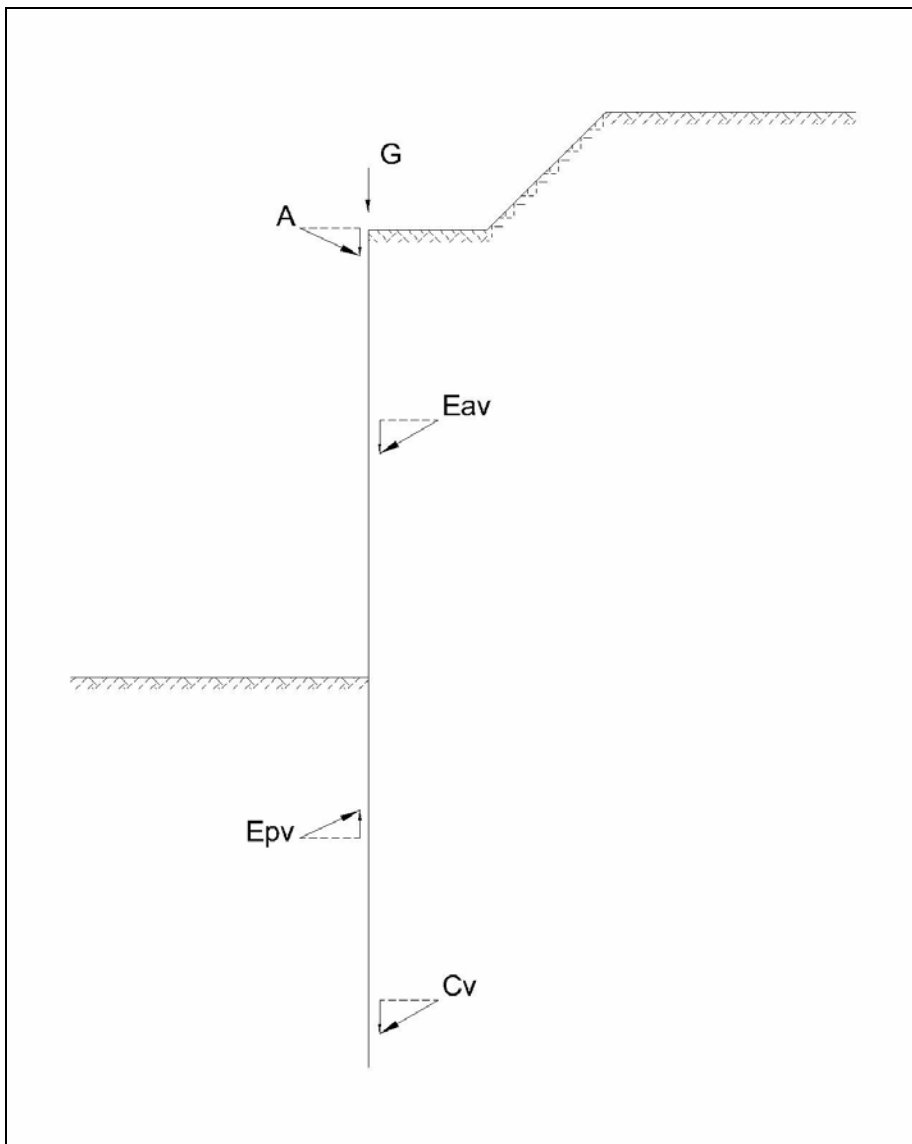


Bild 4.1: Vertikalkraftanteile

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 45
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Rechenlauf 1 mit $\delta_p = 2/3 \varphi'_k$

Der Nachweis erfolgt unter Ansatz charakteristischer Lasten.

EAB, EB 9 (4.8)

Dazu werden an einem Stabwerk die charakteristischen Auflagerkräfte des Ankers sowie des Spundwandfußes ermittelt. Hierzu werden die charakteristischen Erddruckordinaten bei umgelagertem Erddruck gemäß Tabelle 1.3, die charakteristischen Wasserdrücke und die charakteristischen Erdwiderstandsordinaten bei Ansatz von  $\delta_p = 2/3 \varphi'_k$  gemäß Tabelle 1.4 angesetzt.

rechnerischer Fußpunkt aus Baugrubenberechnung:

$$x = -12,98 \text{ m}$$

Das Lager B wird dabei in Höhe der Erddruckresultierenden  $E_{pk}$  angesetzt:  $h' = 3,22 \text{ m}$

vgl. EAB, EB 26 (6.4, Bild EB26-1)

Es ergeben sich die folgenden Auflagerkräfte:

$$A_{h,k} = 71,7 + 96,9 = 168,6 \text{ kN/m}$$

$$B_{h,k} = 269,6 + 658,9 = 928,5 \text{ kN/m}$$

$$C_{h,k} = 52,3 + 159,8 = 212,1 \text{ kN/m}$$

Es ist der folgende Nachweis zu führen:

DIN 1054, Gl. (51)

$$V_k = G_k + E_{av,k} + A_{v,k} + 0,5 \cdot C_{v,k} \geq (B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk}$$

EAB EB 9 (4.8, Abs. 3)

Eigengewicht Spundwand:

$$G_k = x \cdot A \cdot \gamma = 78,5 \cdot 0,0223 \cdot 12,98 = 22,7 \text{ kN/m}$$

vertikaler aktiver Erddruck:

$$E_{av,k} = E_{ah,k} \cdot \tan \delta_a$$

im Sand:  $E_{av,k} = 15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(2/3 \cdot 35^\circ) = 13,0 \text{ kN/m}$

im Mergel:  $E_{av,k} = (289,16 - 15,1 \cdot 2,0) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)$   
 $= 94,3 \text{ kN/m}$

gesamt:  $E_{av,k} = 13,0 + 94,3 = 107,3 \text{ kN/m}$

Ankerkraft:

$$A_{v,k} = A_{h,k} \cdot \tan \alpha = 168,6 \cdot \tan(25^\circ) = 78,6 \text{ kN/m}$$

mit  $\alpha = 25^\circ$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 47
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Ersatzkraft:

$$C_{v,k} = C_{h,k} \cdot \tan \delta_C = 212,1 \cdot \tan (10^\circ) = 37,4 \text{ kN/m}$$

mit  $\delta_C = 1/3 \varphi'_k = 10^\circ$

EAB EB 9 (4.8, Abs. 3)

Nachweis:

$$V_k = 22,7 + 107,3 + 78,6 + 0,5 \cdot 37,4 = 227,3 \text{ kN/m}$$

$$(B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk} = (928,5 - 0,5 \cdot 212,1) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)$$

$$= 299,3 \text{ kN/m} > 227,3 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist nicht erfüllt. Der passive Reibungswinkel muss verringert werden, damit das Gleichgewicht der Vertikalkräfte sichergestellt ist.

Rechenlauf 2 mit  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$

Der Nachweis erfolgt unter Ansatz charakteristischer Lasten. Dazu werden an einem Stabwerk die charakteristischen Auflagerkräfte des Ankers sowie des Spundwandfußes ermittelt. Hierzu werden die charakteristischen Erddruckordinaten bei umgelagertem Erddruck gemäß Tabelle 1.3, die charakteristischen Wasserdrücke und die charakteristischen Erdwiderstandsordinaten bei Ansatz von  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$  gemäß Tabelle 1.5 angesetzt.

EAB, E B9 (4.8)

rechnerischer Fußpunkt aus Baugrubenberechnung:

$$x = -13,48 \text{ m}$$

Das Lager B wird dabei in Höhe der Erddruckresultierenden  $E_{pk}$  angesetzt:  $h' = 3,54 \text{ m}$

vgl. EAB, EB 26 (6.4, Bild EB26-1)

Es ergeben sich die folgenden Auflagerkräfte:

$$A_{h,k} = 74,3 + 103,6 = 177,9 \text{ kN/m}$$

$$B_{h,k} = 282,8 + 681,0 = 963,8 \text{ kN/m}$$

$$C_{h,k} = 47,5 + 153,3 = 200,8 \text{ kN/m}$$

Es ist der folgende Nachweis zu führen:

$$V_k = G_k + E_{av,k} + A_{v,k} + 0,5 \cdot C_{v,k} \geq (B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk}$$

DIN 1054, Gl. (51)

EAB EB 9 (4.8, Abs. 3)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 49
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Eigengewicht Spundwand:

$$G_k = x \cdot A \cdot \gamma = 78,5 \cdot 0,0223 \cdot 13,48 = 23,6 \text{ kN/m}$$

vertikaler aktiver Erddruck:

$$E_{av,k} = E_{ah,k} \cdot \tan \delta_a$$

im Sand:  $E_{av,k} = 15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(2/3 \cdot 35^\circ) = 13,0 \text{ kN/m}$

im Mergel:  $E_{av,k} = (309,6 - 15,1 \cdot 2,0) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)$   
 $= 101,7 \text{ kN/m}$

gesamt:  $E_{av,k} = 13,0 + 101,7 = 114,7 \text{ kN/m}$

Ankerkraft:

$$A_{v,k} = A_{h,k} \cdot \tan \alpha = 177,9 \cdot \tan(25^\circ) = 82,9 \text{ kN/m}$$

mit  $\alpha = 25^\circ$

Ersatzkraft:

$$C_{v,k} = C_{h,k} \cdot \tan \delta_C = 200,8 \cdot \tan(10^\circ) = 35,4 \text{ kN/m}$$

mit  $\delta_C = 1/3 \varphi'_{k} = 10^\circ$

EAB EB 9 (4.8, Abs. 3)

Nachweis:

$$V_k = 23,6 + 114,7 + 82,9 + 0,5 \cdot 35,4 = 238,9 \text{ kN/m}$$

$$(B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk} = (963,8 - 0,5 \cdot 200,8) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)$$

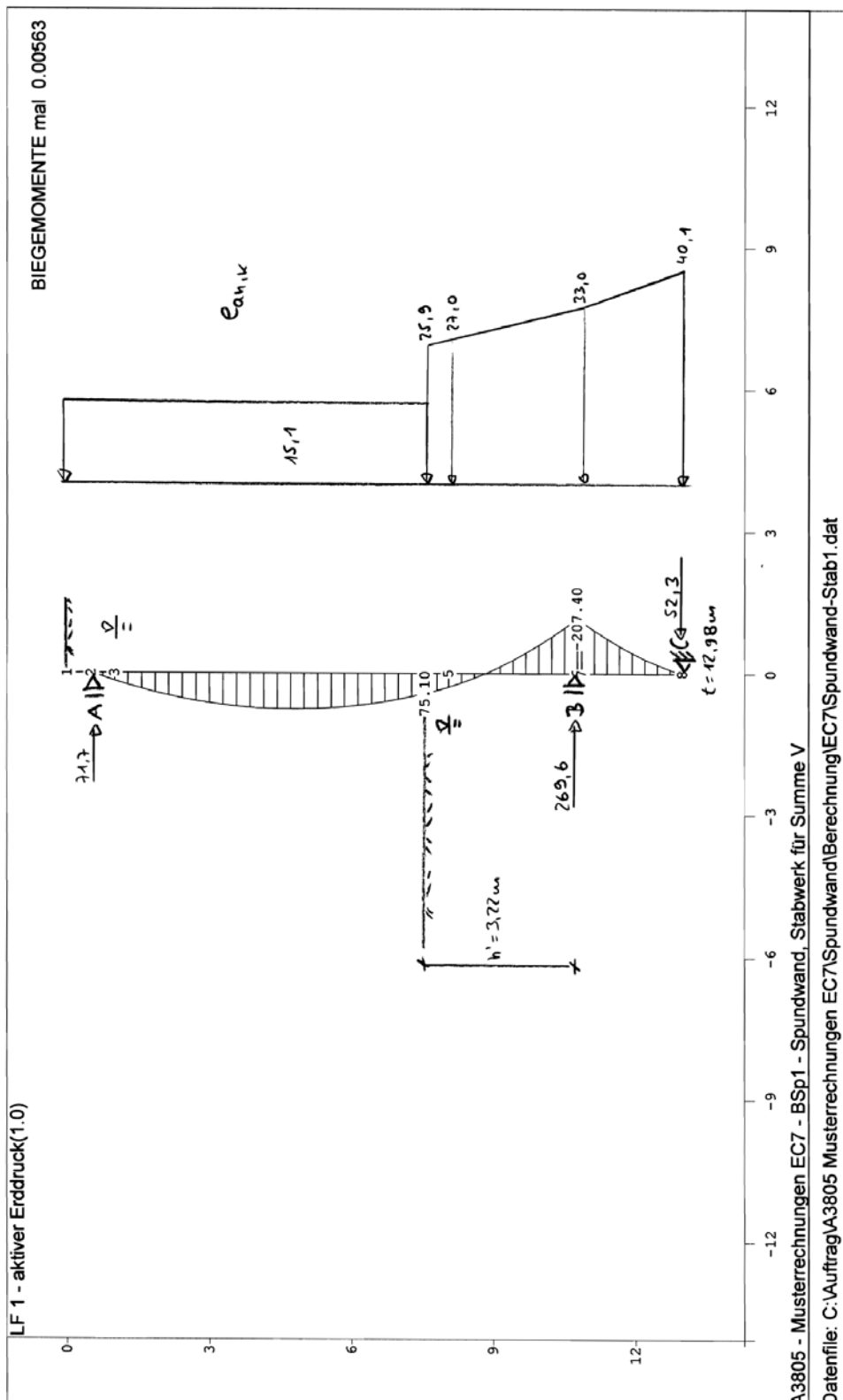
$$= 231,3 \text{ kN/m} < 238,9 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Der Nachweis nach Gl. (53) erübrigt sich, da ein Versinken aufgrund des möglichen größeren Wandreibungswinkels am Wandfuß nicht auftreten kann.

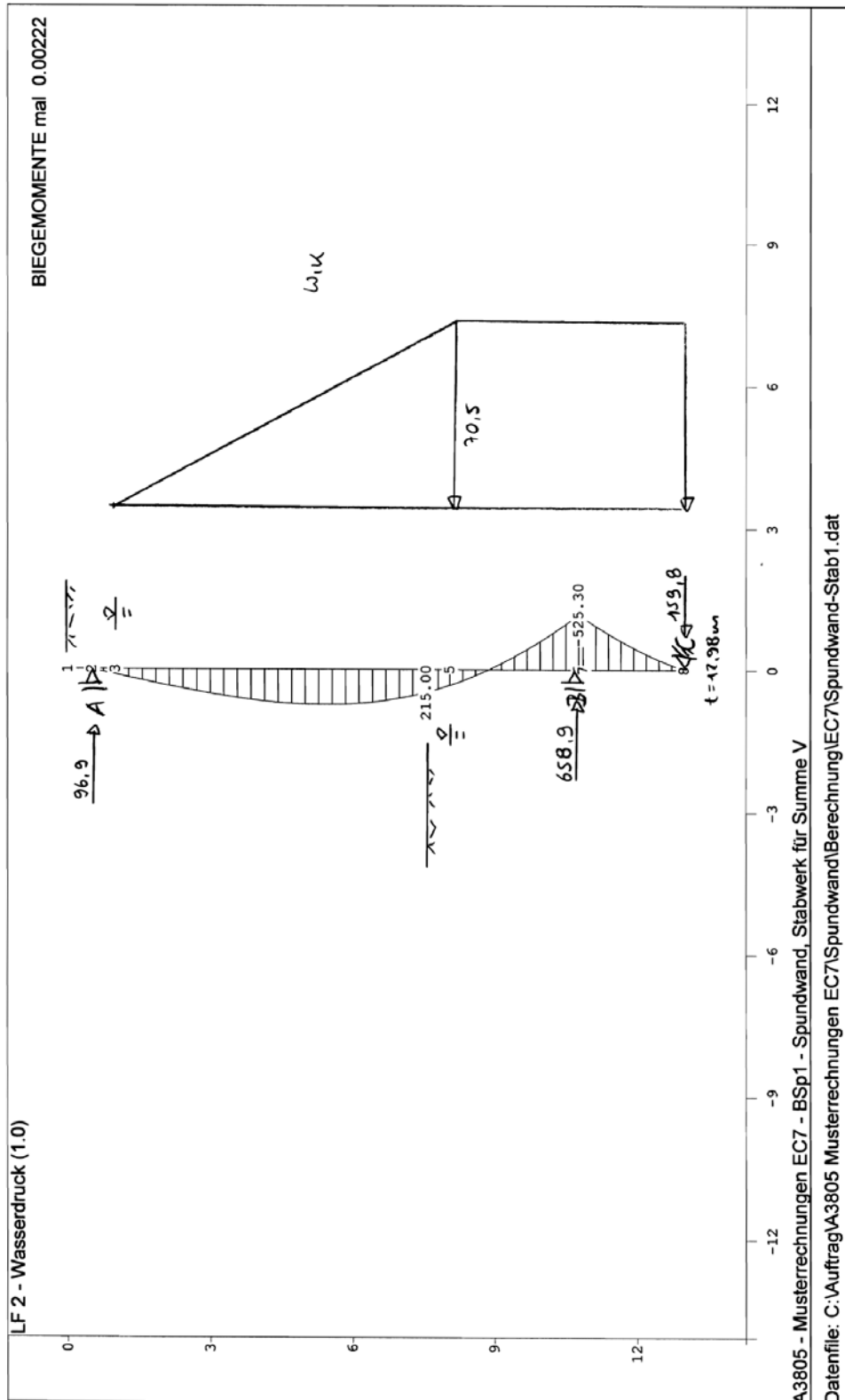
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 51
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



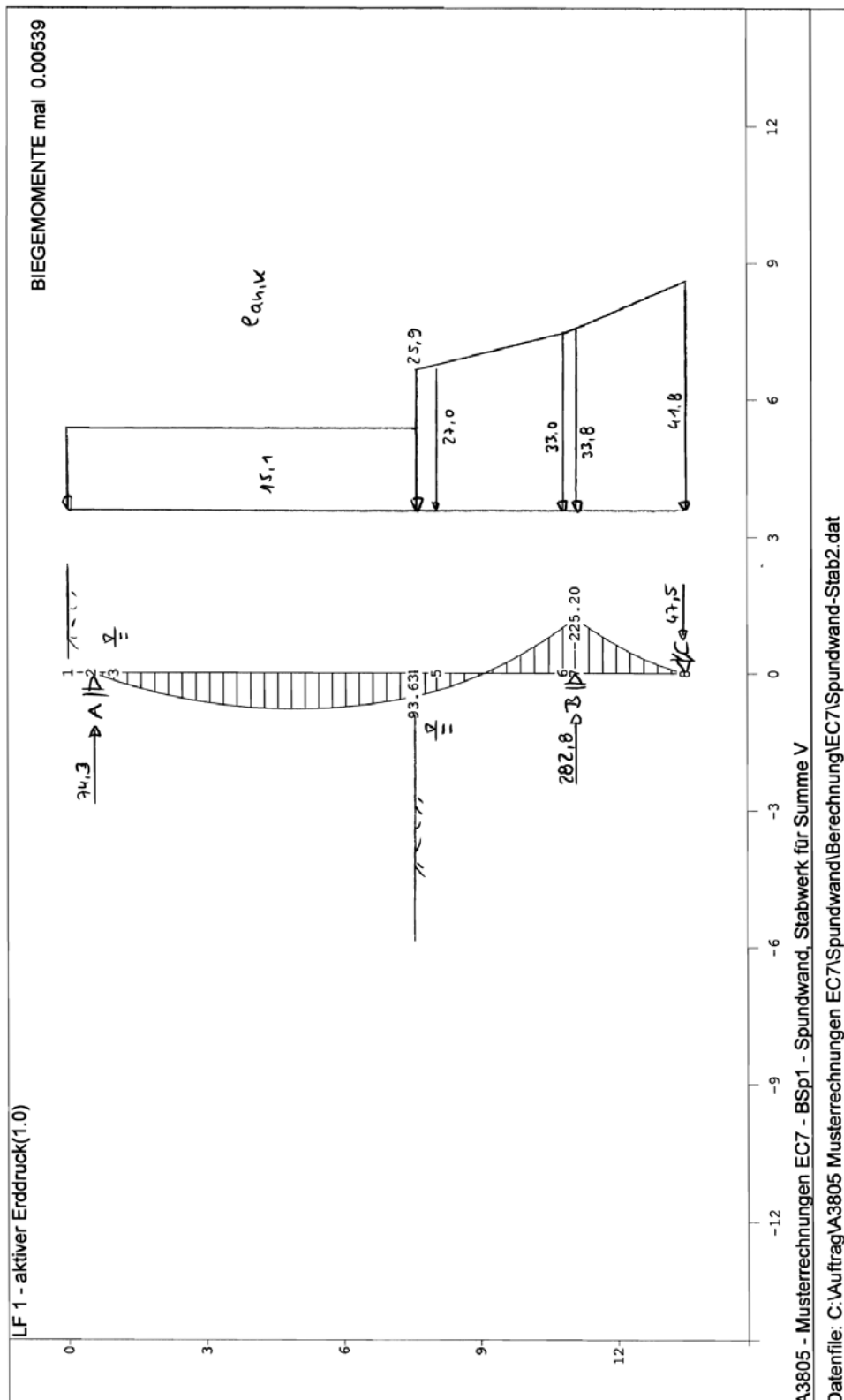
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 53
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ$ ( $\Sigma V \neq 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



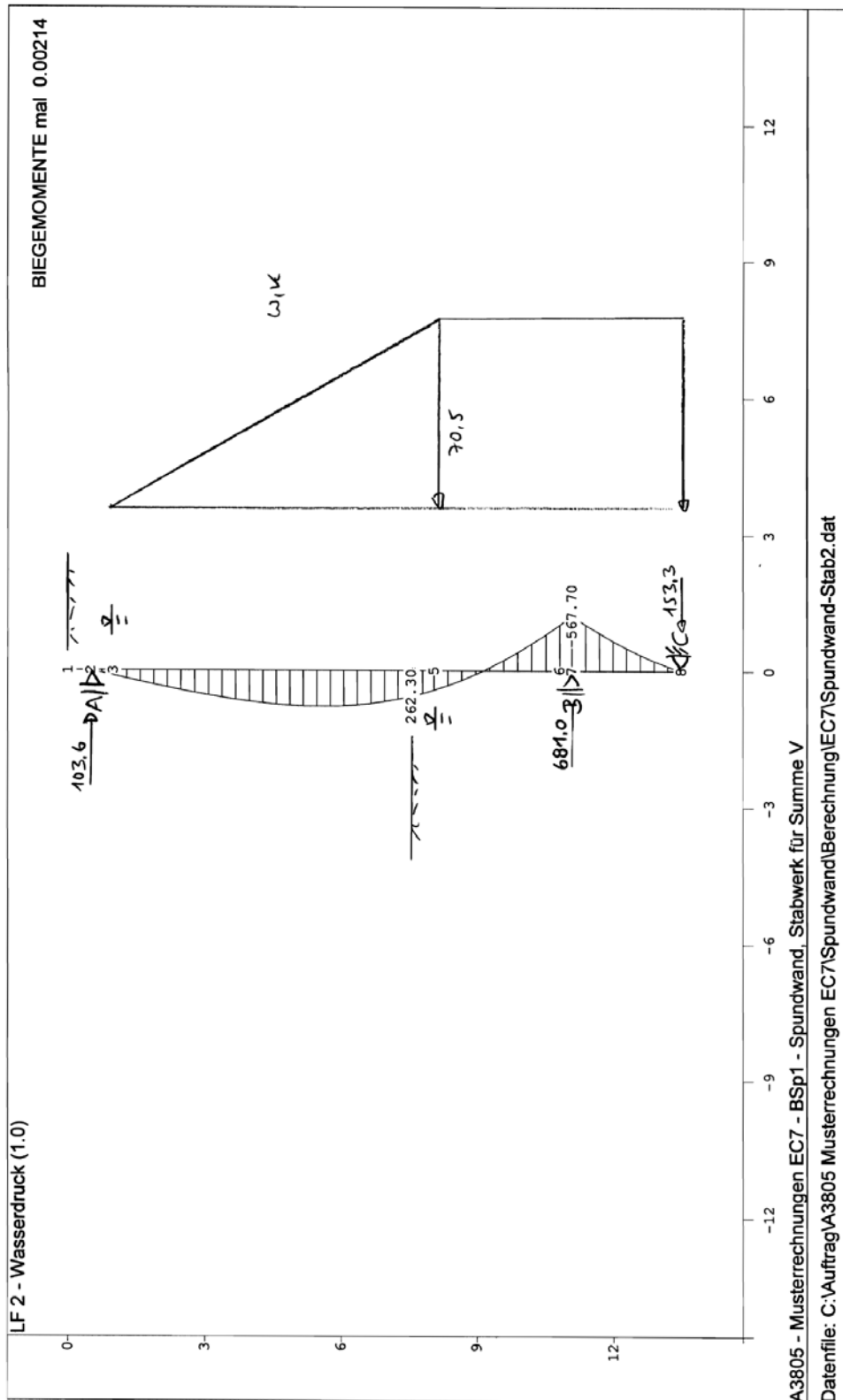
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 55
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ$ ( $\Sigma V \neq 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 57
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ$ ( $\Sigma V = 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 59
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ$ ( $\Sigma V = 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. NACHWEIS DES ERDWIDERLAGERS

Gemäß DIN 1054, 10.6.3 ist nachzuweisen, dass bei der gewählten Einbindelänge der Spundwand für das Erdwiderlager die Grenzzustandsbedingung  $B_{h,d} \leq E_{ph,d}$  erfüllt ist.

$B_{h,d}$  wird hierbei aus den charakteristischen Einwirkungen errechnet, die mit den Teilsicherheitsbeiwerten des Grenzzustandes GZ 1B multipliziert werden.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, GZ 1B, LF 2

DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,20$ :

- Spundwandeigengewicht
- aktiver Erddruck
- Nutzlast
- Wasserdruck

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände, GZ 1B, LF 2

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

- Erdwiderstand:  $\gamma_{Ep} = 1,30$

Aus der maßgebenden Stabwerksberechnung für  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$  ergibt sich bei einer rechnerischen Spundwandlänge von 13,48 m:

vgl. Rechenlauf 2 aus Abschnitt 4.

$$B_{h,k} = 963,8 \text{ kN/m}$$

$$B_{h,d} = 1,20 \cdot 963,8 = 1156,6 \text{ kN/m}$$

Der charakteristische Erdwiderstand  $E_{ph,k}$  ergibt sich gemäß der Erddruckermittlung in Tabelle 1.5 zu:

$$E_{ph,k} = 1670,3 \text{ kN/m}$$

$$E_{ph,d} = 1670,3 / 1,30 = 1284,8 \text{ kN/m} > 1156,6 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Nachweis des Erdwiderlagers	Seite 61
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

## 6. NACHWEIS DER STANDSICHERHEIT IN DER TIEFEN GLEITFUGE

Mit dem Standsicherheitsnachweis in der tiefen Gleitfuge wird die erforderliche Ankerlänge festgelegt. Es wird nachgewiesen, dass der von der Verankerung erfasste Bodenkörper bei einer Drehung um einen tief gelegenen Punkt nicht auf einer tiefen Gleitfuge abrutschen kann.

Der Standsicherheitsnachweis für die tiefe Gleitfuge wird für den Grenzzustand GZ 1B gemäß DIN 1054, 10.6.7 und EAB EB 44 mit den charakteristischen Erddrücken und Scherparametern geführt.

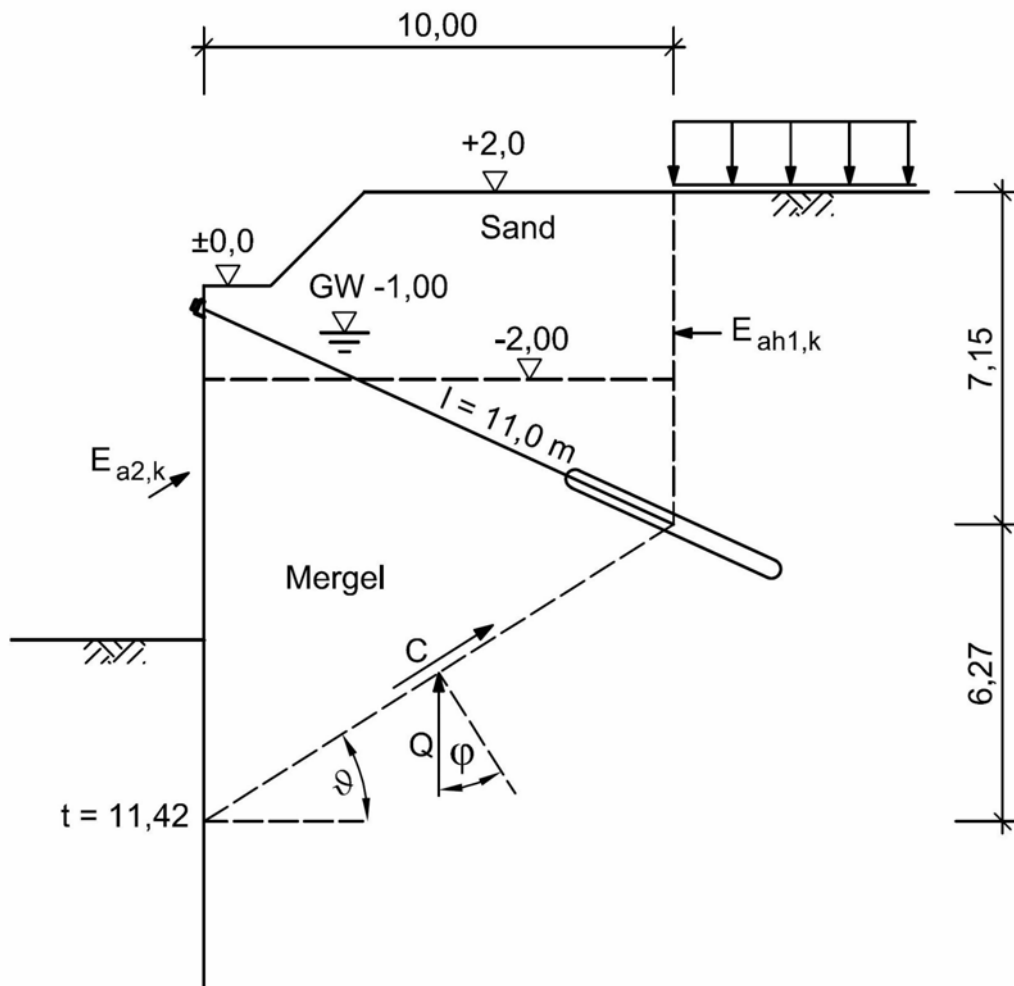


Bild 6.1: Kraftanteile für den Nachweis der tiefen Gleitfuge

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge	Seite 63
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Der rechnerische Bodenkörper wird begrenzt durch den Schwerpunkt der Verpressstrecke des Ankers auf der Erdseite und durch den Querkraftnullpunkt der Verbauwand in der Tiefe. Der Querkraftnullpunkt wird der Schnittgrößenermittlung (unter Bemessungsschnittgrößen) entnommen:  $t = 11,42$  m.

vgl. Rechenlauf 2 aus Abschnitt 3.

Der Nachweis wird für die aufgrund einer Vorbemessung gewählte Ankerlänge von 11,0 m (bis zum Schwerpunkt der Verpressstrecke) geführt.

Gewichtskraft des Bodenkörpers:

$$G_k = 1320,2 \text{ kN/m}$$

mit der in Bild 6.1 dargestellten Geometrie.

Verkehrslast auf Bruchkörper:

$$P_k = 6,0 \cdot 10,0 = 60,0 \text{ kN/m}$$

Erddruck auf Ersatzankerwand:

Der Erddruck auf die Ersatzankerwand wird unter Ansatz von  $\delta = \beta = 0^\circ$  ermittelt.

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh}(\text{Sand}) = 0,271$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$K_{agh}(\text{Mergel}) = 0,333$

$K_{ach}(\text{Mergel}) = -1,15$

Mindesterddruck:  $K^*_{agh} = K_{agh}(\varphi'_k=40^\circ) = 0,217$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1.5

Schicht	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	p	$k_{agh}$	$(\Sigma g+p) \cdot k_{ah}$	$e_{ac,k}$	$e_{ah,k}$	$E_{ah,k}$
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	2,00				0,00	10,0	0,271	2,71	0,00	2,71	0,00
		3,00	19	0							
	-1,00				57,00	10,0	0,271	18,16	0,00	18,16	31,30
		1,00	11	0							
2	-2,00				68,00	10,0	0,271	21,14	0,00	21,14	50,95
		3,15	12	20							
	-5,15				105,80	10,0	0,333	838,56	-23,0	25,13	117,2

Tabelle 6.1: aktive Erddruckordinaten auf die Ersatzankerwand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 65	
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

Erddruck auf Baugrubenwand (bis zur Tiefe 11,42 m):

$$E_{ah2,k} = 230,7 \text{ kN/m}$$

vgl. Tab.1.3

$$E_{av2,k} = E_{ah,k} \cdot \tan \delta_a$$

$$= 15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(23,33^\circ) + (230,7 - 15,1 \cdot 2,0) \cdot \tan(20^\circ)$$

$$= 86,0 \text{ kN/m}$$

Kohäsion in der Gleitfuge:

$$C_k = l_A \cdot c'_k = 2,0 \cdot 11,78 = 235,6 \text{ kN/m}$$

Die mögliche Ankerkraft wird zeichnerisch aus dem Kräfteck aller am Bruchkörper angreifenden Kräfte ermittelt:

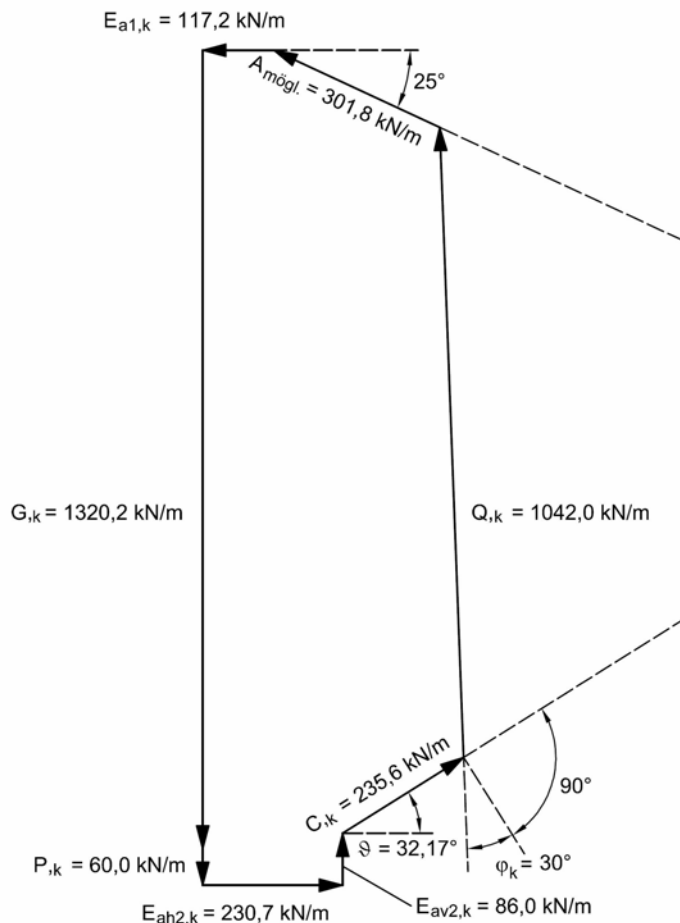


Bild 6.2: Kräfteck

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 67	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

mögliche Ankerkraft (abgelesen):

$$A_{\text{mögl.,k}} = 301,8 \text{ kN/m}$$

$$A_{\text{mögl.,d}} = A_{\text{mögl.,k}} / \gamma_{\text{Ep}} = 301,8 / 1,30 = 232 \text{ kN/m}$$

Vorhandene Ankerkraft:

$$A_{\text{h,d}} = 188,9 \text{ kN/m}$$

$$A_{\text{,d}} = 188,9 / \cos(25^\circ) = 208,4 \text{ kN/m}$$

vgl. Rechenlauf 2 aus Abschnitt 3.

Nachweis:  $A_{\text{,d}} = 208,4 \text{ kN/m} < 232 \text{ kN/m} = A_{\text{mögl.,d}}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 69	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

## 7. NACHWEIS DER GELÄNDEBRUCHSICHERHEIT

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt auf der Grundlage der DIN 4084 im Grenzzustand GZ 1C für den Lastfall 2.

DIN 1054, 12.3  
DIN 4084,  
EAB, EB 45 (7.4)

Für diesen Nachweis gehen die ständigen Einwirkungen und die großflächige Verkehrslast von  $p = 10 \text{ kN/m}^2$  mit einer Teilsicherheit  $\gamma_G = 1,00$  in die Berechnung ein.

DIN 1054, 6.4.1, Tab. 2

Die Scherparameter (Widerstände) gehen mit abgeminderten Kennwerten in die Gleitkreisberechnung ein:

DIN 1054, 6.4.2, Tab. 3

$$\begin{aligned}\tan \varphi'_d &= \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi = \tan \varphi'_k / 1,15 \\ c'_d &= c'_k / \gamma_c = c'_k / 1,15\end{aligned}$$

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt mit dem Programm GGU-Stability mit dem Lamellenverfahren von Bishop.

Es ergibt sich ein Ausnutzungsgrad von  $1/f = 0,58 < 1,0$ .

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	7. Nachweis der Geländebruchsicherheit	Seite 71
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau	ASB Nr.	Datum: 31.03.13
	DIN 1054(2005)		

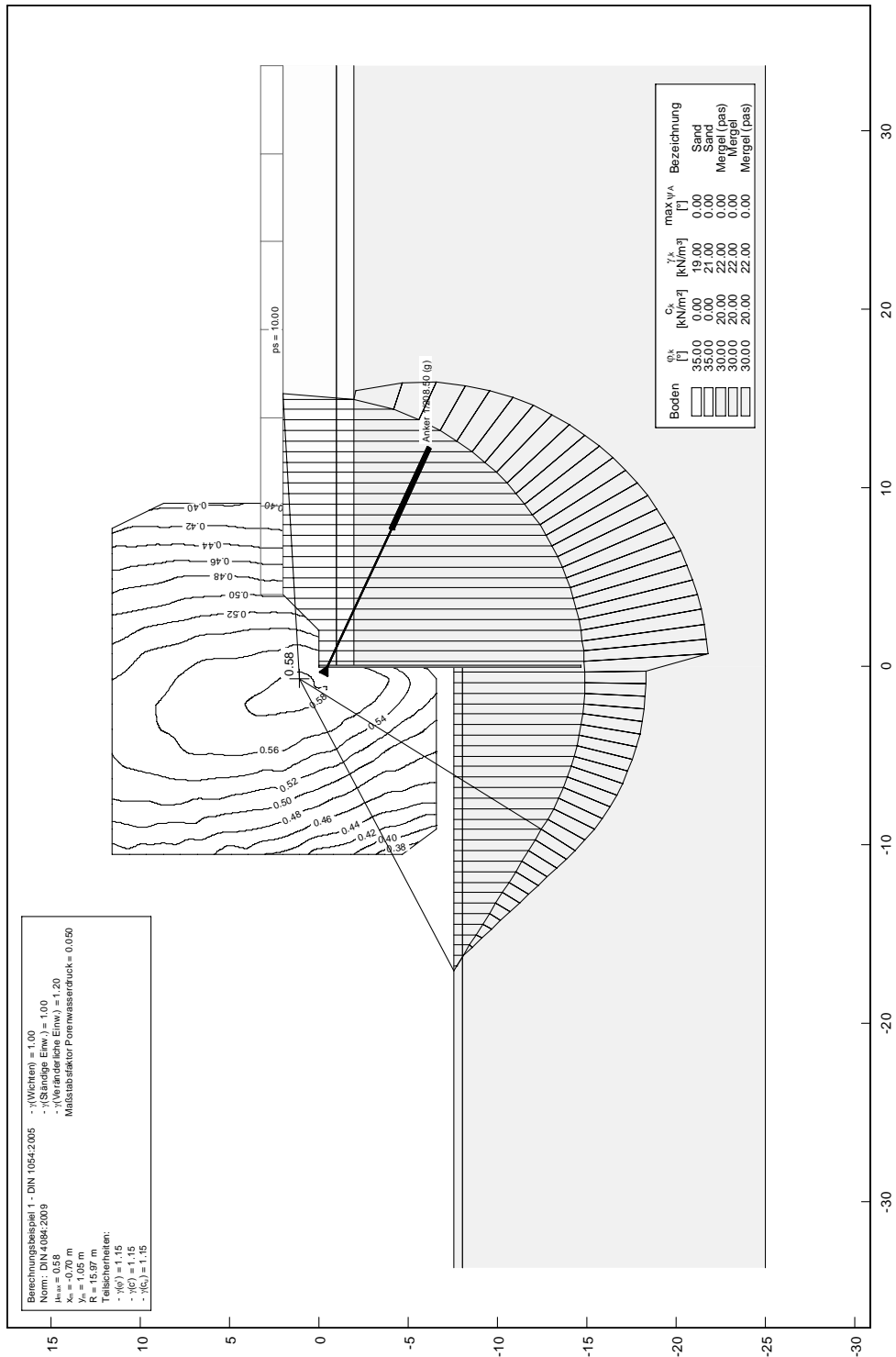


Bild 7.1: Nachweis der Geländebruchsicherheit

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	7. Nachweis der Geländebruchsicherheit	Seite 73
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 8. NACHWEIS DER SICHERHEIT GEGEN HYDRAULISCHEN GRUNDBRUCH

Der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch erfolgt im Grenzzustand GZ 1A gemäß DIN 1054, 11.5. Es kommt das Näherungsverfahren von Terzaghi-Peck zur Anwendung. Das Stromliniennetz wird mit Hilfe des Programms SS-FLOW-2D von GGU ermittelt.

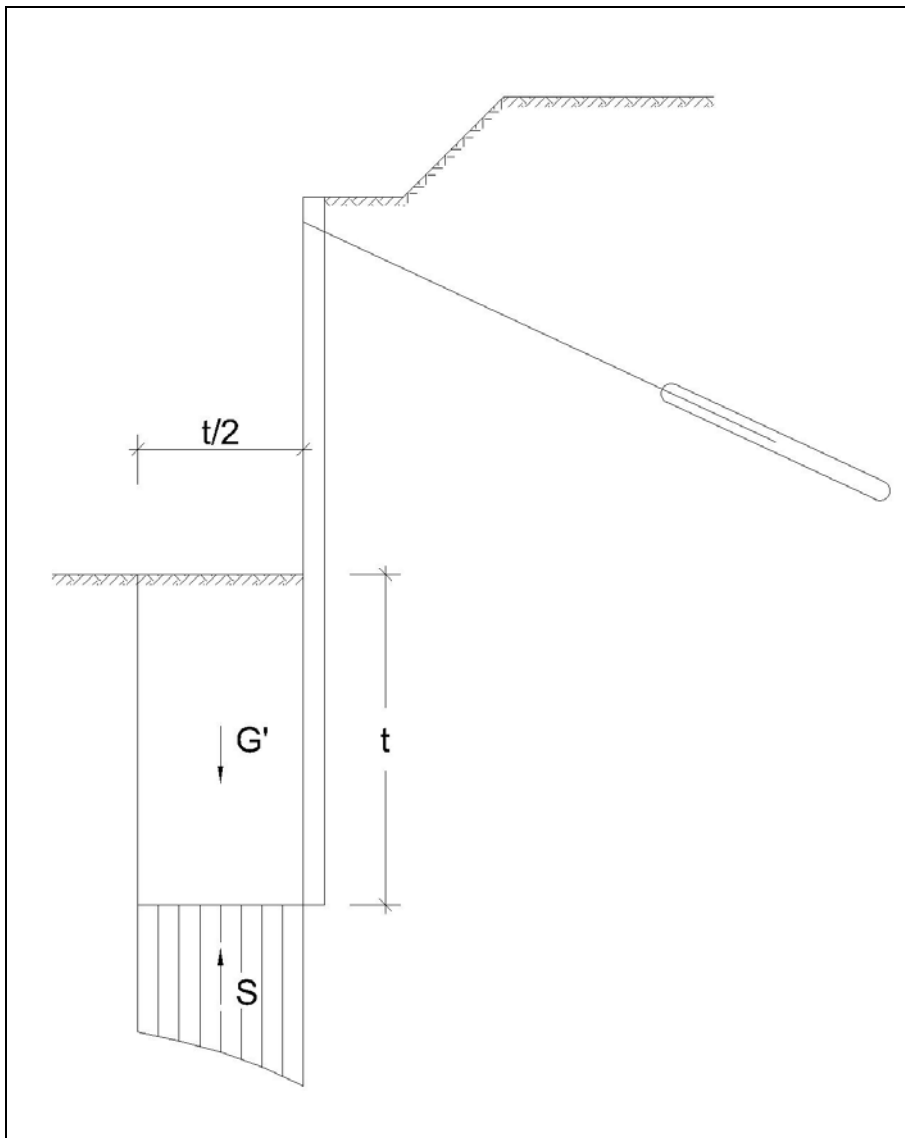


Bild 8.1: Kraftanteile für den Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nach Terzaghi-Peck

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	8. Nachweis der Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Seite 75
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

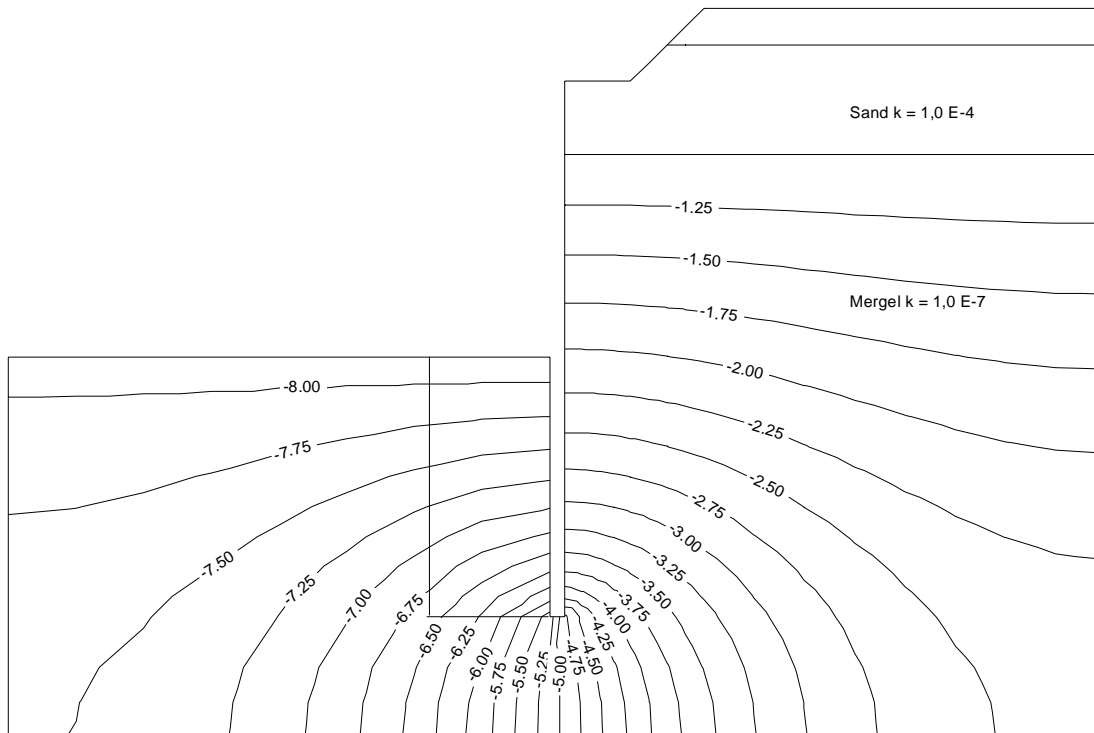


Bild 8.2: Stromliniennetz aus GGU-SS-FLOW-2D

Es ist nachzuweisen, dass die folgende Grenzzustandsbedingung eingehalten wird:

$$S'_k \cdot \gamma_H \leq G'_k \cdot \gamma_{G,stb}$$

DIN 1054, Abschn. 11.5. Gl. (62)

Spundwandlänge gewählt:  $l = 14,67 \text{ m}$

Einbindetiefe  $t = 14,67 - 7,55 = 7,12 \text{ m}$

Breite des Bodenkörpers  $b = t / 2 = 3,56 \text{ m}$

Gewichtskraft unter Auftrieb:

Da die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch maßgeblich von den Wichten des Baugrundes abhängt, sind für diesen Nachweis die unteren charakteristischen Werte der Wichten anzusetzen.

DIN 1054, Abschn. 5.3.1 (4)

Sofern das Baugrundgutachten hierüber keine Angaben enthält, können die üblicherweise angegebenen charakteristischen Mittelwerte der Wichten analog zu DIN 1055, Teil 2 (1976) abgemindert werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	8. Nachweis der Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Seite 77
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

$$G'_k = \gamma' \cdot b \cdot (t - 0,5\text{m}) + \gamma \cdot b \cdot 0,5\text{m} = 294,8 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma' = (12 - 1) = 11 \text{ kN/m}^3$

$$\gamma = (22 - 2) = 20 \text{ kN/m}^3$$

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

Strömungskraft:

Wasserdruckhöhendifferenz:  $8,05 - 1,0 = 7,05 \text{ m}$

$$S'_k = (s_a + s_b) / 2 \cdot b = 73,0 \text{ kN/m}$$

mit  $s_a = (1 - (5,375 - 1,0) / 7,05) \cdot 7,05 \cdot 10,0 = 26,8 \text{ kN/m}^2$

$$s_b = (1 - (6,625 - 1,0) / 7,05) \cdot 7,05 \cdot 10,0 = 14,3 \text{ kN/m}^2$$

Wasserdruckhöhendifferenz:  $8,05 - 1,0 = 7,05 \text{ m}$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen GZ 1A:

DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

$$\gamma_{G, \text{stb}} = 0,95 \text{ (LF 2)}$$

$$\gamma_H = 1,30 \text{ (LF 2) (günstiger Untergrund)}$$

Nachweis:

$$73,0 \cdot 1,3 = 94,9 \text{ kN/m} < 294,8 \cdot 0,95 = 280,1 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	8. Nachweis der Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Seite 79
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 9. BEMESSUNG DER BAUTEILE

### 9.1 Bemessung der Spundwand

Die Schnittgrößen der Spundwand werden dem maßgebenden Berechnungslauf 2 aus Abschnitt 3. entnommen. Die Bemessung erfolgt gemäß DIN 18800-1.

Maßgebende Schnittgrößen aus Baugrubenberechnung:

$$\max M_d = 495,65 \text{ kNm/m} \quad \text{bei } t = -5,04 \text{ m}$$

$$\text{zug } N_d = A_{v,d} + E_{av,d} + G_d = -128,4 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } A_{v,d} = 188,9 \cdot \tan 25^\circ = 88,1 \text{ kN/m}$$

$$E_{av,d} = 1,20 \cdot (15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(2/3 \cdot 35^\circ) + 15,1 \cdot 3,04 \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)) = 29,7 \text{ kN/m}$$

$$G_d = 1,20 \cdot 78,5 \cdot 0,0223 \cdot 5,04 = 10,6 \text{ kN/m}$$

$$\max V_d = 345,9 \text{ kN/m} \quad (\text{am theoretischen Spundwandfuß})$$

Nachweis Elastisch-Elastisch:

DIN 18800-1, 7.5.2  
EAB, EB 49 (13.4, Absatz 5)

Die Spundwandbohlen werden als Doppelbohlen mit verschweißten Spundwandschlössern eingebracht. Daher kann für die Biege- und Schubnachweise mit den vollen Querschnittswerten der durchlaufenden Wand gerechnet werden.

EAB, EB 49 (13.4)

$$\sigma_{S,d} = N_d / A + M_d / W_{el} = 20,4 \text{ kN/cm}^2 < 24,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } A = 223 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Lieferprogramm Hoesch

$$W_{el} = 2500 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$\sigma_{R,d} = f_{y,k} / \gamma_M = 24,0 / 1,0 = 24,0 \text{ kN/m}^2$$

DIN 18800-1, 7.5.2 (746)

$$\tau_{S,d} = V_d \cdot S \cdot \sin \alpha \cdot b / (I \cdot s) = 4,33 \text{ kN/cm}^2 < 13,9 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } S = 1400 \text{ cm}^3/\text{m}$$

Lieferprogramm Hoesch

$$\alpha = 70^\circ$$

$$b = 0,5 \text{ m}$$

$$I = 52500 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$\tau_{R,d} = f_{y,k} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_M) = 13,9 \text{ kN/cm}^2$$

DIN 18800-1, 7.5.2 (746)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 81
Vorgang:	9.1 Bemessung der Spundwand	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Bei geneigten Verankerungen ist zu prüfen, ob ein Stabilitätsnachweis gemäß DIN 18800-2 zu führen ist.

EAB, EB 49 (13.4)

Ein Knicknachweis kann entfallen, wenn die Bedingung

DIN 18800-1, 7.5.1 (739)

$$N_d \leq 0,10 \cdot N_{ki,d}$$

eingehalten ist.

$$N_{ki,d} = \pi^2 \cdot E \cdot I / s_k^2 = 13169 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = 52500 \text{ cm}^4/\text{m}$$

Für die Knicklänge  $s_k$  wird wegen der Fußeinspannung der 0,7-fache Abstand zwischen Ankerlage und Momentennullpunkt angesetzt:

$$l = 13,48 - 0,5 = 12,98 \text{ m}$$

$$s_k = 0,7 \cdot l = 9,09 \text{ m}$$

$$\text{Nachweis: } N_d = 128,4 \text{ kN/m} < 0,1 \cdot 13169 = 1316,9 \text{ kN/m}$$

Das Abgrenzungskriterium ist erfüllt, daher kann der Biegeknicknachweis entfallen.

## 9.2 Bemessung der Anker

Für den Regellastfall LF 2 ergibt sich gemäß Abschnitt 3 eine Ankerkraft von:

$$A_{h,d} = 188,9 \text{ kN/m}$$

Der Ankerabstand beträgt 2,0 m.

Die Nachweise für Verpressanker sind im Vollaushubzustand mit den Teilsicherheiten des Lastfalles 1 zu führen:

DIN 1054, Abschn. 10.4.5 (4)

ständige Einwirkungen:  $\gamma_G = 1,35$

DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

$$A_{h,d} = 188,9 \cdot 1,35 / 1,20 \cdot 2,0 = 425,0 \text{ kN}$$

$$A_d = 425,0 / \cos(25^\circ) = 469,0 \text{ kN}$$

Zusätzlich zum Tragfähigkeitsnachweis für den Lastfall 2 ist ein rechnerischer Nachweis für einen möglichen Ausfall eines Verpressankers zu führen. Dieser Nachweis wird gemäß ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1 dem Lastfall 3 zugeordnet.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, GZ 1B, LF 3

DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

ständige Einwirkungen:  $\gamma_G = 1,10$ :

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 83
Vorgang:	9.2 Bemessung der Anker	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände, GZ 1B, LF 3

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

- Erdwiderstand:  $\gamma_{Ep} = 1,20$

Die Ermittlung der Ankerkraft im Lastfall 3 erfolgt in einem zusätzlichen Berechnungslauf mit dem Baugrubenprogramm PGruWIN. Dabei werden die Einwirkungen mit ihren Bemessungswerten auf das System aufgebracht.

Der aktive Erddruck wird bis zur Baugrubensohle rechteckförmig umgelagert und mit der Teilsicherheit des Grenzzustandes GZ 1B (LF3) auf das System aufgebracht.

Der Teilsicherheitsbeiwert für den Wasserdruck wird durch Vorgabe einer größeren Wichte für das Wasser ( $\gamma_G = 1,10 \rightarrow \gamma_w = 11 \text{ kN/m}^3$ ) berücksichtigt.

Für den passiven Erddruck wird der im Abschnitt 3 ermittelte Wandreibungswinkel  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$  angesetzt. Der Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand wird gemäß DIN 1054 vorgegeben.

Es ergibt sich für den Lastfall „Ankerausfall“ eine Ankerkraft von

$$A_{h,d} = 161,4 \text{ kN/m}$$

Bei einem Ankerausfall lagert sich diese Ankerkraft je zur Hälfte auf die benachbarten Anker um. Bei einem Ankerabstand von  $a = 2,0 \text{ m}$  ergibt sich:

$$A_{h,d,A} = 161,4 \cdot 2,0 \cdot 1,5 = 484,2 \text{ kN}$$

$$A_{d,A} = A_{h,d,A} / \cos \alpha = 484,2 / \cos (25^\circ) = 534,3 \text{ kN (maßgebend)}$$

Nachweis des Stahlzugliedes

DIN 1054, 9.4.2

$$A_d = 534,3 \text{ kN} < 547,8 \text{ kN} = R_{t,d}$$

$$\text{mit } R_{t,d} = A_s \cdot f_{t,0,1,k} / \gamma_M = 547,8 \text{ kNmm}^2$$

DIN 1054, 9.4.2, (1)

$$A_s = 420 \text{ mm}^2 \text{ für Litzenanker } 3 \text{ } \varnothing 0,6''$$

siehe bauaufsichtliche Zulassung

$$f_{t,0,1,k} = 1500 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,15$$

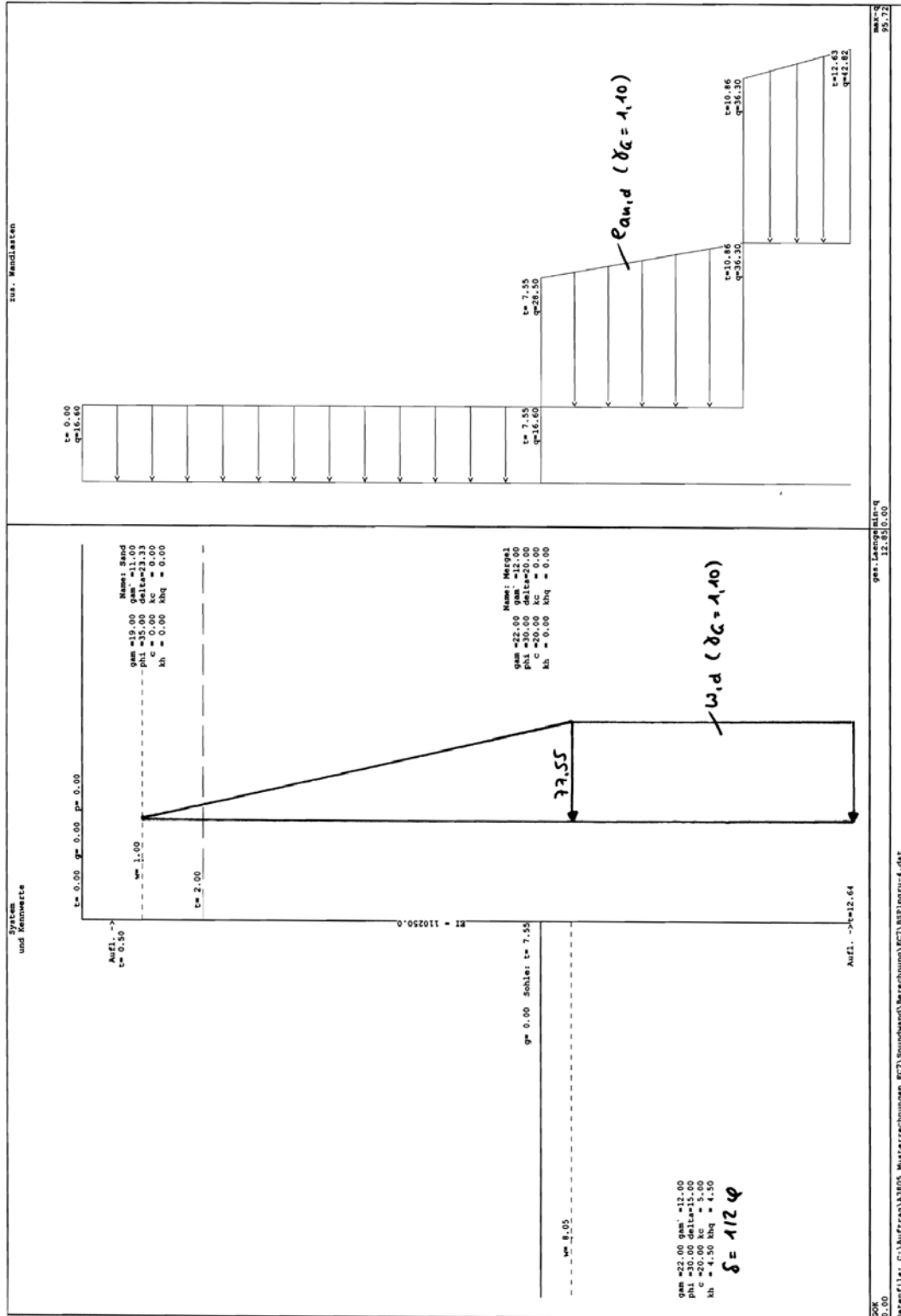
DIN 1054, Tab. 3

Der Herauszieh Widerstand der Verpressanker ist durch Eignungs- und Abnahmeprüfungen nachzuweisen.

DIN 1054, 9.4.1,  
DIN EN 1537  
DIN SPEC 18537

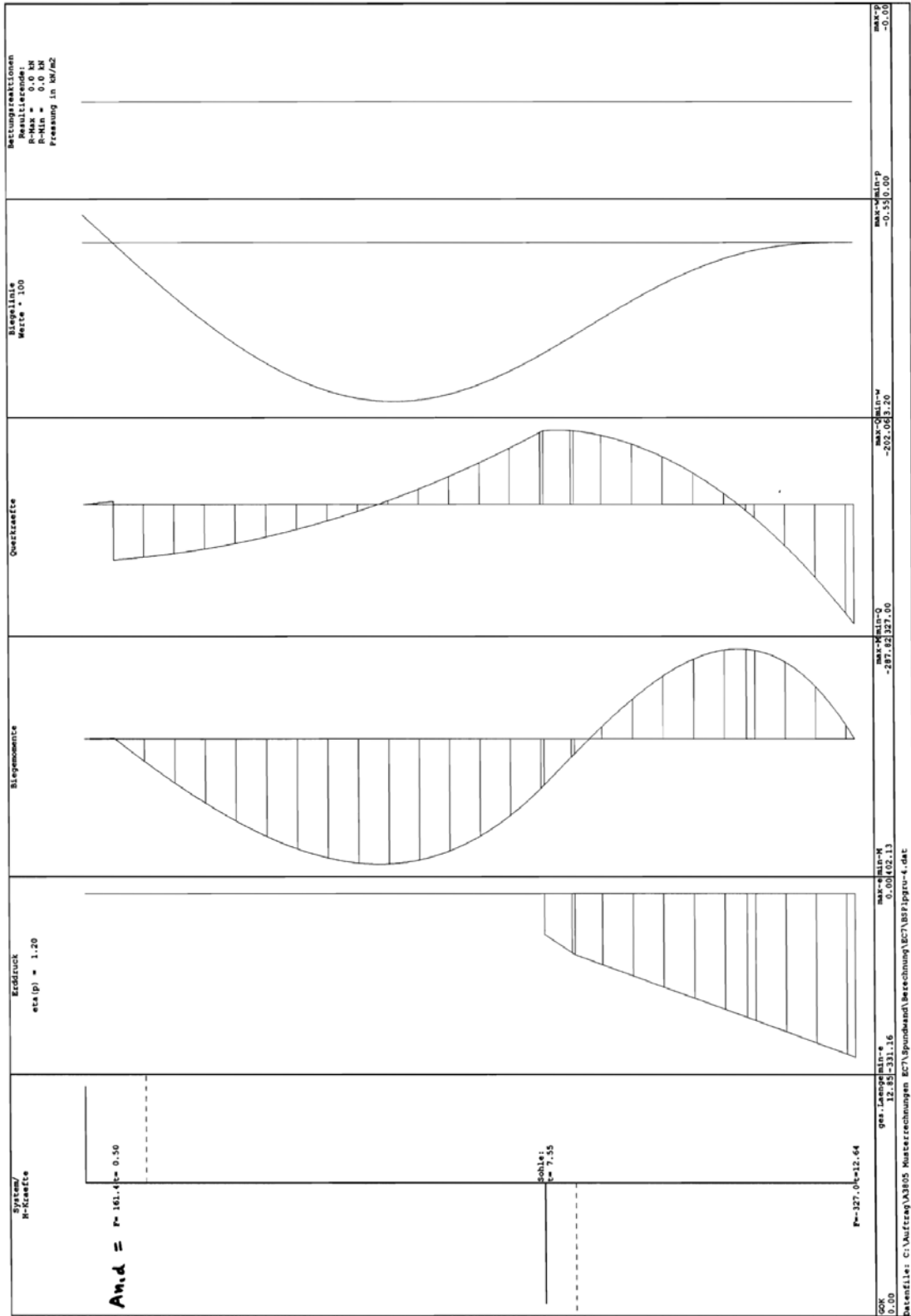
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 85
Vorgang:	9.2 Bemessung der Anker	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 87
Vorgang:	Ergebnis Berechnungslauf 3 im LF 3 (Ankerausfall)	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 89
Vorgang:	Ergebnis Berechnungslauf 3 im LF 3 (Ankerausfall)	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 10. ERGEBNIS DER VERBAUBEMESSUNG

Spundwand: Larssen 24, S240 GP  
Gesamtlänge  $L = 14,67$  m  
Einbindelänge  $t = 7,12$

Anker: Litzenanker 3  $\varnothing 0,6$  "  
St 1570 / 1770  
Ankerlänge  $L_A = 11,0$  m  
Ankerabstand  $a = 2,00$  m  
Ankerneigung  $\alpha = 25^\circ$

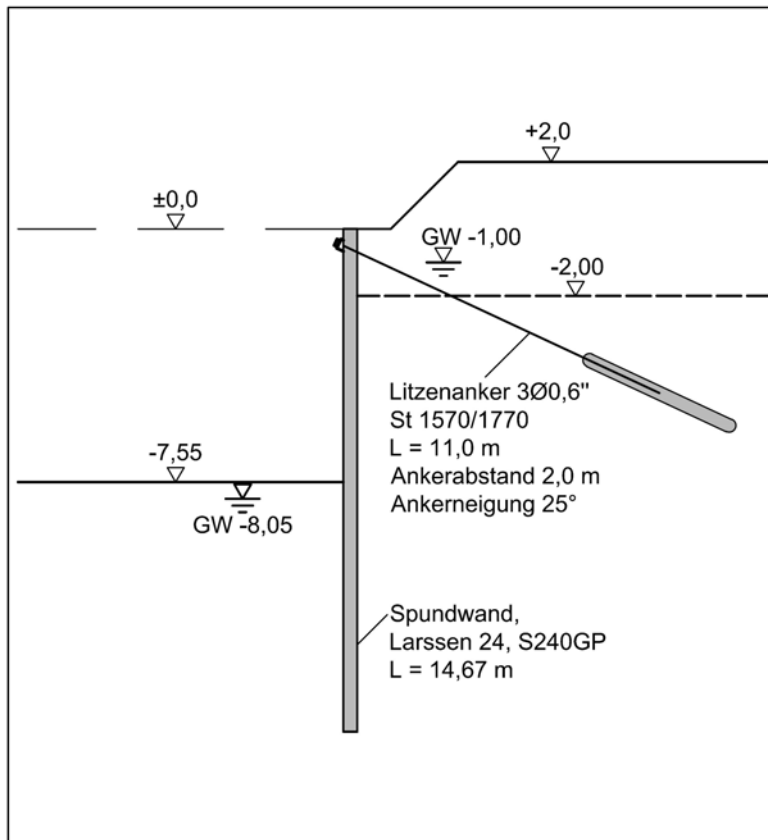


Bild 10.1: Ergebnis der Verbaubemessung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	10. Ergebnis der Verbaubemessung	Seite 91
Vorgang:		

# **Stand sicherheitsnachweis für einen Spundwandverbau**

## **Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis  
für einen Spundwandverbau**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	2
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	4
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	8
IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	12
1. Berechnungsgrundlagen	14
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	14
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	16
1.3 Statisches System	18
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	20
2. Berechnungsablauf	28
3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen	34
4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	46
5. Nachweis des Erdwiderlagers	62
6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge	64
7. Nachweis der Geländebruchsicherheit	72
8. Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch	76
9. Bemessung der Bauteile	82
9.1 Bemessung der Spundwand	82
9.2 Bemessung der Anker	84
10. Ergebnis der Verbaubemessung	92

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis		Archiv-Nr.
Block:		Seite 2	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### **Allgemeines, Geometrie**

Das betrachtete Bauwerk ist ein Baugrubenverbau für die Herstellung eines Trogbauwerkes. Es ist eine Aushubtiefe von 9,55 Metern erforderlich, die durch eine geböschte Baugrube in Verbindung mit einem einfach verankerten Spundwandverbau gesichert wird.

### **Baugrund und Grundwasser**

Im Bereich der betrachteten Baugrube steht ab ca. 4,0 m unter OK Gelände bis in größere Tiefen halbfester bis fester Geschiebemergel an. Er wird überlagert von locker bis mitteldicht gelagerten Sanden mit Mächtigkeiten von rund 4,0 m. Die Geländeoberfläche wird von einer Dezimeter dicken Mutterbodenschicht gebildet. Der Grundwasserspiegel liegt zwischen 3,0 m und 6,0 m unter OK Gelände.

### **Herstellung und Tragsystem**

Nach einem Voraushub in Form einer geböschten Baugrube von 2,0 m Tiefe werden Spundwände als Baugrubensicherung hergestellt. Die Spundwände werden 0,5 m unterhalb des Wandkopfes und damit 0,5 m über dem höchsten Grundwasserspiegel mit vorgespannten Verpressankern gestützt. Der anstehende Mergel ist hinreichend wasserdicht, so dass ein Aushub unter gleichzeitigem Lenzen des Grundwassers innerhalb der Grube und eine offene Wasserhaltung über einen Pumpensumpf in der Grube möglich sind. Die Baugrubenwand wird als Baubehelf für Wasserdruck und aktiven Erddruck bemessen. Sie wird nach dem Verfüllen des Arbeitsraumes wieder gezogen.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 4	
Vorgang:			



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

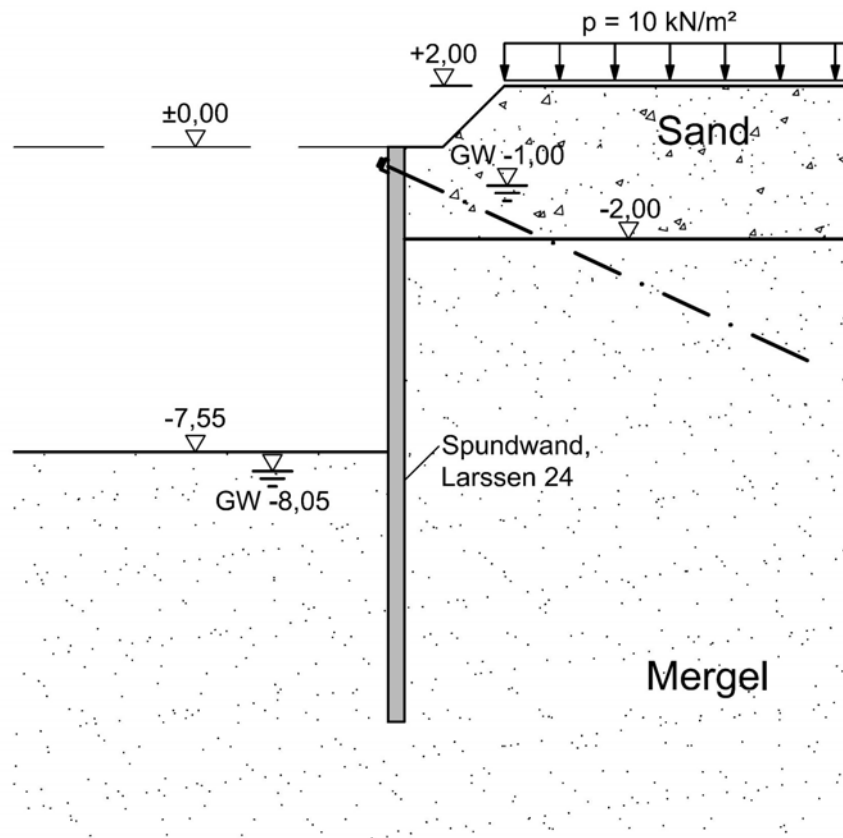


Bild II.1: Spundwandverbau, Querschnitt

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 6	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 2, Abschn. 1	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Grundbau, Baugruben, Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwurf 2012-08
DIN EN 1990	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1990/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1990, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-1-1, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1993-1-1	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1993-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1993-1-1, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1993-5	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 5: Pfähle und Spundwände, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1993-5/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1993-5, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1997-1	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Ausgabe 2009-09
DIN EN 1997-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1055 Teil 2	Lastannahmen für Bauten, Bodenkenngößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel, Ausgabe 1976-02
DIN 4084	Baugrund – Geländebruchberechnungen, Ausgabe 2009-01
DIN 4085	Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe 2011-05
DIN EN 1537	Verpressanker, Ausgabe 2001-01
DIN EN 1537, Ber.1	Verpressanker, Berichtigung 1, Ausgabe 2011-12
DIN EN 10248 Teil1	Warmgewalzte Spundbohlen aus unlegierten Stählen; Technische Lieferbedingungen, Ausgabe 8.95
EAB	Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst und Sohn, 5. Auflage, 2012
Spundwandhandbuch	Berechnungen, Hoesch Stahl AG

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen		Archiv-Nr.
Block:		Seite 8	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

EDV-Programme:

PGruWIN	Berechnung von Baugrubenwänden, Verfasser: Dr.-Ing. D. Winselmann, Braunschweig 2007
PRaWIN	Berechnen und Zeichnen von Rahmen und Trägerrosten, Verfasser: Dr.-Ing. D. Winselmann, Braunschweig 2009
GGU-Stability	Böschungsbruch nach DIN 4084(2009), Verfasser: GGU Braunschweig, 2012
GGU-SS-FLOW2D	Berechnung von zweidimensionalen Grundwasserströmungen mit der Finiten-Element- Methode, Verfasser: GGU Braunschweig, 2012

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen		Archiv-Nr.
Block:		Seite 10	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des Baubehelfes gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1 (Grundbau, Baugruben).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise des Baugrubenverbaus
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser
- DIN 4084: für die Böschungsbruchberechnung
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung
- DIN EN 1993-5: für die Bemessung und die Material-Teilsicherheitsbeiwerte der Spundwand
- EAB: für Details der Nachweise

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 12	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Tiefe unter GOK	Wichte feucht	Wichte unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	Durchlässigkeit
	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	m/s
Sand	0,0 - 4,0	19	11	35	0	1,0E-4
Mergel	4,0 - >20,0	22	12	30	20	1,0E-7

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Die Grundwasserstände sind wie folgt anzunehmen:

Grundwasser	Tiefe unter GOK
	m
max GW	3,0
min GW	6,0

Tabelle 1.2: Grundwasserstände

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 14
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

Für den Baugrubenverbau werden auf der Grundlage einer Vorbemessung die nachfolgenden Verbaumittel gewählt:

### Spundwand

Spundwandtyp	Larssen 24	
Spundwandstahl	S 240 GP	DIN EN 10248-1
Streckgrenze	$f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 10248-1, DIN EN 1993-5
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_{M0} = 1,0$	DIN EN 1993-1-1

### Litzenanker

Litzenanzahl	3 Ø 0,6"	
Stahlgüte	St 1570/1770	
charakteristische Spannstahlspannung bei 0,1 % bleib. Dehnung	$f_{t,0.1,k} = 1500 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 1537

Teilsicherheitsbeiwerte STR und GEO-2 DIN 1054, Tab. A2.3

Stahlzugglied	$\gamma_M = 1,15 \text{ (BS-T)}$
Verpreßkörper	$\gamma_a = 1,10 \text{ (BS-T)}$

### Boden

Teilsicherheitsbeiwerte GEO-2 DIN 1054, Tab. A2.3

Erdwiderstand	$\gamma_{R,e} = 1,30 \text{ (BS-T)}$
Erdwiderstand beim LF AnkerAusfall	$\gamma_{R,e} = 1,20 \text{ (BS-A)}$

Tiefe Gleitfuge  $\gamma_{R,e} = 1,30 \text{ (BS-T)}$  EAB, EB 44 (7.3)

Teilsicherheitsbeiwerte GEO-3 DIN 1054, Tab. A2.2

Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$	$\gamma_{\varphi'} = 1,15 \text{ (BS-T)}$
Kohäsion $c'$	$\gamma_{c'} = 1,15 \text{ (BS-T)}$
Verpresskörper	$\gamma_a = 1,10 \text{ (BS-T)}$

Bauteil:	IV. A Baugrubenverbau		Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 16	
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

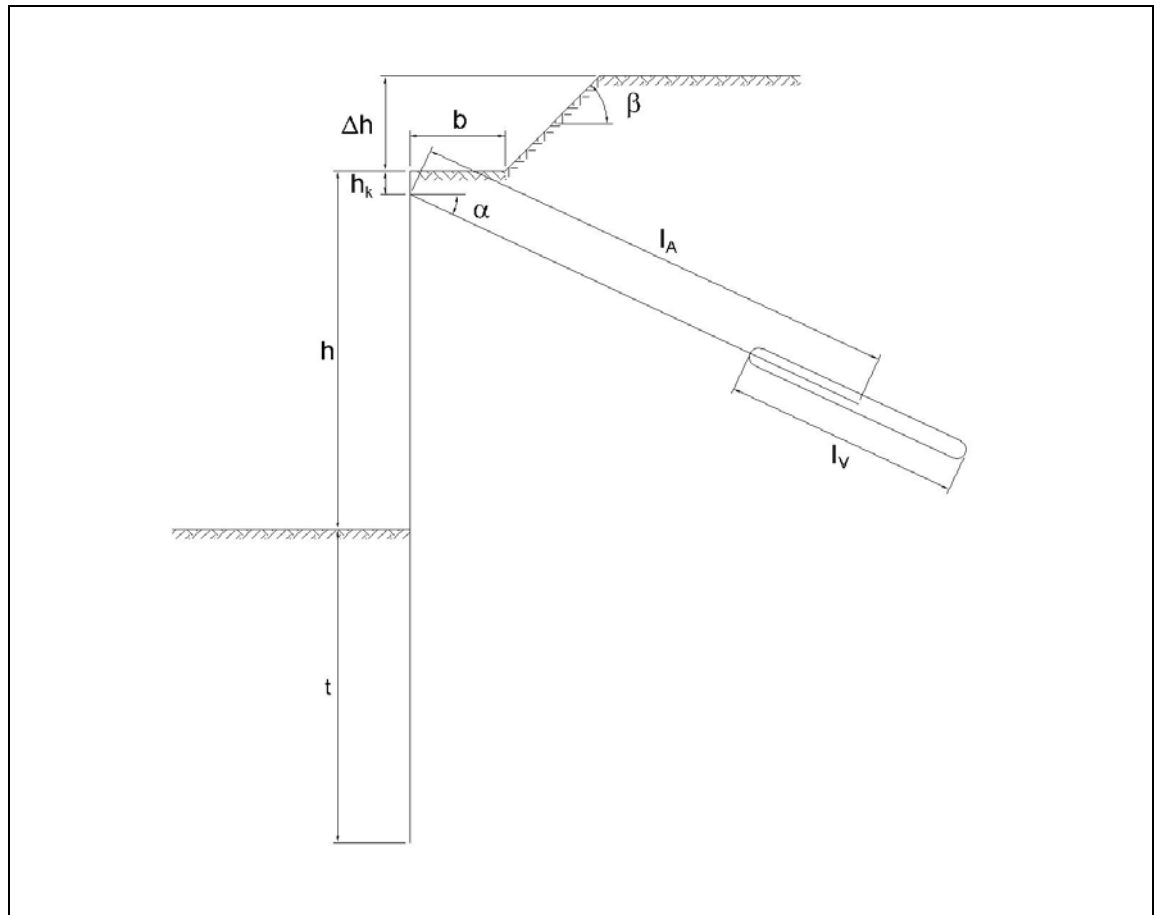


Bild 1.1: Statisches System

#### Geometrie:

Höhe der Böschung	$\Delta h = 2,0 \text{ m}$
Böschungsneigung	$\beta = 45^\circ$
Breite der Berme	$b = 2,0 \text{ m}$
Höhe der Spundwand	$h = 7,55 \text{ m}$
erf. Einbindetiefe	$t$
Ankeransatzhöhe	$h_k = 0,50 \text{ m}$
Ankerneigung	$\alpha = 25^\circ$
Ankerlänge	$l_A$
Verpressstrecke	$l_V = 5,00 \text{ m}$
Ankerabstand	$a = 2,00 \text{ m}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 18
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

### Spundwandeigengewicht

$$g_k = 78,5 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,0223 \text{ m}^2/\text{m} = 1,75 \text{ kN/m}^2$$

DIN EN 1991-1-1

### Aktiver Erddruck

Es wird der aktive Erddruck angesetzt, da keine besonderen Anforderungen an die Verformungsbegrenzung vorliegen.

DIN 1054, 9.5.1, A (2b)

Wandreibungswinkel  $\delta_a = \frac{2}{3} \varphi'_k$

DIN 4085, Anhang A

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh}(\text{Sand}) = 0,224$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$K_{agh}(\text{Mergel}) = 0,279$

$K_{ach}(\text{Mergel}) = -0,922$

Mindesterddruck bei kohäsiven Böden:

DIN 4085, Abschn. 6.3.1.5

$$K^*_{agh} = K_{agh}(\varphi'_k=40^\circ) = 0,179$$

### Zusatzdrücke aus Berme und Nutzlast

Sp-Hb, Abschn. 4.9.2, Bild 4.13

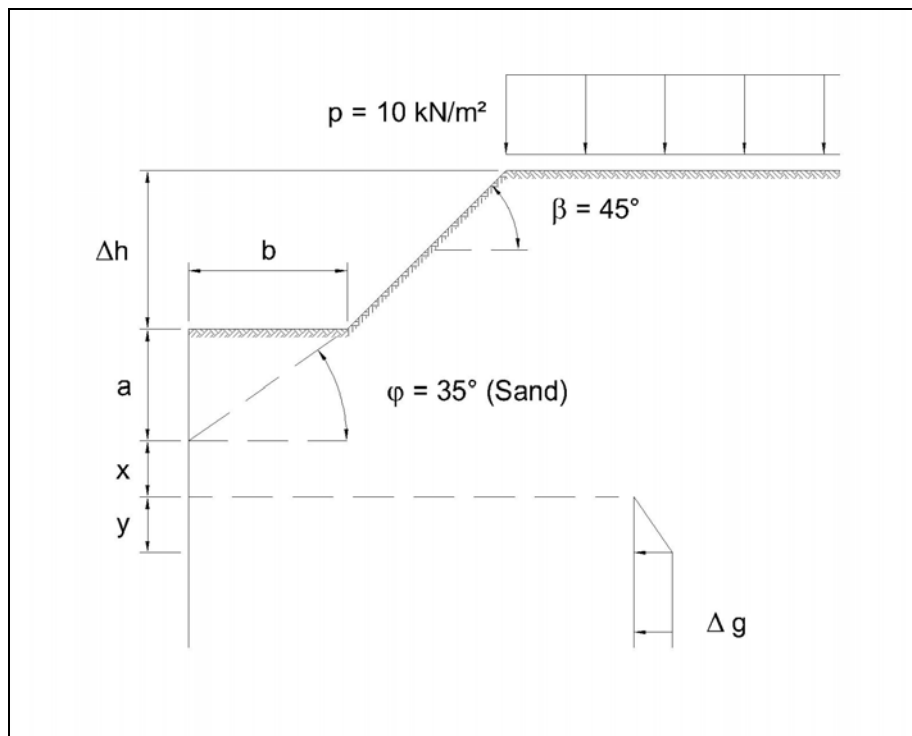


Bild 1.2: Lotrechter Zusatzdruck aus gebrochener Böschung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 20
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

$$a = b \cdot \tan \varphi = 1,40 \text{ m}$$

$$x = k_{ah0} / (k_{ah\varphi} - k_{ah0}) \cdot a = k \cdot a = 0,704 \text{ m} \quad \text{Sp-Hb, Abschn. 4.9.2.2, Gl. (4.25)}$$

mit  $k_{ah\varphi} = 0,671$

$$y = \tan \varphi / \tan \beta \cdot k \cdot \Delta h = 0,704 \text{ m} \quad \text{Sp-Hb, Abschn. 4.9.2.2, Gl. (4.26) und (4.27)}$$

$$\Delta g_k = \gamma \cdot \Delta h + p = 48,0 \text{ kN/m}^2$$

Maßgebend für die Bemessung sind die Erddruckordinaten bei max GW:

Schicht	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	$\Delta g$	$k_{agh}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	$e_{ac,k}$	$e_{ah,k}$	$E_{ah,k}$
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	0,00				0,00	0,00	0,224	0,00	0,00	0,00	0,00
		1,00	19	0							
	-1,00				19,00	0,00	0,224	4,26	0,00	4,26	2,13
		1,00	11	0							
	-2,00				30,00	0,00	0,224	6,73	0,00	6,72	7,62
2	-2,00				30,00	0,00	0,279	8,37	-18,44	5,37	7,62
		0,10	12	20							
	-2,10				31,25	0,00	0,279	8,72	-18,44	5,59	8,19
		0,70	12	20							
	-2,81				39,70	48,00	0,279	24,47	-18,44	15,70	15,68
		2,19	12	20							
	-5,00				66,00	48,00	0,279	31,81	-18,44	20,41	55,25
		2,55	12	20							
	-7,55				96,60	48,00	0,279	40,34	-18,44	25,88	114,27
		0,50	12	20							
	-8,05				102,6	48,00	0,279	42,02	-18,44	26,96	127,48
		2,72	12	20							
	-10,77				135,24	48,00	0,279	51,12	-18,44	32,80	208,75
		0,09	12	20							
	-10,86				136,92	48,00	0,279	51,43	-18,44	32,99	211,71
	0,23	12	20								
-11,09				139,08	48,00	0,279	52,20	-18,44	33,76	219,39	
	1,89	12	20								
-12,98				161,76	48,00	0,279	58,52	-18,44	40,08	289,16	
	0,5	12	20								
-13,48				167,76	48,00	0,279	60,20	-18,44	41,76	309,62	
	1,52	12	20								
-15,00				186,00	48,00	0,279	65,29	-18,44	46,85	376,96	

Tabelle 1.3: aktive Erddruckordinaten bei max GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 22
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Rechteckförmige Erddruckumlagerung bis zur Baugrubensohle

EAB, EB 70 (6.2, Abs. 2)

$$e_{ah,k} = E_{ah,k} / h = 114,27 / 7,55 = 15,1 \text{ kN/m}^2$$

### Passiver Erddruck

Der passive Erddruck wird für gekrümmte Gleitflächen ermittelt:

- Wandreibungswinkel  $\delta_p = -2/3 \varphi'_k$

DIN 4085, Anhang A

-  $k_{pgh}$  (Mergel) = 5,0

DIN 4085, 6.5.1

-  $k_{pch}$  (Mergel) = 5,4

DIN 4085, 6.5.1

$-2/3 \varphi'_k$	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	$K_{pgh}$	$\Sigma g \cdot k_{ph}$	$K_{pch}$	$e_{pc,k}$	$e_{ph,k}$	$E_{ph,k}$
Schicht	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
2	-7,55				0,00	5,0	0,00	5,4	108,0	108,00	0
		0,50	22	20							
	-8,05				11,00	5,0	55,00	5,4	108,0	163,00	67,75
		0,95	12	20							
	-9,00				22,40	5,0	112,00	5,4	108,0	220,00	249,68
		1,91	12	20							
	-10,91				45,32	5,0	226,60	5,4	108,0	334,60	779,32
		2,07	12	20							
	-12,98				70,16	5,0	350,80	5,4	108,0	458,80	1600,5
	1,02	12	20								
-14,00				82,40	5,0	412,00	5,4	108,0	520,00	2099,7	

Tabelle 1.4: passive Erddruckordinaten bei  $\delta_p = -2/3 \varphi'_k$

Der passive Wandreibungswinkel und die entsprechenden passiven Erddruckbeiwerte werden im Zuge der Nachweise iterativ so verändert, dass das Gleichgewicht der Vertikalkräfte sichergestellt ist.

- Wandreibungswinkel  $\delta_p = -1/2 \varphi'_k$

-  $k_{pgh}$  (Mergel) = 4,5

DIN 4085, 6.5.1

-  $k_{pch}$  (Mergel) = 5,0

DIN 4085, 6.5.1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 24
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

$-1/2 \varphi'_k$	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	$K_{pgh}$	$\Sigma g \cdot k_{ph}$	$K_{pch}$	$e_{pc,k}$	$e_{ph,k}$	$E_{ph,k}$
Schicht	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
2	-7,55				0,00	4,5	0,00	5,0	100,0	100,00	0
		0,50	22	20							
	-8,05				11,00	4,5	49,50	5,0	100,0	149,50	62,38
		0,95	12	20							
	-9,00				22,40	4,5	100,80	5,0	100,0	200,80	228,77
		1,00	12	20							
	-10,00				34,40	4,5	154,80	5,0	100,0	254,80	456,57
		1,09	12	20							
	-11,09				47,48	4,5	213,66	5,0	100,0	313,66	766,38
	2,39	12	20								
-13,48				76,16	4,5	342,72	5,0	100,0	442,72	1670,25	

Tabelle 1.5: passive Erddruckordinaten bei  $\delta_p = -1/2 \varphi'_k$

#### Wasserdruck

-  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

DIN EN 1991-1-1

- Wasserstand Aktivseite: -1,0 m

- Wasserstand Passivseite: -8,05 m

Aufgrund des dichten Mergels, der eine Umströmung der Spundwand verhindert, wird der hydrostatische Wasserdruck angesetzt.

DIN 1054, Abschn. 9.6, A (8),  
DIN 1054, Abschn. 9.5.6 A (4),

Dieser Ansatz ist nach einer Vergleichsberechnung gegenüber dem Ansatz eines Strömungsdruckes mit einem infolge der Umströmung abgeminderten Erdwiderstand maßgebend.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 26
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. BERECHNUNGSABLAUF

Der Baugrubenverbau ist auf der Grundlage der DIN EN 1997-1 und der DIN 1054 nachzuweisen. Diese fordern die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.

Für den vorliegenden Baugrubenverbau sind die folgenden Nachweise erforderlich:

1. Grenzzustand HYD: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch:  
Für diesen Grenzzustand wird die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nachgewiesen.
2. Grenzzustand STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund:  
In diesem Grenzzustand werden die Bauteile Spundwand, Anker und Gurtung bemessen. Hierin enthalten ist auch der Nachweis in der tiefen Gleitfuge, der die Länge und Neigung der Anker bestimmt.
3. Grenzzustand GEO-3: Grenzzustand des Verlustes der Gesamtsicherheit:  
Hier wird die Geländebruchsicherheit nachgewiesen.

Die Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (Verformungen, Dichtigkeit) entfallen für den Spundwandverbau, vgl. DIN 1054, 9.8.1.1, A(1a), da keine setzungsempfindlichen baulichen Anlagen in der Nähe des Verbaus vorhanden sind.

Ergänzend zu DIN EN 1997-1 und DIN 1054 werden in den Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB) konkrete Angaben zu den zu führenden Nachweisen gemacht. Die EAB sind gemäß ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1, zu beachten.

Demnach ergibt sich der folgende Berechnungsablauf:

### 1) Ermittlung der Einbindelänge und Schnittgrößenermittlung

Die Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen ist prinzipiell unter charakteristischen Einwirkungen und charakteristischen Bodenreaktionen durchzuführen.

Bei linear-elastischen Systemen kann die erforderliche Einbindelänge der Spundwand jedoch auch direkt durch Ansatz der Bemessungswerte von Einwirkungen und Widerständen im Grenzzustand STR und GEO-2 ermittelt werden.

DIN 1054, A9.7.1.2 und A9.7.1.4

EAB, EB 80 (4.3)  
EAB, EB 82 (4.4)  
EAB, EB 104 (4.11)

EAB, EB 80 (4.3, Absatz 11)  
EAB, EB 104 (4.11)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 28
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

#### 2) Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstandes

DIN 1054, A9.7.8

Für die gewählte Einbindelänge ist der Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstandes zu führen. Dies geschieht unter Ansatz charakteristischer Lasten.

EAB, EB 9 (4.7)

Wenn der Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstandes nicht erfüllt wird, ist die Neigung des passiven Erddruckes iterativ zu verringern und die Einbindelänge neu zu ermitteln, bis der Nachweis erfüllt ist.

#### 3) Nachweis des Erdwiderlagers

DIN EN 1997-1, 9.7.4

Es ist nachzuweisen, dass der resultierende, mobilisierte Erdwiderstand kleiner ist als der mögliche Erdwiderstand. Dieser Nachweis wird unter Ansatz der Bemessungswerte des mobilisierten und des möglichen Erdwiderstandes im Grenzzustand GEO-2 geführt.

EAB, EB 80 (4.3, Absatz 5 und 8)

#### 4) Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge

DIN 1054, A9.7.9

Bei verankerten Konstruktionen ist der Nachweis des Versagens in der tiefen Gleitfuge zu führen. Dieser Nachweis erfolgt unter charakteristischen Einwirkungen und Scherparametern. Die Festlegung der erforderlichen Ankerlänge erfolgt anschließend mit den Teilsicherheiten des Grenzzustandes GEO-2.

EAB, EB 44 (7.4)

#### 5) Nachweis der Geländebruchsicherheit

DIN EN 1997-1, 9.7.2

Bei verankerten Baugrubenwänden ist grundsätzlich auch der Nachweis der Geländebruchsicherheit zu erbringen. Dieser wird im Grenzzustand GEO-3 unter Ansatz abgeminderter Scherparameter des Baugrundes geführt.

EAB, EB 45 (7.4)

#### 6) Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

DIN EN 1997-1, 10.3

Der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch wird im Grenzzustand HYD geführt.

EAB, EB 61 (10.4)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 30
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 7) Bemessung der Bauteile

DIN EN 1997-1, 9.7.6

Die Bemessung der Bauteile (Spundwand, Anker) erfolgt im Grenzzustand STR auf der Grundlage der DIN EN 1993-5 bzw. der DIN 1054. Für die Anker sind darüber hinaus die DIN EN 1537 in Verbindung mit DIN SPEC 18537 und die bauaufsichtlichen Zulassungen zu beachten.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 32	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

### 3. ERMITTLUNG DER EINBINDELÄNGE UND DER SCHNITTGRÖSSEN

Die erforderliche Einbindelänge der Spundwand darf bei linear-elastischen Systemen direkt durch Ansatz der Bemessungswerte von Einwirkungen und Widerständen ermittelt werden. EAB, EB 80 (4.3, Absatz 11)

In den Berechnungen wird eine Volleinspannung der Baugrubenwand am Fuß angesetzt, da Spundwände i.a. ausreichend biegeweich sind, damit sich bei dem hier vorliegenden steifen bindigen Boden eine volle bodenmechanische Einspannung ausbildet. EAB, EB 26 (6.4)

Die Ermittlung der Einbindetiefe und der Schnittgrößen erfolgt mit dem Baugrubenprogramm PGruWIN. Die erforderliche Einbindetiefe wird dabei vom Programm iterativ unter Ansatz der Ersatzkraft nach Blum ermittelt.

Der aktive Erddruck wird bis zur Baugrubensohle rechteckförmig umgelagert und mit der Teilsicherheit des Grenzzustandes GEO-2 auf das System aufgebracht. EAB EB 70 (6.2, Abs. 2)

Der Teilsicherheitsbeiwert für den Wasserdruck wird durch Vorgabe einer größeren Wichte für das Wasser ( $\gamma_G = 1,20 \rightarrow \gamma_w = 12 \text{ kN/m}^3$ ) berücksichtigt.

Der Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand wird gemäß DIN 1054 vorgegeben.

Für die baugrundspezifischen Einwirkungen und Widerstände – hierzu zählen auch die Verpressanker – sind die Teilsicherheitsbeiwerte aus DIN 1054, Tab. A 2.1 bis A 2.3 zu entnehmen. Für die baugrundunabhängigen Widerstände gelten die entsprechenden Materialnormen. Für die Spundwand ist DIN EN 1993-5 maßgebend.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, STR / GEO-2, BS-T  
ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,20$ : DIN 1054, Tab. A2.1

- Spundwandeigengewicht
- aktiver Erddruck
- Nutzlast ( $p=10 \text{ kN/m}^2$ )
- Wasserdruck

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 34	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände, STR / GEO-2, BS-T

DIN 1054, Tab. A2.3

- Erdwiderstand:

für Bemessung Einbindelänge:  $\gamma_{R,e} = 1,30$

für Schnittgrößen des Verbaus:  $\gamma_{R,e} = 1,30$

für LF Ankerausfall:  $\gamma_{R,e} = 1,20$

Auf den nachfolgenden Seiten werden die Eingabewerte und Ergebnisse von zwei Rechenläufen dargestellt:

Lauf 1 mit Neigungswinkel des Erdwiderstandes  $\delta_p = -2/3\varphi'_k = -20^\circ$  und – da dieser Ansatz nicht das Gleichgewicht in vertikaler Richtung erfüllt – Lauf 2 mit  $\delta_p = -1/2 \varphi'_k = -15^\circ$ .

Aus dem Berechnungslauf 2 ergibt sich eine rechnerisch erforderliche Einbindelänge von  $(13,48 - 7,55) = 5,93$  m. Diese ist gemäß EAB mit einem Längenzuschlag von 20% zu versehen.

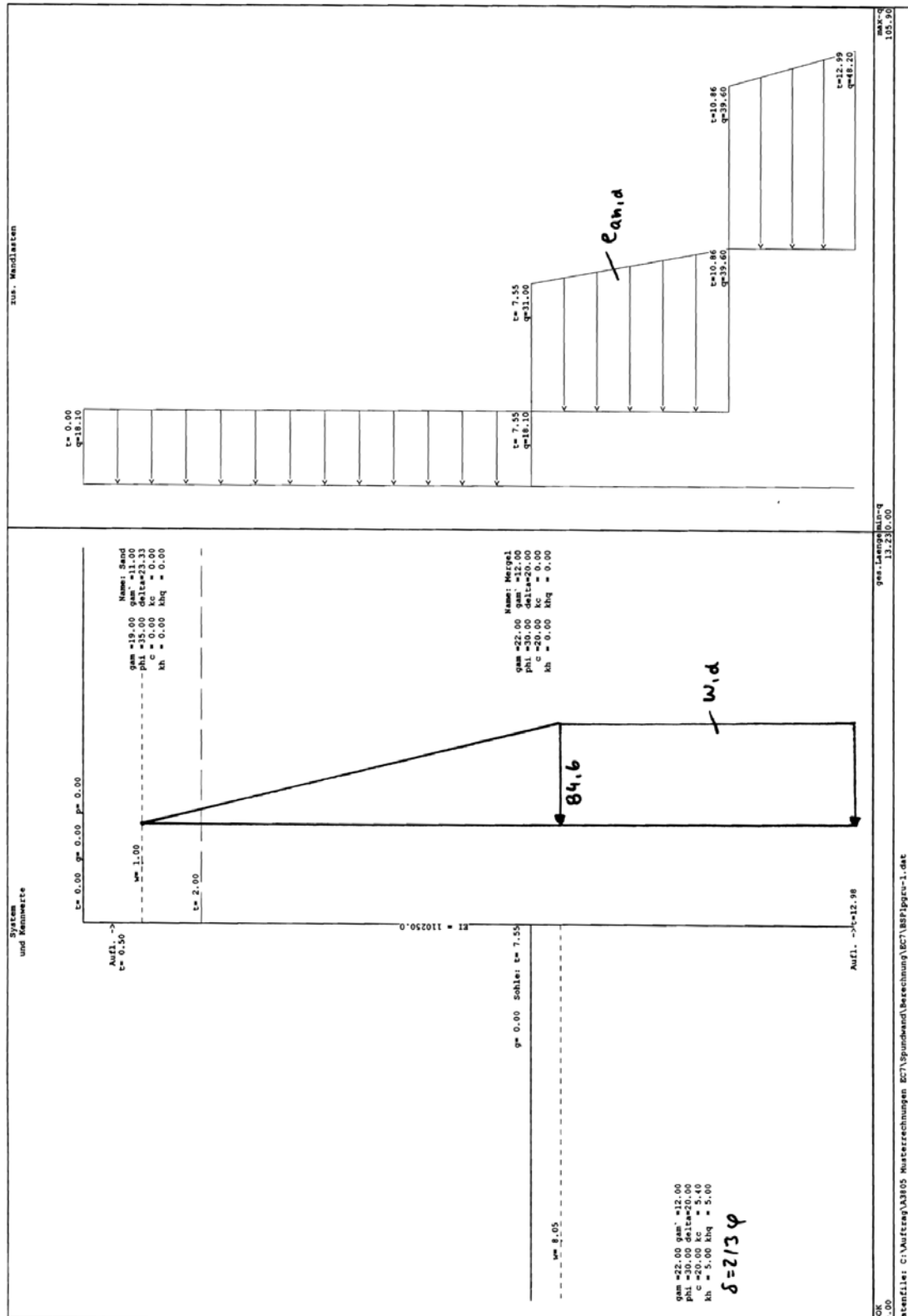
Erforderliche Einbindelänge:  $t = 1,2 \cdot 5,93 = 7,12$  m

Gesamtlänge der Spundwand:  $l = 7,55 + 7,12 = 14,67$  m

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 36	
Vorgang:		

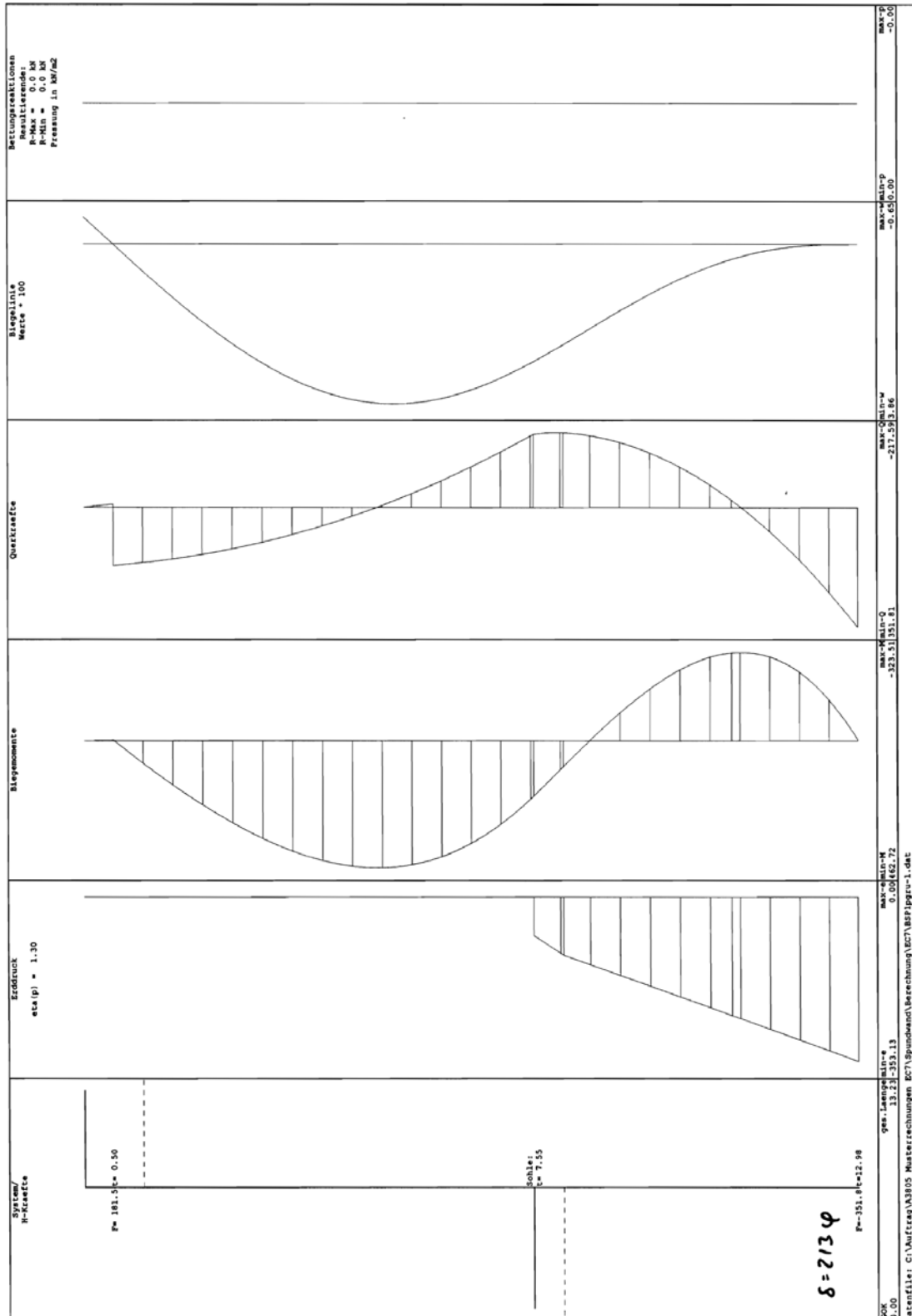


Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



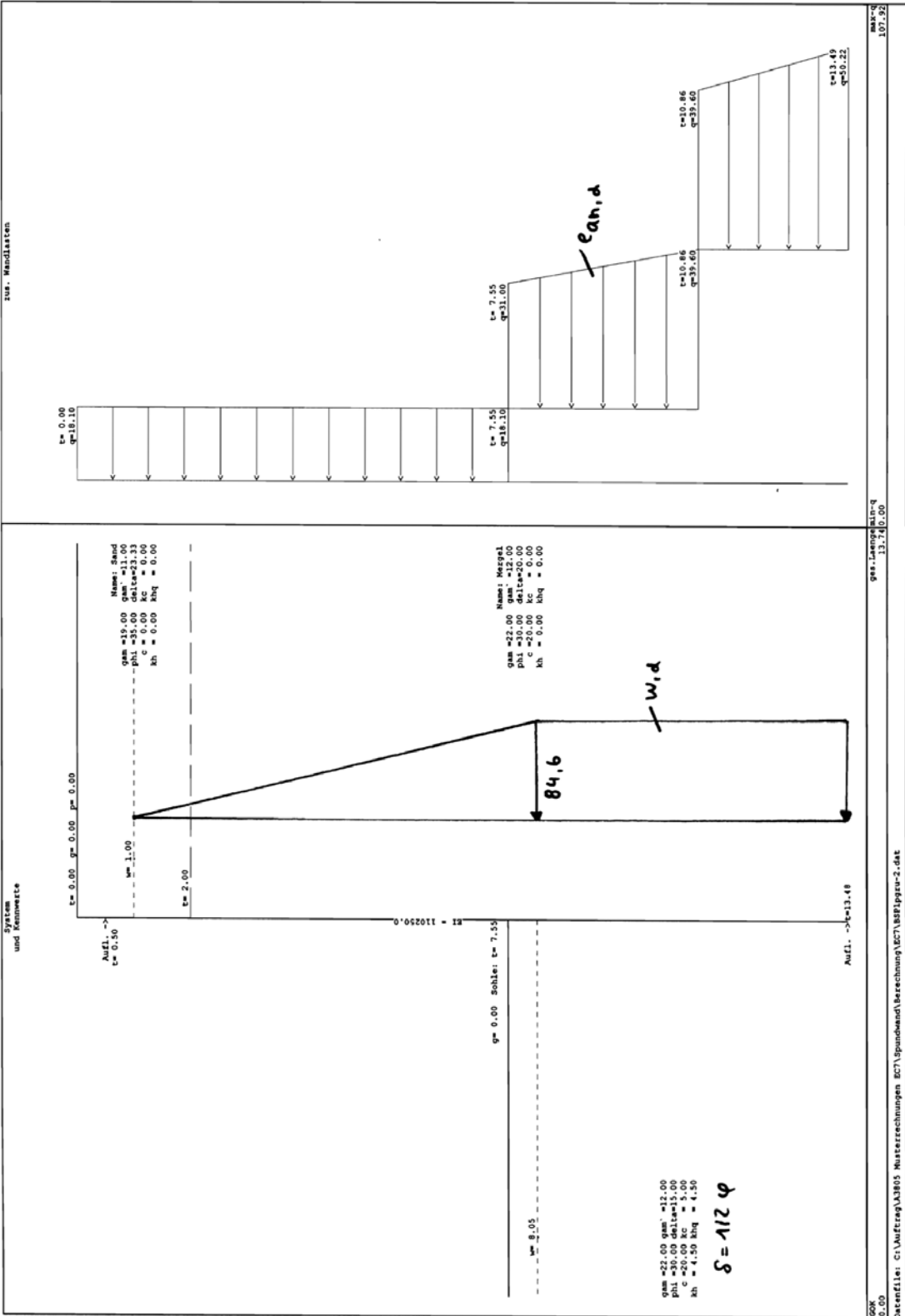
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen Seite 38	
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ (\Sigma V \neq 0)$	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13



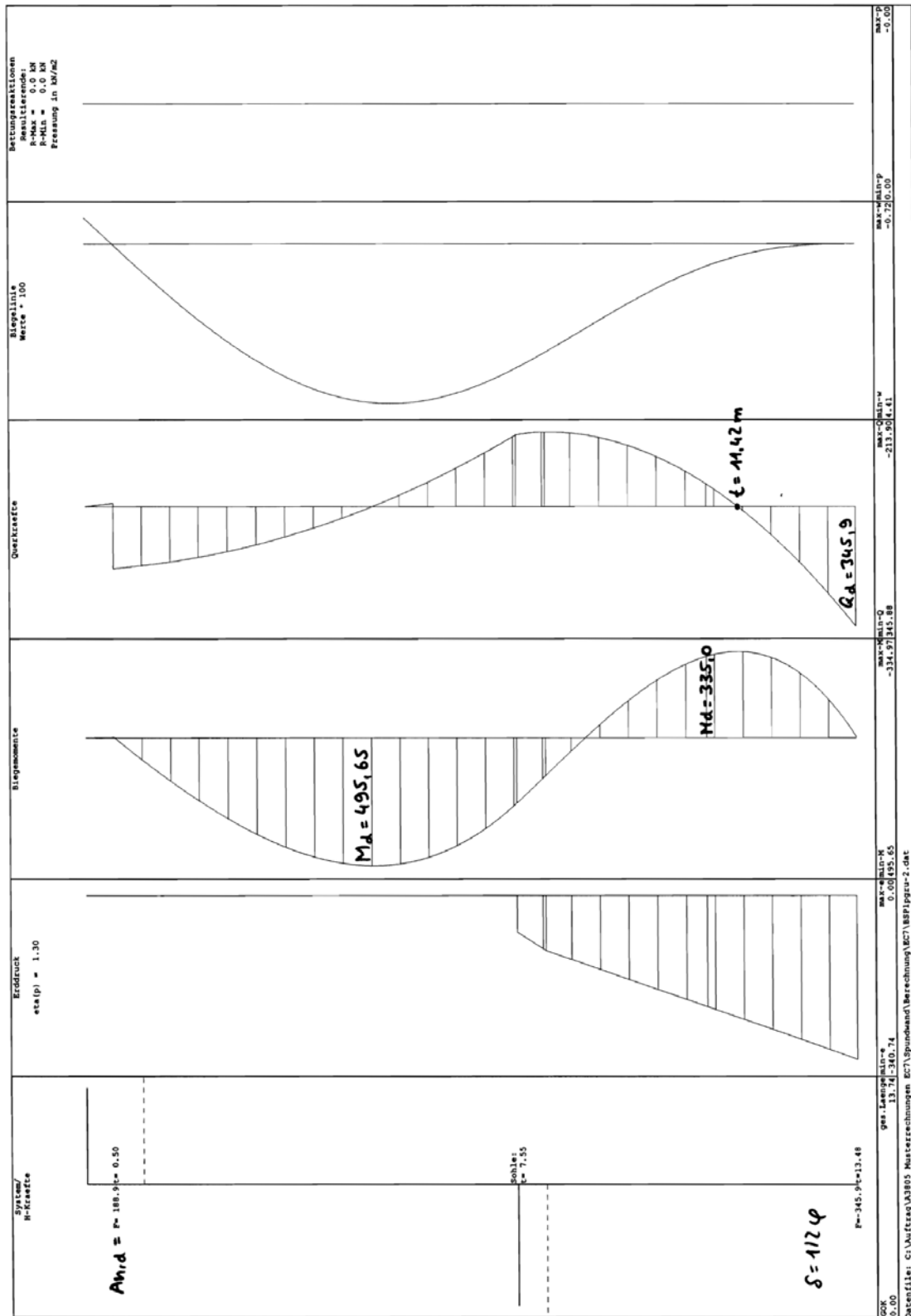
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen	Seite 40
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ$ ( $\sum V \neq 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen	Seite 42
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ$ ( $\Sigma V = 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen	Seite 44
Vorgang:	Ergebnis Rechenlauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ$ ( $\Sigma V = 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. NACHWEIS DES GLEICHGEWICHTS DER VERTIKALKRÄFTE

Für den Nachweis des Gleichgewichtes der Vertikalkräfte sind die Gleichgewichtsbedingungen Gl. A (9.6) und Gl. A (9.8) in DIN 1054 einzuhalten. Damit wird bei relativ kleinen nach unten gerichteten Vertikalkräften eine aufwärts gerichtete Bewegung der Verbauwand ausgeschlossen (Gl. A (9.8)) und bei relativ großen abwärts gerichteten Kräften ein Versinken der Wand ausgeschlossen (Gl. A (9.6)).

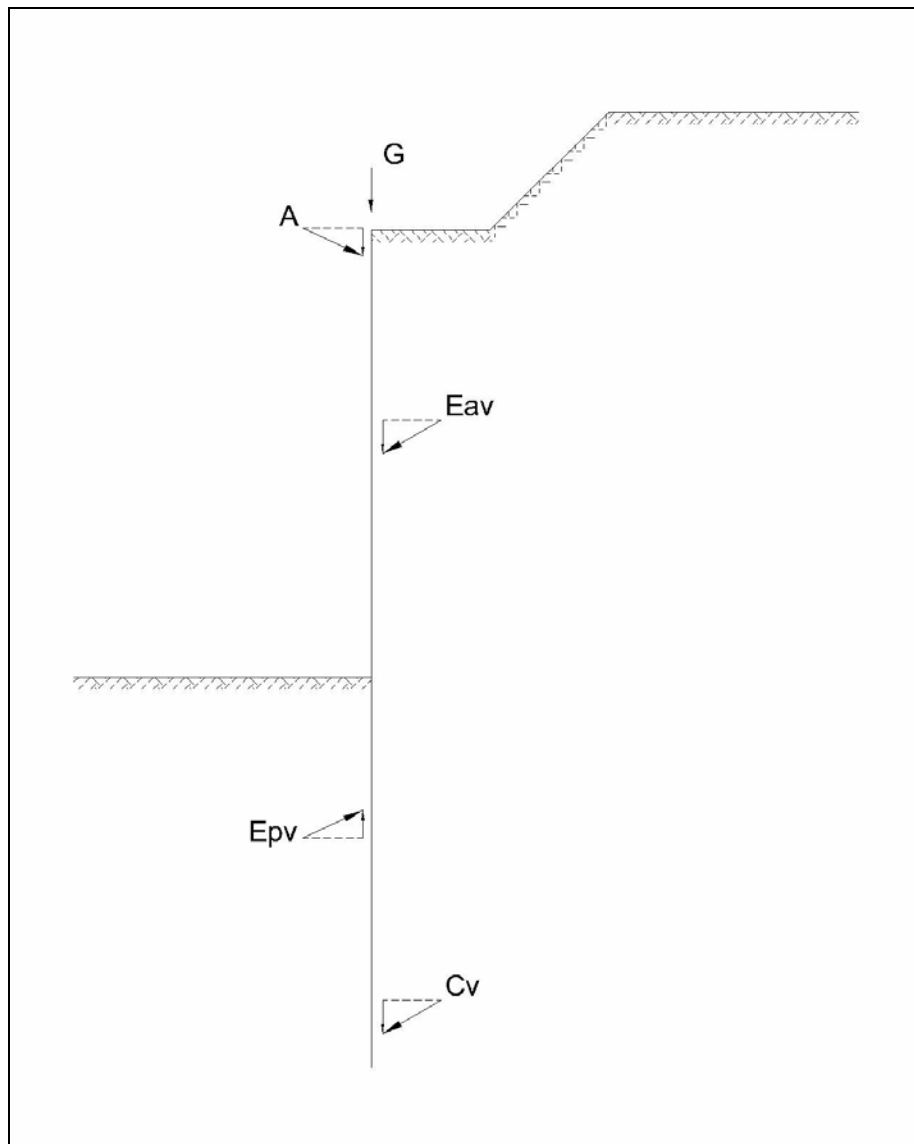


Bild 4.1: Vertikalkraftanteile

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 46
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Rechenlauf 1 mit  $\delta_p = 2/3 \varphi'_k$

Der Nachweis erfolgt unter Ansatz charakteristischer Lasten.

EAB, EB9 (4.7)

Dazu werden an einem Stabwerk die charakteristischen Auflagerkräfte des Ankers sowie des Spundwandfußes ermittelt. Hierzu werden die charakteristischen Erddruckordinaten bei umgelagertem Erddruck gemäß Tabelle 1.3, die charakteristischen Wasserdrücke und die charakteristischen Erdwiderstandsordinaten bei Ansatz von  $\delta_p = 2/3 \varphi'_k$  gemäß Tabelle 1.4 angesetzt.

rechnerischer Fußpunkt aus Baugrubenberechnung:

$$x = -12,98 \text{ m}$$

Das Lager B wird dabei in Höhe der Erddruckresultierenden  $E_{pk}$  angesetzt:  $h' = 3,22 \text{ m}$

vgl. EAB, EB 26 (6.4, Bild EB26-1)

Es ergeben sich die folgenden Auflagerkräfte:

$$A_{h,k} = 71,7 + 96,9 = 168,6 \text{ kN/m}$$

$$B_{h,k} = 269,6 + 658,9 = 928,5 \text{ kN/m}$$

$$C_{h,k} = 52,3 + 159,8 = 212,1 \text{ kN/m}$$

Es ist der folgende Nachweis zu führen:

DIN 1054, Gl. A (9.8)

$$V_k = G_k + E_{av,k} + A_{v,k} + 0,5 \cdot C_{v,k} \geq (B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk}$$

EAB EB 9 (4.7, Abs. 3)

Eigengewicht Spundwand:

$$G_k = x \cdot A \cdot \gamma = 78,5 \cdot 0,0223 \cdot 12,98 = 22,7 \text{ kN/m}$$

vertikaler aktiver Erddruck:

$$E_{av,k} = E_{ah,k} \cdot \tan \delta_a$$

im Sand:  $E_{av,k} = 15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(2/3 \cdot 35^\circ) = 13,0 \text{ kN/m}$

im Mergel:  $E_{av,k} = (289,16 - 15,1 \cdot 2,0) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ) = 94,3 \text{ kN/m}$

gesamt:  $E_{av,k} = 13,0 + 94,3 = 107,3 \text{ kN/m}$

Ankerkraft:

$$A_{v,k} = A_{h,k} \cdot \tan \alpha = 168,6 \cdot \tan(25^\circ) = 78,6 \text{ kN/m}$$

mit  $\alpha = 25^\circ$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 48
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Ersatzkraft:

$$C_{v,k} = C_{h,k} \cdot \tan \delta_C = 212,1 \cdot \tan (10^\circ) = 37,4 \text{ kN/m}$$

mit  $\delta_C = 1/3 \varphi'_k = 10^\circ$

EAB EB 9 (4.7, Abs. 3)

Nachweis:

$$V_k = 22,7 + 107,3 + 78,6 + 0,5 \cdot 37,4 = 227,3 \text{ kN/m}$$

$$(B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk} = (928,5 - 0,5 \cdot 212,1) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ) \\ = 299,3 \text{ kN/m} > 227,3 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist nicht erfüllt. Der passive Reibungswinkel muss verringert werden, damit das Gleichgewicht der Vertikalkräfte sichergestellt ist.

Rechenlauf 2 mit  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$

Der Nachweis erfolgt unter Ansatz charakteristischer Lasten.

EAB, EB 9 (4.7)

Dazu werden an einem Stabwerk die charakteristischen Auflagerkräfte des Ankers sowie des Spundwandfußes ermittelt. Hierzu werden die charakteristischen Erddruckordinaten bei umgelagertem Erddruck gemäß Tabelle 1.3, die charakteristischen Wasserdrücke und die charakteristischen Erdwiderstandsordinaten bei Ansatz von  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$  gemäß Tabelle 1.5 angesetzt.

rechnerischer Fußpunkt aus Baugrubenberechnung:

$$x = -13,48 \text{ m}$$

Das Lager B wird dabei in Höhe der Erddruckresultierenden  $E_{pk}$  angesetzt:  $h' = 3,54 \text{ m}$

vgl. EAB, EB 26 (6.4, Bild EB26-1)

Es ergeben sich die folgenden Auflagerkräfte:

$$A_{h,k} = 74,3 + 103,6 = 177,9 \text{ kN/m}$$

$$B_{h,k} = 282,8 + 681,0 = 963,8 \text{ kN/m}$$

$$C_{h,k} = 47,5 + 153,3 = 200,8 \text{ kN/m}$$

Es ist der folgende Nachweis zu führen:

DIN 1054, Gl. A (9.8)

$$V_k = G_k + E_{av,k} + A_{v,k} + 0,5 \cdot C_{v,k} \geq (B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk}$$

EAB EB 9 (4.7, Abs. 3)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 50
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Eigengewicht Spundwand:

$$G_k = x \cdot A \cdot \gamma = 78,5 \cdot 0,0223 \cdot 13,48 = 23,6 \text{ kN/m}$$

vertikaler aktiver Erddruck:

$$E_{av,k} = E_{ah,k} \cdot \tan \delta_a$$

im Sand:  $E_{av,k} = 15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(2/3 \cdot 35^\circ) = 13,0 \text{ kN/m}$

im Mergel:  $E_{av,k} = (309,6 - 15,1 \cdot 2,0) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)$   
 $= 101,7 \text{ kN/m}$

gesamt:  $E_{av,k} = 13,0 + 101,7 = 114,7 \text{ kN/m}$

Ankerkraft:

$$A_{v,k} = A_{h,k} \cdot \tan \alpha = 177,9 \cdot \tan(25^\circ) = 82,9 \text{ kN/m}$$

mit  $\alpha = 25^\circ$

Ersatzkraft:

$$C_{v,k} = C_{h,k} \cdot \tan \delta_C = 200,8 \cdot \tan(10^\circ) = 35,4 \text{ kN/m}$$

mit  $\delta_C = 1/3 \varphi'_k = 10^\circ$

EAB EB 9 (4.7, Abs. 3)

Nachweis:

$$V_k = 23,6 + 114,7 + 82,9 + 0,5 \cdot 35,4 = 238,9 \text{ kN/m}$$

$$(B_{h,k} - 0,5 \cdot C_{h,k}) \cdot \tan \delta_{pk} = (963,8 - 0,5 \cdot 200,8) \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)$$

$$= 231,3 \text{ kN/m} < 238,9 \text{ kN/m}$$

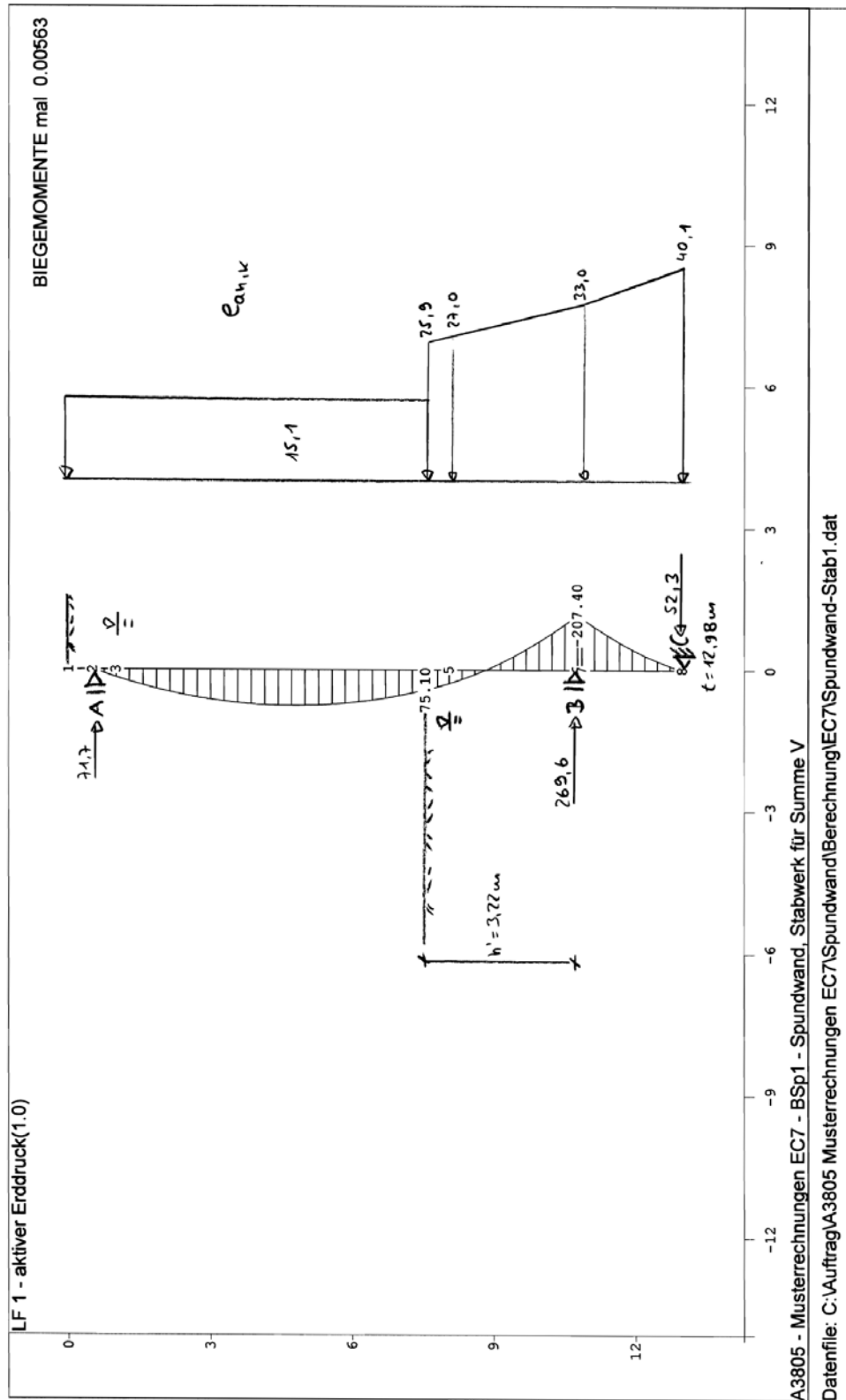
Der Nachweis ist erfüllt.

Der Nachweis nach Gl. A (9.6) erübrigt sich, da ein Versinken aufgrund des möglichen größeren Wandreibungswinkels am Wandfuß nicht auftreten kann.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 52
Vorgang:		

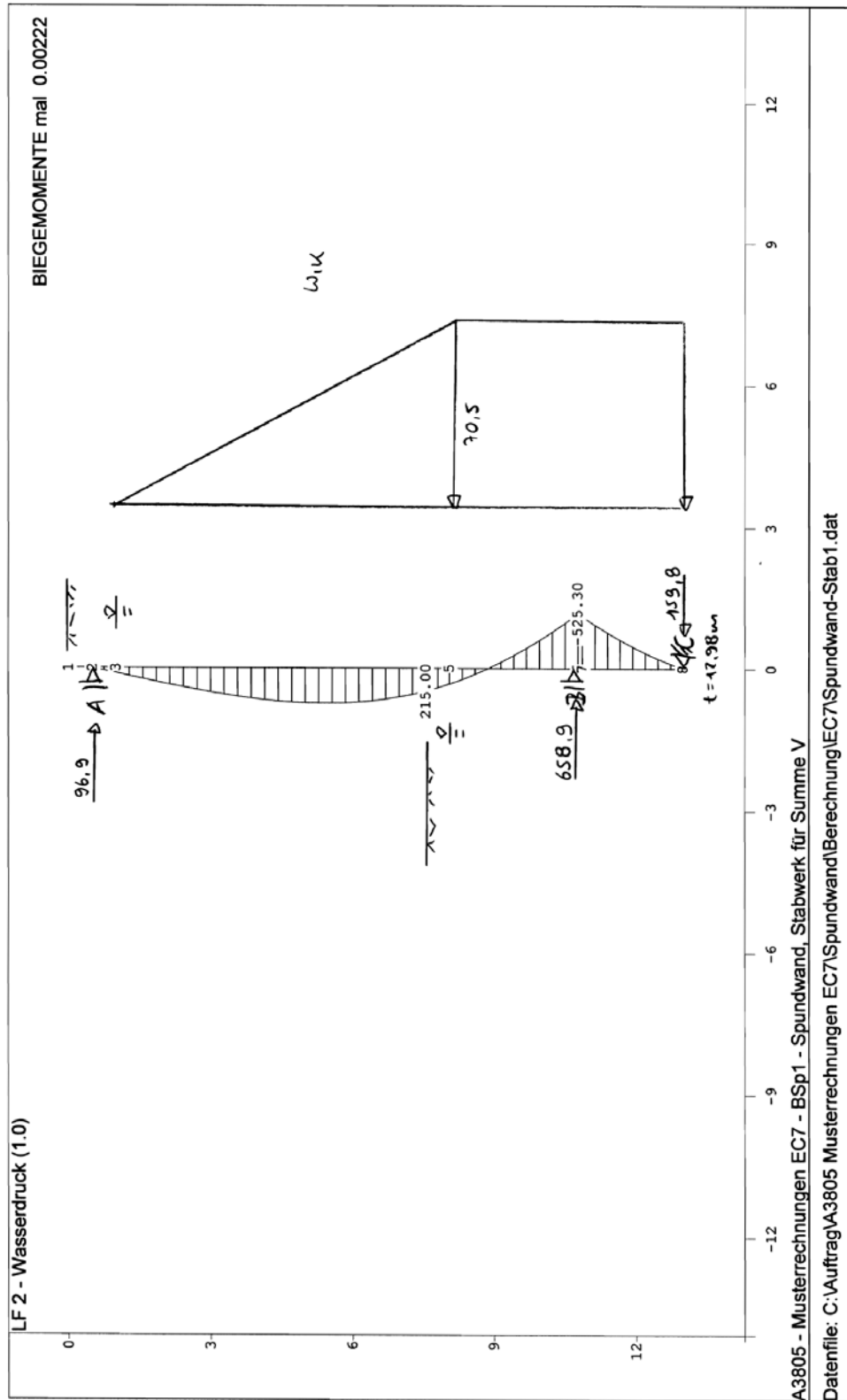


Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



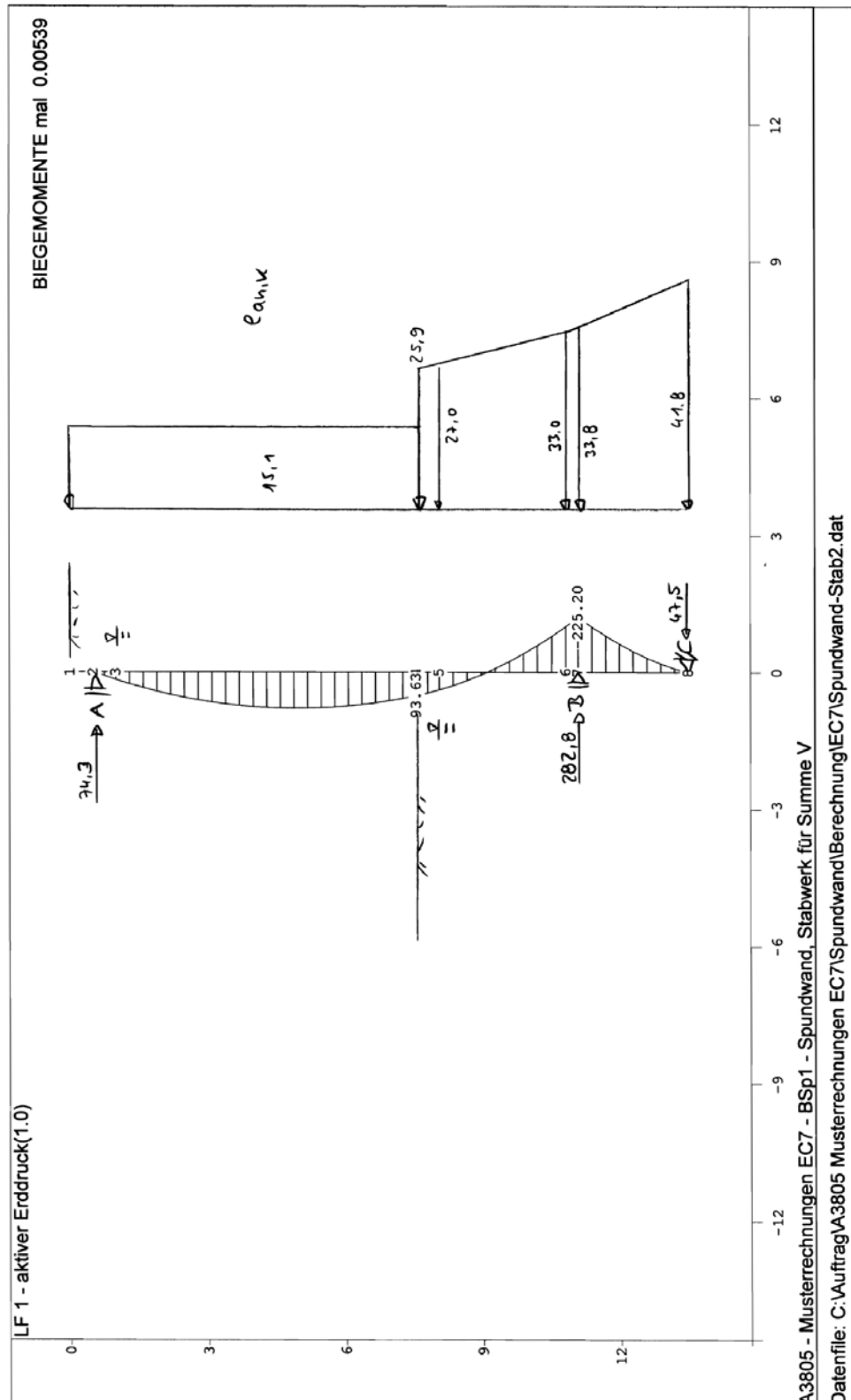
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 54
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 1: $\delta_p = -2/3\varphi'_k = 20^\circ$ ( $\Sigma V \neq 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



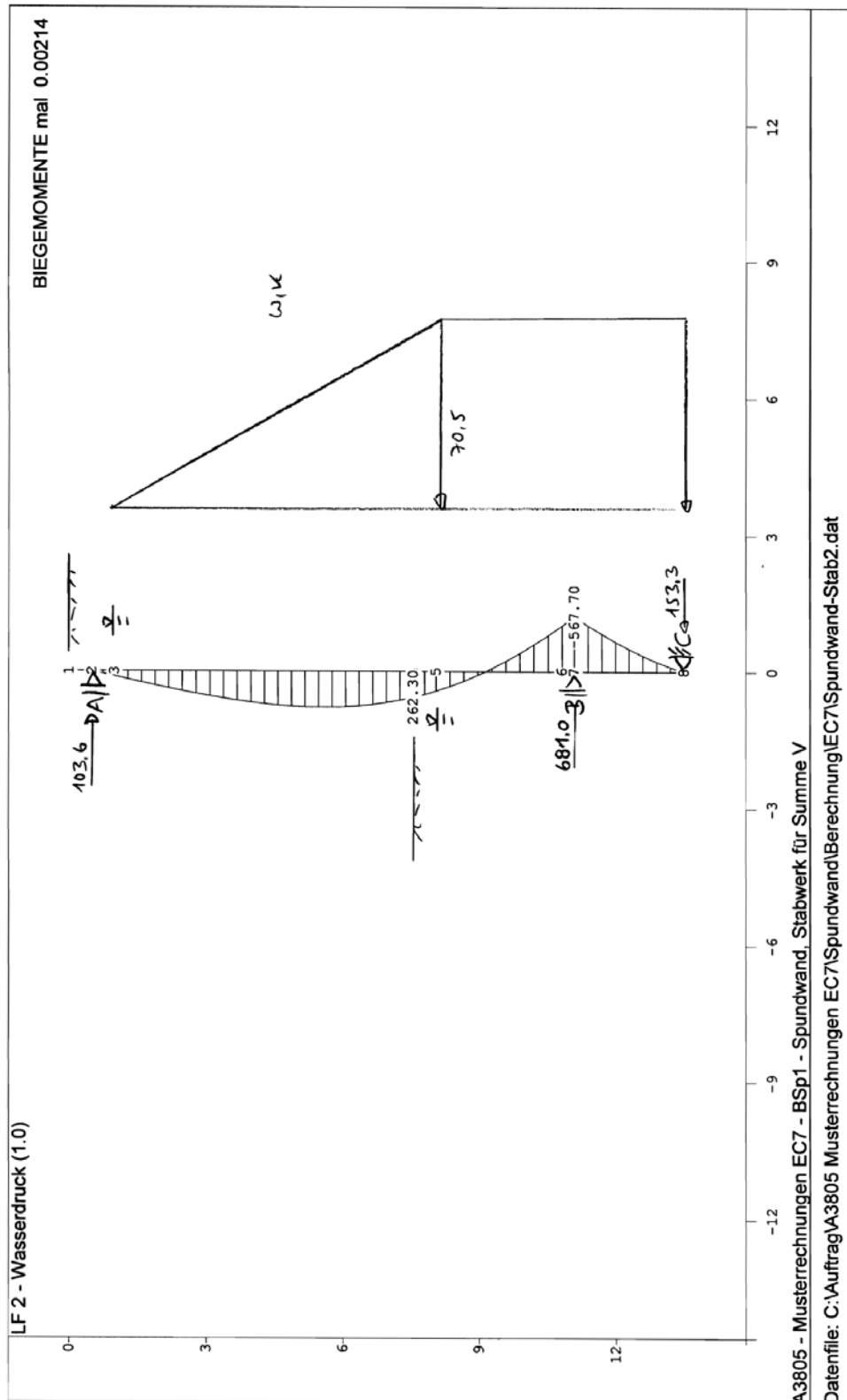
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 56
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 1: $\delta_p = -2/3\phi'_k = 20^\circ$ ( $\Sigma V \neq 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 58	
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ$ ( $\Sigma V = 0$ )		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	Seite 60
Vorgang:	Stabwerksrechnung Lauf 2: $\delta_p = -1/2\varphi'_k = 15^\circ$ ( $\Sigma V = 0$ )	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. NACHWEIS DES ERDWIDERLAGERS

Gemäß DIN 1054, 9.7.4, A (4) ist nachzuweisen, dass bei der gewählten Einbindelänge der Spundwand für das Erdwiderlager die Grenzzustandsbedingung  $B_{h,d} \leq E_{ph,d}$  erfüllt ist.

$B_{h,d}$  wird hierbei aus den charakteristischen Einwirkungen errechnet, die mit den Teilsicherheitsbeiwerten des Grenzzustandes STR / GEO-2 multipliziert werden.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, STR / GEO-2, BS-T DIN 1054, Tab. A2.1

ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,20$ :

- Spundwandeigengewicht
- aktiver Erddruck
- Nutzlast
- Wasserdruck

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände, STR / GEO-2, BS-T DIN 1054, Tab. A2.3

- Erdwiderstand:  $\gamma_{R,e} = 1,30$

Aus der maßgebenden Stabwerksberechnung für  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$  vgl. Rechenlauf 2 aus Abschnitt 4.  
ergibt sich bei einer rechnerischen Spundwandlänge von  
13,48 m:

$$B_{h,k} = 963,8 \text{ kN/m}$$

$$B_{h,d} = 1,20 \cdot 963,8 = 1156,6 \text{ kN/m}$$

Der charakteristische Erdwiderstand  $E_{ph,k}$  ergibt sich gemäß der Erddruckermittlung in Tabelle 1.5 zu:

$$E_{ph,k} = 1670,3 \text{ kN/m}$$

$$E_{ph,d} = 1670,3 / 1,30 = 1284,8 \text{ kN/m} > 1156,6 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Nachweis des Erdwiderlagers	Seite 62
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 6. NACHWEIS DER STANDSICHERHEIT IN DER TIEFEN GLEITFUGE

Mit dem Standsicherheitsnachweis in der tiefen Gleitfuge wird die erforderliche Ankerlänge festgelegt. Es wird nachgewiesen, dass der von der Verankerung erfasste Bodenkörper bei einer Drehung um einen tief gelegenen Punkt nicht auf einer tiefen Gleitfuge abrutschen kann.

Der Standsicherheitsnachweis für die tiefe Gleitfuge wird für den Grenzzustand GEO-2 gemäß DIN 1054, A 9.7.9 und EAB EB 44 mit den charakteristischen Erddrücken und Scherparametern geführt.

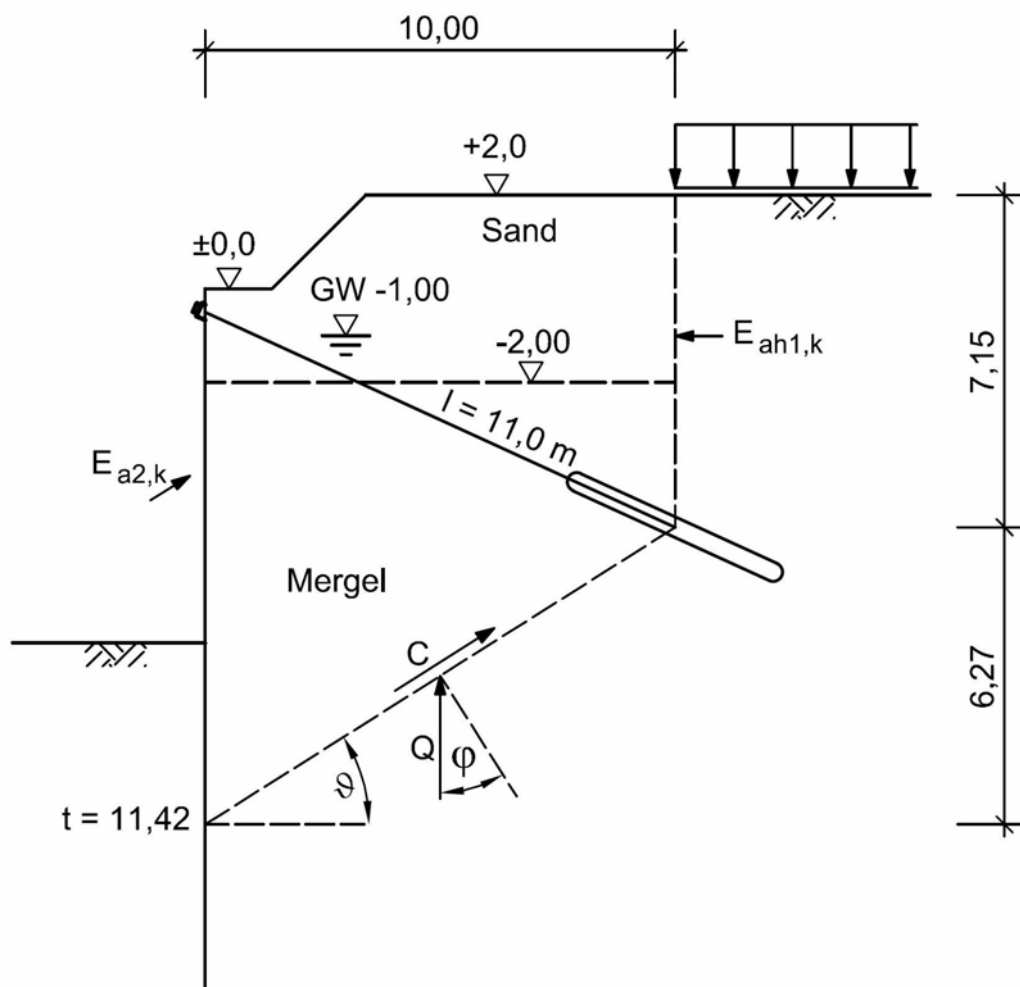


Bild 6.1: Kraftanteile für den Nachweis der tiefen Gleitfuge

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 64	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Der rechnerische Bodenkörper wird begrenzt durch den Schwerpunkt der Verpressstrecke des Ankers auf der Erdseite und durch den Querkraftnullpunkt der Verbauwand in der Tiefe. Der Querkraftnullpunkt wird der Schnittgrößenermittlung (unter Bemessungsschnittgrößen) entnommen:  $t = 11,42 \text{ m}$

vgl. Rechenlauf 2 aus Abschnitt 3.

Der Nachweis wird für die aufgrund einer Vorbemessung gewählte Ankerlänge von 11,0 m (bis zum Schwerpunkt der Verpressstrecke) geführt.

Gewichtskraft des Bodenkörpers:

$$G_k = 1320,2 \text{ kN/m}$$

mit der in Bild 6.1 dargestellten Geometrie.

Verkehrslast auf Bruchkörper:

$$P_k = 6,0 \cdot 10,0 = 60,0 \text{ kN/m}$$

Erddruck auf Ersatzankerwand:

Der Erddruck auf die Ersatzankerwand wird unter Ansatz von  $\delta = \beta = 0^\circ$  ermittelt.

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh}(\text{Sand}) = 0,271$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$$K_{agh}(\text{Mergel}) = 0,333$$

$$K_{ach}(\text{Mergel}) = -1,15$$

Mindesterddruck:  $K_{agh}^* = K_{agh}(\varphi'_k=40^\circ) = 0,217$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1.5

Schicht	Kote	h	$\gamma$	c	$\Sigma g \cdot h$	p	$k_{agh}$	$(\Sigma g+p) \cdot k_{ah}$	$e_{ac,k}$	$e_{ah,k}$	$E_{ah,k}$
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	2,00				0,00	10,0	0,271	2,71	0,00	2,71	0,00
		3,00	19	0							
	-1,00				57,00	10,0	0,271	18,16	0,00	18,16	31,30
		1,00	11	0							
2	-2,00				68,00	10,0	0,271	21,14	0,00	21,14	50,95
		3,15	12	20							
	-5,15				105,80	10,0	0,333	838,56	-23,0	25,13	117,2

Tabelle 6.1: aktive Erddruckordinaten auf die Ersatzankerwand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 66	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

Erddruck auf Baugrubenwand (bis zur Tiefe 11,42 m):

$$E_{ah2,k} = 230,7 \text{ kN/m}$$

vgl. Tab.1.3

$$E_{av2,k} = E_{ah,k} \cdot \tan \delta_a$$

$$= 15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(23,33^\circ) + (230,7 - 15,1 \cdot 2,0) \cdot \tan(20^\circ)$$

$$= 86,0 \text{ kN/m}$$

Kohäsion in der Gleitfuge:

$$C_k = l_A \cdot c'_k = 2,0 \cdot 11,78 = 235,6 \text{ kN/m}$$

Die mögliche Ankerkraft wird zeichnerisch aus dem Kräfteck aller am Bruchkörper angreifenden Kräfte ermittelt:

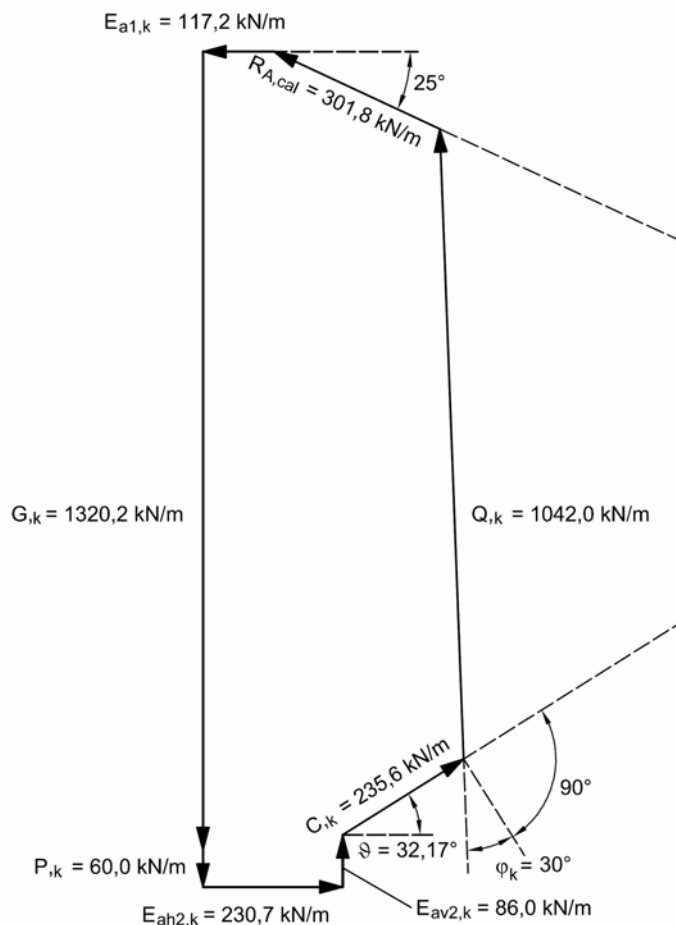


Bild 6.2: Kräfteck

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 68	
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

mögliche Ankerkraft (abgelesen):

$$R_{A,cal} = 301,8 \text{ kN/m}$$

$$R_{A,d} = R_{A,cal} / \gamma_{R,e} = 301,8 / 1,30 = 232 \text{ kN/m}$$

Vorhandene Ankerkraft:

$$A_{h,d} = 188,9 \text{ kN/m}$$

$$A_{,d} = 188,9 / \cos(25^\circ) = 208,4 \text{ kN/m}$$

vgl. Rechenlauf 2 aus Abschnitt 3.

Nachweis:  $A_{,d} = 208,4 \text{ kN/m} < 232 \text{ kN/m} = R_{A,d}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	6. Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge Seite 70	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

## 7. NACHWEIS DER GELÄNDEBRUCHSICHERHEIT

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt auf der Grundlage der DIN 4084 im Grenzzustand GEO-3 für die Bemessungssituation BS-T.

DIN EN 1997-1, 9.7.2  
DIN 4084,  
EAB, EB 45 (7.4)

Für diesen Nachweis gehen die ständigen Einwirkungen und die großflächige Verkehrslast von  $p = 10 \text{ kN/m}^2$  mit einer Teilsicherheit  $\gamma_G = 1,00$  in die Berechnung ein.

DIN 1054, Tab. A2.1

Die Scherparameter (Widerstände) gehen mit abgeminderten Kennwerten in die Gleitkreisberechnung ein:

DIN 1054, Tab. A2.2

$$\begin{aligned} \tan \varphi'_d &= \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi = \tan \varphi'_k / 1,15 \\ c'_d &= c'_k / \gamma_c = c'_k / 1,15 \end{aligned}$$

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt mit dem Programm GGU-Stability mit dem Lamellenverfahren von Bishop.

Es ergibt sich ein Ausnutzungsgrad von  $1/f = 0,58 < 1,0$ .

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	7. Nachweis der Geländebruchsicherheit	Seite 72
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

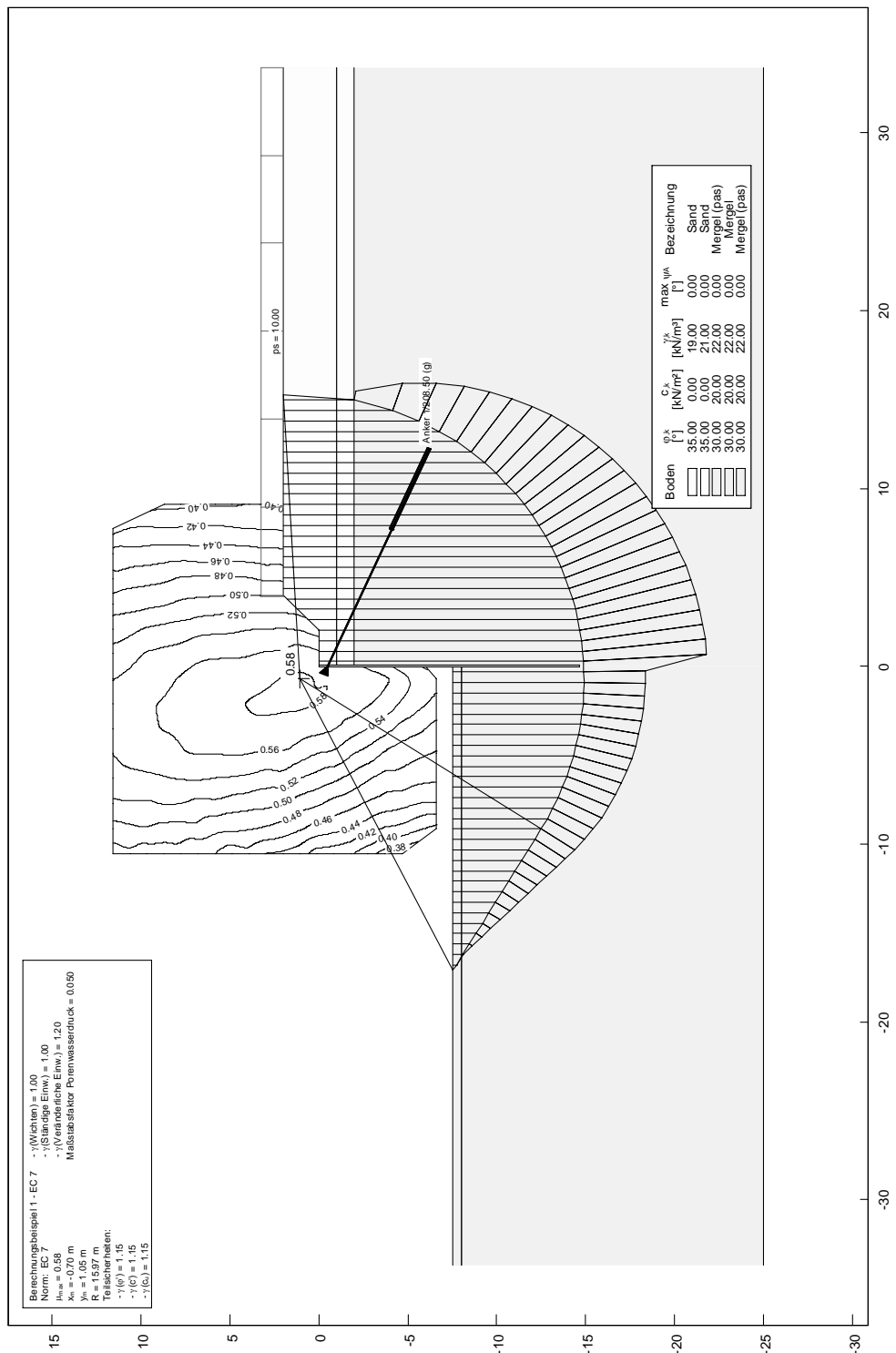


Bild 7.1: Nachweis der Geländebruchsicherheit

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	7. Nachweis der Geländebruchsicherheit	Seite 74
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 8. NACHWEIS DER SICHERHEIT GEGEN HYDRAULISCHEN GRUNDBRUCH

Der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch erfolgt im Grenzzustand HYD gemäß DIN 1054, 10.3. Es kommt das Näherungsverfahren von Terzaghi-Peck zur Anwendung. Das Stromliniennetz wird mit Hilfe des Programms SS-FLOW-2D von GGU ermittelt.

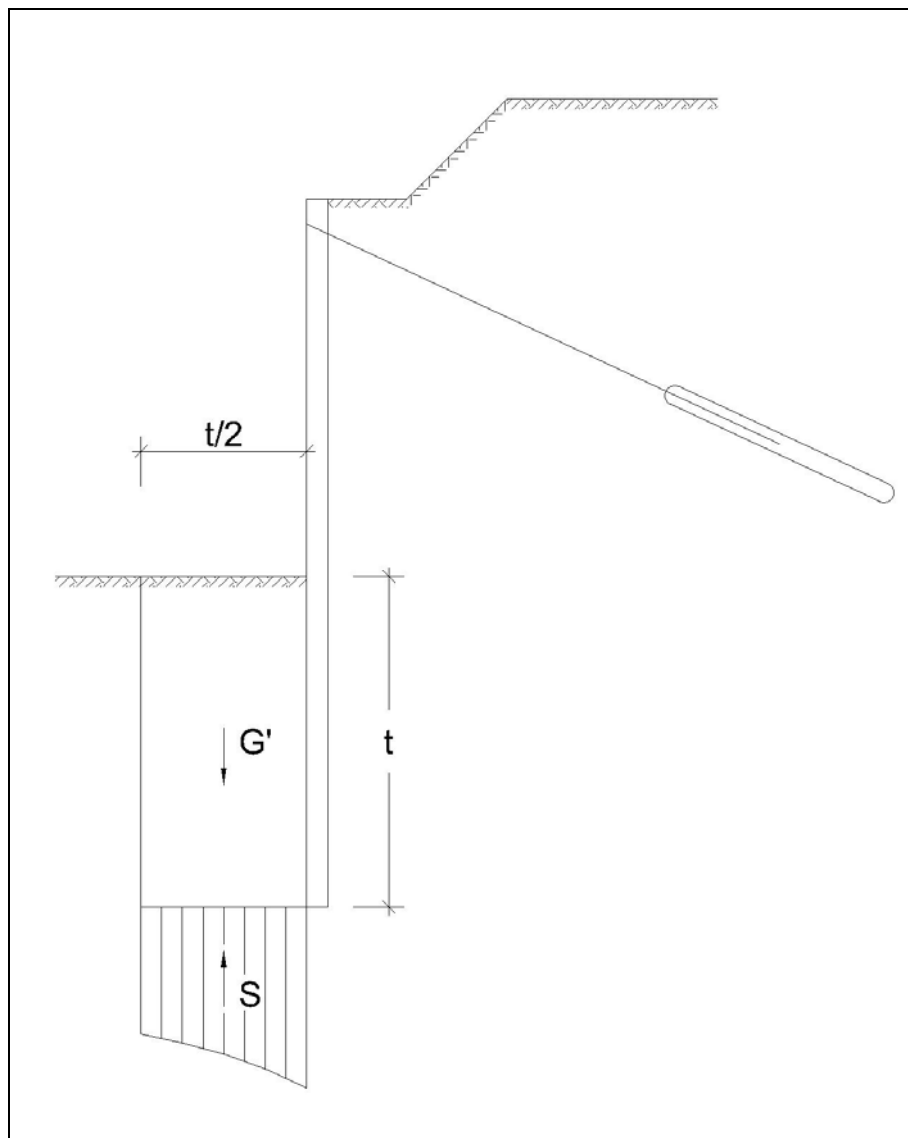


Bild 8.1: Kraftanteile für den Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nach Terzaghi-Peck

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	8. Nachweis der Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Seite 76
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

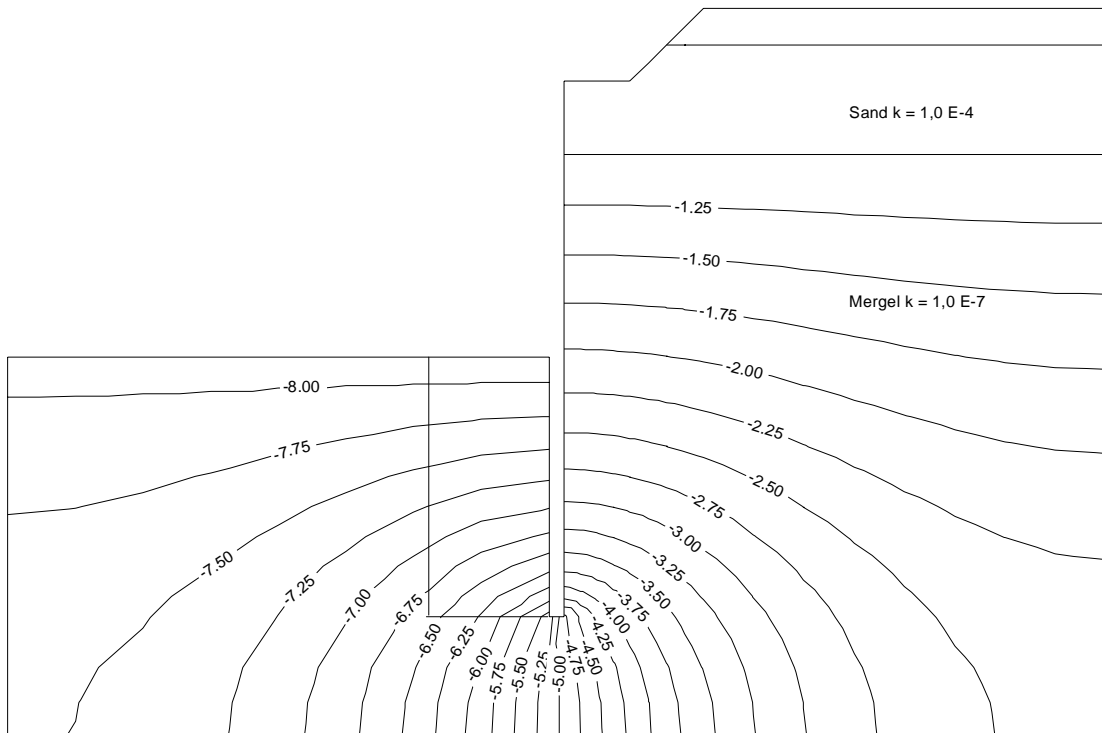


Bild 8.2: Stromliniennetz aus GGU-SS-FLOW-2D

Es ist nachzuweisen, dass die folgende Grenzzustandsbedingung eingehalten wird:

$$S'_k \cdot \gamma_H \leq G'_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

DIN EN 1997-1, 2.4.7.5 und 10.3

Spundwandlänge gewählt:  $l = 14,67 \text{ m}$   
 Einbindetiefe  $t = 14,67 - 7,55 = 7,12 \text{ m}$   
 Breite des Bodenkörpers  $b = t / 2 = 3,56 \text{ m}$

Gewichtskraft unter Auftrieb:

Da die Auftriebssicherheit maßgeblich von den Wichten des Baugrundes abhängt, sind für den Auftriebssicherheitsnachweis die unteren charakteristischen Werte der Wichten anzusetzen.

DIN EN 1997-1, 2.3.5.2 (8)

Sofern das Baugrundgutachten hierüber keine Angaben enthält, können die üblicherweise angegebenen charakteristischen Mittelwerte der Wichten analog zu DIN 1055, Teil 2 (1976) abgemindert werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	8. Nachweis der Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Seite 78
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

$$G'_k = \gamma' \cdot b \cdot (t - 0,5\text{m}) + \gamma \cdot b \cdot 0,5\text{m} = 294,8 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma' = (12 - 1) = 11 \text{ kN/m}^3$

$$\gamma = (22 - 2) = 20 \text{ kN/m}^3$$

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

Strömungskraft:

$$\text{Wasserdruckhöhendifferenz: } 8,05 - 1,0 = 7,05 \text{ m}$$

$$S'_k = (s_a + s_b) / 2 \cdot b = 73,0 \text{ kN/m}$$

mit  $s_a = (1 - (5,375 - 1,0) / 7,05) \cdot 7,05 \cdot 10,0 = 26,8 \text{ kN/m}^2$

$$s_b = (1 - (6,625 - 1,0) / 7,05) \cdot 7,05 \cdot 10,0 = 14,3 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Wasserdruckhöhendifferenz: } 8,05 - 1,0 = 7,05 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen HYD:

DIN 1054, Tab. A2.1

$$\gamma_{G, \text{stb}} = 0,95 \text{ (BS-T)}$$

$$\gamma_H = 1,30 \text{ (BS-T) (günstiger Untergrund)}$$

Nachweis:

$$73,0 \cdot 1,3 = 94,9 \text{ kN/m} < 294,8 \cdot 0,95 = 280,1 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	8. Nachweis der Sicherheit gegen hydr. Grundbruch	Seite 80
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 9. BEMESSUNG DER BAUTEILE

### 9.1 Bemessung der Spundwand

Die Schnittgrößen der Spundwand werden dem maßgebenden Berechnungslauf 2 aus Abschnitt 3 entnommen. Die Bemessung erfolgt gemäß DIN EN 1993-5.

Maßgebende Schnittgrößen aus Baugrubenberechnung:

$$\max M_d = 495,65 \text{ kNm/m} \quad \text{bei } t = -5,04 \text{ m}$$

$$\text{zug } N_d = A_{v,d} + E_{av,d} + G_d = -128,4 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } A_{v,d} = 188,9 \cdot \tan 25^\circ = 88,1 \text{ kN/m}$$

$$E_{av,d} = 1,20 \cdot (15,1 \cdot 2,0 \cdot \tan(2/3 \cdot 35^\circ) + 15,1 \cdot 3,04 \cdot \tan(2/3 \cdot 30^\circ)) = 29,7 \text{ kN/m}$$

$$G_d = 1,20 \cdot 78,5 \cdot 0,0223 \cdot 5,04 = 10,6 \text{ kN/m}$$

$$\max V_d = 345,9 \text{ kN/m} \quad (\text{am theoretischen Spundwandfuß})$$

Nachweis Elastisch-Plastisch:

Das gewählte Profil Larssen 24 ist ein Klasse-2-Profil, daher ist ein Nachweis Elastisch-Plastisch zulässig.

Die Spundwandbohlen werden als Doppelbohlen mit verschweißten Spundwandschlössern eingebracht. Beim Nachweis Elastisch-Plastisch sind Abminderungsfaktoren für die Biegetragfähigkeit und Biegesteifigkeit zu berücksichtigen.

$$\sigma_{S,d} = N_d / A + M_d / (\beta_B \cdot W_{pl}) = 20,2 \text{ kN/cm}^2 < 24,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{mit } A = 223 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$W_{pl} = 2800 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$\sigma_{R,d} = f_{y,k} / \gamma_{M0} = 24,0 / 1,0 = 24,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\beta_B = 0,9$$

$$\beta_D = 0,8$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_{y,d} = 1120,7 \text{ kN/m} > V_d = 345,9 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } A_v = 2 \cdot t_w \cdot (h - t_f) = 80,88 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$t_w = 10 \text{ mm}$$

$$h = 420 \text{ mm}$$

$$t_f = 15,6 \text{ mm}$$

$$f_{y,d} = f_{y,k} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 13,9 \text{ kN/cm}^2$$

DIN EN 1995-3, 5.2.2  
EAB, EB 49 (13.4)  
DIN EN 1993-5, 5.2.2  
Lieferprogramm Hoesch

EAB, EB 49 (13.4, 1.c)  
DIN EN 1993-5/NA, NDP zu 6.4 (3)

Lieferprogramm Hoesch

DIN EN 1993-1-1

DIN EN 1993-5/NA, Tabelle NA.1

Lieferprogramm Hoesch

DIN EN 1993-1-1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 82
Vorgang:	9.1 Bemessung der Spundwand	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Bei geneigten Verankerungen ist zu prüfen, ob ein Stabilitätsnachweis gemäß DIN EN 1993-5 zu führen ist. EAB, EB 49 (13.4)

Ein Knicknachweis kann entfallen, wenn die Bedingung  $N_{Ed} \leq 0,04 \cdot N_{cr}$  eingehalten ist. DIN EN 1993-5, 5.2.3 (1)

$N_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot I \cdot \beta_D / l^2 = 10535 \text{ kN/m}$

mit  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

$I = 52500 \text{ cm}^4 / \text{m}$

Für die Knicklänge  $l$  wird wegen der Fußspannung der 0,7-fache Abstand zwischen Ankerlage und Momentennullpunkt angesetzt: DIN EN 1993-5, Bild 5-3

$L = 13,48 - 0,5 = 12,98 \text{ m}$

$l = 0,7 \cdot L = 9,09 \text{ m}$

Nachweis:  $N_d = 128,4 \text{ kN/m} < 0,04 \cdot 10535 = 421,4 \text{ kN/m}$

Das Abgrenzungskriterium ist erfüllt, daher kann der Biegeknicknachweis entfallen.

## 9.2 Bemessung der Anker

Für den Regellastfall BS-T ergibt sich gemäß Abschnitt 3. eine Ankerkraft von:

$$A_{h,d} = 188,9 \text{ kN/m}$$

Der Ankerabstand beträgt 2,0 m.

Die Nachweise für Verpressanker sind im Vollaushubzustand mit den Teilsicherheiten der BS-P zu führen: DIN 1054, Abschn. A 9.7.1.3, A (5)

ständige Einwirkungen:  $\gamma_G = 1,35$  DIN 1054, Tab. A2.1

$$A_{h,d} = 188,9 \cdot 1,35 / 1,20 \cdot 2,0 = 425,0 \text{ kN}$$

$$A_d = 425,0 / \cos(25^\circ) = 469,0 \text{ kN}$$

Zusätzlich zum Tragfähigkeitnachweis für die Bemessungssituation BS-T ist ein rechnerischer Nachweis für einen möglichen Ausfall eines Verpressankers zu führen. Dieser Nachweis wird gemäß ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1 der BS-A zugeordnet.

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, STR / GEO-2, BS-A DIN 1054, Tab. A2.1

ständige Einwirkungen:  $\gamma_G = 1,10$ :

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 84
Vorgang:	9.2 Bemessung der Anker	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände, STR / GEO-2, BS-A

DIN 1054, Tab. A2.3

- Erdwiderstand:  $\gamma_{R,e} = 1,20$

Die Ermittlung der Ankerkraft für die BS-A erfolgt in einem zusätzlichen Berechnungslauf mit dem Baugrubenprogramm PGruWIN. Dabei werden die Einwirkungen mit ihren Bemessungswerten auf das System aufgebracht.

Der aktive Erddruck wird bis zur Baugrubensohle rechteckförmig umgelagert und mit der Teilsicherheit des Grenzzustandes STR /GEO-2 (BS-A) auf das System aufgebracht.

Der Teilsicherheitsbeiwert für den Wasserdruck wird durch Vorgabe einer größeren Wichte für das Wasser ( $\gamma_G = 1,10 \rightarrow \gamma_w = 11 \text{ kN/m}^3$ ) berücksichtigt.

Für den passiven Erddruck wird der im Abschnitt 3 ermittelte Wandreibungswinkel  $\delta_p = 1/2 \varphi'_k$  angesetzt. Der Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand wird gemäß DIN 1054 vorgegeben.

Es ergibt sich für den Lastfall „Ankerausfall“ eine Ankerkraft von

$$A_{h,d} = 161,4 \text{ kN/m}$$

Bei einem Ankerausfall lagert sich diese Ankerkraft je zur Hälfte auf die benachbarten Anker um. Bei einem Ankerabstand von  $a = 2,0 \text{ m}$  ergibt sich:

$$A_{h,d,A} = 161,4 \cdot 2,0 \cdot 1,5 = 484,2 \text{ kN}$$

$$A_{d,A} = A_{h,d,A} / \cos \alpha = 484,2 / \cos (25^\circ) = 534,3 \text{ kN (maßgebend)}$$

Nachweis des Stahlzuggliedes

DIN EN 1997-1, 8.5.4

$$A_d = 534,3 \text{ kN} < 547,8 \text{ kN} = R_{t,d}$$

mit  $R_{t,d} = A_s \cdot f_{t,0,1,k} / \gamma_M = 547,8 \text{ kNmm}^2$

DIN EN 1997-1, 8.5.4, Gl. A (8.3)

$$A_s = 420 \text{ mm}^2 \text{ für Litzenanker } 3 \text{ } \varnothing 0,6''$$

siehe bauaufsichtliche Zulassung

$$f_{t,0,1,k} = 1500 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,15$$

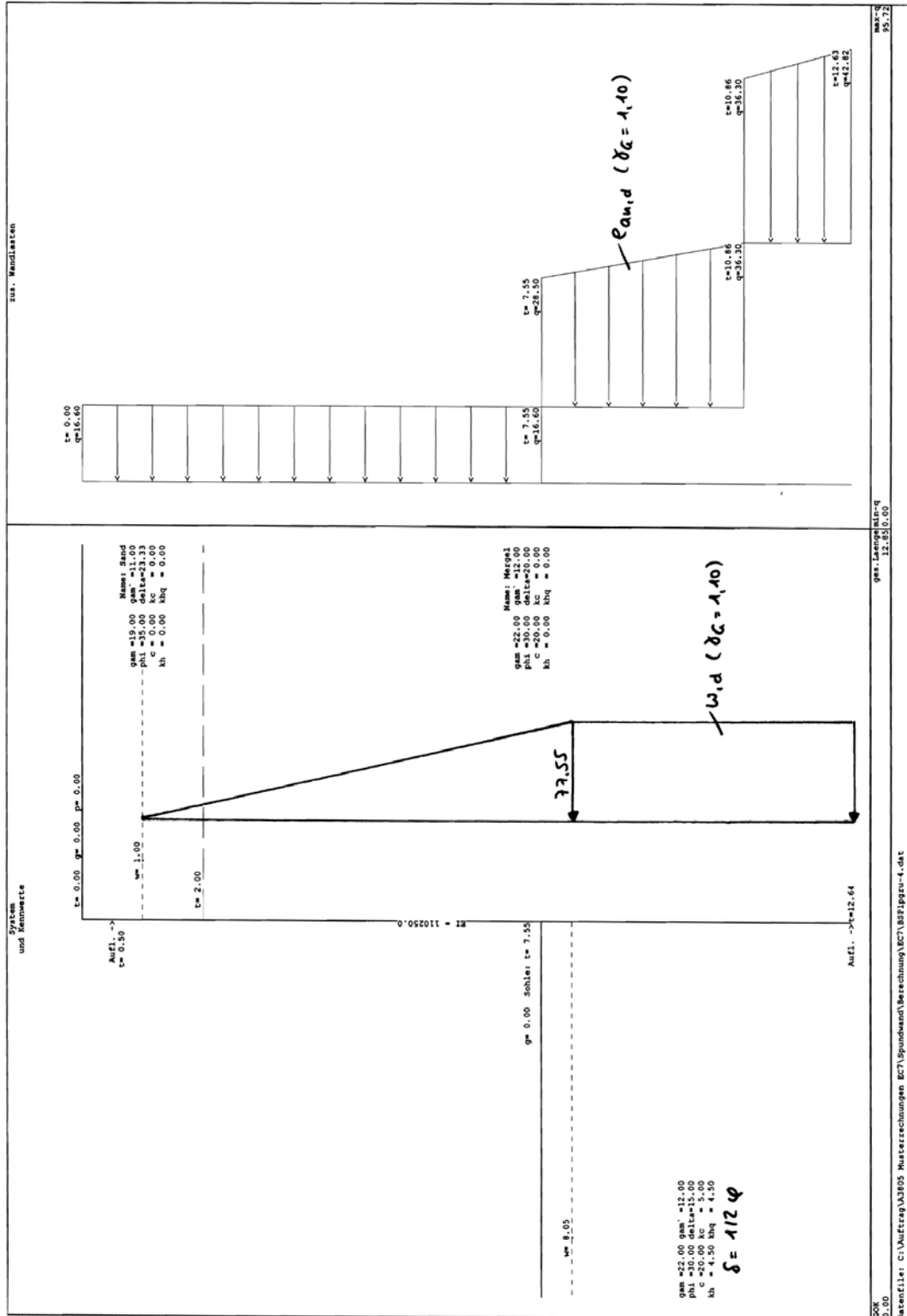
DIN 1054, Tab. A2.3

Der Herauszieh Widerstand der Verpressanker ist durch Eignungs- und Abnahmeprüfungen nachzuweisen.

DIN EN 1997-1, 8.5.1, A (3)  
DIN EN 1537  
DIN SPEC 18537

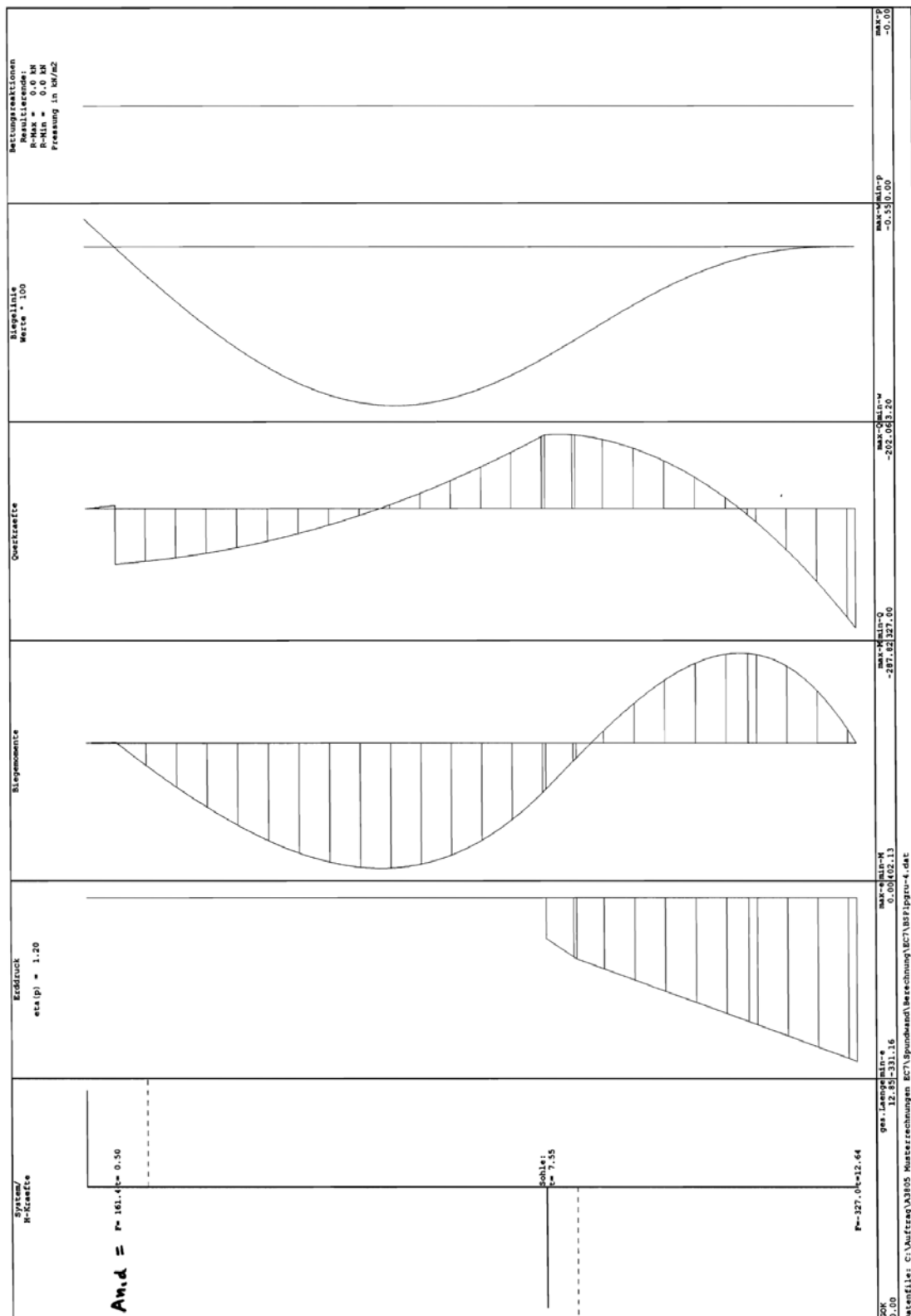
Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 86
Vorgang:	9.2 Bemessung der Anker	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr. Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 88
Vorgang:	Ergebnis Berechnungslauf 3, BS-A (Ankerausfall)	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	9. Bemessung der Bauteile	Seite 90
Vorgang:	Ergebnis Berechnungslauf 3, BS-A (Ankerausfall)	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Spundwandverbau DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 10. ERGEBNIS DER VERBAUBEMESSUNG

Spundwand: Larsen 24, S240 GP  
Gesamtlänge  $L = 14,67$  m  
Einbindelänge  $t = 7,12$

Anker: Litzenanker 3  $\varnothing 0,6$  "  
St 1570 / 1770  
Ankerlänge  $L_A = 11,0$  m  
Ankerabstand  $a = 2,00$  m  
Ankerneigung  $\alpha = 25^\circ$

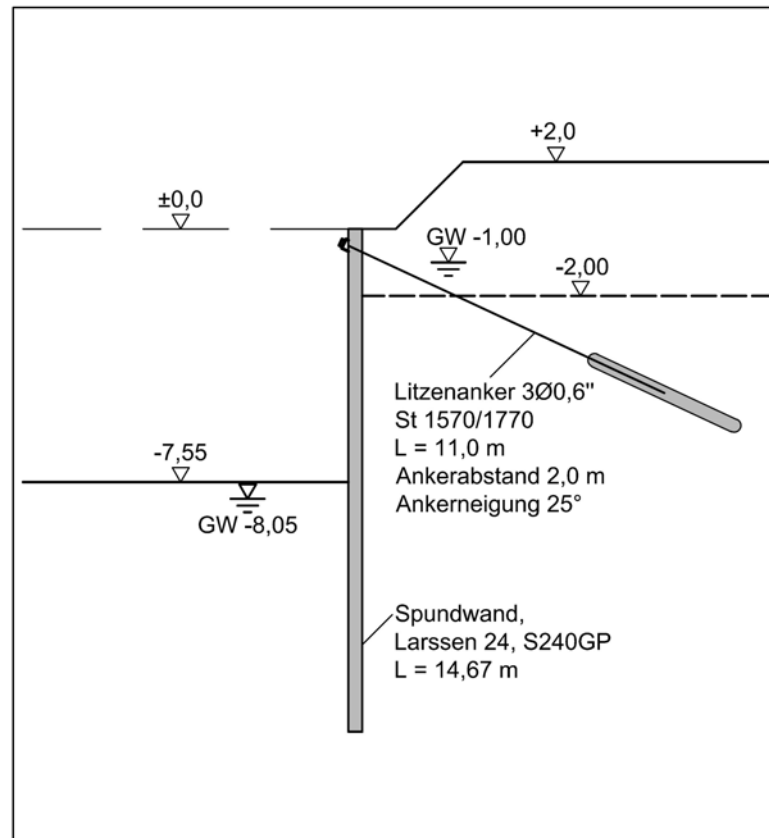


Bild 10.1: Ergebnis der Verbaubemessung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	10. Ergebnis der Verbaubemessung	Seite 92
Vorgang:		

## **Stand sicherheitsnachweis**

### **für eine Winkelstützwand**

#### **Musterbeispiel**

#### **für die nationale Umsetzung des EC 7**

#### **bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken**

#### **mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis**  
**für eine Winkelstützwand**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	1
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	3
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	7
IV. Stand sicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	9
1. Berechnungsgrundlagen	11
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	11
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	13
1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	17
2. Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	21
2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	21
2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen	27
2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	31
2.4 Nachweis der Gesamtstand sicherheit	37
2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	41
3. Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	51
3.1 Geotechnische Nachweise	51
3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	55
4. Ergebnis der Nachweise und der Bemessung	61

Bauteil: I. Inhaltsverzeichnis	Seite 1	Archiv-Nr.
Block:		
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis**  
**für eine Winkelstützwand**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I.	INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I.	Inhaltsverzeichnis	2
II.	Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	4
III.	Technische Vorschriften, Unterlagen	8
IV.	Stand sicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	10
	1. Berechnungsgrundlagen	12
	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	12
	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	14
	1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	18
	2. Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	22
	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	22
	2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen	28
	2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	32
	2.4 Nachweis der Gesamtstand sicherheit	38
	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	42
	3. Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	52
	3.1 Geotechnische Nachweise	52
	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	56
	4. Ergebnis der Nachweise und der Bemessung	62

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis		Archiv-Nr.
Block:		Seite 2	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Das betrachtete Bauwerk ist eine Winkelstützwand, die den Geländesprung neben einer im Einschnitt liegenden Straße sichert. Die Winkelstützwand weist eine Höhe von 7,0 m auf und wird als monolithisches Stahlbetontragwerk ausgeführt. Die Blocklänge beträgt 10 Meter. Oberhalb der Winkelstützwand steigt das Gelände mit einer Neigung von 10° an. Hier sind keine Bebauungslasten oder Verkehrsflächen zu berücksichtigen.

### Baugrund und Grundwasser

Unterhalb der Gründungssohle der Winkelstützwand bis in größere Tiefe steht fester Mergel an. Der maximale Grundwasserstand kann an Oberkante des Mergels angenommen werden. Die Winkelstützwand wird mit einem nichtbindigen Füllboden hinterfüllt. Durch eine rückseitige Drainage wird sichergestellt, dass sich hinter der Winkelstützwand kein Sickerwasserdruck aufbauen kann.

### Herstellung und Tragsystem

Nach einem Voraushub in Form einer geböschten Baugrube wird die Winkelstützwand in zwei Betonierabschnitten (Fundamentplatte und Wand) hergestellt. Nach Erreichen der 28-Tage-Festigkeit wird die Wand lagenweise mit einem Hinterfüllboden gemäß ZTV E-StB hinterfüllt.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 3
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Das betrachtete Bauwerk ist eine Winkelstützwand, die den Geländesprung neben einer im Einschnitt liegenden Straße sichert. Die Winkelstützwand weist eine Höhe von 7,0 m auf und wird als monolithisches Stahlbetontragwerk ausgeführt. Die Blocklänge beträgt 10 Meter. Oberhalb der Winkelstützwand steigt das Gelände mit einer Neigung von 10° an. Hier sind keine Bebauungslasten oder Verkehrsflächen zu berücksichtigen.

### Baugrund und Grundwasser

Unterhalb der Gründungssohle der Winkelstützwand bis in größere Tiefe steht fester Mergel an. Der maximale Grundwasserstand kann an Oberkante des Mergels angenommen werden. Die Winkelstützwand wird mit einem nichtbindigen Füllboden hinterfüllt. Durch eine rückseitige Drainage wird sichergestellt, dass sich hinter der Winkelstützwand kein Sickerwasserdruck aufbauen kann.

### Herstellung und Tragsystem

Nach einem Voraushub in Form einer geböschten Baugrube wird die Winkelstützwand in zwei Betonierabschnitten (Fundamentplatte und Wand) hergestellt. Nach Erreichen der 28-Tage-Festigkeit wird die Wand lagenweise mit einem Hinterfüllboden gemäß ZTV E-StB hinterfüllt.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 4	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

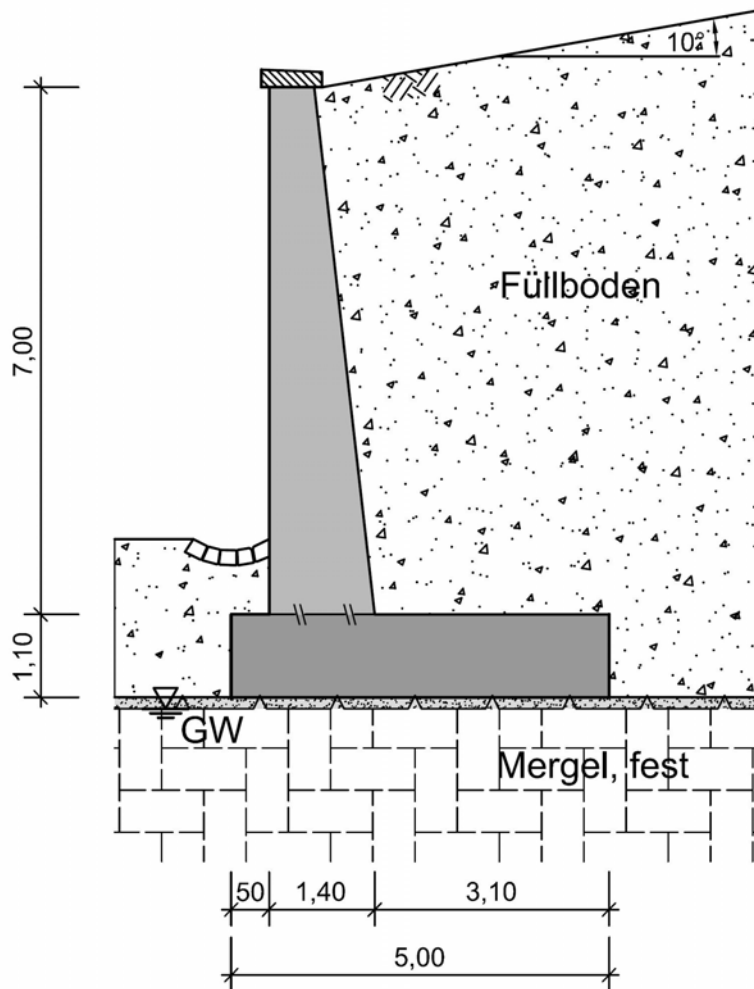


Bild II.1: Winkelstützwand, Querschnitt

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Seite 5	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

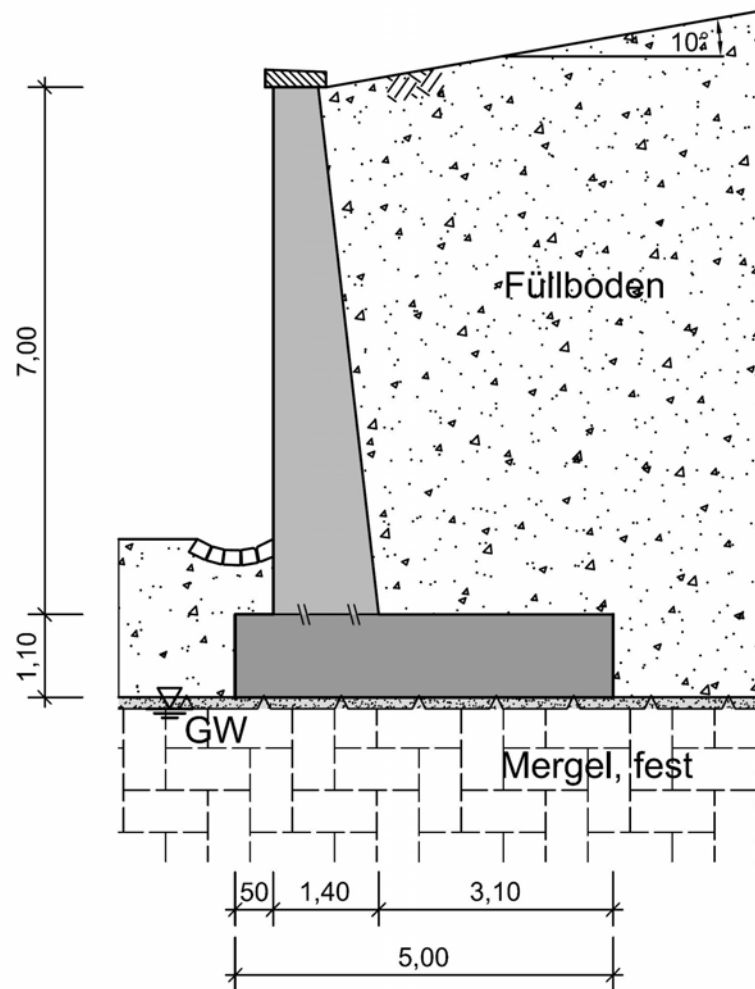


Bild II.1: Winkelstützwand, Querschnitt

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 6	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 2, Abschn. 4	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Grundbau, Stützkonstruktionen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2007-12
ZTV-ING, Teil 5, Abschn. 2	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Tunnelbau, Offene Bauweise. Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2012-03
DIN-Fachbericht 101	Einwirkungen auf Brücken, Ausgabe 2009-03
DIN-Fachbericht 102	Betonbrücken, Ausgabe 2009-03
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005-01
DIN 1055 Teil 1	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, Ausgabe 2002-06
DIN 4017	Baugrund – Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flachgründungen, Ausgabe 2006-03
DIN 4084	Baugrund – Geländebruchberechnungen, Ausgabe 2009-01
DIN 4085	Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe 2011-05

EDV-Programme:

GGU-Stability                      Böschungsbruch nach DIN 4084(2009),  
Verfasser: GGU Braunschweig, 2012

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 7
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 2, Abschn. 4	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Grundbau, Stützkonstruktionen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwurf 2012-11
ZTV-ING, Teil 5, Abschn. 2	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Tunnelbau, Offene Bauweise. Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwurf 2012-08
DIN EN 1990	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1990/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1990, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-1-1, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1992-2	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1992-2/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-2, Entwurf 2012-04
DIN EN 1997-1	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Ausgabe 2009-09
DIN EN 1997-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 4017	Baugrund – Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flachgründungen, Ausgabe 2006-03
DIN 4084	Baugrund – Geländebruchberechnungen, Ausgabe 2009-01
DIN 4085	Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe 2011-05

EDV-Programme:

GGU-Stability                      Böschungsbruch nach DIN 4084(2009),  
Verfasser: GGU Braunschweig, 2012

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen		Archiv-Nr.
Block:		Seite 8	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise der Winkelstützwand gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 4 (Grundbau, Stützkonstruktionen). Die Stahlbetonkonstruktion wird zudem in Anlehnung an ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 (Tunnel in offener Bauweise) ausgebildet.

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN 1054(2005): für die Sicherheitsnachweise der Winkelstützwand einschließlich der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund- und Grundwasser
- DIN 4017: für die Berechnung des Grundbruchwiderstandes
- DIN 4084: für die Geländebruchberechnung
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung
- DIN-Fachbericht 101: für die Einwirkungskombinationen
- DIN-Fachbericht 102: für die Bemessung und die Material-Teilsicherheitsbeiwerte der Stahlbetonkonstruktion

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 9	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise der Winkelstützwand gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 4 (Grundbau, Stützkonstruktionen). Die Stahlbetonkonstruktion wird zudem in Anlehnung an ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 (Tunnel in offener Bauweise) ausgebildet.

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise des Stützbauwerkes
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser
- DIN 4017: für die Berechnung des Grundbruchwiderstandes
- DIN 4084: für die Geländebruchberechnung
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung
- DIN EN 1990: für die Einwirkungskombinationen
- DIN-EN 1992-2: für die Bemessung und die Material-Teilsicherheitsbeiwerte der Stahlbetonkonstruktion

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 10	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Wichte feucht	Wichte unter Auftrieb	Reibungs- winkel	Kohäsion	Steife- modul
	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Hinterfüllboden	19	11	30	0	50
Mergel	22	12	30	25	150

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Grundwasser steht erst unterhalb der Gründungssohle an. Als ungünstigster Zustand wird in den Berechnungen das Grundwasser an Unterkante der Fundamentplatte angesetzt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Wichte feucht	Wichte unter Auftrieb	Reibungs- winkel	Kohäsion	Steife- modul
	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Hinterfüllboden	19	11	30	0	50
Mergel	22	12	30	25	150

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Grundwasser steht erst unterhalb der Gründungssohle an. Als ungünstigster Zustand wird in den Berechnungen das Grundwasser an Unterkante der Fundamentplatte angesetzt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 12
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

Betonstahlsorte	BSt 500 S	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1 bzw. DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.1, Tab. R2
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN 1045-1, 9.2.4 (3)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.4.3 (1)

### Betondeckung

allgemein	min $c = 40 \text{ mm}$	DIN-FB 102, Kap. II, 4.1.3.3 (114)
	nom $c = 45 \text{ mm}$	
erdberührte Flächen	min $c = 50 \text{ mm}$	
	nom $c = 55 \text{ mm}$	
gewählt	nom $c = 6,0 \text{ cm}$	in Anlehnung an ZTV-ING T5, Abschn. 2, 10.3.2

### Beton

Betonfestigkeitsklasse	C25/30 WUB-KO	Das Bauwerk liegt außerhalb des Sprühnebelbereiches der Straße. Ansonsten wäre eine Betonfestig- keitsklasse C30/37 erforderlich. DIN 1045-1
Expositionsklassen	XC4, XF1	Bei Lage des Bauwerkes im Sprüh- nebelbereich der Straße wäre XD1, XF2 anzusetzen.
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 25 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.4, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,6 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 26700 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.5.2, Tab. 3.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V): DIN-FB 102, II, 2.3.3.2, Tab. 2.3

$$\gamma_s = 1,15$$

im GZ2  $\gamma_s = 1,0$

#### Beton:

S+V  $\gamma_c = 1,5$  DIN-FB 102, II, 2.3.3.2, Tab. 2.3

im GZ2  $\gamma_c = 1,0$

Bauteil:	IV. A Baugrubenverbau	Seite 13	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

Betonstahlsorte	BSt 500 S	DIN-EN 1992-2, 3.2
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 1992-2, NDP zu 3.2.7(2)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.2.7(4)

### Betondeckung

allgemein	$c_{min,dur} = 40 \text{ mm}$ $c_{nom} = 45 \text{ mm}$	DIN-EN 1992-2, Tab. 4.3.1DE
erdberührte Flächen	$c_{min,dur} = 50 \text{ mm}$ $c_{nom} = 55 \text{ mm}$	
gewählt	nom $c = 6,0 \text{ cm}$	in Anlehnung an ZTV-ING T5, Abschn. 2, 10.3.2

### Beton

Betonfestigkeitsklasse	C25/30 WUB-KO	Das Bauwerk liegt außerhalb des Sprühnebelbereiches der Straße. Ansonsten wäre eine Betonfestigkeitsklasse C30/37 erforderlich.
Expositionsklassen	XC4, XF1	DIN EN 1992-1-1 Bei Lage des Bauwerkes im Sprühnebelbereich der Straße wäre XD1, XF2 anzusetzen.
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 25 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,6 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 31500 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V): DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

$$\gamma_s = 1,15$$

im SLS  $\gamma_s = 1,0$

#### Beton:

S+V  $\gamma_c = 1,5$  DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

im SLS  $\gamma_c = 1,0$

Bauteil:	IV. A Baugrubenverbau		Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 14	
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Boden

Die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise DIN 1054 erfolgen für den Lastfall 1.

#### Teilsicherheitsbeiwerte GZ 1B

##### Einwirkungen:

ständige Einwirkungen allgemein  $\gamma_G = 1,35$  (LF 1)

ständige Einwirkungen aus Erdruchedruck  $\gamma_{E0g} = 1,20$  (LF 1)

##### Widerstände:

Grundbruchwiderstand  $\gamma_{Gr} = 1,40$  (LF 1)

Gleitwiderstand  $\gamma_{Gl} = 1,10$  (LF 1)

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 2

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

#### Teilsicherheitsbeiwerte GZ 1C

##### Einwirkungen:

ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,00$  (LF 1)

##### Widerstände:

Reibungsbeiwert  $\tan \varphi'$   $\gamma_\varphi = 1,25$  (LF 1)

Kohäsion  $c'$   $\gamma_c = 1,25$  (LF 1)

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 2

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

#### Teilsicherheitsbeiwerte GZ 2

##### Einwirkungen:

ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,00$  (LF 1)

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 2

Bauteil:	IV. A Baugrubenverbau		Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 15	
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Boden

Die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise erfolgen für die Bemessungssituation BS-P.

DIN EN 1997-1

#### Teilsicherheitsbeiwerte EQU

ungünstige ständige Einwirkungen  $\gamma_{G,dst} = 1,10$  (BS-P)

günstige ständige Einwirkungen  $\gamma_{G,stb} = 0,90$  (BS-P)

#### Teilsicherheitsbeiwerte STR / GEO-2

Einwirkungen:

DIN 1054, Tab. A 2.1

ständige Einwirkungen allgemein  $\gamma_G = 1,35$  (BS-P)

ständige Einwirkungen aus Erdruchedruck  $\gamma_{G,E0} = 1,20$  (BS-P)

Widerstände:

DIN 1054, Tab. A 2.3

Grundbruchwiderstand  $\gamma_{R,v} = 1,40$  (BS-P)

Gleitwiderstand  $\gamma_{R,h} = 1,10$  (BS-P)

#### Teilsicherheitsbeiwerte GEO-3

Einwirkungen:

DIN 1054, Tab. A 2.1

ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,00$  (BS-P)

Widerstände:

DIN 1054, Tab. A 2.2

Reibungsbeiwert  $\tan \varphi'$   $\gamma_{\varphi'} = 1,25$  (BS-P)

Kohäsion  $c'$   $\gamma_{c'} = 1,25$  (BS-P)

#### Teilsicherheitsbeiwerte SLS

Einwirkungen:

DIN 1054, Tab. A 2.1

ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,00$  (BS-P)

Bauteil:	IV. A Baugrubenverbau		Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 16	
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Die Winkelstützwand wird durch ihr Eigengewicht sowie Erddruck aus der Hinterfüllung und der großflächigen Verkehrslast beansprucht.

#### Eigengewicht Stützwand

$$\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^3$$

DIN 1055-1

#### Aktiver Erddruck

Für die Lagesicherheitsnachweise der Winkelstützwand wird der aktive Erddruck angesetzt. Bei Winkelstützwänden darf die Erddruckermittlung für die Nachweise der äußeren Standsicherheit vereinfacht an einem vertikalen Berechnungsschnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels erfolgen. Dabei ist ein Wandreibungswinkel  $\delta = \beta$  anzusetzen:

DIN 4085, 6.3.1.2

$$\text{Wandreibungswinkel } \delta = \beta = 10^\circ$$

$$\text{Erddruckbeiwerte: } K_{agh} = 0,344$$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

Erddruck auf hinteren Sporn:

$$\text{Wandreibungswinkel } \delta = 2/3 \cdot \varphi'_k = 20^\circ, \alpha = 0^\circ$$

$$\text{Erddruckbeiwerte: } K_{agh} = 0,320$$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

#### Erhöhter aktiver Erddruck

Die Nachweise der inneren Tragfähigkeit der Winkelstützwand erfolgen mit dem erhöhten aktiven Erddruck. Dieser wird direkt auf das Bauwerk angesetzt.

DIN 4085, Tabelle A.2

Erddruck auf Wandrückseite:

$$\text{Wandreibungswinkel } \delta = 2/3 \cdot \varphi'_k = 20^\circ, \alpha = 5,7^\circ$$

$$\text{Erddruckbeiwerte: } K_{agh} = 0,358$$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$$K_0 = 0,453$$

DIN 4085, Abschn. 6.4.1

$$K'_{ah} = (0,358 + 0,453)/2 = 0,406$$

DIN 4085, Tabelle A.2

Erddruck auf hinteren Schenkel:

$$\text{Wandreibungswinkel } \delta = 2/3 \cdot \varphi'_k = 20^\circ, \alpha = 0^\circ$$

$$\text{Erddruckbeiwerte: } K_{agh} = 0,320$$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$$K_0 = 0,461$$

DIN 4085, Abschn. 6.4.1

$$K'_{ah} = (0,320 + 0,461)/2 = 0,390$$

DIN 4085, Tabelle A.2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 17
Vorgang:	1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Die Winkelstützwand wird durch ihr Eigengewicht sowie durch Erddruck aus der Hinterfüllung und der großflächigen Verkehrslast beansprucht.

#### Eigengewicht Stützwand

$$\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^3$$

DIN EN 1991-1-1

#### Aktiver Erddruck

Für die Lagesicherheitsnachweise der Winkelstützwand wird der aktive Erddruck angesetzt. Bei Winkelstützwänden darf die Erddruckermittlung für die Nachweise der äußeren Standsicherheit vereinfacht an einem vertikalen Berechnungsschnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels erfolgen. Dabei ist ein Wandreibungswinkel  $\delta = \beta$  anzusetzen:

DIN 4085, 6.3.1.2

Wandreibungswinkel  $\delta = \beta = 10^\circ$

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh} = 0,344$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

Erddruck auf hinteren Sporn:

Wandreibungswinkel  $\delta = 2/3 \cdot \varphi'_k = 20^\circ$ ,  $\alpha = 0^\circ$

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh} = 0,320$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

#### Erhöhter aktiver Erddruck

Die Nachweise der inneren Tragfähigkeit der Winkelstützwand erfolgen mit dem erhöhten aktiven Erddruck. Dieser wird direkt auf das Bauwerk angesetzt.

DIN 4085, Tabelle A.2

Erddruck auf Wandrückseite:

Wandreibungswinkel  $\delta = 2/3 \cdot \varphi'_k = 20^\circ$ ,  $\alpha = 5,7^\circ$

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh} = 0,358$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$$K_0 = 0,453$$

DIN 4085, Abschn. 6.4.1

$$K'_{ah} = (0,358 + 0,453)/2 = 0,406$$

DIN 4085, Tabelle A.2

Erddruck auf hinteren Schenkel:

Wandreibungswinkel  $\delta = 2/3 \cdot \varphi'_k = 20^\circ$ ,  $\alpha = 0^\circ$

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh} = 0,320$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$$K_0 = 0,461$$

DIN 4085, Abschn. 6.4.1

$$K'_{ah} = (0,320 + 0,461)/2 = 0,390$$

DIN 4085, Tabelle A.2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 18
Vorgang:	1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Verdichtungserddruck

$e_v = 25 \text{ kN/m}^2$

DIN 4085, 6.6.1, Tab. 3

Wasserdruck

Aufgrund der Drainage ist kein Wasserdruck anzusetzen.

Verkehrslast

Die großflächige Verkehrslast von  $p = 10 \text{ kN/m}^2$  oberhalb der Winkelstützwand ist als ständige Einwirkung zu behandeln und wird in ungünstiger Stellung in die Erddruckermittlung einbezogen.

DIN 1054, 10.3.1 (6)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 19
Vorgang:	1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Verdichtungserddruck

$e_v = 25 \text{ kN/m}^2$

DIN 4085, 6.6.1, Tab. 3

Wasserdruck

Aufgrund der Drainage ist kein Wasserdruck anzusetzen.

Verkehrslast

Die großflächige Verkehrslast von  $p = 10 \text{ kN/m}^2$  oberhalb der Winkelstützwand ist als ständige Einwirkung zu behandeln und wird in ungünstiger Stellung in die Erddruckermittlung einbezogen.

DIN 1054, 9.5.1, A (10)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 20
Vorgang:	1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER TRAGFÄHIGKEIT

### 2.1 Nachweis der Gleitsicherheit

Der Nachweis der Gleitsicherheit wird im Grenzzustand GZ1B geführt. Hierfür ist nachzuweisen, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$T_d \leq R_{t,d} + E_{p,d}$$

DIN 1054, 7.5.3, Gl. (20)

Der Nachweis erfolgt gemäß DIN 4085 an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird. Die Eigenlast des Bodenkeils auf dem erdseitigen Wandschenkel wird berücksichtigt.

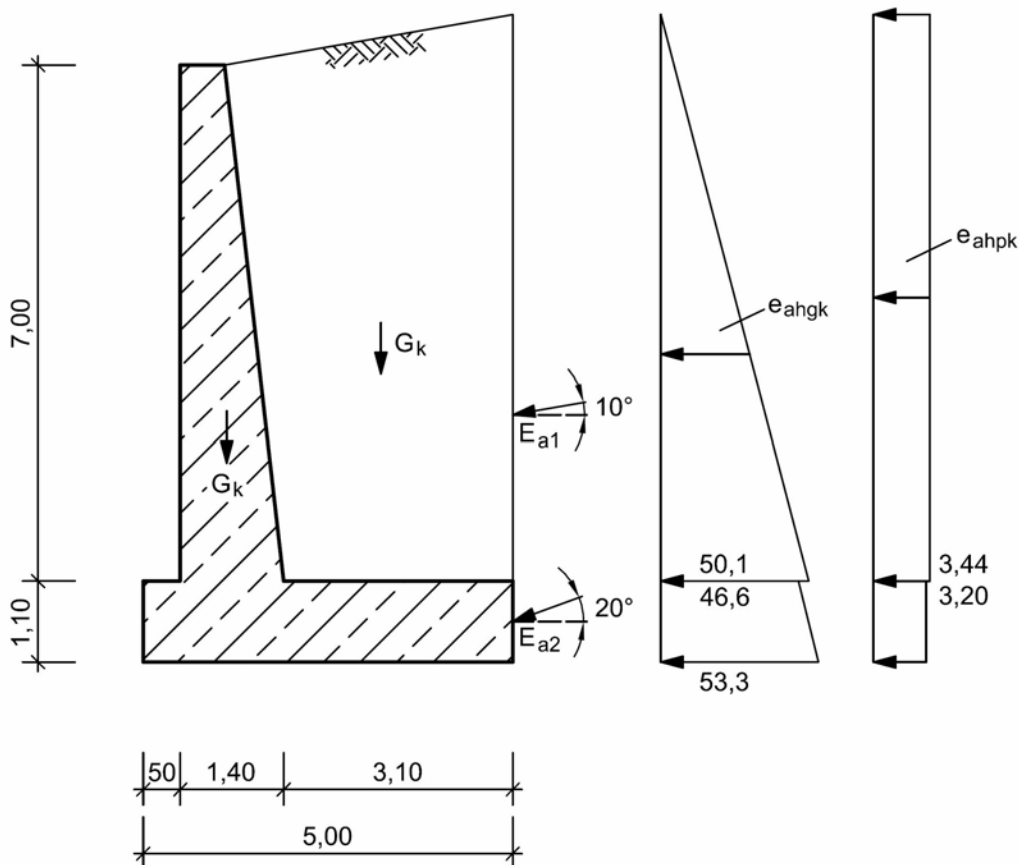


Bild 2.1: Ersatzkörper mit angreifenden Einwirkungen

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 21
Vorgang:	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER TRAGFÄHIGKEIT

### 2.1 Nachweis der Gleitsicherheit

Der Nachweis der Gleitsicherheit wird mit dem Nachweisverfahren STR / GEO-2 geführt. Hierfür ist nachzuweisen, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$H_d \leq R_d + R_{p,d}$$

DIN EN 1997-1, 6.5.3, Gl. (6.2)

Der Nachweis erfolgt gemäß DIN 4085 an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird. Die Eigenlast des Bodenkeils auf dem erdseitigen Wandschenkel wird berücksichtigt.

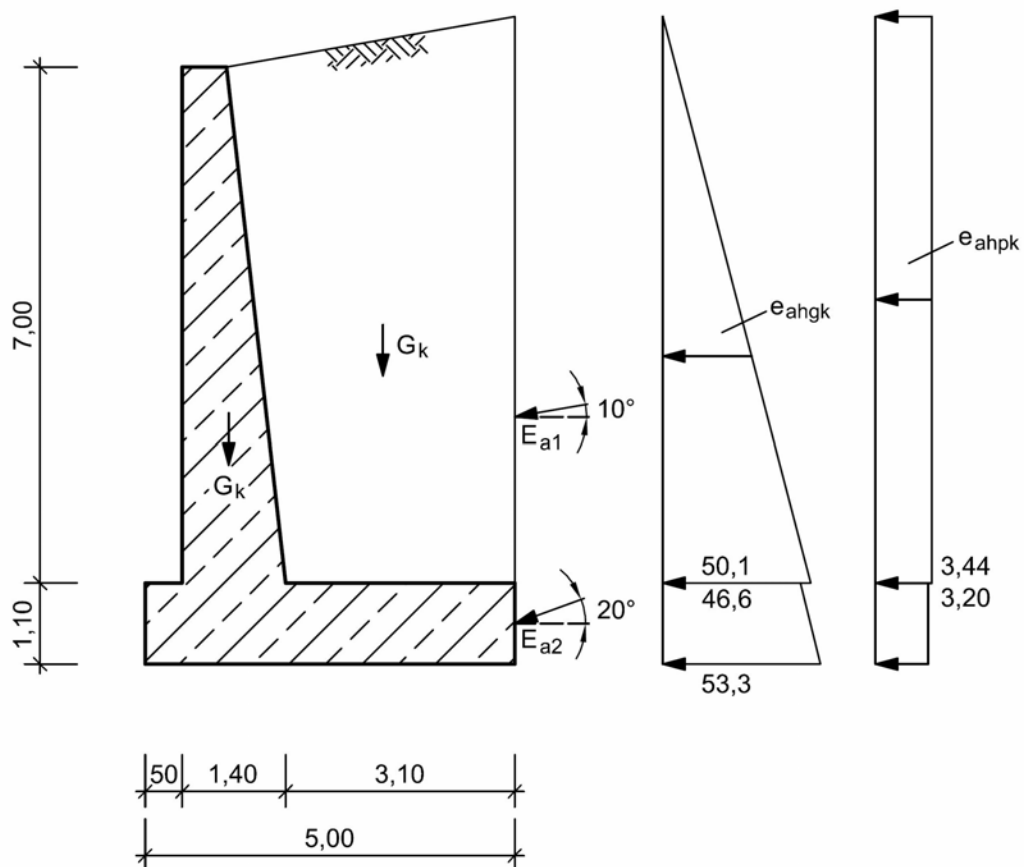


Bild 2.1: Ersatzkörper mit angreifenden Einwirkungen

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 22
Vorgang:	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen

- Eigengewicht der Stützwand:

Für den Gleitnachweis wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^2$  angesetzt.

$$G_{kW} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 24,0 + (0,7 + 1,4)/2 \cdot 7,0 \cdot 24 = 308,4 \text{ kN/m}$$

- Eigengewicht des Bodenkörpers:

$$G_{kB} = 7,0 \cdot 3,1 \cdot 19 + 7,0 \cdot 0,7/2 \cdot 19 + 3,8 \cdot 0,67/2 \cdot 19 = 483,1 \text{ kN/m}$$

- Erddruck aus Bodeneigengewicht:

Höhe der fiktiven Wand bis Oberkante Sporn:  $h = 7,0 + 3,8 \cdot \tan(10^\circ) = 7,67 \text{ m}$

$$e_{ahk,o} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ahk,u} = 7,67 \cdot 19,0 \cdot 0,344 = 50,1 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ahk,1} = 50,1 \cdot 7,67 / 2 = 192,3 \text{ kN/m}$$

$$E_{avk,1} = 192,3 \cdot \tan(10^\circ) = 33,9 \text{ kN/m}$$

Erddruck auf rückseitigen Sporn:

$$e_{ahk,o} = 7,67 \cdot 19,0 \cdot 0,320 = 46,6 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ahk,u} = 46,6 + 1,1 \cdot 19,0 \cdot 0,320 = 53,3 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ahk,2} = (46,6 + 53,3)/2 \cdot 1,10 = 54,9 \text{ kN/m}$$

$$E_{avk,2} = 54,9 \cdot \tan(20^\circ) = 20,0 \text{ kN/m}$$

- Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast:

$$e_{ahpk,o} = 10,0 \cdot 0,344 = 3,44 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ahpk,u} = 10,0 \cdot 0,320 = 3,20 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ahpk,1} = 3,44 \cdot 7,67 = 26,4 \text{ kN/m}$$

$$E_{avpk,1} = 26,4 \cdot \tan(10^\circ) = 4,7 \text{ kN/m}$$

$$E_{ahpk,2} = 3,20 \cdot 1,10 = 3,5 \text{ kN/m}$$

$$E_{avpk,2} = 3,5 \cdot \tan(20^\circ) = 1,3 \text{ kN/m}$$

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt.

Eine vertikale Auflast auf den erdseitigen Sporn aus der Verkehrslast wird nicht berücksichtigt, da sie günstig wirkt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 23
Vorgang:	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen

#### - Eigengewicht der Stützwand:

Für den Gleitnachweis wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^3$  angesetzt.

$$G_{kW} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 24,0 + (0,7 + 1,4)/2 \cdot 7,0 \cdot 24 = 308,4 \text{ kN/m}$$

#### - Eigengewicht des Bodenkörpers:

$$G_{kB} = 7,0 \cdot 3,1 \cdot 19 + 7,0 \cdot 0,7/2 \cdot 19 + 3,8 \cdot 0,67/2 \cdot 19 = 483,1 \text{ kN/m}$$

#### - Erddruck aus Bodeneigengewicht:

Höhe der fiktiven Wand bis Oberkante Sporn:  $h = 7,0 + 3,8 \cdot \tan(10^\circ) = 7,67 \text{ m}$

$$e_{ahk,o} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ahk,u} = 7,67 \cdot 19,0 \cdot 0,344 = 50,1 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ahk,1} = 50,1 \cdot 7,67 / 2 = 192,3 \text{ kN/m}$$

$$E_{avk,1} = 192,3 \cdot \tan(10^\circ) = 33,9 \text{ kN/m}$$

Erddruck auf rückseitigen Sporn:

$$e_{ahk,o} = 7,67 \cdot 19,0 \cdot 0,320 = 46,6 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ahk,u} = 46,6 + 1,1 \cdot 19,0 \cdot 0,320 = 53,3 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ahk,2} = (46,6 + 53,3)/2 \cdot 1,10 = 54,9 \text{ kN/m}$$

$$E_{avk,2} = 54,9 \cdot \tan(20^\circ) = 20,0 \text{ kN/m}$$

#### - Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast:

$$e_{ahpk,o} = 10,0 \cdot 0,344 = 3,44 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ahpk,u} = 10,0 \cdot 0,320 = 3,20 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ahpk,1} = 3,44 \cdot 7,67 = 26,4 \text{ kN/m}$$

$$E_{avpk,1} = 26,4 \cdot \tan(10^\circ) = 4,7 \text{ kN/m}$$

$$E_{ahpk,2} = 3,20 \cdot 1,10 = 3,5 \text{ kN/m}$$

$$E_{avpk,2} = 3,5 \cdot \tan(20^\circ) = 1,3 \text{ kN/m}$$

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt.

Eine vertikale Auflast auf den erdseitigen Sporn aus der Verkehrslast wird nicht berücksichtigt, da sie günstig wirkt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 24
Vorgang:	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Nachweis

$$T_d = \gamma_G \cdot \Sigma E_{ah,k} = 1,35 \cdot (192,3 + 54,9 + 26,4 + 3,5) = 1,35 \cdot 277,1 = 374,1 \text{ kN/m}$$

$$R_{t,k} = \Sigma N_{,k} \cdot \tan \delta_{s,k}$$

Bei Ortbetonfundamenten darf  $\delta_{s,k} = \varphi'_k$  angesetzt werden. DIN 1054, 7.4.3 (3)

$$\begin{aligned} R_{t,k} &= (308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3) \cdot \tan(30^\circ) \\ &= 851,4 \cdot \tan(30^\circ) = 491,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$R_{t,d} = R_{t,k} / \gamma_{GI} = 491,5 / 1,1 = 446,9 > 374,1 = T_d$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 25
Vorgang:	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Nachweis

$$H_d = \gamma_G \cdot \sum E_{ah,k} = 1,35 \cdot (192,3 + 54,9 + 26,4 + 3,5) = 1,35 \cdot 277,1 = 374,1 \text{ kN/m}$$

$$R_k = \sum V_k \cdot \tan \delta_d$$

Bei Ortbetonfundamenten darf  $\delta_d = \varphi'_k$  angesetzt werden.

DIN 1054, 6.5.3, A (10)

$$\begin{aligned} R_k &= (308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3) \cdot \tan(30^\circ) \\ &= 851,4 \cdot \tan(30^\circ) = 491,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$R_d = R_k / \gamma_{R,h} = 491,5 / 1,1 = 446,9 > 374,1 = H_d$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 26
Vorgang:	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen

Zum Nachweis der Sicherheit gegen Kippen ist gemäß DIN 1054, 7.5.1 im Grenzzustand der Tragfähigkeit nachzuweisen, dass die Resultierende des Sohldrucks unter ständigen und veränderlichen Einwirkungen innerhalb der 2. Kernweite bleibt, d.h. dass die Ausmitte  $e \leq b/3$  ist. Der Nachweis erfolgt für die ungünstigste Kombination der charakteristischen Werte ständiger und veränderlicher Einwirkungen.

Der Nachweis erfolgt wiederum an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird. Die Eigenlast des Bodenkeils auf dem erdseitigen Wandschenkel wird berücksichtigt.

Es werden zunächst die charakteristischen Einwirkungen und deren Hebelarme bezogen auf den Sohlmittelpunkt ermittelt:

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Hebelarme

- Eigengewicht der Stützwand:

Für den Kippnachweis wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^2$  angesetzt.

Bodenplatte $G_{k1} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 24 = 132,0 \text{ kN/m}$	$e = 0 \text{ m}$
Vorderwand $G_{k2} = 0,7 \cdot 7,0 \cdot 24 = 117,6 \text{ kN/m}$	$e = 2,5 - 1,0 - 0,7 / 2 = 1,15 \text{ m}$
$G_{k3} = 0,7 \cdot 7,0 / 2 \cdot 24 = 58,8 \text{ kN/m}$	$e = 2,5 - 1,0 - 0,7 - 0,7 / 3 = 0,57 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$	

- Eigengewicht des Bodenkörpers:

$G_{k4} = 7,0 \cdot 3,1 \cdot 19 = 412,3 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 + 3,1 / 2 = -0,95 \text{ m}$
$G_{k5} = 7,0 \cdot 0,7 / 2 \cdot 19 = 46,6 \text{ kN/m}$	$e = 2,5 - 1,7 - 2/3 \cdot 0,7 = 0,33 \text{ m}$
$G_{k6} = 3,8 \cdot 0,67 / 2 \cdot 19 = 24,2 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 + 3,8 / 3 = -1,23 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 483,1 \text{ kN/m}$	

- Erddruck aus Bodeneigengewicht (vgl. 2.1):

$E_{ahk,1} = 192,3 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 + 7,0 / 3 = 3,43 \text{ m}$
$E_{avk,1} = 33,9 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$
$E_{ahk,2} = 54,9 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ m}$
$E_{avk,2} = 20,0 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 27
Vorgang:	2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen

Der Kippnachweis wird gemäß DIN EN 1997-1, 6.5.4 im Grenzzustand EQU geführt. Es wird ein Vergleich der stabilisierenden und der destabilisierenden Einwirkungen (Momente) bezogen auf eine Kippkante des Fundamentes geführt (hier die Vorderkante des luftseitigen Spornes).

Der Nachweis erfolgt wiederum an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird. Die Eigenlast des Bodenkeils auf dem erdseitigen Wandschenkel wird berücksichtigt.

Es werden zunächst die charakteristischen Einwirkungen und deren Hebelarme bezogen auf die Vorderkante des luftseitigen Spornes ermittelt:

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Hebelarme

- Eigengewicht der Stützwand:

Für den Kippnachweis wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^3$  angesetzt.

Bodenplatte $G_{k1} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 24 = 132,0 \text{ kN/m}$	$e = 5,0 / 2 = 2,5 \text{ m}$
Vorderwand $G_{k2} = 0,7 \cdot 7,0 \cdot 24 = 117,6 \text{ kN/m}$	$e = 0,5 + 0,7 / 2 = 0,85 \text{ m}$
$G_{k3} = 0,7 \cdot 7,0 / 2 \cdot 24 = 58,8 \text{ kN/m}$	$0,5 + 0,7 + 0,7 / 3 = 1,43 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$	

- Eigengewicht des Bodenkörpers:

$G_{k4} = 7,0 \cdot 3,1 \cdot 19 = 412,3 \text{ kN/m}$	$e = 1,9 + 3,1 / 2 = 3,45 \text{ m}$
$G_{k5} = 7,0 \cdot 0,7 / 2 \cdot 19 = 46,6 \text{ kN/m}$	$e = 1,9 + 2 / 3 \cdot 0,7 = 2,37 \text{ m}$
$G_{k6} = 3,8 \cdot 0,67 / 2 \cdot 19 = 24,2 \text{ kN/m}$	$e = 1,2 + 2 / 3 \cdot 3,1 = 3,73 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 483,1 \text{ kN/m}$	

- Erddruck aus Bodeneigengewicht (vgl. 2.1):

$E_{ahk,1} = 192,3 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 + 7,0 / 3 = 3,43 \text{ m}$
$E_{avk,1} = 33,9 \text{ kN/m}$	$e = 5,0 \text{ m}$
$E_{ahk,2} = 54,9 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ m}$
$E_{avk,2} = 20,0 \text{ kN/m}$	$e = 5,0 \text{ m}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 28
Vorgang:	2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

- Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast (vgl. 2.1):

$$E_{ahpk,1} = 26,4 \text{ kN/m}$$

$$h = 1,1 + 7,0 / 2 = 4,6 \text{ m}$$

$$E_{avpk,1} = 4,7 \text{ kN/m}$$

$$e = -2,5 \text{ m}$$

$$E_{ahpk,2} = 3,5 \text{ kN/m}$$

$$h = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ m}$$

$$E_{avpk,1} = 1,3 \text{ kN/m}$$

$$e = -2,5 \text{ m}$$

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt.

Eine vertikale Auflast auf den erdseitigen Sporn aus der Verkehrslast wird nicht berücksichtigt, da sie günstig wirkt.

#### Nachweis:

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\begin{aligned} \Sigma M_k &= 117,6 \cdot 1,15 + 58,8 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 + 192,3 \cdot 3,43 \\ &\quad + 54,9 \cdot 0,55 - 33,9 \cdot 2,5 - 20,0 \cdot 2,5 + 26,4 \cdot 4,6 + 3,5 \cdot 0,55 - 4,7 \cdot 2,5 - 1,3 \cdot 2,5 \\ &= 426,1 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Ausmitte:

$$e = \Sigma M_k / V_k = 426,1 / 851,4 = 0,73 \text{ m} < b / 3 = 5,0 / 3 = 1,67 \text{ m}$$

Der Nachweis der zulässigen Lastausmitte unter ständigen und veränderlichen Lasten ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 29
Vorgang:	2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

- Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast (vgl. 2.1):

$$\begin{array}{ll}
 E_{ahpk,1} = 26,4 \text{ kN/m} & h = 1,1 + 7,0 / 2 = 4,6 \text{ m} \\
 E_{avpk,1} = 4,7 \text{ kN/m} & e = 5,0 \text{ m} \\
 E_{ahpk,2} = 3,5 \text{ kN/m} & h = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ m} \\
 E_{avpk,1} = 1,3 \text{ kN/m} & e = 5,0 \text{ m}
 \end{array}$$

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt.

Eine vertikale Auflast auf den erdseitigen Sporn aus der Verkehrslast wird nicht berücksichtigt, da sie günstig wirkt.

#### Nachweis:

Summe der destabilisierenden Momente um die Spornvorderkante:

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_{dst,k} &= \Sigma E_{ah,k} = 192,3 \cdot 3,43 + 54,9 \cdot 0,55 + 26,4 \cdot 4,6 + 3,5 \cdot 0,55 \\
 &= 813,1 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma M_{dst,d} = \Sigma M_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} = 813,1 \cdot 1,10 = 894,5 \text{ kNm/m}$$

Summe der stabilisierenden Momente um die Spornvorderkante:

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_{stb,k} &= \Sigma G_k + \Sigma E_{av,k} = 132,0 \cdot 2,5 + 117,6 \cdot 0,85 + 58,8 \cdot 1,43 + 412,3 \cdot 3,45 \\
 &\quad + 46,6 \cdot 2,37 + 24,2 \cdot 3,73 + 33,9 \cdot 5,0 + 20,0 \cdot 5,0 + 4,7 \cdot 5,0 + 1,3 \cdot 5,0 \\
 &= 2436,7 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma M_{stb,d} = \Sigma M_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb} = 2436,7 \cdot 0,90 = 2193,0 \text{ kNm/m}$$

$$\Sigma M_{dst,d} = 894,5 \text{ kNm/m} < \Sigma M_{stb,d} = 2193,0 \text{ kNm/m}$$

Der Kippnachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 30
Vorgang:	2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit

Der Grundbruchnachweis wird im Grenzzustand GZ 1B geführt. Der Nachweis erfolgt wiederum an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird.

Es werden zunächst die charakteristischen Einwirkungen und deren Hebelarme bezogen auf den Sohlmittelpunkt ermittelt:

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Hebelarme

- Eigengewicht der Stützwand (vgl. 2.2):

Die geringste Grundbruchsicherheit ergibt sich bei der größten Lastausmitte. Daher wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^2$  angesetzt

Bodenplatte $G_{k1} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 24 = 132,0 \text{ kN/m}$	$e = 0 \text{ m}$
Vorderwand $G_{k2} = 0,7 \cdot 7,0 \cdot 24 = 117,6 \text{ kN/m}$	$e = 1,15 \text{ m}$
$G_{k3} = 0,7 \cdot 7,0 / 2 \cdot 24 = 58,8 \text{ kN/m}$	$e = 0,57 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$	

- Eigengewicht des Bodenkörpers (vgl. 2.2):

$G_{k4} = 412,3 \text{ kN/m}$	$e = -0,95 \text{ m}$
$G_{k5} = 46,6 \text{ kN/m}$	$e = 0,33 \text{ m}$
$G_{k6} = 24,2 \text{ kN/m}$	$e = -1,23 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 483,1 \text{ kN/m}$	

- Erddruck aus Bodeneigengewicht (vgl. 2.2):

$E_{ahk,1} = 192,3 \text{ kN/m}$	$h = 3,43 \text{ m}$
$E_{avk,1} = 33,9 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$
$E_{ahk,2} = 54,9 \text{ kN/m}$	$h = 0,55 \text{ m}$
$E_{avk,2} = 20,0 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$

- Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast (vgl. 2.2):

$E_{ahpk,1} = 26,4 \text{ kN/m}$	$h = 4,6 \text{ m}$
$E_{avpk,1} = 4,7 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$
$E_{ahpk,2} = 3,5 \text{ kN/m}$	$h = 0,55 \text{ m}$
$E_{avpk,1} = 1,3 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 31
Vorgang:	2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit

Der Grundbruchnachweis wird mit dem Nachweisverfahren GEO-2 geführt. Der Nachweis erfolgt wiederum an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird.

Es werden zunächst die charakteristischen Einwirkungen und deren Hebelarme bezogen auf den Sohlmittelpunkt ermittelt:

#### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Hebelarme

- Eigengewicht der Stützwand (vgl. 2.2):

Die geringste Grundbruchsicherheit ergibt sich bei der größten Lastausmitte. Daher wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^3$  angesetzt

Bodenplatte $G_{k1} = 132,0 \text{ kN/m}$	$e = 0 \text{ m}$
Vorderwand $G_{k2} = 117,6 \text{ kN/m}$	$e = 2,5 - 1,0 - 0,7 / 2 = 1,15 \text{ m}$
$G_{k3} = 58,8 \text{ kN/m}$	$e = 2,5 - 1,0 - 0,7 - 0,7 / 3 = 0,57 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$	

- Eigengewicht des Bodenkörpers (vgl. 2.2):

$G_{k4} = 412,3 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 + 3,1 / 2 = -0,95 \text{ m}$
$G_{k5} = 46,6 \text{ kN/m}$	$e = 2,5 - 1,7 - 2/3 \cdot 0,7 = 0,33 \text{ m}$
$G_{k6} = 24,2 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 + 3,8 / 3 = -1,23 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 483,1 \text{ kN/m}$	

- Erddruck aus Bodeneigengewicht (vgl. 2.2):

$E_{ahk,1} = 192,3 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 + 7,0 / 3 = 3,43 \text{ m}$
$E_{avk,1} = 33,9 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$
$E_{ahk,2} = 54,9 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ m}$
$E_{avk,2} = 20,0 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$

- Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast (vgl. 2.2):

$E_{ahpk,1} = 26,4 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 + 7,0 / 2 = 4,6 \text{ m}$
$E_{avpk,1} = 4,7 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$
$E_{ahpk,2} = 3,5 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ m}$
$E_{avpk,2} = 1,3 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 32
Vorgang:	2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie der Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt. Eine vertikale Auflast auf den erdseitigen Sporn aus der Verkehrslast wird nicht berücksichtigt, da sie günstig wirkt.

#### Ermittlung des Grundbruchwiderstandes:

Der Grundbruchwiderstand ist nach DIN 4017 zu ermitteln. Dabei werden Neigung und Ausmitte der Last unter Ansatz der charakteristischen Beanspruchungen in der Sohlfläche ermittelt.

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Horizontalkräfte:

$$H_k = 192,3 + 54,9 + 26,4 + 3,5 = 277,1 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\begin{aligned} \Sigma M_k &= 117,6 \cdot 1,15 + 58,8 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 + 192,3 \cdot 3,43 \\ &\quad + 54,9 \cdot 0,55 - 33,9 \cdot 2,5 - 20,0 \cdot 2,5 + 26,4 \cdot 4,6 + 3,5 \cdot 0,55 - 4,7 \cdot 2,5 - 1,3 \cdot 2,5 \\ &= 426,1 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Ausmitte:

$$e = \Sigma M_k / V_k = 426,1 / 851,4 = 0,73 \text{ m}$$

Beiwerte:

wegen Streifenfundament gilt:  $\nu_b = \nu_d = \nu_c = 1,0$

wegen Geländeneigung = 0 gilt:  $\lambda_b = \lambda_d = \lambda_c = 1,0$

wegen Sohlneigung = 0 gilt:  $\xi_b = \xi_d = \xi_c = 1,0$

Lastneigungswinkel  $\tan \delta = H_k / N_k = 277,1 / 851,4 = 0,32 > 0$

$$\omega = 0$$

$$m = 2,0 \quad \text{mit } m_a = 1,0, m_b = 2,0$$

Lastneigungsbeiwerte  $i_b = (1 - \tan \delta)^{m+1} = (1 - 0,32)^3 = 0,308$

$$i_d = (1 - \tan \delta)^m = (1 - 0,32)^2 = 0,456$$

$$i_c = (i_d \cdot N_{d0} - 1) / (N_{d0} - 1) = 0,425$$

$$N_{d0} = \tan^2 (45 + \varphi/2) e^{\pi \cdot \tan \varphi} = 18,4 \quad \text{mit } \varphi = 30^\circ$$

$$N_{b0} = (N_{d0} - 1) \cdot \tan \varphi = 10,0$$

$$N_{c0} = (N_{d0} - 1) / \tan \varphi = 30,1$$

$$b' = b - 2 \cdot e = 5,0 - 2 \cdot 0,73 = 3,54 \text{ m}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit		Seite 33
Vorgang:	2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie der Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt. Eine vertikale Auflast auf den erdseitigen Sporn aus der Verkehrslast wird nicht berücksichtigt, da sie günstig wirkt.

#### Ermittlung des Grundbruchwiderstandes:

Der Grundbruchwiderstand ist nach DIN 4017 zu ermitteln. Dabei werden Neigung und Ausmitte der Last unter Ansatz der charakteristischen Beanspruchungen in der Sohlfläche ermittelt.

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Horizontalkräfte:

$$H_k = 192,3 + 54,9 + 26,4 + 3,5 = 277,1 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\begin{aligned} \Sigma M_k &= 117,6 \cdot 1,15 + 58,8 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 + 192,3 \cdot 3,43 \\ &\quad + 54,9 \cdot 0,55 - 33,9 \cdot 2,5 - 20,0 \cdot 2,5 + 26,4 \cdot 4,6 + 3,5 \cdot 0,55 - 4,7 \cdot 2,5 - 1,3 \cdot 2,5 \\ &= 426,1 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Ausmitte:

$$e = \Sigma M_k / V_k = 426,1 / 851,4 = 0,73 \text{ m}$$

Beiwerte:

wegen Streifenfundament gilt:  $v_b = v_d = v_c = 1,0$

wegen Geländeneigung = 0 gilt:  $\lambda_b = \lambda_d = \lambda_c = 1,0$

wegen Sohlneigung = 0 gilt:  $\xi_b = \xi_d = \xi_c = 1,0$

Lastneigungswinkel  $\tan \delta = H_k / N_k = 277,1 / 851,4 = 0,32 > 0$

$$\omega = 0$$

$$m = 2,0 \quad \text{mit } m_a = 1,0, m_b = 2,0$$

Lastneigungsbeiwerte  $i_b = (1 - \tan \delta)^{m+1} = (1 - 0,32)^3 = 0,308$

$$i_d = (1 - \tan \delta)^m = (1 - 0,32)^2 = 0,456$$

$$i_c = (i_d \cdot N_{d0} - 1) / (N_{d0} - 1) = 0,425$$

$$N_{d0} = \tan^2 (45 + \varphi/2) e^{\pi \cdot \tan \varphi} = 18,4 \quad \text{mit } \varphi = 30^\circ$$

$$N_{b0} = (N_{d0} - 1) \cdot \tan \varphi = 10,0$$

$$N_{c0} = (N_{d0} - 1) / \tan \varphi = 30,1$$

$$b' = b - 2 \cdot e = 5,0 - 2 \cdot 0,73 = 3,54 \text{ m}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 34
Vorgang:	2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Für das Tiefenglied in der Grundbruchgleichung wird – zur Berücksichtigung möglicher Abgrabungen – nur die Tiefe 1,10 m bis zur Oberkante der Sohlplatte angesetzt.

Der Grundwasserstand wird in Höhe der Gründungssohle angesetzt. Daher wird im Breitenglied der Grundbruchgleichung nur die Wichte unter Auftrieb ( $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ ) berücksichtigt.

$$\begin{aligned}
 R_{n,k} &= b' \cdot (\gamma_2 \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot i_b + \gamma_1 \cdot d \cdot N_{d0} \cdot i_d + c \cdot N_{c0} \cdot i_c) \\
 &= 3,54 \cdot (12 \cdot 3,54 \cdot 10,0 \cdot 0,308 + 19 \cdot 1,10 \cdot 18,4 \cdot 0,456 + 25 \cdot 30,1 \cdot 0,425) \\
 &= 2216,0 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

#### Nachweis:

Bemessungswert der Beanspruchungen senkrecht zur Fundamentsohlfläche:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

$$V_d = V_k \cdot \gamma_G = 851,4 \cdot 1,35 = 1149,4 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes:

$$R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{Gr} = 2216,0 / 1,40 = 1582,9 \text{ kN/m} > 1149,4 \text{ kN/m}$$

Der Grundbruchnachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 35
Vorgang:	2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Für das Tiefenglied in der Grundbruchgleichung wird – zur Berücksichtigung möglicher Abgrabungen – nur die Tiefe 1,10 m bis zur Oberkante der Sohlplatte angesetzt.

Der Grundwasserstand wird in Höhe der Gründungssohle angesetzt. Daher wird im Breitenglied der Grundbruchgleichung nur die Wichte unter Auftrieb ( $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ ) berücksichtigt.

$$\begin{aligned}
 R_{n,k} &= b' \cdot (\gamma_2 \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot i_b + \gamma_1 \cdot d \cdot N_{d0} \cdot i_d + c \cdot N_{c0} \cdot i_c) \\
 &= 3,54 \cdot (12 \cdot 3,54 \cdot 10,0 \cdot 0,308 + 19 \cdot 1,10 \cdot 18,4 \cdot 0,456 + 25 \cdot 30,1 \cdot 0,425) \\
 &= 2216,0 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Nachweis:

Bemessungswert der Beanspruchungen senkrecht zur Fundamentsohlfläche:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

$$V_d = V_k \cdot \gamma_G = 851,4 \cdot 1,35 = 1149,4 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes:

$$R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{R,v} = 2216,0 / 1,40 = 1582,9 \text{ kN/m} > 1149,4 \text{ kN/m}$$

Der Grundbruchnachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 36
Vorgang:	2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit

Der Nachweis der Gesamtstandsicherheit (Geländebruch) erfolgt im Grenzzustand GZ 1C gemäß DIN 1054, 12.3 auf der Grundlage der DIN 4084.

Für diesen Nachweis gehen die ständigen Einwirkungen und die großflächige Verkehrslast von  $p = 10 \text{ kN/m}^2$  mit einer Teilsicherheit  $\gamma_G = 1,00$  in die Berechnung ein.

DIN 1054, 6.4.1, Tab. 2

Die Scherparameter (Widerstände) gehen mit abgeminderten Kennwerten in die Gleitkreisberechnung ein:

DIN 1054, 6.4.2, Tab. 3

$$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi = \tan \varphi'_k / 1,25$$

$$c'_d = c'_k / \gamma_c = c'_k / 1,25$$

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt mit dem Programm GGU-Stability mit dem Lamellenverfahren von Bishop.

Es ergibt sich ein Ausnutzungsgrad von  $1/f = 0,47 < 1,0$ .

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 37
Vorgang:	2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit

Der Nachweis der Gesamtstandsicherheit (Geländebruch) erfolgt mit dem Nachweisverfahren GEO-3 gemäß DIN EN 1997-1, 9.7.2 bzw. 11 auf der Grundlage der DIN 4084.

Für diesen Nachweis gehen die ständigen Einwirkungen und die großflächige Verkehrslast von  $p = 10 \text{ kN/m}^2$  mit einer Teilsicherheit  $\gamma_G = 1,00$  in die Berechnung ein.

DIN 1054, Tab. A 2.1

Die Scherparameter (Widerstände) gehen mit abgeminderten Kennwerten in die Gleitkreisberechnung ein:

DIN 1054, Tab. A 2.2

$$\begin{aligned}\tan \varphi'_d &= \tan \varphi'_k / \gamma_{\varphi'} = \tan \varphi'_k / 1,25 \\ c'_d &= c'_k / \gamma_{c'} = c'_k / 1,25\end{aligned}$$

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt mit dem Programm GGU-Stability mit dem Lamellenverfahren von Bishop.

Es ergibt sich ein Ausnutzungsgrad von  $1/f = 0,47 < 1,0$ .

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 38
Vorgang:	2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

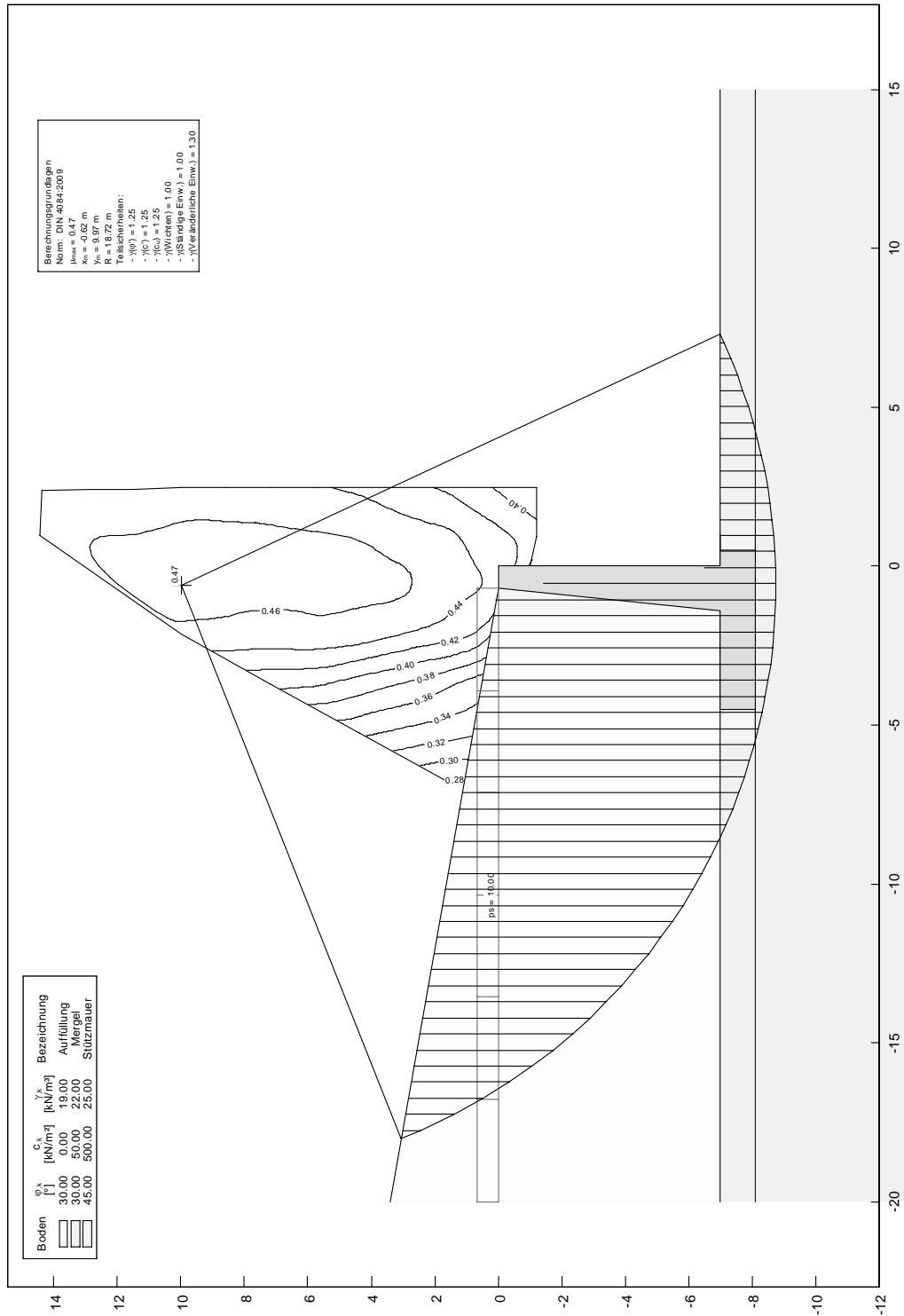


Bild 2.2: Ergebnis der Geländebruchberechnung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 39
Vorgang:	2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

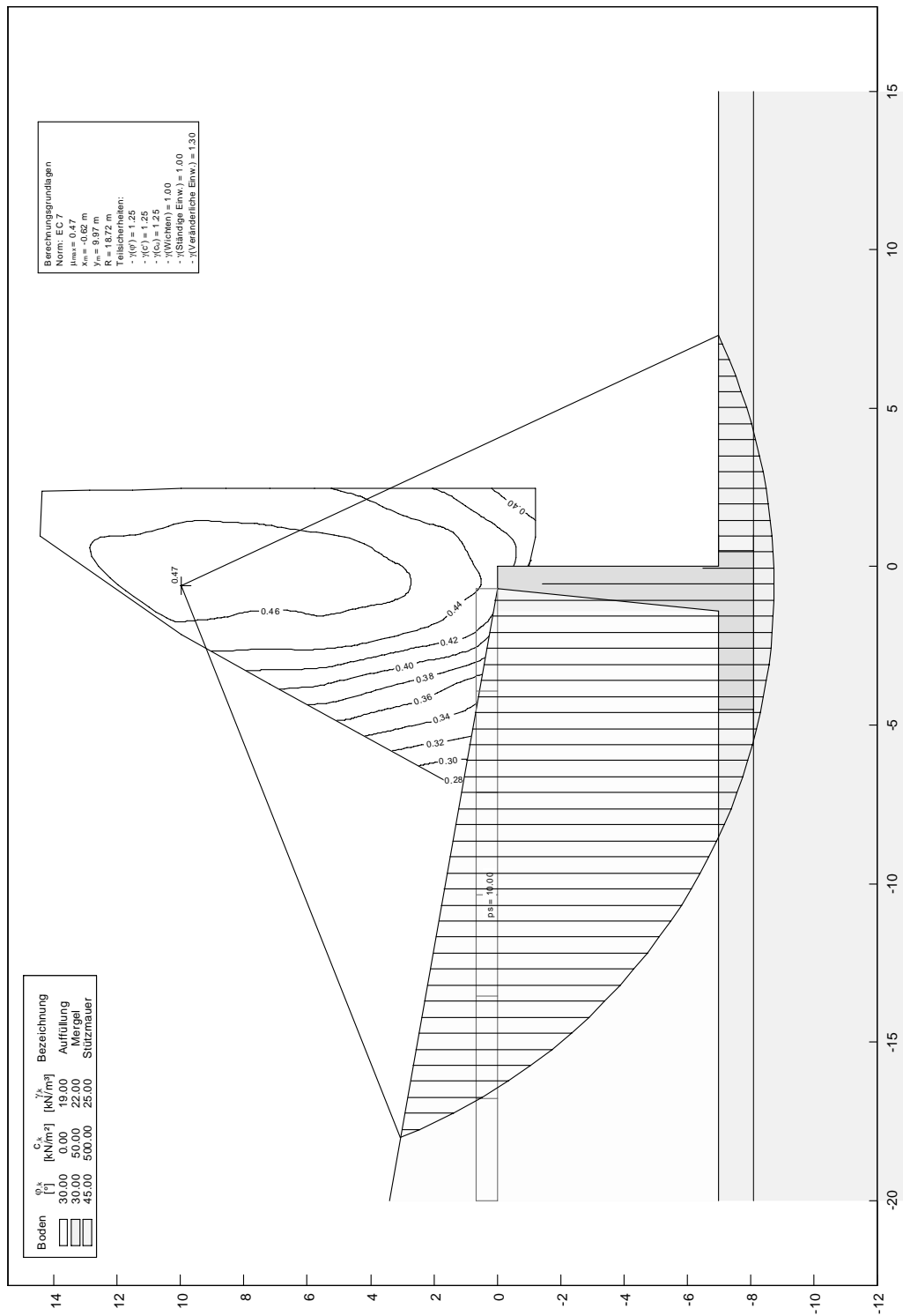


Bild 2.2: Ergebnis der Geländebruchberechnung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 40
Vorgang:	2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen

Die Bemessung der Stahlbetonkonstruktion erfolgt im Grenzzustand GZ1B auf der Grundlage des DIN-Fachberichtes 102.

Die Einwirkungen aus Erddruck und Verkehrslasten werden direkt auf die Rückseite der Winkelstützwand angesetzt. Aufgrund der geringen Verformbarkeit wird gemäß DIN 4085, Tabelle A.2 mit dem erhöhten aktiven Erddruck  $e'_{ah} = 0,5 \cdot e_{ah} + 0,5 \cdot e_0$  gerechnet. Darüber hinaus wird ein Verdichtungserddruck von 25 kN/m<sup>2</sup> gemäß DIN 4085 berücksichtigt.

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen

- Erddruck auf aufgehende Wand:

- aus Bodeneigengewicht:

$$e'_{ahk,o} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$e'_{ahk,u} = 7,0 \cdot 19,0 \cdot 0,406 = 54,0 \text{ kN/m}^2$$

- aus großflächiger Verkehrslast:

$$e'_{ahp} = 10,0 \cdot 0,406 = 4,06 \text{ kN/m}^2$$

Der Erddruck aus Verkehr wird nur angesetzt, wenn er den Anteil aus Verdichtungserddruck übersteigt

- aus Verdichtungserddruck:

$$e_v = 25 \text{ kN/m}^2$$

- Ermittlung der Tiefe, bis zu der  $e_v$  maßgebend ist:

$$t = (25,0 - 4,06) / (19 \cdot 0,406) = 2,71 \text{ m}$$

-Erddruck auf rückseitigen Sporn:

- aus Bodeneigengewicht:

$$e'_{ahk,o} = 7,67 \cdot 19,0 \cdot 0,390 = 56,8 \text{ kN/m}^2$$

$$e'_{ahk,u} = 56,8 + 1,1 \cdot 19,0 \cdot 0,390 = 65,0 \text{ kN/m}^2$$

$$E'_{ahk} = (56,8 + 65,0) / 2 \cdot 1,1 = 67,0 \text{ kN/m}$$

$$E_{avk} = 67,0 \cdot \tan(20^\circ) = 24,4 \text{ kN/m}$$

- aus großflächiger Verkehrslast:

$$e'_{ahp} = 10,0 \cdot 0,390 = 3,90 \text{ kN/m}^2$$

$$E'_{ahpk} = 3,90 \cdot 1,10 = 4,3 \text{ kN/m}$$

$$E'_{avpk} = 4,3 \cdot \tan(20^\circ) = 1,56 \text{ kN/m}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 41
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen

Die Bemessung der Stahlbetonkonstruktion erfolgt mit dem Nachweisverfahren GEO-2 auf der Grundlage der DIN-EN 1992-2.

Die Einwirkungen aus Erddruck und Verkehrslasten werden direkt auf die Rückseite der Winkelstützwand angesetzt. Aufgrund der geringen Verformbarkeit wird gemäß DIN 4085, Tabelle A.2 mit dem erhöhten aktiven Erddruck  $e'_{ah} = 0,5 \cdot e_{ah} + 0,5 \cdot e_0$  gerechnet. Darüber hinaus wird ein Verdichtungserddruck von 25 kN/m<sup>2</sup> gemäß DIN 4085 berücksichtigt.

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen

- Erddruck auf aufgehende Wand:

- aus Bodeneigengewicht:

$$e'_{ahk,o} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$e'_{ahk,u} = 7,0 \cdot 19,0 \cdot 0,406 = 54,0 \text{ kN/m}^2$$

- aus großflächiger Verkehrslast:

$$e'_{ahp} = 10,0 \cdot 0,406 = 4,06 \text{ kN/m}^2$$

Der Erddruck aus Verkehr wird nur angesetzt, wenn er den Anteil aus Verdichtungserddruck übersteigt

- aus Verdichtungserddruck:

$$e_v = 25 \text{ kN/m}^2$$

- Ermittlung der Tiefe, bis zu der  $e_v$  maßgebend ist:

$$t = (25,0 - 4,06) / (19 \cdot 0,406) = 2,71 \text{ m}$$

- Erddruck auf rückseitigen Sporn:

- aus Bodeneigengewicht:

$$e'_{ahk,o} = 7,67 \cdot 19,0 \cdot 0,390 = 56,8 \text{ kN/m}^2$$

$$e'_{ahk,u} = 56,8 + 1,1 \cdot 19,0 \cdot 0,390 = 65,0 \text{ kN/m}^2$$

$$E'_{ahk} = (56,8 + 65,0) / 2 \cdot 1,1 = 67,0 \text{ kN/m}$$

$$E_{avk} = 67,0 \cdot \tan(20^\circ) = 24,4 \text{ kN/m}$$

- aus großflächiger Verkehrslast:

$$e'_{ahp} = 10,0 \cdot 0,390 = 3,90 \text{ kN/m}^2$$

$$E'_{ahpk} = 3,90 \cdot 1,10 = 4,3 \text{ kN/m}$$

$$E'_{avpk} = 4,3 \cdot \tan(20^\circ) = 1,56 \text{ kN/m}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 42
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

- Auflast auf den Sporn:

- aus Bodeneigengewicht:

$$g_{k1} = 19,0 \cdot (7,0 + 0,7 \cdot \tan(10^\circ)) = 135,3 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k2} = 19,0 \cdot 7,67 = 145,7 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{k4} = 412,3 \text{ kN/m (siehe 2.2)} \quad e = -0,95 \text{ m}$$

$$G_{k5} = 46,6 \text{ kN/m} \quad e = 0,33 \text{ m}$$

$$G_{k6} = 24,2 \text{ kN/m} \quad e = -1,23 \text{ m}$$

- aus Verkehrslast:

$p = 10 \text{ kN/m}^2$  (wird angesetzt, da auch der zugehörige Erddruck angesetzt wird)

- Eigengewicht der Winkelstützwand

$$\text{Bodenplatte } G_{k1} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 25 = 137,5 \text{ kN/m} \quad e = 0 \text{ m}$$

$$\text{Vorderwand } G_{k2} = 0,7 \cdot 7,0 \cdot 25 = 122,5 \text{ kN/m} \quad e = 1,15 \text{ m}$$

$$G_{k3} = 0,7 \cdot 7,0 / 2 \cdot 25 = 61,3 \text{ kN/m} \quad e = 0,57 \text{ m}$$

$$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$$

#### Ermittlung der charakteristischen Sohlpressung

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_{,k} = 137,5 + 122,5 + 61,3 + 412,3 + 46,6 + 24,2 + 10,0 \cdot 3,8 + 1,56 + 24,4 \\ = 868,3 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\Sigma M_k = 25,0 \cdot 7,0 \cdot (1,1+7,0/2) + (58,1 - 25,0) \cdot 4,29/2 \cdot (1,1+4,29/3) + 122,5 \cdot 1,15 + \\ 61,25 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 - 10,0 \cdot 3,8 \cdot (2,5 - 3,8/2) - \\ (24,4 + 1,56) \cdot 2,5 + (67,0 + 4,3) \cdot 1,1/2 \\ = 705,9 \text{ kNm/m}$$

Ausmitte:

$$e = \Sigma M_k / V_k = 705,9 / 868,3 = 0,81 \text{ m}$$

Sohlpressung:

$$p_{1,k} = V_k / b \cdot (1 + 6 \cdot e / b) = 868,3 / 5,0 \cdot (1 + 6 \cdot 0,81 / 5,0) = 342,4 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{2,k} = V_k / b \cdot (1 - 6 \cdot e / b) = 868,3 / 5,0 \cdot (1 - 6 \cdot 0,81 / 5,0) = 4,9 \text{ kN/m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 43
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

- Auflast auf den Sporn:

- aus Bodeneigengewicht:

$$g_{k1} = 19,0 \cdot (7,0 + 0,7 \cdot \tan(10^\circ)) = 135,3 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k2} = 19,0 \cdot 7,67 = 145,7 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{k4} = 412,3 \text{ kN/m (siehe 2.2)} \quad e = -0,95 \text{ m}$$

$$G_{k5} = 46,6 \text{ kN/m} \quad e = 0,33 \text{ m}$$

$$G_{k6} = 24,2 \text{ kN/m} \quad e = -1,23 \text{ m}$$

- aus Verkehrslast:

$p = 10 \text{ kN/m}^2$  (wird angesetzt, da auch der zugehörige Erddruck angesetzt wird)

- Eigengewicht der Winkelstützwand

$$\text{Bodenplatte } G_{k1} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 25 = 137,5 \text{ kN/m} \quad e = 0 \text{ m}$$

$$\text{Vorderwand } G_{k2} = 0,7 \cdot 7,0 \cdot 25 = 122,5 \text{ kN/m} \quad e = 1,15 \text{ m}$$

$$G_{k3} = 0,7 \cdot 7,0 / 2 \cdot 25 = 61,3 \text{ kN/m} \quad e = 0,57 \text{ m}$$

$$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$$

#### Ermittlung der charakteristischen Sohlpressung

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_{k} = 137,5 + 122,5 + 61,3 + 412,3 + 46,6 + 24,2 + 10,0 \cdot 3,8 + 1,56 + 24,4 \\ = 868,3 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\Sigma M_k = 25,0 \cdot 7,0 \cdot (1,1+7,0/2) + (58,1 - 25,0) \cdot 4,29/2 \cdot (1,1+4,29/3) + 122,5 \cdot 1,15 + \\ 61,25 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 - 10,0 \cdot 3,8 \cdot (2,5 - 3,8/2) - \\ (24,4 + 1,56) \cdot 2,5 + (67,0 + 4,3) \cdot 1,1/2 \\ = 705,9 \text{ kNm/m}$$

Ausmitte:

$$e = \Sigma M_k / V_k = 705,9 / 868,3 = 0,81 \text{ m}$$

Sohlpressung:

$$p_{1,k} = V_k / b \cdot (1 + 6 \cdot e / b) = 868,3 / 5,0 \cdot (1 + 6 \cdot 0,81 / 5,0) = 342,4 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{2,k} = V_k / b \cdot (1 - 6 \cdot e / b) = 868,3 / 5,0 \cdot (1 - 6 \cdot 0,81 / 5,0) = 4,9 \text{ kN/m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 44
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

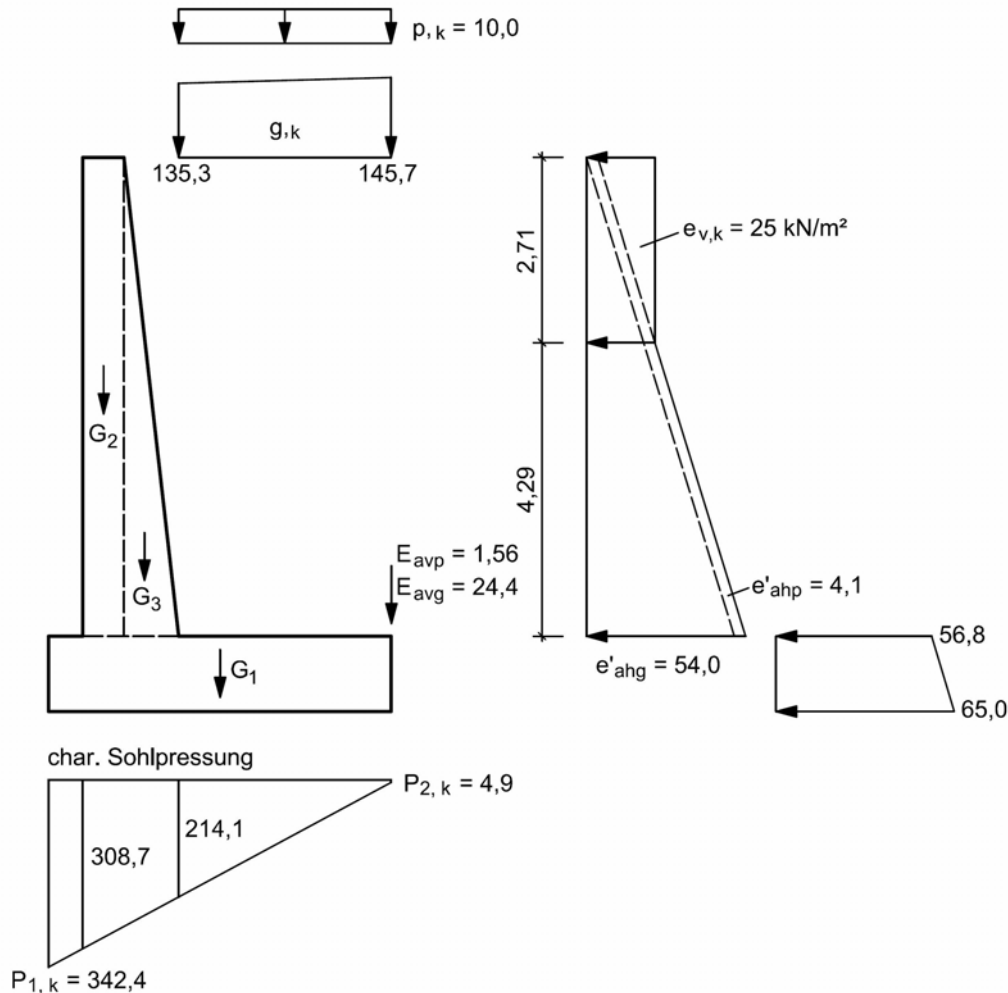


Bild 2.3: charakteristische Einwirkungen und Sohlpressung

### Schnittgrößenermittlung und Bemessung

Bei der Schnittgrößenermittlung dürften für den Einwirkungsanteil aus dem erhöhten aktiven Erddruck abgeminderte Teilsicherheiten von  $\gamma_G = (1,20 + 1,35) / 2 = 1,275$  angesetzt werden. Aufgrund des geringen Einflusses auf das Bemessungsergebnis wird dies nur für die aufgehende Wand, aber nicht für die Fundamentplatte berücksichtigt.

Die Bemessung erfolgt gemäß DIN-Fachbericht 102 und unter Beachtung der ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 45
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

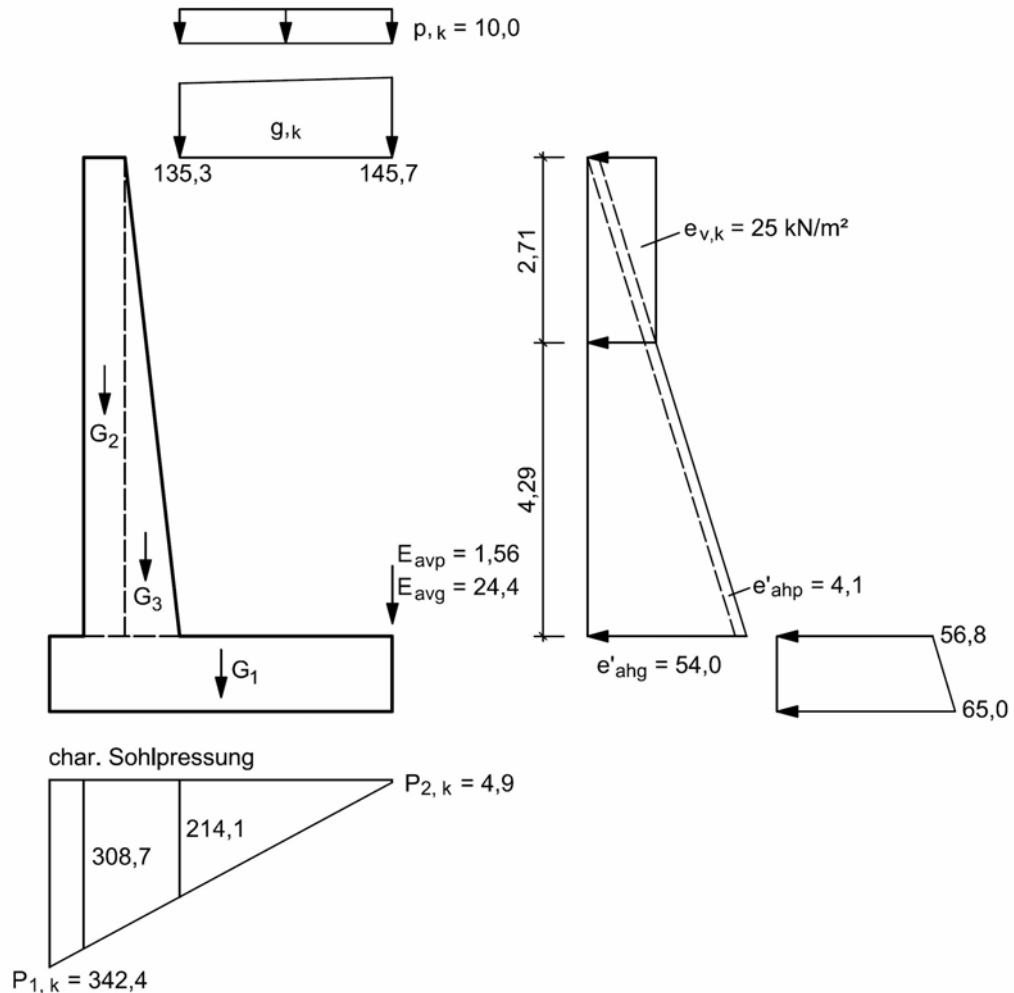


Bild 2.3: charakteristische Einwirkungen und Sohlpressung

### Schnittgrößenermittlung und Bemessung

Bei der Schnittgrößenermittlung dürften für den Einwirkungsanteil aus dem erhöhten aktiven Erddruck abgeminderte Teilsicherheiten von  $\gamma_G = (1,20 + 1,35) / 2 = 1,275$  angesetzt werden. Aufgrund des geringen Einflusses auf das Bemessungsergebnis wird dies nur für die aufgehende Wand, aber nicht für die Fundamentplatte berücksichtigt.

Die Bemessung erfolgt gemäß DIN EN 1992-2 und unter Beachtung der ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 46
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1) Wandanschnitt

$$M_{g,k} = 25 \cdot 7,0^2/2 + (58,1 - 25,0) \cdot 4,29^2/6 = 714,0 \text{ kNm/m}$$

Bei der Bemessung wird für die Normalkraft nur der Anteil aus dem Eigengewicht der Wand angesetzt. Der Vertikalkraftanteil aus dem Erddruck wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Da die Normalkraft hier günstig wirkt, wird sie mit  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  angesetzt.

$$N_{g,k} = (0,7 + 1,4)/2 \cdot 7,0 \cdot 25 = -183,8 \text{ kN/m (Druck mit negativem Vorzeichen)}$$

$$V_{g,k} = 25 \cdot 7,0 + (58,1 - 25,0) \cdot 4,29 / 2 = 246,0 \text{ kN/m (am Anschnitt)}$$

Maßgebend: Schubkraft im Abstand d vom Auflagerrand:

$$d \approx 120 \text{ cm}$$

$$V_{g,k} = 25 \cdot (7,0 - 1,20) + (48,8 - 25,0) \cdot 3,09 / 2 = 181,8 \text{ kN/m}$$

$$M_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot M_{g,k} = 1,275 \cdot 714,0 = 910,4 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,d} = \gamma_{G,inf} \cdot N_{g,k} = 1,0 \cdot 183,8 = -183,8 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{g,k} = 1,275 \cdot 181,8 = 231,8 \text{ kN/m}$$

C25/30

$$h = 140 \text{ cm}$$

$$d = 140 - 6 - 1,2 - 1,6/2 = 132 \text{ cm}$$

$$\text{Biegebewehrung: erf } a_s = 13,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$h = 128 \text{ cm}$$

$$d = 128 - 6 - 1,2 - 1,6/2 = 120 \text{ cm}$$

$$\text{Schubbewehrung: erf } a_{sw} = 0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

## 2) vorderer Sporn

Die Bodenauflast auf den vorderen Sporn wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Die Bemessung erfolgt am Anschnitt.

$$M_{g,k} = (342,4 + 308,7) / 2 \cdot 0,5^2 / 2 = 40,7 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,k} = (342,4 + 308,7) / 2 \cdot 0,5 = 162,8 \text{ kN/m}$$

$$M_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot M_{g,k} = 1,35 \cdot 40,7 = 54,9 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,d} = 0 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{g,k} = 1,35 \cdot 162,8 = 219,7 \text{ kN/m}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 47
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

1) Wandanschnitt

$$M_{g,k} = 25 \cdot 7,0^2/2 + (58,1 - 25,0) \cdot 4,29^2/6 = 714,0 \text{ kNm/m}$$

Bei der Bemessung wird für die Normalkraft nur der Anteil aus dem Eigengewicht der Wand angesetzt. Der Vertikalkraftanteil aus dem Erddruck wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Da die Normalkraft hier günstig wirkt, wird sie mit  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  angesetzt.

$$N_{g,k} = (0,7 + 1,4)/2 \cdot 7,0 \cdot 25 = 183,8 \text{ kN/m (Druck mit positivem Vorzeichen)}$$

$$V_{g,k} = 25 \cdot 7,0 + (58,1 - 25,0) \cdot 4,29 / 2 = 246,0 \text{ kN/m (am Anschnitt)}$$

Maßgebend: Schubkraft im Abstand d vom Auflagerrand:

$$d \approx 120 \text{ cm}$$

$$V_{g,k} = 25 \cdot (7,0 - 1,20) + (48,8 - 25,0) \cdot 3,09 / 2 = 181,8 \text{ kN/m}$$

$$M_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot M_{g,k} = 1,275 \cdot 714,0 = 910,4 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,d} = \gamma_{G,inf} \cdot N_{g,k} = 1,0 \cdot 183,8 = 183,8 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{g,k} = 1,275 \cdot 181,8 = 231,8 \text{ kN/m}$$

C25/30

$$h = 140 \text{ cm}$$

$$d = 140 - 6 - 1,2 - 1,6/2 = 132 \text{ cm}$$

$$\text{Biegebewehrung: erf } a_s = 13,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$h = 128 \text{ cm}$$

$$d = 128 - 6 - 1,2 - 1,6/2 = 120 \text{ cm}$$

$$\text{Schubbewehrung: erf } a_{sw} = 0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

2) vorderer Sporn

Die Bodenauflast auf den vorderen Sporn wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Die Bemessung erfolgt am Anschnitt.

$$M_{g,k} = (342,4 + 308,7) / 2 \cdot 0,5^2 / 2 = 40,7 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,k} = (342,4 + 308,7) / 2 \cdot 0,5 = 162,8 \text{ kN/m}$$

$$M_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot M_{g,k} = 1,35 \cdot 40,7 = 54,9 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,d} = 0 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{g,k} = 1,35 \cdot 162,8 = 219,7 \text{ kN/m}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 48
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

C25/30

$h = 110 \text{ cm}$

$d = 110 - 6 - 1,4/2 = 103 \text{ cm}$

Biegebewehrung: erf  $a_s = 1,2 \text{ cm}^2/\text{m}$

Aus geometrischen Gründen ist keine Schubbewehrung erforderlich.

### 3) hinterer Sporn

Die Bemessung erfolgt am Anschnitt.

$$\begin{aligned}
 M_{g,k} &= 4,9 \cdot 3,1^2/2 + (214,1 - 4,9) \cdot 3,1^2/6 - (24,4 + 1,56) \cdot 3,1 - 135,3 \cdot 3,1^2/2 \\
 &\quad - (145,7 - 135,3) \cdot 3,1^2/3 - 10,0 \cdot 3,1^2/2 \\
 &= -453,3 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m (sichere Seite)}$$

$$\begin{aligned}
 V_{g,k} &= (4,9 + 214,1) \cdot 3,1 / 2 - 24,4 - 1,56 - (135,3 + 145,7) \cdot 3,1 / 2 - 3,1 \cdot 10,0 \\
 &= -153,1 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$M_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot M_{g,k} = -1,35 \cdot 453,3 = -612,0 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,d} = 0 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{g,k} = -1,35 \cdot 153,1 = -206,6 \text{ kN/m}$$

C25/30

$h = 110 \text{ cm}$

$d = 110 - 6 - 1,4/2 = 103 \text{ cm}$

Biegebewehrung: erf  $a_s = 13,3 \text{ cm}^2/\text{m}$

Schubbewehrung: erf  $a_{sw} = 0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit <span style="float: right;">Seite 49</span>	
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

C25/30

$h = 110 \text{ cm}$

$d = 110 - 6 - 1,4/2 = 103 \text{ cm}$

Biegebewehrung: erf  $a_s = 1,2 \text{ cm}^2/\text{m}$

Aus geometrischen Gründen ist keine Schubbewehrung erforderlich.

### 3) hinterer Sporn

Die Bemessung erfolgt am Anschnitt.

$$\begin{aligned}
 M_{g,k} &= 4,9 \cdot 3,1^2/2 + (214,1 - 4,9) \cdot 3,1^2/6 - (24,4 + 1,56) \cdot 3,1 - 135,3 \cdot 3,1^2/2 \\
 &\quad - (145,7 - 135,3) \cdot 3,1^2/3 - 10,0 \cdot 3,1^2/2 \\
 &= -453,3 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m (sichere Seite)}$$

$$\begin{aligned}
 V_{g,k} &= (4,9 + 214,1) \cdot 3,1 / 2 - 24,4 - 1,56 - (135,3 + 145,7) \cdot 3,1 / 2 - 3,1 \cdot 10,0 \\
 &= -153,1 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$M_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot M_{g,k} = -1,35 \cdot 453,3 = -612,0 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,d} = 0 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{g,k} = -1,35 \cdot 153,1 = -206,6 \text{ kN/m}$$

C25/30

$h = 110 \text{ cm}$

$d = 110 - 6 - 1,4/2 = 103 \text{ cm}$

Biegebewehrung: erf  $a_s = 13,3 \text{ cm}^2/\text{m}$

Schubbewehrung: erf  $a_w = 0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 50
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

#### 3.1 Geotechnische Nachweise

Zu diesen Nachweisen gehören Setzungsberechnungen, Verschiebungsnachweise und der Nachweis zur Begrenzung einer klaffenden Fuge unter der Sohlplatte. Die ersten beiden Nachweise können bei der vorliegenden Winkelstützwand aufgrund des steifen Baugrundes entfallen, da keine Anforderungen an eine erhöhte Verformungsbeschränkung vorliegen und in den geführten Gleit- und Grundbruchnachweisen keine Bodenreaktionen an der Stirnseite des luftseitigen Spornes angesetzt wurden.

Zu führen ist in jedem Fall der Nachweis zur Begrenzung einer klaffenden Fuge. Es ist gemäß DIN 1054, 7.6.1 im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen, dass die Resultierende des Sohldrucks unter ständigen Einwirkungen innerhalb der 1. Kernweite bleibt, d.h. dass die Ausmitte  $e \leq b/6$  ist. Dieser Nachweis erfolgt analog zu dem unter 2.2 geführten Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit unter charakteristischen Einwirkungen an dem System mit vertikaler Ersatzwand. Der einzige Unterschied zu dem unter 2.2. geführten Nachweis ist der, dass die großflächige Verkehrslast hier nicht angesetzt wird.

Es werden zunächst die charakteristischen Einwirkungen und deren Hebelarme bezogen auf den Sohlmittelpunkt ermittelt:

#### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Hebelarme

- Eigengewicht der Stützwand (vgl. 2.1):

Für den Kippnachweis wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^2$  angesetzt.

Bodenplatte $G_{k1} = 132,0 \text{ kN/m}$	$e = 0 \text{ m}$
Vorderwand $G_{k2} = 117,6 \text{ kN/m}$	$e = 1,15 \text{ m}$
$G_{k3} = 58,8 \text{ kN/m}$	$e = 0,57 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$	

- Eigengewicht des Bodenkörpers(vgl. 2.1):

$G_{k4} = 412,3 \text{ kN/m}$	$e = -0,95 \text{ m}$
$G_{k5} = 46,6 \text{ kN/m}$	$e = 0,33 \text{ m}$
$G_{k6} = 24,2 \text{ kN/m}$	$e = -1,23 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 483,1 \text{ kN/m}$	

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 51
Vorgang:	3.1 Geotechnische Nachweise	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

#### 3.1 Geotechnische Nachweise

Zu diesen Nachweisen gehören Setzungsberechnungen, Verschiebungsnachweise und der Nachweis zur Begrenzung einer klaffenden Fuge unter der Sohlplatte. Die ersten beiden Nachweise können bei der vorliegenden Winkelstützwand aufgrund des steifen Baugrundes entfallen, da keine Anforderungen an eine erhöhte Verformungsbeschränkung vorliegen und in den geführten Gleit- und Grundbruchnachweisen keine Bodenreaktionen an der Stirnseite des luftseitigen Spornes angesetzt wurden.

Zu führen ist in jedem Fall der Nachweis zur Begrenzung einer klaffenden Fuge. Es ist gemäß DIN 1054, A 6.6.5 im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen, dass die Resultierende des Sohldrucks unter ständigen Einwirkungen innerhalb der 1. Kernweite bleibt, d.h. dass die Ausmitte  $e \leq b/6$  ist.

Darüber hinaus ist nachzuweisen, dass die Resultierende des Sohldrucks unter ständigen und veränderlichen Einwirkungen innerhalb der 2. Kernweite bleibt, d.h. dass diese Ausmitte  $e \leq b/3$  ist. Der Nachweis erfolgt für die ungünstigste Kombination der charakteristischen Werte ständiger und veränderlicher Einwirkungen.

Es werden zunächst die charakteristischen Einwirkungen und deren Hebelarme bezogen auf den Sohlmittelpunkt ermittelt:

#### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Hebelarme

- Eigengewicht der Stützwand (vgl. 2.3):

Für den Kippnachweis wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^2$  angesetzt.

Bodenplatte $G_{k1}$	= 132,0 kN/m	$e = 0 \text{ m}$
Vorderwand $G_{k2}$	= 117,6 kN/m	$e = 1,15 \text{ m}$
	$G_{k3} = 58,8 \text{ kN/m}$	$e = 0,57 \text{ m}$
	$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$	

- Eigengewicht des Bodenkörpers (vgl. 2.3):

	$G_{k4} = 412,3 \text{ kN/m}$	$e = -0,95 \text{ m}$
	$G_{k5} = 46,6 \text{ kN/m}$	$e = 0,33 \text{ m}$
	$G_{k6} = 24,2 \text{ kN/m}$	$e = 1,23 \text{ m}$
	$\Sigma G_k = 483,1 \text{ kN/m}$	

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 52
Vorgang:	3.1 Geotechnische Nachweise	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

- Erddruck aus Bodeneigengewicht (vgl. 2.1):

$E_{ahk,1} = 192,3 \text{ kN/m}$	$h = 3,43 \text{ m}$
$E_{avk,1} = 33,9 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$
$E_{ahk,2} = 54,9 \text{ kN/m}$	$h = 0,55 \text{ m}$
$E_{avk,2} = 20,0 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt.

Nachweis:

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\begin{aligned} \Sigma M_k &= 117,6 \cdot 1,15 + 58,8 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 + 192,3 \cdot 3,43 \\ &\quad + 54,9 \cdot 0,55 - 33,9 \cdot 2,5 - 20,0 \cdot 2,5 \\ &= 317,7 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Ausmitte:

$$e = \Sigma M_k / V_k = 317,7 / 851,4 = 0,37 \text{ m} < b / 6 = 5,0 / 6 = 0,83 \text{ m}$$

Der Nachweis der zulässigen Lastausmitte unter ständigen Lasten ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit Seite 53	
Vorgang:	3.1 Geotechnische Nachweise	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

- Erddruck aus Bodeneigengewicht (vgl. 2.3):

$$\begin{array}{ll}
 E_{ahk,1} = 192,3 \text{ kN/m} & h = 3,43 \text{ m} \\
 E_{avk,1} = 33,9 \text{ kN/m} & e = -2,5 \text{ m} \\
 E_{ahk,2} = 54,9 \text{ kN/m} & h = 0,55 \text{ m} \\
 E_{avk,2} = 20,0 \text{ kN/m} & e = -2,5 \text{ m}
 \end{array}$$

- Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast (vgl. 2.3):

$$\begin{array}{ll}
 E_{ahpk,1} = 26,4 \text{ kN/m} & h = 4,6 \text{ m} \\
 E_{avpk,1} = 4,7 \text{ kN/m} & e = -2,5 \text{ m} \\
 E_{ahpk,2} = 3,5 \text{ kN/m} & h = 0,55 \text{ m} \\
 E_{avpk,2} = 1,3 \text{ kN/m} & e = -2,5 \text{ m}
 \end{array}$$

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt.

#### Nachweis:

Der Nachweis wird zunächst für ständige und veränderliche Lasten geführt:

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_k &= 117,6 \cdot 1,15 + 58,8 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 + 192,3 \cdot 3,43 \\
 &\quad + 54,9 \cdot 0,55 - 33,9 \cdot 2,5 - 20,0 \cdot 2,5 + 26,4 \cdot 4,6 + 3,5 \cdot 0,55 - 4,7 \cdot 2,5 - 1,3 \cdot 2,5 \\
 &= 426,1 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}$$

Ausmitte:

$$\begin{aligned}
 e = \Sigma M_k / V_k &= 426,1 / 851,4 = 0,73 \text{ m} < b / 3 = 5,0 / 3 = 1,67 \text{ m} \\
 &< b / 6 = 5,0 / 6 = 0,83 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Die zulässige Lastausmitte  $e < b / 6$  für ständige Lasten wird hier auch für die Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten eingehalten. Ein Nachweis nur unter ständigen Lasten erübrigt sich daher.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 54
Vorgang:	3.1 Geotechnische Nachweise	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion

### Rissbreitenbeschränkung

Da kein drückendes Grundwasser ansteht, beträgt die zulässige rechnerische Rissbreite der wu-Betonkonstruktion für die Erd- und für die Luftseite:

$$w_{k,cal} = 0,20 \text{ mm}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.4.5

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erfolgt unter Berücksichtigung der gewählten Stabdurchmesser.

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung erfolgen durch direkte Berechnung gemäß DIN-FB 102, II, 4.4.2.4.

Der Rechenwert der Rissbreite ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\sigma_s = \frac{3,6 \cdot w_k \cdot \text{eff } \rho_p \cdot E_s}{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho_p} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho_p)}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
Gl. (4.201)bis (4.203)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \left( \sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho_p} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho_p) \right)}{3,6 \cdot \text{eff } \rho_p \cdot E_s}$$

mit  $\text{eff } \rho_p = A_s / A_{c,eff}$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
Gl. (4.200a)

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot b \cdot (h - d)$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
Abb. 4-137d)

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung sind gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 für die häufige Kombination zu führen. Da hier keine über die großflächige Verkehrslast hinausgehenden veränderlichen Einwirkungen vorhanden sind, reduziert sich der Nachweis auf den Ansatz der charakteristischen ständigen Einwirkungen inklusive der großflächigen Verkehrslast ( $\gamma_G = 1,0$ ).

Die charakteristischen Schnittgrößen können aus Abschnitt 2.5 übernommen werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 55
Vorgang:	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion

#### Rissbreitenbeschränkung

Da kein drückendes Grundwasser ansteht, beträgt die zulässige rechnerische Rissbreite der wu-Betonkonstruktion für die Erd- und für die Luftseite:

$$w_{k,cal} = 0,20 \text{ mm}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.4.5

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erfolgt unter Berücksichtigung der gewählten Stabdurchmesser.

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung erfolgen durch direkte Berechnung gemäß DIN EN 1992-2.

Der Rechenwert der Rissbreite ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\sigma_s = \frac{3,6 \cdot w_k \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}$$

DIN EN 1992-2, 7.3.4, Gl. (7.8), (7.9) und NDP zu 7.3.4(3)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \left( \sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right)}{3,6 \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}$$

mit  $\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$

DIN EN 1992-1-1, Gl. (7.10)

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot b \cdot (h - d)$$

DIN EN 1992-2, NCI zu 7.3.3 (2)

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung sind gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 für die häufige Kombination zu führen. Da hier keine über die großflächige Verkehrslast hinausgehenden veränderlichen Einwirkungen vorhanden sind, reduziert sich der Nachweis auf den Ansatz der charakteristischen ständigen Einwirkungen inklusive der großflächigen Verkehrslast ( $\gamma_G = 1,0$ ).

Die charakteristischen Schnittgrößen können aus Abschnitt 2.5 übernommen werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 56	
Vorgang:	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

1) Wandanschnitt

$$M_{g,k} = 714,0 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = (0,7 + 1,4)/2 \cdot 7,0 \cdot 25 = -183,8 \text{ kN/m (Druck mit negativem Vorzeichen)}$$

C25/30

$$h = 140 \text{ cm}$$

$$d = 132 \text{ cm}$$

Stabdurchmesser: 20 mm

Biegebewehrung: erf  $a_{s,riss} = 24,3 \text{ cm}^2/\text{m}$

2) vorderer Sporn

$$M_{g,k} = 40,7 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m}$$

C25/30

$$h = 110 \text{ cm}$$

$$d = 103 \text{ cm}$$

Stabdurchmesser: 12 mm

Biegebewehrung: erf  $a_{s,riss} = 1,6 \text{ cm}^2/\text{m}$  (Mindestbewehrung maßgebend)

3) hinterer Sporn

$$M_{g,k} = -453,3 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m}$$

C25/30

$$h = 110 \text{ cm}$$

$$d = 103 \text{ cm}$$

Stabdurchmesser: 20 mm

Biegebewehrung: erf  $a_{s,riss} = 24,6 \text{ cm}^2/\text{m}$

Mindestbewehrung

Als Mindestbewehrung für wu-Beton-Konstruktionen sind gemäß ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.2, 0,20 % des Betonquerschnittes, aber nicht mehr als 12 cm<sup>2</sup>/m einzulegen.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 57
Vorgang:	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

1) Wandanschnitt

$$M_{g,k} = 714,0 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = (0,7 + 1,4)/2 \cdot 7,0 \cdot 25 = 183,8 \text{ kN/m (Druck mit positivem Vorzeichen)}$$

C25/30

$$h = 140 \text{ cm}$$

$$d = 132 \text{ cm}$$

$$\text{Stabdurchmesser: } 20 \text{ mm}$$

$$\text{Biegebewehrung: } \text{erf } a_{s,riss} = 24,2 \text{ cm}^2/\text{m}$$

2) vorderer Sporn

$$M_{g,k} = 40,7 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m}$$

C25/30

$$h = 110 \text{ cm}$$

$$d = 103 \text{ cm}$$

$$\text{Stabdurchmesser: } 12 \text{ mm}$$

$$\text{Biegebewehrung: } \text{erf } a_{s,riss} = 1,6 \text{ cm}^2/\text{m (Mindestbewehrung maßgebend)}$$

3) hinterer Sporn

$$M_{g,k} = -453,3 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m}$$

C25/30

$$h = 110 \text{ cm}$$

$$d = 103 \text{ cm}$$

$$\text{Stabdurchmesser: } 20 \text{ mm}$$

$$\text{Biegebewehrung: } \text{erf } a_{s,riss} = 24,5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Mindestbewehrung

Als Mindestbewehrung für wu-Beton-Konstruktionen sind gemäß ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.2, 0,20 % des Betonquerschnittes, aber nicht mehr als 12 cm<sup>2</sup>/m einzulegen.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 58
Vorgang:	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Mindestbewehrung aus Zwang

Die aufgehende Wand wird für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme bemessen.

Die Bemessung ist gegenüber der in DIN-FB 102, II, 5.4.7.3 angegebenen konstruktiven Längsbewehrung maßgebend.

Es gilt:

$$W_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.201)

mit  $s_{r,max} = d_s / (3,6 \text{ eff } \rho)$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.203)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \sigma_{sr} - 0,4 f_{ct,eff} / \text{eff } \rho \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho) / E_s$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.202)

$$\text{eff } \rho = A_s / A_{c,eff}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Gl. (4.200a)

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot d_1 \leq (h - x) / 2$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Abb. 4.137

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Die Anrissspannung  $\sigma_{sr}$  wird aus der Mindestbewehrung bestimmt unter Ansatz von  $\sigma_s = \sigma_{sr}$

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_{sr}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.2 (5), Gl. (4.194)

mit  $k_c = 1,0$  für Zug

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.2 (5), Gl. (4.195)

$$k = 0,8 \text{ für } h \leq 300 \text{ mm}$$

$$\text{bzw. } k = 0,5 \text{ für } h \geq 800 \text{ mm}$$

$$f_{ct,eff} = 0,50 \cdot f_{ctm}$$

$f_{ctm} = 2,6 \text{ MN/m}^2$

Aufgrund der veränderlichen Bauteildicke der Wand wird eine gemittelte Dicke entsprechend der Dicke in der Höhe 1,5 m über der Arbeitsfuge angesetzt.

Für  $d = 1,25 \text{ m}$  ergibt sich eine erforderliche Mindestbewehrung in Längsrichtung aus Zwang von  $22,3 \text{ cm}^2/\text{m}$ . Diese wird konstruktiv über eine Höhe von 3 m eingelegt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 59
Vorgang:	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Mindestbewehrung aus Zwang

Die aufgehende Wand wird für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme bemessen.

Die Bemessung ist gegenüber der in DIN EN 1992-2, 9.6.3 (NA.103) angegebenen konstruktiven Längsbewehrung maßgebend.

Es gilt:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

DIN-EN 1992-2, 7.3.4, Gl. (7.8)

mit  $s_{r,max} = d_s / (3,6 \rho_{p,eff})$

DIN-EN 1992-2, 7.3.4, NDP zu 7.3.4 (3)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \sigma_{sr} - 0,4 f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) / E_s$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.4, Gl. (7.9)

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.4, Gl. (7.10)

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot (h - d) \leq (h - x) / 3 \leq h / 2$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.2 (3)

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Die Anrissspannung  $\sigma_{sr}$  wird aus der Mindestbewehrung bestimmt unter Ansatz von  $\sigma_s = \sigma_{sr}$

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_{sr}$$

DIN-EN 1992-2, 7.3.2, Gl. (7.1)

mit  $k_c = 1,0$  für Zug

DIN-EN 1992-2, 7.3.2

$$k = 0,8 \text{ für } h \leq 300 \text{ mm}$$

$$\text{bzw. } k = 0,5 \text{ für } h \geq 800 \text{ mm}$$

$$f_{ct,eff} = 0,50 \cdot f_{ctm}$$

$f_{ctm} = 2,6 \text{ MN/m}^2$

Aufgrund der veränderlichen Bauteildicke der Wand wird eine gemittelte Dicke entsprechend der Dicke in der Höhe 1,5 m über der Arbeitsfuge angesetzt.

Für  $d = 1,25 \text{ m}$  ergibt sich eine erforderliche Mindestbewehrung in Längsrichtung aus Zwang von  $22,3 \text{ cm}^2/\text{m}$ . Diese wird konstruktiv über eine Höhe von 3 m eingelegt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 60	
Vorgang:	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. ERGEBNIS DER NACHWEISE UND DER BEMESSUNG

Als Ergebnis der geführten Berechnungen und Nachweise ergeben sich die folgenden Bauteilabmessungen und erforderlichen Bewehrungsquerschnitte:

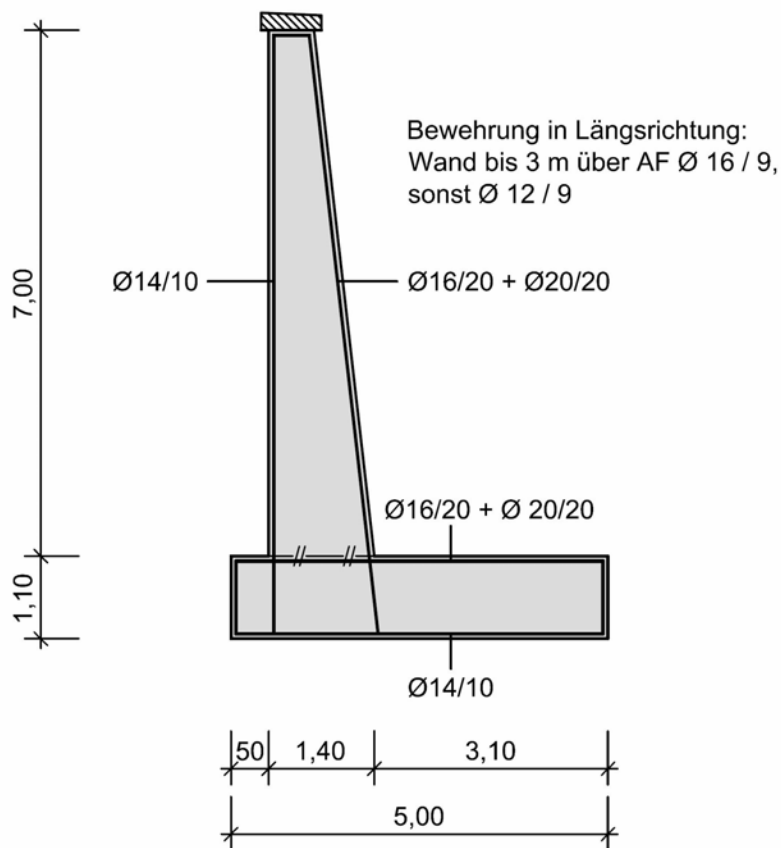


Bild 4.1: Bauteilabmessungen und erforderliche Bewehrungsquerschnitte

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Ergebnis der Nachweise und der Bemessung	Seite 61
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. ERGEBNIS DER NACHWEISE UND DER BEMESSUNG

Als Ergebnis der geführten Berechnungen und Nachweise ergeben sich die folgenden Bauteilabmessungen und erforderlichen Bewehrungsquerschnitte:

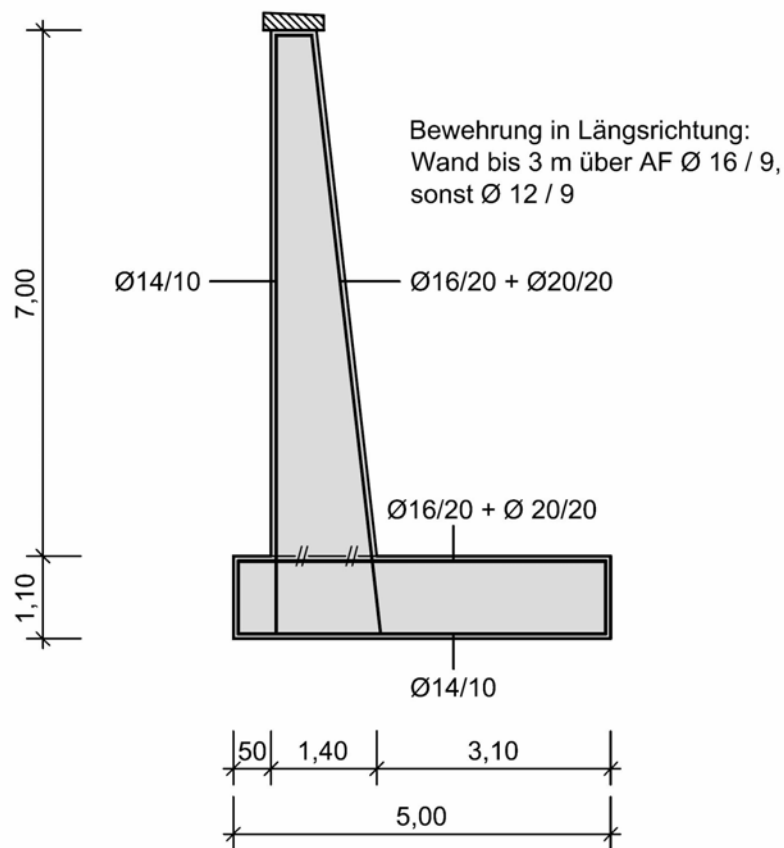


Bild 4.1: Bauteilabmessungen und erforderliche Bewehrungsquerschnitte

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Ergebnis der Nachweise und der Bemessung	Seite 62
Vorgang:		

## **Stand sicherheitsnachweis**

### **für eine Winkelstützwand**

#### **Musterbeispiel**

#### **für die nationale Umsetzung des EC 7**

#### **bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken**

#### **mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis**  
**für eine Winkelstützwand**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	1
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	3
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	7
IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	9
1. Berechnungsgrundlagen	11
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	11
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	13
1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	17
2. Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	21
2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	21
2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen	27
2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	31
2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit	37
2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	41
3. Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	51
3.1 Geotechnische Nachweise	51
3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	55
4. Ergebnis der Nachweise und der Bemessung	61

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis	Seite 1	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Das betrachtete Bauwerk ist eine Winkelstützwand, die den Geländesprung neben einer im Einschnitt liegenden Straße sichert. Die Winkelstützwand weist eine Höhe von 7,0 m auf und wird als monolithisches Stahlbetontragwerk ausgeführt. Die Blocklänge beträgt 10 Meter. Oberhalb der Winkelstützwand steigt das Gelände mit einer Neigung von 10° an. Hier sind keine Bebauungslasten oder Verkehrsflächen zu berücksichtigen.

### Baugrund und Grundwasser

Unterhalb der Gründungssohle der Winkelstützwand bis in größere Tiefe steht fester Mergel an. Der maximale Grundwasserstand kann an Oberkante des Mergels angenommen werden. Die Winkelstützwand wird mit einem nichtbindigen Füllboden hinterfüllt. Durch eine rückseitige Drainage wird sichergestellt, dass sich hinter der Winkelstützwand kein Sickerwasserdruck aufbauen kann.

### Herstellung und Tragsystem

Nach einem Voraushub in Form einer geböschten Baugrube wird die Winkelstützwand in zwei Betonierabschnitten (Fundamentplatte und Wand) hergestellt. Nach Erreichen der 28-Tage-Festigkeit wird die Wand lagenweise mit einem Hinterfüllboden gemäß ZTV E-StB hinterfüllt.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 3
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

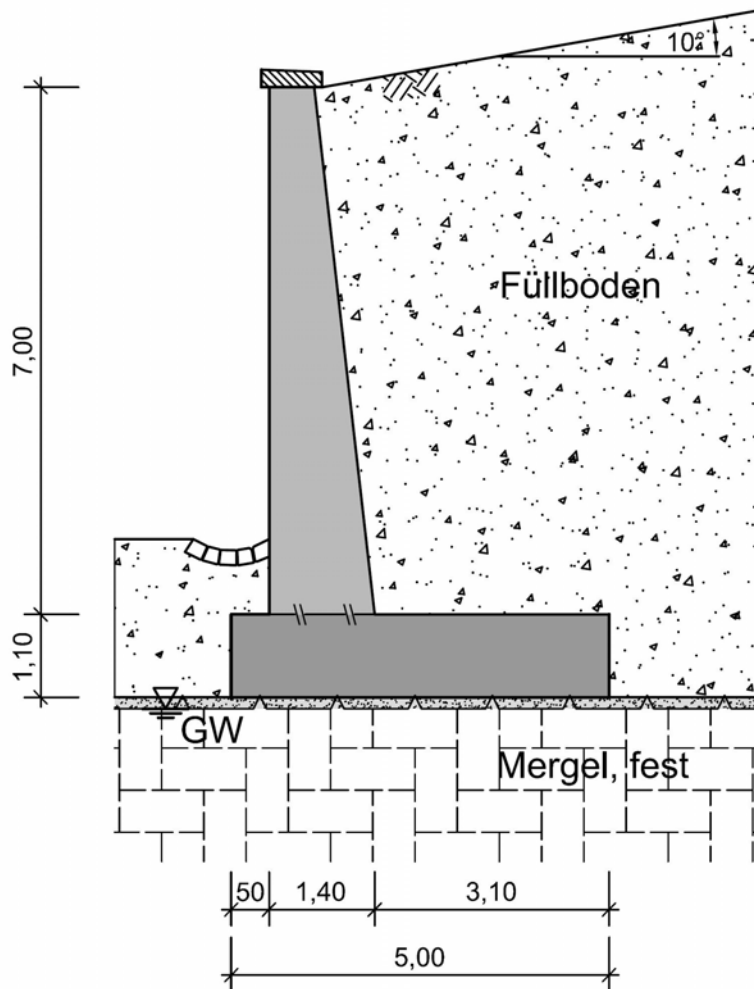


Bild II.1: Winkelstützwand, Querschnitt

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Seite 5	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 2, Abschn. 4	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Grundbau, Stützkonstruktionen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2007-12
ZTV-ING, Teil 5, Abschn. 2	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Tunnelbau, Offene Bauweise. Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2012-03
DIN-Fachbericht 101	Einwirkungen auf Brücken, Ausgabe 2009-03
DIN-Fachbericht 102	Betonbrücken, Ausgabe 2009-03
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005-01
DIN 1055 Teil 1	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, Ausgabe 2002-06
DIN 4017	Baugrund – Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flachgründungen, Ausgabe 2006-03
DIN 4084	Baugrund – Geländebruchberechnungen, Ausgabe 2009-01
DIN 4085	Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe 2011-05

EDV-Programme:

GGU-Stability                      Böschungsbruch nach DIN 4084(2009),  
Verfasser: GGU Braunschweig, 2012

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 7
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise der Winkelstützwand gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 4 (Grundbau, Stützkonstruktionen). Die Stahlbetonkonstruktion wird zudem in Anlehnung an ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 (Tunnel in offener Bauweise) ausgebildet.

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN 1054(2005): für die Sicherheitsnachweise der Winkelstützwand einschließlich der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund- und Grundwasser
- DIN 4017: für die Berechnung des Grundbruchwiderstandes
- DIN 4084: für die Geländebruchberechnung
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung
- DIN-Fachbericht 101: für die Einwirkungskombinationen
- DIN-Fachbericht 102: für die Bemessung und die Material-Teilsicherheitsbeiwerte der Stahlbetonkonstruktion

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 9	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Wichte feucht	Wichte unter Auftrieb	Reibungs- winkel	Kohäsion	Steife- modul
	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Hinterfüllboden	19	11	30	0	50
Mergel	22	12	30	25	150

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Grundwasser steht erst unterhalb der Gründungssohle an. Als ungünstigster Zustand wird in den Berechnungen das Grundwasser an Unterkante der Fundamentplatte angesetzt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 11
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

Betonstahlsorte	BSt 500 S	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1 bzw. DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.1, Tab. R2
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN 1045-1, 9.2.4 (3)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.4.3 (1)

### Betondeckung

allgemein	min $c = 40 \text{ mm}$	DIN-FB 102, Kap. II, 4.1.3.3 (114)
	nom $c = 45 \text{ mm}$	
erdberührte Flächen	min $c = 50 \text{ mm}$	
	nom $c = 55 \text{ mm}$	
gewählt	nom $c = 6,0 \text{ cm}$	in Anlehnung an ZTV-ING T5, Abschn. 2, 10.3.2

### Beton

Betonfestigkeitsklasse	C25/30 WUB-KO	Das Bauwerk liegt außerhalb des Sprühnebelbereiches der Straße. Ansonsten wäre eine Betonfestig- keitsklasse C30/37 erforderlich. DIN 1045-1
Expositionsklassen	XC4, XF1	Bei Lage des Bauwerkes im Sprüh- nebelbereich der Straße wäre XD1, XF2 anzusetzen.
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 25 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.4, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,6 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 26700 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.5.2, Tab. 3.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V): DIN-FB 102, II, 2.3.3.2, Tab. 2.3

$$\gamma_s = 1,15$$

im GZ2  $\gamma_s = 1,0$

#### Beton:

S+V  $\gamma_c = 1,5$  DIN-FB 102, II, 2.3.3.2, Tab. 2.3

im GZ2  $\gamma_c = 1,0$

Bauteil:	IV. A Baugrubenverbau	Seite 13	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Boden

Die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise DIN 1054 erfolgen für den Lastfall 1.

#### Teilsicherheitsbeiwerte GZ 1B

##### Einwirkungen:

ständige Einwirkungen allgemein  $\gamma_G = 1,35$  (LF 1)

ständige Einwirkungen aus Erdruchedruck  $\gamma_{E0g} = 1,20$  (LF 1)

##### Widerstände:

Grundbruchwiderstand  $\gamma_{Gr} = 1,40$  (LF 1)

Gleitwiderstand  $\gamma_{Gl} = 1,10$  (LF 1)

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 2

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

#### Teilsicherheitsbeiwerte GZ 1C

##### Einwirkungen:

ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,00$  (LF 1)

##### Widerstände:

Reibungsbeiwert  $\tan \varphi'$   $\gamma_\varphi = 1,25$  (LF 1)

Kohäsion  $c'$   $\gamma_c = 1,25$  (LF 1)

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 2

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

#### Teilsicherheitsbeiwerte GZ 2

##### Einwirkungen:

ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,00$  (LF 1)

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 2

Bauteil:	IV. A Baugrubenverbau		Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 15	
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Die Winkelstützwand wird durch ihr Eigengewicht sowie Erddruck aus der Hinterfüllung und der großflächigen Verkehrslast beansprucht.

#### Eigengewicht Stützwand

$$\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^3$$

DIN 1055-1

#### Aktiver Erddruck

Für die Lagesicherheitsnachweise der Winkelstützwand wird der aktive Erddruck angesetzt. Bei Winkelstützwänden darf die Erddruckermittlung für die Nachweise der äußeren Standsicherheit vereinfacht an einem vertikalen Berechnungsschnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels erfolgen. Dabei ist ein Wandreibungswinkel  $\delta = \beta$  anzusetzen:

DIN 4085, 6.3.1.2

$$\text{Wandreibungswinkel } \delta = \beta = 10^\circ$$

$$\text{Erddruckbeiwerte: } K_{agh} = 0,344$$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

Erddruck auf hinteren Sporn:

$$\text{Wandreibungswinkel } \delta = 2/3 \cdot \varphi'_k = 20^\circ, \alpha = 0^\circ$$

$$\text{Erddruckbeiwerte: } K_{agh} = 0,320$$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

#### Erhöhter aktiver Erddruck

Die Nachweise der inneren Tragfähigkeit der Winkelstützwand erfolgen mit dem erhöhten aktiven Erddruck. Dieser wird direkt auf das Bauwerk angesetzt.

DIN 4085, Tabelle A.2

Erddruck auf Wandrückseite:

$$\text{Wandreibungswinkel } \delta = 2/3 \cdot \varphi'_k = 20^\circ, \alpha = 5,7^\circ$$

$$\text{Erddruckbeiwerte: } K_{agh} = 0,358$$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$$K_0 = 0,453$$

DIN 4085, Abschn. 6.4.1

$$K'_{ah} = (0,358 + 0,453)/2 = 0,406$$

DIN 4085, Tabelle A.2

Erddruck auf hinteren Schenkel:

$$\text{Wandreibungswinkel } \delta = 2/3 \cdot \varphi'_k = 20^\circ, \alpha = 0^\circ$$

$$\text{Erddruckbeiwerte: } K_{agh} = 0,320$$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$$K_0 = 0,461$$

DIN 4085, Abschn. 6.4.1

$$K'_{ah} = (0,320 + 0,461)/2 = 0,390$$

DIN 4085, Tabelle A.2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 17
Vorgang:	1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Verdichtungserddruck

$e_v = 25 \text{ kN/m}^2$

DIN 4085, 6.6.1, Tab. 3

Wasserdruck

Aufgrund der Drainage ist kein Wasserdruck anzusetzen.

Verkehrslast

Die großflächige Verkehrslast von  $p = 10 \text{ kN/m}^2$  oberhalb der Winkelstützwand ist als ständige Einwirkung zu behandeln und wird in ungünstiger Stellung in die Erddruckermittlung einbezogen.

DIN 1054, 10.3.1 (6)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 19
Vorgang:	1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER TRAGFÄHIGKEIT

### 2.1 Nachweis der Gleitsicherheit

Der Nachweis der Gleitsicherheit wird im Grenzzustand GZ1B geführt. Hierfür ist nachzuweisen, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$T_d \leq R_{t,d} + E_{p,d}$$

DIN 1054, 7.5.3, Gl. (20)

Der Nachweis erfolgt gemäß DIN 4085 an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird. Die Eigenlast des Bodenkeils auf dem erdseitigen Wandschenkel wird berücksichtigt.

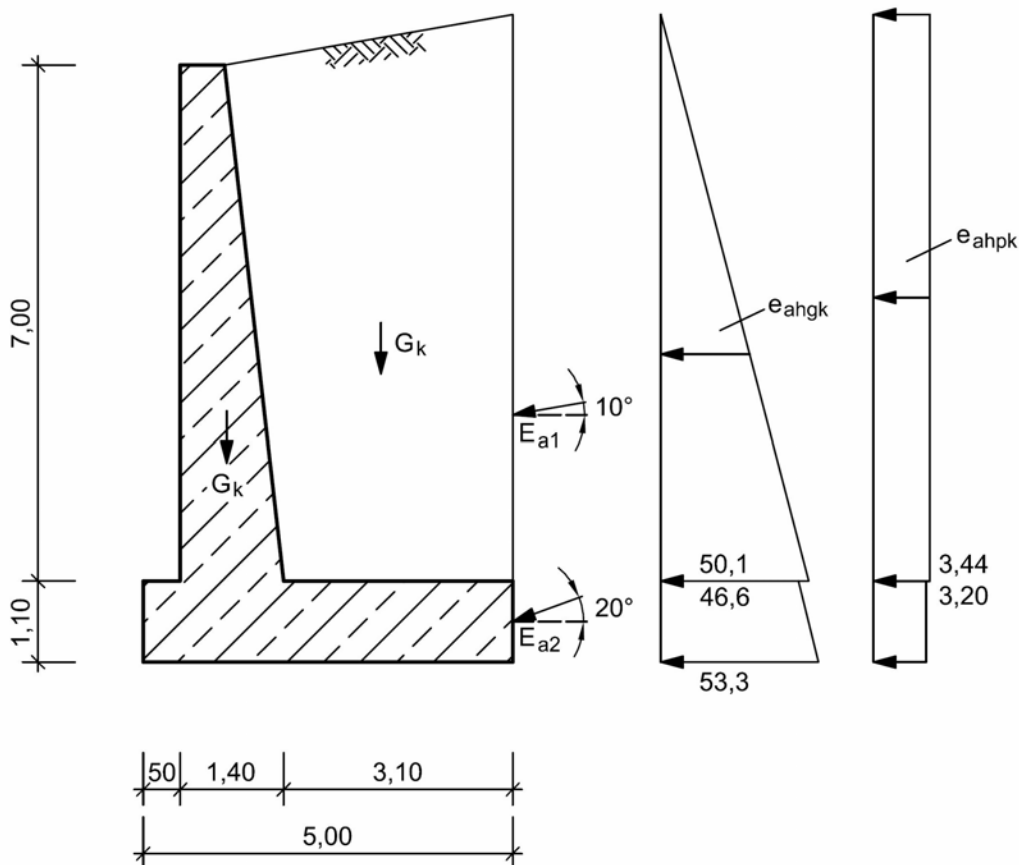


Bild 2.1: Ersatzkörper mit angreifenden Einwirkungen

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 21
Vorgang:	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen

- Eigengewicht der Stützwand:

Für den Gleitnachweis wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^2$  angesetzt.

$$G_{kW} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 24,0 + (0,7 + 1,4)/2 \cdot 7,0 \cdot 24 = 308,4 \text{ kN/m}$$

- Eigengewicht des Bodenkörpers:

$$G_{kB} = 7,0 \cdot 3,1 \cdot 19 + 7,0 \cdot 0,7/2 \cdot 19 + 3,8 \cdot 0,67/2 \cdot 19 = 483,1 \text{ kN/m}$$

- Erddruck aus Bodeneigengewicht:

Höhe der fiktiven Wand bis Oberkante Sporn:  $h = 7,0 + 3,8 \cdot \tan(10^\circ) = 7,67 \text{ m}$

$$e_{ahk,o} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ahk,u} = 7,67 \cdot 19,0 \cdot 0,344 = 50,1 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ahk,1} = 50,1 \cdot 7,67 / 2 = 192,3 \text{ kN/m}$$

$$E_{avk,1} = 192,3 \cdot \tan(10^\circ) = 33,9 \text{ kN/m}$$

Erddruck auf rückseitigen Sporn:

$$e_{ahk,o} = 7,67 \cdot 19,0 \cdot 0,320 = 46,6 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ahk,u} = 46,6 + 1,1 \cdot 19,0 \cdot 0,320 = 53,3 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ahk,2} = (46,6 + 53,3)/2 \cdot 1,10 = 54,9 \text{ kN/m}$$

$$E_{avk,2} = 54,9 \cdot \tan(20^\circ) = 20,0 \text{ kN/m}$$

- Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast:

$$e_{ahpk,o} = 10,0 \cdot 0,344 = 3,44 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ahpk,u} = 10,0 \cdot 0,320 = 3,20 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ahpk,1} = 3,44 \cdot 7,67 = 26,4 \text{ kN/m}$$

$$E_{avpk,1} = 26,4 \cdot \tan(10^\circ) = 4,7 \text{ kN/m}$$

$$E_{ahpk,2} = 3,20 \cdot 1,10 = 3,5 \text{ kN/m}$$

$$E_{avpk,2} = 3,5 \cdot \tan(20^\circ) = 1,3 \text{ kN/m}$$

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt.

Eine vertikale Auflast auf den erdseitigen Sporn aus der Verkehrslast wird nicht berücksichtigt, da sie günstig wirkt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 23
Vorgang:	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Nachweis

$$T_d = \gamma_G \cdot \Sigma E_{ah,k} = 1,35 \cdot (192,3 + 54,9 + 26,4 + 3,5) = 1,35 \cdot 277,1 = 374,1 \text{ kN/m}$$

$$R_{t,k} = \Sigma N_{,k} \cdot \tan \delta_{s,k}$$

Bei Ortbetonfundamenten darf  $\delta_{s,k} = \varphi'_k$  angesetzt werden. DIN 1054, 7.4.3 (3)

$$\begin{aligned} R_{t,k} &= (308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3) \cdot \tan(30^\circ) \\ &= 851,4 \cdot \tan(30^\circ) = 491,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$R_{t,d} = R_{t,k} / \gamma_{GI} = 491,5 / 1,1 = 446,9 > 374,1 = T_d$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 25
Vorgang:	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen

Zum Nachweis der Sicherheit gegen Kippen ist gemäß DIN 1054, 7.5.1 im Grenzzustand der Tragfähigkeit nachzuweisen, dass die Resultierende des Sohldrucks unter ständigen und veränderlichen Einwirkungen innerhalb der 2. Kernweite bleibt, d.h. dass die Ausmitte  $e \leq b/3$  ist. Der Nachweis erfolgt für die ungünstigste Kombination der charakteristischen Werte ständiger und veränderlicher Einwirkungen.

Der Nachweis erfolgt wiederum an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird. Die Eigenlast des Bodenkeils auf dem erdseitigen Wandschenkel wird berücksichtigt.

Es werden zunächst die charakteristischen Einwirkungen und deren Hebelarme bezogen auf den Sohlmittelpunkt ermittelt:

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Hebelarme

- Eigengewicht der Stützwand:

Für den Kippnachweis wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^2$  angesetzt.

Bodenplatte $G_{k1} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 24 = 132,0 \text{ kN/m}$	$e = 0 \text{ m}$
Vorderwand $G_{k2} = 0,7 \cdot 7,0 \cdot 24 = 117,6 \text{ kN/m}$	$e = 2,5 - 1,0 - 0,7 / 2 = 1,15 \text{ m}$
$G_{k3} = 0,7 \cdot 7,0 / 2 \cdot 24 = 58,8 \text{ kN/m}$	$e = 2,5 - 1,0 - 0,7 - 0,7 / 3 = 0,57 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$	

- Eigengewicht des Bodenkörpers:

$G_{k4} = 7,0 \cdot 3,1 \cdot 19 = 412,3 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 + 3,1 / 2 = -0,95 \text{ m}$
$G_{k5} = 7,0 \cdot 0,7 / 2 \cdot 19 = 46,6 \text{ kN/m}$	$e = 2,5 - 1,7 - 2/3 \cdot 0,7 = 0,33 \text{ m}$
$G_{k6} = 3,8 \cdot 0,67 / 2 \cdot 19 = 24,2 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 + 3,8 / 3 = -1,23 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 483,1 \text{ kN/m}$	

- Erddruck aus Bodeneigengewicht (vgl. 2.1):

$E_{ahk,1} = 192,3 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 + 7,0 / 3 = 3,43 \text{ m}$
$E_{avk,1} = 33,9 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$
$E_{ahk,2} = 54,9 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ m}$
$E_{avk,2} = 20,0 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit		Seite 27
Vorgang:	2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

- Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast (vgl. 2.1):

$$E_{ahpk,1} = 26,4 \text{ kN/m}$$

$$h = 1,1 + 7,0 / 2 = 4,6 \text{ m}$$

$$E_{avpk,1} = 4,7 \text{ kN/m}$$

$$e = -2,5 \text{ m}$$

$$E_{ahpk,2} = 3,5 \text{ kN/m}$$

$$h = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ m}$$

$$E_{avpk,1} = 1,3 \text{ kN/m}$$

$$e = -2,5 \text{ m}$$

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt.

Eine vertikale Auflast auf den erdseitigen Sporn aus der Verkehrslast wird nicht berücksichtigt, da sie günstig wirkt.

#### Nachweis:

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\begin{aligned} \Sigma M_k &= 117,6 \cdot 1,15 + 58,8 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 + 192,3 \cdot 3,43 \\ &\quad + 54,9 \cdot 0,55 - 33,9 \cdot 2,5 - 20,0 \cdot 2,5 + 26,4 \cdot 4,6 + 3,5 \cdot 0,55 - 4,7 \cdot 2,5 - 1,3 \cdot 2,5 \\ &= 426,1 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Ausmitte:

$$e = \Sigma M_k / V_k = 426,1 / 851,4 = 0,73 \text{ m} < b / 3 = 5,0 / 3 = 1,67 \text{ m}$$

Der Nachweis der zulässigen Lastausmitte unter ständigen und veränderlichen Lasten ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 29
Vorgang:	2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit

Der Grundbruchnachweis wird im Grenzzustand GZ 1B geführt. Der Nachweis erfolgt wiederum an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird.

Es werden zunächst die charakteristischen Einwirkungen und deren Hebelarme bezogen auf den Sohlmittelpunkt ermittelt:

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Hebelarme

- Eigengewicht der Stützwand (vgl. 2.2):

Die geringste Grundbruchsicherheit ergibt sich bei der größten Lastausmitte. Daher wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^3$  angesetzt

Bodenplatte $G_{k1} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 24 = 132,0 \text{ kN/m}$	$e = 0 \text{ m}$
Vorderwand $G_{k2} = 0,7 \cdot 7,0 \cdot 24 = 117,6 \text{ kN/m}$	$e = 1,15 \text{ m}$
$G_{k3} = 0,7 \cdot 7,0 / 2 \cdot 24 = 58,8 \text{ kN/m}$	$e = 0,57 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$	

- Eigengewicht des Bodenkörpers (vgl. 2.2):

$G_{k4} = 412,3 \text{ kN/m}$	$e = -0,95 \text{ m}$
$G_{k5} = 46,6 \text{ kN/m}$	$e = 0,33 \text{ m}$
$G_{k6} = 24,2 \text{ kN/m}$	$e = -1,23 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 483,1 \text{ kN/m}$	

- Erddruck aus Bodeneigengewicht (vgl. 2.2):

$E_{ahk,1} = 192,3 \text{ kN/m}$	$h = 3,43 \text{ m}$
$E_{avk,1} = 33,9 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$
$E_{ahk,2} = 54,9 \text{ kN/m}$	$h = 0,55 \text{ m}$
$E_{avk,2} = 20,0 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$

- Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast (vgl. 2.2):

$E_{ahpk,1} = 26,4 \text{ kN/m}$	$h = 4,6 \text{ m}$
$E_{avpk,1} = 4,7 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$
$E_{ahpk,2} = 3,5 \text{ kN/m}$	$h = 0,55 \text{ m}$
$E_{avpk,1} = 1,3 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 31
Vorgang:	2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie der Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt. Eine vertikale Auflast auf den erdseitigen Sporn aus der Verkehrslast wird nicht berücksichtigt, da sie günstig wirkt.

#### Ermittlung des Grundbruchwiderstandes:

Der Grundbruchwiderstand ist nach DIN 4017 zu ermitteln. Dabei werden Neigung und Ausmitte der Last unter Ansatz der charakteristischen Beanspruchungen in der Sohlfläche ermittelt.

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Horizontalkräfte:

$$H_k = 192,3 + 54,9 + 26,4 + 3,5 = 277,1 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\begin{aligned} \Sigma M_k &= 117,6 \cdot 1,15 + 58,8 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 + 192,3 \cdot 3,43 \\ &\quad + 54,9 \cdot 0,55 - 33,9 \cdot 2,5 - 20,0 \cdot 2,5 + 26,4 \cdot 4,6 + 3,5 \cdot 0,55 - 4,7 \cdot 2,5 - 1,3 \cdot 2,5 \\ &= 426,1 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Ausmitte:

$$e = \Sigma M_k / V_k = 426,1 / 851,4 = 0,73 \text{ m}$$

Beiwerte:

wegen Streifenfundament gilt:  $\nu_b = \nu_d = \nu_c = 1,0$

wegen Geländeneigung = 0 gilt:  $\lambda_b = \lambda_d = \lambda_c = 1,0$

wegen Sohlneigung = 0 gilt:  $\xi_b = \xi_d = \xi_c = 1,0$

Lastneigungswinkel  $\tan \delta = H_k / N_k = 277,1 / 851,4 = 0,32 > 0$

$$\omega = 0$$

$$m = 2,0 \quad \text{mit } m_a = 1,0, m_b = 2,0$$

Lastneigungsbeiwerte  $i_b = (1 - \tan \delta)^{m+1} = (1 - 0,32)^3 = 0,308$

$$i_d = (1 - \tan \delta)^m = (1 - 0,32)^2 = 0,456$$

$$i_c = (i_d \cdot N_{d0} - 1) / (N_{d0} - 1) = 0,425$$

$$N_{d0} = \tan^2 (45 + \varphi/2) e^{\pi \cdot \tan \varphi} = 18,4 \quad \text{mit } \varphi = 30^\circ$$

$$N_{b0} = (N_{d0} - 1) \cdot \tan \varphi = 10,0$$

$$N_{c0} = (N_{d0} - 1) / \tan \varphi = 30,1$$

$$b' = b - 2 \cdot e = 5,0 - 2 \cdot 0,73 = 3,54 \text{ m}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit		Seite 33
Vorgang:	2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Für das Tiefenglied in der Grundbruchgleichung wird – zur Berücksichtigung möglicher Abgrabungen – nur die Tiefe 1,10 m bis zur Oberkante der Sohlplatte angesetzt.

Der Grundwasserstand wird in Höhe der Gründungssohle angesetzt. Daher wird im Breitenglied der Grundbruchgleichung nur die Wichte unter Auftrieb ( $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ ) berücksichtigt.

$$\begin{aligned}
 R_{n,k} &= b' \cdot (\gamma_2 \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot i_b + \gamma_1 \cdot d \cdot N_{d0} \cdot i_d + c \cdot N_{c0} \cdot i_c) \\
 &= 3,54 \cdot (12 \cdot 3,54 \cdot 10,0 \cdot 0,308 + 19 \cdot 1,10 \cdot 18,4 \cdot 0,456 + 25 \cdot 30,1 \cdot 0,425) \\
 &= 2216,0 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

#### Nachweis:

Bemessungswert der Beanspruchungen senkrecht zur Fundamentsohlfläche:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

$$V_d = V_k \cdot \gamma_G = 851,4 \cdot 1,35 = 1149,4 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes:

$$R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{Gr} = 2216,0 / 1,40 = 1582,9 \text{ kN/m} > 1149,4 \text{ kN/m}$$

Der Grundbruchnachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 35
Vorgang:	2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit

Der Nachweis der Gesamtstandsicherheit (Geländebruch) erfolgt im Grenzzustand GZ 1C gemäß DIN 1054, 12.3 auf der Grundlage der DIN 4084.

Für diesen Nachweis gehen die ständigen Einwirkungen und die großflächige Verkehrslast von  $p = 10 \text{ kN/m}^2$  mit einer Teilsicherheit  $\gamma_G = 1,00$  in die Berechnung ein.

DIN 1054, 6.4.1, Tab. 2

Die Scherparameter (Widerstände) gehen mit abgeminderten Kennwerten in die Gleitkreisberechnung ein:

DIN 1054, 6.4.2, Tab. 3

$$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi = \tan \varphi'_k / 1,25$$

$$c'_d = c'_k / \gamma_c = c'_k / 1,25$$

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt mit dem Programm GGU-Stability mit dem Lamellenverfahren von Bishop.

Es ergibt sich ein Ausnutzungsgrad von  $1/f = 0,47 < 1,0$ .

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 37
Vorgang:	2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

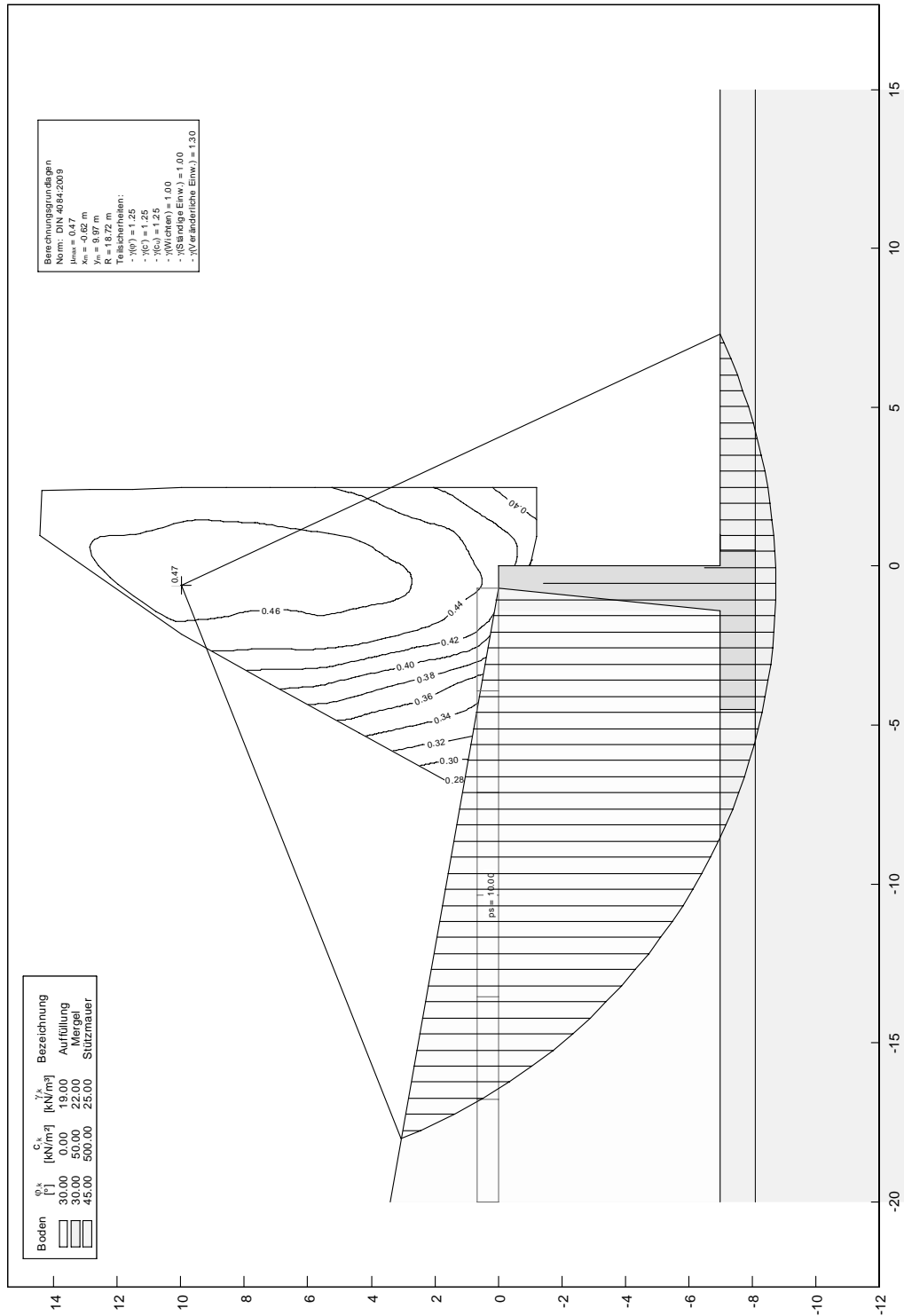


Bild 2.2: Ergebnis der Geländebruchberechnung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 39
Vorgang:	2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen

Die Bemessung der Stahlbetonkonstruktion erfolgt im Grenzzustand GZ1B auf der Grundlage des DIN-Fachberichtes 102.

Die Einwirkungen aus Erddruck und Verkehrslasten werden direkt auf die Rückseite der Winkelstützwand angesetzt. Aufgrund der geringen Verformbarkeit wird gemäß DIN 4085, Tabelle A.2 mit dem erhöhten aktiven Erddruck  $e'_{ah} = 0,5 \cdot e_{ah} + 0,5 \cdot e_0$  gerechnet. Darüber hinaus wird ein Verdichtungserddruck von 25 kN/m<sup>2</sup> gemäß DIN 4085 berücksichtigt.

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen

- Erddruck auf aufgehende Wand:

- aus Bodeneigengewicht:

$$e'_{ahk,o} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$e'_{ahk,u} = 7,0 \cdot 19,0 \cdot 0,406 = 54,0 \text{ kN/m}^2$$

- aus großflächiger Verkehrslast:

$$e'_{ahp} = 10,0 \cdot 0,406 = 4,06 \text{ kN/m}^2$$

Der Erddruck aus Verkehr wird nur angesetzt, wenn er den Anteil aus Verdichtungserddruck übersteigt

- aus Verdichtungserddruck:

$$e_v = 25 \text{ kN/m}^2$$

- Ermittlung der Tiefe, bis zu der  $e_v$  maßgebend ist:

$$t = (25,0 - 4,06) / (19 \cdot 0,406) = 2,71 \text{ m}$$

-Erddruck auf rückseitigen Sporn:

- aus Bodeneigengewicht:

$$e'_{ahk,o} = 7,67 \cdot 19,0 \cdot 0,390 = 56,8 \text{ kN/m}^2$$

$$e'_{ahk,u} = 56,8 + 1,1 \cdot 19,0 \cdot 0,390 = 65,0 \text{ kN/m}^2$$

$$E'_{ahk} = (56,8 + 65,0) / 2 \cdot 1,1 = 67,0 \text{ kN/m}$$

$$E_{avk} = 67,0 \cdot \tan(20^\circ) = 24,4 \text{ kN/m}$$

- aus großflächiger Verkehrslast:

$$e'_{ahp} = 10,0 \cdot 0,390 = 3,90 \text{ kN/m}^2$$

$$E'_{ahpk} = 3,90 \cdot 1,10 = 4,3 \text{ kN/m}$$

$$E'_{avpk} = 4,3 \cdot \tan(20^\circ) = 1,56 \text{ kN/m}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 41
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

- Auflast auf den Sporn:

- aus Bodeneigengewicht:

$$g_{k1} = 19,0 \cdot (7,0 + 0,7 \cdot \tan(10^\circ)) = 135,3 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k2} = 19,0 \cdot 7,67 = 145,7 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{k4} = 412,3 \text{ kN/m (siehe 2.2)} \quad e = -0,95 \text{ m}$$

$$G_{k5} = 46,6 \text{ kN/m} \quad e = 0,33 \text{ m}$$

$$G_{k6} = 24,2 \text{ kN/m} \quad e = -1,23 \text{ m}$$

- aus Verkehrslast:

$p = 10 \text{ kN/m}^2$  (wird angesetzt, da auch der zugehörige Erddruck angesetzt wird)

- Eigengewicht der Winkelstützwand

$$\text{Bodenplatte } G_{k1} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 25 = 137,5 \text{ kN/m} \quad e = 0 \text{ m}$$

$$\text{Vorderwand } G_{k2} = 0,7 \cdot 7,0 \cdot 25 = 122,5 \text{ kN/m} \quad e = 1,15 \text{ m}$$

$$G_{k3} = 0,7 \cdot 7,0 / 2 \cdot 25 = 61,3 \text{ kN/m} \quad e = 0,57 \text{ m}$$

$$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$$

### Ermittlung der charakteristischen Sohlpressung

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_{,k} = 137,5 + 122,5 + 61,3 + 412,3 + 46,6 + 24,2 + 10,0 \cdot 3,8 + 1,56 + 24,4 \\ = 868,3 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\Sigma M_k = 25,0 \cdot 7,0 \cdot (1,1+7,0/2) + (58,1 - 25,0) \cdot 4,29/2 \cdot (1,1+4,29/3) + 122,5 \cdot 1,15 + \\ 61,25 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 - 10,0 \cdot 3,8 \cdot (2,5 - 3,8/2) - \\ (24,4 + 1,56) \cdot 2,5 + (67,0 + 4,3) \cdot 1,1/2 \\ = 705,9 \text{ kNm/m}$$

Ausmitte:

$$e = \Sigma M_k / V_k = 705,9 / 868,3 = 0,81 \text{ m}$$

Sohlpressung:

$$p_{1,k} = V_k / b \cdot (1 + 6 \cdot e / b) = 868,3 / 5,0 \cdot (1 + 6 \cdot 0,81 / 5,0) = 342,4 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{2,k} = V_k / b \cdot (1 - 6 \cdot e / b) = 868,3 / 5,0 \cdot (1 - 6 \cdot 0,81 / 5,0) = 4,9 \text{ kN/m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 43
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

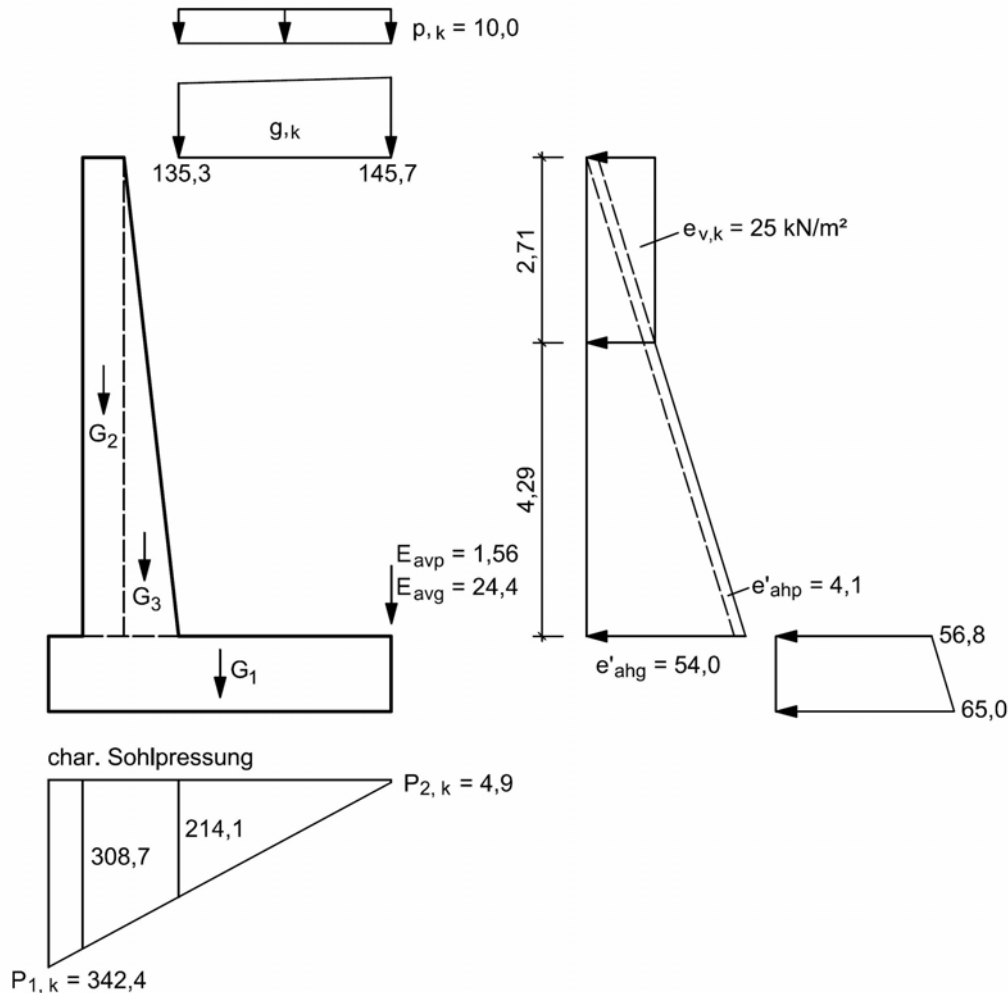


Bild 2.3: charakteristische Einwirkungen und Sohlpressung

### Schnittgrößenermittlung und Bemessung

Bei der Schnittgrößenermittlung dürften für den Einwirkungsanteil aus dem erhöhten aktiven Erddruck abgeminderte Teilsicherheiten von  $\gamma_G = (1,20 + 1,35) / 2 = 1,275$  angesetzt werden. Aufgrund des geringen Einflusses auf das Bemessungsergebnis wird dies nur für die aufgehende Wand, aber nicht für die Fundamentplatte berücksichtigt.

Die Bemessung erfolgt gemäß DIN-Fachbericht 102 und unter Beachtung der ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 45
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1) Wandanschnitt

$$M_{g,k} = 25 \cdot 7,0^2/2 + (58,1 - 25,0) \cdot 4,29^2/6 = 714,0 \text{ kNm/m}$$

Bei der Bemessung wird für die Normalkraft nur der Anteil aus dem Eigengewicht der Wand angesetzt. Der Vertikalkraftanteil aus dem Erddruck wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Da die Normalkraft hier günstig wirkt, wird sie mit  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  angesetzt.

$$N_{g,k} = (0,7 + 1,4)/2 \cdot 7,0 \cdot 25 = -183,8 \text{ kN/m (Druck mit negativem Vorzeichen)}$$

$$V_{g,k} = 25 \cdot 7,0 + (58,1 - 25,0) \cdot 4,29 / 2 = 246,0 \text{ kN/m (am Anschnitt)}$$

Maßgebend: Schubkraft im Abstand d vom Auflagerrand:

$$d \approx 120 \text{ cm}$$

$$V_{g,k} = 25 \cdot (7,0 - 1,20) + (48,8 - 25,0) \cdot 3,09 / 2 = 181,8 \text{ kN/m}$$

$$M_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot M_{g,k} = 1,275 \cdot 714,0 = 910,4 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,d} = \gamma_{G,inf} \cdot N_{g,k} = 1,0 \cdot 183,8 = -183,8 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{g,k} = 1,275 \cdot 181,8 = 231,8 \text{ kN/m}$$

C25/30

$$h = 140 \text{ cm}$$

$$d = 140 - 6 - 1,2 - 1,6/2 = 132 \text{ cm}$$

$$\text{Biegebewehrung: erf } a_s = 13,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$h = 128 \text{ cm}$$

$$d = 128 - 6 - 1,2 - 1,6/2 = 120 \text{ cm}$$

$$\text{Schubbewehrung: erf } a_{sw} = 0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

## 2) vorderer Sporn

Die Bodenauflast auf den vorderen Sporn wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Die Bemessung erfolgt am Anschnitt.

$$M_{g,k} = (342,4 + 308,7) / 2 \cdot 0,5^2 / 2 = 40,7 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,k} = (342,4 + 308,7) / 2 \cdot 0,5 = 162,8 \text{ kN/m}$$

$$M_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot M_{g,k} = 1,35 \cdot 40,7 = 54,9 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,d} = 0 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{g,k} = 1,35 \cdot 162,8 = 219,7 \text{ kN/m}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit <span style="float: right;">Seite 47</span>	
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

C25/30

$h = 110 \text{ cm}$

$d = 110 - 6 - 1,4/2 = 103 \text{ cm}$

Biegebewehrung: erf  $a_s = 1,2 \text{ cm}^2/\text{m}$

Aus geometrischen Gründen ist keine Schubbewehrung erforderlich.

### 3) hinterer Sporn

Die Bemessung erfolgt am Anschnitt.

$$\begin{aligned}
 M_{g,k} &= 4,9 \cdot 3,1^2/2 + (214,1 - 4,9) \cdot 3,1^2/6 - (24,4 + 1,56) \cdot 3,1 - 135,3 \cdot 3,1^2/2 \\
 &\quad - (145,7 - 135,3) \cdot 3,1^2/3 - 10,0 \cdot 3,1^2/2 \\
 &= -453,3 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m (sichere Seite)}$$

$$\begin{aligned}
 V_{g,k} &= (4,9 + 214,1) \cdot 3,1 / 2 - 24,4 - 1,56 - (135,3 + 145,7) \cdot 3,1 / 2 - 3,1 \cdot 10,0 \\
 &= -153,1 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$M_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot M_{g,k} = -1,35 \cdot 453,3 = -612,0 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,d} = 0 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{g,k} = -1,35 \cdot 153,1 = -206,6 \text{ kN/m}$$

C25/30

$h = 110 \text{ cm}$

$d = 110 - 6 - 1,4/2 = 103 \text{ cm}$

Biegebewehrung: erf  $a_s = 13,3 \text{ cm}^2/\text{m}$

Schubbewehrung: erf  $a_{sw} = 0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit <span style="float: right;">Seite 49</span>	
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

#### 3.1 Geotechnische Nachweise

Zu diesen Nachweisen gehören Setzungsberechnungen, Verschiebungsnachweise und der Nachweis zur Begrenzung einer klaffenden Fuge unter der Sohlplatte. Die ersten beiden Nachweise können bei der vorliegenden Winkelstützwand aufgrund des steifen Baugrundes entfallen, da keine Anforderungen an eine erhöhte Verformungsbeschränkung vorliegen und in den geführten Gleit- und Grundbruchnachweisen keine Bodenreaktionen an der Stirnseite des luftseitigen Spornes angesetzt wurden.

Zu führen ist in jedem Fall der Nachweis zur Begrenzung einer klaffenden Fuge. Es ist gemäß DIN 1054, 7.6.1 im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen, dass die Resultierende des Sohldrucks unter ständigen Einwirkungen innerhalb der 1. Kernweite bleibt, d.h. dass die Ausmitte  $e \leq b/6$  ist. Dieser Nachweis erfolgt analog zu dem unter 2.2 geführten Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit unter charakteristischen Einwirkungen an dem System mit vertikaler Ersatzwand. Der einzige Unterschied zu dem unter 2.2. geführten Nachweis ist der, dass die großflächige Verkehrslast hier nicht angesetzt wird.

Es werden zunächst die charakteristischen Einwirkungen und deren Hebelarme bezogen auf den Sohlmittelpunkt ermittelt:

#### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Hebelarme

- Eigengewicht der Stützwand (vgl. 2.1):

Für den Kippnachweis wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^2$  angesetzt.

Bodenplatte $G_{k1} = 132,0 \text{ kN/m}$	$e = 0 \text{ m}$
Vorderwand $G_{k2} = 117,6 \text{ kN/m}$	$e = 1,15 \text{ m}$
$G_{k3} = 58,8 \text{ kN/m}$	$e = 0,57 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$	

- Eigengewicht des Bodenkörpers(vgl. 2.1):

$G_{k4} = 412,3 \text{ kN/m}$	$e = -0,95 \text{ m}$
$G_{k5} = 46,6 \text{ kN/m}$	$e = 0,33 \text{ m}$
$G_{k6} = 24,2 \text{ kN/m}$	$e = -1,23 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 483,1 \text{ kN/m}$	

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 51
Vorgang:	3.1 Geotechnische Nachweise	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

- Erddruck aus Bodeneigengewicht (vgl. 2.1):

$E_{ahk,1} = 192,3 \text{ kN/m}$	$h = 3,43 \text{ m}$
$E_{avk,1} = 33,9 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$
$E_{ahk,2} = 54,9 \text{ kN/m}$	$h = 0,55 \text{ m}$
$E_{avk,2} = 20,0 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt.

Nachweis:

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\begin{aligned} \Sigma M_k &= 117,6 \cdot 1,15 + 58,8 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 + 192,3 \cdot 3,43 \\ &\quad + 54,9 \cdot 0,55 - 33,9 \cdot 2,5 - 20,0 \cdot 2,5 \\ &= 317,7 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Ausmitte:

$$e = \Sigma M_k / V_k = 317,7 / 851,4 = 0,37 \text{ m} < b / 6 = 5,0 / 6 = 0,83 \text{ m}$$

Der Nachweis der zulässigen Lastausmitte unter ständigen Lasten ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit Seite 53	
Vorgang:	3.1 Geotechnische Nachweise	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion

### Rissbreitenbeschränkung

Da kein drückendes Grundwasser ansteht, beträgt die zulässige rechnerische Rissbreite der wu-Betonkonstruktion für die Erd- und für die Luftseite:

$$w_{k,cal} = 0,20 \text{ mm}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.4.5

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erfolgt unter Berücksichtigung der gewählten Stabdurchmesser.

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung erfolgen durch direkte Berechnung gemäß DIN-FB 102, II, 4.4.2.4.

Der Rechenwert der Rissbreite ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\sigma_s = \frac{3,6 \cdot w_k \cdot \text{eff } \rho_p \cdot E_s}{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho_p} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho_p)}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
Gl. (4.201)bis (4.203)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \left( \sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho_p} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho_p) \right)}{3,6 \cdot \text{eff } \rho_p \cdot E_s}$$

mit  $\text{eff } \rho_p = A_s / A_{c,eff}$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
Gl. (4.200a)

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot b \cdot (h - d)$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
Abb. 4-137d)

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung sind gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 für die häufige Kombination zu führen. Da hier keine über die großflächige Verkehrslast hinausgehenden veränderlichen Einwirkungen vorhanden sind, reduziert sich der Nachweis auf den Ansatz der charakteristischen ständigen Einwirkungen inklusive der großflächigen Verkehrslast ( $\gamma_G = 1,0$ ).

Die charakteristischen Schnittgrößen können aus Abschnitt 2.5 übernommen werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 55
Vorgang:	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

1) Wandanschnitt

$$M_{g,k} = 714,0 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = (0,7 + 1,4)/2 \cdot 7,0 \cdot 25 = -183,8 \text{ kN/m (Druck mit negativem Vorzeichen)}$$

C25/30

$$h = 140 \text{ cm}$$

$$d = 132 \text{ cm}$$

Stabdurchmesser: 20 mm

Biegebewehrung: erf  $a_{s,riss} = 24,3 \text{ cm}^2/\text{m}$

2) vorderer Sporn

$$M_{g,k} = 40,7 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m}$$

C25/30

$$h = 110 \text{ cm}$$

$$d = 103 \text{ cm}$$

Stabdurchmesser: 12 mm

Biegebewehrung: erf  $a_{s,riss} = 1,6 \text{ cm}^2/\text{m}$  (Mindestbewehrung maßgebend)

3) hinterer Sporn

$$M_{g,k} = -453,3 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m}$$

C25/30

$$h = 110 \text{ cm}$$

$$d = 103 \text{ cm}$$

Stabdurchmesser: 20 mm

Biegebewehrung: erf  $a_{s,riss} = 24,6 \text{ cm}^2/\text{m}$

Mindestbewehrung

Als Mindestbewehrung für wu-Beton-Konstruktionen sind gemäß ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.2, 0,20 % des Betonquerschnittes, aber nicht mehr als 12 cm<sup>2</sup>/m einzulegen.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 57
Vorgang:	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Mindestbewehrung aus Zwang

Die aufgehende Wand wird für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme bemessen.

Die Bemessung ist gegenüber der in DIN-FB 102, II, 5.4.7.3 angegebenen konstruktiven Längsbewehrung maßgebend.

Es gilt:

$$W_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.201)

mit  $s_{r,max} = d_s / (3,6 \text{ eff } \rho)$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.203)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \sigma_{sr} - 0,4 f_{ct,eff} / \text{eff } \rho \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho) / E_s$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.202)

$$\text{eff } \rho = A_s / A_{c,eff}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Gl. (4.200a)

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot d_1 \leq (h - x) / 2$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Abb. 4.137

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Die Anrissspannung  $\sigma_{sr}$  wird aus der Mindestbewehrung bestimmt unter Ansatz von  $\sigma_s = \sigma_{sr}$

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_{sr}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.2 (5), Gl. (4.194)

mit  $k_c = 1,0$  für Zug

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.2 (5), Gl. (4.195)

$$k = 0,8 \text{ für } h \leq 300 \text{ mm}$$

$$\text{bzw. } k = 0,5 \text{ für } h \geq 800 \text{ mm}$$

$$f_{ct,eff} = 0,50 \cdot f_{ctm}$$

$f_{ctm} = 2,6 \text{ MN/m}^2$

Aufgrund der veränderlichen Bauteildicke der Wand wird eine gemittelte Dicke entsprechend der Dicke in der Höhe 1,5 m über der Arbeitsfuge angesetzt.

Für  $d = 1,25 \text{ m}$  ergibt sich eine erforderliche Mindestbewehrung in Längsrichtung aus Zwang von  $22,3 \text{ cm}^2/\text{m}$ . Diese wird konstruktiv über eine Höhe von 3 m eingelegt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 59
Vorgang:	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. ERGEBNIS DER NACHWEISE UND DER BEMESSUNG

Als Ergebnis der geführten Berechnungen und Nachweise ergeben sich die folgenden Bauteilabmessungen und erforderlichen Bewehrungsquerschnitte:

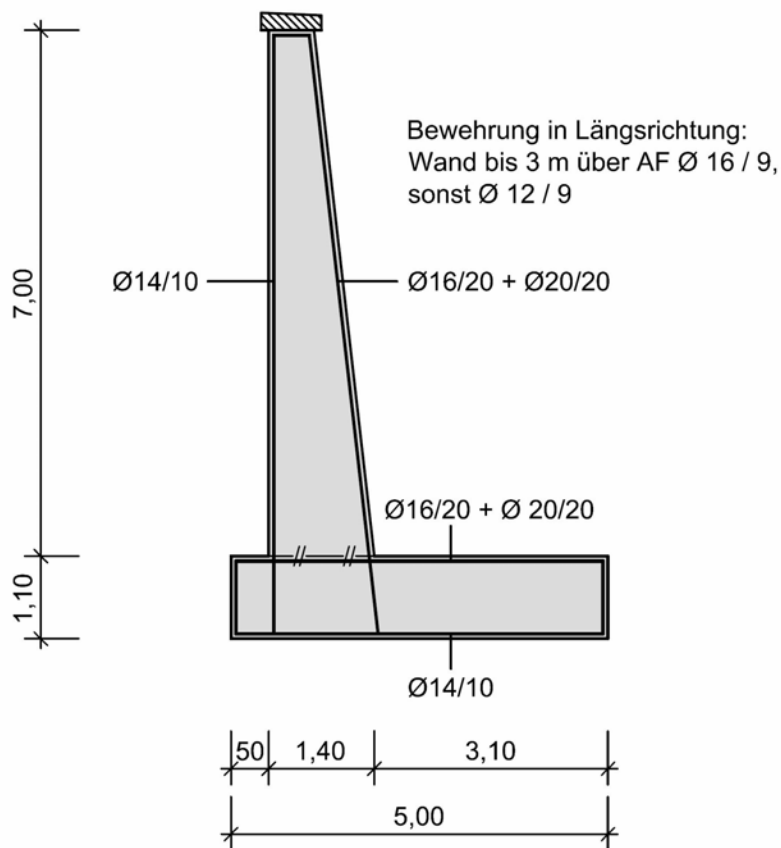


Bild 4.1: Bauteilabmessungen und erforderliche Bewehrungsquerschnitte

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Ergebnis der Nachweise und der Bemessung	Seite 61
Vorgang:		

## **Stand sicherheitsnachweis**

### **für eine Winkelstützwand**

#### **Musterbeispiel**

#### **für die nationale Umsetzung des EC 7**

#### **bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken**

#### **mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis**  
**für eine Winkelstützwand**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I.	INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I.	Inhaltsverzeichnis	2
II.	Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	4
III.	Technische Vorschriften, Unterlagen	8
IV.	Stand sicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	10
	1. Berechnungsgrundlagen	12
	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	12
	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	14
	1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	18
	2. Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	22
	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	22
	2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen	28
	2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	32
	2.4 Nachweis der Gesamtstand sicherheit	38
	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	42
	3. Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	52
	3.1 Geotechnische Nachweise	52
	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	56
	4. Ergebnis der Nachweise und der Bemessung	62

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis		Archiv-Nr.
Block:		Seite 2	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Das betrachtete Bauwerk ist eine Winkelstützwand, die den Geländesprung neben einer im Einschnitt liegenden Straße sichert. Die Winkelstützwand weist eine Höhe von 7,0 m auf und wird als monolithisches Stahlbetontragwerk ausgeführt. Die Blocklänge beträgt 10 Meter. Oberhalb der Winkelstützwand steigt das Gelände mit einer Neigung von 10° an. Hier sind keine Bebauungslasten oder Verkehrsflächen zu berücksichtigen.

### Baugrund und Grundwasser

Unterhalb der Gründungssohle der Winkelstützwand bis in größere Tiefe steht fester Mergel an. Der maximale Grundwasserstand kann an Oberkante des Mergels angenommen werden. Die Winkelstützwand wird mit einem nichtbindigen Füllboden hinterfüllt. Durch eine rückseitige Drainage wird sichergestellt, dass sich hinter der Winkelstützwand kein Sickerwasserdruck aufbauen kann.

### Herstellung und Tragsystem

Nach einem Voraushub in Form einer geböschten Baugrube wird die Winkelstützwand in zwei Betonierabschnitten (Fundamentplatte und Wand) hergestellt. Nach Erreichen der 28-Tage-Festigkeit wird die Wand lagenweise mit einem Hinterfüllboden gemäß ZTV E-StB hinterfüllt.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 4	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

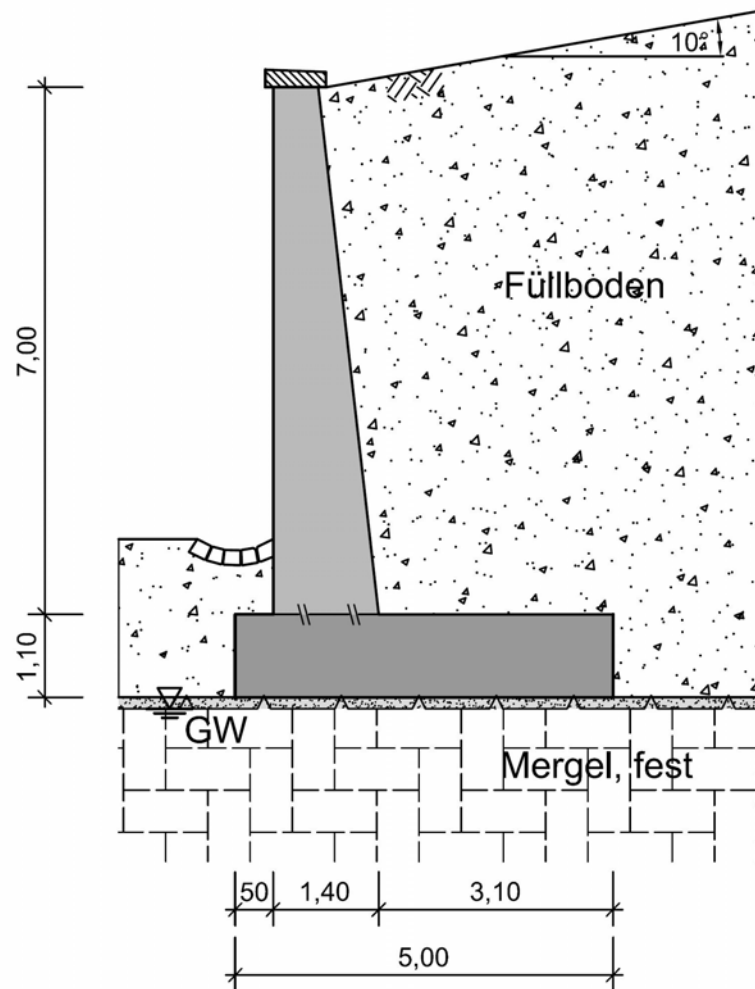


Bild II.1: Winkelstützwand, Querschnitt

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 6	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 2, Abschn. 4	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Grundbau, Stützkonstruktionen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwurf 2012-11
ZTV-ING, Teil 5, Abschn. 2	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Tunnelbau, Offene Bauweise. Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwurf 2012-08
DIN EN 1990	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1990/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1990, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-1-1, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1992-2	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1992-2/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-2, Entwurf 2012-04
DIN EN 1997-1	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Ausgabe 2009-09
DIN EN 1997-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 4017	Baugrund – Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flachgründungen, Ausgabe 2006-03
DIN 4084	Baugrund – Geländebruchberechnungen, Ausgabe 2009-01
DIN 4085	Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe 2011-05

EDV-Programme:

GGU-Stability                      Böschungsbruch nach DIN 4084(2009),  
Verfasser: GGU Braunschweig, 2012

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen		Archiv-Nr.
Block:		Seite 8	
Vorgang:			



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise der Winkelstützwand gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 4 (Grundbau, Stützkonstruktionen). Die Stahlbetonkonstruktion wird zudem in Anlehnung an ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 (Tunnel in offener Bauweise) ausgebildet.

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise des Stützbauwerkes
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser
- DIN 4017: für die Berechnung des Grundbruchwiderstandes
- DIN 4084: für die Geländebruchberechnung
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung
- DIN EN 1990: für die Einwirkungskombinationen
- DIN-EN 1992-2: für die Bemessung und die Material-Teilsicherheitsbeiwerte der Stahlbetonkonstruktion

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 10	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Wichte feucht	Wichte unter Auftrieb	Reibungs- winkel	Kohäsion	Steife- modul
	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Hinterfüllboden	19	11	30	0	50
Mergel	22	12	30	25	150

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Grundwasser steht erst unterhalb der Gründungssohle an. Als ungünstigster Zustand wird in den Berechnungen das Grundwasser an Unterkante der Fundamentplatte angesetzt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 12
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

<u>Betonstahl</u>		DIN-EN 1992-2, 3.2
Betonstahlsorte	BSt 500 S	
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 1992-2, NDP zu 3.2.7(2)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.2.7(4)

<u>Betondeckung</u>		
allgemein	$c_{min,dur} = 40 \text{ mm}$ $c_{nom} = 45 \text{ mm}$	DIN-EN 1992-2, Tab. 4.3.1DE
erdberührte Flächen	$c_{min,dur} = 50 \text{ mm}$ $c_{nom} = 55 \text{ mm}$	
gewählt	nom $c = 6,0 \text{ cm}$	in Anlehnung an ZTV-ING T5, Abschn. 2, 10.3.2

<u>Beton</u>		
Betonfestigkeitsklasse	C25/30 WUB-KO	Das Bauwerk liegt außerhalb des Sprühnebelbereiches der Straße. Ansonsten wäre eine Betonfestigkeitsklasse C30/37 erforderlich.
Expositionsklassen	XC4, XF1	DIN EN 1992-1-1 Bei Lage des Bauwerkes im Sprühnebelbereich der Straße wäre XD1, XF2 anzusetzen.
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 25 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,6 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 31500 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V): DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

$$\gamma_s = 1,15$$

im SLS  $\gamma_s = 1,0$

Beton:

S+V  $\gamma_c = 1,5$  DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

im SLS  $\gamma_c = 1,0$

Bauteil:	IV. A Baugrubenverbau		Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 14	
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Boden

Die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise erfolgen für die Bemessungssituation BS-P.

DIN EN 1997-1

#### Teilsicherheitsbeiwerte EQU

ungünstige ständige Einwirkungen  $\gamma_{G,dst} = 1,10$  (BS-P)

günstige ständige Einwirkungen  $\gamma_{G,stb} = 0,90$  (BS-P)

#### Teilsicherheitsbeiwerte STR / GEO-2

Einwirkungen:

DIN 1054, Tab. A 2.1

ständige Einwirkungen allgemein  $\gamma_G = 1,35$  (BS-P)

ständige Einwirkungen aus Erdruchdruck  $\gamma_{G,E0} = 1,20$  (BS-P)

Widerstände:

DIN 1054, Tab. A 2.3

Grundbruchwiderstand  $\gamma_{R,v} = 1,40$  (BS-P)

Gleitwiderstand  $\gamma_{R,h} = 1,10$  (BS-P)

#### Teilsicherheitsbeiwerte GEO-3

Einwirkungen:

DIN 1054, Tab. A 2.1

ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,00$  (BS-P)

Widerstände:

DIN 1054, Tab. A 2.2

Reibungsbeiwert  $\tan \varphi'$   $\gamma_{\varphi'} = 1,25$  (BS-P)

Kohäsion  $c'$   $\gamma_{c'} = 1,25$  (BS-P)

#### Teilsicherheitsbeiwerte SLS

Einwirkungen:

DIN 1054, Tab. A 2.1

ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,00$  (BS-P)

Bauteil:	IV. A Baugrubenverbau		Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 16	
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Die Winkelstützwand wird durch ihr Eigengewicht sowie durch Erddruck aus der Hinterfüllung und der großflächigen Verkehrslast beansprucht.

#### Eigengewicht Stützwand

$$\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^3$$

DIN EN 1991-1-1

#### Aktiver Erddruck

Für die Lagesicherheitsnachweise der Winkelstützwand wird der aktive Erddruck angesetzt. Bei Winkelstützwänden darf die Erddruckermittlung für die Nachweise der äußeren Standsicherheit vereinfacht an einem vertikalen Berechnungsschnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels erfolgen. Dabei ist ein Wandreibungswinkel  $\delta = \beta$  anzusetzen:

DIN 4085, 6.3.1.2

Wandreibungswinkel  $\delta = \beta = 10^\circ$

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh} = 0,344$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

Erddruck auf hinteren Sporn:

Wandreibungswinkel  $\delta = 2/3 \cdot \varphi'_k = 20^\circ$ ,  $\alpha = 0^\circ$

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh} = 0,320$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

#### Erhöhter aktiver Erddruck

Die Nachweise der inneren Tragfähigkeit der Winkelstützwand erfolgen mit dem erhöhten aktiven Erddruck. Dieser wird direkt auf das Bauwerk angesetzt.

DIN 4085, Tabelle A.2

Erddruck auf Wandrückseite:

Wandreibungswinkel  $\delta = 2/3 \cdot \varphi'_k = 20^\circ$ ,  $\alpha = 5,7^\circ$

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh} = 0,358$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$$K_0 = 0,453$$

DIN 4085, Abschn. 6.4.1

$$K'_{ah} = (0,358 + 0,453)/2 = 0,406$$

DIN 4085, Tabelle A.2

Erddruck auf hinteren Schenkel:

Wandreibungswinkel  $\delta = 2/3 \cdot \varphi'_k = 20^\circ$ ,  $\alpha = 0^\circ$

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh} = 0,320$

DIN 4085, Abschn. 6.3.1

$$K_0 = 0,461$$

DIN 4085, Abschn. 6.4.1

$$K'_{ah} = (0,320 + 0,461)/2 = 0,390$$

DIN 4085, Tabelle A.2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 18
Vorgang:	1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Verdichtungserddruck

$e_v = 25 \text{ kN/m}^2$

DIN 4085, 6.6.1, Tab. 3

Wasserdruck

Aufgrund der Drainage ist kein Wasserdruck anzusetzen.

Verkehrslast

Die großflächige Verkehrslast von  $p = 10 \text{ kN/m}^2$  oberhalb der Winkelstützwand ist als ständige Einwirkung zu behandeln und wird in ungünstiger Stellung in die Erddruckermittlung einbezogen.

DIN 1054, 9.5.1, A (10)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 20
Vorgang:	1.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER TRAGFÄHIGKEIT

### 2.1 Nachweis der Gleitsicherheit

Der Nachweis der Gleitsicherheit wird mit dem Nachweisverfahren STR / GEO-2 geführt. Hierfür ist nachzuweisen, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$H_d \leq R_d + R_{p,d}$$

DIN EN 1997-1, 6.5.3, Gl. (6.2)

Der Nachweis erfolgt gemäß DIN 4085 an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird. Die Eigenlast des Bodenkeils auf dem erdseitigen Wandschenkel wird berücksichtigt.

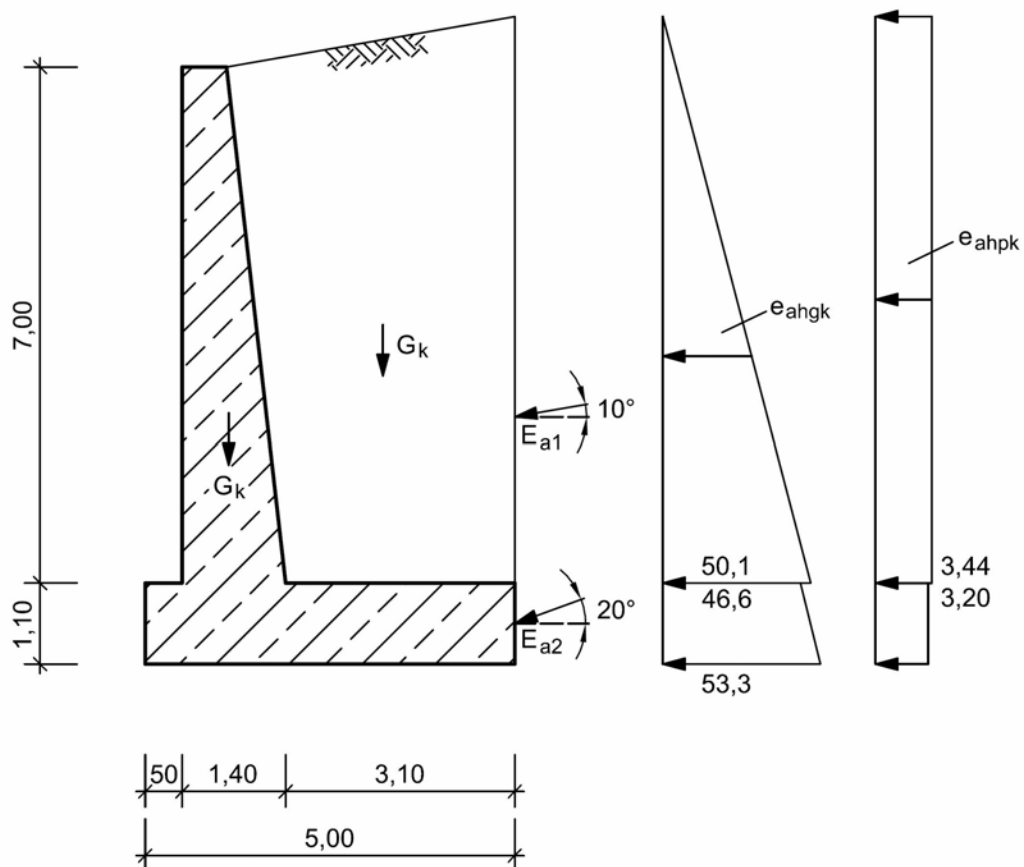


Bild 2.1: Ersatzkörper mit angreifenden Einwirkungen

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 22
Vorgang:	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen

#### - Eigengewicht der Stützwand:

Für den Gleitnachweis wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^3$  angesetzt.

$$G_{kW} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 24,0 + (0,7 + 1,4)/2 \cdot 7,0 \cdot 24 = 308,4 \text{ kN/m}$$

#### - Eigengewicht des Bodenkörpers:

$$G_{kB} = 7,0 \cdot 3,1 \cdot 19 + 7,0 \cdot 0,7/2 \cdot 19 + 3,8 \cdot 0,67/2 \cdot 19 = 483,1 \text{ kN/m}$$

#### - Erddruck aus Bodeneigengewicht:

Höhe der fiktiven Wand bis Oberkante Sporn:  $h = 7,0 + 3,8 \cdot \tan(10^\circ) = 7,67 \text{ m}$

$$e_{ahk,o} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ahk,u} = 7,67 \cdot 19,0 \cdot 0,344 = 50,1 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ahk,1} = 50,1 \cdot 7,67 / 2 = 192,3 \text{ kN/m}$$

$$E_{avk,1} = 192,3 \cdot \tan(10^\circ) = 33,9 \text{ kN/m}$$

Erddruck auf rückseitigen Sporn:

$$e_{ahk,o} = 7,67 \cdot 19,0 \cdot 0,320 = 46,6 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ahk,u} = 46,6 + 1,1 \cdot 19,0 \cdot 0,320 = 53,3 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ahk,2} = (46,6 + 53,3)/2 \cdot 1,10 = 54,9 \text{ kN/m}$$

$$E_{avk,2} = 54,9 \cdot \tan(20^\circ) = 20,0 \text{ kN/m}$$

#### - Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast:

$$e_{ahpk,o} = 10,0 \cdot 0,344 = 3,44 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ahpk,u} = 10,0 \cdot 0,320 = 3,20 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{ahpk,1} = 3,44 \cdot 7,67 = 26,4 \text{ kN/m}$$

$$E_{avpk,1} = 26,4 \cdot \tan(10^\circ) = 4,7 \text{ kN/m}$$

$$E_{ahpk,2} = 3,20 \cdot 1,10 = 3,5 \text{ kN/m}$$

$$E_{avpk,2} = 3,5 \cdot \tan(20^\circ) = 1,3 \text{ kN/m}$$

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt.

Eine vertikale Auflast auf den erdseitigen Sporn aus der Verkehrslast wird nicht berücksichtigt, da sie günstig wirkt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 24
Vorgang:	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Nachweis

$$H_d = \gamma_G \cdot \sum E_{ah,k} = 1,35 \cdot (192,3 + 54,9 + 26,4 + 3,5) = 1,35 \cdot 277,1 = 374,1 \text{ kN/m}$$

$$R_k = \sum V_k \cdot \tan \delta_d$$

Bei Ortbetonfundamenten darf  $\delta_d = \varphi'_k$  angesetzt werden.

DIN 1054, 6.5.3, A (10)

$$\begin{aligned} R_k &= (308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3) \cdot \tan(30^\circ) \\ &= 851,4 \cdot \tan(30^\circ) = 491,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$R_d = R_k / \gamma_{R,h} = 491,5 / 1,1 = 446,9 > 374,1 = H_d$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 26
Vorgang:	2.1 Nachweis der Gleitsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen

Der Kippnachweis wird gemäß DIN EN 1997-1, 6.5.4 im Grenzzustand EQU geführt. Es wird eine Vergleich der stabilisierenden und der destabilisierenden Einwirkungen (Momente) bezogen auf eine Kippkante des Fundamentes geführt (hier die Vorderkante des luftseitigen Spornes).

Der Nachweis erfolgt wiederum an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird. Die Eigenlast des Bodenkeils auf dem erdseitigen Wandschenkel wird berücksichtigt.

Es werden zunächst die charakteristischen Einwirkungen und deren Hebelarme bezogen auf die Vorderkante des luftseitigen Spornes ermittelt:

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Hebelarme

- Eigengewicht der Stützwand:

Für den Kippnachweis wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^3$  angesetzt.

Bodenplatte $G_{k1} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 24 = 132,0 \text{ kN/m}$	$e = 5,0 / 2 = 2,5 \text{ m}$
Vorderwand $G_{k2} = 0,7 \cdot 7,0 \cdot 24 = 117,6 \text{ kN/m}$	$e = 0,5 + 0,7 / 2 = 0,85 \text{ m}$
$G_{k3} = 0,7 \cdot 7,0 / 2 \cdot 24 = 58,8 \text{ kN/m}$	$0,5 + 0,7 + 0,7 / 3 = 1,43 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$	

- Eigengewicht des Bodenkörpers:

$G_{k4} = 7,0 \cdot 3,1 \cdot 19 = 412,3 \text{ kN/m}$	$e = 1,9 + 3,1 / 2 = 3,45 \text{ m}$
$G_{k5} = 7,0 \cdot 0,7 / 2 \cdot 19 = 46,6 \text{ kN/m}$	$e = 1,9 + 2 / 3 \cdot 0,7 = 2,37 \text{ m}$
$G_{k6} = 3,8 \cdot 0,67 / 2 \cdot 19 = 24,2 \text{ kN/m}$	$e = 1,2 + 2 / 3 \cdot 3,1 = 3,73 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 483,1 \text{ kN/m}$	

- Erddruck aus Bodeneigengewicht (vgl. 2.1):

$E_{ahk,1} = 192,3 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 + 7,0 / 3 = 3,43 \text{ m}$
$E_{avk,1} = 33,9 \text{ kN/m}$	$e = 5,0 \text{ m}$
$E_{ahk,2} = 54,9 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ m}$
$E_{avk,2} = 20,0 \text{ kN/m}$	$e = 5,0 \text{ m}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 28
Vorgang:	2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

- Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast (vgl. 2.1):

$$\begin{array}{ll}
 E_{ahpk,1} = 26,4 \text{ kN/m} & h = 1,1 + 7,0 / 2 = 4,6 \text{ m} \\
 E_{avpk,1} = 4,7 \text{ kN/m} & e = 5,0 \text{ m} \\
 E_{ahpk,2} = 3,5 \text{ kN/m} & h = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ m} \\
 E_{avpk,1} = 1,3 \text{ kN/m} & e = 5,0 \text{ m}
 \end{array}$$

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt.

Eine vertikale Auflast auf den erdseitigen Sporn aus der Verkehrslast wird nicht berücksichtigt, da sie günstig wirkt.

#### Nachweis:

Summe der destabilisierenden Momente um die Spornvorderkante:

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_{dst,k} &= \Sigma E_{ah,k} = 192,3 \cdot 3,43 + 54,9 \cdot 0,55 + 26,4 \cdot 4,6 + 3,5 \cdot 0,55 \\
 &= 813,1 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma M_{dst,d} = \Sigma M_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} = 813,1 \cdot 1,10 = 894,5 \text{ kNm/m}$$

Summe der stabilisierenden Momente um die Spornvorderkante:

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_{stb,k} &= \Sigma G_k + \Sigma E_{av,k} = 132,0 \cdot 2,5 + 117,6 \cdot 0,85 + 58,8 \cdot 1,43 + 412,3 \cdot 3,45 \\
 &\quad + 46,6 \cdot 2,37 + 24,2 \cdot 3,73 + 33,9 \cdot 5,0 + 20,0 \cdot 5,0 + 4,7 \cdot 5,0 + 1,3 \cdot 5,0 \\
 &= 2436,7 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma M_{stb,d} = \Sigma M_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb} = 2436,7 \cdot 0,90 = 2193,0 \text{ kNm/m}$$

$$\Sigma M_{dst,d} = 894,5 \text{ kNm/m} < \Sigma M_{stb,d} = 2193,0 \text{ kNm/m}$$

Der Kippnachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 30
Vorgang:	2.2 Nachweis der Sicherheit gegen Kippen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit

Der Grundbruchnachweis wird mit dem Nachweisverfahren GEO-2 geführt. Der Nachweis erfolgt wiederum an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird.

Es werden zunächst die charakteristischen Einwirkungen und deren Hebelarme bezogen auf den Sohlmittelpunkt ermittelt:

#### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Hebelarme

- Eigengewicht der Stützwand (vgl. 2.2):

Die geringste Grundbruchsicherheit ergibt sich bei der größten Lastausmitte. Daher wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^3$  angesetzt

Bodenplatte $G_{k1} = 132,0 \text{ kN/m}$	$e = 0 \text{ m}$
Vorderwand $G_{k2} = 117,6 \text{ kN/m}$	$e = 2,5 - 1,0 - 0,7 / 2 = 1,15 \text{ m}$
$G_{k3} = 58,8 \text{ kN/m}$	$e = 2,5 - 1,0 - 0,7 - 0,7 / 3 = 0,57 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$	

- Eigengewicht des Bodenkörpers (vgl. 2.2):

$G_{k4} = 412,3 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 + 3,1 / 2 = -0,95 \text{ m}$
$G_{k5} = 46,6 \text{ kN/m}$	$e = 2,5 - 1,7 - 2/3 \cdot 0,7 = 0,33 \text{ m}$
$G_{k6} = 24,2 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 + 3,8 / 3 = -1,23 \text{ m}$
$\Sigma G_k = 483,1 \text{ kN/m}$	

- Erddruck aus Bodeneigengewicht (vgl. 2.2):

$E_{ahk,1} = 192,3 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 + 7,0 / 3 = 3,43 \text{ m}$
$E_{avk,1} = 33,9 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$
$E_{ahk,2} = 54,9 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ m}$
$E_{avk,2} = 20,0 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$

- Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast (vgl. 2.2):

$E_{ahpk,1} = 26,4 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 + 7,0 / 2 = 4,6 \text{ m}$
$E_{avpk,1} = 4,7 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$
$E_{ahpk,2} = 3,5 \text{ kN/m}$	$h = 1,1 / 2 = 0,55 \text{ m}$
$E_{avpk,2} = 1,3 \text{ kN/m}$	$e = -2,5 \text{ m}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 32
Vorgang:	2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie der Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt. Eine vertikale Auflast auf den erdseitigen Sporn aus der Verkehrslast wird nicht berücksichtigt, da sie günstig wirkt.

#### Ermittlung des Grundbruchwiderstandes:

Der Grundbruchwiderstand ist nach DIN 4017 zu ermitteln. Dabei werden Neigung und Ausmitte der Last unter Ansatz der charakteristischen Beanspruchungen in der Sohlfläche ermittelt.

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Horizontalkräfte:

$$H_k = 192,3 + 54,9 + 26,4 + 3,5 = 277,1 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\begin{aligned} \Sigma M_k &= 117,6 \cdot 1,15 + 58,8 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 + 192,3 \cdot 3,43 \\ &\quad + 54,9 \cdot 0,55 - 33,9 \cdot 2,5 - 20,0 \cdot 2,5 + 26,4 \cdot 4,6 + 3,5 \cdot 0,55 - 4,7 \cdot 2,5 - 1,3 \cdot 2,5 \\ &= 426,1 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Ausmitte:

$$e = \Sigma M_k / V_k = 426,1 / 851,4 = 0,73 \text{ m}$$

Beiwerte:

wegen Streifenfundament gilt:  $v_b = v_d = v_c = 1,0$

wegen Geländeneigung = 0 gilt:  $\lambda_b = \lambda_d = \lambda_c = 1,0$

wegen Sohlneigung = 0 gilt:  $\xi_b = \xi_d = \xi_c = 1,0$

Lastneigungswinkel  $\tan \delta = H_k / N_k = 277,1 / 851,4 = 0,32 > 0$

$$\omega = 0$$

$$m = 2,0 \quad \text{mit } m_a = 1,0, m_b = 2,0$$

Lastneigungsbeiwerte  $i_b = (1 - \tan \delta)^{m+1} = (1 - 0,32)^3 = 0,308$

$$i_d = (1 - \tan \delta)^m = (1 - 0,32)^2 = 0,456$$

$$i_c = (i_d \cdot N_{d0} - 1) / (N_{d0} - 1) = 0,425$$

$$N_{d0} = \tan^2 (45 + \varphi/2) e^{\pi \cdot \tan \varphi} = 18,4 \quad \text{mit } \varphi = 30^\circ$$

$$N_{b0} = (N_{d0} - 1) \cdot \tan \varphi = 10,0$$

$$N_{c0} = (N_{d0} - 1) / \tan \varphi = 30,1$$

$$b' = b - 2 \cdot e = 5,0 - 2 \cdot 0,73 = 3,54 \text{ m}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 34
Vorgang:	2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Für das Tiefenglied in der Grundbruchgleichung wird – zur Berücksichtigung möglicher Abgrabungen – nur die Tiefe 1,10 m bis zur Oberkante der Sohlplatte angesetzt.

Der Grundwasserstand wird in Höhe der Gründungssohle angesetzt. Daher wird im Breitenglied der Grundbruchgleichung nur die Wichte unter Auftrieb ( $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$ ) berücksichtigt.

$$\begin{aligned}
 R_{n,k} &= b' \cdot (\gamma_2 \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot i_b + \gamma_1 \cdot d \cdot N_{d0} \cdot i_d + c \cdot N_{c0} \cdot i_c) \\
 &= 3,54 \cdot (12 \cdot 3,54 \cdot 10,0 \cdot 0,308 + 19 \cdot 1,10 \cdot 18,4 \cdot 0,456 + 25 \cdot 30,1 \cdot 0,425) \\
 &= 2216,0 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Nachweis:

Bemessungswert der Beanspruchungen senkrecht zur Fundamentsohlfläche:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

$$V_d = V_k \cdot \gamma_G = 851,4 \cdot 1,35 = 1149,4 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes:

$$R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{R,v} = 2216,0 / 1,40 = 1582,9 \text{ kN/m} > 1149,4 \text{ kN/m}$$

Der Grundbruchnachweis ist erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 36
Vorgang:	2.3 Nachweis der Grundbruchsicherheit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit

Der Nachweis der Gesamtstandsicherheit (Geländebruch) erfolgt mit dem Nachweisverfahren GEO-3 gemäß DIN EN 1997-1, 9.7.2 bzw. 11 auf der Grundlage der DIN 4084.

Für diesen Nachweis gehen die ständigen Einwirkungen und die großflächige Verkehrslast von  $p = 10 \text{ kN/m}^2$  mit einer Teilsicherheit  $\gamma_G = 1,00$  in die Berechnung ein.

DIN 1054, Tab. A 2.1

Die Scherparameter (Widerstände) gehen mit abgeminderten Kennwerten in die Gleitkreisberechnung ein:

DIN 1054, Tab. A 2.2

$$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_{\varphi'} = \tan \varphi'_k / 1,25$$

$$c'_d = c'_k / \gamma_{c'} = c'_k / 1,25$$

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt mit dem Programm GGU-Stability mit dem Lamellenverfahren von Bishop.

Es ergibt sich ein Ausnutzungsgrad von  $1/f = 0,47 < 1,0$ .

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 38	
Vorgang:	2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

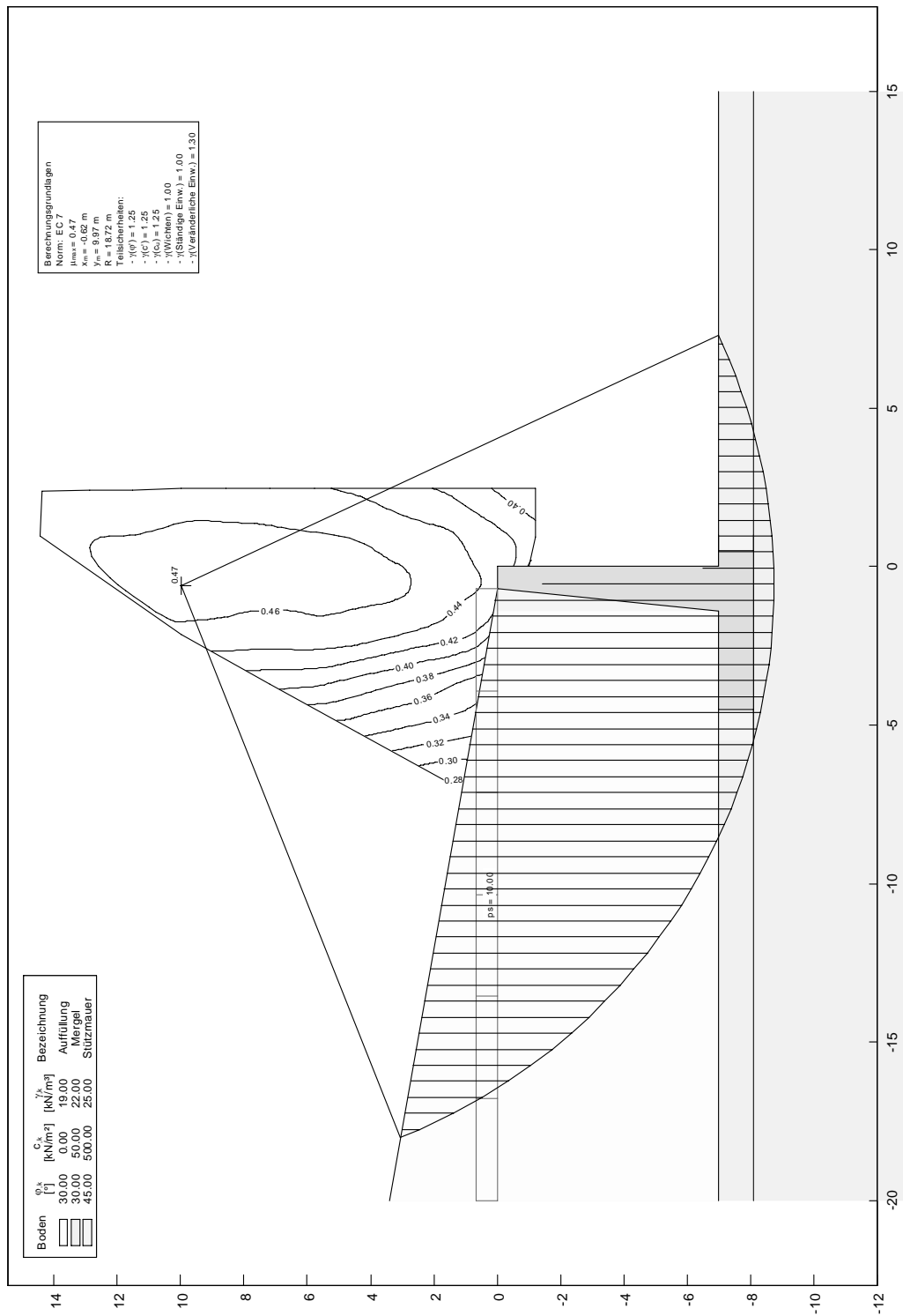


Bild 2.2: Ergebnis der Geländebruchberechnung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 40
Vorgang:	2.4 Nachweis der Gesamtstandsicherheit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen

Die Bemessung der Stahlbetonkonstruktion erfolgt mit dem Nachweisverfahren GEO-2 auf der Grundlage der DIN-EN 1992-2.

Die Einwirkungen aus Erddruck und Verkehrslasten werden direkt auf die Rückseite der Winkelstützwand angesetzt. Aufgrund der geringen Verformbarkeit wird gemäß DIN 4085, Tabelle A.2 mit dem erhöhten aktiven Erddruck  $e'_{ah} = 0,5 \cdot e_{ah} + 0,5 \cdot e_0$  gerechnet. Darüber hinaus wird ein Verdichtungserddruck von 25 kN/m<sup>2</sup> gemäß DIN 4085 berücksichtigt.

### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen

- Erddruck auf aufgehende Wand:

- aus Bodeneigengewicht:

$$e'_{ahk,o} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$e'_{ahk,u} = 7,0 \cdot 19,0 \cdot 0,406 = 54,0 \text{ kN/m}^2$$

- aus großflächiger Verkehrslast:

$$e'_{ahp} = 10,0 \cdot 0,406 = 4,06 \text{ kN/m}^2$$

Der Erddruck aus Verkehr wird nur angesetzt, wenn er den Anteil aus Verdichtungserddruck übersteigt

- aus Verdichtungserddruck:

$$e_v = 25 \text{ kN/m}^2$$

- Ermittlung der Tiefe, bis zu der  $e_v$  maßgebend ist:

$$t = (25,0 - 4,06) / (19 \cdot 0,406) = 2,71 \text{ m}$$

- Erddruck auf rückseitigen Sporn:

- aus Bodeneigengewicht:

$$e'_{ahk,o} = 7,67 \cdot 19,0 \cdot 0,390 = 56,8 \text{ kN/m}^2$$

$$e'_{ahk,u} = 56,8 + 1,1 \cdot 19,0 \cdot 0,390 = 65,0 \text{ kN/m}^2$$

$$E'_{ahk} = (56,8 + 65,0) / 2 \cdot 1,1 = 67,0 \text{ kN/m}$$

$$E_{avk} = 67,0 \cdot \tan(20^\circ) = 24,4 \text{ kN/m}$$

- aus großflächiger Verkehrslast:

$$e'_{ahp} = 10,0 \cdot 0,390 = 3,90 \text{ kN/m}^2$$

$$E'_{ahpk} = 3,90 \cdot 1,10 = 4,3 \text{ kN/m}$$

$$E'_{avpk} = 4,3 \cdot \tan(20^\circ) = 1,56 \text{ kN/m}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 42
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

- Auflast auf den Sporn:

- aus Bodeneigengewicht:

$$g_{k1} = 19,0 \cdot (7,0 + 0,7 \cdot \tan(10^\circ)) = 135,3 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k2} = 19,0 \cdot 7,67 = 145,7 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{k4} = 412,3 \text{ kN/m (siehe 2.2)} \quad e = -0,95 \text{ m}$$

$$G_{k5} = 46,6 \text{ kN/m} \quad e = 0,33 \text{ m}$$

$$G_{k6} = 24,2 \text{ kN/m} \quad e = -1,23 \text{ m}$$

- aus Verkehrslast:

$p = 10 \text{ kN/m}^2$  (wird angesetzt, da auch der zugehörige Erddruck angesetzt wird)

- Eigengewicht der Winkelstützwand

$$\text{Bodenplatte } G_{k1} = 5,0 \cdot 1,1 \cdot 25 = 137,5 \text{ kN/m} \quad e = 0 \text{ m}$$

$$\text{Vorderwand } G_{k2} = 0,7 \cdot 7,0 \cdot 25 = 122,5 \text{ kN/m} \quad e = 1,15 \text{ m}$$

$$G_{k3} = 0,7 \cdot 7,0 / 2 \cdot 25 = 61,3 \text{ kN/m} \quad e = 0,57 \text{ m}$$

$$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$$

#### Ermittlung der charakteristischen Sohlpressung

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_{k} = 137,5 + 122,5 + 61,3 + 412,3 + 46,6 + 24,2 + 10,0 \cdot 3,8 + 1,56 + 24,4 \\ = 868,3 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\Sigma M_k = 25,0 \cdot 7,0 \cdot (1,1+7,0/2) + (58,1 - 25,0) \cdot 4,29/2 \cdot (1,1+4,29/3) + 122,5 \cdot 1,15 + \\ 61,25 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 - 10,0 \cdot 3,8 \cdot (2,5 - 3,8/2) - \\ (24,4 + 1,56) \cdot 2,5 + (67,0 + 4,3) \cdot 1,1/2 \\ = 705,9 \text{ kNm/m}$$

Ausmitte:

$$e = \Sigma M_k / V_k = 705,9 / 868,3 = 0,81 \text{ m}$$

Sohlpressung:

$$p_{1,k} = V_k / b \cdot (1 + 6 \cdot e / b) = 868,3 / 5,0 \cdot (1 + 6 \cdot 0,81 / 5,0) = 342,4 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{2,k} = V_k / b \cdot (1 - 6 \cdot e / b) = 868,3 / 5,0 \cdot (1 - 6 \cdot 0,81 / 5,0) = 4,9 \text{ kN/m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 44
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

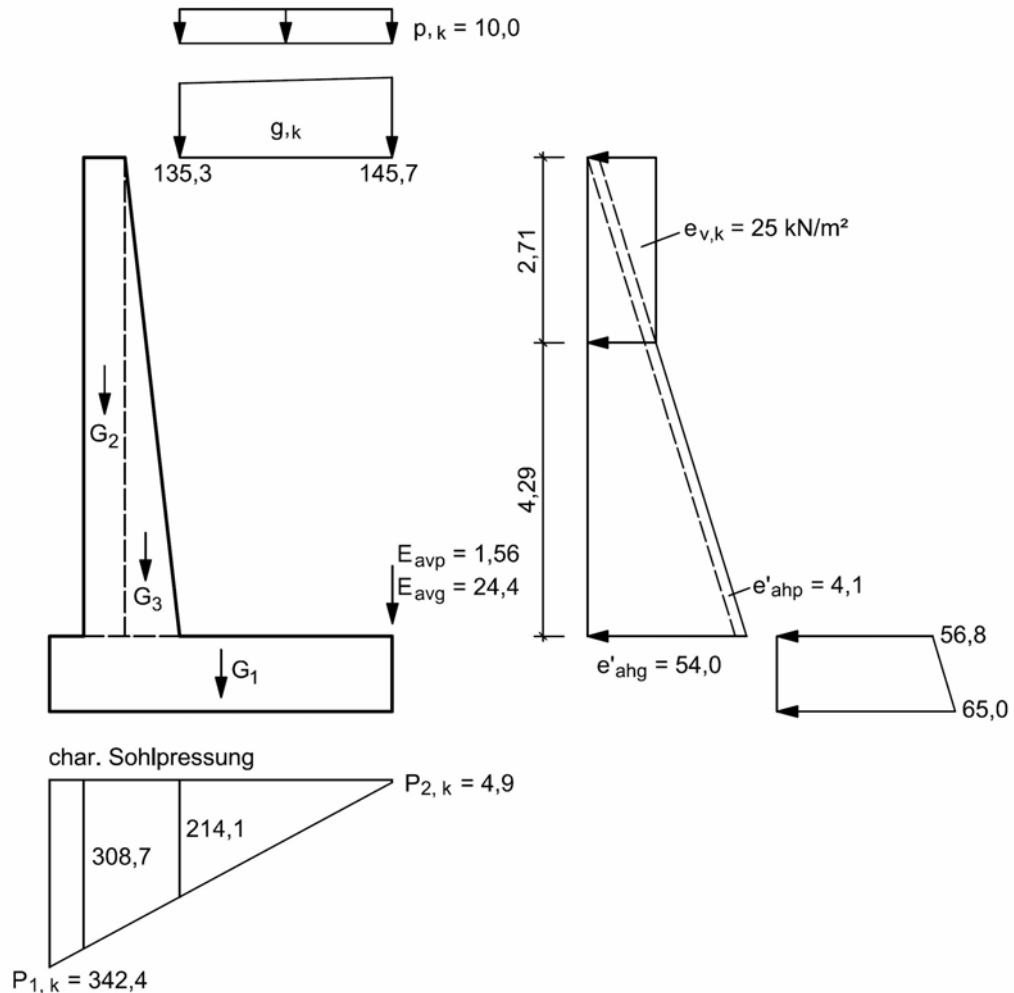


Bild 2.3: charakteristische Einwirkungen und Sohlpressung

### Schnittgrößenermittlung und Bemessung

Bei der Schnittgrößenermittlung dürften für den Einwirkungsanteil aus dem erhöhten aktiven Erddruck abgeminderte Teilsicherheiten von  $\gamma_G = (1,20 + 1,35) / 2 = 1,275$  angesetzt werden. Aufgrund des geringen Einflusses auf das Bemessungsergebnis wird dies nur für die aufgehende Wand, aber nicht für die Fundamentplatte berücksichtigt.

Die Bemessung erfolgt gemäß DIN EN 1992-2 und unter Beachtung der ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 46
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

1) Wandanschnitt

$$M_{g,k} = 25 \cdot 7,0^2/2 + (58,1 - 25,0) \cdot 4,29^2/6 = 714,0 \text{ kNm/m}$$

Bei der Bemessung wird für die Normalkraft nur der Anteil aus dem Eigengewicht der Wand angesetzt. Der Vertikalkraftanteil aus dem Erddruck wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Da die Normalkraft hier günstig wirkt, wird sie mit  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  angesetzt.

$$N_{g,k} = (0,7 + 1,4)/2 \cdot 7,0 \cdot 25 = 183,8 \text{ kN/m (Druck mit positivem Vorzeichen)}$$

$$V_{g,k} = 25 \cdot 7,0 + (58,1 - 25,0) \cdot 4,29 / 2 = 246,0 \text{ kN/m (am Anschnitt)}$$

Maßgebend: Schubkraft im Abstand d vom Auflagerrand:

$$d \approx 120 \text{ cm}$$

$$V_{g,k} = 25 \cdot (7,0 - 1,20) + (48,8 - 25,0) \cdot 3,09 / 2 = 181,8 \text{ kN/m}$$

$$M_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot M_{g,k} = 1,275 \cdot 714,0 = 910,4 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,d} = \gamma_{G,inf} \cdot N_{g,k} = 1,0 \cdot 183,8 = 183,8 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{g,k} = 1,275 \cdot 181,8 = 231,8 \text{ kN/m}$$

C25/30

$$h = 140 \text{ cm}$$

$$d = 140 - 6 - 1,2 - 1,6/2 = 132 \text{ cm}$$

$$\text{Biegebewehrung: erf } a_s = 13,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$h = 128 \text{ cm}$$

$$d = 128 - 6 - 1,2 - 1,6/2 = 120 \text{ cm}$$

$$\text{Schubbewehrung: erf } a_{sw} = 0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

2) vorderer Sporn

Die Bodenauflast auf den vorderen Sporn wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Die Bemessung erfolgt am Anschnitt.

$$M_{g,k} = (342,4 + 308,7) / 2 \cdot 0,5^2 / 2 = 40,7 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,k} = (342,4 + 308,7) / 2 \cdot 0,5 = 162,8 \text{ kN/m}$$

$$M_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot M_{g,k} = 1,35 \cdot 40,7 = 54,9 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,d} = 0 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{g,k} = 1,35 \cdot 162,8 = 219,7 \text{ kN/m}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 48
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

C25/30

$h = 110 \text{ cm}$

$d = 110 - 6 - 1,4/2 = 103 \text{ cm}$

Biegebewehrung: erf  $a_s = 1,2 \text{ cm}^2/\text{m}$

Aus geometrischen Gründen ist keine Schubbewehrung erforderlich.

### 3) hinterer Sporn

Die Bemessung erfolgt am Anschnitt.

$$\begin{aligned}
 M_{g,k} &= 4,9 \cdot 3,1^2/2 + (214,1 - 4,9) \cdot 3,1^2/6 - (24,4 + 1,56) \cdot 3,1 - 135,3 \cdot 3,1^2/2 \\
 &\quad - (145,7 - 135,3) \cdot 3,1^2/3 - 10,0 \cdot 3,1^2/2 \\
 &= -453,3 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m (sichere Seite)}$$

$$\begin{aligned}
 V_{g,k} &= (4,9 + 214,1) \cdot 3,1 / 2 - 24,4 - 1,56 - (135,3 + 145,7) \cdot 3,1 / 2 - 3,1 \cdot 10,0 \\
 &= -153,1 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$M_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot M_{g,k} = -1,35 \cdot 453,3 = -612,0 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,d} = 0 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,d} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{g,k} = -1,35 \cdot 153,1 = -206,6 \text{ kN/m}$$

C25/30

$h = 110 \text{ cm}$

$d = 110 - 6 - 1,4/2 = 103 \text{ cm}$

Biegebewehrung: erf  $a_s = 13,3 \text{ cm}^2/\text{m}$

Schubbewehrung: erf  $a_w = 0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 50
Vorgang:	2.5 Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

#### 3.1 Geotechnische Nachweise

Zu diesen Nachweisen gehören Setzungsberechnungen, Verschiebungsnachweise und der Nachweis zur Begrenzung einer klaffenden Fuge unter der Sohlplatte. Die ersten beiden Nachweise können bei der vorliegenden Winkelstützwand aufgrund des steifen Baugrundes entfallen, da keine Anforderungen an eine erhöhte Verformungsbeschränkung vorliegen und in den geführten Gleit- und Grundbruchnachweisen keine Bodenreaktionen an der Stirnseite des luftseitigen Spornes angesetzt wurden.

Zu führen ist in jedem Fall der Nachweis zur Begrenzung einer klaffenden Fuge. Es ist gemäß DIN 1054, A 6.6.5 im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen, dass die Resultierende des Sohldrucks unter ständigen Einwirkungen innerhalb der 1. Kernweite bleibt, d.h. dass die Ausmitte  $e \leq b/6$  ist.

Darüber hinaus ist nachzuweisen, dass die Resultierende des Sohldrucks unter ständigen und veränderlichen Einwirkungen innerhalb der 2. Kernweite bleibt, d.h. dass diese Ausmitte  $e \leq b/3$  ist. Der Nachweis erfolgt für die ungünstigste Kombination der charakteristischen Werte ständiger und veränderlicher Einwirkungen.

Es werden zunächst die charakteristischen Einwirkungen und deren Hebelarme bezogen auf den Sohlmittelpunkt ermittelt:

#### Ermittlung der charakteristischen Einwirkungen und Hebelarme

- Eigengewicht der Stützwand (vgl. 2.3):

Für den Kippnachweis wird der untere Wert der Wichte mit  $\gamma_{ck} = 24 \text{ kN/m}^2$  angesetzt.

Bodenplatte $G_{k1}$	= 132,0 kN/m	$e = 0 \text{ m}$
Vorderwand $G_{k2}$	= 117,6 kN/m	$e = 1,15 \text{ m}$
	$G_{k3} = 58,8 \text{ kN/m}$	$e = 0,57 \text{ m}$
	$\Sigma G_k = 308,4 \text{ kN/m}$	

- Eigengewicht des Bodenkörpers (vgl. 2.3):

	$G_{k4} = 412,3 \text{ kN/m}$	$e = -0,95 \text{ m}$
	$G_{k5} = 46,6 \text{ kN/m}$	$e = 0,33 \text{ m}$
	$G_{k6} = 24,2 \text{ kN/m}$	$e = 1,23 \text{ m}$
	$\Sigma G_k = 483,1 \text{ kN/m}$	

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 52
Vorgang:	3.1 Geotechnische Nachweise	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

- Erddruck aus Bodeneigengewicht (vgl. 2.3):

$$\begin{array}{ll}
 E_{ahk,1} = 192,3 \text{ kN/m} & h = 3,43 \text{ m} \\
 E_{avk,1} = 33,9 \text{ kN/m} & e = -2,5 \text{ m} \\
 E_{ahk,2} = 54,9 \text{ kN/m} & h = 0,55 \text{ m} \\
 E_{avk,2} = 20,0 \text{ kN/m} & e = -2,5 \text{ m}
 \end{array}$$

- Erddruck infolge großflächiger Verkehrslast (vgl. 2.3):

$$\begin{array}{ll}
 E_{ahpk,1} = 26,4 \text{ kN/m} & h = 4,6 \text{ m} \\
 E_{avpk,1} = 4,7 \text{ kN/m} & e = -2,5 \text{ m} \\
 E_{ahpk,2} = 3,5 \text{ kN/m} & h = 0,55 \text{ m} \\
 E_{avpk,2} = 1,3 \text{ kN/m} & e = -2,5 \text{ m}
 \end{array}$$

Die Auflast auf den luftseitigen Sporn sowie Erdwiderstand vor dem Sporn werden wegen möglicher Abgrabungen nicht angesetzt.

#### Nachweis:

Der Nachweis wird zunächst für ständige und veränderliche Lasten geführt:

Summe der charakteristischen Vertikalkräfte:

$$V_k = 308,4 + 483,1 + 33,9 + 20,0 + 4,7 + 1,3 = 851,4 \text{ kN/m}$$

Summe der charakteristischen Momente um die Sohlmitte:

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_k &= 117,6 \cdot 1,15 + 58,8 \cdot 0,57 - 412,3 \cdot 0,95 + 46,6 \cdot 0,33 - 24,2 \cdot 1,23 + 192,3 \cdot 3,43 \\
 &\quad + 54,9 \cdot 0,55 - 33,9 \cdot 2,5 - 20,0 \cdot 2,5 + 26,4 \cdot 4,6 + 3,5 \cdot 0,55 - 4,7 \cdot 2,5 - 1,3 \cdot 2,5 \\
 &= 426,1 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}$$

Ausmitte:

$$\begin{aligned}
 e = \Sigma M_k / V_k &= 426,1 / 851,4 = 0,73 \text{ m} < b / 3 = 5,0 / 3 = 1,67 \text{ m} \\
 &< b / 6 = 5,0 / 6 = 0,83 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Die zulässige Lastausmitte  $e < b / 6$  für ständige Lasten wird hier auch für die Summe aus ständigen und veränderlichen Lasten eingehalten. Ein Nachweis nur unter ständigen Lasten erübrigt sich daher.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 54
Vorgang:	3.1 Geotechnische Nachweise	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion

#### Rissbreitenbeschränkung

Da kein drückendes Grundwasser ansteht, beträgt die zulässige rechnerische Rissbreite der wu-Betonkonstruktion für die Erd- und für die Luftseite:

$$w_{k,cal} = 0,20 \text{ mm}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.4.5

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erfolgt unter Berücksichtigung der gewählten Stabdurchmesser.

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung erfolgen durch direkte Berechnung gemäß DIN EN 1992-2.

Der Rechenwert der Rissbreite ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\sigma_s = \frac{3,6 \cdot w_k \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}$$

DIN EN 1992-2, 7.3.4, Gl. (7.8), (7.9) und NDP zu 7.3.4(3)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \left( \sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right)}{3,6 \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}$$

mit  $\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$

DIN EN 1992-1-1, Gl. (7.10)

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot b \cdot (h - d)$$

DIN EN 1992-2, NCI zu 7.3.3 (2)

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung sind gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 für die häufige Kombination zu führen. Da hier keine über die großflächige Verkehrslast hinausgehenden veränderlichen Einwirkungen vorhanden sind, reduziert sich der Nachweis auf den Ansatz der charakteristischen ständigen Einwirkungen inklusive der großflächigen Verkehrslast ( $\gamma_G = 1,0$ ).

Die charakteristischen Schnittgrößen können aus Abschnitt 2.5 übernommen werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 56	
Vorgang:	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

1) Wandanschnitt

$$M_{g,k} = 714,0 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = (0,7 + 1,4)/2 \cdot 7,0 \cdot 25 = 183,8 \text{ kN/m (Druck mit positivem Vorzeichen)}$$

C25/30

$$h = 140 \text{ cm}$$

$$d = 132 \text{ cm}$$

$$\text{Stabdurchmesser: } 20 \text{ mm}$$

$$\text{Biegebewehrung: } \text{erf } a_{s,riss} = 24,2 \text{ cm}^2/\text{m}$$

2) vorderer Sporn

$$M_{g,k} = 40,7 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m}$$

C25/30

$$h = 110 \text{ cm}$$

$$d = 103 \text{ cm}$$

$$\text{Stabdurchmesser: } 12 \text{ mm}$$

$$\text{Biegebewehrung: } \text{erf } a_{s,riss} = 1,6 \text{ cm}^2/\text{m (Mindestbewehrung maßgebend)}$$

3) hinterer Sporn

$$M_{g,k} = -453,3 \text{ kNm/m}$$

$$N_{g,k} = 0 \text{ kN/m}$$

C25/30

$$h = 110 \text{ cm}$$

$$d = 103 \text{ cm}$$

$$\text{Stabdurchmesser: } 20 \text{ mm}$$

$$\text{Biegebewehrung: } \text{erf } a_{s,riss} = 24,5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Mindestbewehrung

Als Mindestbewehrung für wu-Beton-Konstruktionen sind gemäß ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.2, 0,20 % des Betonquerschnittes, aber nicht mehr als 12 cm<sup>2</sup>/m einzulegen.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 58
Vorgang:	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Mindestbewehrung aus Zwang

Die aufgehende Wand wird für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme bemessen.

Die Bemessung ist gegenüber der in DIN EN 1992-2, 9.6.3 (NA.103) angegebenen konstruktiven Längsbewehrung maßgebend.

Es gilt:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

DIN-EN 1992-2, 7.3.4, Gl. (7.8)

mit  $s_{r,max} = d_s / (3,6 \rho_{p,eff})$

DIN-EN 1992-2, 7.3.4, NDP zu 7.3.4 (3)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \sigma_{sr} - 0,4 f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) / E_s$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.4, Gl. (7.9)

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.4, Gl. (7.10)

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot (h - d) \leq (h - x) / 3 \leq h / 2$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.2 (3)

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Die Anrissspannung  $\sigma_{sr}$  wird aus der Mindestbewehrung bestimmt unter Ansatz von  $\sigma_s = \sigma_{sr}$

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_{sr}$$

DIN-EN 1992-2, 7.3.2, Gl. (7.1)

mit  $k_c = 1,0$  für Zug

DIN-EN 1992-2, 7.3.2

$$k = 0,8 \text{ für } h \leq 300 \text{ mm}$$

$$\text{bzw. } k = 0,5 \text{ für } h \geq 800 \text{ mm}$$

$$f_{ct,eff} = 0,50 \cdot f_{ctm}$$

$f_{ctm} = 2,6 \text{ MN/m}^2$

Aufgrund der veränderlichen Bauteildicke der Wand wird eine gemittelte Dicke entsprechend der Dicke in der Höhe 1,5 m über der Arbeitsfuge angesetzt.

Für  $d = 1,25 \text{ m}$  ergibt sich eine erforderliche Mindestbewehrung in Längsrichtung aus Zwang von  $22,3 \text{ cm}^2/\text{m}$ . Diese wird konstruktiv über eine Höhe von 3 m eingelegt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 60
Vorgang:	3.2 Nachweise der Stahlbetonkonstruktion	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Winkelstützwand DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. ERGEBNIS DER NACHWEISE UND DER BEMESSUNG

Als Ergebnis der geführten Berechnungen und Nachweise ergeben sich die folgenden Bauteilabmessungen und erforderlichen Bewehrungsquerschnitte:

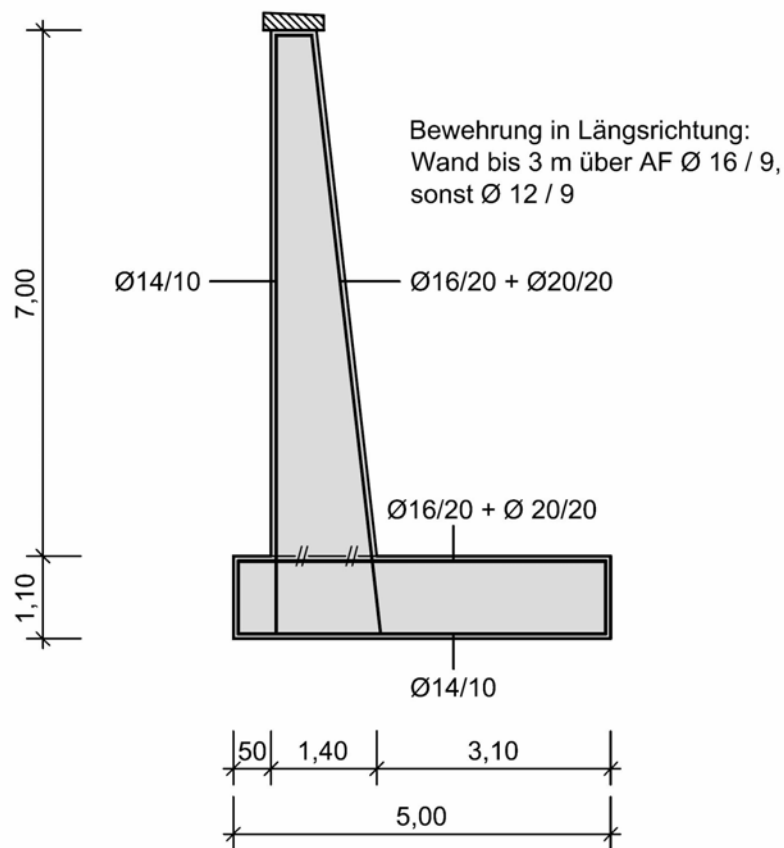


Bild 4.1: Bauteilabmessungen und erforderliche Bewehrungsquerschnitte

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Ergebnis der Nachweise und der Bemessung	Seite 62
Vorgang:		

## **Stand sicherheitsnachweis**

### **für ein Tunnelbauwerk**

### **in offener Bauweise**

#### **Musterbeispiel**

#### **für die nationale Umsetzung des EC 7**

#### **bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken**

#### **mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis für ein Tunnelbauwerk  
in offener Bauweise**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	1
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	3
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	7
IV. Stand sicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	9
1. Berechnungsgrundlagen	11
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserstände	11
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	13
1.3 Statisches System	15
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	17
2. Nachweis der Auftriebssicherheit	59
3. Schnittgrößenermittlung	63
4. Bemessung	99
4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	99
4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	113
4.3 Mindestbewehrung	119
5. Ergebnis der Bemessung	125
5.1 Bewehrung in Längsrichtung	125
5.2 Biegebewehrung in Querrichtung	125
5.3 Schubbewehrung	127
5.4 Darstellung der Biege- und Schubbewehrung	129

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis	Seite 1	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## Stand sicherheitsnachweis für ein Tunnelbauwerk

### In offener Bauweise

#### Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	2
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	4
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	8
IV. Stand sicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	10
1. Berechnungsgrundlagen	12
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserstände	12
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	14
1.3 Statisches System	16
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	18
2. Nachweis der Auftriebssicherheit	60
3. Schnittgrößenermittlung	64
4. Bemessung	100
4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	100
4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	114
4.3 Mindestbewehrung	120
5. Ergebnis der Bemessung	126
5.1 Bewehrung in Längsrichtung	126
5.2 Biegebewehrung in Querrichtung	126
5.3 Schubbewehrung	128
5.4 Darstellung der Biege- und Schubbewehrung	130

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis		Archiv-Nr.
Block:		Seite 2	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Das betrachtete Tunnelbauwerk dient zur Unterführung einer vierspurigen Straße mit einem Regelquerschnitt RQ 31T. Es wird in offener Bauweise als Stahlbetonrahmen hergestellt. Aus dem Lichtraumprofil RQ 31T ergeben sich die lichten Innenmaße des 2-zelligen Rahmens von jeweils 12,0 m Breite und 6,0 m Höhe. Die Sohloberkante des Rahmens liegt 11,1 m unter OK Gelände. Die Konstruktionsdicken werden auf der Grundlage einer Vorbemessung zu 1,2 m für die Sohle, 1,1 m für die Tunneldecke, 1,0 m für die Außenwände und 0,80 m für die Innenwand gewählt. Die Blocklänge beträgt 10,0 m. Das Bauwerk wird als wasserundurchlässige Betonkonstruktion geplant.

### Baugrund und Grundwasser

Im Bereich des betrachteten Tunnelblocks steht ab ca. 14,3 m unter OK Gelände bis in größere Tiefen steifer bis halbfester Ton mit sehr geringer Wasserdurchlässigkeit an. Er wird überlagert von einem mitteldichten Sand (Sand 2) mit ca. 8,3 m Mächtigkeit. Ab 6,0 m unter OK Gelände bis zur Geländeoberfläche steht locker bis mitteldicht gelagerter Sand (Sand 1) an. Die Geländeoberfläche wird von einer Dezimeter dicken Mutterbodenschicht gebildet. Der höchste anzusetzende Grundwasserspiegel liegt bei 2,0 m unter Oberkante Gelände, der niedrigste Wasserspiegel 4,0 m tiefer.

### Herstellung und Tragsystem

Die 29,0 m breite und 12,5 m tiefe Baugrube wird durch einfach geankerte, eingespannte Spundwände gesichert. Die Spundwände binden ca. 3,0 m in den wasserundurchlässigen Ton ein, so daß das Grundwasser außerhalb der Baugrube von der Baumaßnahme nicht berührt wird und lediglich innerhalb der Baugrube im Zuge des Aushubs abgesenkt wird.

Nach Erreichen der Endaushubtiefe wird der Tunnelrahmen auf einer 20 cm dicken Sauberkeitsschicht in drei Schritten hergestellt: Als erstes wird die 1,2 m dicke Tunnelsohle betoniert, anschließend die Tunnelwände und im letzten Schritt die Tunneldecke. Nach Erreichen der hinreichenden Festigkeit des Betons wird das Bauwerk vollständig überschüttet und anschließend die Grundwasserhaltung abgestellt. Nach Ausgleich der Wasserspiegel innerhalb und außerhalb der Baugrube werden die Spundwände gezogen.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 3
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Das betrachtete Tunnelbauwerk dient zur Unterführung einer vierspurigen Straße mit einem Regelquerschnitt RQ 31T. Es wird in offener Bauweise als Stahlbetonrahmen hergestellt. Aus dem Lichtraumprofil RQ 31T ergeben sich die lichten Innenmaße des 2-zelligen Rahmens von jeweils 12,0 m Breite und 6,0 m Höhe. Die Sohloberkante des Rahmens liegt 11,1 m unter OK Gelände. Die Konstruktionsdicken werden auf der Grundlage einer Vorbemessung zu 1,2 m für die Sohle, 1,1 m für die Tunneldecke, 1,0 m für die Außenwände und 0,80 m für die Innenwand gewählt. Die Blocklänge beträgt 10,0 m. Das Bauwerk wird als wasserundurchlässige Betonkonstruktion geplant.

### Baugrund und Grundwasser

Im Bereich des betrachteten Tunnelblocks steht ab ca. 14,3 m unter OK Gelände bis in größere Tiefen steifer bis halbfester Ton mit sehr geringer Wasserdurchlässigkeit an. Er wird überlagert von einem mitteldichten Sand (Sand 2) mit ca. 8,3 m Mächtigkeit. Ab 6,0 m unter OK Gelände bis zur Geländeoberfläche steht locker bis mitteldicht gelagerter Sand (Sand 1) an. Die Geländeoberfläche wird von einer Dezimeter dicken Mutterbodenschicht gebildet. Der höchste anzusetzende Grundwasserspiegel liegt bei 2,0 m unter Oberkante Gelände, der niedrigste Wasserspiegel 4,0 m tiefer.

### Herstellung und Tragsystem

Die 29,0 m breite und 12,5 m tiefe Baugrube wird durch einfach geankerte, eingespannte Spundwände gesichert. Die Spundwände binden ca. 3,0 m in den wasserundurchlässigen Ton ein, so daß das Grundwasser außerhalb der Baugrube von der Baumaßnahme nicht berührt wird und lediglich innerhalb der Baugrube im Zuge des Aushubs abgesenkt wird.

Nach Erreichen der Endaushubtiefe wird der Tunnelrahmen auf einer 20 cm dicken Sauberkeitsschicht in drei Schritten hergestellt: Als erstes wird die 1,2 m dicke Tunnelsohle betoniert, anschließend die Tunnelwände und im letzten Schritt die Tunneldecke. Nach Erreichen der hinreichenden Festigkeit des Betons wird das Bauwerk vollständig überschüttet und anschließend die Grundwasserhaltung abgestellt. Nach Ausgleich der Wasserspiegel innerhalb und außerhalb der Baugrube werden die Spundwände gezogen.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 4
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

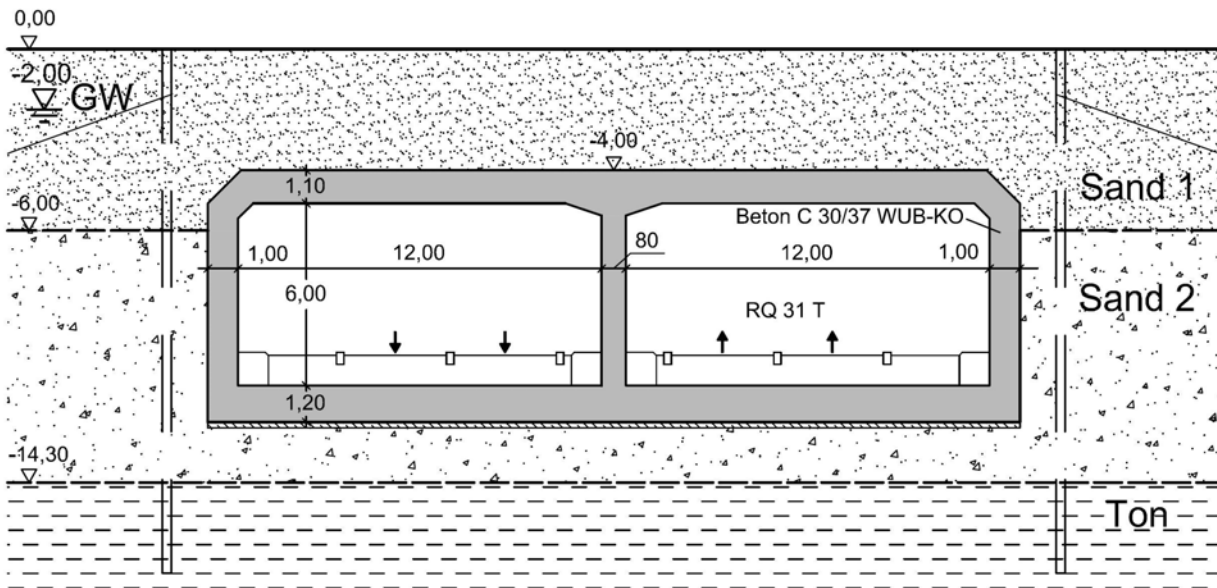


Bild II.1 Tunnel in offener Bauweise, Querschnitt Endzustand

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Seite 5	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

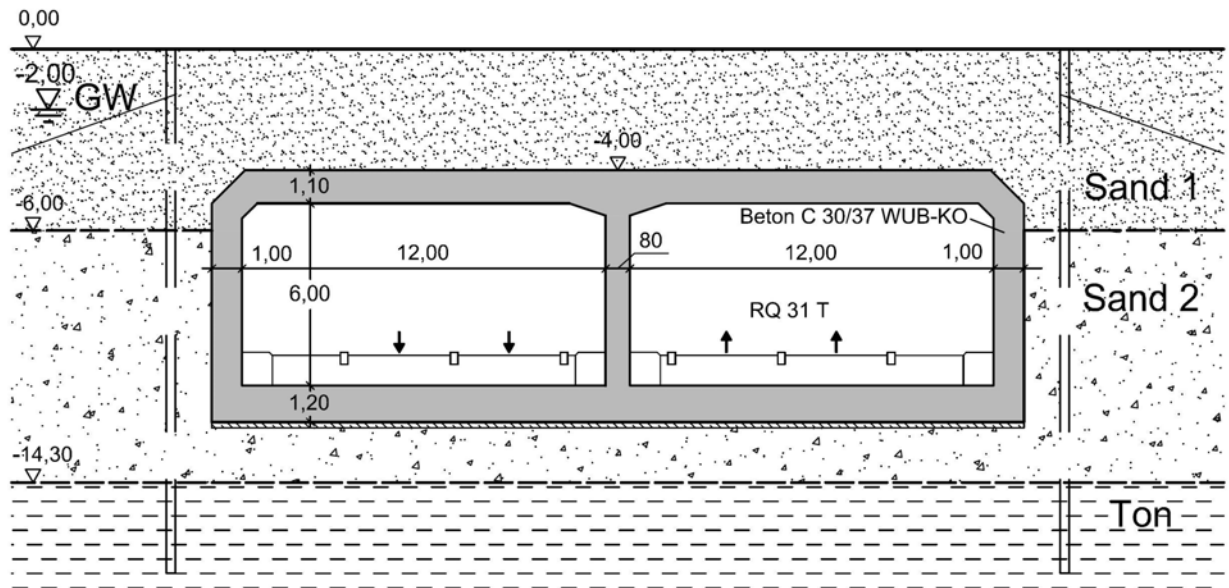


Bild II.1 Tunnel in offener Bauweise, Querschnitt Endzustand

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 6	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 5, Abschn. 2	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Tunnelbau, Offene Bauweise. Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2012-03
DIN-Fachbericht 101	Einwirkungen auf Brücken, Ausgabe 2009-03
DIN-Fachbericht 102	Betonbrücken, Ausgabe 2009-03
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005-01
DIN 1055 Teil 1	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, Ausgabe 2002-06
DIN 1055 Teil 2	Lastannahmen für Bauten, Bodenkenngößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel, Ausgabe 1976-02
DIN 4085	Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe 2011-05

EDV-Programme:

SOFiSTiK GmbH

Programmmodule zur Stabwerksberechnung

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 7
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 5, Abschn. 2	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Tunnelbau, Offene Bauweise. Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwurf 2012-08
DIN EN 1990	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1990/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1990, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-1-1, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-2	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-2/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-2, Ausgabe 2012-08
DIN EN 1992-1-1	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe 2011-01
DIN EN 1992-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-1-1, Ausgabe 2011-01
DIN EN 1992-2	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1992-2/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-2, Entwurf 2012-04
DIN EN 1997-1	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Ausgabe 2009-09
DIN EN 1997-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1055 Teil 2	Lastannahmen für Bauten, Bodenkenngößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel, Ausgabe 1976-02
DIN 4085	Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe 2011-05

EDV-Programme:

SOFiSTiK GmbH

Programmmodule zur Stabwerksberechnung

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 8
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des Tunnelbauwerks gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 (Tunnel in offener Bauweise).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN-Fachbericht 101: für den Ansatz von Verkehrslasten, die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungsseite
- DIN-Fachbericht 102: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften
- DIN 1054: für die Sicherheitsnachweise des Tunnelbauwerkes einschließlich der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 9	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des Tunnelbauwerks gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 (Tunnel in offener Bauweise).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1990: für die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für Eigen- und Verkehrslasten
- DIN-EN 1991-2: für den Ansatz von Verkehrslasten
- DIN-EN 1992-2: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften
- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise des Tunnelbauwerkes
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 10	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Tiefe unter GOK	Wichte feucht	Wichte unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	Steifemodul
	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Sand 1	0,0 - 6,0	17	8	30,0	0	75
Sand 2	6,0 - 14,3	19	11	32,5	0	100
Ton	14,3 - 20,0	19	9	20,0	20	20

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Als Bettungsmodul für die Tunnelsohle ist ein Wert von 5 MN/m<sup>3</sup> anzusetzen.

Die charakteristischen Grundwasserstände sind wie folgt anzunehmen:

Grundwasser	Tiefe unter GOK
	m
max GW	2,0
min GW	6,0

Tabelle 1.2: Grundwasserstände

Der Füllboden seitlich und oberhalb des Tunnels ist nach externen Vorgaben einzubauen. Demnach sind für den Füllboden die gleichen Baugrundkennwerte anzusetzen wie für die Sande 1 und 2, d.h. von OK Gelände bis Kote ~6,0 m die Kennwerte des Sandes 1 und darunter die Kennwerte des Sandes 2.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 11
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Tiefe unter GOK	Wichte feucht	Wichte unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	Steifemodul
	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Sand 1	0,0 - 6,0	17	8	30,0	0	75
Sand 2	6,0 - 14,3	19	11	32,5	0	100
Ton	14,3 - 20,0	19	9	20,0	20	20

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Als Bettungsmodul für die Tunnelsohle ist ein Wert von 5 MN/m<sup>3</sup> anzusetzen.

Die charakteristischen Grundwasserstände sind wie folgt anzunehmen:

Grundwasser	Tiefe unter GOK
	m
max GW	2,0
min GW	6,0

Tabelle 1.2: Grundwasserstände

Der Füllboden seitlich und oberhalb des Tunnels ist nach externen Vorgaben einzubauen. Demnach sind für den Füllboden die gleichen Baugrundkennwerte anzusetzen wie für die Sande 1 und 2, d.h. von OK Gelände bis Kote -6,0 m die Kennwerte des Sandes 1 und darunter die Kennwerte des Sandes 2.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

DIN-FB 102, Kap. II, 3.2

Betonstahlsorte	BSt 500 S	
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1 bzw. DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.1, Tab. R2
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN 1045-1, 9.2.4 (3)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.4.3 (1)

### Betondeckung

allgemein	min $c = 40 \text{ mm}$	DIN-FB 102, Kap. II, 4.1.3.3 (114)
	nom $c = 45 \text{ mm}$	
erdberührende Flächen	min $c = 50 \text{ mm}$	
	nom $c = 55 \text{ mm}$	
Brandschutz Decke und Wände	nom $c = 6,0 \text{ cm}$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 10.3.2

### Beton

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37 WUB-KO	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (5)
Expositionsklassen	XD2, XF2	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (12)
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.4, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 28300 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.5.2, Tab. 3.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V): DIN-FB 102, Kap. II, 2.3.3.2,  
Tab. 2.3

$$\gamma_s = 1,15$$

Außergewöhnliche Bemessungssituation (A):

$$\gamma_s = 1,0$$

im GZ 2  $\gamma_s = 1,0$

#### Beton:

S+V  $\gamma_c = 1,5$  DIN-FB 102, Kap. II, 2.3.3.2,  
Tab. 2.3

A  $\gamma_c = 1,3$

im GZ 2  $\gamma_c = 1,0$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 13
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

DIN-EN 1992-2, 3.2

Betonstahlsorte	BSt 500 S	
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 1992-2, NDP zu 3.2.7(2)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.2.7(4)

### Betondeckung

allgemein	$c_{min,dur} = 40 \text{ mm}$	DIN-EN 1992-2, Tab. 4.3.1DE
	$c_{nom} = 45 \text{ mm}$	
erdberührende Flächen	$c_{min,dur} = 50 \text{ mm}$	
	$c_{nom} = 55 \text{ mm}$	
Brandschutz Decke und Wände	$c_{nom} = 6,0 \text{ cm}$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 10.3.2

### Beton

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37 WUB-KO	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (5)
Expositionsclassen	XD2, XF2	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (12)
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 32800 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V): DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

$$\gamma_s = 1,15$$

Außergewöhnliche Bemessungssituation (A):

$$\gamma_s = 1,0$$

im SLS  $\gamma_s = 1,0$

#### Beton:

S+V  $\gamma_c = 1,5$  DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

A  $\gamma_c = 1,3$

im SLS  $\gamma_c = 1,0$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 14
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

Die Ermittlung der Schnittgrößen erfolgt mit einem Stabwerksprogramm der Firma SO-FiSTIK. Die Sohle des Tunnels wird dabei als gebettet angesetzt.

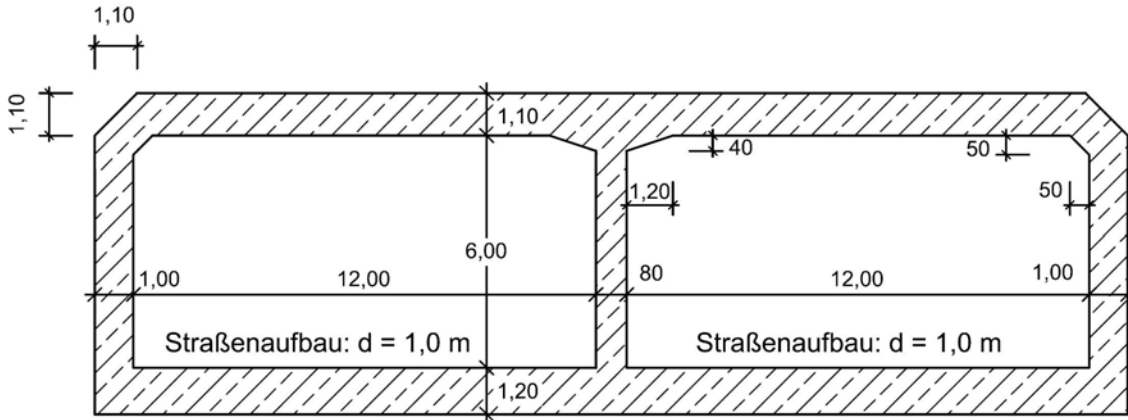


Bild 1.1: Tunnelquerschnitt

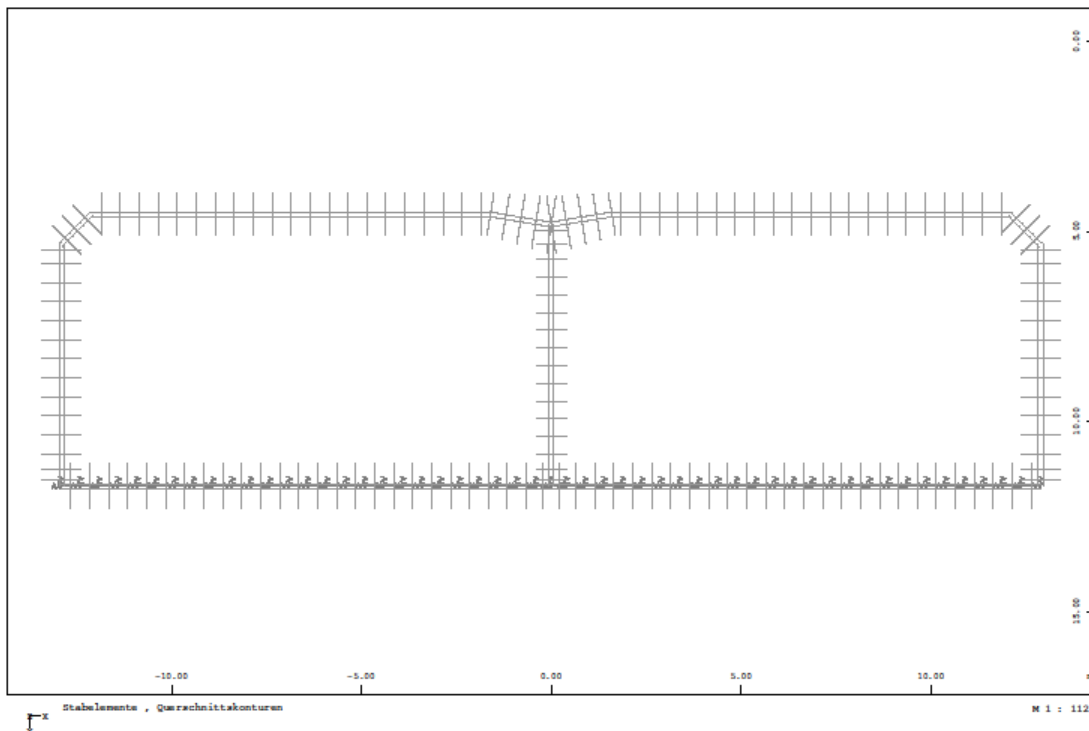


Bild 1.2: Statisches System

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 15
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

Die Ermittlung der Schnittgrößen erfolgt mit einem Stabwerksprogramm der Firma SO-FiSTiK. Die Sohle des Tunnels wird dabei als gebettet angesetzt.

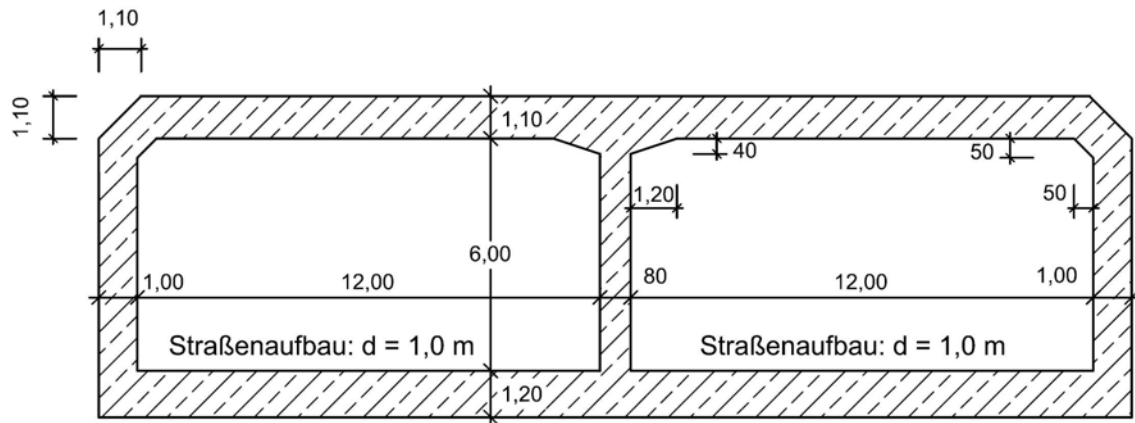


Bild 1.1: Tunnelquerschnitt

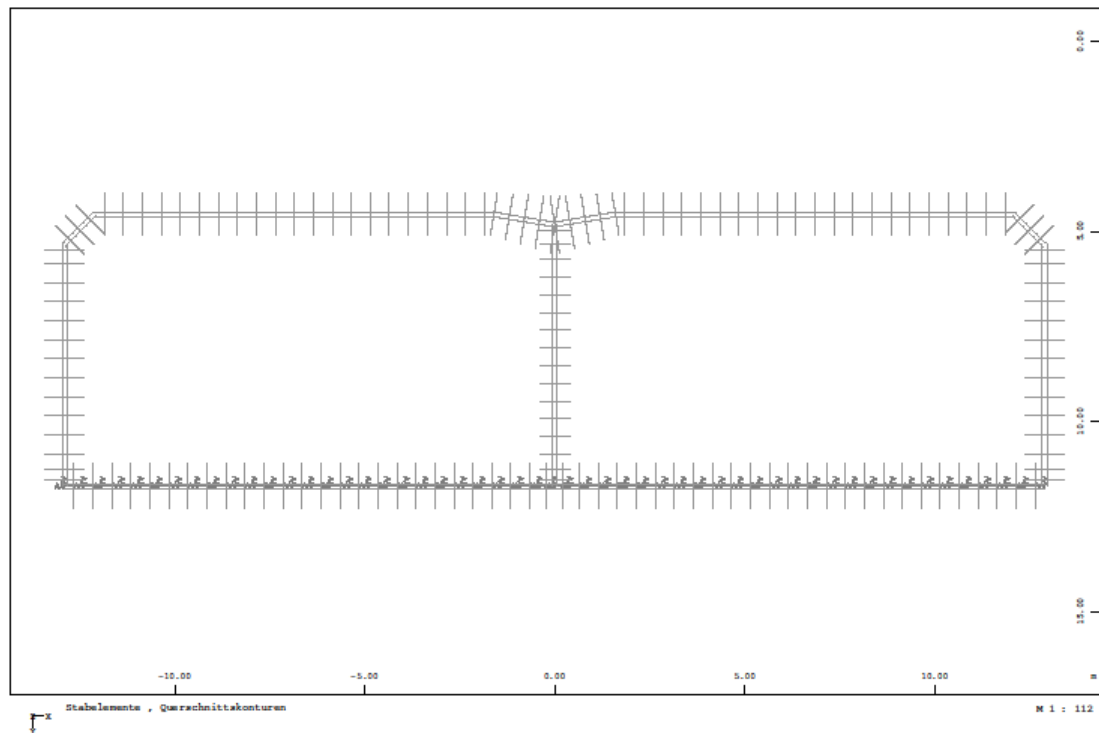


Bild 1.2: Statisches System

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 16
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

### 1.4.1 Ständige Einwirkungen

#### Eigengewicht Tunnel

wird vom Programm ermittelt mit  $\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^3$

DIN 1055 Teil1

#### Eigengewicht Fahrbahnaufbau

Dicke  $d \sim 1,0 \text{ m}$   $g_{F,k} = 1,0 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 = 22 \text{ kN/m}^2$

#### Auflast aus Überschüttung

Es werden zwei Belastungszustände betrachtet – der Bauzustand und der Endzustand.

Im Bauzustand wird infolge der Grundwasserabsenkung in der Baugrube kein Wasserdruck angesetzt. Im Endzustand wird der Wasserdruck zwischen dem maximalen und dem minimalen Wasserstand variiert.

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$\Sigma h \cdot \gamma$
		m	$\text{kN/m}^3$	$\text{kN/m}^2$
1	0,00			0,00
		2,00	17	
	-2,00			34,00
		2,00	17	
	-4,00			68,00
		0,60	17	
	-4,60			78,20
		1,40	17	
	-6,00			102,00
2	-6,00			102,00
		5,10	19	
	-11,10			198,90

Tabelle 1.3: Auflast aus Überschüttung im Bauzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 17
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

### 1.4.1 Ständige Einwirkungen

#### Eigengewicht Tunnel

wird vom Programm ermittelt mit  $\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^3$

DIN EN 1991-1

#### Eigengewicht Fahrbahnaufbau

Dicke  $d \sim 1,0 \text{ m}$   $g_{F,k} = 1,0 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 = 22 \text{ kN/m}^2$

#### Auflast aus Überschüttung

Es werden zwei Belastungszustände betrachtet – der Bauzustand und der Endzustand.

Im Bauzustand wird infolge der Grundwasserabsenkung in der Baugrube kein Wasserdruck angesetzt. Im Endzustand wird der Wasserdruck zwischen dem maximalen und dem minimalen Wasserstand variiert.

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$\Sigma h \cdot \gamma$
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0,00			0,00
		2,00	17	
	-2,00			34,00
		2,00	17	
	-4,00			68,00
		0,60	17	
	-4,60			78,20
		1,40	17	
	-6,00			102,00
2	-6,00			102,00
		5,10	19	
	-11,10			198,90

Tabelle 1.3: Auflast aus Überschüttung im Bauzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 18
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$\Sigma h \cdot \gamma$
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0,00			0,00
		2,00	17	
	-2,00			34,00
		2,00	8	
	-4,00			50,00
		0,60	8	
	-4,60			54,80
		1,40	8	
	-6,00			66,00
2	-6,00			66,00
		5,10	11	
	-11,10			122,10

Tabelle 1.4: Auflast im Endzustand bei max GW

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$\Sigma h \cdot \gamma$
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0,00			0,00
		2,00	17	
	-2,00			34,00
		2,00	17	
	-4,00			68,00
		0,60	17	
	-4,60			78,20
		1,40	17	
	-6,00			102,00
2	-6,00			102,00
		5,10	11	
	-11,10			158,10

Tabelle 1.5: Auflast im Endzustand bei min GW

### Erddruck auf Tunnelaußenwände

Voruntersuchungen haben gezeigt, dass nur Lastfälle mit voller Überschüttung maßgebend werden. Auch der Lastfall Verdichtungserddruck ist für keine Füllhöhe für die Bemessung relevant. Daher werden nachfolgend nur die Zustände mit voller Überschüttung untersucht.

Für den seitlichen Erddruck wird als größter Wert der Erdruhedruck zugrunde gelegt, als kleinster Wert der halbe aktive Erddruck.

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.1 (3)

Aufgrund des breiten Querschnittes führen asymmetrische horizontale Erddrücke ( einseitig aktiver Erddruck, andere Seite Erdruhedruck und ggf. Verkehr) zu keiner maßgebenden Beanspruchung und werden daher vernachlässigt.

Im Bauzustand ist kein Wasserdruck anzusetzen, für den Endzustand wird der Grundwasserspiegel zwischen max GW und min GW variiert.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$\Sigma h \cdot \gamma$
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0,00			0,00
		2,00	17	
	-2,00			34,00
		2,00	8	
	-4,00			50,00
		0,60	8	
	-4,60			54,80
		1,40	8	
	-6,00			66,00
2	-6,00			66,00
		5,10	11	
	-11,10			122,10

Tabelle 1.4: Auflast im Endzustand bei max GW

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$\Sigma h \cdot \gamma$
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0,00			0,00
		2,00	17	
	-2,00			34,00
		2,00	17	
	-4,00			68,00
		0,60	17	
	-4,60			78,20
		1,40	17	
	-6,00			102,00
2	-6,00			102,00
		5,10	11	
	-11,10			158,10

Tabelle 1.5: Auflast im Endzustand bei min GW

#### Erddruck auf Tunnelaußenwände

Voruntersuchungen haben gezeigt, dass nur Lastfälle mit voller Überschüttung maßgebend werden. Auch der Lastfall Verdichtungserddruck ist für keine Füllhöhe für die Bemessung relevant. Daher werden nachfolgend nur die Zustände mit voller Überschüttung untersucht.

Für den seitlichen Erddruck wird als größter Wert der Erdruhedruck zugrunde gelegt, als kleinster Wert der halbe aktive Erddruck.

Aufgrund des breiten Querschnittes führen asymmetrische horizontale Erddrücke (einseitig aktiver Erddruck, andere Seite Erdruhedruck und ggf. Verkehr) zu keiner maßgebenden Beanspruchung und werden daher vernachlässigt.

Im Bauzustand ist kein Wasserdruck anzusetzen, für den Endzustand wird der Grundwasserspiegel zwischen max GW und min GW variiert.

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.1 (3)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 20
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Neigungswinkel  $\delta_a = 1/2 \varphi'_k$  (weniger rau)

DIN 4085, Tabelle A.1

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh}$  (Sand 1) = 0,29

DIN 4085, Abschn. 6.3.1.2

$K_{agh}$  (Sand 2) = 0,26

$K_{0g}$  (Sand 1) = 0,50

DIN 4085, Abschn. 6.4.1

$K_{0g}$  (Sand 2) = 0,46

Erddruckordinaten im Bauzustand:

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$h \cdot \gamma$	g	$k_{ah}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	min e	$k_0$	$\Sigma g \cdot k_0$	max e
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	-0,00				0,00	0,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
		2,00	17	34,00							
	-2,00				34,00	0,29	9,86	4,93	0,50	17,00	17,00
		2,00	17	34,00							
	-4,00				68,00	0,29	19,72	9,86	0,50	34,00	34,00
		0,55	17	9,35							
	-4,55				77,35	0,29	22,43	11,22	0,50	38,68	38,68
		0,80	17	13,60							
	-5,35				90,95	0,29	26,38	13,19	0,50	45,48	45,48
	0,65	17	11,05								
-6,00				102,00	0,29	29,58	14,79	0,50	51,00	51,00	
2	-6,00				102,00	0,26	26,52	13,26	0,46	46,92	46,92
		5,10	19	96,9							
	-11,10				198,90	0,26	51,71	25,86	0,46	91,49	91,49
		0,60	19	11,4							
	-11,70				210,30	0,26	54,68	27,34	0,46	96,74	96,74
		0,60	19	11,4							
-12,30				221,70	0,26	57,64	28,82	0,46	101,98	101,98	

Tabelle 1.6: Kleinster und größter Erddruck im Bauzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	
		Seite 21

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Neigungswinkel  $\delta_a = 1/2 \varphi'_k$  (weniger rau)

DIN 4085, Tabelle A.1

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh}$  (Sand 1) = 0,29

DIN 4085, Abschn. 6.3.1.2

$K_{agh}$  (Sand 2) = 0,26

$K_{0g}$  (Sand 1) = 0,50

DIN 4085, Abschn. 6.4.1

$K_{0g}$  (Sand 2) = 0,46

Erddruckordinaten im Bauzustand:

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$h \cdot \gamma$	g	$k_{ah}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	min e	$k_0$	$\Sigma g \cdot k_0$	max e
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	-0,00				0,00	0,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
		2,00	17	34,00							
	-2,00				34,00	0,29	9,86	4,93	0,50	17,00	17,00
		2,00	17	34,00							
	-4,00				68,00	0,29	19,72	9,86	0,50	34,00	34,00
		0,55	17	9,35							
	-4,55				77,35	0,29	22,43	11,22	0,50	38,68	38,68
		0,80	17	13,60							
	-5,35				90,95	0,29	26,38	13,19	0,50	45,48	45,48
	0,65	17	11,05								
-6,00				102,00	0,29	29,58	14,79	0,50	51,00	51,00	
2	-6,00				102,00	0,26	26,52	13,26	0,46	46,92	46,92
		5,10	19	96,9							
	-11,10				198,90	0,26	51,71	25,86	0,46	91,49	91,49
		0,60	19	11,4							
	-11,70				210,30	0,26	54,68	27,34	0,46	96,74	96,74
		0,60	19	11,4							
-12,30				221,70	0,26	57,64	28,82	0,46	101,98	101,98	

Tabelle 1.6: Kleinster und größter Erddruck im Bauzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 22
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruckordinaten im Endzustand:

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$h \cdot \gamma$	g	$k_{ah}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	min e	$k_0$	$\Sigma g \cdot k_0$	max e
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	-0,00				0,00	0,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
		2,00	17	34,00							
	-2,00				34,00	0,29	9,86	4,93	0,50	17,00	17,00
		2,00	8	16,00							
	-4,00				50,00	0,29	14,50	7,25	0,50	25,00	25,00
		0,55	8	4,40							
	-4,55				54,40	0,29	15,78	7,89	0,50	27,20	27,20
		0,80	8	6,40							
	-5,35				60,80	0,29	17,63	8,82	0,50	30,40	30,40
	0,65	8	5,20								
-6,00				66,00	0,29	19,14	9,57	0,50	33,00	33,00	
2	-6,00				66,00	0,26	17,16	8,58	0,46	30,36	30,36
		5,10	11	56,1							
	-11,10				122,10	0,26	31,75	15,87	0,46	56,17	56,17
		0,60	11	6,6							
	-11,70				128,70	0,26	33,46	16,73	0,46	59,20	59,20
		0,60	11	6,6							
-12,30				135,30	0,26	35,18	17,59	0,46	62,24	62,24	

Tabelle 1.7: Kleinster und größter Erddruck im Endzustand bei max GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 23
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruckordinaten im Endzustand:

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$h \cdot \gamma$	g	$k_{ah}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	min e	$k_0$	$\Sigma g \cdot k_0$	max e
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	-0,00				0,00	0,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
		2,00	17	34,00							
	-2,00				34,00	0,29	9,86	4,93	0,50	17,00	17,00
		2,00	8	16,00							
	-4,00				50,00	0,29	14,50	7,25	0,50	25,00	25,00
		0,55	8	4,40							
	-4,55				54,40	0,29	15,78	7,89	0,50	27,20	27,20
		0,80	8	6,40							
	-5,35				60,80	0,29	17,63	8,82	0,50	30,40	30,40
	0,65	8	5,20								
-6,00				66,00	0,29	19,14	9,57	0,50	33,00	33,00	
2	-6,00				66,00	0,26	17,16	8,58	0,46	30,36	30,36
		5,10	11	56,1							
	-11,10				122,10	0,26	31,75	15,87	0,46	56,17	56,17
		0,60	11	6,6							
	-11,70				128,70	0,26	33,46	16,73	0,46	59,20	59,20
		0,60	11	6,6							
-12,30				135,30	0,26	35,18	17,59	0,46	62,24	62,24	

Tabelle 1.7: Kleinster und größter Erddruck im Endzustand bei max GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 24
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$h \cdot \gamma$	g	$k_{ah}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	min e	$k_0$	$\Sigma g \cdot k_0$	max e
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	0,00				0,00	0,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
		2,00	17	34,00							
	-2,00				34,00	0,29	9,86	4,93	0,50	17,00	17,00
		2,00	17	34,00							
	-4,00				68,00	0,29	19,72	9,86	0,50	34,00	34,00
		0,55	17	9,35							
	-4,55				77,35	0,29	22,43	11,22	0,50	38,68	38,68
		0,80	17	13,60							
	-5,35				90,95	0,29	26,38	13,19	0,50	45,48	45,48
		0,65	17	11,05							
-6,00				102,00	0,29	29,58	14,79	0,50	51,00	51,00	
2	-6,00				102,00	0,26	26,52	13,26	0,46	46,92	46,92
		5,10	11	56,1							
	-11,10				158,10	0,26	41,11	20,55	0,46	72,73	72,73
		0,60	11	6,6							
	-11,70				164,70	0,26	42,82	21,41	0,46	75,76	75,76
		0,60	11	6,6							
-12,30				171,30	0,26	44,54	22,27	0,46	78,80	78,80	

Tabelle 1.8: Kleinster und größter Erddruck im Endzustand bei min GW

Wasserdruck im Endzustand

max GW = 2,0 m unter GOK

min GW = 6,0 m unter GOK

Verkehrslasten auf Überschüttung

Bauzustand  $p = 10 \text{ kN/m}^2$

EAB EB 156

Endzustand  $p = 5 \text{ kN/m}^2$

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.2.4

Erddruckbeiwerte:  $K_{0p}$  (Sand 1) = 0,50

$K_{0p}$  (Sand 2) = 0,46

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$h \cdot \gamma$	g	$k_{ah}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	min e	$k_0$	$\Sigma g \cdot k_0$	max e
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	0,00				0,00	0,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
		2,00	17	34,00							
	-2,00				34,00	0,29	9,86	4,93	0,50	17,00	17,00
		2,00	17	34,00							
	-4,00				68,00	0,29	19,72	9,86	0,50	34,00	34,00
		0,55	17	9,35							
	-4,55				77,35	0,29	22,43	11,22	0,50	38,68	38,68
		0,80	17	13,60							
	-5,35				90,95	0,29	26,38	13,19	0,50	45,48	45,48
	0,65	17	11,05								
-6,00				102,00	0,29	29,58	14,79	0,50	51,00	51,00	
2	-6,00				102,00	0,26	26,52	13,26	0,46	46,92	46,92
		5,10	11	56,1							
	-11,10				158,10	0,26	41,11	20,55	0,46	72,73	72,73
		0,60	11	6,6							
	-11,70				164,70	0,26	42,82	21,41	0,46	75,76	75,76
		0,60	11	6,6							
-12,30				171,30	0,26	44,54	22,27	0,46	78,80	78,80	

Tabelle 1.8: Kleinster und größter Erddruck im Endzustand bei min GW

Wasserdruck im Endzustand

max GW = 2,0 m unter GOK

min GW = 6,0 m unter GOK

Verkehrslasten auf Überschüttung

Bauzustand  $p = 10 \text{ kN/m}^2$

EAB EB 156

Endzustand  $p = 5 \text{ kN/m}^2$

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.2.4

Erddruckbeiwerte:  $K_{0p}$  (Sand 1) = 0,50

$K_{0p}$  (Sand 2) = 0,46

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 26
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruckordinaten aus Verkehrslast im Bauzustand:

Schicht	Kote	h	p	$k_0$	max e
		m	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m
1	0,00		10,00	0,50	5,00
		2,00			
	-2,00		10,00	0,50	5,00
		2,00			
	-4,00		10,00	0,50	5,00
		0,55			
	-4,55		10,00	0,50	5,00
		0,80			
	-5,35		10,00	0,50	5,00
		0,65			
	-6,00		10,00	0,50	5,00
2	-6,00		10,00	0,46	4,60
		5,10			
	-11,10		10,00	0,46	4,60
		0,60			
	-11,70		10,00	0,46	4,60
		0,60			
	-12,30		10,00	0,46	4,60

Tabelle 1.9: Erddruck aus Verkehrslasten im Bauzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 27
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruckordinaten aus Verkehrslast im Bauzustand:

Schicht	Kote	h	$\rho$	$k_0$	max e	
		m	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m	
1	0,00		10,00	0,50	5,00	
		2,00				
	-2,00		10,00	0,50	5,00	
		2,00				
	-4,00		10,00	0,50	5,00	
		0,55				
	-4,55		10,00	0,50	5,00	
		0,80				
	-5,35		10,00	0,50	5,00	
	0,65					
	-6,00		10,00	0,50	5,00	
2		-6,00		10,00	0,46	4,60
		5,10				
		-11,10		10,00	0,46	4,60
		0,60				
		-11,70		10,00	0,46	4,60
		0,60				
	-12,30		10,00	0,46	4,60	

Tabelle 1.9: Erddruck aus Verkehrslasten im Bauzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 28
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruckordinaten aus Verkehrslast im Endzustand:

Schicht	Kote	h	p	$k_0$	max e
		m	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m
1	0,00		5,00	0,50	2,50
		2,00			
	-2,00		5,00	0,50	2,50
		2,00			
	-4,00		5,00	0,50	2,50
		0,55			
	-4,55		5,00	0,50	2,50
		0,80			
	-5,35		5,00	0,50	2,50
	0,65				
	-6,00		5,00	0,50	2,50
2	-6,00		5,00	0,46	2,30
		5,10			
	-11,10		5,00	0,46	2,30
		0,60			
	-11,70		5,00	0,46	2,30
		0,60			
	-12,30		5,00	0,46	2,30

Tabelle 1.10: Erddruck aus Verkehrslasten im Endzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 29
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruckordinaten aus Verkehrslast im Endzustand:

Schicht	Kote	h	p	$k_0$	max e
		m	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m
1	0,00		5,00	0,50	2,50
		2,00			
	-2,00		5,00	0,50	2,50
		2,00			
	-4,00		5,00	0,50	2,50
		0,55			
	-4,55		5,00	0,50	2,50
		0,80			
	-5,35		5,00	0,50	2,50
		0,65			
2	-6,00		5,00	0,46	2,30
		5,10			
	-11,10		5,00	0,46	2,30
		0,60			
	-11,70		5,00	0,46	2,30
		0,60			
	-12,30		5,00	0,46	2,30

Tabelle 1.10: Erddruck aus Verkehrslasten im Endzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 30
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4.2 Veränderliche Einwirkungen

### Verkehrslasten im Tunnel

Die Verkehrslasten im Tunnel sind nach DIN-Fachbericht 101 anzusetzen.

Haupt-Lastmodell (Lastmodell 1):

DIN-FB 101, Kap. IV, 4.3.2

- Doppelachse (Tandem-System TS)

$$\alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} = 240 \text{ kN mit } \alpha_{Q1} = 0,8$$

DIN-FB 101, Kap. IV, 4.3.2,  
Tab. 4.2

$$\alpha_{Q2} \cdot Q_{2k} = 160 \text{ kN mit } \alpha_{Q2} = 0,8$$

- gleichmäßig verteilte Belastung (UDL-System)

$$\alpha_{q1} \cdot q_{1k} = 9,0 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{q1} = 1,0$$

DIN-FB 101, Kap. IV, 4.3.2,  
Tab. 4.2

$$\alpha_{q2} \cdot q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{q2} = 1,0$$

$$\alpha_{qr} \cdot q_{rk} = 2,5 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{qr} = 1,0$$

Verteilung von Einzellasten:

DIN-FB 101, Kap. IV, 4.3.6

Die Einzellasten dürfen unter 45° bis zur Mittellinie der tragenden Platte verteilt werden. Quer zur Fahrtrichtung ist die Verteilung bis zum Rand des Fahrstreifens begrenzt. Damit ergeben sich die folgenden Lastverteilungen:

Lastverteilungsbreite  $b = 3,0 \text{ m}$

Lastverteilungslänge  $l = 1,6 + 2 \cdot (1 + 1,2/2) = 4,80 \text{ m}$

$$\Sigma (\alpha_{Q1} \cdot Q_{1k}) / (b \cdot l) = 33,33 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma (\alpha_{Q2} \cdot Q_{2k}) / (b \cdot l) = 22,22 \text{ kN/m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 31
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4.2 Veränderliche Einwirkungen

### Verkehrslasten im Tunnel

Die Verkehrslasten im Tunnel sind nach DIN-EN 1991-2 anzusetzen.

Haupt-Lastmodell (Lastmodell 1):

DIN-EN 1991-2, 4.3.2

- Doppelachse (Tandem-System TS)

$$\alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} = 300 \text{ kN mit } \alpha_{Q1} = 1,0$$

DIN-EN 1991-2, Tab. 4.2 und DIN EN 1991-2/NA NDP zu 4.3.2(3)

$$\alpha_{Q2} \cdot Q_{2k} = 200 \text{ kN mit } \alpha_{Q2} = 1,0$$

$$\alpha_{Q3} \cdot Q_{3k} = 100 \text{ kN mit } \alpha_{Q3} = 1,0$$

- gleichmäßig verteilte Belastung (UDL-System)

$$\alpha_{q1} \cdot q_{1k} = 12,0 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{q1} = 1,33$$

DIN-EN 1991-2, Tab. 4.2 und DIN EN 1991-2/NA NDP zu 4.3.2(3)

$$\alpha_{q2} \cdot q_{2k} = 6,0 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{q2} = 2,4$$

$$\alpha_{q3} \cdot q_{3k} = 3,0 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{q3} = 1,2$$

$$\alpha_{qr} \cdot q_{rk} = 3,0 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{qr} = 1,2$$

Verteilung von Einzellasten:

DIN-EN 1991-2

Die Einzellasten dürfen unter 45° bis zur Mittellinie der tragenden Platte verteilt werden. Quer zur Fahrtrichtung ist die Verteilung bis zum Rand des Fahrstreifens begrenzt. Damit ergeben sich die folgenden Lastverteilungen:

Lastverteilungsbreite  $b = 3,0 \text{ m}$

Lastverteilungslänge  $l = 1,6 + 2 \cdot (1 + 1,2/2) = 4,80 \text{ m}$

$$\Sigma (\alpha_{Q1} \cdot Q_{1k}) / (b \cdot l) = 41,67 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma (\alpha_{Q2} \cdot Q_{2k}) / (b \cdot l) = 27,78 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma (\alpha_{Q3} \cdot Q_{3k}) / (b \cdot l) = 13,89 \text{ kN/m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 32
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

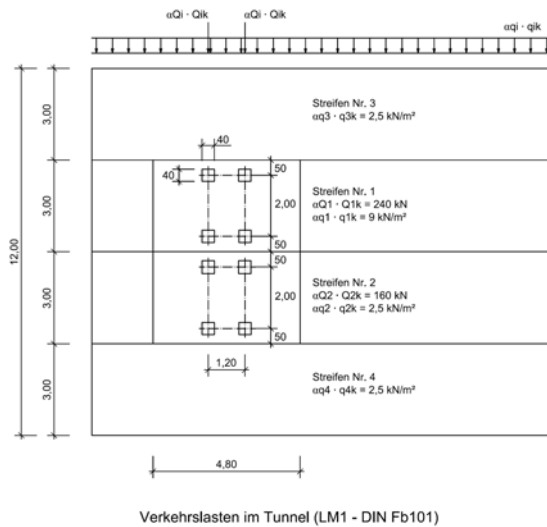


Bild 1.3: Verkehrslasten im Tunnel

### Temperatureinwirkungen

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.2.6,  
Bild 5.2.1

- Temperatur im Tunnel bis 1000 m vom Portal  
Sommer:  $T = +25 \text{ °C}$   
Winter:  $T = -15 \text{ °C}$
- Tunnelumgebungstemperatur  $T = 10 \text{ °C}$   
im Abstand von 2 m zur Tunnelinnenkontur,  
bei Grundwasser an Außenkante Bauwerk

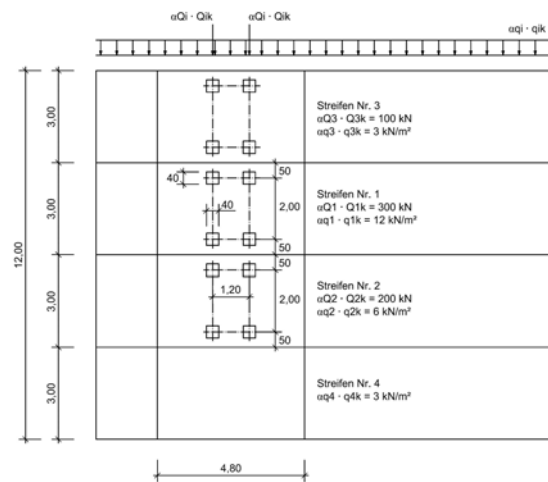
Temperaturlasten im Bauzustand:

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	$T_{\text{innen}}$	$T_{\text{außen}}$	$T_{\text{Einbau}}$	$T_0$	$\Delta T$
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	25	25	10	15,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	25	10	10	11,023	7,955
Decke	1,10	0,00	25	10	10	10,875	8,250
Decke Voute	1,20	0,00	25	10	10	10,500	9,000
Decke Voute	1,40	0,00	25	10	10	9,750	10,500
Decke Voute	1,50	0,00	25	10	10	9,375	11,250
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	11,250	7,500
Sohle	1,20	0,00	25	10	10	10,500	9,000

Tabelle 1.11: Bauzustand: Temperatur im Sommer ohne Grundwasser

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 33	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Verkehrslasten im Tunnel (LM1 - DIN EN 1991-2)

Bild 1.3: Verkehrslasten im Tunnel

### Temperatureinwirkungen

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.2.6,  
Bild 5.2.1

- Temperatur im Tunnel bis 1000 m vom Portal  
Sommer:  $T = +25 \text{ }^\circ\text{C}$   
Winter:  $T = -15 \text{ }^\circ\text{C}$
- Tunnelumgebungstemperatur  $T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$   
im Abstand von 2 m zur Tunnelinnenkontur,  
bei Grundwasser an Außenkante Bauwerk

Temperaturlasten im Bauzustand:

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	$T_{\text{innen}}$	$T_{\text{außen}}$	$T_{\text{Einbau}}$	$T_0$	$\Delta T$
-	m	m	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	25	25	10	15,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	25	10	10	11,023	7,955
Decke	1,10	0,00	25	10	10	10,875	8,250
Decke Voute	1,20	0,00	25	10	10	10,500	9,000
Decke Voute	1,40	0,00	25	10	10	9,750	10,500
Decke Voute	1,50	0,00	25	10	10	9,375	11,250
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	11,250	7,500
Sohle	1,20	0,00	25	10	10	10,500	9,000

Tabelle 1.11: Bauzustand: Temperatur im Sommer ohne Grundwasser

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 34
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	-15	-15	10	-25,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	-15	10	10	-18,371	-13,258
Decke	1,10	0,00	-15	10	10	-18,125	-13,750
Decke Voute	1,20	0,00	-15	10	10	-17,500	-15,000
Decke Voute	1,40	0,00	-15	10	10	-16,250	-17,500
Decke Voute	1,50	0,00	-15	10	10	-15,625	-18,750
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-18,750	-12,500
Sohle	1,20	0,00	-15	10	10	-17,500	-15,000

Tabelle 1.12: Bauzustand: Temperatur im Winter ohne Grundwasser

Temperaturlasten im Endzustand:

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	25	25	10	15,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke	1,10	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke Voute	1,20	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke Voute	1,40	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke Voute	1,50	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Sohle	1,20	1,00	25	10	10	4,091	8,182

Tabelle 1.13: Endzustand, Temperatur im Sommer bei max GW

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	-15	-15	10	-25,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke	1,10	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke Voute	1,20	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke Voute	1,40	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke Voute	1,50	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Sohle	1,20	1,00	-15	10	10	-6,818	-13,636

Tabelle 1.14: Endzustand, Temperatur im Winter bei max GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	-15	-15	10	-25,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	-15	10	10	-18,371	-13,258
Decke	1,10	0,00	-15	10	10	-18,125	-13,750
Decke Voute	1,20	0,00	-15	10	10	-17,500	-15,000
Decke Voute	1,40	0,00	-15	10	10	-16,250	-17,500
Decke Voute	1,50	0,00	-15	10	10	-15,625	-18,750
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-18,750	-12,500
Sohle	1,20	0,00	-15	10	10	-17,500	-15,000

Tabelle 1.12: Bauzustand: Temperatur im Winter ohne Grundwasser

Temperaturlasten im Endzustand:

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	25	25	10	15,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke	1,10	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke Voute	1,20	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke Voute	1,40	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke Voute	1,50	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Sohle	1,20	1,00	25	10	10	4,091	8,182

Tabelle 1.13: Endzustand, Temperatur im Sommer bei max GW

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	-15	-15	10	-25,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke	1,10	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke Voute	1,20	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke Voute	1,40	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke Voute	1,50	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Sohle	1,20	1,00	-15	10	10	-6,818	-13,636

Tabelle 1.14: Endzustand, Temperatur im Winter bei max GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 36	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	25	25	10	15,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	25	10	10	11,023	7,955
Decke	1,10	0,00	25	10	10	10,875	8,250
Decke Voute	1,20	0,00	25	10	10	10,500	9,000
Decke Voute	1,40	0,00	25	10	10	9,750	10,500
Decke Voute	1,50	0,00	25	10	10	9,375	11,250
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	11,250	7,500
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Sohle	1,20	1,00	25	10	10	4,091	8,182

Tabelle 1.15: Endzustand, Temperatur im Sommer bei min GW

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	-15	-15	10	-25,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	-15	10	10	-18,371	-13,258
Decke	1,10	0,00	-15	10	10	-18,125	-13,750
Decke Voute	1,20	0,00	-15	10	10	-17,500	-15,000
Decke Voute	1,40	0,00	-15	10	10	-16,250	-17,500
Decke Voute	1,50	0,00	-15	10	10	-15,625	-18,750
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-18,750	-12,500
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Sohle	1,20	1,00	-15	10	10	-6,818	-13,636

Tabelle 1.16: Endzustand, Temperatur im Winter bei min GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	25	25	10	15,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	25	10	10	11,023	7,955
Decke	1,10	0,00	25	10	10	10,875	8,250
Decke Voute	1,20	0,00	25	10	10	10,500	9,000
Decke Voute	1,40	0,00	25	10	10	9,750	10,500
Decke Voute	1,50	0,00	25	10	10	9,375	11,250
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	11,250	7,500
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Sohle	1,20	1,00	25	10	10	4,091	8,182

Tabelle 1.15: Endzustand, Temperatur im Sommer bei min GW

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	-15	-15	10	-25,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	-15	10	10	-18,371	-13,258
Decke	1,10	0,00	-15	10	10	-18,125	-13,750
Decke Voute	1,20	0,00	-15	10	10	-17,500	-15,000
Decke Voute	1,40	0,00	-15	10	10	-16,250	-17,500
Decke Voute	1,50	0,00	-15	10	10	-15,625	-18,750
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-18,750	-12,500
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Sohle	1,20	1,00	-15	10	10	-6,818	-13,636

Tabelle 1.16: Endzustand, Temperatur im Winter bei min GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 38
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.4.3 Außergewöhnliche Einwirkungen

#### Fahrzeuganprall

Ist auf die Innenwand anzusetzen, da deren Dicke  $d=0,8$  m und damit kleiner als 0,9 m ist: DIN-FB 102, Kap. II, 4.3.6.2 (107)

rechtwinklig zur Fahrtrichtung 500 kN in 1,25 m Höhe über der Fahrbahnoberfläche DIN-FB 101, Kap. IV, 4.7.2.1 (1)

#### Brand

$\Delta T = 50$  K in Wand und Decke ZTV-ING T5, Abschn. 2, 10.3.3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen <span style="float: right;">Seite 39</span>	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.4.3 Außergewöhnliche Einwirkungen

#### Fahrzeuganprall

Ist auf die Innenwand anzusetzen, da deren Dicke  $d = 0,8$  m und damit kleiner als 0,9 m ist:

DIN EN 1992-2/NA, NA6.110.2

rechtwinklig zur Fahrtrichtung 750 kN in 1,25 m Höhe über der Fahrbahnoberfläche (für außerörtliche Straßen)

DIN EN 1991-2,  
DIN EN 1991-2/NA,  
DIN EN 1991-7, Tab. NA2

#### Brand

$\Delta T = 50$  K in Wand und Decke

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 10.3.3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 40
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 1.4.4 Lastfallkombinationen für die Bemessung

Die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind für alle Bauzustände und den Endzustand zu führen. Für das Tunnelbauwerk als Stahlbetonkonstruktion ist dabei der DIN-Fachbericht 101 maßgebend. Gemäß Kapitel II, 9.4.2 sind die Einwirkungen a) für ständige Einwirkungen und vorübergehende Situationen und b) für außergewöhnliche Situationen nach den Gleichungen (9.10) und (9.11) anzusetzen. Die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für die Einwirkungen sind dabei für Eigengewicht (= ständige Einwirkung) und Verkehr nach DIN-FB 101, Anhang C anzusetzen.

Erddrücke werden im DIN-Fachbericht 101 „Einwirkungen auf Brücken“, Tabelle C1 nur ohne Unterscheidung ihrer Art (aktiv, Erdruchedruck) berücksichtigt, da sie im Brückenbau nur für die Widerlager von Bedeutung sind. Für Tunnel in offener Bauweise sind sie jedoch die vorherrschende ständige Einwirkung. Aus diesem Grund sind die Teilsicherheitsbeiwerte für vertikale und horizontale Erddrücke sowie Wasserdruck aus der für den Erd- und Grundbau maßgebenden DIN 1054 zu entnehmen.

Ebenso gibt die DIN 1054 – abweichend von DIN-FB 101 – für ständige Einwirkungen aus Baugrund und Grundwasser in der außergewöhnlichen Einwirkungskombination von 1,0 abweichende Teilsicherheiten an. Diese sind maßgebend und werden daher angesetzt.

Für die Temperatureinwirkungen gibt die ZTV-ING T5, Abschnitt 2 die Teilsicherheit  $\gamma = 1,0$  vor, um eine Überbewertung der Zwangbeanspruchung zu vermeiden.

Die anzusetzenden Lastfallkombinationen ergeben sich damit wie folgt:

##### Tragfähigkeitsnachweis

###### Ständige und vorübergehende Bemessungssituation

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} \text{ "+" } \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

DIN-FB 101, Kap. II, 9.4.2,  
Gl. (9.10)

###### Außergewöhnliche Bemessungssituation

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{GAj} \cdot G_{kj} \text{ "+" } A_d \text{ "+" } \psi_{11} \cdot Q_{k1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

DIN-FB 101, Kap. II, 9.4.2,  
Gl. (9.11)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 41
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 1.4.4 Lastfallkombinationen für die Bemessung

Die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind für alle Bauzustände und den Endzustand zu führen. Die maßgebenden Einwirkungskombinationen sind in DIN EN 1990 festgelegt. Gemäß Kapitel 6.4 sind die Einwirkungen a) für ständige Einwirkungen und vorübergehende Situationen und b) für außergewöhnliche Situationen nach den Gleichungen (6.10) und (6.11b) anzusetzen. Die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für die Einwirkungen sind dabei für Eigengewicht (= ständige Einwirkung) und Verkehr nach DIN EN 1990, Anhang A2 anzusetzen.

Erddrücke werden in DIN EN 1990, Anhang A2 (Anwendung für Brücken) nur ohne Unterscheidung ihrer Art (aktiv, Erdruchedruck) berücksichtigt, da sie im Brückenbau nur für die Widerlager von Bedeutung sind. Für Tunnel in offener Bauweise sind sie jedoch die vorherrschende ständige Einwirkung. Aus diesem Grund sind die Teilsicherheitsbeiwerte für vertikale und horizontale Erddrücke sowie Wasserdruck aus der für den Erd- und Grundbau maßgebenden DIN 1054 zu entnehmen.

Ebenso gibt die DIN 1054 – abweichend von DIN EN 1990 – für ständige Einwirkungen aus Baugrund und Grundwasser in der außergewöhnlichen Einwirkungskombination von 1,0 abweichende Teilsicherheiten an. Diese sind maßgebend (vgl. Anmerkung 1 zu Tabelle A2.1 in DIN 1054) und werden daher angesetzt.

Für die Temperatureinwirkungen gibt die ZTV-ING T5, Abschnitt 2 die Teilsicherheit  $\gamma = 1,0$  vor, um eine Überbewertung der Zwangbeanspruchung zu vermeiden.

Die anzusetzenden Lastfallkombinationen ergeben sich damit wie folgt:

##### Tragfähigkeitsnachweis

##### Ständige und vorübergehende Bemessungssituation

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad \text{DIN EN 1990, 6.4.3.2, Gl.(6.10)}$$

##### Außergewöhnliche Bemessungssituation

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{GAj} \cdot G_{kj} + A_d + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad \text{DIN EN 1990, 6.4.3.3, Gl.(6.11b) mit NCI zu 6.4.3.3(2)}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 42
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 1: Bauzustand

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,35^{3)}$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,35^{1)4)}$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck ohne Wasser bzw. Erdruchdruck ohne Wasser	$\gamma_G = 1,35^{1)4)}$ $\gamma_{E0g} = 1,20^{1)4)}$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,35^{2)}$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Temperatur Sommer bzw. Temperatur Winter	$\gamma = 1,00$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.1 (8)
---	-----------------	----------------------------------

1) Bei der Bemessung des Bauwerks unterscheidet der DIN-FB 101 nicht zwischen Bau- und Endzuständen. Aus diesem Grund werden die Teilsicherheiten für den Erddruck auch im Bauzustand für Lastfall 1 nach DIN 1054, Tabelle 2 festgelegt.

2) Für großflächige Nutzlasten bis 10 kN/m<sup>2</sup> ist gemäß DIN 1054, 10.5.4.(2) der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_G$  nach Tabelle 2 zu wählen.

3) Eine Berücksichtigung des Konstruktionseigengewichtes mit  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  erfolgt nicht, da dies im Fall eines überschütteten Tunnels zu keiner maßgebenden Vergrößerung der Bemessungsergebnisse führt. Für die Sohlauffüllung wird dagegen  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  berücksichtigt.

4) Für die ständigen Lasten aus Überschüttung und Erddruck wird bei der statischen Berechnung und Bemessung des Bauwerkes ebenfalls  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  nicht berücksichtigt. Dieser Wert ist in DIN 1054 (2005) nur für den Sonderfall vorgesehen. Über die Erddruckvariation ist im Tunnelbau die günstige bzw. ungünstige Wirkung der Erddrucklasten ausreichend abgedeckt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 43
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 1: Bauzustand

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,35^{3)}$	DIN EN 1990, Anhang A, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,35^{1)4)}$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck ohne Wasser bzw. Erdruhedruck ohne Wasser	$\gamma_G = 1,35^{1)4)}$ $\gamma_{E0g} = 1,20^{1)4)}$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,35^{2)}$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Temperatur Sommer bzw. Temperatur Winter	$\gamma = 1,00$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.3 (6)
---	-----------------	----------------------------------

<sup>1)</sup> Bei der Bemessung des Bauwerks unterscheidet DIN EN 1992-2 nicht zwischen Bau- und Endzuständen. Aus diesem Grund werden die Teilsicherheiten für den Erddruck auch im Bauzustand für die Bemessungssituation BS-P nach DIN 1054, Tabelle A2.1 festgelegt.

<sup>2)</sup> Für großflächige Nutzlasten bis 10 kN/m<sup>2</sup> ist gemäß DIN 1054, 9.5.1, A(10) der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_G$  nach Tabelle A2.1 zu wählen.

<sup>3)</sup> Eine Berücksichtigung des Konstruktionseigengewichtes mit  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  erfolgt nicht, da dies im Fall eines überschütteten Tunnels zu keiner maßgebenden Vergrößerung der Bemessungsergebnisse führt. Für die Sohlauffüllung wird dagegen  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  berücksichtigt.

<sup>4)</sup> Für die ständigen Lasten aus Überschüttung und Erddruck wird bei der statischen Berechnung und Bemessung des Bauwerkes ebenfalls  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  nicht berücksichtigt. Dieser Wert ist in DIN 1054 (2010) nur für den Sonderfall vorgesehen. Über die Erddruckvariation ist im Tunnelbau die günstige bzw. ungünstige Wirkung der Erddrucklasten ausreichend abgedeckt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 44
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 2: Endzustand bei max GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,35$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck bei max GW bzw.	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- Erdruchdruck bei max GW	$\gamma_{E0g} = 1,20$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- max GW	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2 bzw. DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel	$\gamma_Q = 1,50$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
TS	$\psi_0 = \psi_1 = 0,75$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
UDL	$\psi_0 = \psi_1 = 0,40$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
- Temperatur Sommer bzw.	$\gamma_T = 1,00$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.1 (8)
Temperatur Winter	$\psi_0 = \psi_1 = 0,60$	

### Lastfallkombination LFK 3: Endzustand bei min GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,35$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck bei min GW bzw.	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
Erdruchdruck bei min GW	$\gamma_{E0g} = 1,20$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- min GW	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2 bzw. DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel	$\gamma_Q = 1,50$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
TS	$\psi_0 = \psi_1 = 0,75$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
UDL	$\psi_0 = \psi_1 = 0,40$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
- Temperatur Sommer bzw.	$\gamma_T = 1,00$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.1 (8)
Temperatur Winter	$\psi_0 = \psi_1 = 0,60$	

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 45
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 2: Endzustand bei max GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,35$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck bei max GW bzw.	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Erdruhedruck bei max GW	$\gamma_{G,E0} = 1,20$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- max GW	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel	$\gamma_Q = 1,35$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.4(B)
TS	$\psi_0 = \psi_1 = 0,75$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
UDL	$\psi_0 = \psi_1 = 0,40$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
- Temperatur Sommer bzw.	$\gamma_T = 1,00$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.3 (6)
Temperatur Winter	$\psi_0 = \psi_1 = 0,60$	

### Lastfallkombination LFK 3: Endzustand bei min GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,35$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck bei min GW bzw.	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
Erdruhedruck bei min GW	$\gamma_{G,E0} = 1,20$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- min GW	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel	$\gamma_Q = 1,35$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.4(B)
TS	$\psi_0 = \psi_1 = 0,75$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
UDL	$\psi_0 = \psi_1 = 0,40$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
- Temperatur Sommer bzw.	$\gamma_T = 1,00$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.3 (6)
Temperatur Winter	$\psi_0 = \psi_1 = 0,60$	

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 46
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 4: Endzustand Anprall bei max GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck bei max GW bzw. Erdruchdruck bei max GW	$\gamma_G = 1,10$ $\gamma_{E0g} = 1,00$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2 DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- max GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
TS	$\psi_1 = 0,75$	
	$\psi_2 = 0,20$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
UDL	$\psi_1 = 0,40$	
	$\psi_2 = 0,20$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
- Temperatur Sommer bzw Temperatur Winter	$\psi_1 = 0,60$ $\psi_2 = 0,50$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1

Außergewöhnliche Einwirkung:

- Anprall	$\gamma_A = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
-----------	-------------------	--------------------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 47
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 4: Endzustand Anprall bei max GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck bei max GW bzw. Erdruhedruck bei max GW	$\gamma_G = 1,10$ $\gamma_{G,E0} = 1,00$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1 DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- max GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.4(B)
TS	$\psi_1 = 0,75$ $\psi_2 = 0,0$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
UDL	$\psi_1 = 0,40$ $\psi_2 = 0,0$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
- Temperatur Sommer bzw. Temperatur Winter	$\psi_1 = 0,60$ $\psi_2 = 0,50$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.3 (6)

Außergewöhnliche Einwirkung:

- Anprall	$\gamma_A = 1,00$	DIN EN 1990, A2.3.2
-----------	-------------------	---------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 48
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 5: Endzustand Anprall bei min GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck bei min GW bzw. Erdruchdruck bei min GW	$\gamma_G = 1,10$ $\gamma_{E0g} = 1,00$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2 DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- min GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
TS	$\psi_1 = 0,75$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
	$\psi_2 = 0,20$	
UDL	$\psi_1 = 0,40$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
	$\psi_2 = 0,20$	
- Temperatur Sommer bzw. Temperatur Winter	$\psi_1 = 0,60$ $\psi_2 = 0,50$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1

#### Außergewöhnliche Einwirkung:

- Anprall	$\gamma_A = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
-----------	-------------------	--------------------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 49
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 5: Endzustand Anprall bei min GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck bei min GW bzw. Erdruhedruck bei min GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
	$\gamma_{G,E0} = 1,00$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- min GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.4(B)
TS	$\psi_1 = 0,75$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
	$\psi_2 = 0,0$	
UDL	$\psi_1 = 0,40$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
	$\psi_2 = 0,0$	
- Temperatur Sommer bzw. Temperatur Winter	$\psi_1 = 0,60$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.3 (6)
	$\psi_2 = 0,50$	

Außergewöhnliche Einwirkung:

- Anprall	$\gamma_A = 1,00$	DIN EN 1990, A2.3.2
-----------	-------------------	---------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 50
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 6: Endzustand Brand bei max GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck bei max GW bzw. Erdruchdruck bei max GW	$\gamma_G = 1,10$ $\gamma_{E0g} = 1,00$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2 DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- max GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
TS	$\psi_1 = 0,75$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
	$\psi_2 = 0,20$	
UDL	$\psi_1 = 0,40$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
	$\psi_2 = 0,20$	

Außergewöhnliche Einwirkung:

- Brand	$\gamma_A = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
---------	-------------------	--------------------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 51
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 6: Endzustand Brand bei max GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck bei max GW bzw. Erdruhedruck bei max GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- max GW	$\gamma_{G,E0} = 1,00$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.4(B)
TS	$\psi_1 = 0,75$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
	$\psi_2 = 0,0$	
UDL	$\psi_1 = 0,40$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
	$\psi_2 = 0,0$	

Außergewöhnliche Einwirkung:

- Brand	$\gamma_A = 1,00$	DIN EN 1990, A2.3.2
---------	-------------------	---------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 52
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 7: Endzustand Brand bei min GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck bei min GW bzw. Erdruchdruck bei min GW	$\gamma_G = 1,10$ $\gamma_{E0g} = 1,00$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2 DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- min GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
TS	$\psi_1 = 0,75$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
	$\psi_2 = 0,20$	
UDL	$\psi_1 = 0,40$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
	$\psi_2 = 0,20$	

Außergewöhnliche Einwirkung:

- Brand	$\gamma_A = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
---------	-------------------	--------------------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 53
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 7: Endzustand Brand bei min GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck bei min GW bzw. Erdruhedruck bei min GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- min GW	$\gamma_{G,E0} = 1,00$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.4(B)
TS	$\psi_1 = 0,75$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
	$\psi_2 = 0,0$	
UDL	$\psi_1 = 0,40$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
	$\psi_2 = 0,0$	

#### Außergewöhnliche Einwirkung:

- Brand	$\gamma_A = 1,00$	DIN EN 1990, A2.3.2
---------	-------------------	---------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 54
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks, d.h. die Begrenzung auf bestimmte Rissweiten und Verformungen, ist ebenfalls für alle maßgebenden Zustände zu führen. Dies sind alle Bauzustände und der Endzustand.

Der Nachweis der Rissbreitenbeschränkung ist bei Tunnelbauwerken gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2, für die „häufige Kombination“ zu führen.

### Rissbreitenbeschränkung

Häufige Kombination

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.4.1 (2)

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

DIN-FB 101, Kap. II, 9.5.2

Gemäß ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.4.2.2 sind die Temperatureinwirkungen als quasi-ständige Werte mit dem Kombinationsbeiwert  $\psi_2 = 0,50$  anzusetzen.

### Lastfallkombination LFK 8: Bauzustand

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht
- Auflast aus Überschüttung
- aktiver Erddruck ohne Wasser bzw.  
Erdruchdruck ohne Wasser
- Verkehrslasten auf Überschüttung

Veränderliche Einwirkungen:

- Temperatur Sommer bzw.

Temperatur Winter  $\psi_2 = 0,50$   
(Steifigkeit im Zustand I zugrunde gelegt)

ZTV-ING, T5, Abschn. 2, 3.4.2.2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 55
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks, d.h. die Begrenzung auf bestimmte Rissweiten und Verformungen, ist ebenfalls für alle maßgebenden Zustände zu führen. Dies sind alle Bauzustände und der Endzustand.

Der Nachweis der Rissbreitenbeschränkung ist bei Tunnelbauwerken gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2, für die „häufige Kombination“ zu führen.

### Rissbreitenbeschränkung

Häufige Kombination

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.4.1 (2)

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

DIN EN 1990, 6.5.3, Gl. (6.15b)

Gemäß ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.4.2.2 sind die Temperatureinwirkungen als quasi-ständige Werte mit dem Kombinationsbeiwert  $\psi_2 = 0,50$  anzusetzen.

### Lastfallkombination LFK 8: Bauzustand

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht
- Auflast aus Überschüttung
- aktiver Erddruck ohne Wasser bzw. Erdruhedruck ohne Wasser
- Verkehrslasten auf Überschüttung

Veränderliche Einwirkungen:

- Temperatur Sommer bzw.

Temperatur Winter  $\psi_2 = 0,50$   
(Steifigkeit im Zustand I zugrunde gelegt)

ZTV-ING, T5, Abschn. 2, 3.3.4.2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 56
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 9: Endzustand bei max GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht
- Auflast aus Überschüttung
- aktiver Erddruck bei max GW bzw.  
Erdruchdruck bei max GW
- max GW
- Verkehrslasten auf Überschüttung

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel

TS  $\psi_1 = 0,75, \psi_2 = 0,20$  DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2

UDL  $\psi_1 = 0,40, \psi_2 = 0,20$  DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2

- Temperatur Sommer bzw.

Temperatur Winter  $\psi_2 = 0,50$

ZTV-ING, T5, Abschn. 2, 3.4.2.2

### Lastfallkombination LFK 10: Endzustand bei min GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht
- Auflast aus Überschüttung
- aktiver Erddruck bei min GW bzw.  
Erdruchdruck bei min GW
- min GW
- Verkehrslasten auf Überschüttung

Veränderliche Lasten:

- Verkehrslasten im Tunnel

TS  $\psi_1 = 0,75, \psi_2 = 0,20$  DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2

UDL  $\psi_1 = 0,40, \psi_2 = 0,20$  DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2

- Temperatur Sommer bzw.

Temperatur Winter  $\psi_2 = 0,50$

ZTV-ING, T5, Abschn. 2, 3.4.2.2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 57
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 9: Endzustand bei max GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht
- Auflast aus Überschüttung
- aktiver Erddruck bei max GW bzw.  
Erdruchdruck bei max GW
- max GW
- Verkehrslasten auf Überschüttung

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel

TS  $\psi_1 = 0,75, \psi_2 = 0,0$

DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1

UDL  $\psi_1 = 0,40, \psi_2 = 0,0$

DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1

- Temperatur Sommer bzw.

Temperatur Winter  $\psi_2 = 0,50$

ZTV-ING, T5, Abschn. 2, 3.3.4.2

Lastfallkombination LFK 10: Endzustand bei min GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht
- Auflast aus Überschüttung
- aktiver Erddruck bei min GW bzw.  
Erdruchdruck bei min GW
- min GW
- Verkehrslasten auf Überschüttung

Veränderliche Lasten:

- Verkehrslasten im Tunnel

TS  $\psi_1 = 0,75, \psi_2 = 0,0$

DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1

UDL  $\psi_1 = 0,40, \psi_2 = 0,0$

DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1

- Temperatur Sommer bzw.

Temperatur Winter  $\psi_2 = 0,50$

ZTV-ING, T5, Abschn. 2, 3.3.4.2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 58
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. NACHWEIS DER AUFTRIEBSSICHERHEIT

Die Auftriebssicherheit ist nach DIN 1054, Abschnitt 11.3.1 im Grenzzustand GZ1A nachzuweisen.

$$A_k \cdot \gamma_{G,dst} \leq G_{k,stb} \cdot \gamma_{G,stb}$$

DIN 1054, Abschn. 11.3.1, Gl. (55)

Da die Auftriebssicherheit maßgeblich von den Wichten des Baugrundes und des Bauwerkes abhängt, sind für den Auftriebssicherheitsnachweis die unteren charakteristischen Werte der Wichten anzusetzen.

DIN 1054, Abschn. 5.3.1 (4)

Sofern das Baugrundgutachten hierüber keine Angaben enthält, können die üblicherweise angegebenen charakteristischen Mittelwerte der Wichten analog zu DIN 1055, Teil 2 (1976) abgemindert werden.

Konstruktionseigengewicht:

$$G_{k,stb} = \gamma_B \cdot V_B = 1871,0 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma_B = 25 - 1 = 24 \text{ kN/m}^3$   
 $V_B = 77,96 \text{ m}^3/\text{m}$

Eigengewicht Ausbau:

$$G_{A,k,stb} = \gamma_A \cdot V_A = 504,0 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma_A = 22 - 1 = 21 \text{ kN/m}^3$   
 $V_A = 24 \text{ m}^3/\text{m}$

Überschüttung:

$$G_{\dot{U},k,stb} = \Sigma \gamma \cdot V = 1187,7 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma$  (Sand 1) = 17 - 2 = 15 kN/m<sup>3</sup>  
 $V = 53,6 \text{ m}^3/\text{m}$   
 $\gamma'$  (Sand 1) = 8 - 1 = 7 kN/m<sup>3</sup>  
 $V = 54,8 \text{ m}^3/\text{m}$

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

Wasserauflast:

$$G_{w,k,stb} = \gamma_w \cdot V = 548,0 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$   
 $V_w = 54,8 \text{ m}^3/\text{m}$

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweis der Auftriebssicherheit	Seite 59
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. NACHWEIS DER AUFTRIEBSSICHERHEIT

Die Auftriebssicherheit ist nach DIN 1054, Abschnitt 10.2.1 im Grenzzustand UPL nachzuweisen.

$$A_k \cdot \gamma_{G,dst} \leq G_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

DIN 1054, 2.4.7.4

Da die Auftriebssicherheit maßgeblich von den Wichten des Baugrundes und des Bauwerkes abhängt, sind für den Auftriebssicherheitsnachweis die unteren charakteristischen Werte der Wichten anzusetzen.

DIN EN 1997-1, 2.3.5.2 (8)

Sofern das Baugrundgutachten hierüber keine Angaben enthält, können die üblicherweise angegebenen charakteristischen Mittelwerte der Wichten analog zu DIN 1055, Teil 2 (1976) abgemindert werden.

Konstruktionseigengewicht:

$$G_{stb,k} = \gamma_B \cdot V_B = 1871,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } \gamma_B = 25 - 1 = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$V_B = 77,96 \text{ m}^3/\text{m}$$

DIN 1054, 10.1, A (7)

Eigengewicht Ausbau:

$$G_{A,stb,k} = \gamma_A \cdot V_A = 504,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } \gamma_A = 22 - 1 = 21 \text{ kN/m}^3$$

$$V_A = 24 \text{ m}^3/\text{m}$$

DIN 1054, 10.1, A (7)

Überschüttung:

$$G_{\bar{U},stb,k} = \sum \gamma \cdot V = 1187,7 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } \gamma \text{ (Sand 1)} = 17 - 2 = 15 \text{ kN/m}^3$$

$$V = 53,6 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$\gamma' \text{ (Sand 1)} = 8 - 1 = 7 \text{ kN/m}^3$$

$$V = 54,8 \text{ m}^3/\text{m}$$

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

Wasserauflast:

$$G_{w,stb,k} = \gamma_w \cdot V = 548,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } \gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$V_w = 54,8 \text{ m}^3/\text{m}$$

DIN EN 1991-1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweis der Auftriebssicherheit	Seite 60
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Auftriebskraft:

$$A_k = \sum \gamma_w \cdot h_w \cdot A_w = 2760,4 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

$$h_{w1} = 12,3 \text{ m} - 2,0 \text{ m} = 10,30 \text{ m}$$

$$A_{w1} = 26,8 \text{ m}^2/\text{m}$$

Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen GZ 1A:

$$\gamma_{G,dst} = 1,05 \text{ (LF 1) bzw. } 1,00 \text{ (LF 3)}$$

DIN 1054, Tabelle 2

$$\gamma_{G,stb} = 0,95 \text{ (LF 1) bzw. } 0,95 \text{ (LF 3)}$$

LF 1: Endzustand

$$1,05 \cdot 2760,4 < (1871,0 + 504,0 + 1187,7 + 548,0) \cdot 0,95$$

$$2898,4 < 3905 \text{ kN/m}$$

LF 3: Endzustand ohne Straßenoberbau

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.2.3 (5)

$$1,00 \cdot 2760,4 < (1871,0 + 1187,7 + 548,0) \cdot 0,95$$

$$2760,4 < 3426,4 \text{ kN/m}$$

Die Auftriebssicherheitsnachweise sind erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweis der Auftriebssicherheit	Seite 61
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Auftriebskraft:

$$A_k = \sum \gamma_w \cdot h_w \cdot A_w = 2760,4 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

$$h_{w1} = 12,3 \text{ m} - 2,0 \text{ m} = 10,30 \text{ m}$$

$$A_{w1} = 26,8 \text{ m}^2/\text{m}$$

Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen (UPL):

$$\gamma_{G,dst} = 1,05 \text{ (BS-P) bzw. } 1,00 \text{ (BS-A)}$$

DIN 1054, Tabelle A2.1

$$\gamma_{G,stb} = 0,95 \text{ (BS-P) bzw. } 0,95 \text{ (BS-A)}$$

BS-P: Endzustand

$$1,05 \cdot 2760,4 < (1871,0 + 504,0 + 1187,7 + 548,0) \cdot 0,95$$

$$2898,4 < 3905 \text{ kN/m}$$

BS-A: Endzustand ohne Straßenoberbau

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.2.3 (5)

$$1,00 \cdot 2760,4 < (1871,0 + 1187,7 + 548,0) \cdot 0,95$$

$$2760,4 < 3426,4 \text{ kN/m}$$

Die Auftriebssicherheitsnachweise sind erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweis der Auftriebssicherheit	Seite 62
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. SCHNITTGRÖSSENERMITTLUNG

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt mit den Berechnungsmodulen von SOFiSTiK. Die maximalen und minimalen Schnittgrößen in den 10 Lastfallkombinationen werden dabei vom Programm ermittelt. Die Umhüllenden der Biegemomente für die LFK 1 bis LFK 10 und der Querkräfte der LFK 1 bis LFK 7 sind auf den folgenden Ausdrucken dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 63
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. SCHNITTGRÖSSENERMITTLUNG

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt mit den Berechnungsmodulen von SOFiSTiK. Die maximalen und minimalen Schnittgrößen in den 10 Lastfallkombinationen werden dabei vom Programm ermittelt. Die Umhüllenden der Biegemomente für die LFK 1 bis LFK 10 und der Querkräfte der LFK 1 bis LFK 7 sind auf den folgenden Ausdrucken dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 64
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

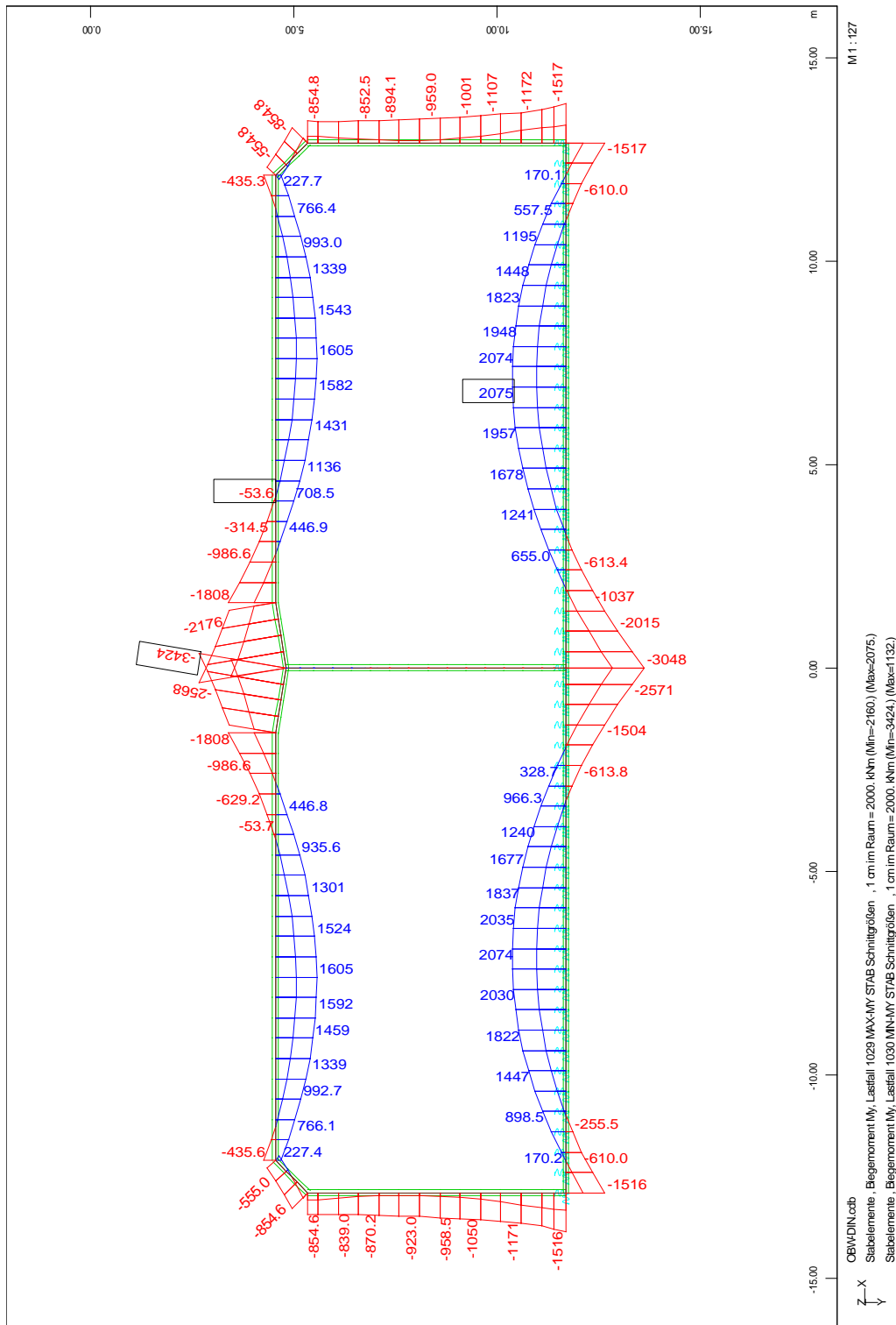


Bild 3.1: Biegemomente LFK 1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 65
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

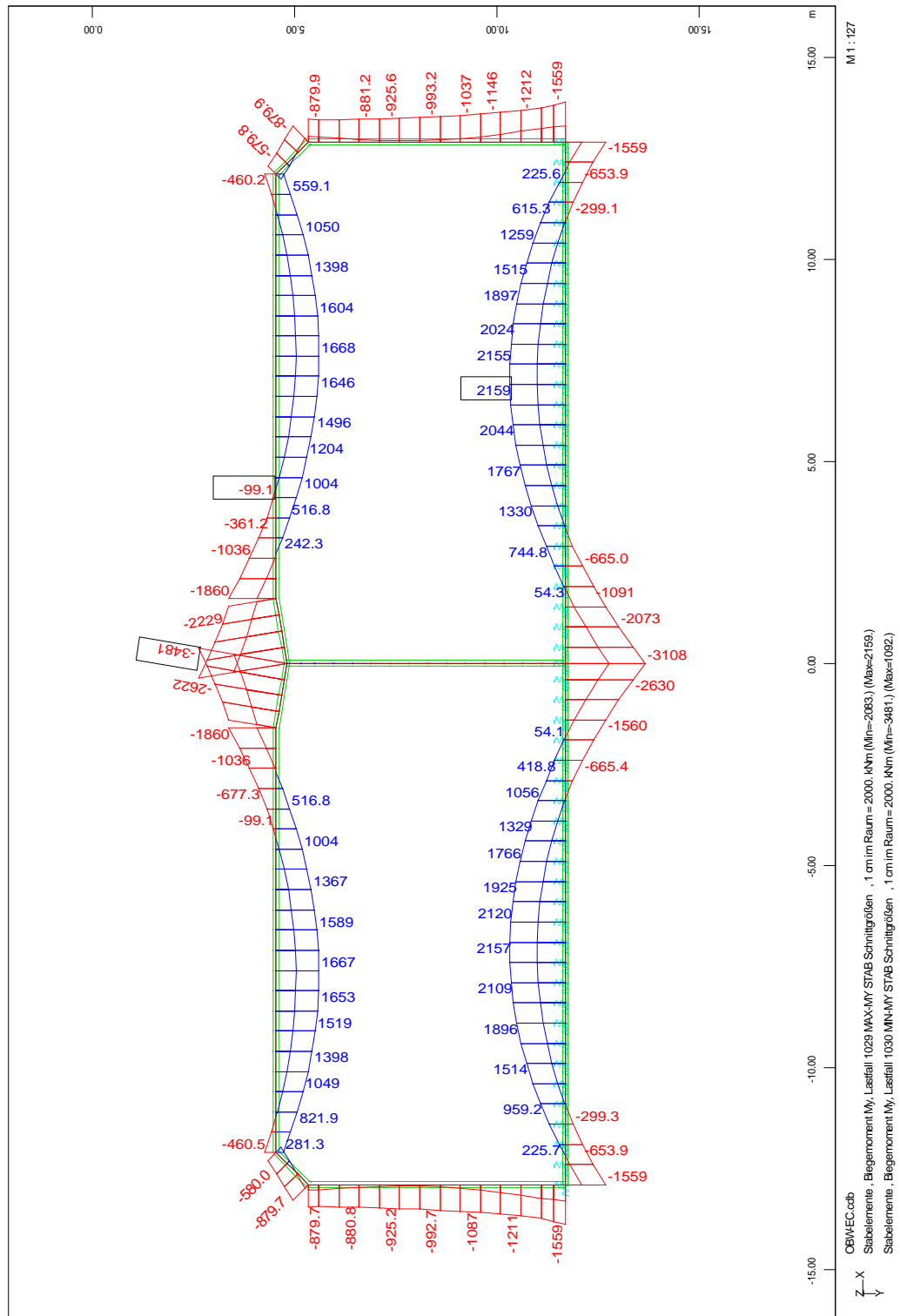


Bild 3.1: Biegemomente LFK 1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 66
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

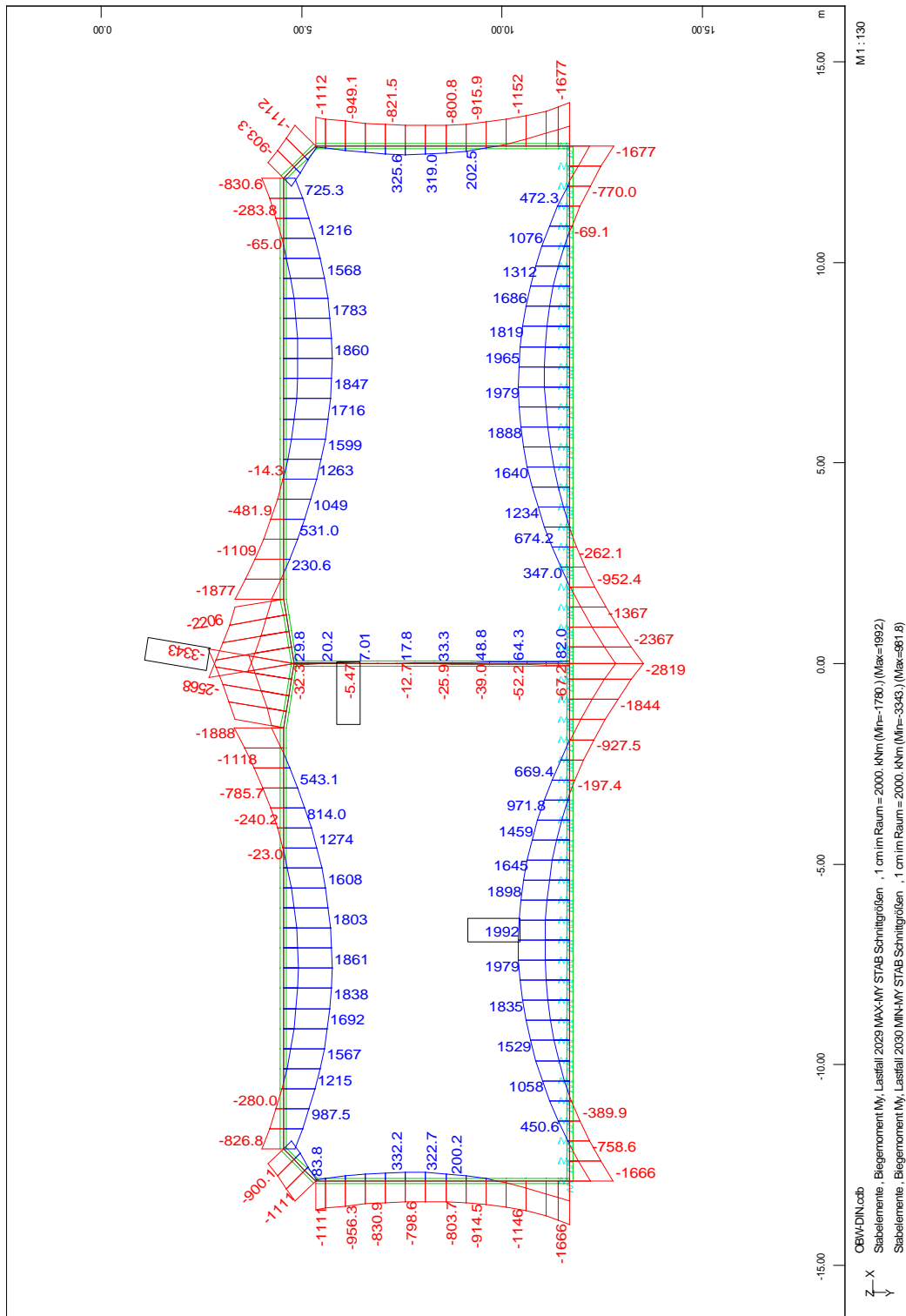


Bild 3.2: Biegemomente LFK 2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 67
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

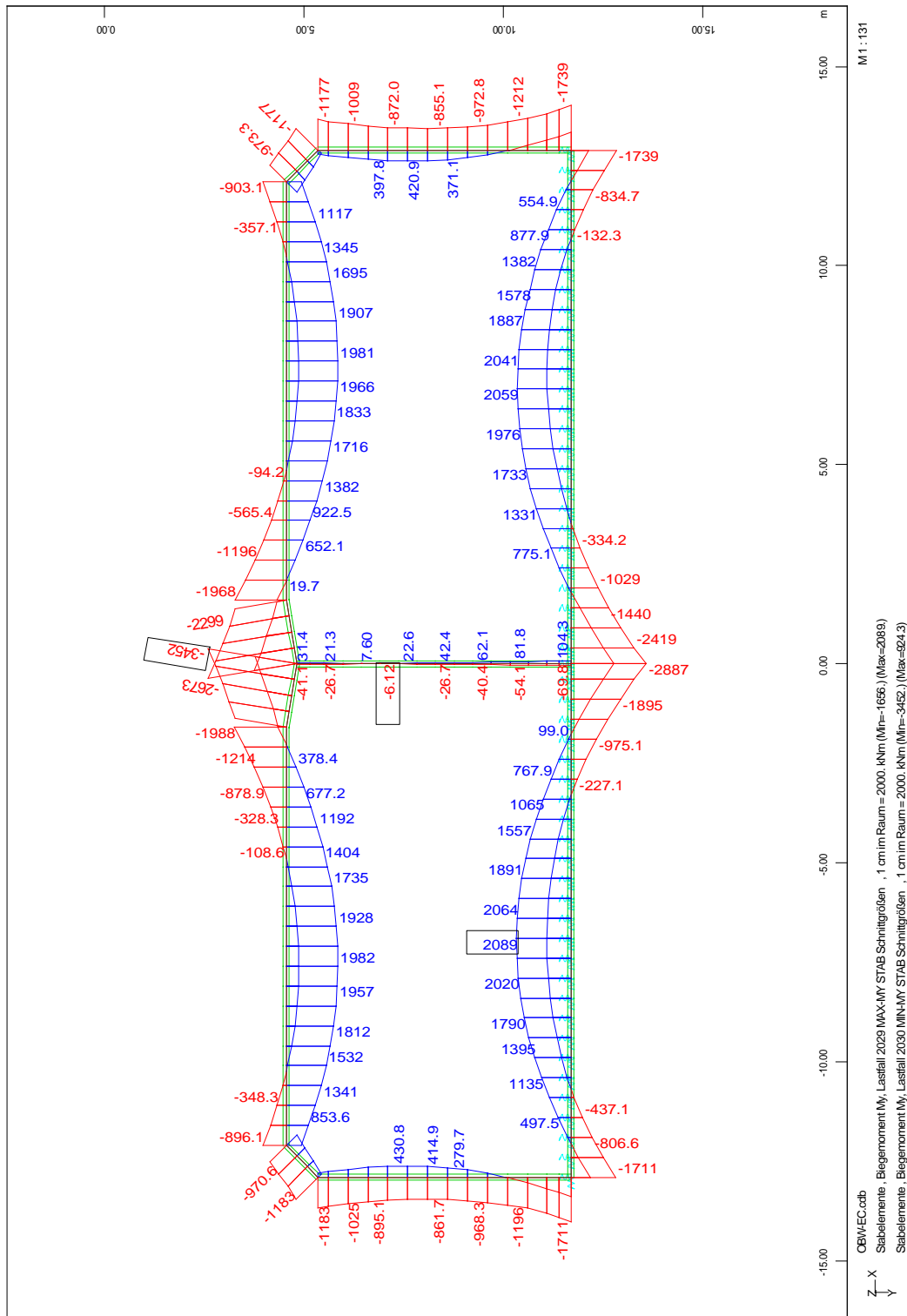


Bild 3.2: Biegemomente LFK 2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 68
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

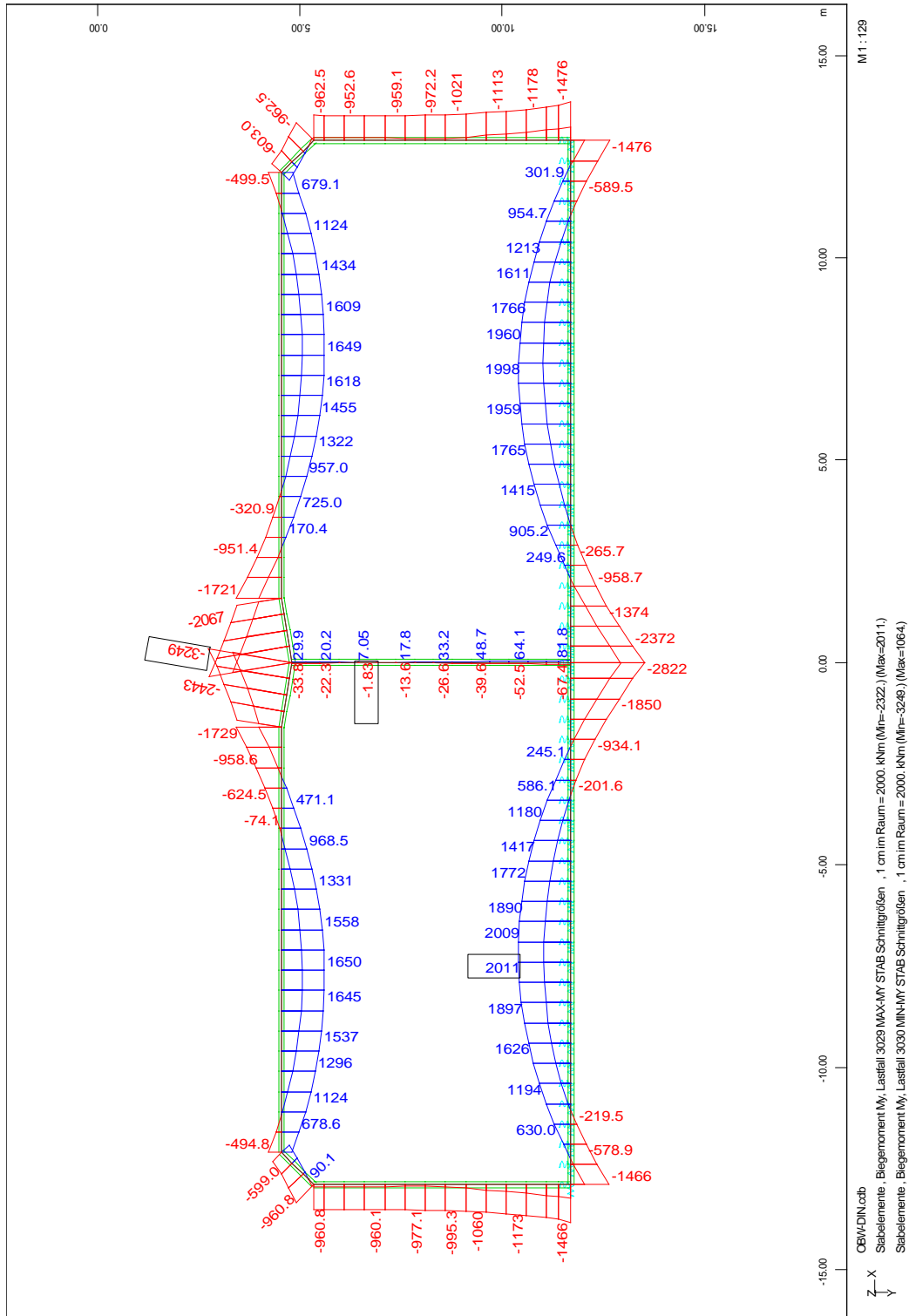


Bild 3.3: Biegemomente LFK 3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 69
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

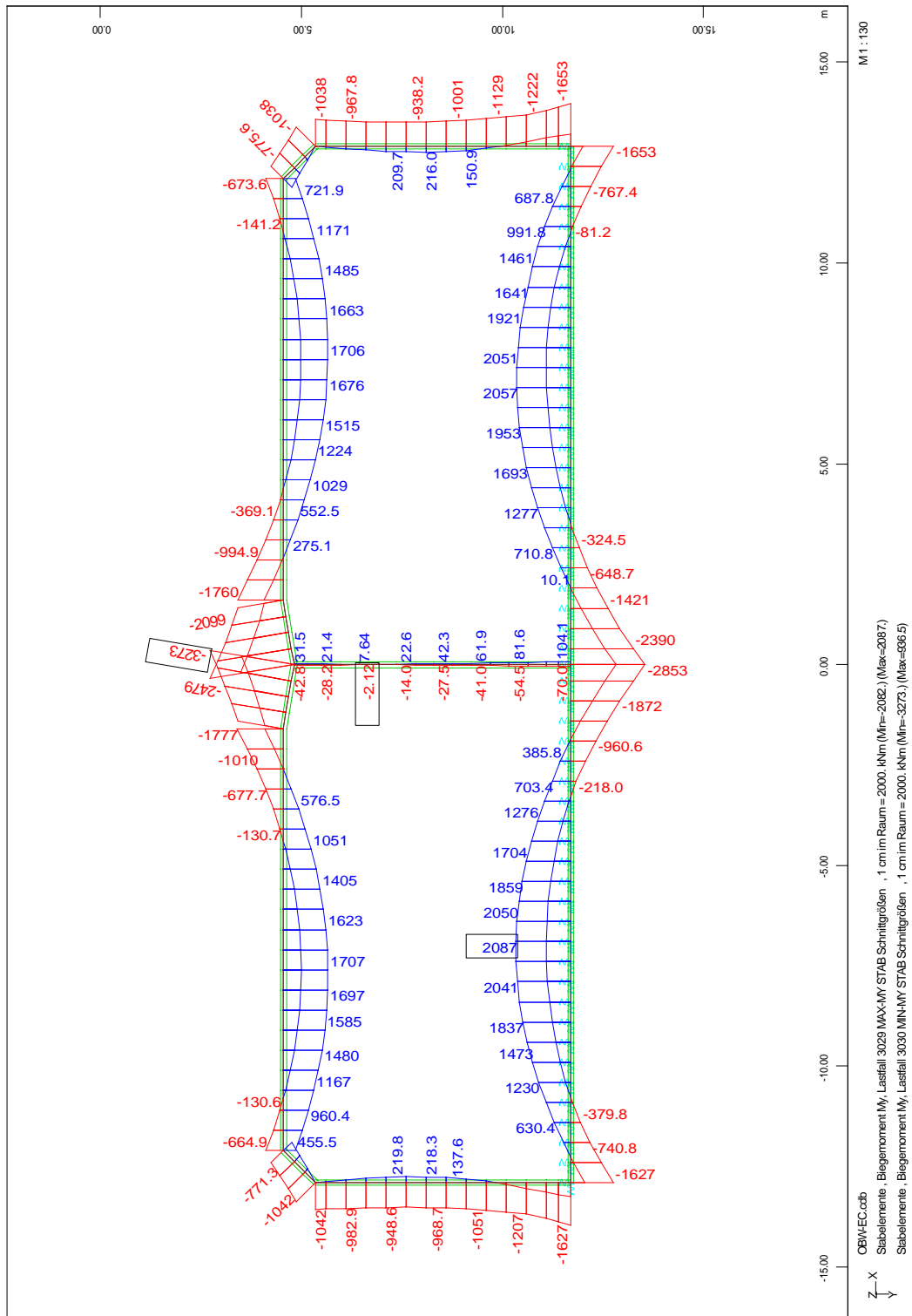


Bild 3.3: Biegemomente LFK 3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 70
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

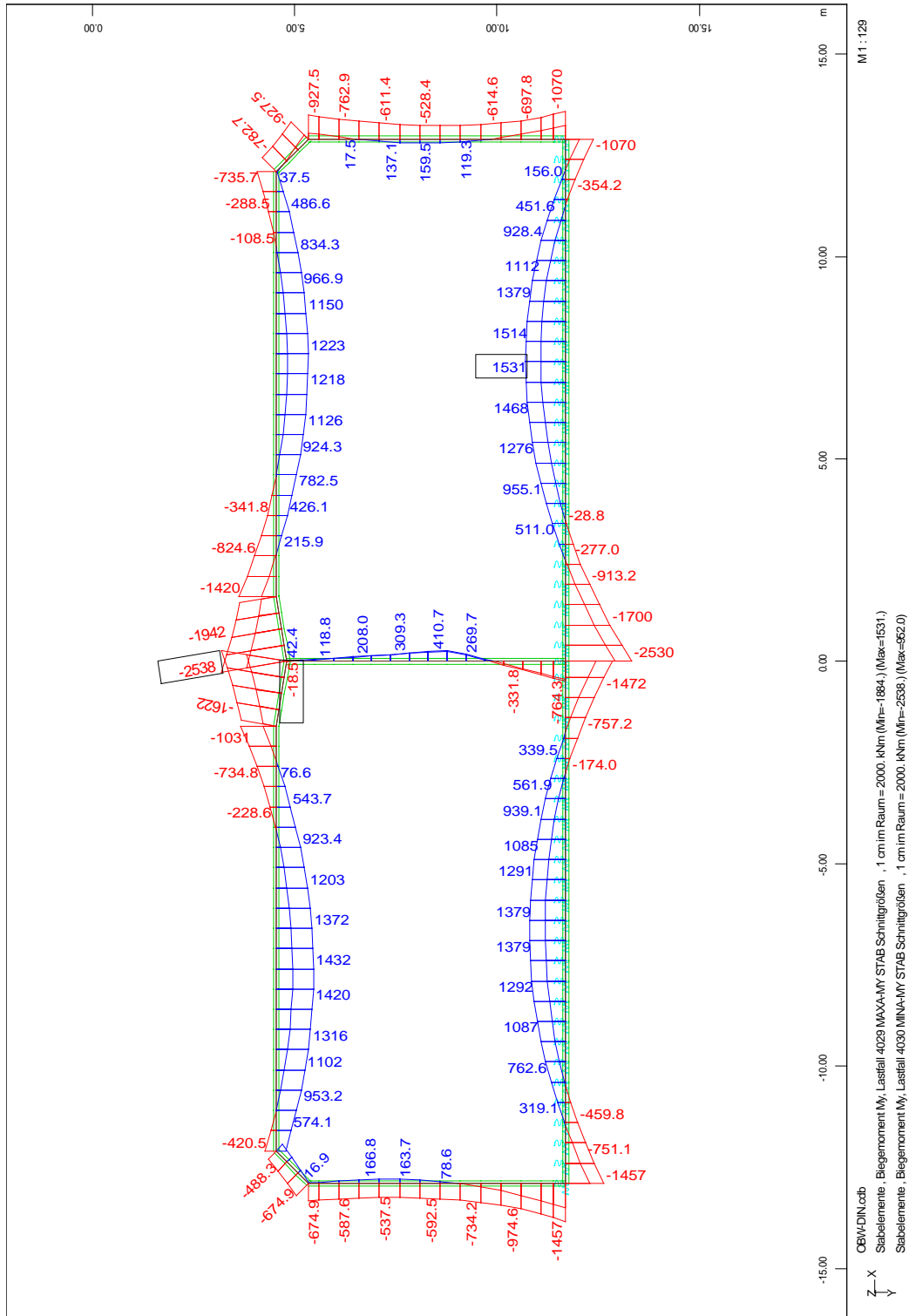


Bild 3.4: Biegemomente LFK 4

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 71
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

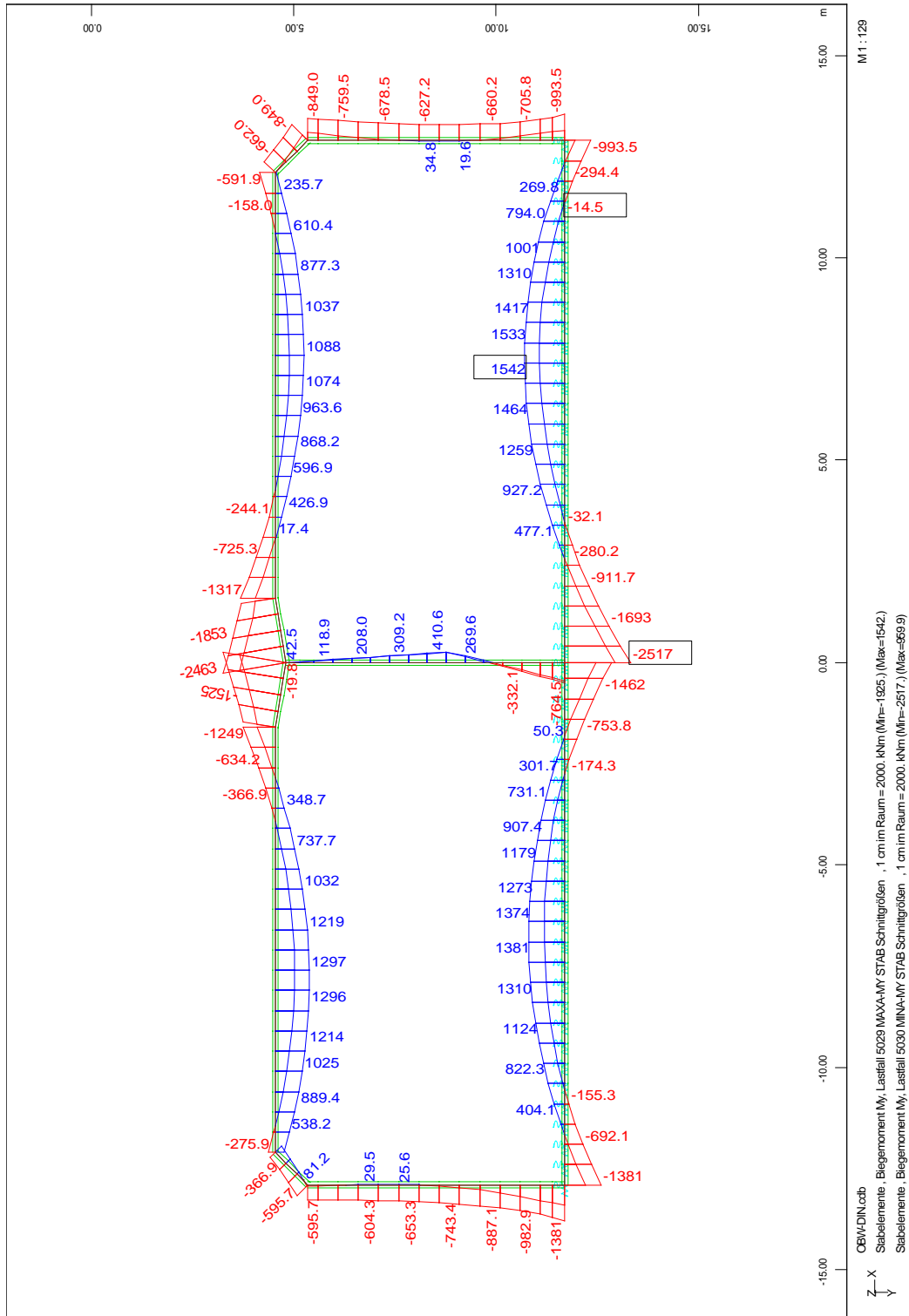


Bild 3.5: Biegemomente LFK 5

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 73
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

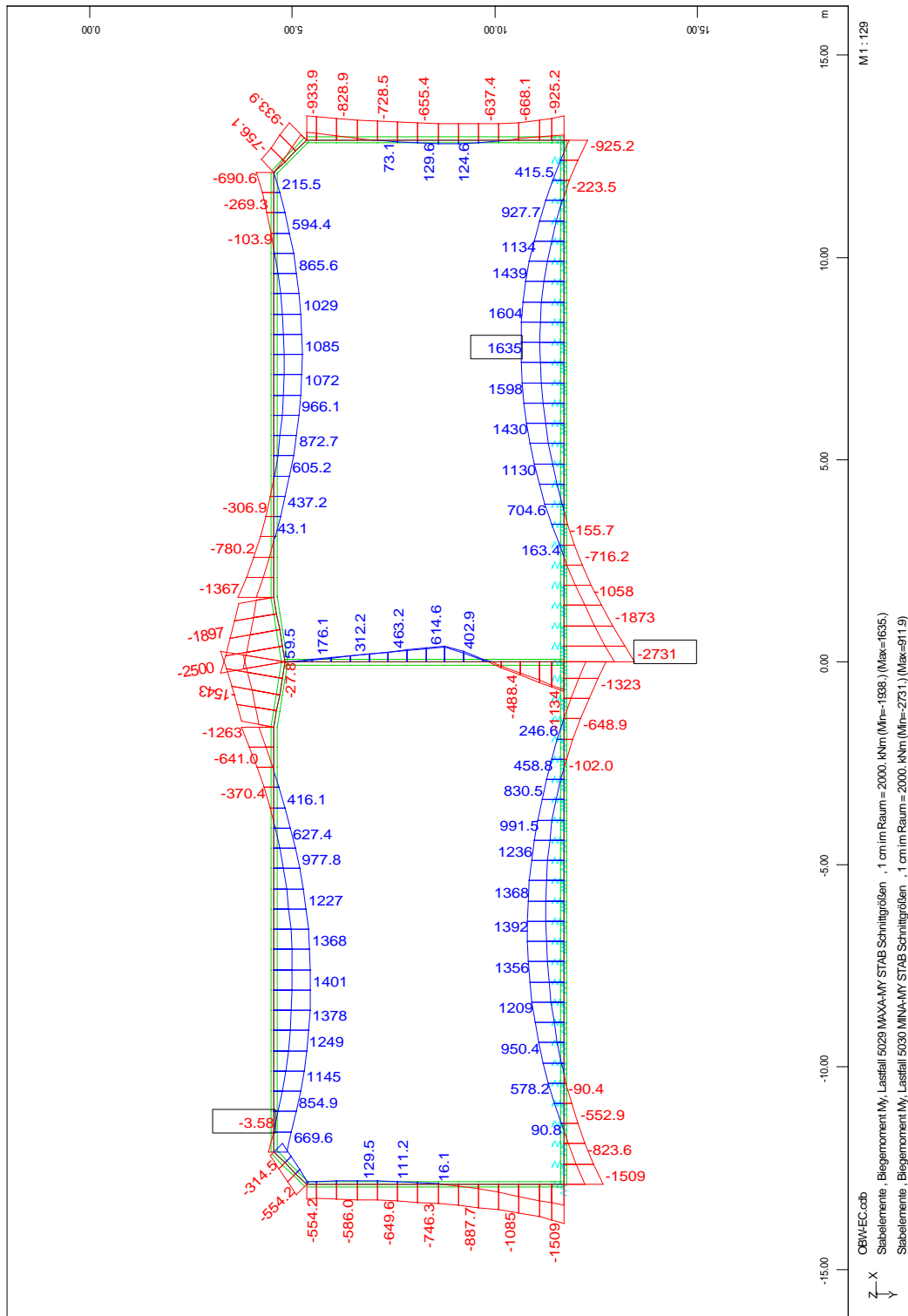


Bild 3.5: Biegemomente LFK 5

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 74
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

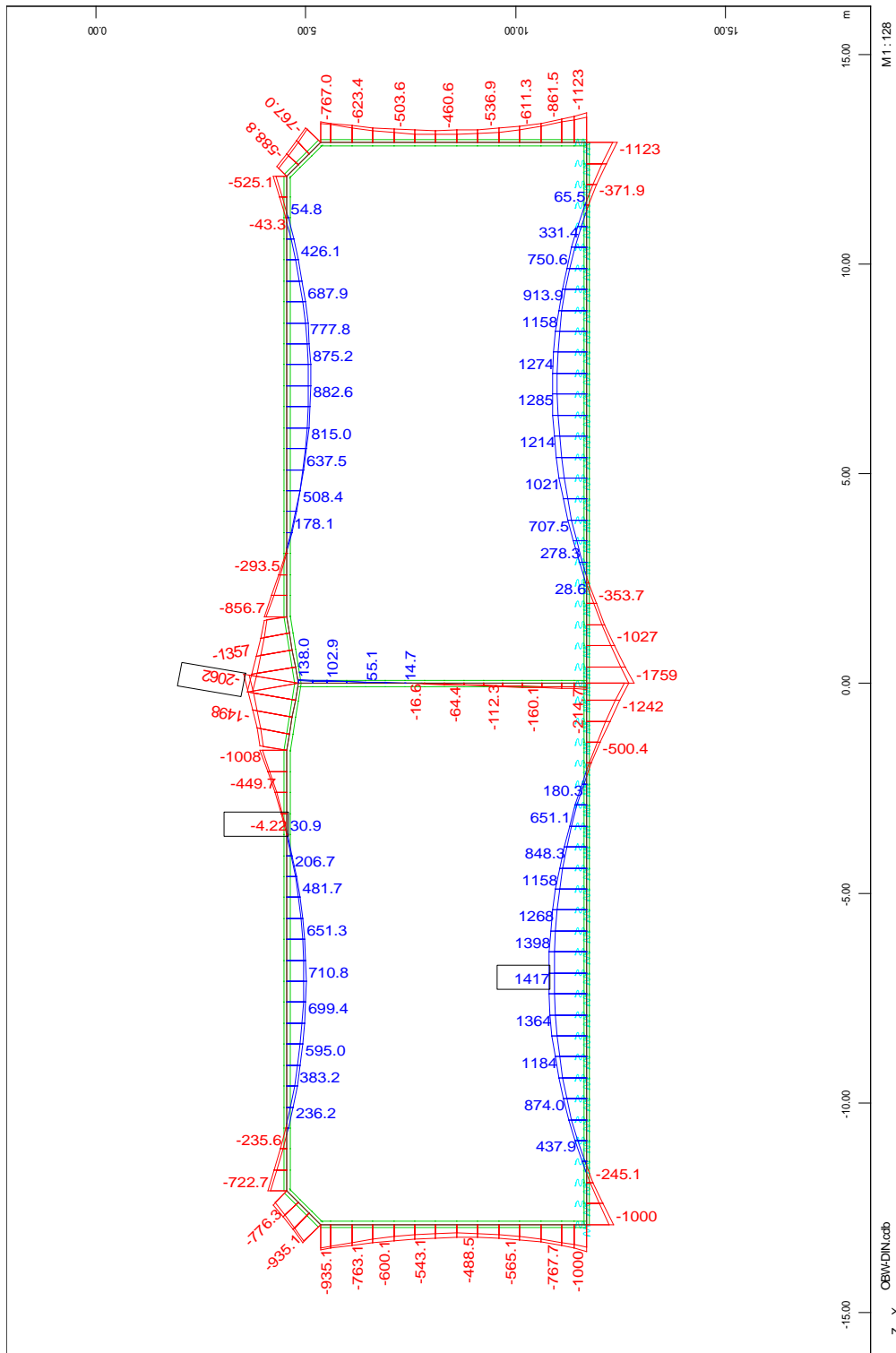


Bild 3.6: Biegemomente LFK 6

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 75
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

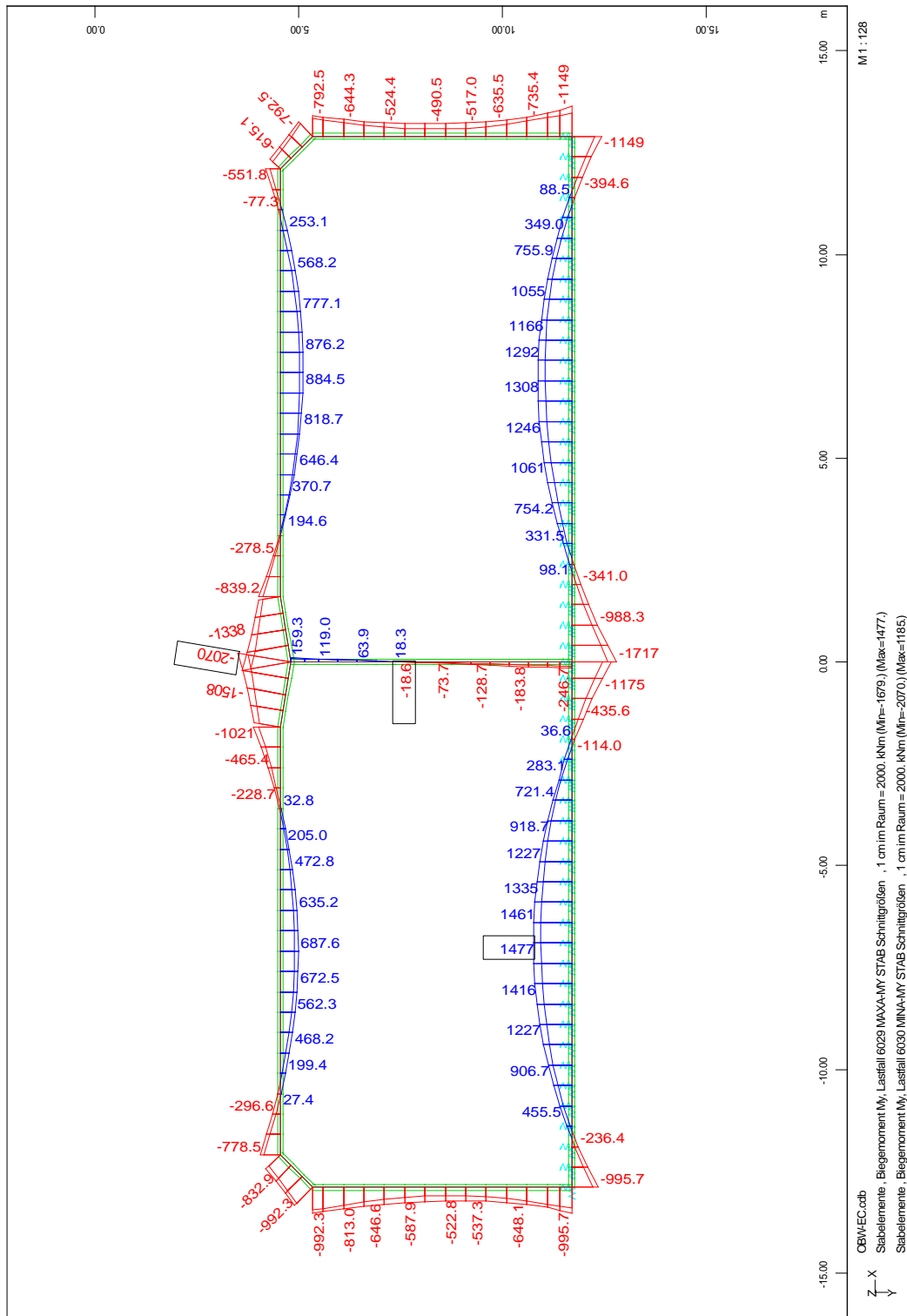


Bild 3.6: Biegemomente LFK 6

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 76
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

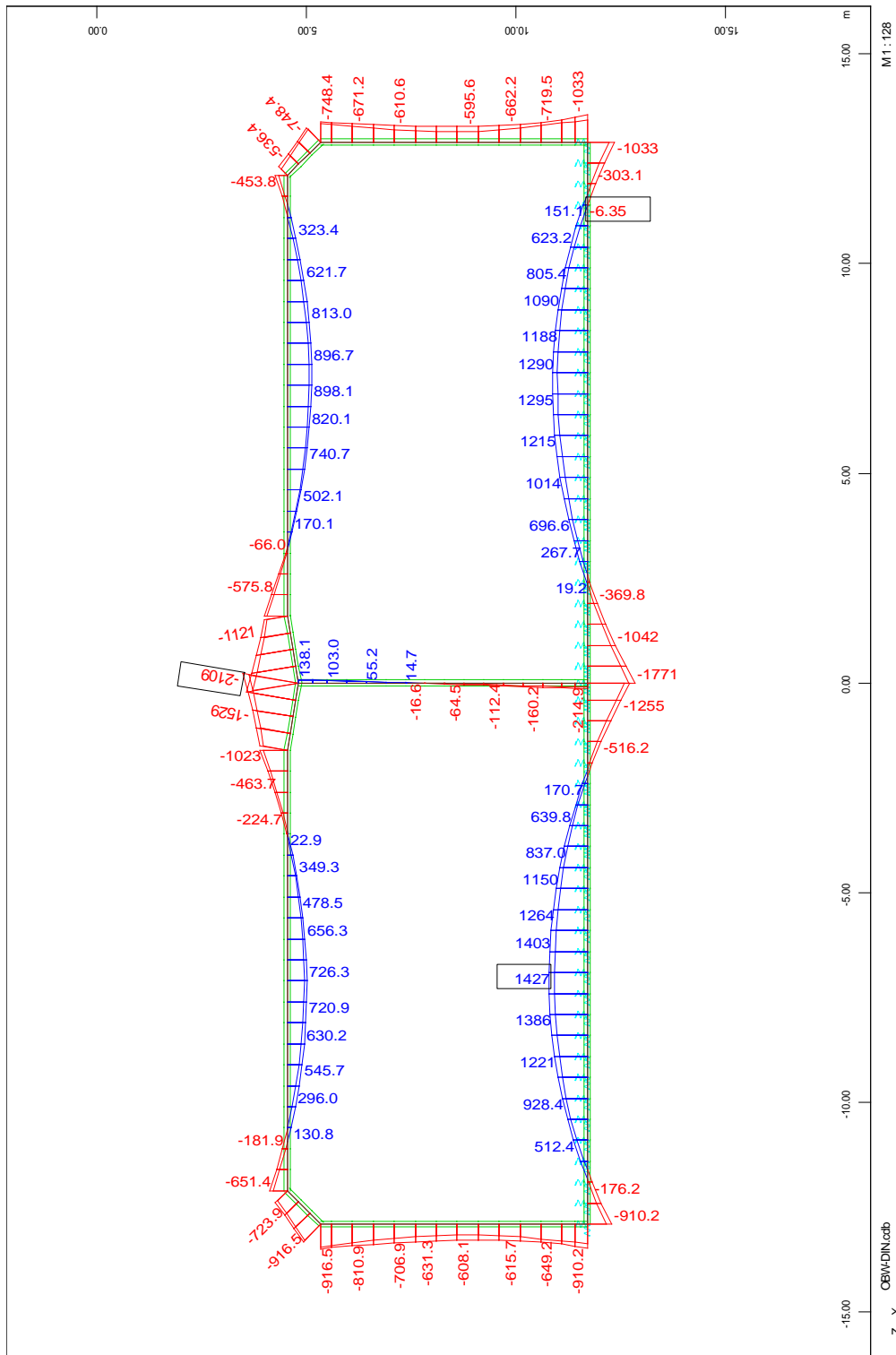


Bild 3.7: Biegemomente LFK 7

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 77
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

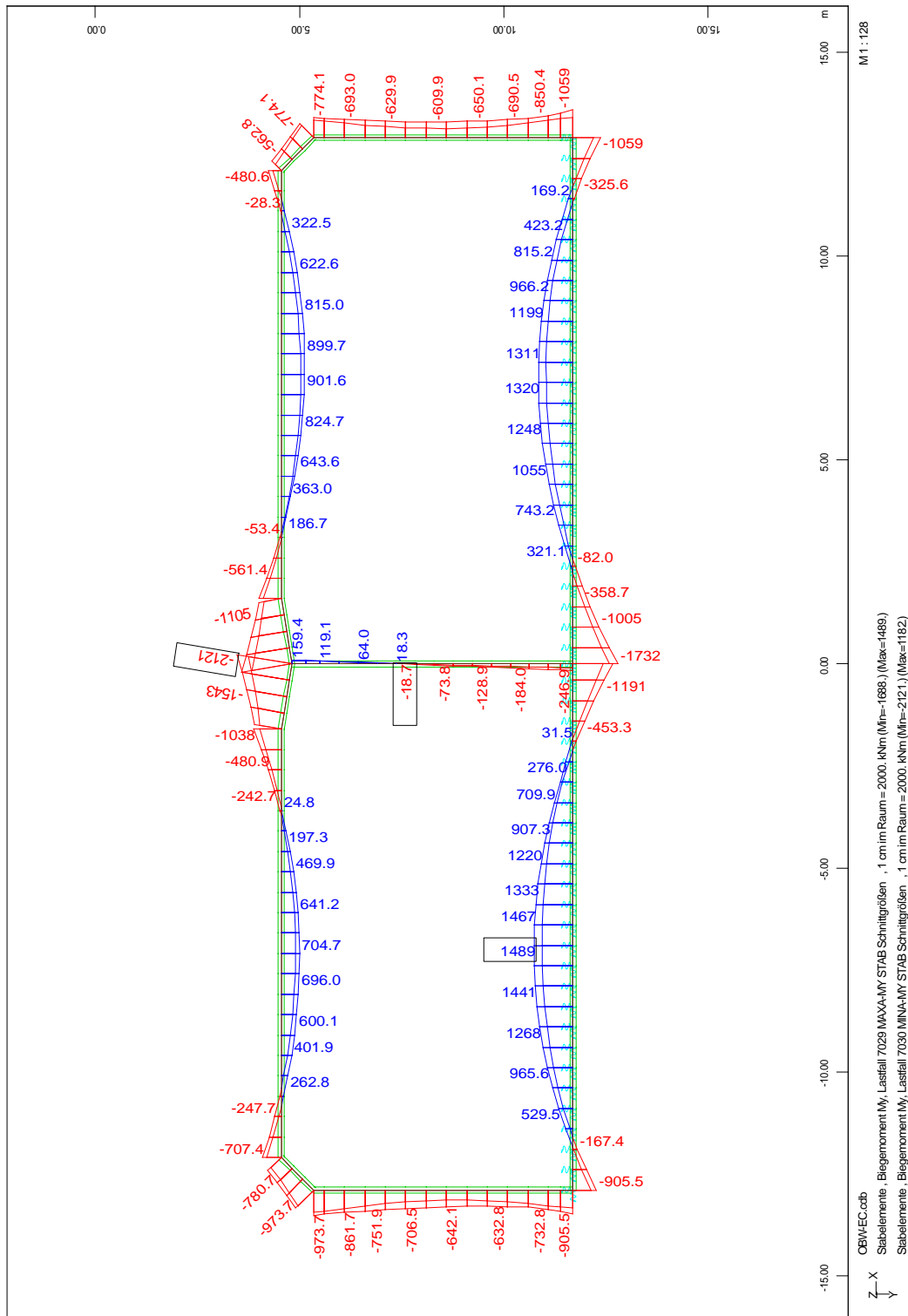


Bild 3.7: Biegemomente LFK 7

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 78
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

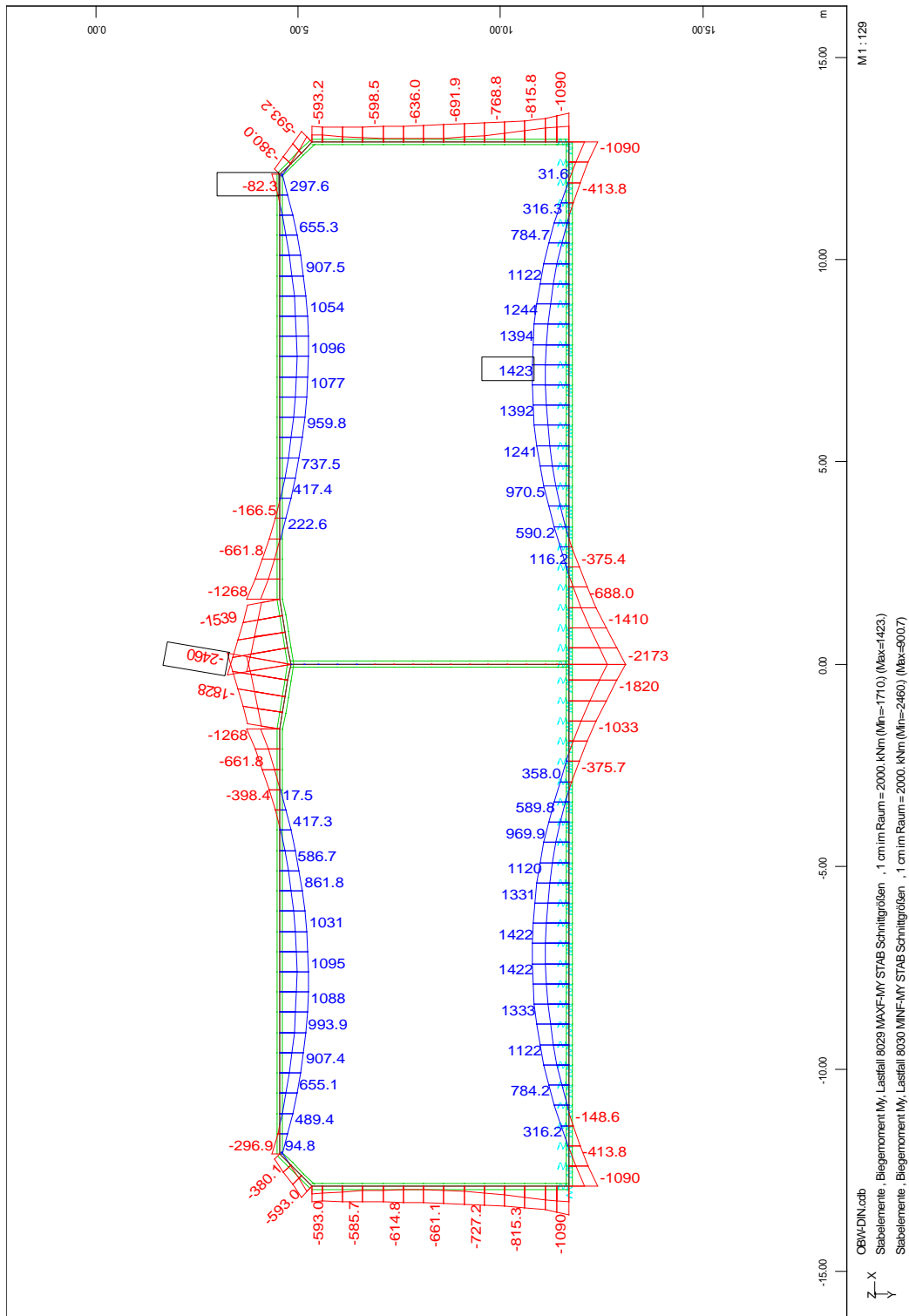


Bild 3.8: Biegemomente LFK 8

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 79
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

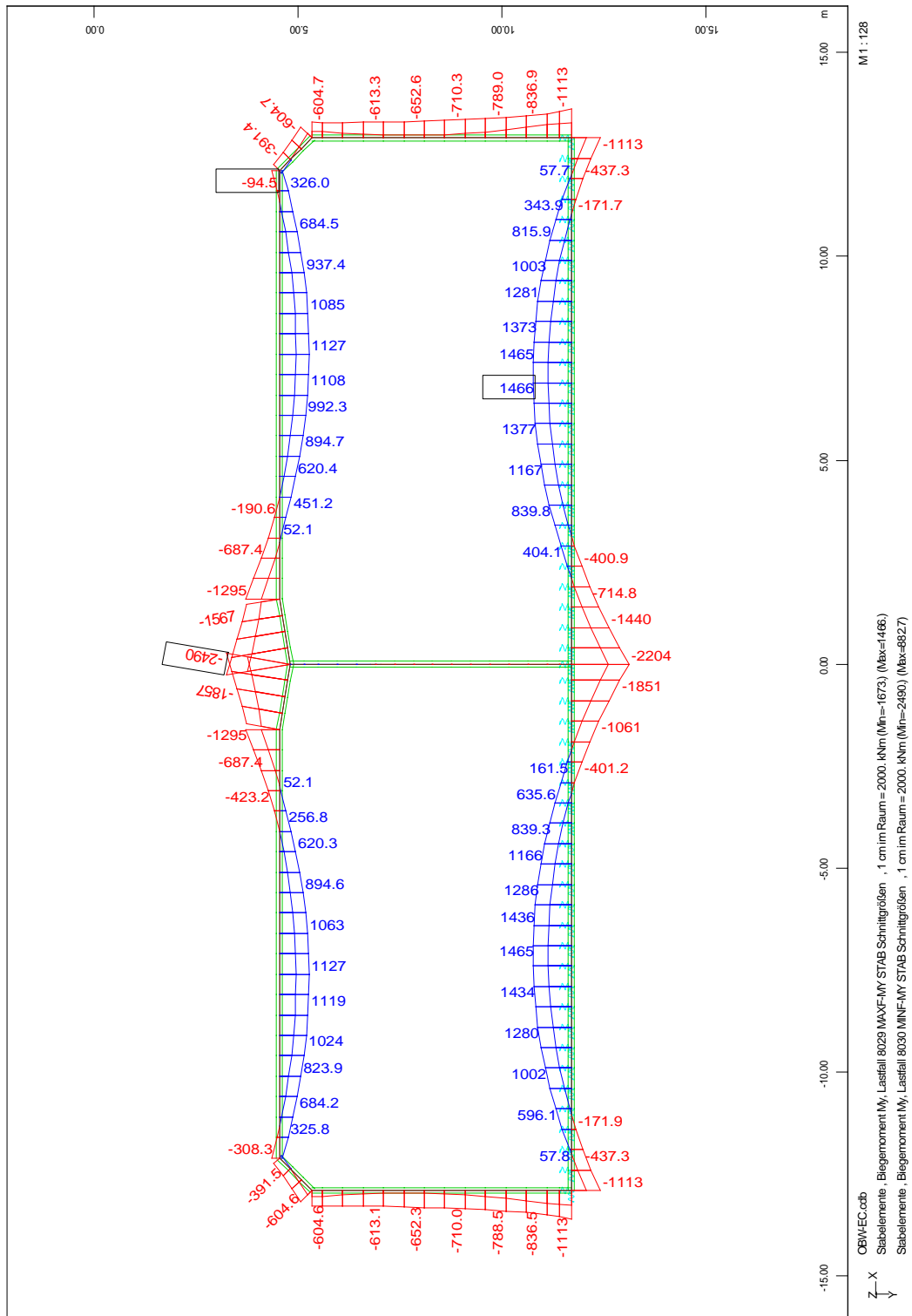


Bild 3.8: Biegemomente LFK 8

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 80
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

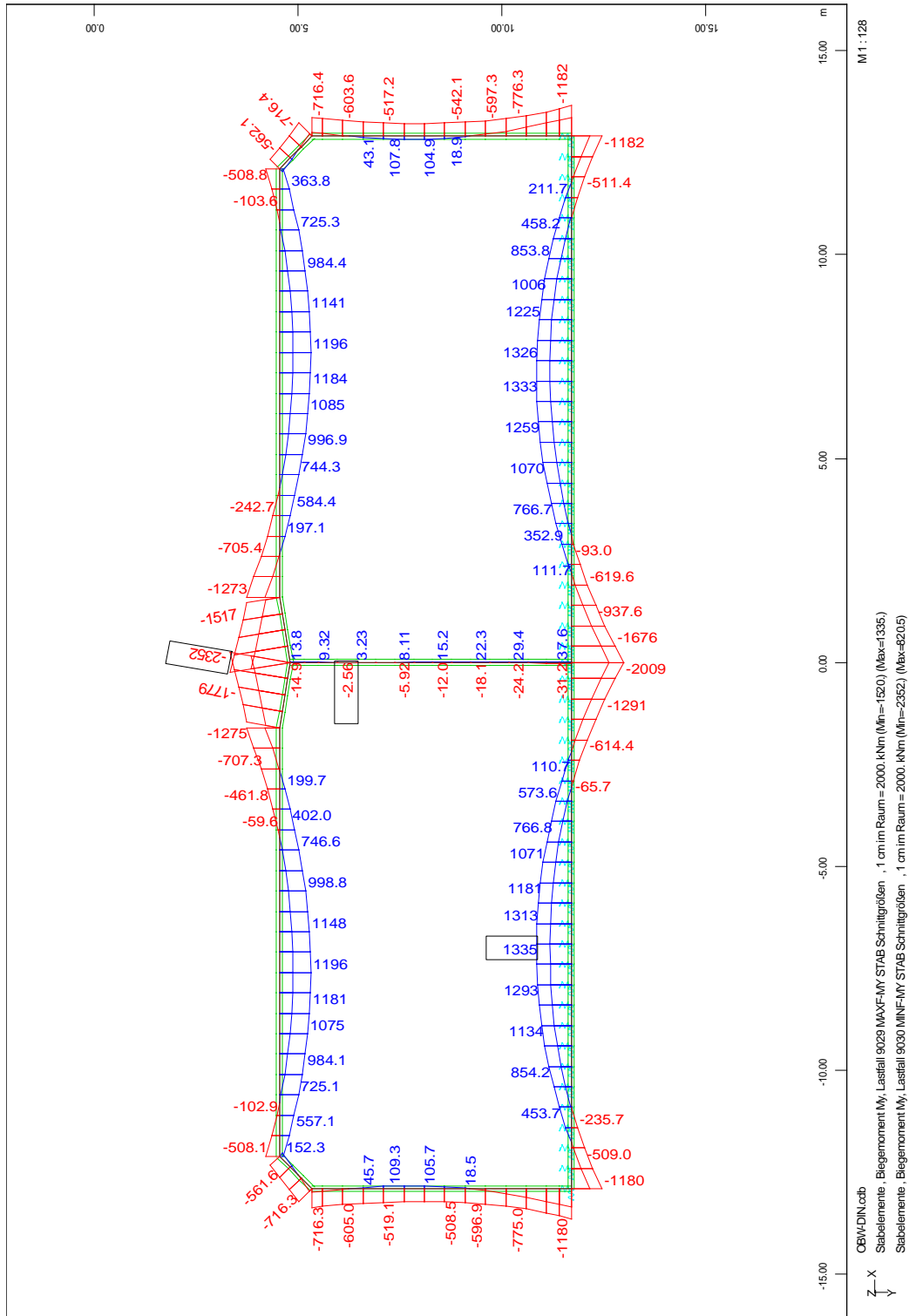


Bild 3.9: Biegemomente LFK 9

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 81
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

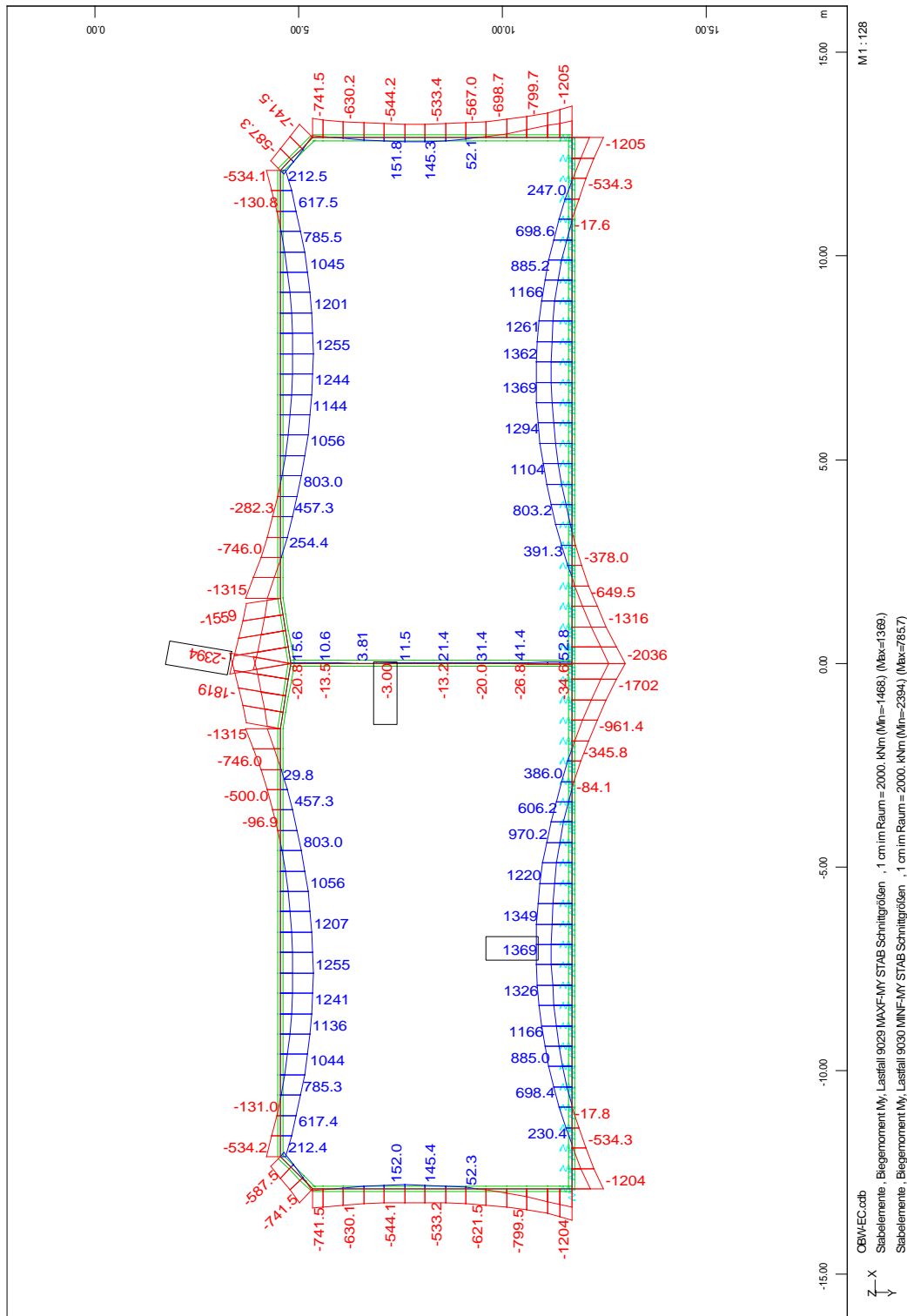


Bild 3.9: Biegemomente LFK 9

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 82
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

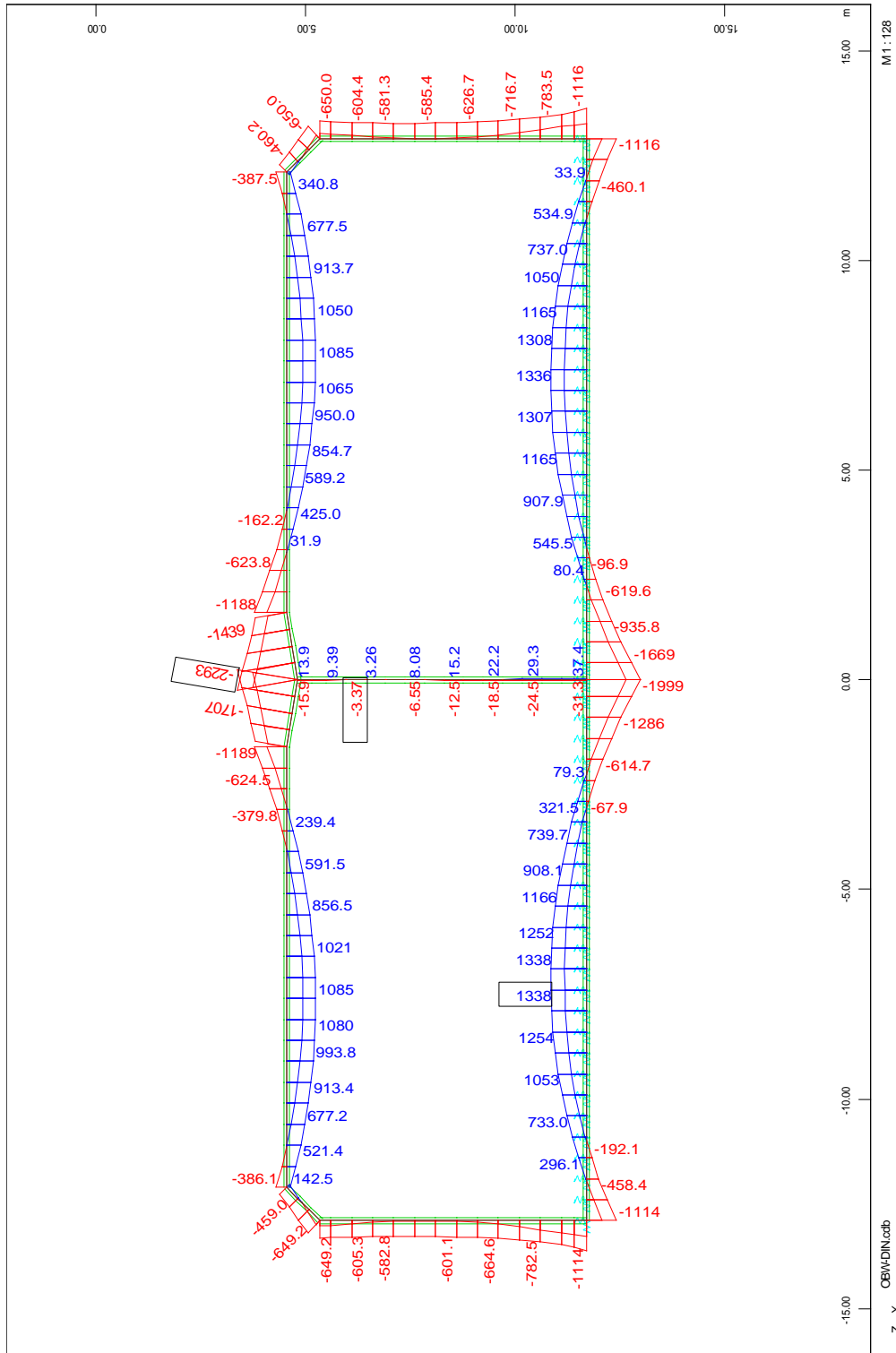


Bild 3.10: Biegemomente LFK 10

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 83
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

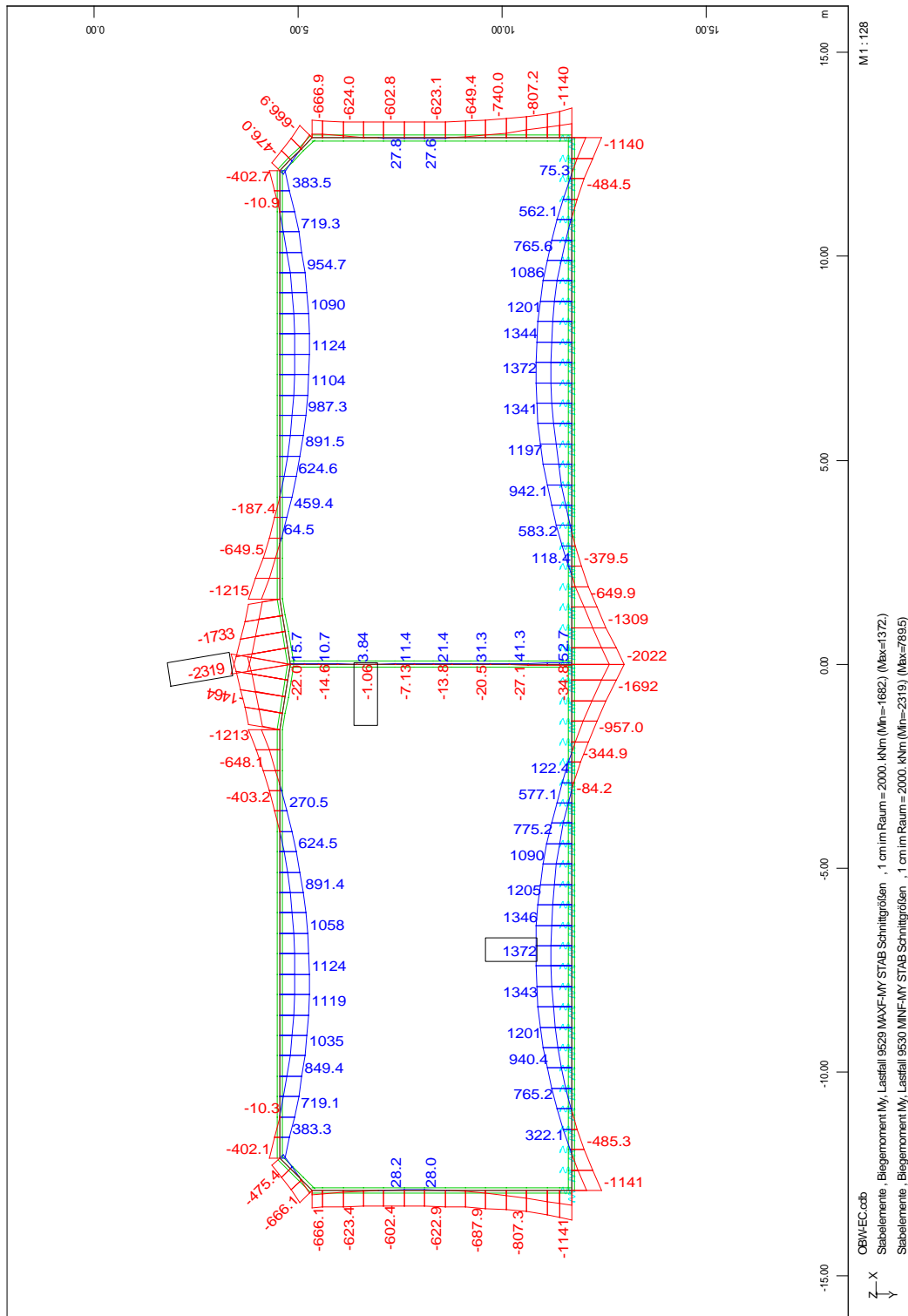


Bild 3.10: Biegemomente LFK 10

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 84
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

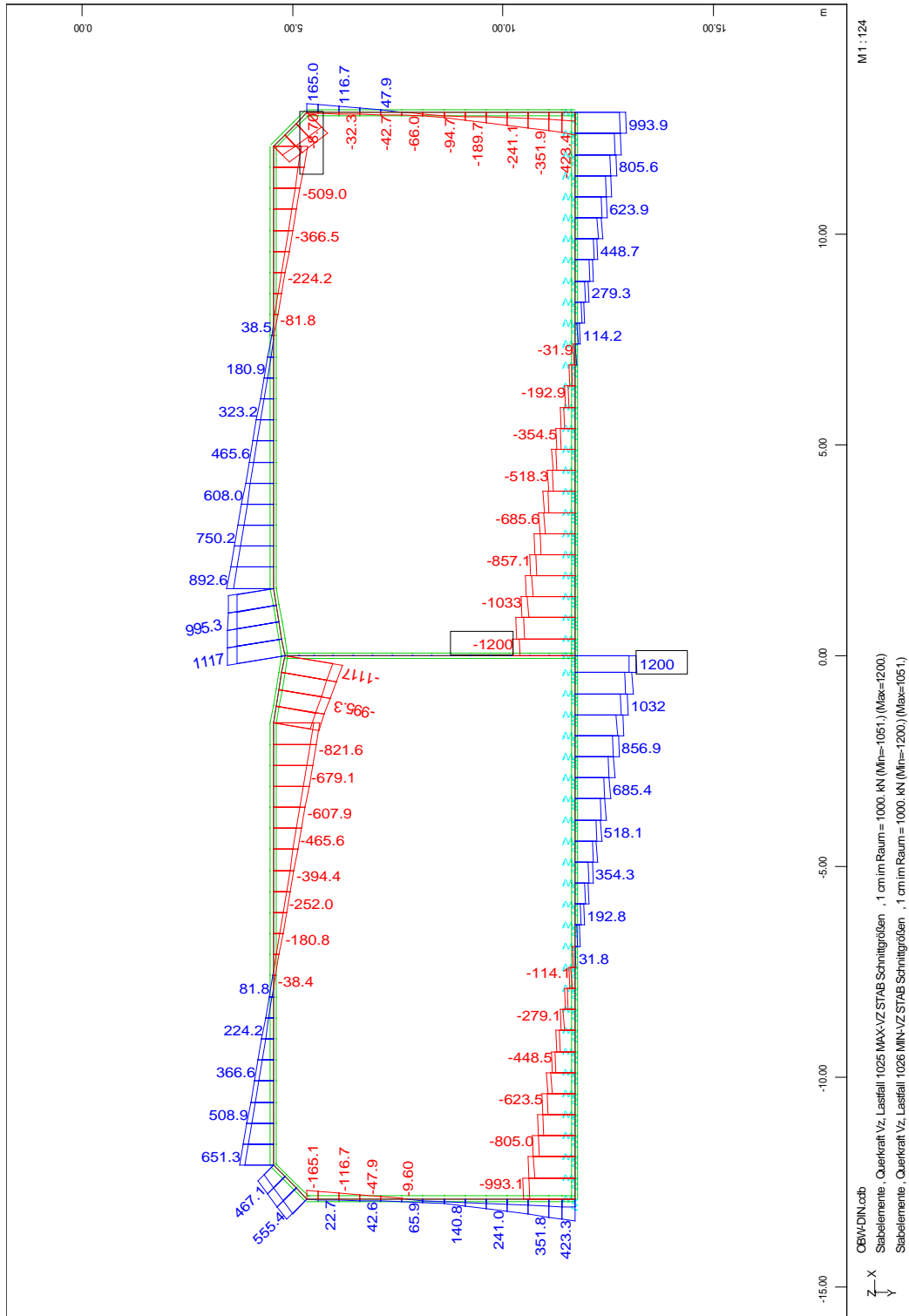


Bild 3.11: Querkräfte LFK 1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 85
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

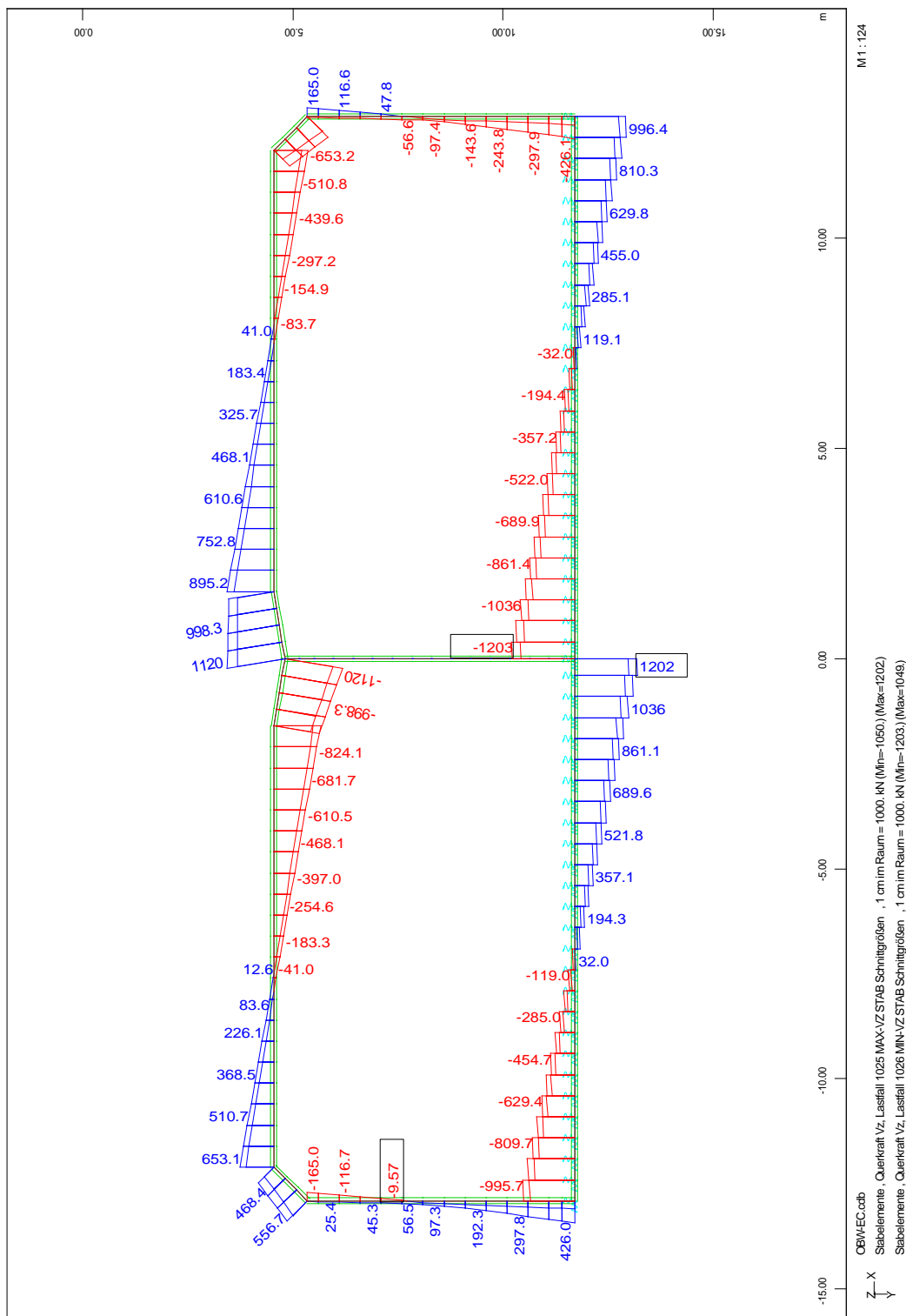


Bild 3.11: Querkräfte LFK 1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 86
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

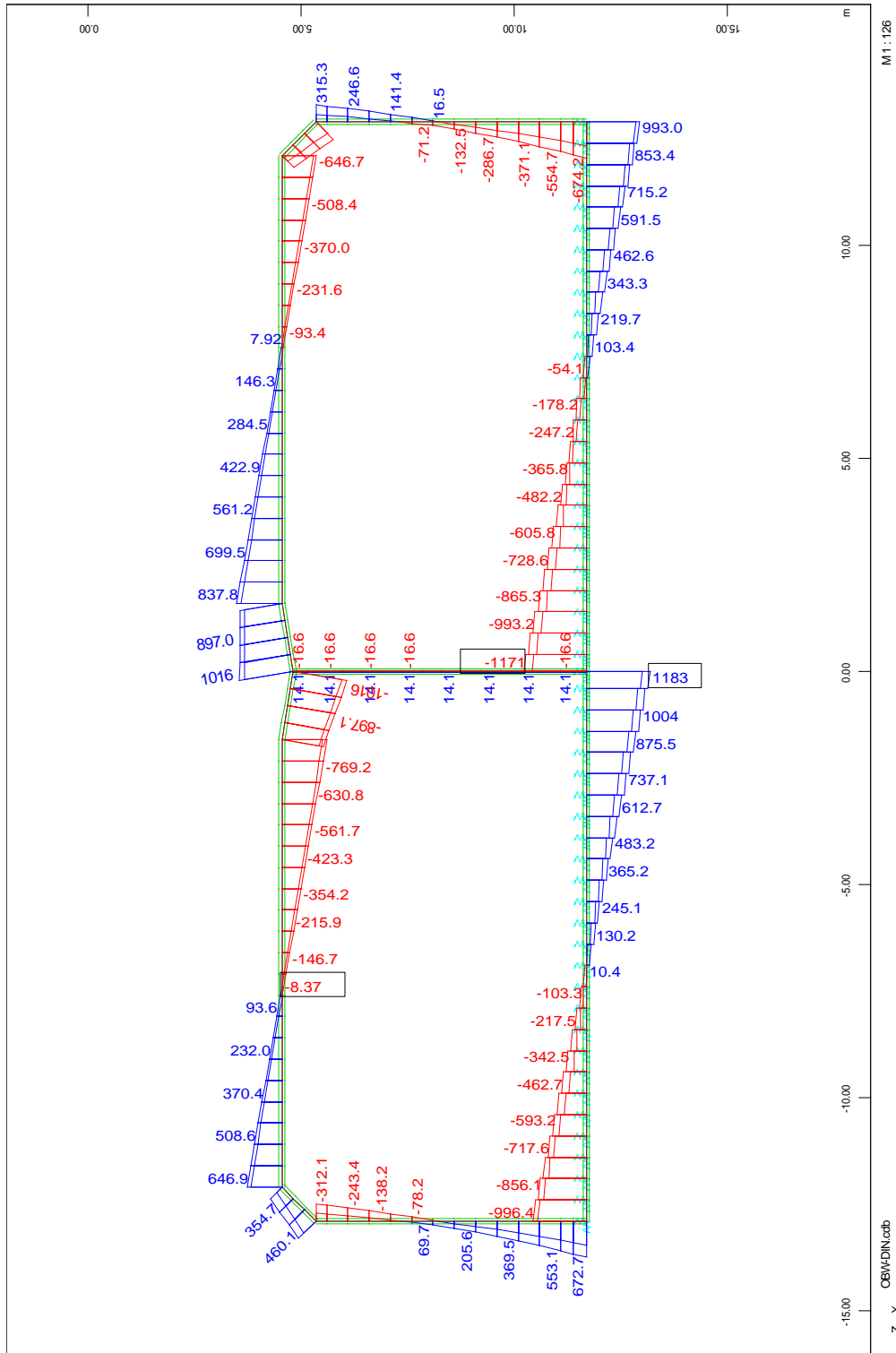


Bild 3.12: Querkräfte LFK 2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 87
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

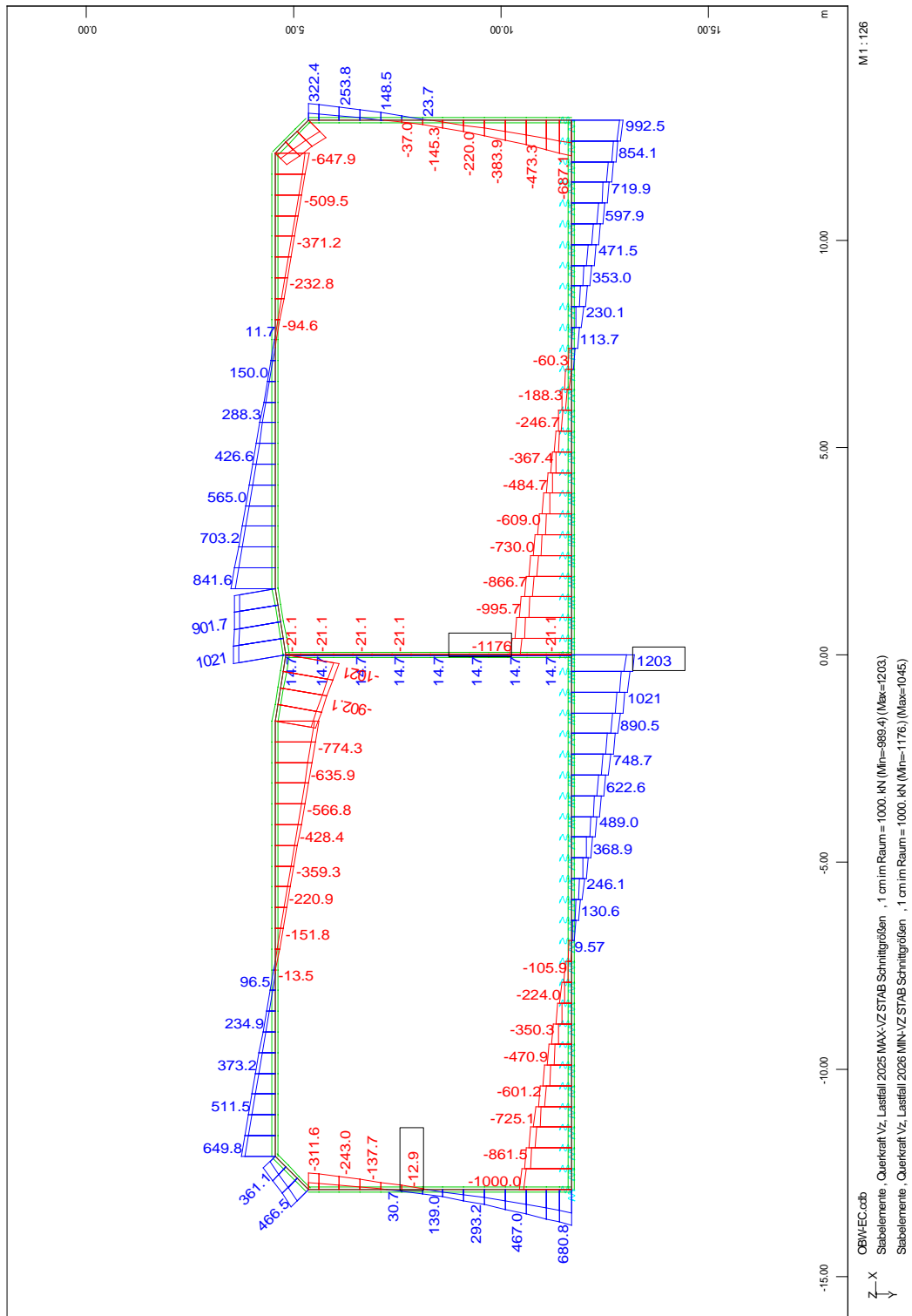


Bild 3.12: Querkräfte LFK 2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 88
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

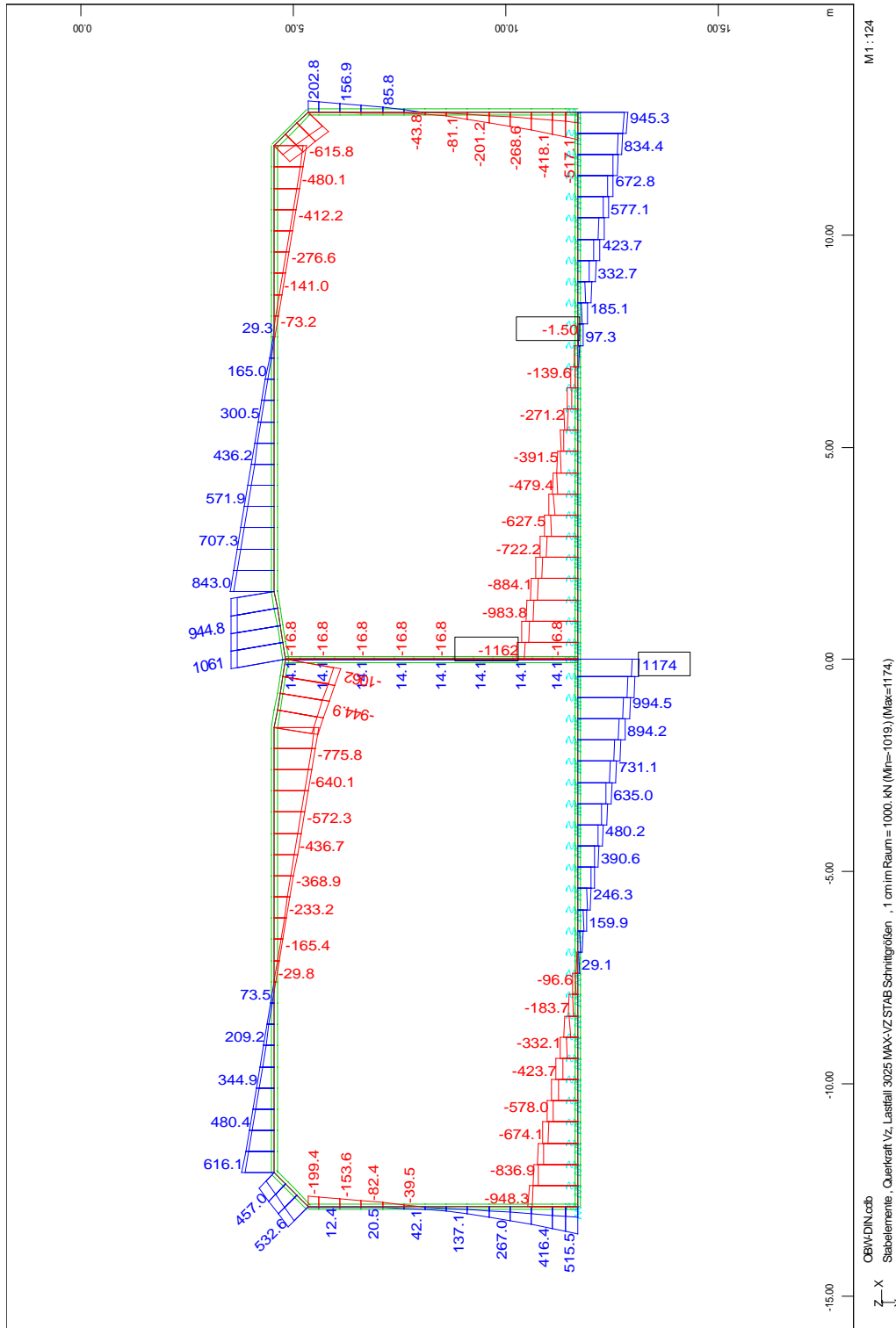


Bild 3.13: Querkräfte LFK 3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 89
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

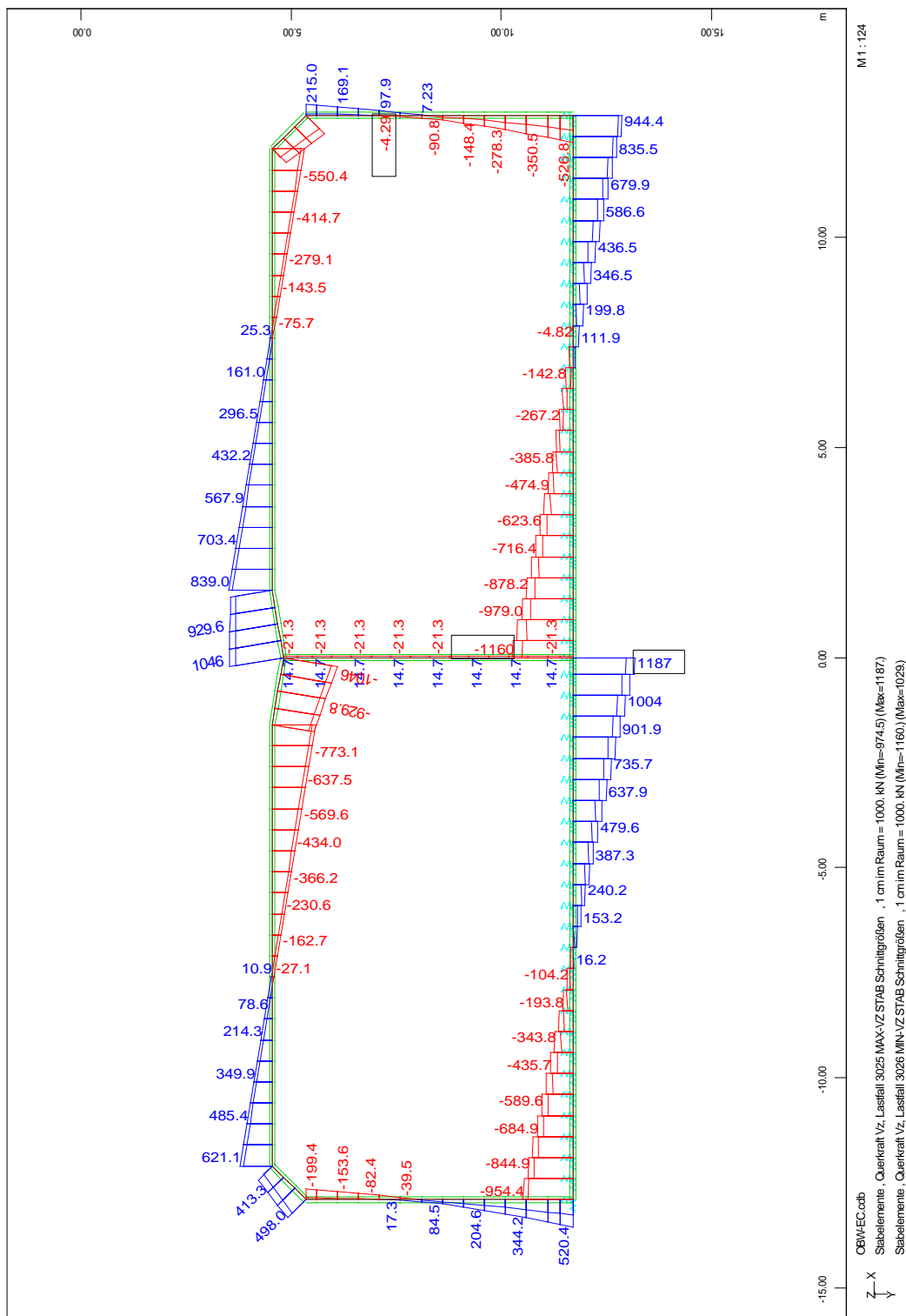


Bild 3.13: Querkräfte LFK 3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 90
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

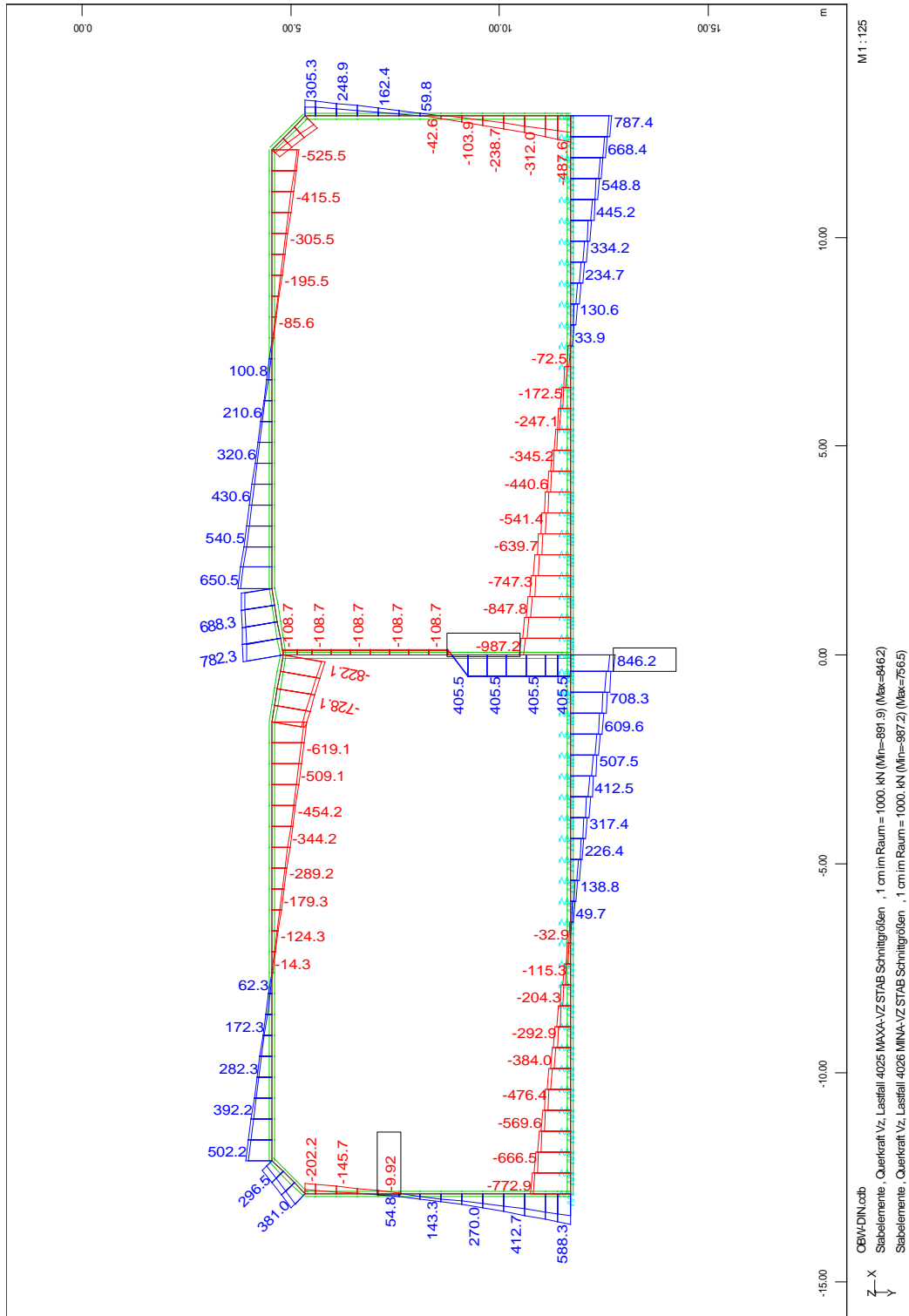


Bild 3.14: Querkräfte LFK 4

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 91
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

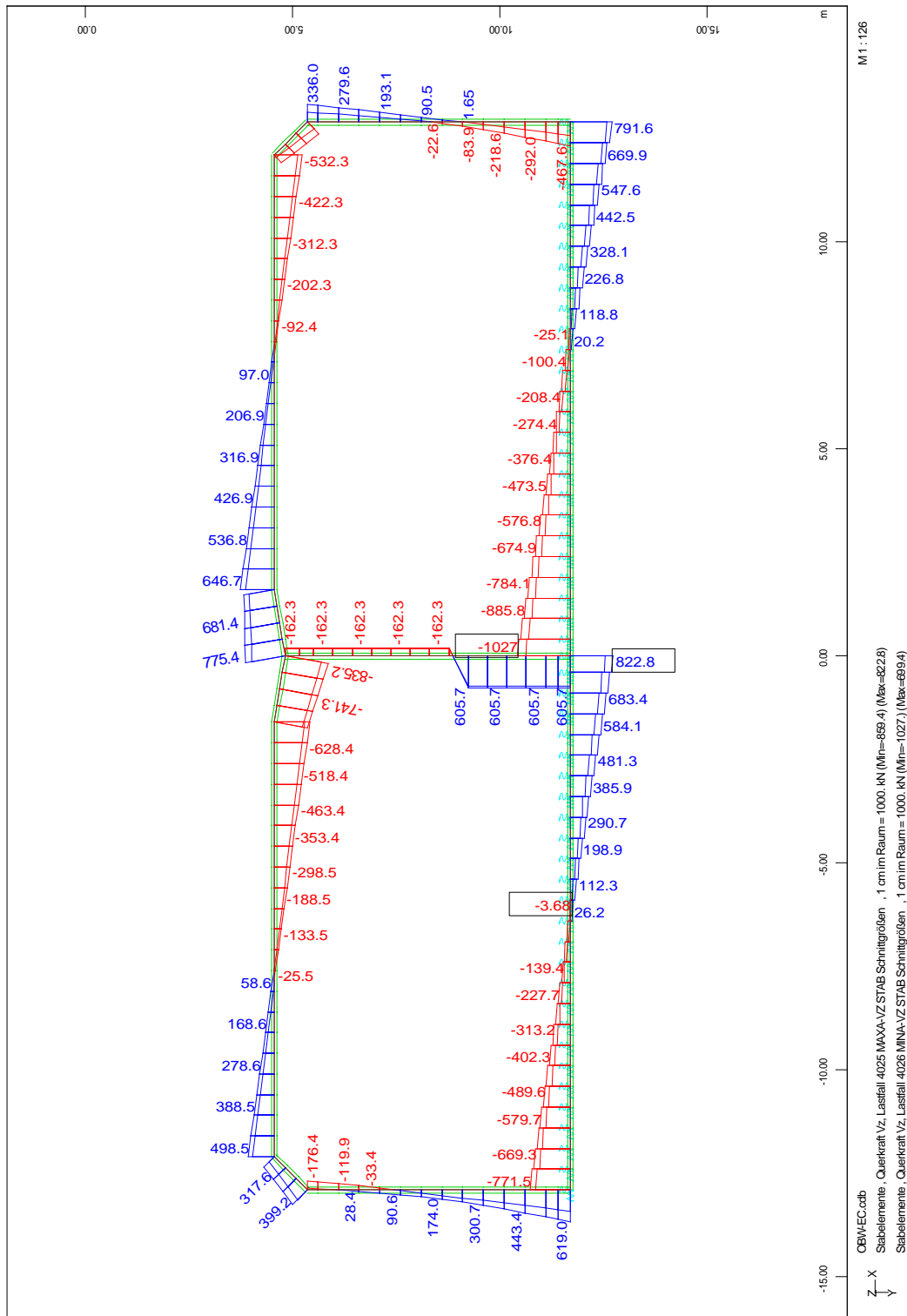


Bild 3.14: Querkräfte LFK 4

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 92
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

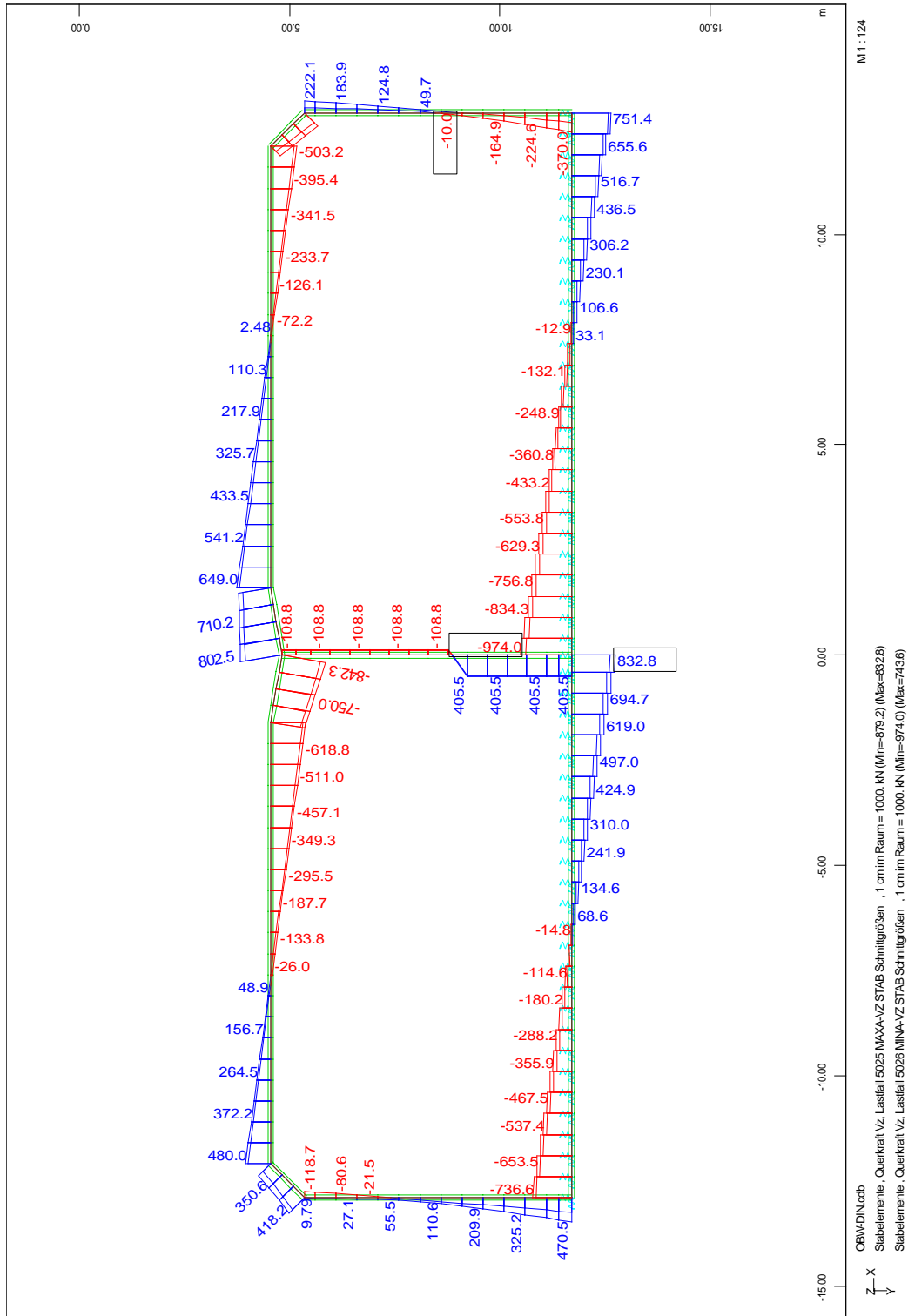


Bild 3.15: Querkräfte LFK 5

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 93
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

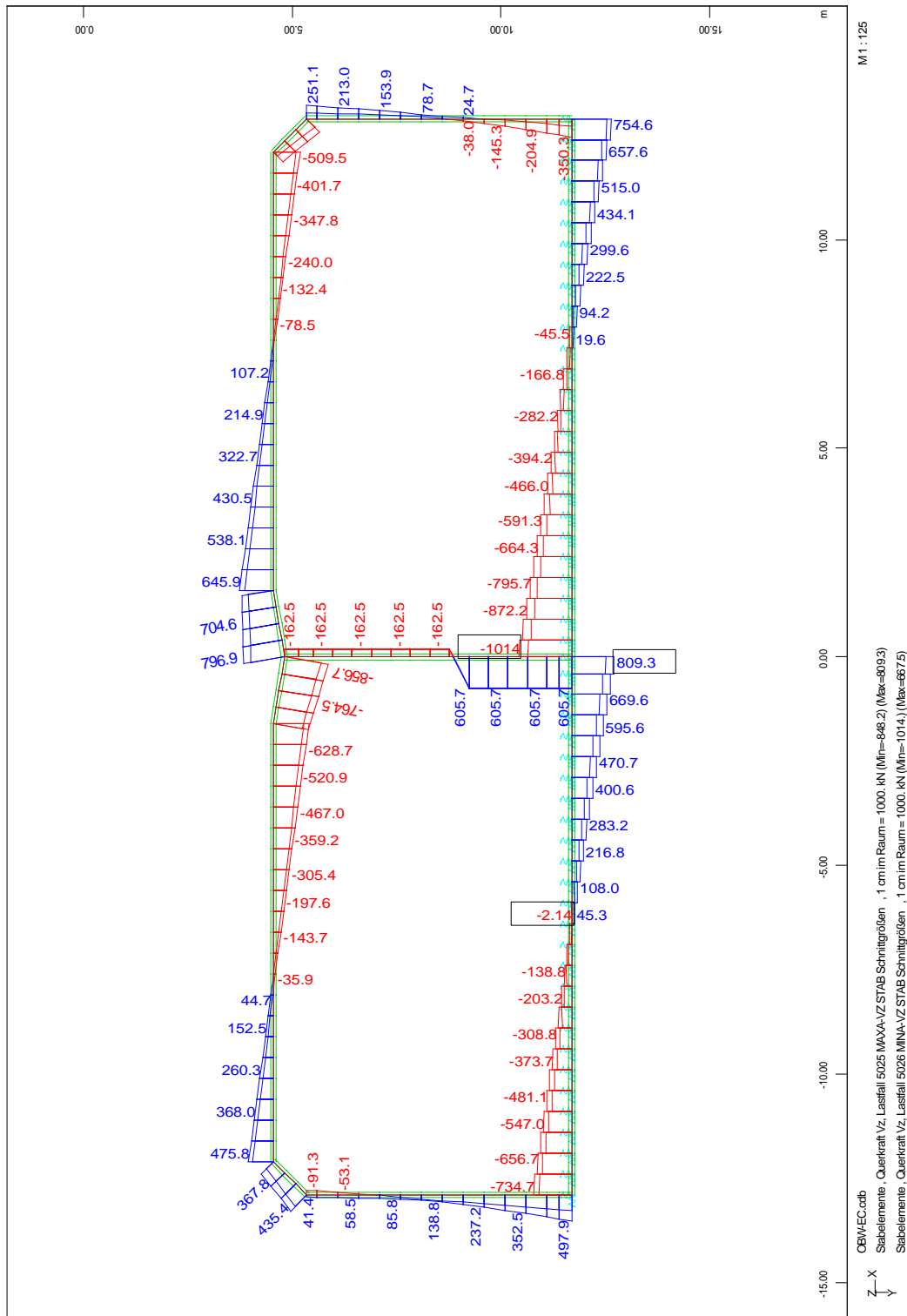


Bild 3.15: Querkräfte LFK 5

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 94
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

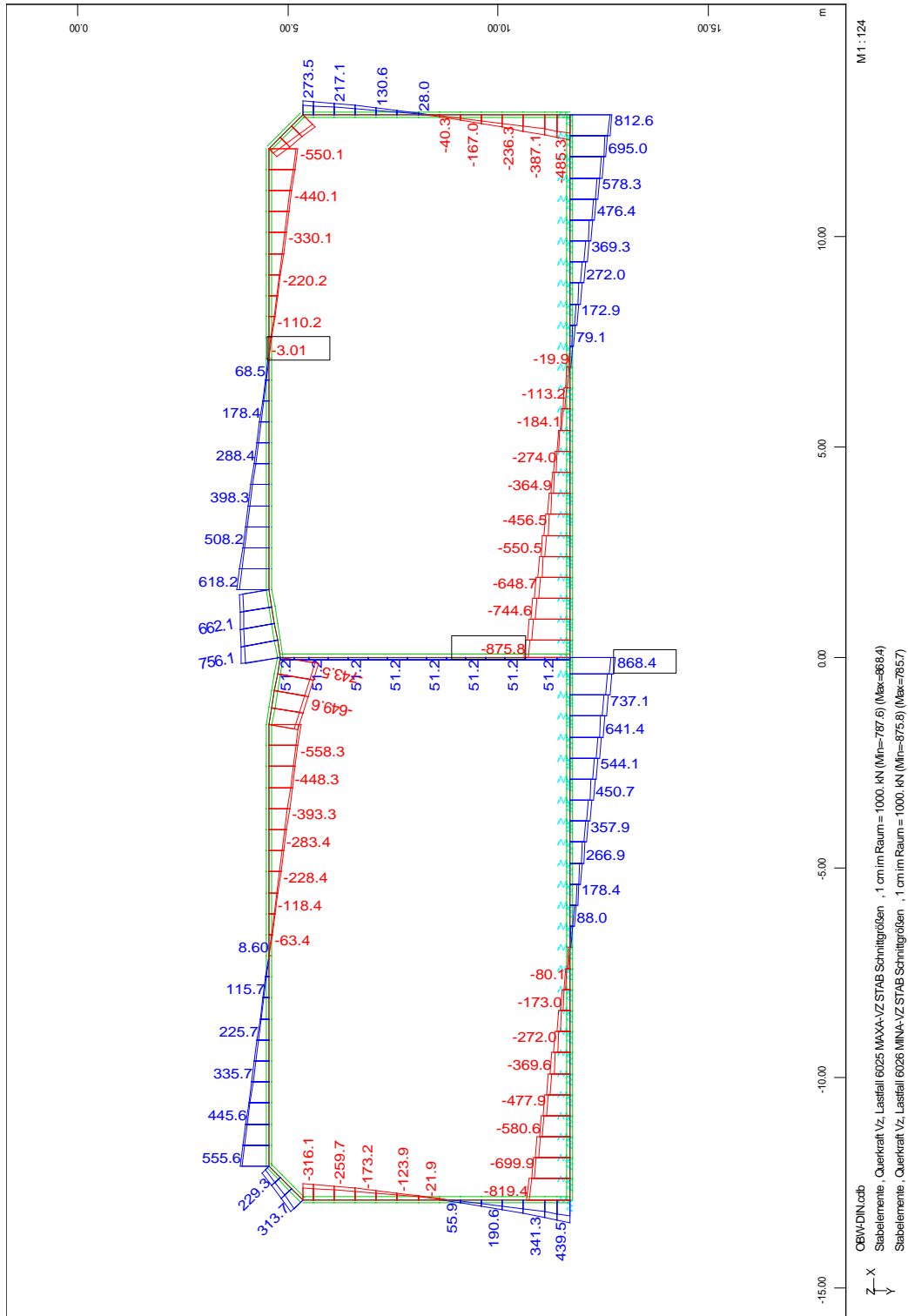


Bild 3.16: Querkräfte LFK 6

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 95
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

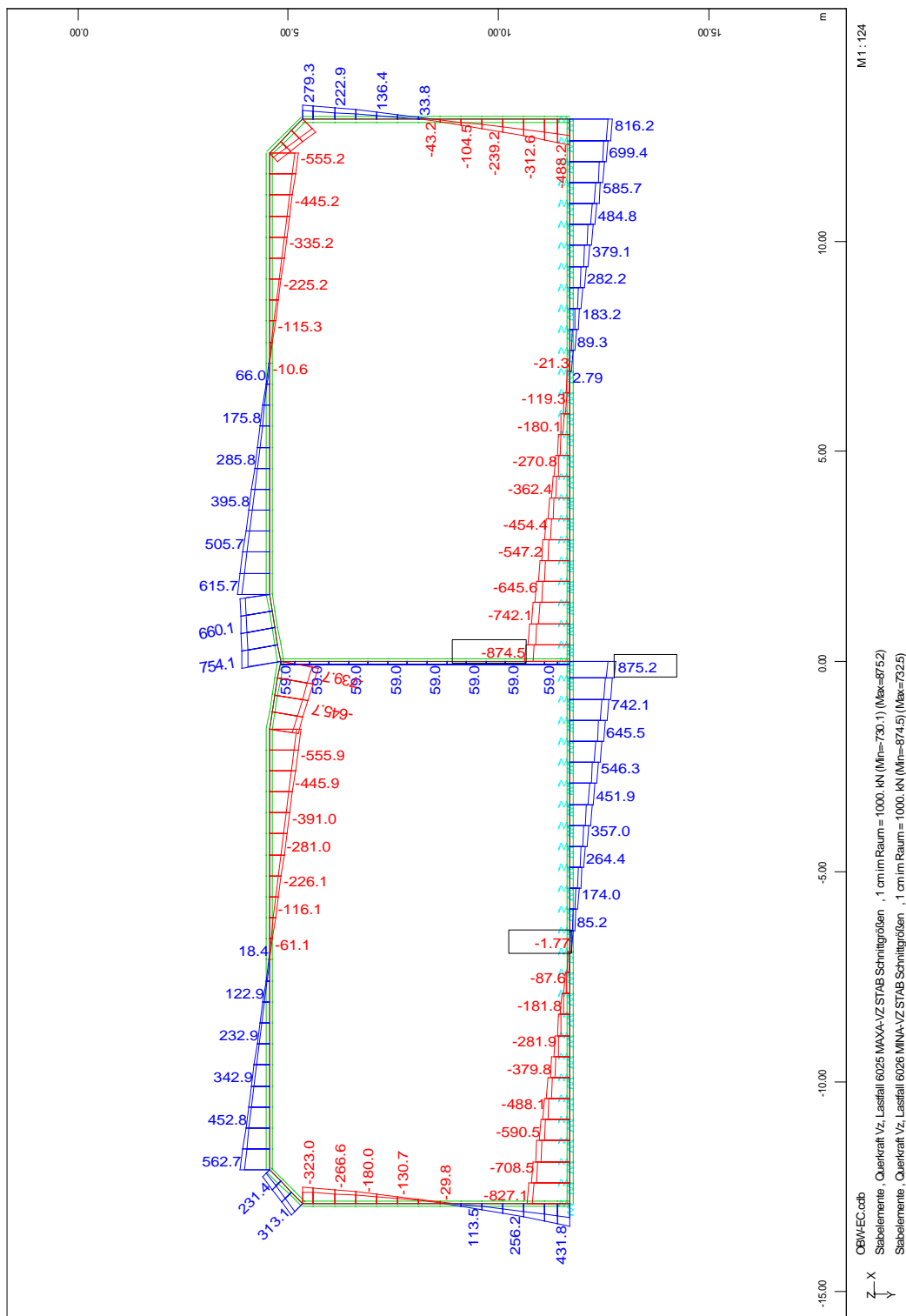


Bild 3.16: Querkräfte LFK 6

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 96
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

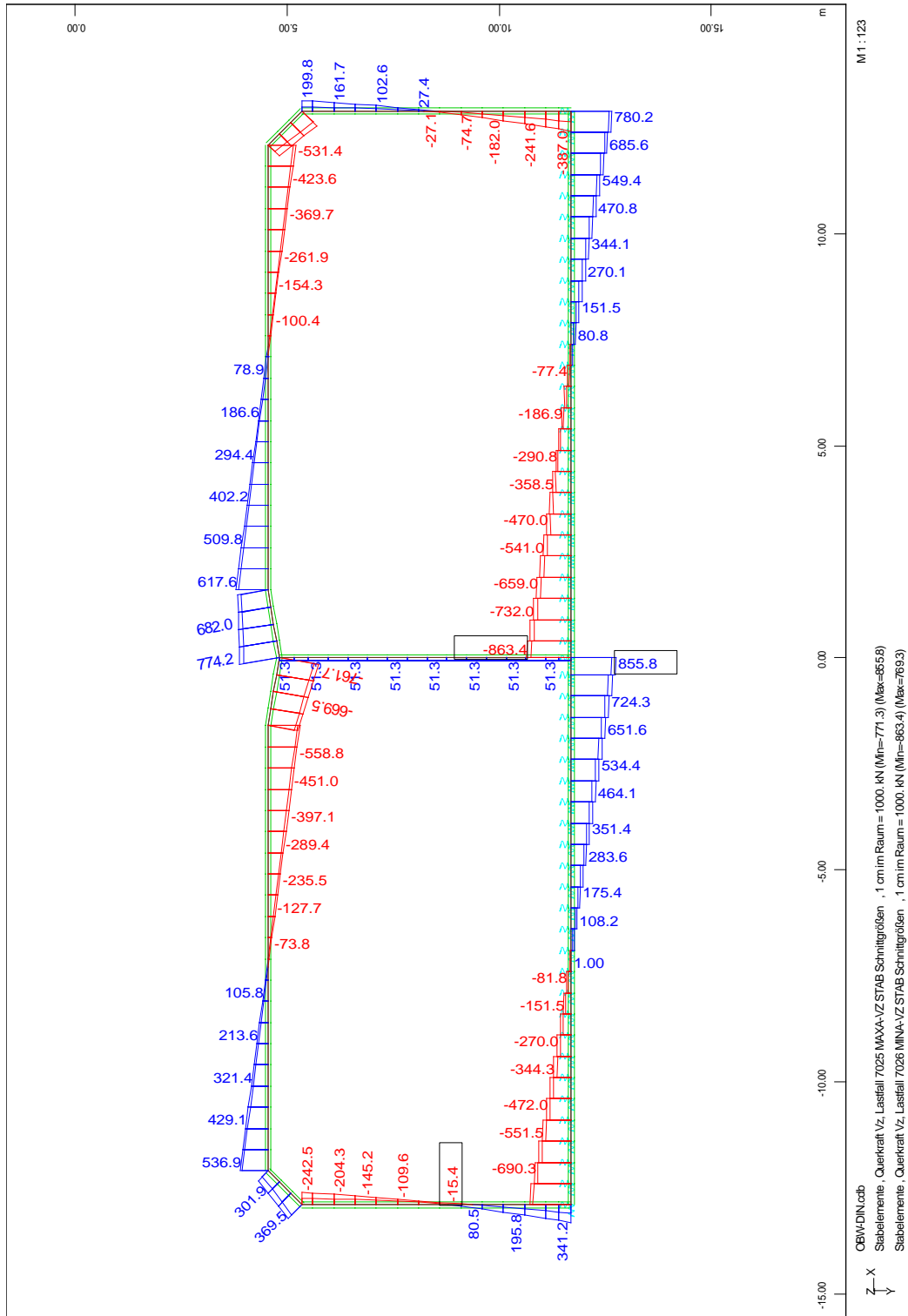


Bild 3.17: Querkräfte LFK 7

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 97
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

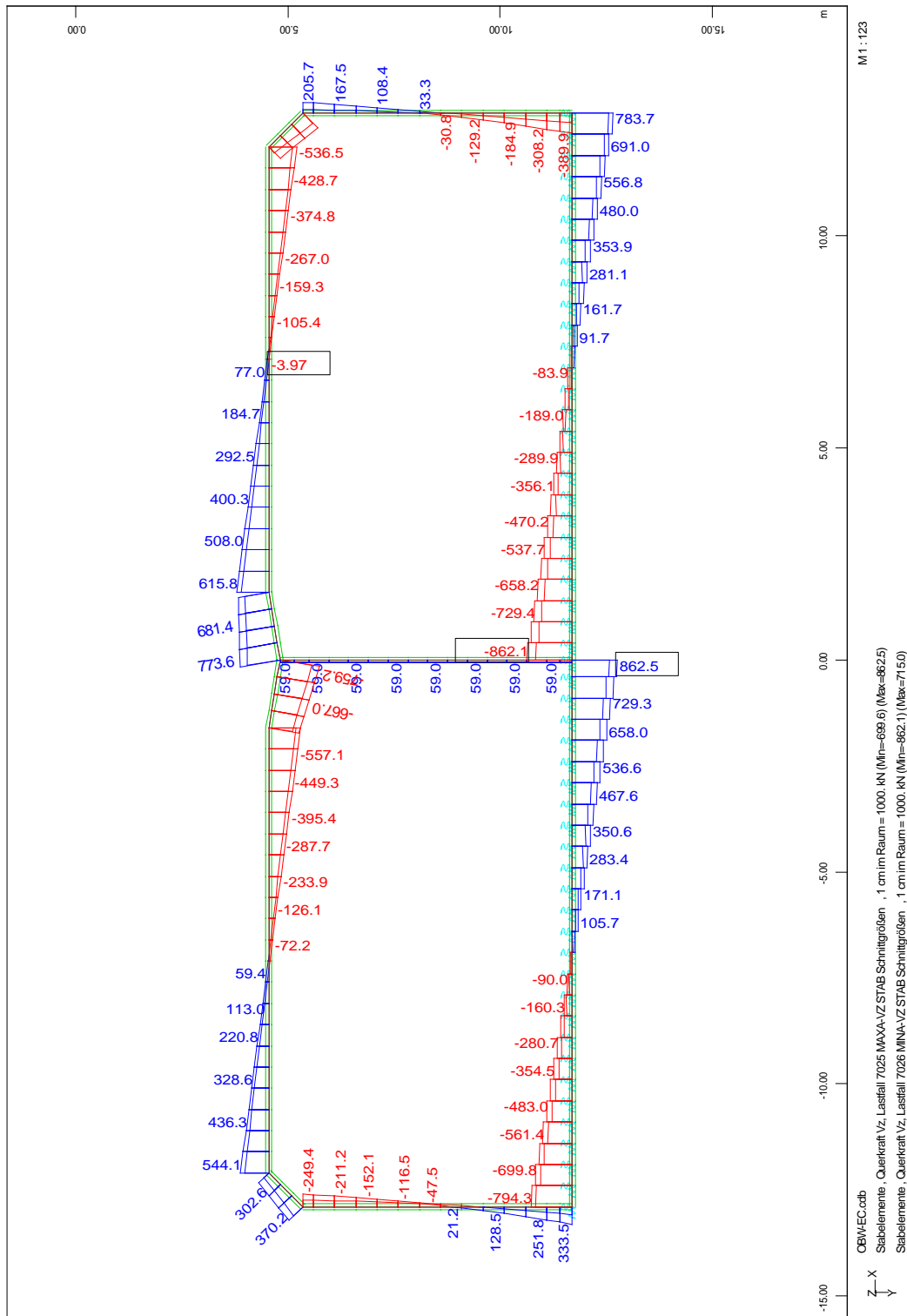


Bild 3.17: Querkräfte LFK 7

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 98
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4. BEMESSUNG

### 4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Biege- und Schubbemessung erfolgt programmintern gemäß DIN-FB 102.

In der Bemessung wird – abhängig vom Bauteil und der erforderlichen Biegebewehrung – ein Abstand zwischen Bewehrungsschwerpunkt und Bauteilaußenrand von 80 mm (60 mm +  $\varnothing 14$  +  $\varnothing 14/2$ ) bis 110 mm (60 mm +  $\varnothing 14$  + zweilagig  $\varnothing 25$ mm) angesetzt.

In der Schubbemessung wird die Begrenzung der Druckstrebenneigung gemäß DIN-FB 102 ( $1,0 \leq \cot \theta \leq 7/4$ ) berücksichtigt und eine vertikale Schubbewehrung angesetzt. Der Ausnutzungsgrad  $V_{Ed} / V_{R,d,max}$  ist überall kleiner als 0,3, so dass die Schubbewehrung allein aus Schubzulagen bestehen darf.

Für die Mittelwand ist kein Knicksicherheitsnachweis erforderlich, da gilt:

$$\lambda = l_0 / i = 24,2 < 25$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.3.5.3.5

$$\text{mit } l_0 \approx 5,6 \text{ m, } i = 0,231 \text{ m}$$

$$\text{und } v_{Ed} = N_{Ed} / (Ac \cdot f_{cd}) = 0,11 < 0,41$$

$$\text{mit } N_{Ed} = 1500 \text{ kN/m, } Ac = 0,8 \text{ m}^2/\text{m, } f_{cd} = 17 \text{ MN/m}^2$$

Aufgrund der Anprallgefährdung der Mittelwand ist die Bewehrung gemäß DIN-FB 102, Anhang 108, bis mindestens 2 Meter über Fahrbahnoberkante zweilagig auszubilden.

Die Bemessungsergebnisse für die Biege- und Schubbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind auf den folgenden Seiten dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung <span style="float: right;">Seite 99</span>	
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. BEMESSUNG

##### 4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Biege- und Schubbemessung erfolgt programmintern gemäß DIN EN 1992-2.

In der Bemessung wird – abhängig vom Bauteil und der erforderlichen Biegebewehrung – ein Abstand zwischen Bewehrungsschwerpunkt und Bauteilaußenrand von 80 mm (60 mm +  $\varnothing 14$  +  $\varnothing 14/2$ ) bis 110 mm (60 mm +  $\varnothing 14$  + zweilagig  $\varnothing 25$ mm) angesetzt.

In der Schubbemessung wird die Begrenzung der Druckstrebenneigung gemäß DIN EN 1992-2 ( $1,0 \leq \cot \theta \leq 7/4$ ) berücksichtigt und eine vertikale Schubbewehrung angesetzt. Der Ausnutzungsgrad  $V_{Ed} / V_{R,d,max}$  ist überall kleiner als 0,33, so dass die Schubbewehrung allein aus Schubzulagen bestehen darf.

Für die Mittelwand ist kein Knicksicherheitsnachweis erforderlich, da gilt:

$$\lambda = l_0 / i = 24,2 < 25$$

DIN EN 1992-2, 5.8.3.1

$$\text{mit } l_0 \approx 5,6 \text{ m, } i = 0,231 \text{ m}$$

$$\text{und } v_{Ed} = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd}) = 0,11 < 0,41$$

$$\text{mit } N_{Ed} = 1500 \text{ kN/m, } A_c = 0,8 \text{ m}^2/\text{m, } f_{cd} = 17 \text{ MN/m}^2$$

Aufgrund der Anprallgefährdung der Mittelwand ist die Bewehrung gemäß Anhang NA.VV.109 der DIN EN 1992-2 bis mindestens 2 Meter über Fahrbahnoberkante zweilagig auszubilden.

Die Bemessungsergebnisse für die Biege- und Schubbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind auf den folgenden Seiten dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 100
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

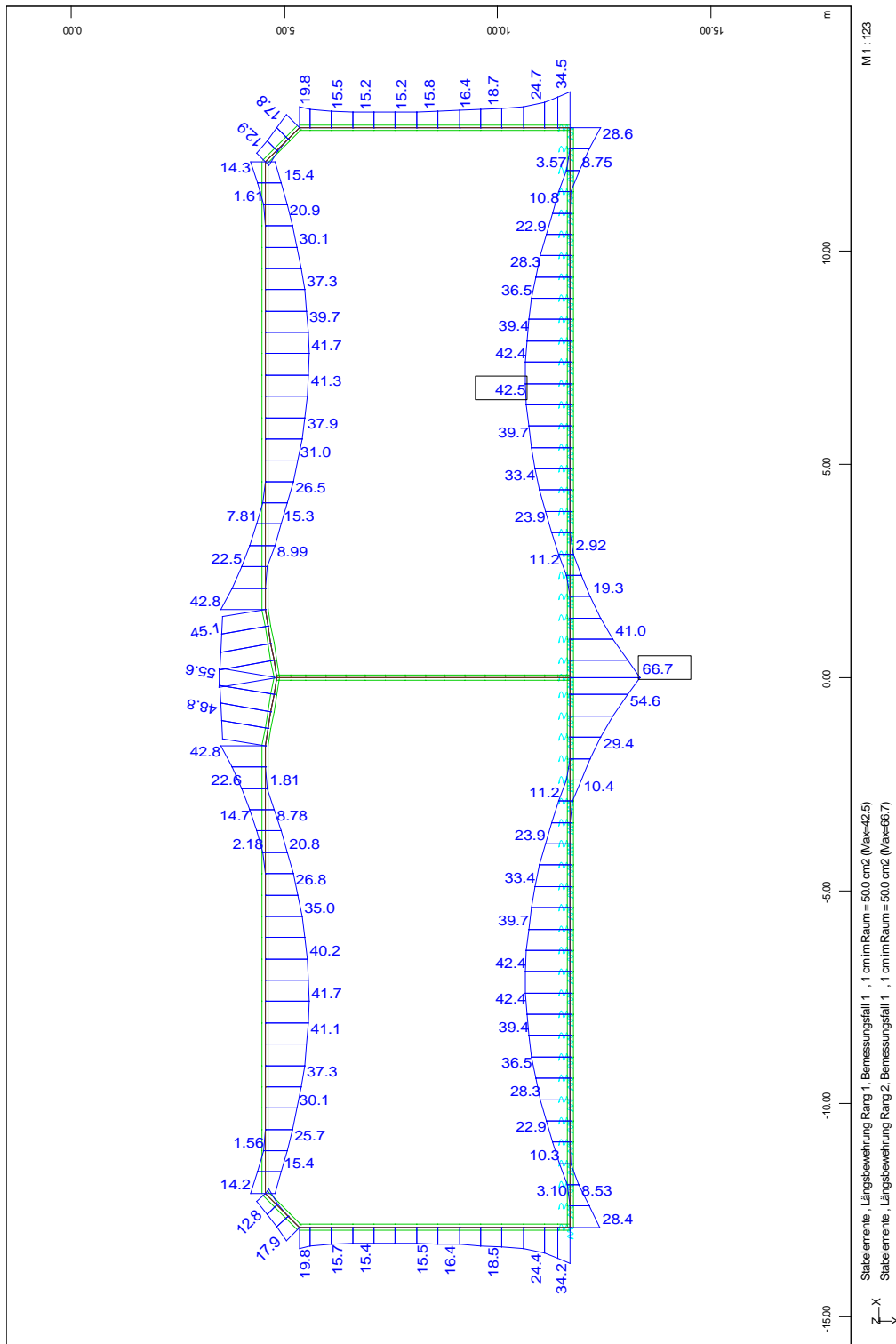


Bild 4.1: statisch erforderliche Biegebewehrung, ständige und vorübergehende Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 101
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

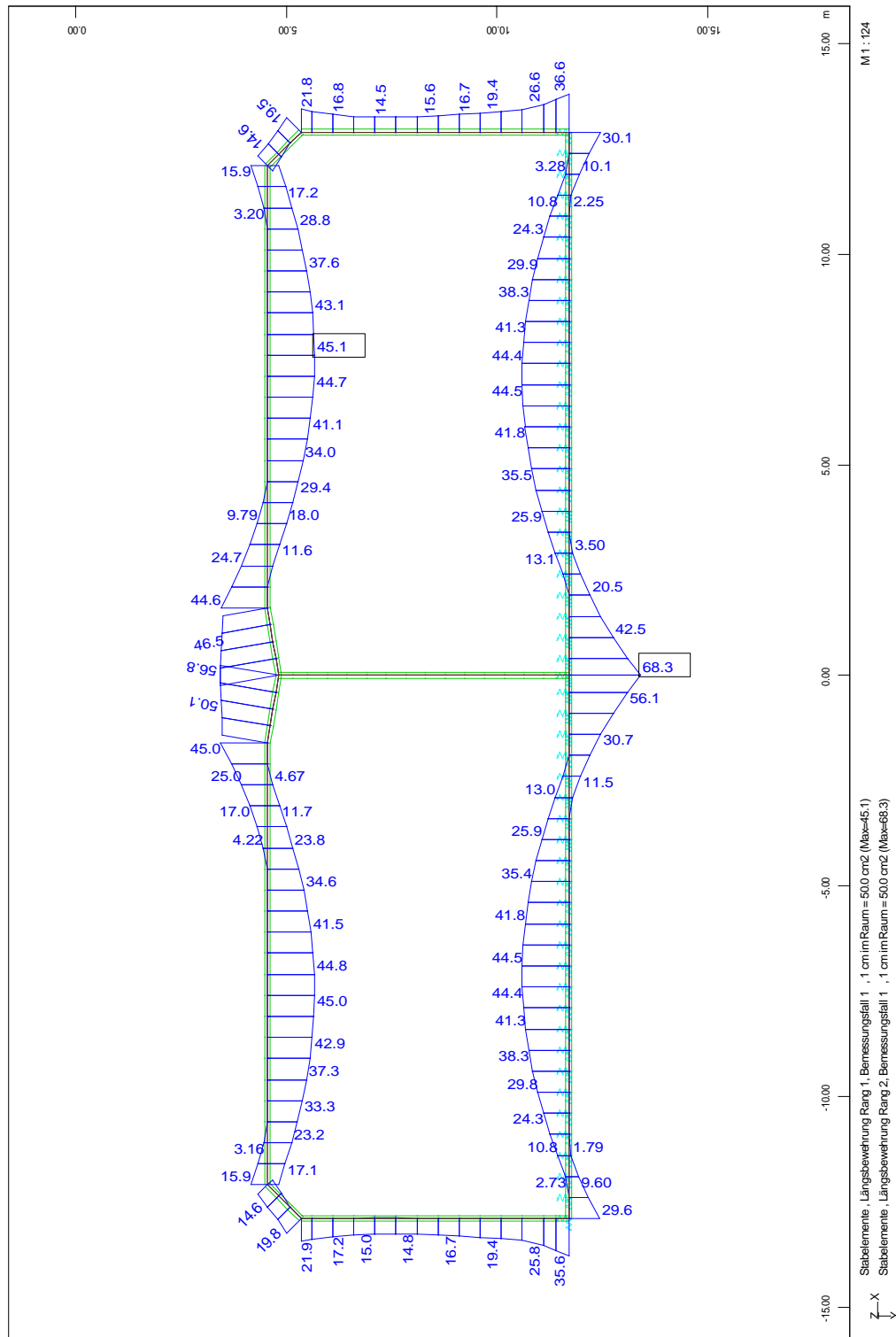


Bild 4.1: statisch erforderliche Biegebewehrung, ständige und vorübergehende Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 102
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

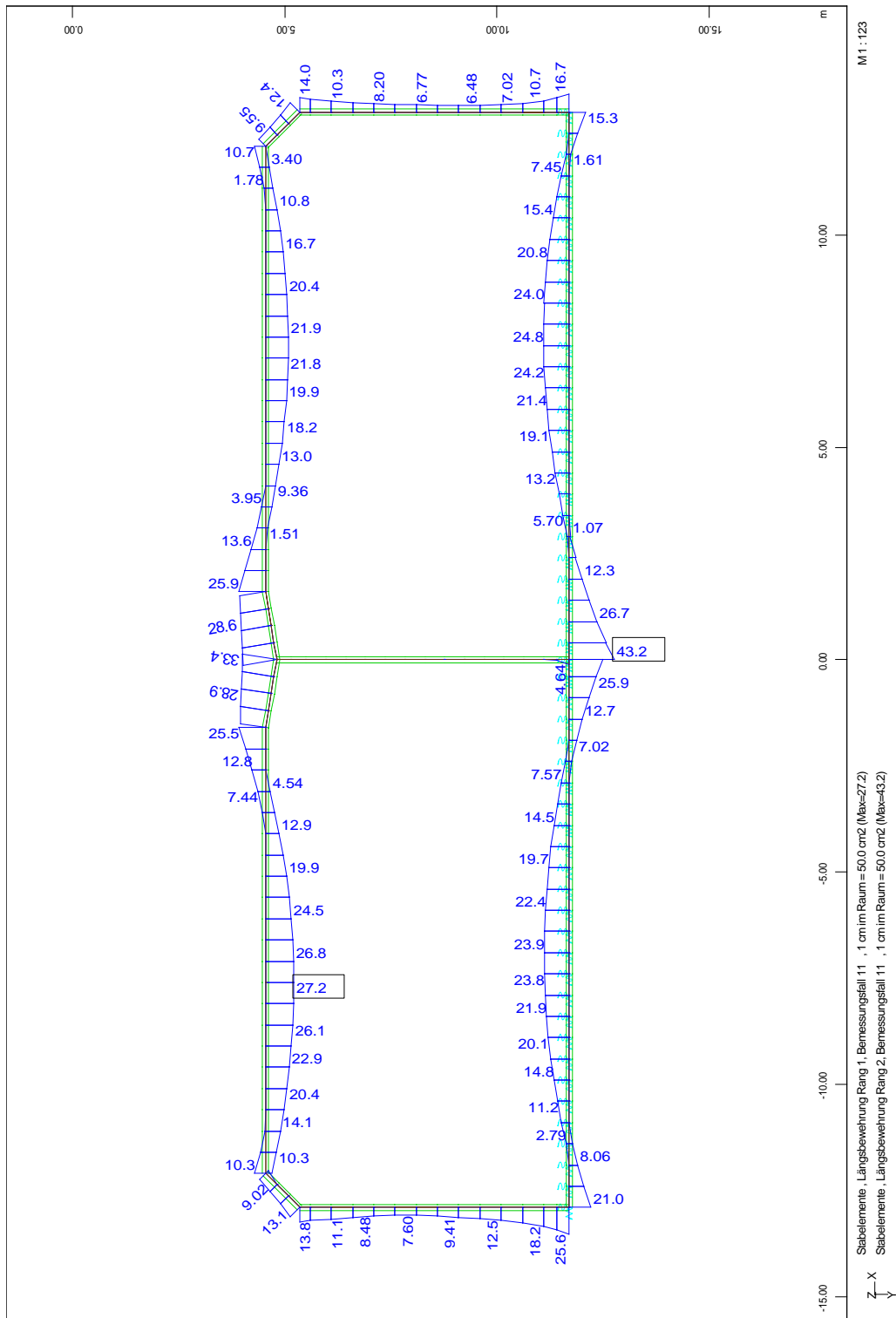


Bild 4.2: statisch erforderliche Biegebewehrung, außergewöhnliche Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 103
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

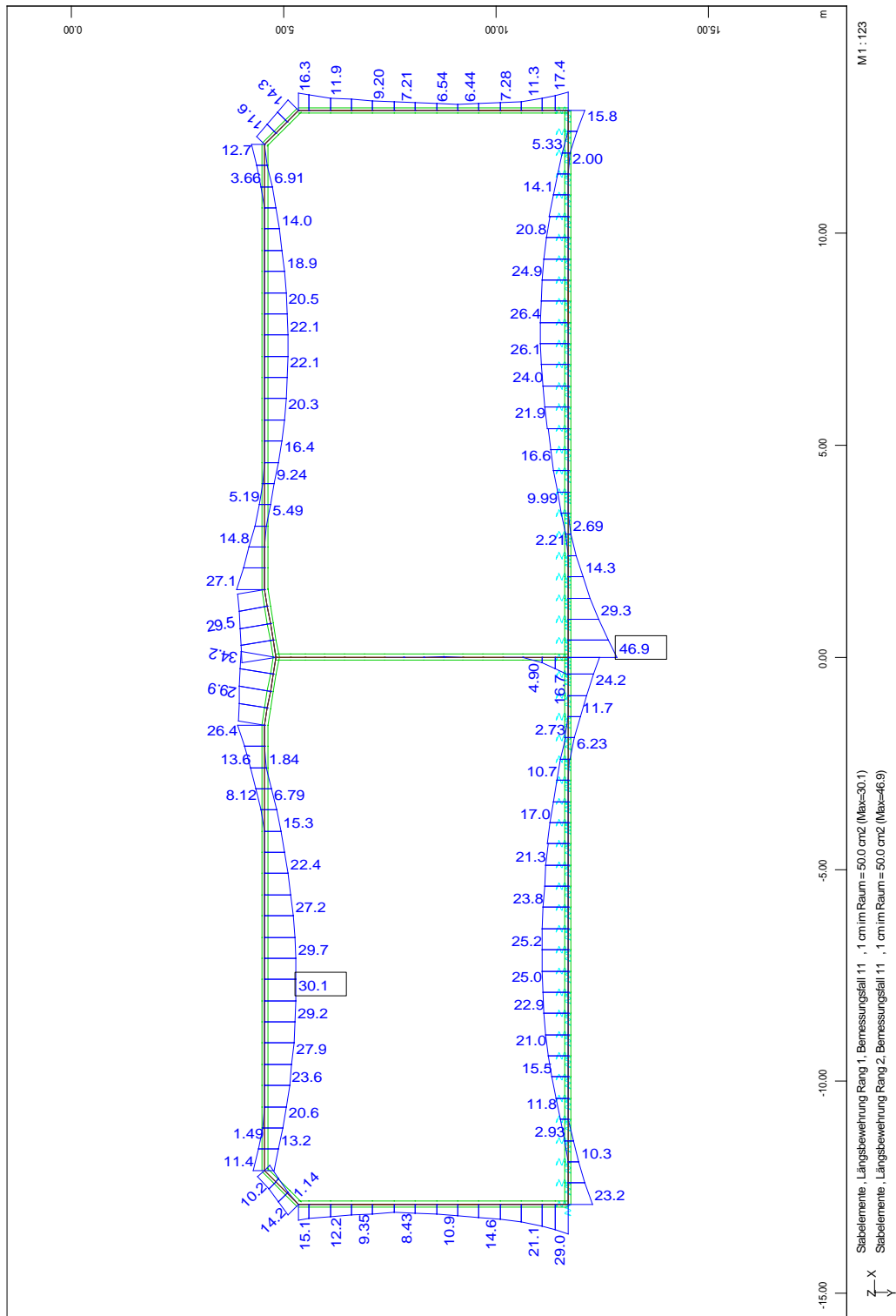


Bild 4.2: statisch erforderliche Biegebewehrung, außergewöhnliche Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 104
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

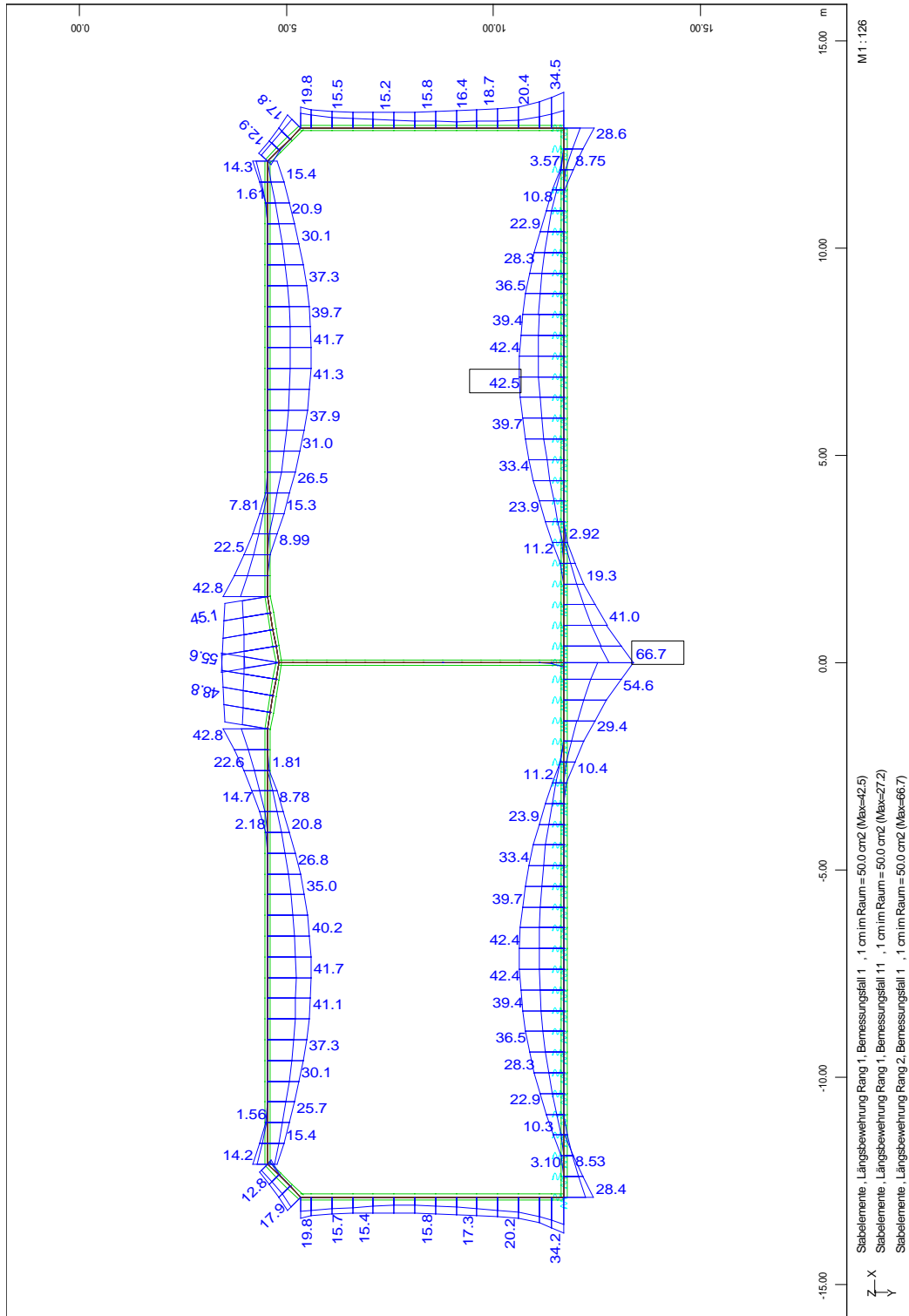


Bild 4.3: statisch erforderliche Biegebewehrung, Maximalwerte

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 105
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

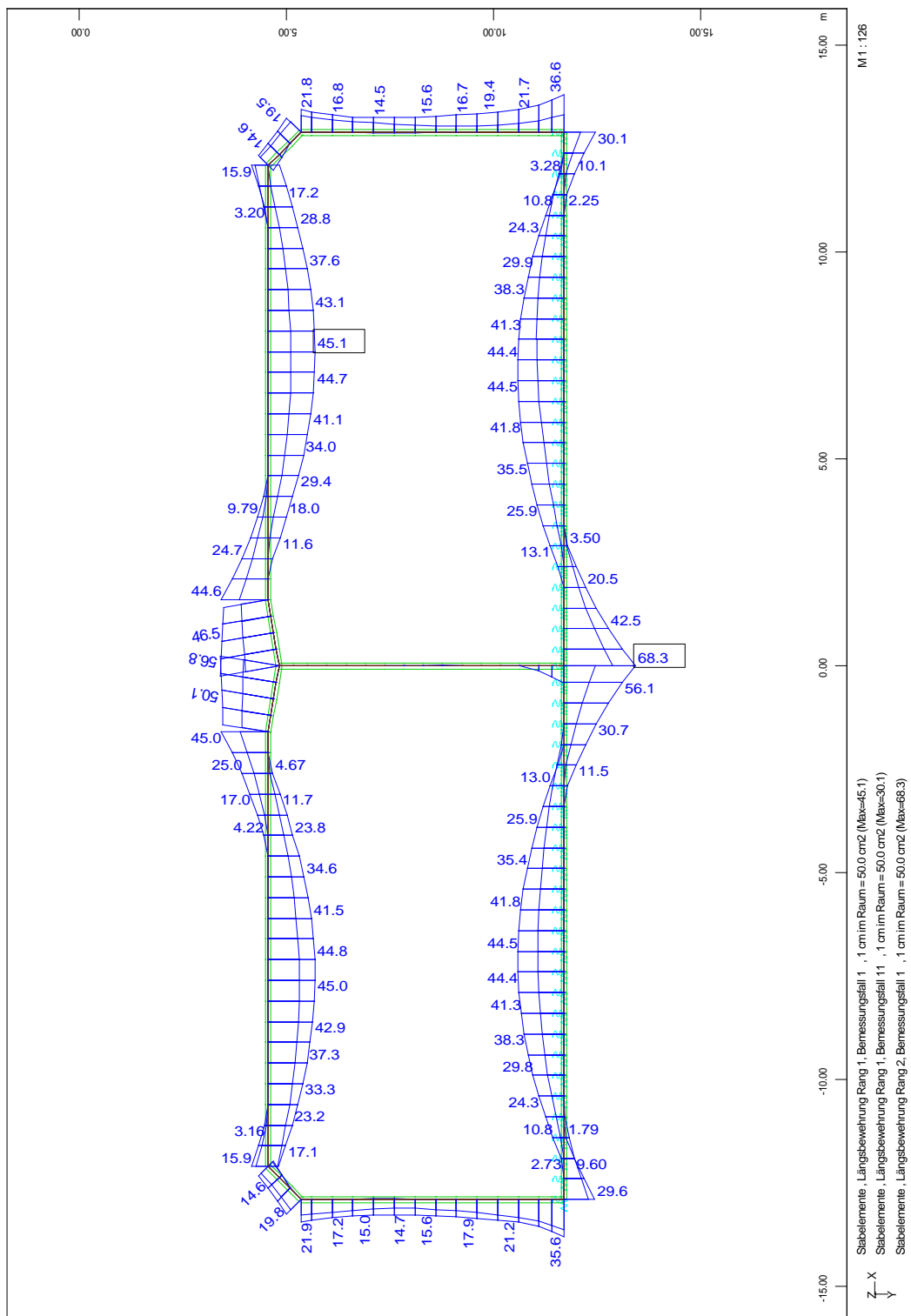


Bild 4.3: statisch erforderliche Biegebewehrung, Maximalwerte

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 106
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

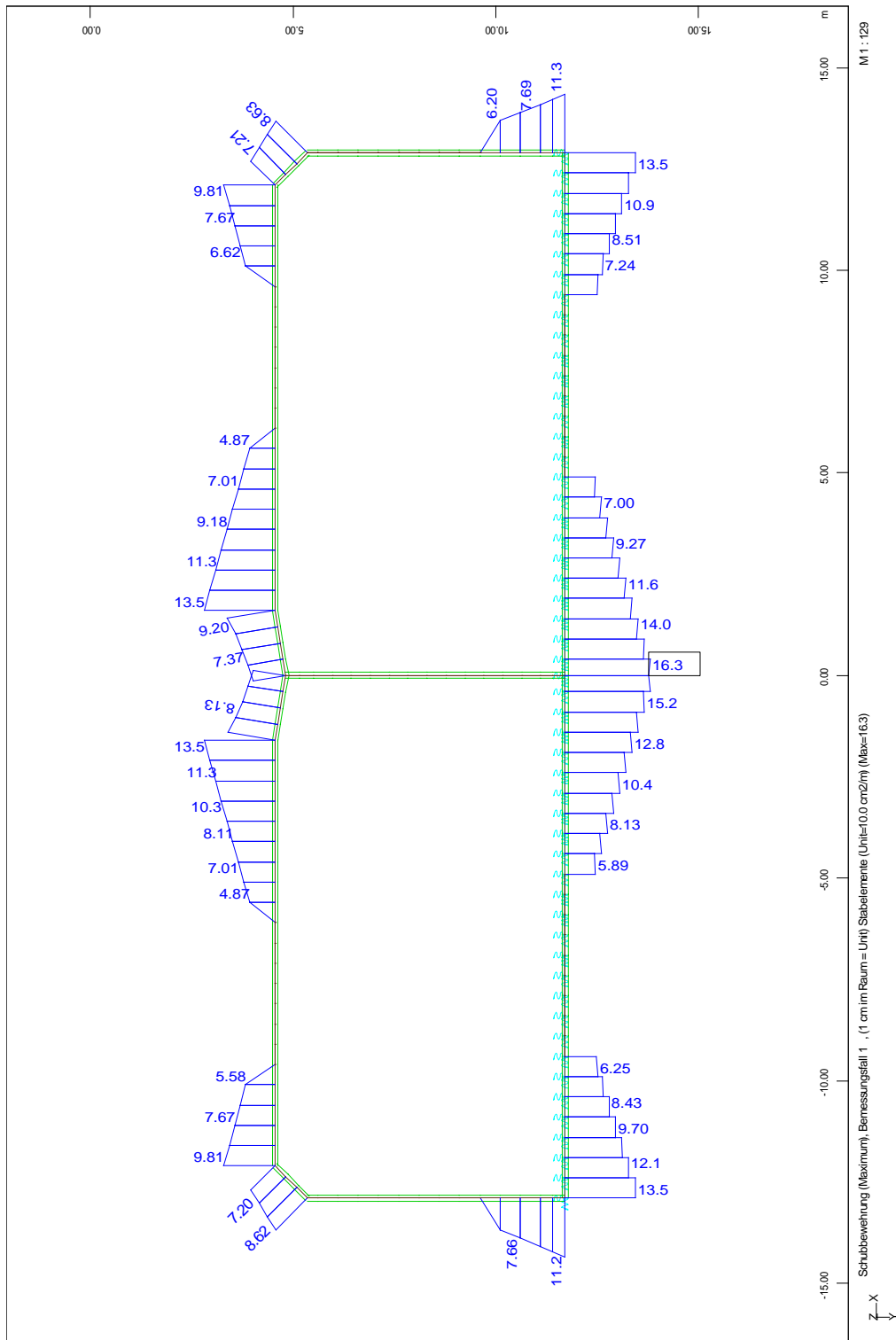


Bild 4.4: Schubbewehrung, ständige und vorübergehende Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 107
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

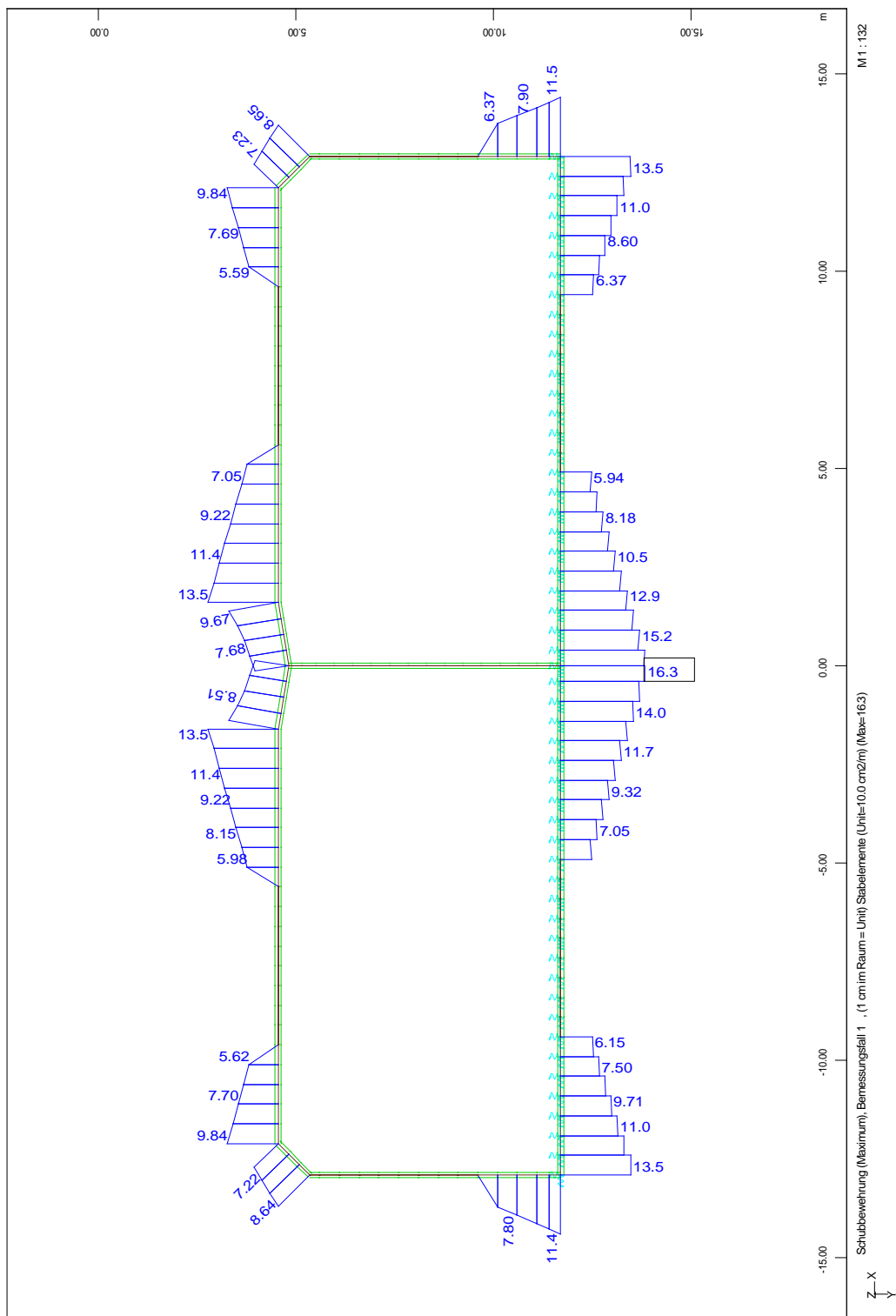


Bild 4.4: Schubbewehrung, ständige und vorübergehende Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 108
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

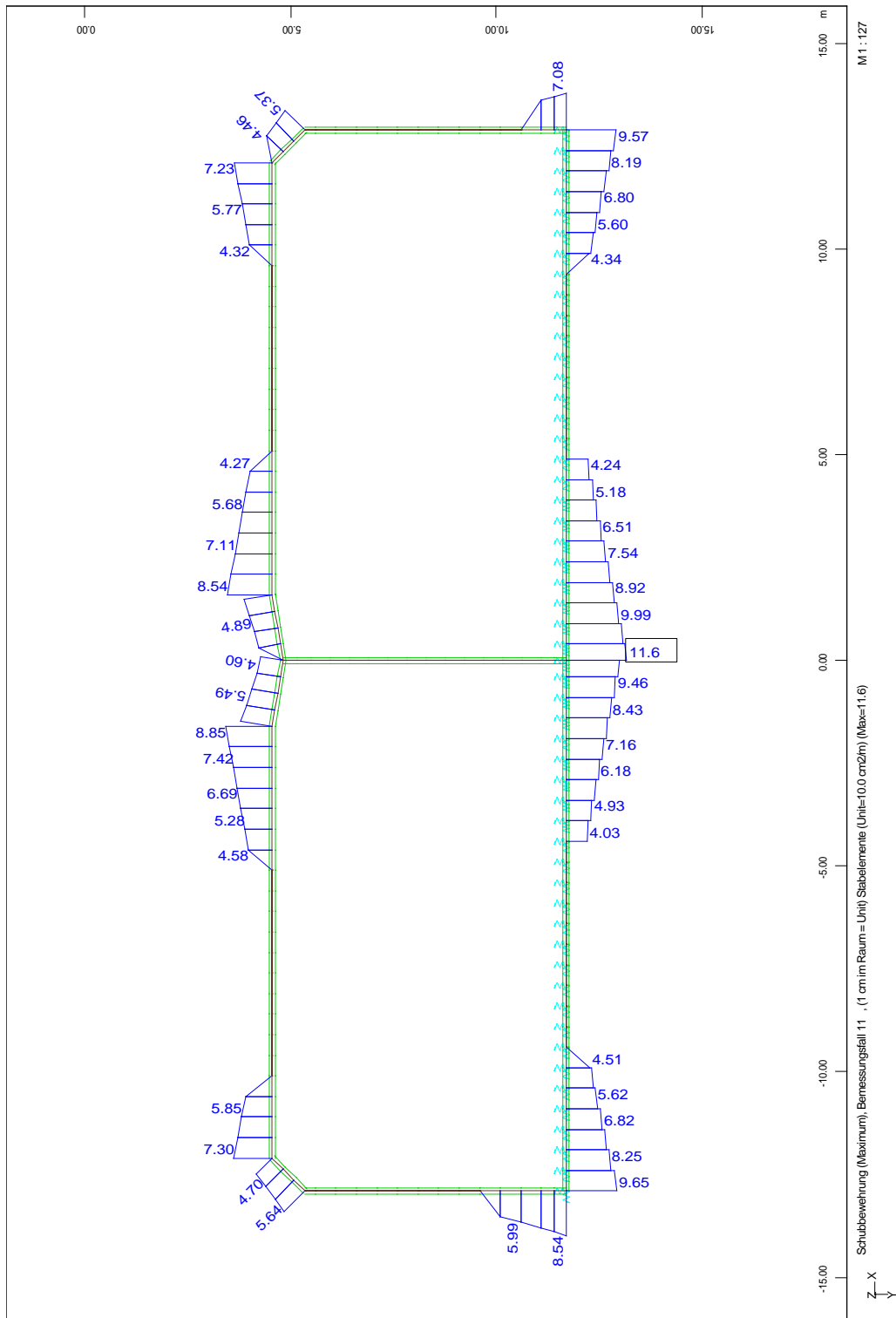


Bild 4.5: Schubbewehrung, außergewöhnliche Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 109
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

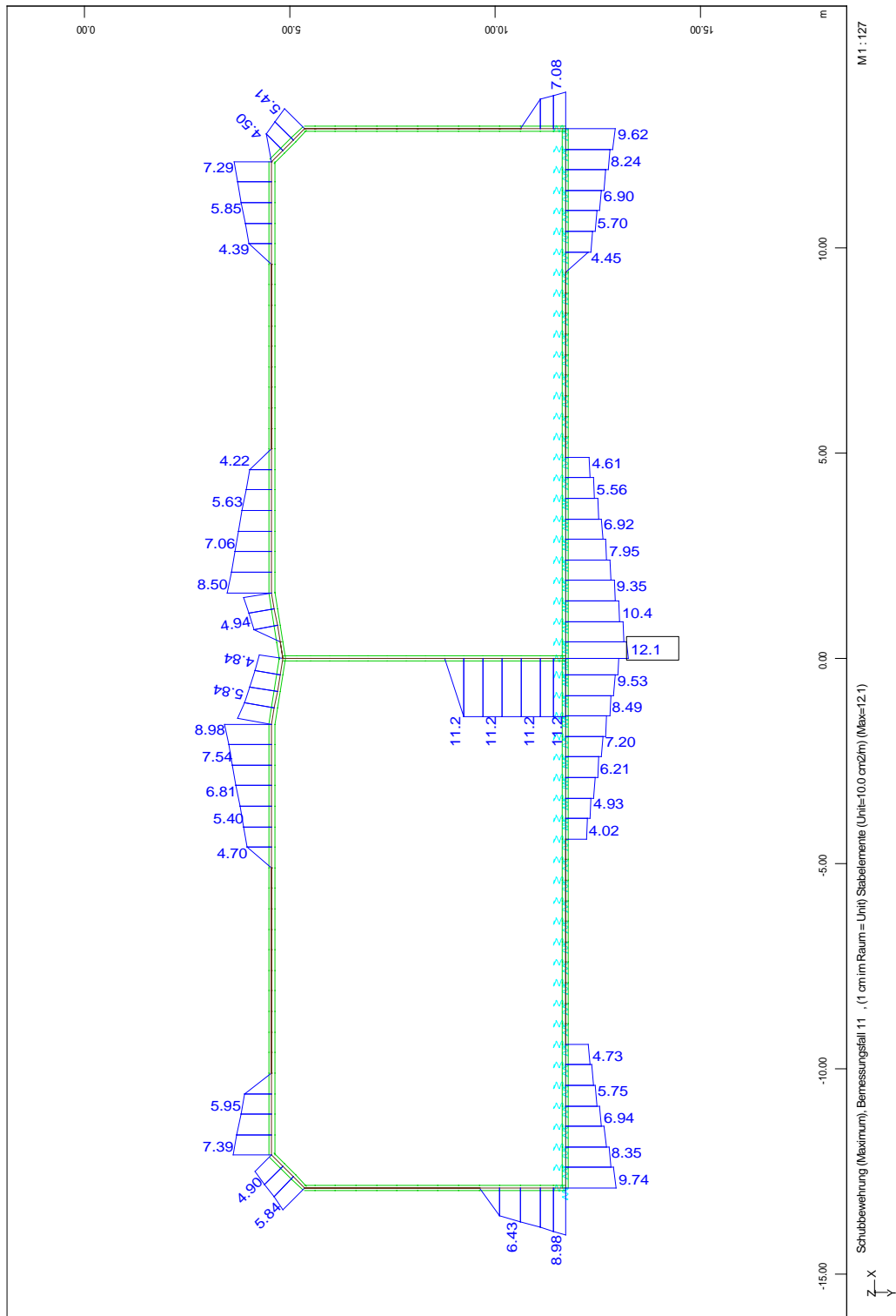


Bild 4.5: Schubbewehrung, außergewöhnliche Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 110
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

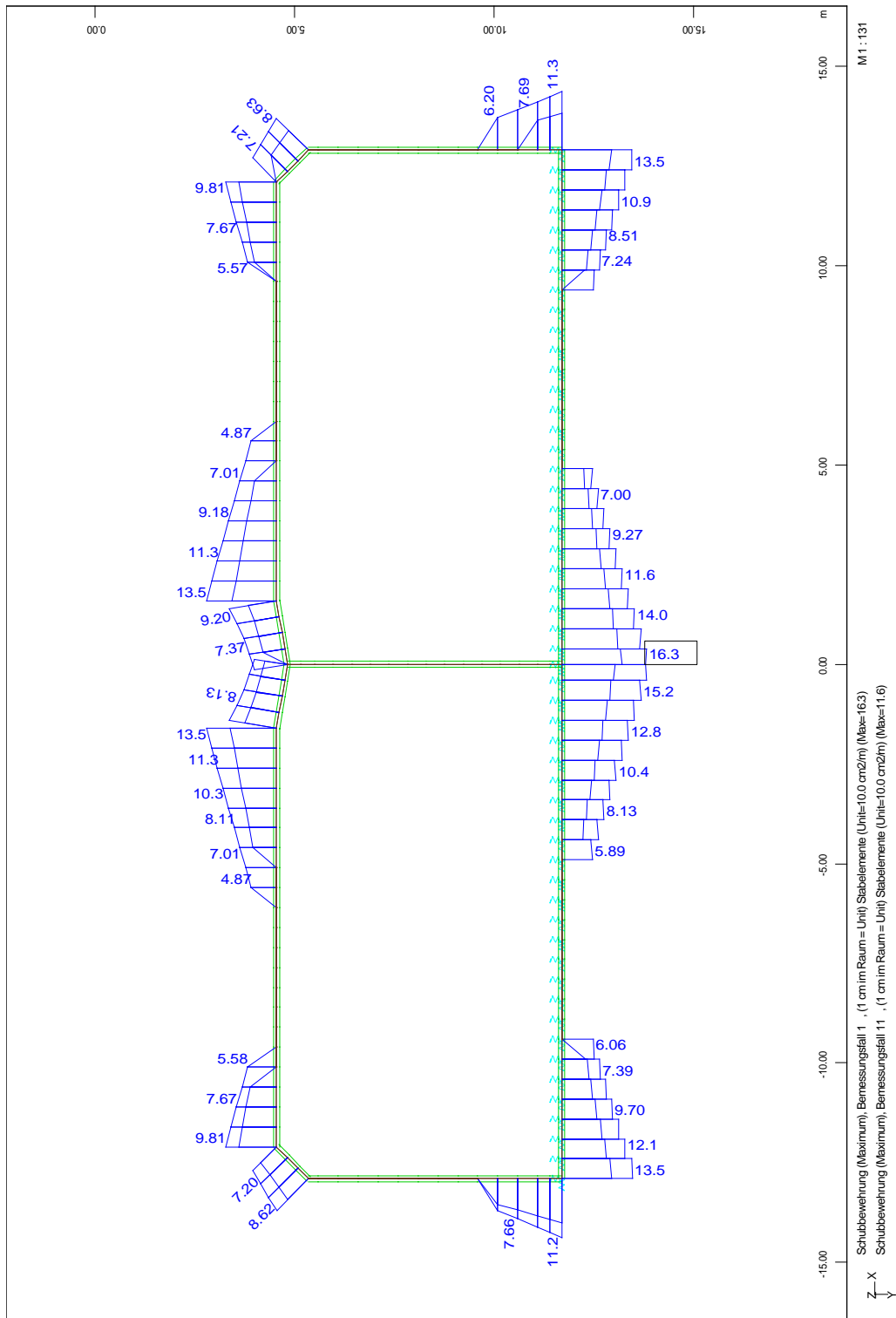


Bild 4.6: Schubbewehrung, Maximalwerte

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 111
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

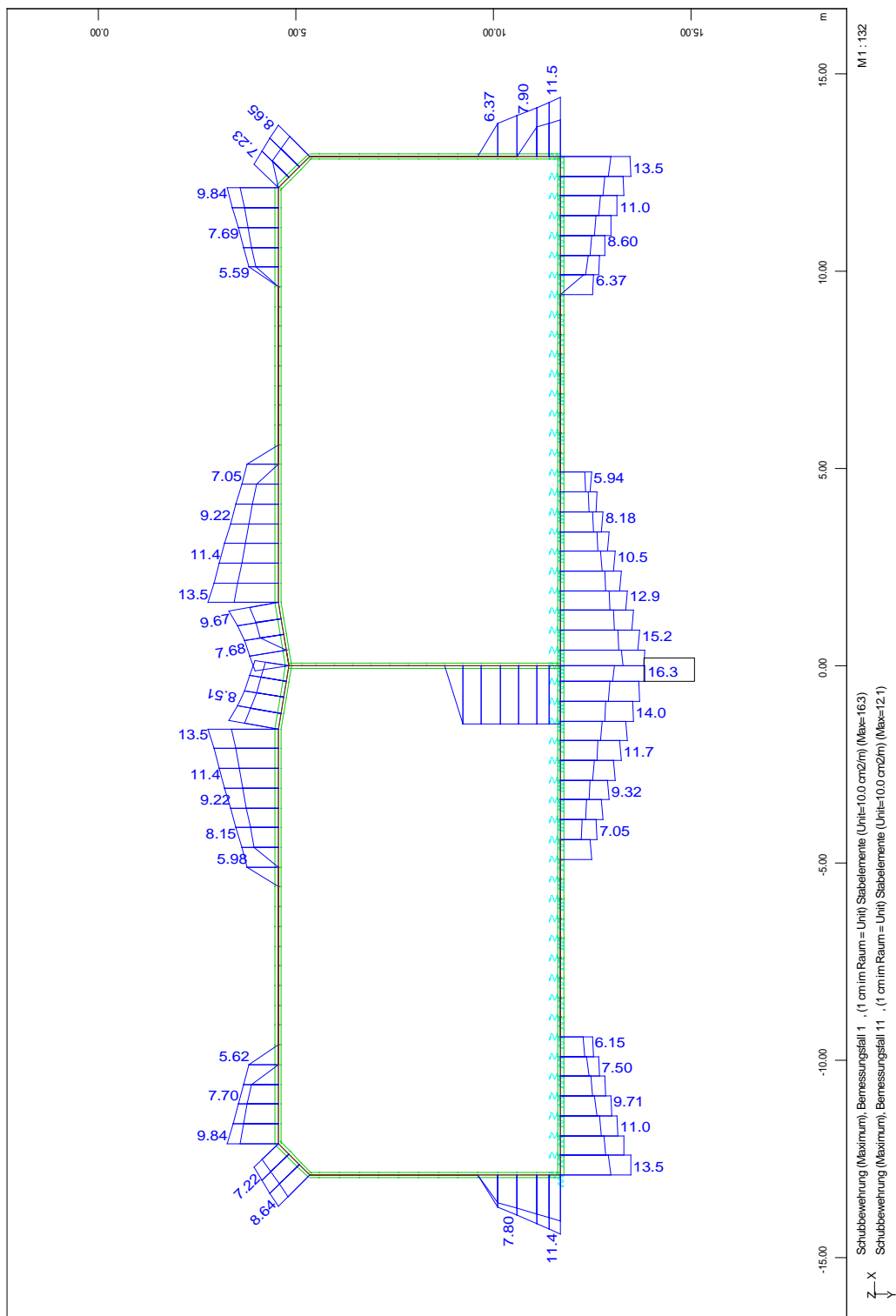


Bild 4.6: Schubbewehrung, Maximalwerte

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 112
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die zulässige rechnerische Rissbreite für die wu-Betonkonstruktion beträgt:

$$w_{k,cal} = 0,20 \text{ mm (Luftseite)}$$

$$w_{k,cal} = 0,15 \text{ mm (Erdseite).}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.4.5

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erfolgt programmintern unter Berücksichtigung der vorgegebenen Stabdurchmesser.

Es werden angesetzt:

Decke außen:	Ø25 mm zweilagig
Decke innen:	Ø20 mm zweilagig
Außenwand außen:	Ø25 mm zweilagig
Außenwand innen:	Ø14 mm
Sohle außen:	Ø25 mm zweilagig
Sohle innen:	Ø20 mm zweilagig
Mittelwand:	Ø14 mm

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung erfolgen durch direkte Berechnung gemäß DIN-FB 102, II, 4.4.2.4.

Die Temperaturlasten werden bei der Rissbreitenbeschränkung auf der sicheren Seite liegend voll mit berücksichtigt, da deren Vernachlässigung für den Fall, dass die Spannungen aus Einwirkungen ohne Temperatur größer sind als die Anrissspannung des Querschnittes, höchstens lokal zu vernachlässigbaren Einsparungen führt.

Der Rechenwert der Rissbreite ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\sigma_s = \frac{3,6 \cdot w_k \cdot \text{eff} \rho_p \cdot E_s}{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff} \rho_p} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff} \rho_p)}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
Gl. (4.201)bis (4.203)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \left( \sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff} \rho_p} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff} \rho_p) \right)}{3,6 \cdot \text{eff} \rho_p \cdot E_s}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 113
Vorgang:	4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die zulässige rechnerische Rissbreite für die wu-Betonkonstruktion beträgt:

$$w_{k,cal} = 0,20 \text{ mm (Luftseite)}$$

$$w_{k,cal} = 0,15 \text{ mm (Erdseite).}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.4.5

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erfolgt programmintern unter Berücksichtigung der vorgegebenen Stabdurchmesser.

Es werden angesetzt:

Decke außen:	Ø25 mm zweilagig
Decke innen:	Ø20 mm zweilagig
Außenwand außen:	Ø25 mm zweilagig
Außenwand innen:	Ø14 mm
Sohle außen:	Ø25 mm zweilagig
Sohle innen:	Ø20 mm zweilagig
Mittelwand:	Ø14 mm

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung erfolgen durch direkte Berechnung gemäß DIN EN 1992-2, 7.3.4.

Die Temperaturlasten werden bei der Rissbreitenbeschränkung auf der sicheren Seite liegend voll mit berücksichtigt, da deren Vernachlässigung für den Fall, dass die Spannungen aus Einwirkungen ohne Temperatur größer sind als die Anrissspannung des Querschnittes, höchstens lokal zu vernachlässigbaren Einsparungen führt.

Der Rechenwert der Rissbreite ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\sigma_s = \frac{3,6 \cdot w_k \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}$$

DIN EN 1992-2, 7.3.4, Gl. (7.8), (7.9) und NDP zu 7.3.4(3)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \left( \sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right)}{3,6 \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 114
Vorgang:	4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

mit  $\rho_p = A_s / A_{c,eff}$   
 $A_{c,eff} = 2,5 \cdot b \cdot (h - d)$   
 $\alpha_e = E_s / E_{cm}$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
 Gl. (4.200a)  
 DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
 Abb. 4-137d)

Der Nachweis der Begrenzung der Betondruckspannung auf  $0,6 f_{ck}$  gemäß DIN-FB 102, II, 4.4.1.2 ist bei Tunnelbauwerken nicht zu führen, da durch die vergrößerte Betondeckung von 6 cm und die außen liegende Längsbewehrung die Entstehung von Querspannungen verhindert wird.

Die erforderliche Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite ist dem folgenden Ausdruck zu entnehmen.

Ein Nachweis der Setzungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist für das Tunnelbauwerk nicht erforderlich, da aufgrund der Aushubentlastung keine Zusatzbeanspruchung des Baugrundes entsteht.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	
Vorgang:	4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

mit  $\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$  DIN EN 1992-1-1, Gl. (7.10)

$A_{c,eff} = 2,5 \cdot b \cdot (h - d)$  DIN EN 1992-2, NCI zu 7.3.3 (2)

$\alpha_e = E_s / E_{cm}$

Der Nachweis der Begrenzung der Betondruckspannung auf  $0,6 f_{ck}$  gemäß DIN EN 1992-2, 7.2 (102) ist bei Tunnelbauwerken nicht zu führen, da durch die vergrößerte Betondeckung von 6 cm und die außen liegende Längsbewehrung die Entstehung von Quersugrissen verhindert wird.

Die erforderliche Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite ist dem folgenden Ausdruck zu entnehmen.

Ein Nachweis der Setzungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist für das Tunnelbauwerk nicht erforderlich, da aufgrund der Aushubentlastung keine Zusatzbeanspruchung des Baugrundes entsteht.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 116
Vorgang:	4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

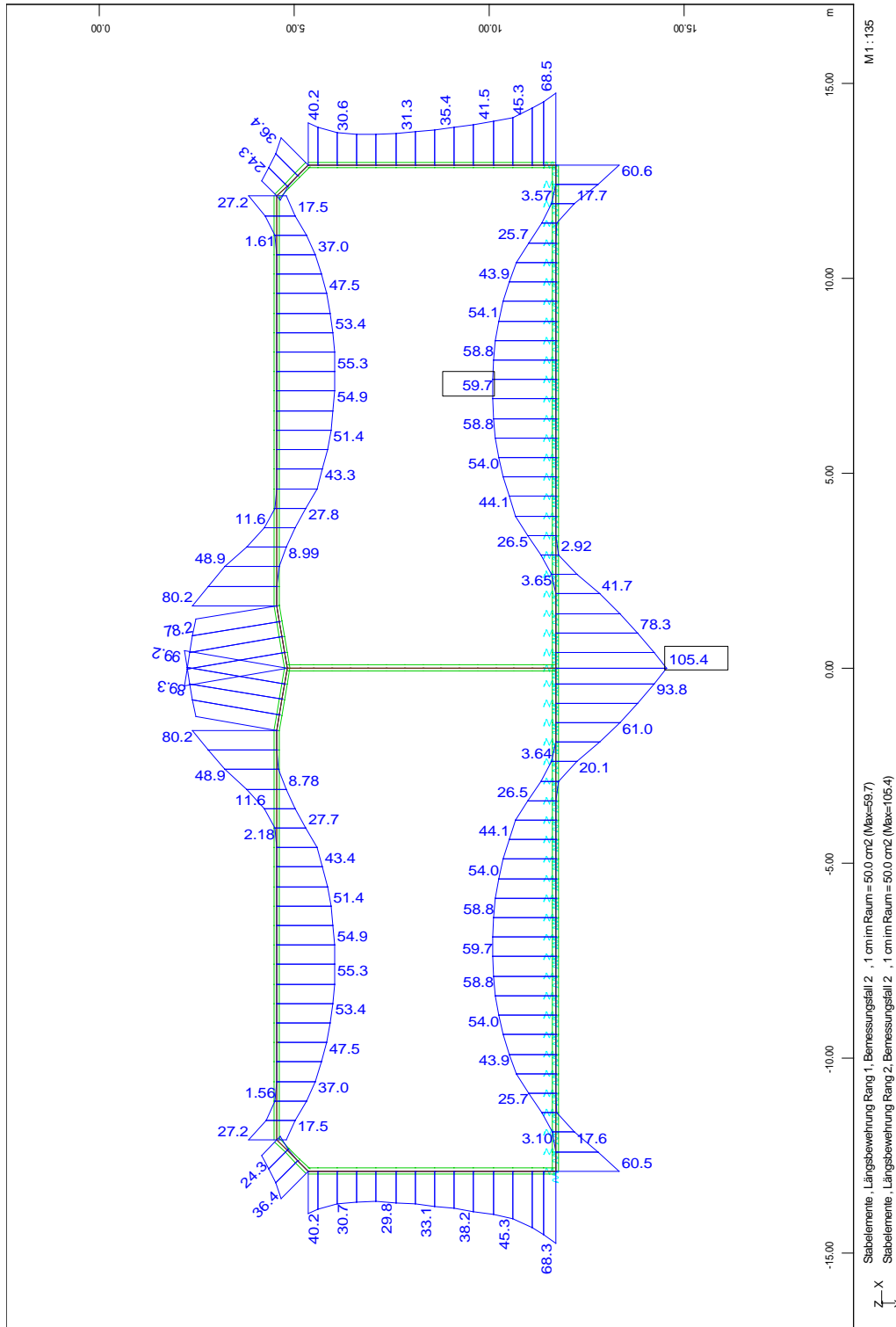


Bild 4.7: Biegebewehrung zur Rissbreitenbeschränkung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 117
Vorgang:	4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

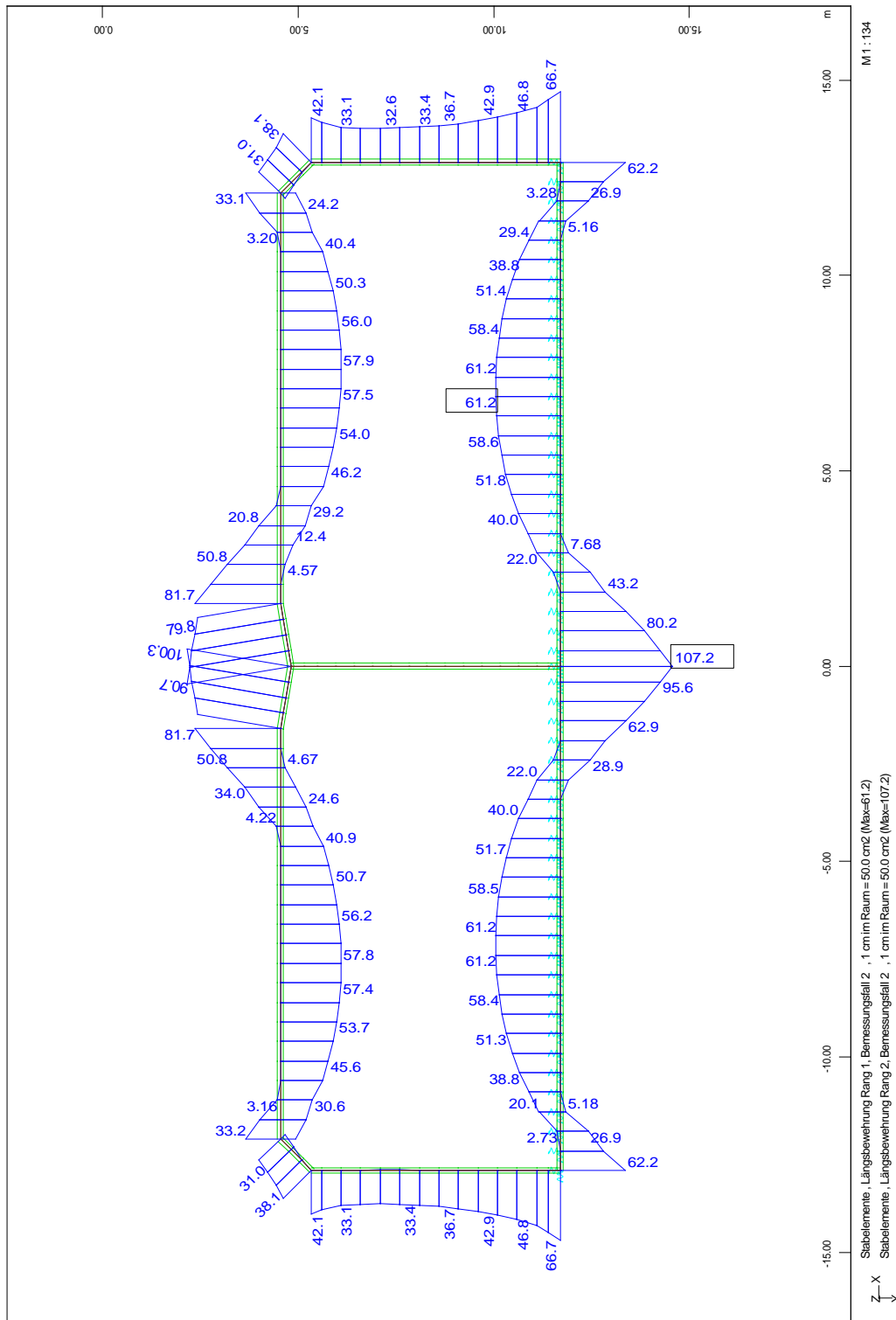


Bild 4.7: Biegebewehrung zur Rissbreitenbeschränkung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 118
Vorgang:	4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 4.3 Mindestbewehrung

#### 4.3.1 Mindestbewehrung allgemein

Mindestbewehrung für wu-Beton-Konstruktionen

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.2

- 0,20 % des Betonquerschnittes bzw.

- nicht mehr als 12 cm<sup>2</sup>/m

Bauteil	d	A <sub>s,erf.</sub>
	cm	cm <sup>2</sup> /m
Sohle	120,0	12,0
Außenwand	100,0	12,0
Mittelwand	80,0	12,0
Decke	110,0	12,0

Tabelle 4.1: Mindestbewehrung allgemein

#### 4.3.2 Mindestbewehrung in Längsrichtung

Mindestbewehrung für Querkontraktion

$$A_{s,q} = 0,20 \cdot A_{s,l}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 5.4.3.2.1 (2)

Position	A <sub>s,l</sub>	A <sub>s,q</sub>
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m
Decke außen	90,0	18,0
Deckenmitte unten	55,3	11,1
Decke Voutenanfang	27,2	5,4
Wand oben	40,2	8,0
Wandmitte	33,1	6,6
Wand unten	68,3	13,7
Sohle außen	60,5	12,1
Sohle oben	59,1	11,8
Sohle Mitte	93,8	18,8

Tabelle 4.2: Mindestbewehrung aus Querkontraktion

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	4. Bemessung		Seite 119
Vorgang:	4.3 Mindestbewehrung		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 4.3 Mindestbewehrung

#### 4.3.1 Mindestbewehrung allgemein

Mindestbewehrung für WU-Beton-Konstruktionen

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.2

- 0,20 % des Betonquerschnittes bzw.
- nicht mehr als 12 cm<sup>2</sup>/m

Bauteil	d	A <sub>s,erf</sub>
	cm	cm <sup>2</sup> /m
Sohle	120,0	12,0
Außenwand	100,0	12,0
Mittelwand	80,0	12,0
Decke	110,0	12,0

Tabelle 4.1: Mindestbewehrung allgemein

#### 4.3.2 Mindestbewehrung in Längsrichtung

Mindestbewehrung für Querkontraktion

$$A_{s,q} = 0,20 \cdot A_{s,l}$$

DIN EN 1992-1-1, 9.3.1.1 (2)

Position	A <sub>s,l</sub>	A <sub>s,q</sub>
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m
Decke außen	91,0	18,2
Deckenmitte unten	57,9	11,6
Decke Voutenanfang	33,2	6,6
Wand oben	42,1	8,4
Wandmitte	33,4	6,7
Wand unten	66,7	13,3
Sohle außen	62,2	12,4
Sohle oben	61,2	12,2
Sohle Mitte	95,6	19,1

Tabelle 4.2: Mindestbewehrung aus Querkontraktion

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 120	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung		
Vorgang:	4.3 Mindestbewehrung		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Mindestbewehrung aus Zwang

Für die Tunnelsohle wird aufgrund geeigneter konstruktiver Maßnahmen (Gleitfolie) unbehinderte Längsdehnung angenommen. Die Tunnelwände und die -decke werden für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme bemessen. Der Einfluss des Zwangs nimmt mit dem Abstand zu dem zwangbehindernden Bauteil ab. Daher wird die erforderliche Bewehrung konstruktiv bis 4 m Höhe über Sohle bzw. in der Decke auf 4 m Breite neben den Wänden eingelegt. In den darüber liegenden Wandabschnitten und in der übrigen Decke ist die Mindestbewehrung maßgebend.

Die Bemessung ist gegenüber der in DIN-FB 102, II, 5.4.7.3 angegebenen konstruktiven Längsbewehrung maßgebend.

Es gilt:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

mit  $s_{r,max} = d_s / (3,6 \text{ eff } \rho)$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \sigma_{sr} - 0,4 f_{ct,eff} / \text{eff } \rho \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho) / E_s$$

$$\text{eff } \rho = A_s / A_{c,eff}$$

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot d_1 P (h - x) / 2$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.201)  
DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.203)  
DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.202)  
DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Gl. (4.200a)  
DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Abb. 4.137

Die Anrissspannung  $\sigma_{sr}$  wird aus der Mindestbewehrung bestimmt unter Ansatz von  $\sigma_s = \sigma_{sr}$

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_{sr}$$

mit  $k_c = 1,0$  für Zug

$k = 0,8$  für  $h \leq 300$  mm

bzw.  $k = 0,5$  für  $h \geq 800$  mm

$$f_{ct,eff} = 0,50 \cdot f_{ctm}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.2 (5), Gl. (4.194)  
DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.2 (5), Gl. (4.195)

$f_{ctm} = 2,9$  MN/m<sup>2</sup>

Bauteil	h	d	d <sub>s</sub>	w <sub>k</sub>	A <sub>s,erf.</sub>
	cm	cm	mm	mm	cm <sup>2</sup> /m
Außenwand innen unten	100	93	20	0,20	24,7
Außenwand außen unten	100	93	20	0,15	28,4
Mittelwand unten	80	73	16	0,20	18,6
Decke oben	110	103	20	0,15	30,4
Decke unten	110	103	20	0,20	26,4

Tabelle 4.3: Mindestbewehrung aus Zwang

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 121
Vorgang:	4.3 Mindestbewehrung	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Mindestbewehrung aus Zwang

Für die Tunnelsohle wird aufgrund geeigneter konstruktiver Maßnahmen (Gleitfolie) unbehinderte Längsdehnung angenommen. Die Tunnelwände und die -decke werden für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme bemessen. Der Einfluß des Zwangs nimmt mit dem Abstand zu dem zwangbehindernden Bauteil ab. Daher wird die erforderliche Bewehrung konstruktiv bis 4 m Höhe über Sohle bzw. in der Decke auf 4 m Breite neben den Wänden eingelegt. In den darüber liegenden Wandabschnitten und in der übrigen Decke ist die Mindestbewehrung maßgebend.

Die Bemessung ist gegenüber der in DIN EN 1992-2, 9.6.3 (NA.103) angegebenen konstruktiven Längsbewehrung maßgebend.

Es gilt:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

DIN-EN 1992-2, 7.3.4, Gl. (7.8)

mit  $s_{r,max} = d_s / (3,6 \rho_{p,eff})$

DIN-EN 1992-2, 7.3.4, NDP zu 7.3.4 (3)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \sigma_{sr} - 0,4 f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) / E_s$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.4, Gl. (7.9)

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.4, Gl. (7.10)

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot (h - d) \leq (h - x) / 3 \leq h / 2$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.2 (3)

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Die Anrissspannung  $\sigma_{sr}$  wird aus der Mindestbewehrung bestimmt unter Ansatz von  $\sigma_s = \sigma_{sr}$

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_{sr}$$

DIN-EN 1992-2, 7.3.2, Gl. (7.1)

mit  $k_c = 1,0$  für Zug

DIN-EN 1992-2, 7.3.2

$$k = 0,8 \text{ für } h \leq 300 \text{ mm}$$

bzw.  $k = 0,5$  für  $h \geq 800$  mm

$$f_{ct,eff} = 0,50 \cdot f_{ctm}$$

$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$

Bauteil	h	d	d <sub>s</sub>	w <sub>k</sub>	A <sub>s,erf</sub>
	cm	cm	mm	mm	cm <sup>2</sup> /m
Außenwand innen unten	100	93	20	0,20	24,8
Außenwand außen unten	100	93	20	0,15	28,5
Mittelwand unten	80	73	16	0,20	19,0
Decke oben	110	103	20	0,15	30,5
Decke unten	110	103	20	0,20	26,4

Tabelle 4.3: Mindestbewehrung aus Zwang

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 122	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung		
Vorgang:	4.3 Mindestbewehrung		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4.3.2 Mindest-Schubbewehrung

Mindest-Schubbewehrung ist bei Platten nur dort einzulegen, wo statisch eine Schubbe-  
wehrung erforderlich ist. Dann ist der 0,6-fache Wert der erforderlichen Mindestbeweh-  
rung für Balken einzuhalten.

$$\min \rho_w = 0,6 \cdot \rho$$

DIN-FB 102, II, 5.4.3.3

$$\text{mit } \rho = 0,93 \text{ ‰}$$

DIN-FB 102, II, 5.4.2.2

$$\min A_{SW} = 0,6 \cdot 0,93 = 5,6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 123
Vorgang:	4.3 Mindestbewehrung	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4.3.2 Mindest-Schubbewehrung

Mindest-Schubbewehrung ist bei Platten nur dort einzulegen, wo statisch eine Schubbe-  
wehrung erforderlich ist. Dann ist der 0,6-fache Wert der erforderlichen Mindestbeweh-  
rung für Balken einzuhalten.

$$\min \rho_w = 0,6 \cdot \rho$$

DIN EN 1992-2, NCI zu 9.3.2 (2)

$$\text{mit } \rho = 0,93 \text{ ‰}$$

DIN EN 1992-2, NDP zu 9.2.2 (5)

$$\min A_{SW} = 0,6 \cdot 0,93 = 5,6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 124
Vorgang:	4.3 Mindestbewehrung	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. ERGEBNIS DER BEMESSUNG

### 5.1 Bewehrung in Längsrichtung

Bauteil	h	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Sohle oben	120	12,0	15,4	14/10
Sohle unten, Ecke	120	12,1	15,4	14/10
Sohle unten, Feld	120	12,0	15,4	14/10
Sohle unten, MW	120	18,8	20,1	16/10
AW innen, bis 4 m	100	24,7	25,8	16/20 + 20/20
AW innen	100	12,0	15,4	14/10
AW außen, bis 4 m	100	28,4	31,4	20/10
AW außen	100	12,0	15,4	14/10
MW Zerschellschicht	80	18,6	22,6	12/10 + 12/10
MW	80	12,0	15,4	14/10
Decke oben Ecke bis 4 m	110	30,4	31,4	20/10
Decke oben Feld	110	12,0	15,4	14/10
Decke oben ü. MW bis 4 m	110	30,4	31,4	20/10
Decke unten Ecke bis 4 m	110	26,4	31,4	20/10
Decke unten Feld	110	12,0	15,4	20/10
Decke unten MW bis 4 m	110	26,4	31,4	20/10

Tabelle 5.1: Bewehrung in Längsrichtung

### 5.2 Biegebewehrung in Querrichtung

Bauteil	$A_{s,GZT}$	$A_{s,GZG}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Sohle oben	42,5	59,7	62,8	20/10 + 20/10
Sohle unten, Ecke	28,4	60,5	69,2	25/10 + 16/10
Sohle unten, Feld	-	-	15,4	14/10
Sohle unten, MW	66,7	93,8	98,2	25/10 + 25/10
AW innen	-	-	15,4	14/10
AW außen, unten	34,2	68,3	69,2	25/10 + 16/10
AW außen, oben	19,8	40,2	49,1	25/10

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 125
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. ERGEBNIS DER BEMESSUNG

### 5.1 Bewehrung in Längsrichtung

Bauteil	h	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Sohle oben	120	12,0	15,4	14/10
Sohle unten, Ecke	120	12,4	15,4	14/10
Sohle unten, Feld	120	12,0	15,4	14/10
Sohle unten, MW	120	19,1	20,1	16/10
AW innen, bis 4 m	100	24,8	25,8	16/20 + 20/20
AW innen	100	12,0	15,4	14/10
AW außen, bis 4 m	100	28,5	31,4	20/10
AW außen	100	12,0	15,4	14/10
MW Zerschellschicht	80	18,6	22,6	12/10 + 12/10
MW	80	12,0	15,4	14/10
Decke oben Ecke bis 4 m	110	30,5	31,4	20/10
Decke oben Feld	110	12,0	15,4	14/10
Decke oben ü. MW bis 4 m	110	30,5	31,4	20/10
Decke unten Ecke bis 4 m	110	26,4	31,4	20/10
Decke unten Feld	110	12,0	15,4	20/10
Decke unten MW bis 4 m	110	26,4	31,4	20/10

Tabelle 5.1: Bewehrung in Längsrichtung

### 5.2 Biegebewehrung in Querrichtung

Bauteil	$A_{s,GZT}$	$A_{s,GZG}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Sohle oben	44,5	61,2	62,8	20/10 + 20/10
Sohle unten, Ecke	29,6	62,2	69,2	25/10 + 16/10
Sohle unten, Feld	-	-	15,4	14/10
Sohle unten, MW	68,3	95,6	98,2	25/10 + 25/10
AW innen	-	-	15,4	14/10
AW außen, unten	35,6	66,7	69,2	25/10 + 16/10
AW außen, oben	21,9	42,1	49,1	25/10

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 126
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Bauteil	$A_{s,GZT}$	$A_{s,GZG}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
MW unten	4,6	-	22,6	12/10 + 12/10
MW	-	-	15,4	14/10
Decke oben Ecke	14,2	27,2	49,1	25/10
Decke oben Feld	-	-	15,4	14/10
Decke oben ü. MW	55,7	99,2	98,2	25/10 + 25/10
Decke unten Ecke	-	-	15,4	14/10
Decke unten Feld	41,7	55,3	62,8	20/10 + 20/10
Decke unten MW	-	-	15,4	14/10

Tabelle 5.2: Biegebewehrung in Querrichtung

### 5.3 Schubbewehrung

Wegen  $V_{Ed} < 0,3 V_{Rdmax}$  sind Schubzulagen (S-Haken) ausreichend.

DIN-FB 102, II, 5.4.3.3

Höchstabstände      längs: 0,7 h bzw. 300mm  
                                  Quer: h bzw. 800 mm

DIN-FB 102, II, 5.4.3.3

Bauteil	$A_{sw,erf}$	$A_{sw,vorh}$	$\varnothing_s / s / s$
	cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	mm / cm / cm
Sohle, Ecke	13,5	13,1	10 / 20 / 30
Sohle, Mitte	16,3	16,1	12 / 20 / 35
AW, unten	11,2	13,1	10 / 20 / 30
Decke, Ecke	9,8	13,1	10 / 20 / 30
Decke, Mitte	13,5	13,1	10 / 20 / 30
MW	-	-	konstruktiv

Tabelle 5.3: Schubbewehrung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Bauteil	$A_{s,GZT}$	$A_{s,GZG}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
MW unten	16,7	-	22,6	12/10 + 12/10
MW	-	-	15,4	14/10
Decke oben Ecke	15,9	33,2	49,1	25/10
Decke oben Feld	-	-	15,4	14/10
Decke oben ü. MW	56,8	100,3	98,2	25/10 + 25/10
Decke unten Ecke	-	-	15,4	14/10
Decke unten Feld	45,1	57,9	62,8	20/10 + 20/10
Decke unten MW	-	-	15,4	14/10

Tabelle 5.2: Biegebewehrung in Querrichtung

### 5.3 Schubbewehrung

Wegen  $V_{Ed} < 1/3 V_{Rdmax}$  sind Schubzulagen (S-Haken) ausreichend.

DIN EN 1992-1-1, 9.3.2 (3)

Höchstabstände      längs: 0,7 h  
                                 quer: h

DIN EN 1992-2, NCI zu 9.3.2 (4)

Bauteil	$A_{sw,erf}$	$A_{sw,vorh}$	$\varnothing_s / s / s$
	cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	mm / cm / cm
Sohle, Ecke	13,5	13,1	10 / 20 / 30
Sohle, Mitte	16,3	16,1	12 / 20 / 35
AW, unten	11,2	13,1	10 / 20 / 30
Decke, Ecke	9,8	13,1	10 / 20 / 30
Decke, Mitte	13,5	13,1	10 / 20 / 30
MW	11,2	13,1	10 / 20 / 30

Tabelle 5.3: Schubbewehrung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 128
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 5.4 Darstellung der Biege- und Schubbewehrung

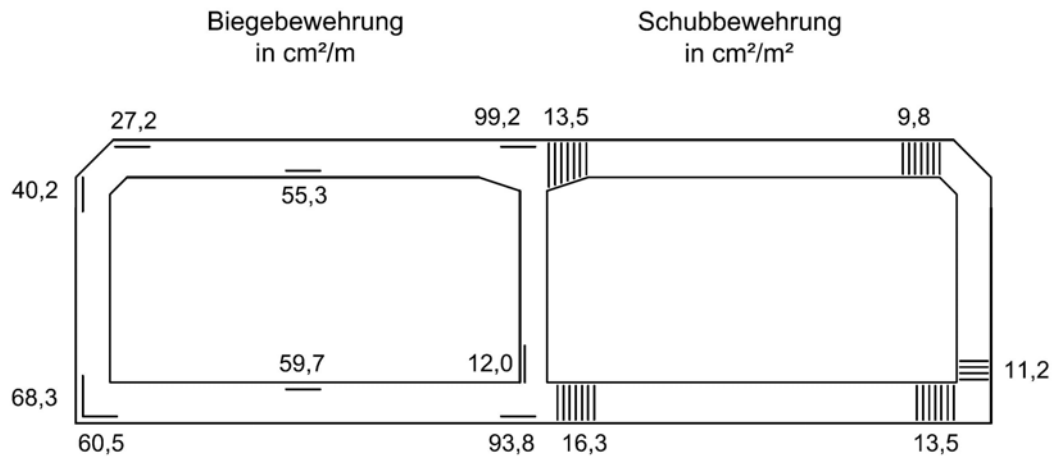


Bild 5.1: Erforderliche Biege- und Schubbewehrung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 129
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 5.4 Darstellung der Biege- und Schubbewehrung

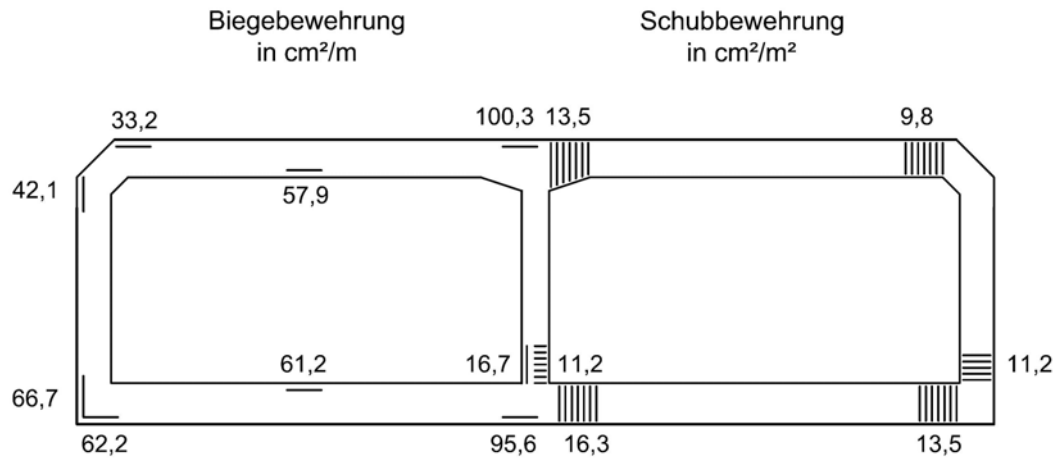


Bild 5.1: Erforderliche Biege- und Schubbewehrung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 130
Vorgang:		

## **Stand sicherheitsnachweis**

### **für ein Tunnelbauwerk**

### **in offener Bauweise**

#### **Musterbeispiel**

#### **für die nationale Umsetzung des EC 7**

#### **bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken**

#### **mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis für ein Tunnelbauwerk  
in offener Bauweise**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	1
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	3
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	7
IV. Stand sicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	9
1. Berechnungsgrundlagen	11
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserstände	11
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	13
1.3 Statisches System	15
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	17
2. Nachweis der Auftriebssicherheit	59
3. Schnittgrößenermittlung	63
4. Bemessung	99
4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	99
4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	113
4.3 Mindestbewehrung	119
5. Ergebnis der Bemessung	125
5.1 Bewehrung in Längsrichtung	125
5.2 Biegebewehrung in Querrichtung	125
5.3 Schubbewehrung	127
5.4 Darstellung der Biege- und Schubbewehrung	129

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis	Seite 1	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Das betrachtete Tunnelbauwerk dient zur Unterführung einer vierspurigen Straße mit einem Regelquerschnitt RQ 31T. Es wird in offener Bauweise als Stahlbetonrahmen hergestellt. Aus dem Lichtraumprofil RQ 31T ergeben sich die lichten Innenmaße des 2-zelligen Rahmens von jeweils 12,0 m Breite und 6,0 m Höhe. Die Sohloberkante des Rahmens liegt 11,1 m unter OK Gelände. Die Konstruktionsdicken werden auf der Grundlage einer Vorbemessung zu 1,2 m für die Sohle, 1,1 m für die Tunneldecke, 1,0 m für die Außenwände und 0,80 m für die Innenwand gewählt. Die Blocklänge beträgt 10,0 m. Das Bauwerk wird als wasserundurchlässige Betonkonstruktion geplant.

### Baugrund und Grundwasser

Im Bereich des betrachteten Tunnelblocks steht ab ca. 14,3 m unter OK Gelände bis in größere Tiefen steifer bis halbfester Ton mit sehr geringer Wasserdurchlässigkeit an. Er wird überlagert von einem mitteldichten Sand (Sand 2) mit ca. 8,3 m Mächtigkeit. Ab 6,0 m unter OK Gelände bis zur Geländeoberfläche steht locker bis mitteldicht gelagerter Sand (Sand 1) an. Die Geländeoberfläche wird von einer Dezimeter dicken Mutterbodenschicht gebildet. Der höchste anzusetzende Grundwasserspiegel liegt bei 2,0 m unter Oberkante Gelände, der niedrigste Wasserspiegel 4,0 m tiefer.

### Herstellung und Tragsystem

Die 29,0 m breite und 12,5 m tiefe Baugrube wird durch einfach geankerte, eingespannte Spundwände gesichert. Die Spundwände binden ca. 3,0 m in den wasserundurchlässigen Ton ein, so daß das Grundwasser außerhalb der Baugrube von der Baumaßnahme nicht berührt wird und lediglich innerhalb der Baugrube im Zuge des Aushubs abgesenkt wird.

Nach Erreichen der Endaushubtiefe wird der Tunnelrahmen auf einer 20 cm dicken Sauberkeitsschicht in drei Schritten hergestellt: Als erstes wird die 1,2 m dicke Tunnelsohle betoniert, anschließend die Tunnelwände und im letzten Schritt die Tunneldecke. Nach Erreichen der hinreichenden Festigkeit des Betons wird das Bauwerk vollständig überschüttet und anschließend die Grundwasserhaltung abgestellt. Nach Ausgleich der Wasserspiegel innerhalb und außerhalb der Baugrube werden die Spundwände gezogen.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 3
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

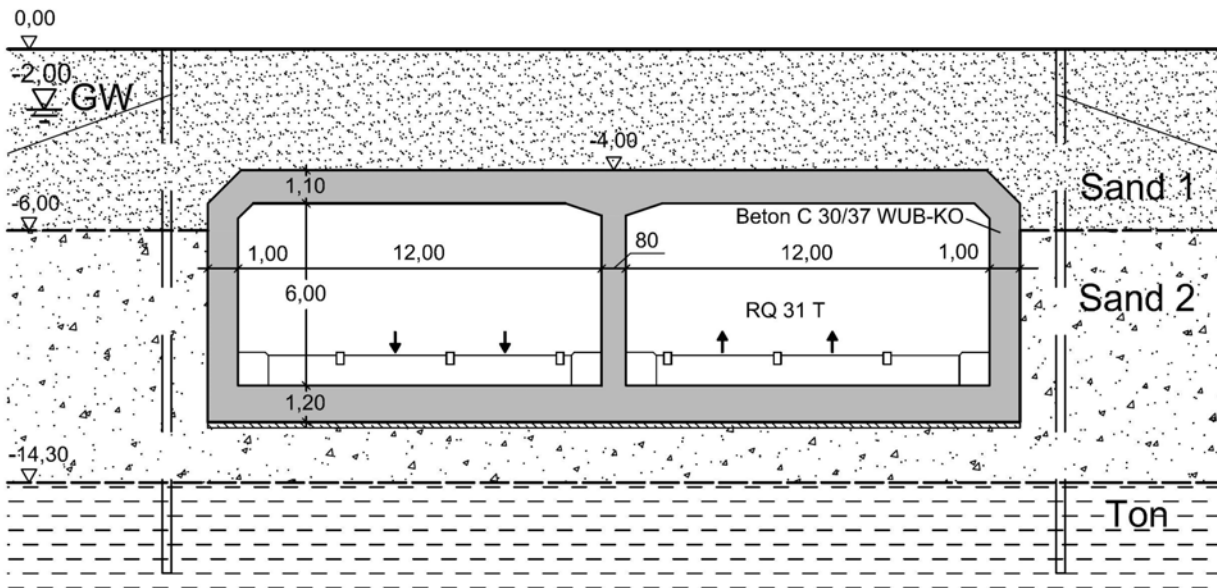


Bild II.1 Tunnel in offener Bauweise, Querschnitt Endzustand

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Seite 5	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 5, Abschn. 2	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Tunnelbau, Offene Bauweise. Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2012-03
DIN-Fachbericht 101	Einwirkungen auf Brücken, Ausgabe 2009-03
DIN-Fachbericht 102	Betonbrücken, Ausgabe 2009-03
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005-01
DIN 1055 Teil 1	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, Ausgabe 2002-06
DIN 1055 Teil 2	Lastannahmen für Bauten, Bodenkenngößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel, Ausgabe 1976-02
DIN 4085	Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe 2011-05

EDV-Programme:

SOFiSTiK GmbH

Programmmodule zur Stabwerksberechnung

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 7
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des Tunnelbauwerks gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 (Tunnel in offener Bauweise).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN-Fachbericht 101: für den Ansatz von Verkehrslasten, die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungsseite
- DIN-Fachbericht 102: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften
- DIN 1054: für die Sicherheitsnachweise des Tunnelbauwerkes einschließlich der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 9	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Tiefe unter GOK	Wichte feucht	Wichte unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	Steifemodul
	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Sand 1	0,0 - 6,0	17	8	30,0	0	75
Sand 2	6,0 - 14,3	19	11	32,5	0	100
Ton	14,3 - 20,0	19	9	20,0	20	20

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Als Bettungsmodul für die Tunnelsohle ist ein Wert von 5 MN/m<sup>3</sup> anzusetzen.

Die charakteristischen Grundwasserstände sind wie folgt anzunehmen:

Grundwasser	Tiefe unter GOK
	m
max GW	2,0
min GW	6,0

Tabelle 1.2: Grundwasserstände

Der Füllboden seitlich und oberhalb des Tunnels ist nach externen Vorgaben einzubauen. Demnach sind für den Füllboden die gleichen Baugrundkennwerte anzusetzen wie für die Sande 1 und 2, d.h. von OK Gelände bis Kote ~6,0 m die Kennwerte des Sandes 1 und darunter die Kennwerte des Sandes 2.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 11
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

DIN-FB 102, Kap. II, 3.2

Betonstahlsorte	BSt 500 S	
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1 bzw. DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.1, Tab. R2
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN 1045-1, 9.2.4 (3)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.4.3 (1)

### Betondeckung

allgemein	min $c = 40 \text{ mm}$	DIN-FB 102, Kap. II, 4.1.3.3 (114)
	nom $c = 45 \text{ mm}$	
erdberührende Flächen	min $c = 50 \text{ mm}$	
	nom $c = 55 \text{ mm}$	
Brandschutz Decke und Wände	nom $c = 6,0 \text{ cm}$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 10.3.2

### Beton

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37 WUB-KO	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (5)
Expositionsklassen	XD2, XF2	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (12)
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.4, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 28300 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.5.2, Tab. 3.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V): DIN-FB 102, Kap. II, 2.3.3.2,  
Tab. 2.3

$$\gamma_s = 1,15$$

Außergewöhnliche Bemessungssituation (A):

$$\gamma_s = 1,0$$

im GZ 2  $\gamma_s = 1,0$

#### Beton:

S+V  $\gamma_c = 1,5$  DIN-FB 102, Kap. II, 2.3.3.2,  
Tab. 2.3

A  $\gamma_c = 1,3$

im GZ 2  $\gamma_c = 1,0$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen <span style="float: right;">Seite 13</span>	
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

Die Ermittlung der Schnittgrößen erfolgt mit einem Stabwerksprogramm der Firma SO-FiSTIK. Die Sohle des Tunnels wird dabei als gebettet angesetzt.

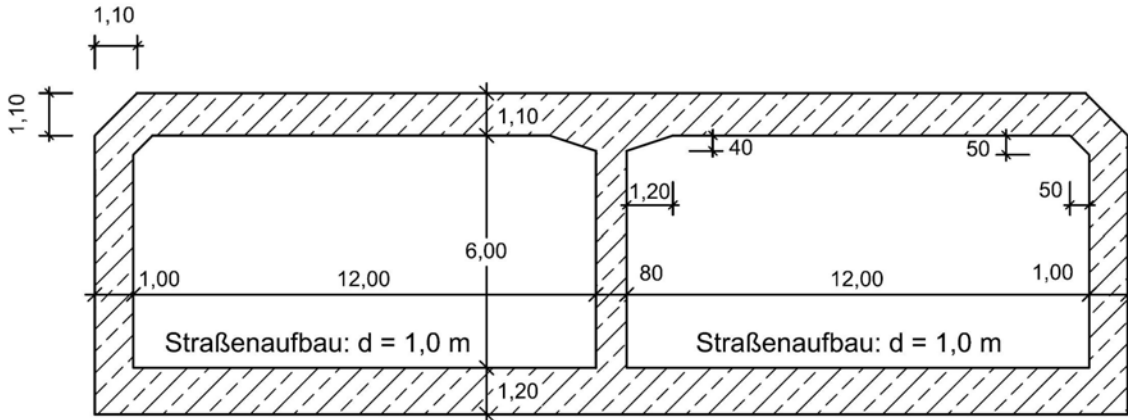


Bild 1.1: Tunnelquerschnitt

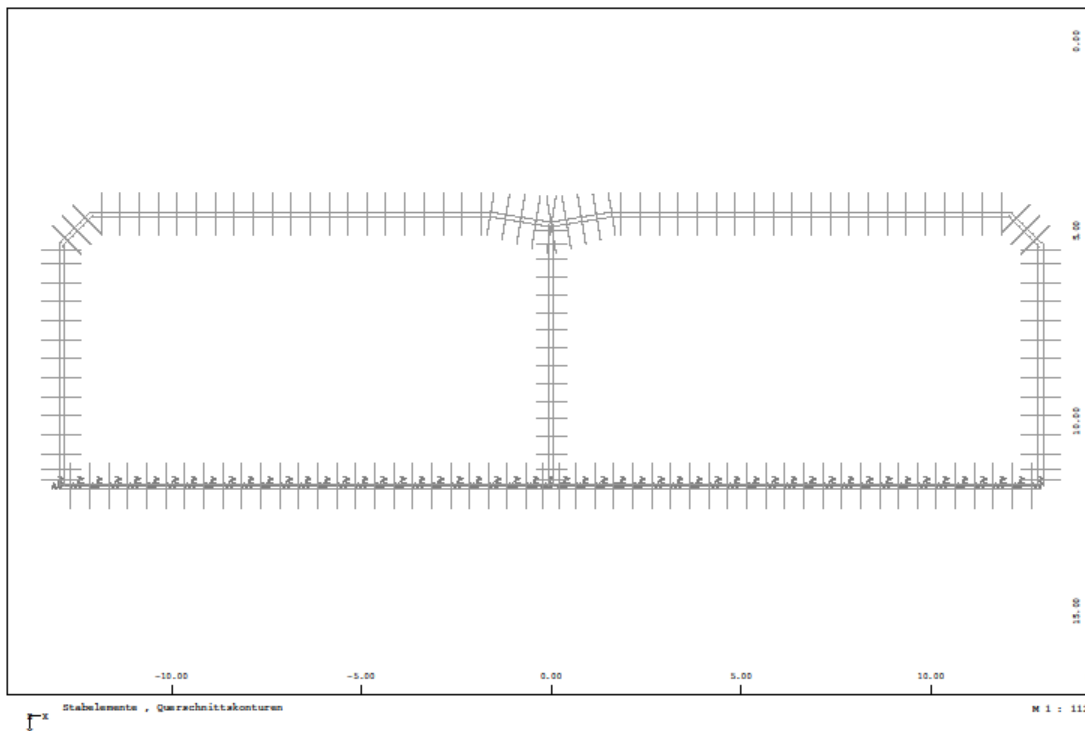


Bild 1.2: Statisches System

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 15
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

### 1.4.1 Ständige Einwirkungen

#### Eigengewicht Tunnel

wird vom Programm ermittelt mit  $\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^3$

DIN 1055 Teil1

#### Eigengewicht Fahrbahnaufbau

Dicke  $d \sim 1,0 \text{ m}$   $g_{F,k} = 1,0 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 = 22 \text{ kN/m}^2$

#### Auflast aus Überschüttung

Es werden zwei Belastungszustände betrachtet – der Bauzustand und der Endzustand.

Im Bauzustand wird infolge der Grundwasserabsenkung in der Baugrube kein Wasserdruck angesetzt. Im Endzustand wird der Wasserdruck zwischen dem maximalen und dem minimalen Wasserstand variiert.

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$\Sigma h \cdot \gamma$
		m	$\text{kN/m}^3$	$\text{kN/m}^2$
1	0,00			0,00
		2,00	17	
	-2,00			34,00
		2,00	17	
	-4,00			68,00
		0,60	17	
	-4,60			78,20
		1,40	17	
	-6,00			102,00
2	-6,00			102,00
		5,10	19	
	-11,10			198,90

Tabelle 1.3: Auflast aus Überschüttung im Bauzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 17
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$\Sigma h \cdot \gamma$
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0,00			0,00
		2,00	17	
	-2,00			34,00
		2,00	8	
	-4,00			50,00
		0,60	8	
	-4,60			54,80
		1,40	8	
	-6,00			66,00
2	-6,00			66,00
		5,10	11	
	-11,10			122,10

Tabelle 1.4: Auflast im Endzustand bei max GW

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$\Sigma h \cdot \gamma$
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0,00			0,00
		2,00	17	
	-2,00			34,00
		2,00	17	
	-4,00			68,00
		0,60	17	
	-4,60			78,20
		1,40	17	
	-6,00			102,00
2	-6,00			102,00
		5,10	11	
	-11,10			158,10

Tabelle 1.5: Auflast im Endzustand bei min GW

#### Erddruck auf Tunnelaußenwände

Voruntersuchungen haben gezeigt, dass nur Lastfälle mit voller Überschüttung maßgebend werden. Auch der Lastfall Verdichtungserddruck ist für keine Füllhöhe für die Bemessung relevant. Daher werden nachfolgend nur die Zustände mit voller Überschüttung untersucht.

Für den seitlichen Erddruck wird als größter Wert der Erdruhedruck zugrunde gelegt, als kleinster Wert der halbe aktive Erddruck.

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.1 (3)

Aufgrund des breiten Querschnittes führen asymmetrische horizontale Erddrücke ( einseitig aktiver Erddruck, andere Seite Erdruhedruck und ggf. Verkehr) zu keiner maßgebenden Beanspruchung und werden daher vernachlässigt.

Im Bauzustand ist kein Wasserdruck anzusetzen, für den Endzustand wird der Grundwasserspiegel zwischen max GW und min GW variiert.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Neigungswinkel  $\delta_a = 1/2 \varphi'_k$  (weniger rau)

DIN 4085, Tabelle A.1

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh}$  (Sand 1) = 0,29

DIN 4085, Abschn. 6.3.1.2

$K_{agh}$  (Sand 2) = 0,26

$K_{0g}$  (Sand 1) = 0,50

DIN 4085, Abschn. 6.4.1

$K_{0g}$  (Sand 2) = 0,46

Erddruckordinaten im Bauzustand:

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$h \cdot \gamma$	g	$k_{ah}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	min e	$k_0$	$\Sigma g \cdot k_0$	max e
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	-0,00				0,00	0,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
		2,00	17	34,00							
	-2,00				34,00	0,29	9,86	4,93	0,50	17,00	17,00
		2,00	17	34,00							
	-4,00				68,00	0,29	19,72	9,86	0,50	34,00	34,00
		0,55	17	9,35							
	-4,55				77,35	0,29	22,43	11,22	0,50	38,68	38,68
		0,80	17	13,60							
	-5,35				90,95	0,29	26,38	13,19	0,50	45,48	45,48
	0,65	17	11,05								
-6,00				102,00	0,29	29,58	14,79	0,50	51,00	51,00	
2	-6,00				102,00	0,26	26,52	13,26	0,46	46,92	46,92
		5,10	19	96,9							
	-11,10				198,90	0,26	51,71	25,86	0,46	91,49	91,49
		0,60	19	11,4							
	-11,70				210,30	0,26	54,68	27,34	0,46	96,74	96,74
		0,60	19	11,4							
-12,30				221,70	0,26	57,64	28,82	0,46	101,98	101,98	

Tabelle 1.6: Kleinster und größter Erddruck im Bauzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	
Seite 21		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruckordinaten im Endzustand:

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$h \cdot \gamma$	g	$k_{ah}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	min e	$k_0$	$\Sigma g \cdot k_0$	max e
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	-0,00				0,00	0,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
		2,00	17	34,00							
	-2,00				34,00	0,29	9,86	4,93	0,50	17,00	17,00
		2,00	8	16,00							
	-4,00				50,00	0,29	14,50	7,25	0,50	25,00	25,00
		0,55	8	4,40							
	-4,55				54,40	0,29	15,78	7,89	0,50	27,20	27,20
		0,80	8	6,40							
	-5,35				60,80	0,29	17,63	8,82	0,50	30,40	30,40
	0,65	8	5,20								
-6,00				66,00	0,29	19,14	9,57	0,50	33,00	33,00	
2	-6,00				66,00	0,26	17,16	8,58	0,46	30,36	30,36
		5,10	11	56,1							
	-11,10				122,10	0,26	31,75	15,87	0,46	56,17	56,17
		0,60	11	6,6							
	-11,70				128,70	0,26	33,46	16,73	0,46	59,20	59,20
		0,60	11	6,6							
-12,30				135,30	0,26	35,18	17,59	0,46	62,24	62,24	

Tabelle 1.7: Kleinster und größter Erddruck im Endzustand bei max GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 23
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$h \cdot \gamma$	g	$k_{ah}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	min e	$k_0$	$\Sigma g \cdot k_0$	max e
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	0,00				0,00	0,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
		2,00	17	34,00							
	-2,00				34,00	0,29	9,86	4,93	0,50	17,00	17,00
		2,00	17	34,00							
	-4,00				68,00	0,29	19,72	9,86	0,50	34,00	34,00
		0,55	17	9,35							
	-4,55				77,35	0,29	22,43	11,22	0,50	38,68	38,68
		0,80	17	13,60							
	-5,35				90,95	0,29	26,38	13,19	0,50	45,48	45,48
		0,65	17	11,05							
-6,00				102,00	0,29	29,58	14,79	0,50	51,00	51,00	
2	-6,00				102,00	0,26	26,52	13,26	0,46	46,92	46,92
		5,10	11	56,1							
	-11,10				158,10	0,26	41,11	20,55	0,46	72,73	72,73
		0,60	11	6,6							
	-11,70				164,70	0,26	42,82	21,41	0,46	75,76	75,76
		0,60	11	6,6							
-12,30				171,30	0,26	44,54	22,27	0,46	78,80	78,80	

Tabelle 1.8: Kleinster und größter Erddruck im Endzustand bei min GW

Wasserdruck im Endzustand

max GW = 2,0 m unter GOK

min GW = 6,0 m unter GOK

Verkehrslasten auf Überschüttung

Bauzustand  $p = 10 \text{ kN/m}^2$

EAB EB 156

Endzustand  $p = 5 \text{ kN/m}^2$

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.2.4

Erddruckbeiwerte:  $K_{0p}$  (Sand 1) = 0,50

$K_{0p}$  (Sand 2) = 0,46

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruckordinaten aus Verkehrslast im Bauzustand:

Schicht	Kote	h	p	$k_0$	max e
		m	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m
1	0,00		10,00	0,50	5,00
		2,00			
	-2,00		10,00	0,50	5,00
		2,00			
	-4,00		10,00	0,50	5,00
		0,55			
	-4,55		10,00	0,50	5,00
		0,80			
	-5,35		10,00	0,50	5,00
		0,65			
	-6,00		10,00	0,50	5,00
2	-6,00		10,00	0,46	4,60
		5,10			
	-11,10		10,00	0,46	4,60
		0,60			
	-11,70		10,00	0,46	4,60
		0,60			
	-12,30		10,00	0,46	4,60

Tabelle 1.9: Erddruck aus Verkehrslasten im Bauzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	
		Seite 27

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruckordinaten aus Verkehrslast im Endzustand:

Schicht	Kote	h	p	$k_0$	max e
		m	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m
1	0,00		5,00	0,50	2,50
		2,00			
	-2,00		5,00	0,50	2,50
		2,00			
	-4,00		5,00	0,50	2,50
		0,55			
	-4,55		5,00	0,50	2,50
		0,80			
	-5,35		5,00	0,50	2,50
	0,65				
	-6,00		5,00	0,50	2,50
2	-6,00		5,00	0,46	2,30
		5,10			
	-11,10		5,00	0,46	2,30
		0,60			
	-11,70		5,00	0,46	2,30
		0,60			
	-12,30		5,00	0,46	2,30

Tabelle 1.10: Erddruck aus Verkehrslasten im Endzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 29
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4.2 Veränderliche Einwirkungen

### Verkehrslasten im Tunnel

Die Verkehrslasten im Tunnel sind nach DIN-Fachbericht 101 anzusetzen.

Haupt-Lastmodell (Lastmodell 1):

DIN-FB 101, Kap. IV, 4.3.2

- Doppelachse (Tandem-System TS)

$$\alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} = 240 \text{ kN mit } \alpha_{Q1} = 0,8$$

DIN-FB 101, Kap. IV, 4.3.2,  
Tab. 4.2

$$\alpha_{Q2} \cdot Q_{2k} = 160 \text{ kN mit } \alpha_{Q2} = 0,8$$

- gleichmäßig verteilte Belastung (UDL-System)

$$\alpha_{q1} \cdot q_{1k} = 9,0 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{q1} = 1,0$$

DIN-FB 101, Kap. IV, 4.3.2,  
Tab. 4.2

$$\alpha_{q2} \cdot q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{q2} = 1,0$$

$$\alpha_{qr} \cdot q_{rk} = 2,5 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{qr} = 1,0$$

Verteilung von Einzellasten:

DIN-FB 101, Kap. IV, 4.3.6

Die Einzellasten dürfen unter 45° bis zur Mittellinie der tragenden Platte verteilt werden. Quer zur Fahrtrichtung ist die Verteilung bis zum Rand des Fahrstreifens begrenzt. Damit ergeben sich die folgenden Lastverteilungen:

Lastverteilungsbreite  $b = 3,0 \text{ m}$

Lastverteilungslänge  $l = 1,6 + 2 \cdot (1 + 1,2/2) = 4,80 \text{ m}$

$$\Sigma (\alpha_{Q1} \cdot Q_{1k}) / (b \cdot l) = 33,33 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma (\alpha_{Q2} \cdot Q_{2k}) / (b \cdot l) = 22,22 \text{ kN/m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 31
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

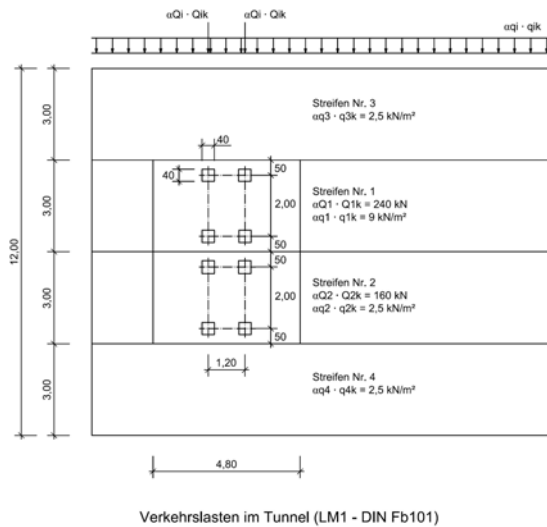


Bild 1.3: Verkehrslasten im Tunnel

### Temperatureinwirkungen

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.2.6,  
Bild 5.2.1

- Temperatur im Tunnel bis 1000 m vom Portal  
Sommer:  $T = +25 \text{ }^\circ\text{C}$   
Winter:  $T = -15 \text{ }^\circ\text{C}$
- Tunnelumgebungstemperatur  $T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$   
im Abstand von 2 m zur Tunnelinnenkontur,  
bei Grundwasser an Außenkante Bauwerk

Temperaturlasten im Bauzustand:

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	$T_{\text{innen}}$	$T_{\text{außen}}$	$T_{\text{Einbau}}$	$T_0$	$\Delta T$
-	m	m	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	25	25	10	15,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	25	10	10	11,023	7,955
Decke	1,10	0,00	25	10	10	10,875	8,250
Decke Voute	1,20	0,00	25	10	10	10,500	9,000
Decke Voute	1,40	0,00	25	10	10	9,750	10,500
Decke Voute	1,50	0,00	25	10	10	9,375	11,250
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	11,250	7,500
Sohle	1,20	0,00	25	10	10	10,500	9,000

Tabelle 1.11: Bauzustand: Temperatur im Sommer ohne Grundwasser

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 33	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	-15	-15	10	-25,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	-15	10	10	-18,371	-13,258
Decke	1,10	0,00	-15	10	10	-18,125	-13,750
Decke Voute	1,20	0,00	-15	10	10	-17,500	-15,000
Decke Voute	1,40	0,00	-15	10	10	-16,250	-17,500
Decke Voute	1,50	0,00	-15	10	10	-15,625	-18,750
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-18,750	-12,500
Sohle	1,20	0,00	-15	10	10	-17,500	-15,000

Tabelle 1.12: Bauzustand: Temperatur im Winter ohne Grundwasser

Temperaturlasten im Endzustand:

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	25	25	10	15,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke	1,10	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke Voute	1,20	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke Voute	1,40	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke Voute	1,50	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Sohle	1,20	1,00	25	10	10	4,091	8,182

Tabelle 1.13: Endzustand, Temperatur im Sommer bei max GW

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	-15	-15	10	-25,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke	1,10	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke Voute	1,20	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke Voute	1,40	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke Voute	1,50	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Sohle	1,20	1,00	-15	10	10	-6,818	-13,636

Tabelle 1.14: Endzustand, Temperatur im Winter bei max GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	25	25	10	15,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	25	10	10	11,023	7,955
Decke	1,10	0,00	25	10	10	10,875	8,250
Decke Voute	1,20	0,00	25	10	10	10,500	9,000
Decke Voute	1,40	0,00	25	10	10	9,750	10,500
Decke Voute	1,50	0,00	25	10	10	9,375	11,250
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	11,250	7,500
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Sohle	1,20	1,00	25	10	10	4,091	8,182

Tabelle 1.15: Endzustand, Temperatur im Sommer bei min GW

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	-15	-15	10	-25,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	-15	10	10	-18,371	-13,258
Decke	1,10	0,00	-15	10	10	-18,125	-13,750
Decke Voute	1,20	0,00	-15	10	10	-17,500	-15,000
Decke Voute	1,40	0,00	-15	10	10	-16,250	-17,500
Decke Voute	1,50	0,00	-15	10	10	-15,625	-18,750
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-18,750	-12,500
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Sohle	1,20	1,00	-15	10	10	-6,818	-13,636

Tabelle 1.16: Endzustand, Temperatur im Winter bei min GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.4.3 Außergewöhnliche Einwirkungen

#### Fahrzeuganprall

Ist auf die Innenwand anzusetzen, da deren Dicke  $d=0,8$  m und damit kleiner als 0,9 m ist: DIN-FB 102, Kap. II, 4.3.6.2 (107)

rechtwinklig zur Fahrtrichtung 500 kN in 1,25 m Höhe über der Fahrbahnoberfläche DIN-FB 101, Kap. IV, 4.7.2.1 (1)

#### Brand

$\Delta T = 50$  K in Wand und Decke ZTV-ING T5, Abschn. 2, 10.3.3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen <span style="float: right;">Seite 39</span>	
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 1.4.4 Lastfallkombinationen für die Bemessung

Die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind für alle Bauzustände und den Endzustand zu führen. Für das Tunnelbauwerk als Stahlbetonkonstruktion ist dabei der DIN-Fachbericht 101 maßgebend. Gemäß Kapitel II, 9.4.2 sind die Einwirkungen a) für ständige Einwirkungen und vorübergehende Situationen und b) für außergewöhnliche Situationen nach den Gleichungen (9.10) und (9.11) anzusetzen. Die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für die Einwirkungen sind dabei für Eigengewicht (= ständige Einwirkung) und Verkehr nach DIN-FB 101, Anhang C anzusetzen.

Erddrücke werden im DIN-Fachbericht 101 „Einwirkungen auf Brücken“, Tabelle C1 nur ohne Unterscheidung ihrer Art (aktiv, Erdruchedruck) berücksichtigt, da sie im Brückenbau nur für die Widerlager von Bedeutung sind. Für Tunnel in offener Bauweise sind sie jedoch die vorherrschende ständige Einwirkung. Aus diesem Grund sind die Teilsicherheitsbeiwerte für vertikale und horizontale Erddrücke sowie Wasserdruck aus der für den Erd- und Grundbau maßgebenden DIN 1054 zu entnehmen.

Ebenso gibt die DIN 1054 – abweichend von DIN-FB 101 – für ständige Einwirkungen aus Baugrund und Grundwasser in der außergewöhnlichen Einwirkungskombination von 1,0 abweichende Teilsicherheiten an. Diese sind maßgebend und werden daher angesetzt.

Für die Temperatureinwirkungen gibt die ZTV-ING T5, Abschnitt 2 die Teilsicherheit  $\gamma = 1,0$  vor, um eine Überbewertung der Zwangbeanspruchung zu vermeiden.

Die anzusetzenden Lastfallkombinationen ergeben sich damit wie folgt:

##### Tragfähigkeitsnachweis

###### Ständige und vorübergehende Bemessungssituation

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} \text{ "+" } \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

DIN-FB 101, Kap. II, 9.4.2,  
Gl. (9.10)

###### Außergewöhnliche Bemessungssituation

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{GAj} \cdot G_{kj} \text{ "+" } A_d \text{ "+" } \psi_{11} \cdot Q_{k1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

DIN-FB 101, Kap. II, 9.4.2,  
Gl. (9.11)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 41
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 1: Bauzustand

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht  $\gamma_{Gsup} = 1,35^{3)}$  DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung  $\gamma_G = 1,35^{1)4)}$  DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck ohne Wasser bzw.  $\gamma_G = 1,35^{1)4)}$  DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2  
Erdruchdruck ohne Wasser  $\gamma_{E0g} = 1,20^{1)4)}$  DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- Verkehrslasten auf Überschüttung  $\gamma_G = 1,35^{2)}$  DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Temperatur Sommer bzw.  
Temperatur Winter  $\gamma = 1,00$  ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.1 (8)

1) Bei der Bemessung des Bauwerks unterscheidet der DIN-FB 101 nicht zwischen Bau- und Endzuständen. Aus diesem Grund werden die Teilsicherheiten für den Erddruck auch im Bauzustand für Lastfall 1 nach DIN 1054, Tabelle 2 festgelegt.

2) Für großflächige Nutzlasten bis 10 kN/m<sup>2</sup> ist gemäß DIN 1054, 10.5.4.(2) der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_G$  nach Tabelle 2 zu wählen.

3) Eine Berücksichtigung des Konstruktionseigengewichtes mit  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  erfolgt nicht, da dies im Fall eines überschütteten Tunnels zu keiner maßgebenden Vergrößerung der Bemessungsergebnisse führt. Für die Sohlauffüllung wird dagegen  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  berücksichtigt.

4) Für die ständigen Lasten aus Überschüttung und Erddruck wird bei der statischen Berechnung und Bemessung des Bauwerkes ebenfalls  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  nicht berücksichtigt. Dieser Wert ist in DIN 1054 (2005) nur für den Sonderfall vorgesehen. Über die Erddruckvariation ist im Tunnelbau die günstige bzw. ungünstige Wirkung der Erddrucklasten ausreichend abgedeckt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 43
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 2: Endzustand bei max GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,35$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck bei max GW bzw.	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- Erdruchdruck bei max GW	$\gamma_{E0g} = 1,20$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- max GW	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2 bzw. DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel	$\gamma_Q = 1,50$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
TS	$\psi_0 = \psi_1 = 0,75$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
UDL	$\psi_0 = \psi_1 = 0,40$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
- Temperatur Sommer bzw.	$\gamma_T = 1,00$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.1 (8)
Temperatur Winter	$\psi_0 = \psi_1 = 0,60$	

### Lastfallkombination LFK 3: Endzustand bei min GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,35$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck bei min GW bzw.	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
Erdruchdruck bei min GW	$\gamma_{E0g} = 1,20$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- min GW	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2 bzw. DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel	$\gamma_Q = 1,50$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
TS	$\psi_0 = \psi_1 = 0,75$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
UDL	$\psi_0 = \psi_1 = 0,40$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
- Temperatur Sommer bzw.	$\gamma_T = 1,00$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.1 (8)
Temperatur Winter	$\psi_0 = \psi_1 = 0,60$	

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 45
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 4: Endzustand Anprall bei max GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck bei max GW bzw. Erdruchdruck bei max GW	$\gamma_G = 1,10$ $\gamma_{E0g} = 1,00$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2 DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- max GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
TS	$\psi_1 = 0,75$	
	$\psi_2 = 0,20$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
UDL	$\psi_1 = 0,40$	
	$\psi_2 = 0,20$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
- Temperatur Sommer bzw Temperatur Winter	$\psi_1 = 0,60$ $\psi_2 = 0,50$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1

Außergewöhnliche Einwirkung:

- Anprall	$\gamma_A = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
-----------	-------------------	--------------------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 47
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 5: Endzustand Anprall bei min GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck bei min GW bzw. Erdruchdruck bei min GW	$\gamma_G = 1,10$ $\gamma_{E0g} = 1,00$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2 DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- min GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
TS	$\psi_1 = 0,75$	
	$\psi_2 = 0,20$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
UDL	$\psi_1 = 0,40$	
	$\psi_2 = 0,20$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
- Temperatur Sommer bzw. Temperatur Winter	$\psi_1 = 0,60$ $\psi_2 = 0,50$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1

#### Außergewöhnliche Einwirkung:

- Anprall	$\gamma_A = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
-----------	-------------------	--------------------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 49
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 6: Endzustand Brand bei max GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck bei max GW bzw. Erdruchdruck bei max GW	$\gamma_G = 1,10$ $\gamma_{E0g} = 1,00$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2 DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- max GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
TS	$\psi_1 = 0,75$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
	$\psi_2 = 0,20$	
UDL	$\psi_1 = 0,40$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
	$\psi_2 = 0,20$	

#### Außergewöhnliche Einwirkung:

- Brand	$\gamma_A = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
---------	-------------------	--------------------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 51
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 7: Endzustand Brand bei min GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- aktiver Erddruck bei min GW bzw. Erdruchdruck bei min GW	$\gamma_G = 1,10$ $\gamma_{E0g} = 1,00$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2 DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- min GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, Abschn. 6.4.1, Tab. 2

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
TS	$\psi_1 = 0,75$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
	$\psi_2 = 0,20$	
UDL	$\psi_1 = 0,40$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2
	$\psi_2 = 0,20$	

Außergewöhnliche Einwirkung:

- Brand	$\gamma_A = 1,00$	DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.1
---------	-------------------	--------------------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 53
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks, d.h. die Begrenzung auf bestimmte Rissweiten und Verformungen, ist ebenfalls für alle maßgebenden Zustände zu führen. Dies sind alle Bauzustände und der Endzustand.

Der Nachweis der Rissbreitenbeschränkung ist bei Tunnelbauwerken gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2, für die „häufige Kombination“ zu führen.

### Rissbreitenbeschränkung

Häufige Kombination

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.4.1 (2)

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

DIN-FB 101, Kap. II, 9.5.2

Gemäß ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.4.2.2 sind die Temperatureinwirkungen als quasi-ständige Werte mit dem Kombinationsbeiwert  $\psi_2 = 0,50$  anzusetzen.

### Lastfallkombination LFK 8: Bauzustand

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht
- Auflast aus Überschüttung
- aktiver Erddruck ohne Wasser bzw.  
Erdruchdruck ohne Wasser
- Verkehrslasten auf Überschüttung

Veränderliche Einwirkungen:

- Temperatur Sommer bzw.

Temperatur Winter  $\psi_2 = 0,50$   
(Steifigkeit im Zustand I zugrunde gelegt)

ZTV-ING, T5, Abschn. 2, 3.4.2.2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 55
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### Lastfallkombination LFK 9: Endzustand bei max GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht
- Auflast aus Überschüttung
- aktiver Erddruck bei max GW bzw.  
Erdruchdruck bei max GW
- max GW
- Verkehrslasten auf Überschüttung

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel

TS  $\psi_1 = 0,75, \psi_2 = 0,20$  DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2

UDL  $\psi_1 = 0,40, \psi_2 = 0,20$  DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2

- Temperatur Sommer bzw.

Temperatur Winter  $\psi_2 = 0,50$

ZTV-ING, T5, Abschn. 2, 3.4.2.2

#### Lastfallkombination LFK 10: Endzustand bei min GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht
- Auflast aus Überschüttung
- aktiver Erddruck bei min GW bzw.  
Erdruchdruck bei min GW
- min GW
- Verkehrslasten auf Überschüttung

Veränderliche Lasten:

- Verkehrslasten im Tunnel

TS  $\psi_1 = 0,75, \psi_2 = 0,20$  DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2

UDL  $\psi_1 = 0,40, \psi_2 = 0,20$  DIN-FB 101, Anhang C, Tab. C.2

- Temperatur Sommer bzw.

Temperatur Winter  $\psi_2 = 0,50$

ZTV-ING, T5, Abschn. 2, 3.4.2.2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 57
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. NACHWEIS DER AUFTRIEBSSICHERHEIT

Die Auftriebssicherheit ist nach DIN 1054, Abschnitt 11.3.1 im Grenzzustand GZ1A nachzuweisen.

$$A_k \cdot \gamma_{G,dst} \leq G_{k,stb} \cdot \gamma_{G,stb}$$

DIN 1054, Abschn. 11.3.1, Gl. (55)

Da die Auftriebssicherheit maßgeblich von den Wichten des Baugrundes und des Bauwerkes abhängt, sind für den Auftriebssicherheitsnachweis die unteren charakteristischen Werte der Wichten anzusetzen.

DIN 1054, Abschn. 5.3.1 (4)

Sofern das Baugrundgutachten hierüber keine Angaben enthält, können die üblicherweise angegebenen charakteristischen Mittelwerte der Wichten analog zu DIN 1055, Teil 2 (1976) abgemindert werden.

Konstruktionseigengewicht:

$$G_{k,stb} = \gamma_B \cdot V_B = 1871,0 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma_B = 25 - 1 = 24 \text{ kN/m}^3$   
 $V_B = 77,96 \text{ m}^3/\text{m}$

Eigengewicht Ausbau:

$$G_{A,k,stb} = \gamma_A \cdot V_A = 504,0 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma_A = 22 - 1 = 21 \text{ kN/m}^3$   
 $V_A = 24 \text{ m}^3/\text{m}$

Überschüttung:

$$G_{\dot{U},k,stb} = \Sigma \gamma \cdot V = 1187,7 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma$  (Sand 1) = 17 - 2 = 15 kN/m<sup>3</sup>  
 $V = 53,6 \text{ m}^3/\text{m}$   
 $\gamma'$  (Sand 1) = 8 - 1 = 7 kN/m<sup>3</sup>  
 $V = 54,8 \text{ m}^3/\text{m}$

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

Wasserauflast:

$$G_{w,k,stb} = \gamma_w \cdot V = 548,0 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$   
 $V_w = 54,8 \text{ m}^3/\text{m}$

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweis der Auftriebssicherheit	Seite 59
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Auftriebskraft:

$$A_k = \sum \gamma_w \cdot h_w \cdot A_w = 2760,4 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

$$h_{w1} = 12,3 \text{ m} - 2,0 \text{ m} = 10,30 \text{ m}$$

$$A_{w1} = 26,8 \text{ m}^2/\text{m}$$

Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen GZ 1A:

$$\gamma_{G,dst} = 1,05 \text{ (LF 1) bzw. } 1,00 \text{ (LF 3)}$$

DIN 1054, Tabelle 2

$$\gamma_{G,stb} = 0,95 \text{ (LF 1) bzw. } 0,95 \text{ (LF 3)}$$

LF 1: Endzustand

$$1,05 \cdot 2760,4 < (1871,0 + 504,0 + 1187,7 + 548,0) \cdot 0,95$$

$$2898,4 < 3905 \text{ kN/m}$$

LF 3: Endzustand ohne Straßenoberbau

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.2.3 (5)

$$1,00 \cdot 2760,4 < (1871,0 + 1187,7 + 548,0) \cdot 0,95$$

$$2760,4 < 3426,4 \text{ kN/m}$$

Die Auftriebssicherheitsnachweise sind erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweis der Auftriebssicherheit	Seite 61
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. SCHNITTGRÖSSENERMITTLUNG

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt mit den Berechnungsmodulen von SOFiSTiK. Die maximalen und minimalen Schnittgrößen in den 10 Lastfallkombinationen werden dabei vom Programm ermittelt. Die Umhüllenden der Biegemomente für die LFK 1 bis LFK 10 und der Querkräfte der LFK 1 bis LFK 7 sind auf den folgenden Ausdrucken dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 63
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

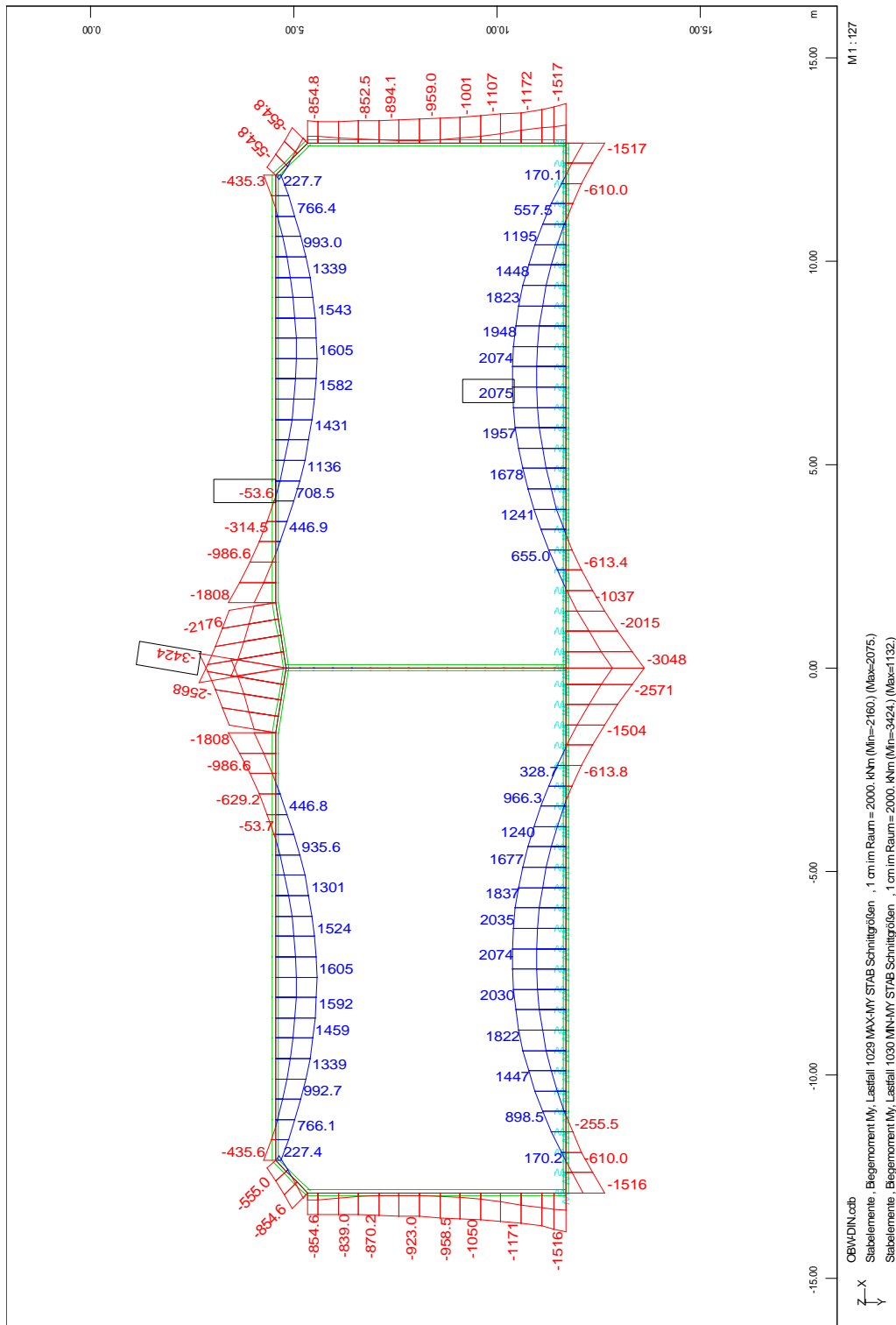


Bild 3.1: Biegemomente LFK 1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 65
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

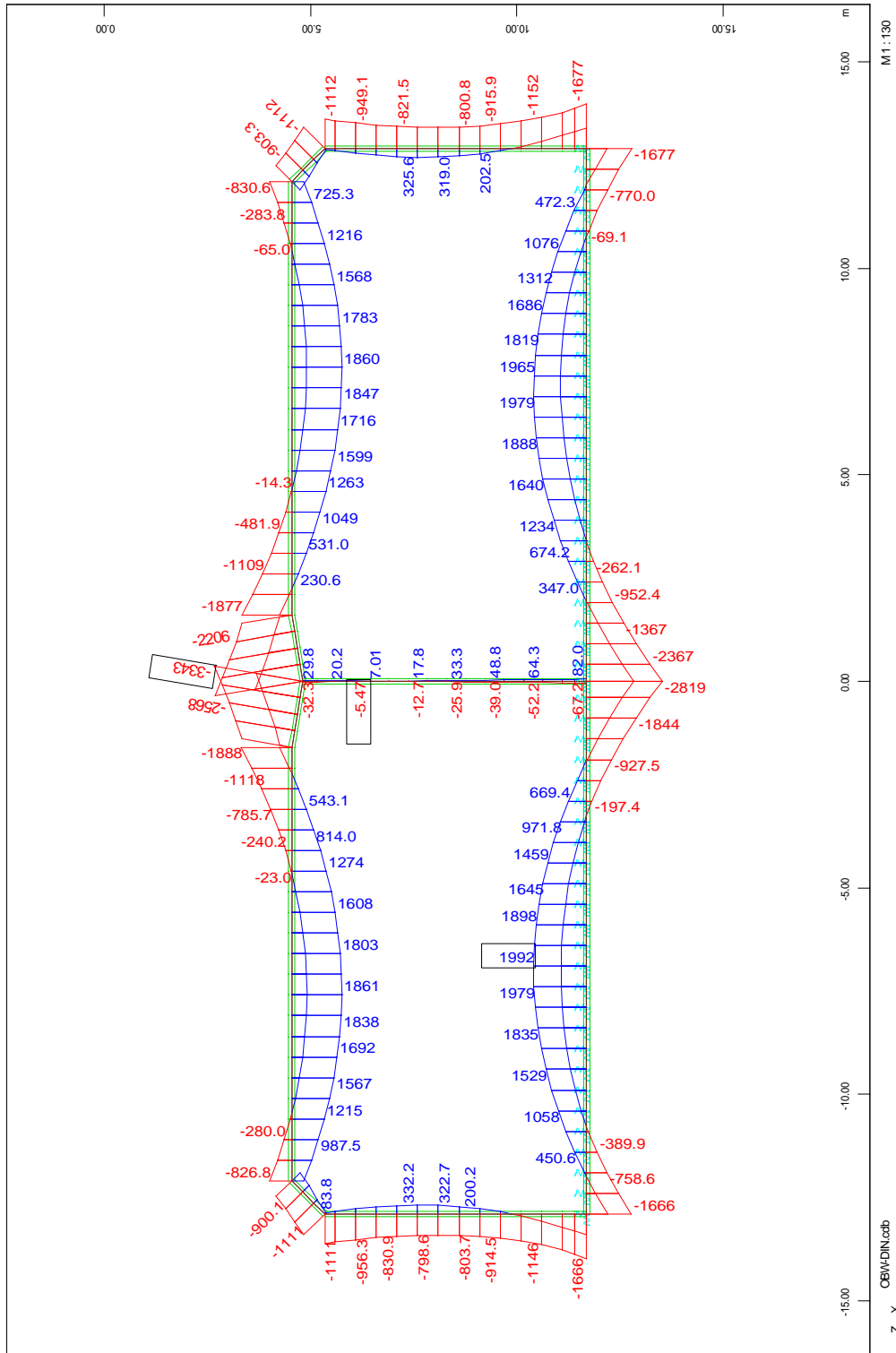


Bild 3.2: Biegemomente LFK 2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 67
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

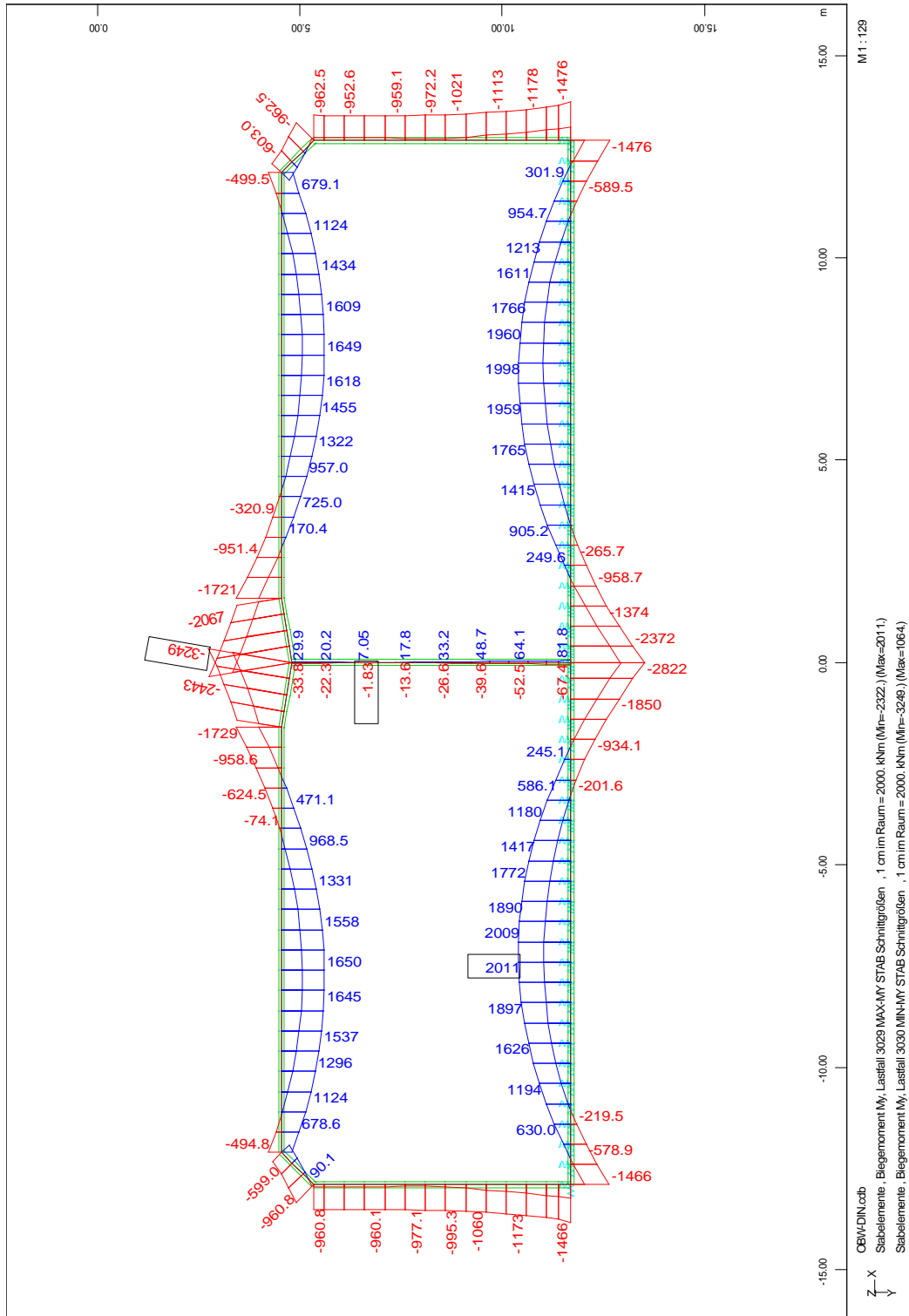


Bild 3.3: Biegemomente LFK 3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 69
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

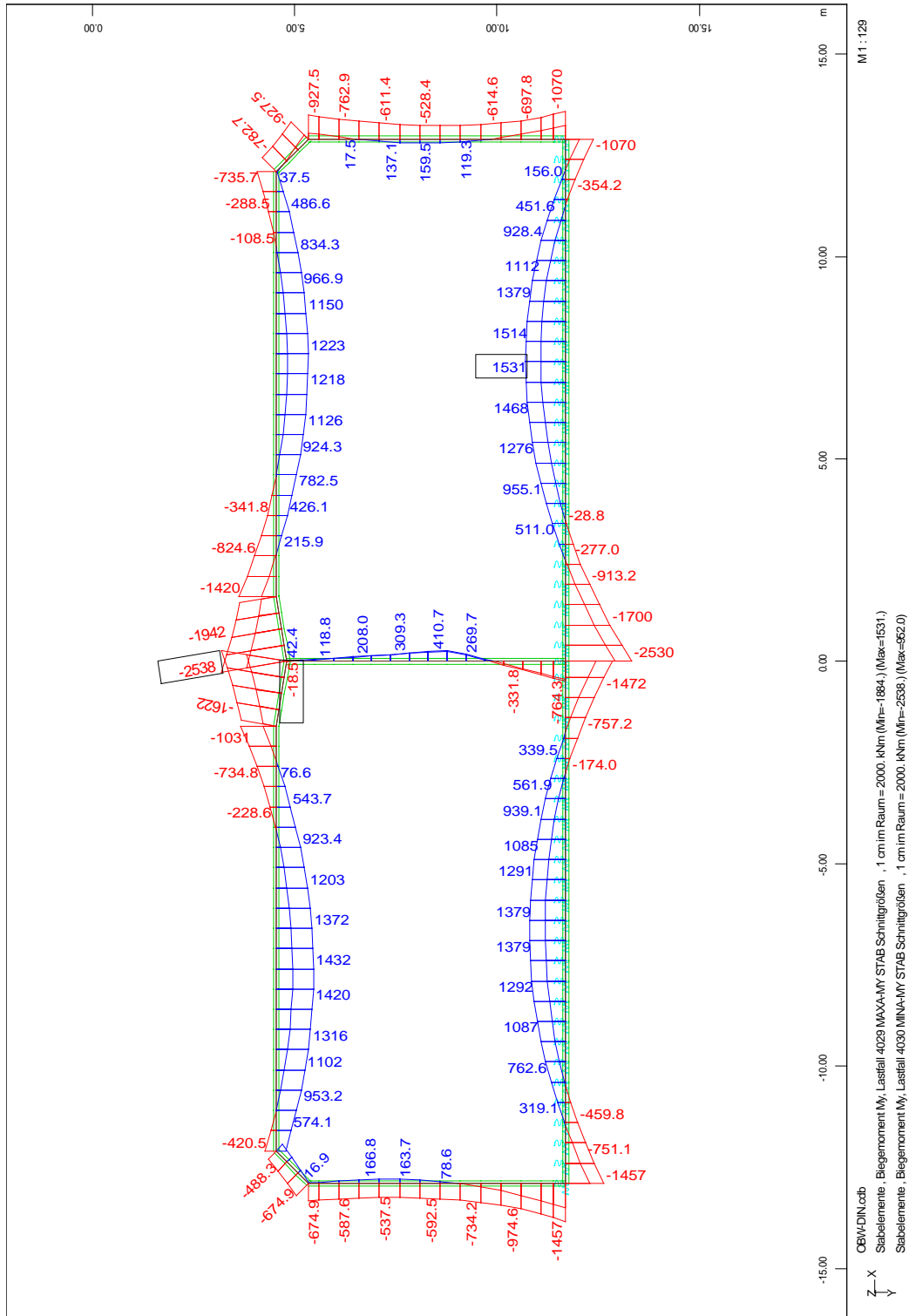


Bild 3.4: Biegemomente LFK 4

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 71
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

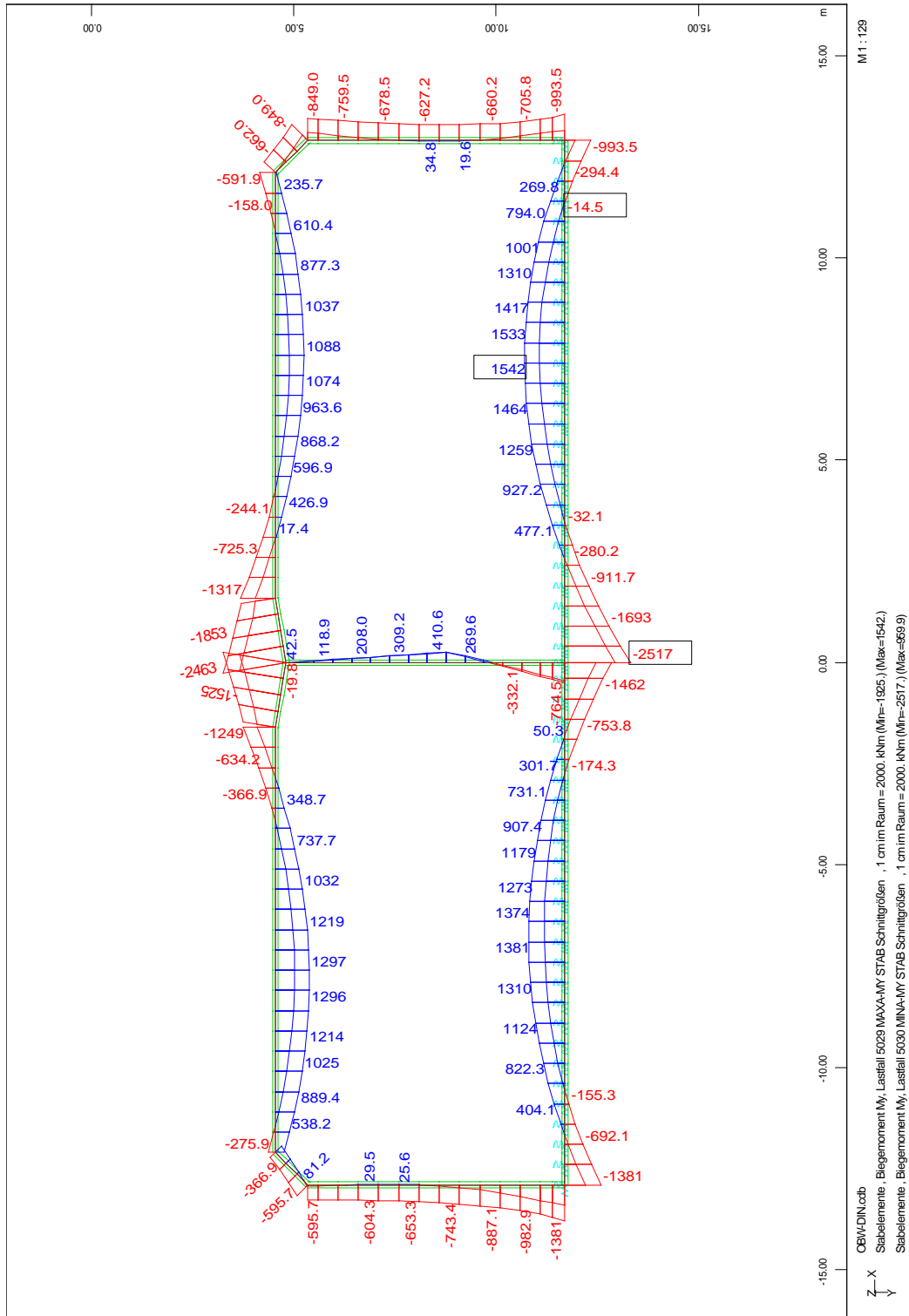


Bild 3.5: Biegemomente LFK 5

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 73
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

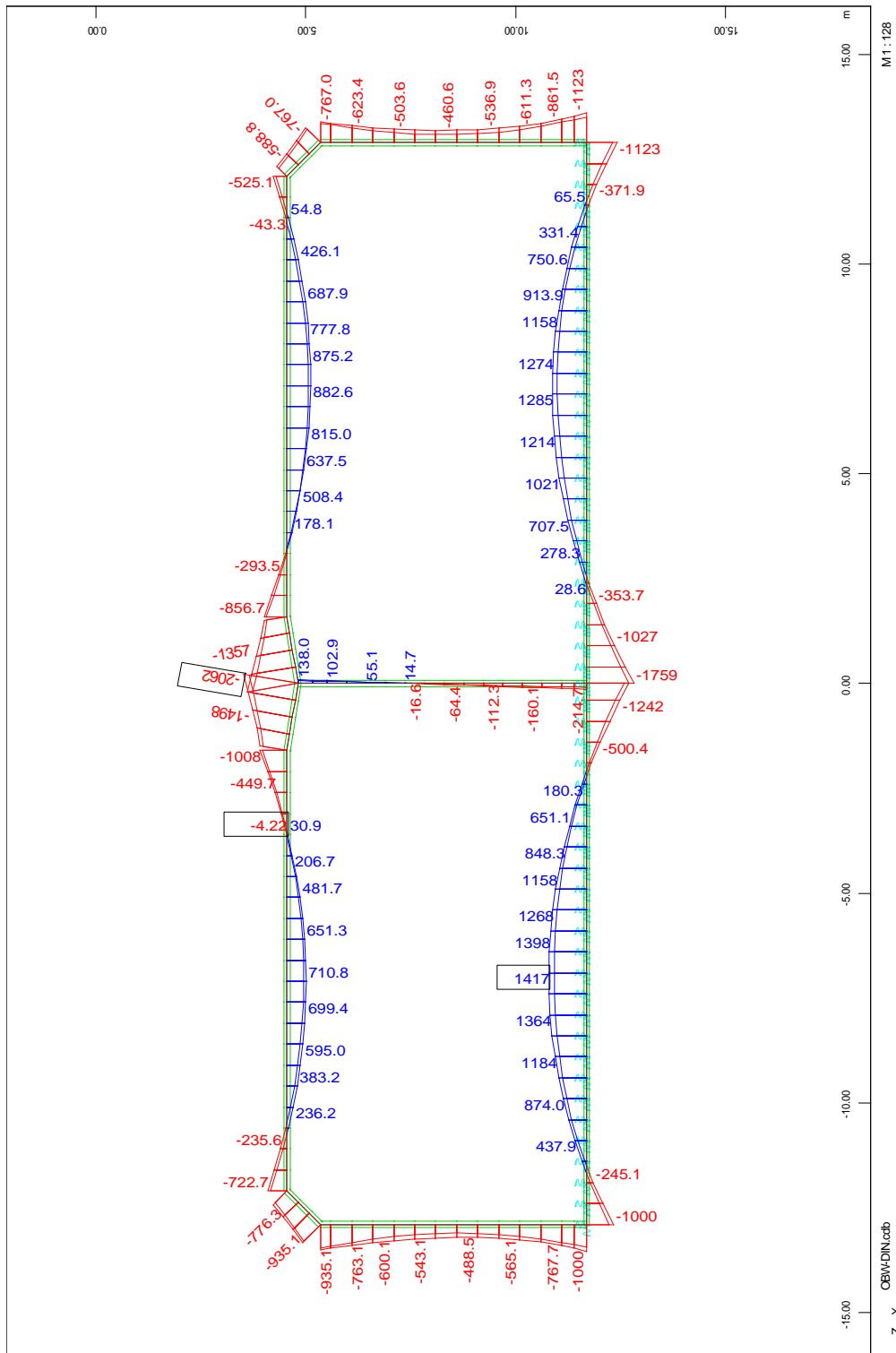


Bild 3.6: Biegemomente LFK 6

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 75
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

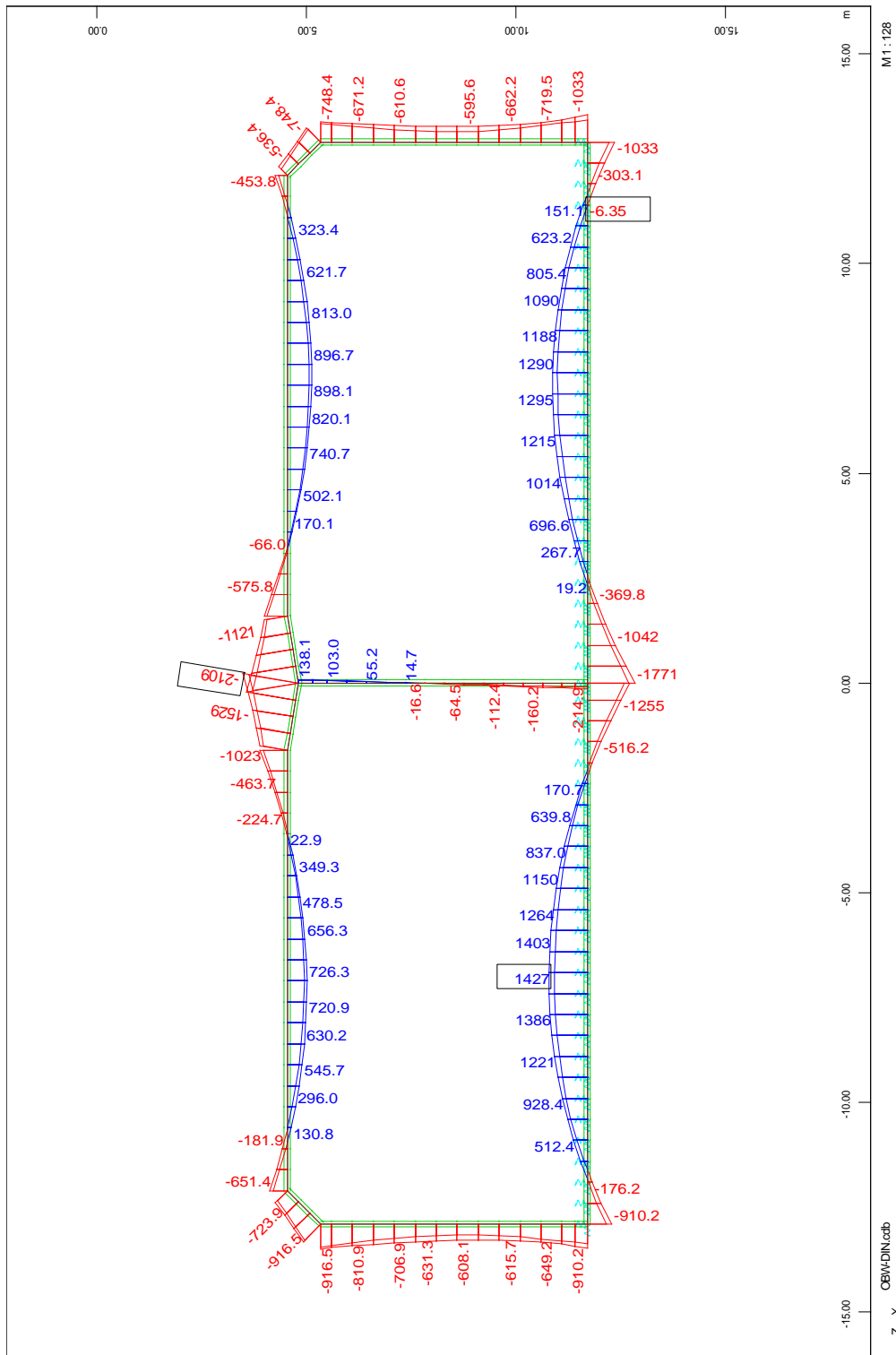


Bild 3.7: Biegemomente LFK 7

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 77
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

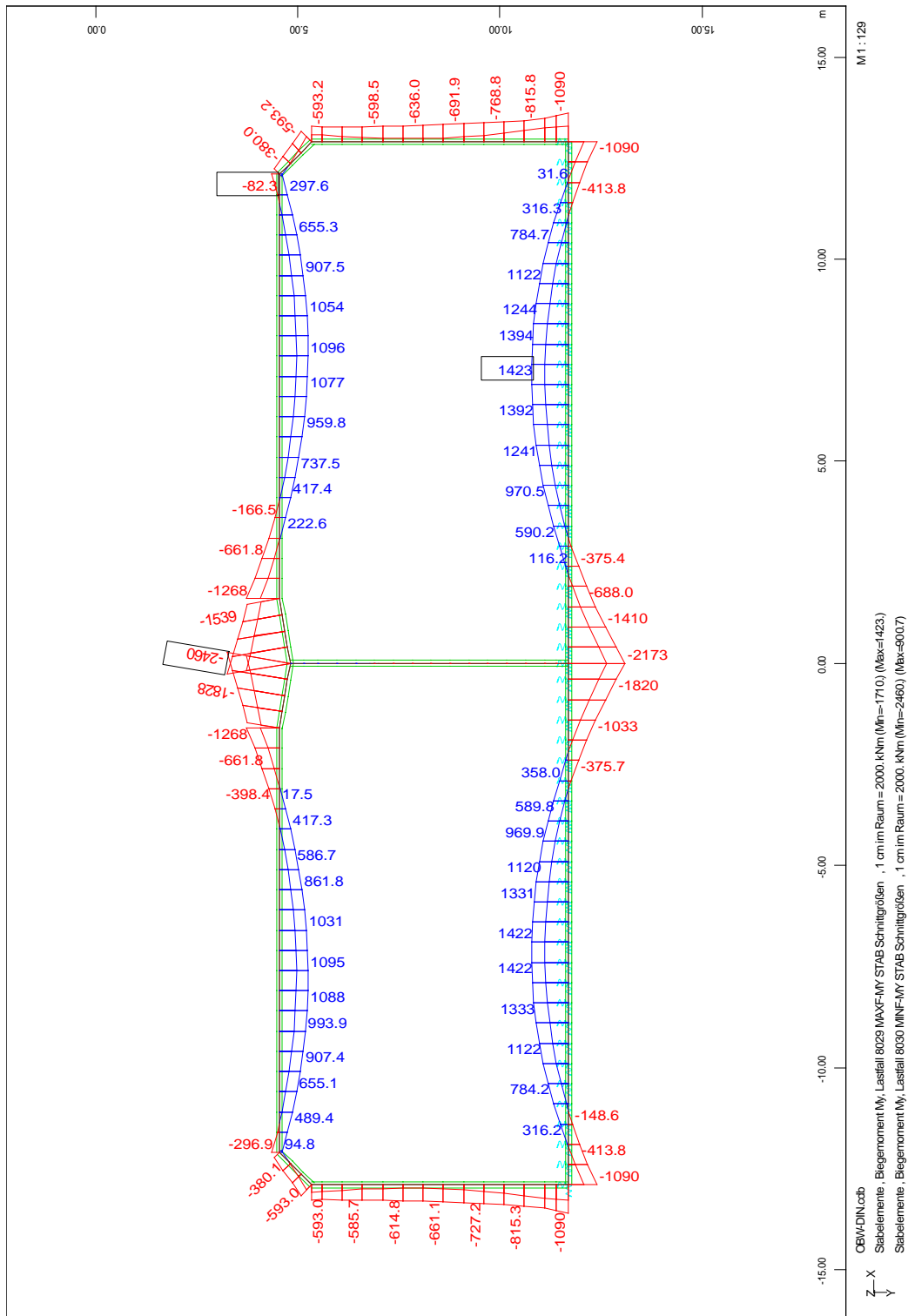


Bild 3.8: Biegemomente LFK 8

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 79
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

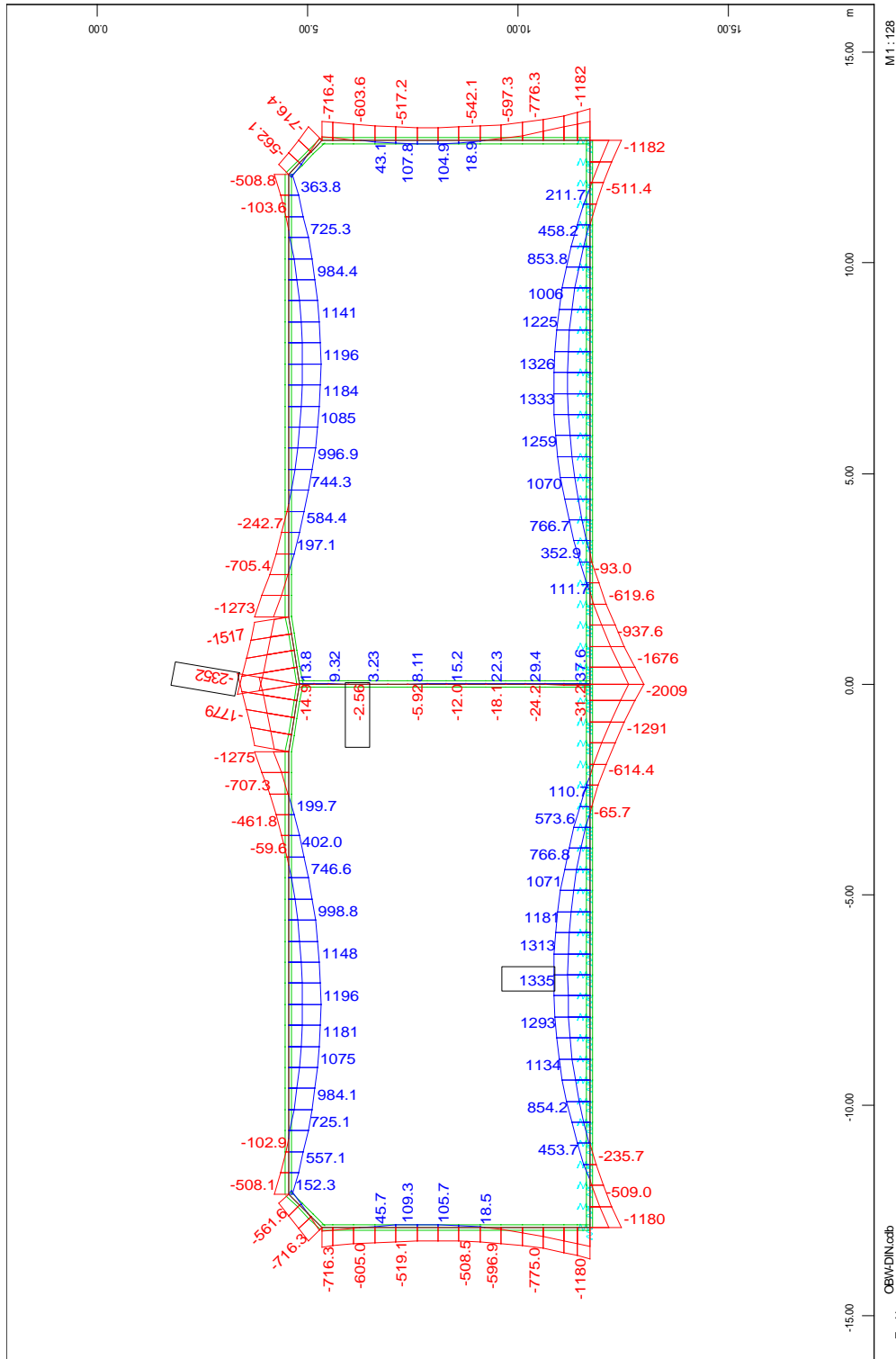


Bild 3.9: Biegemomente LFK 9

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 81
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

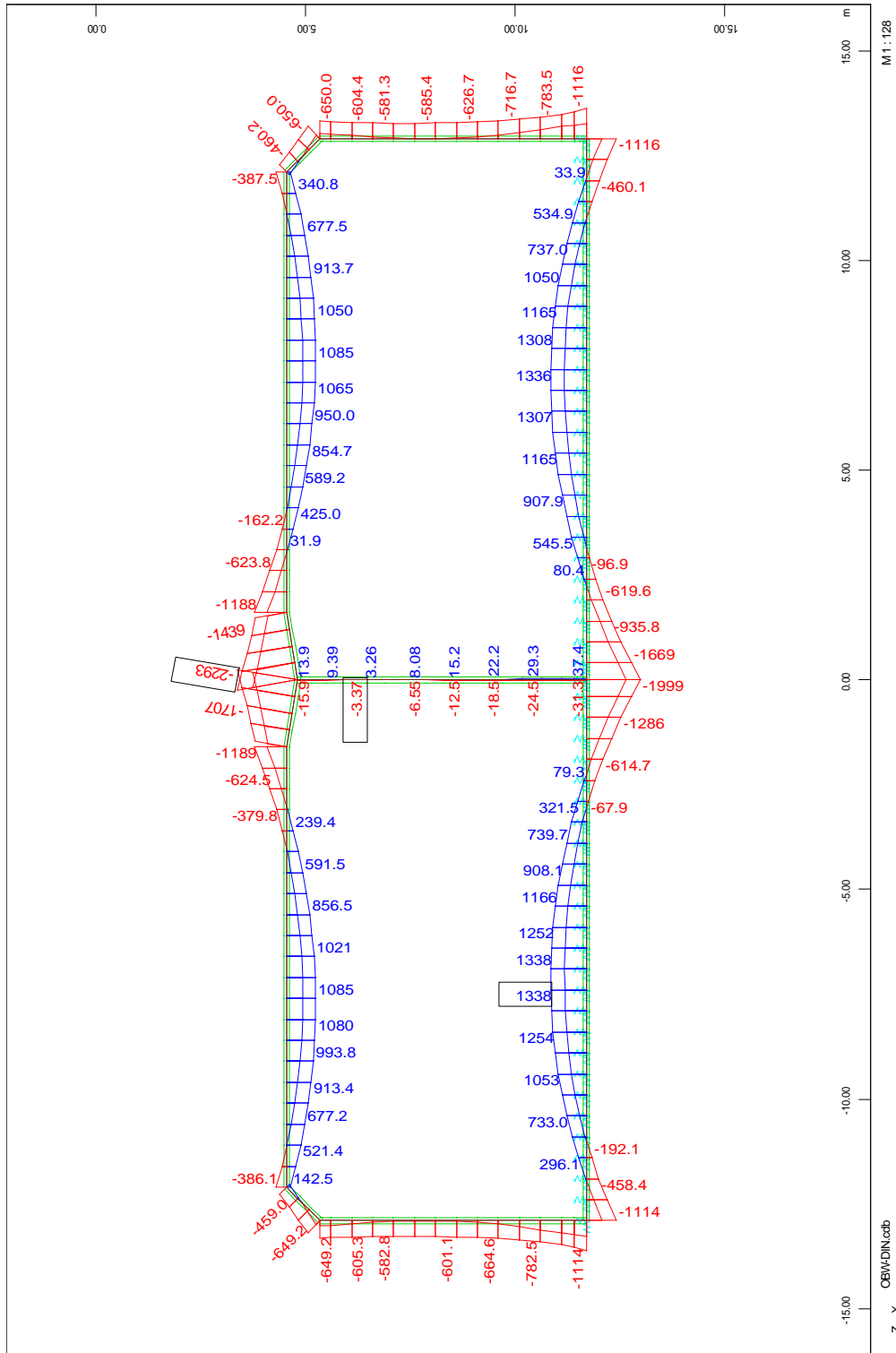


Bild 3.10: Biegemomente LFK 10

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 83
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

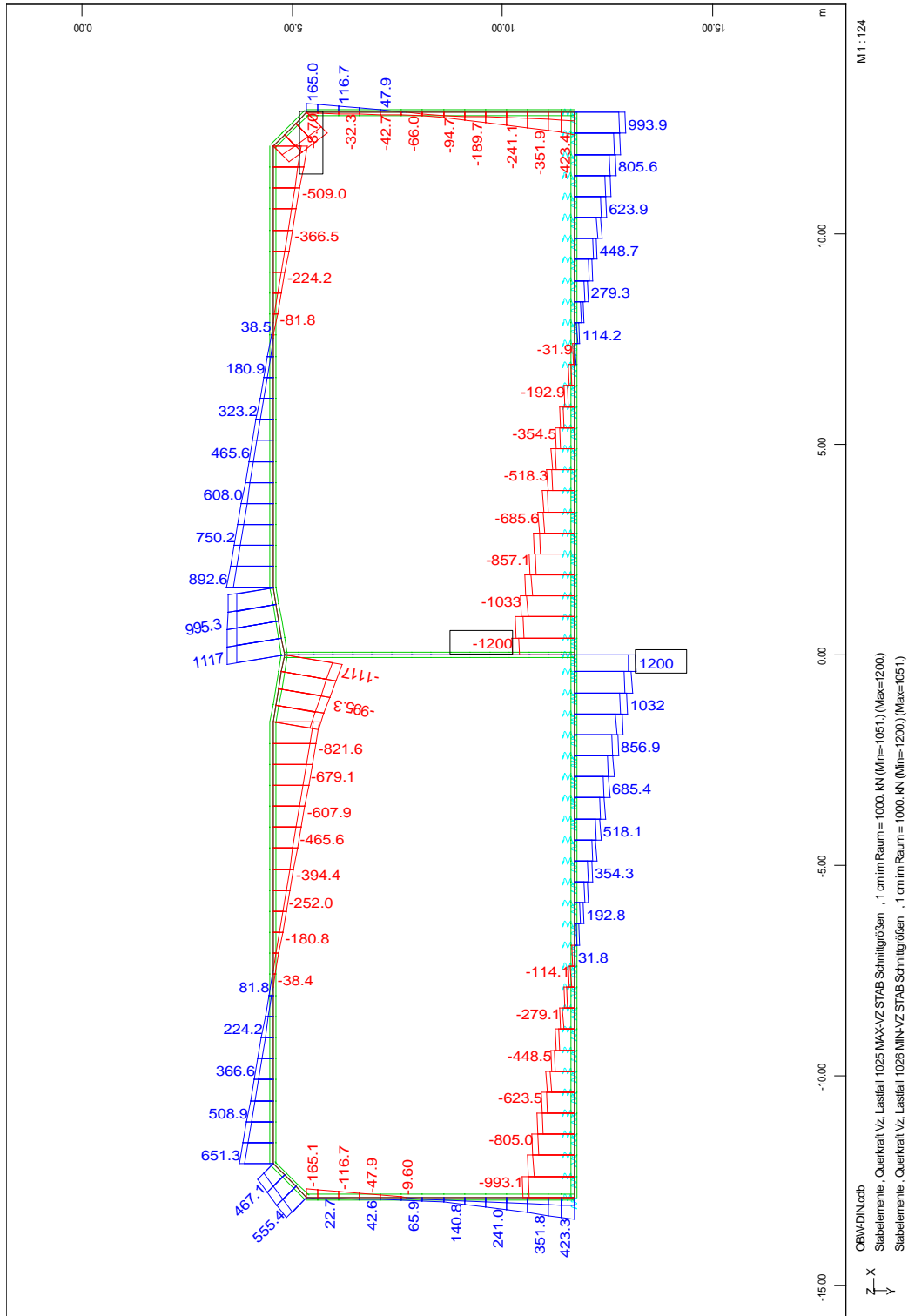


Bild 3.11: Querkräfte LFK 1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 85
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

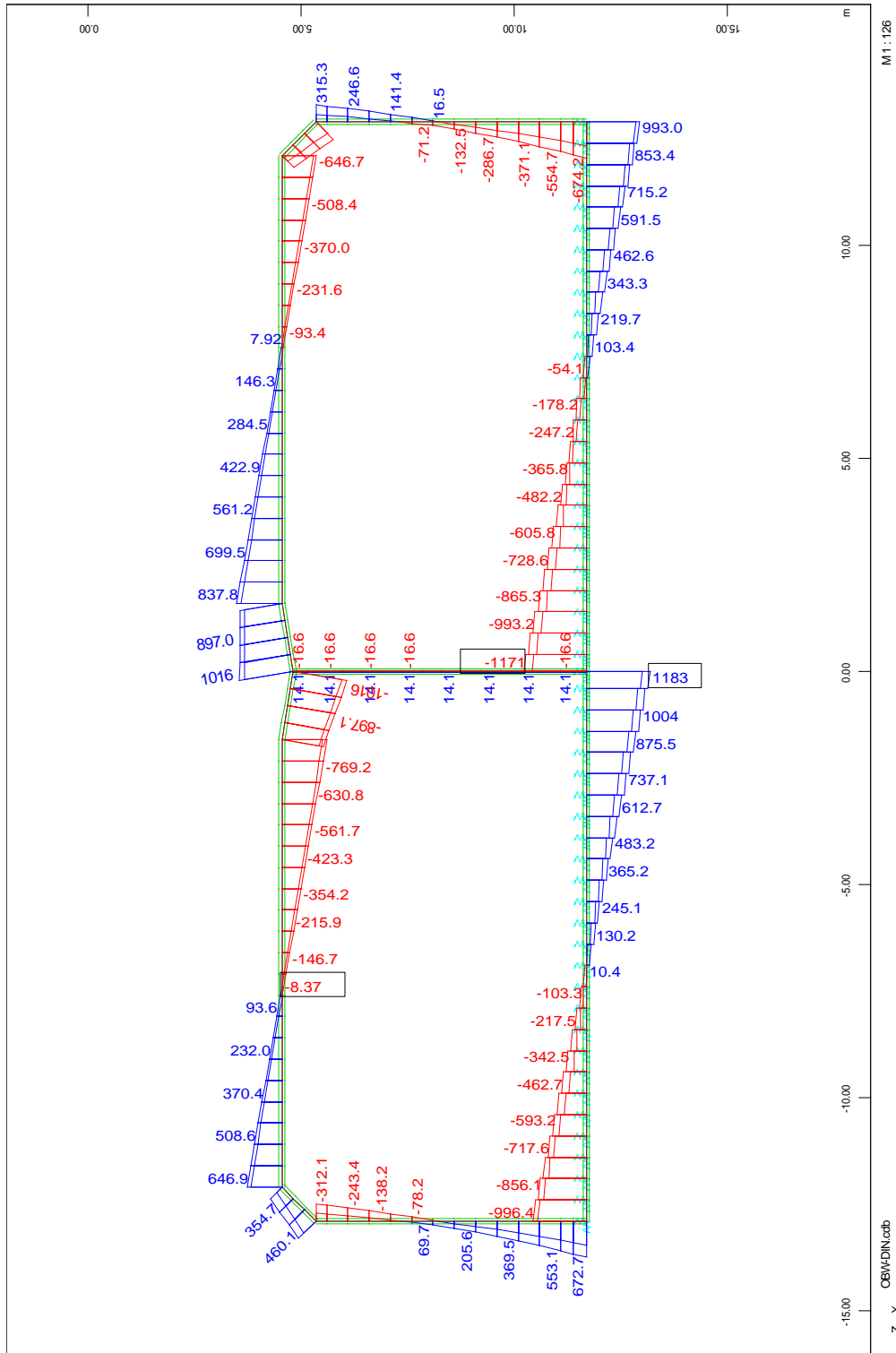


Bild 3.12: Querkräfte LFK 2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 87
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

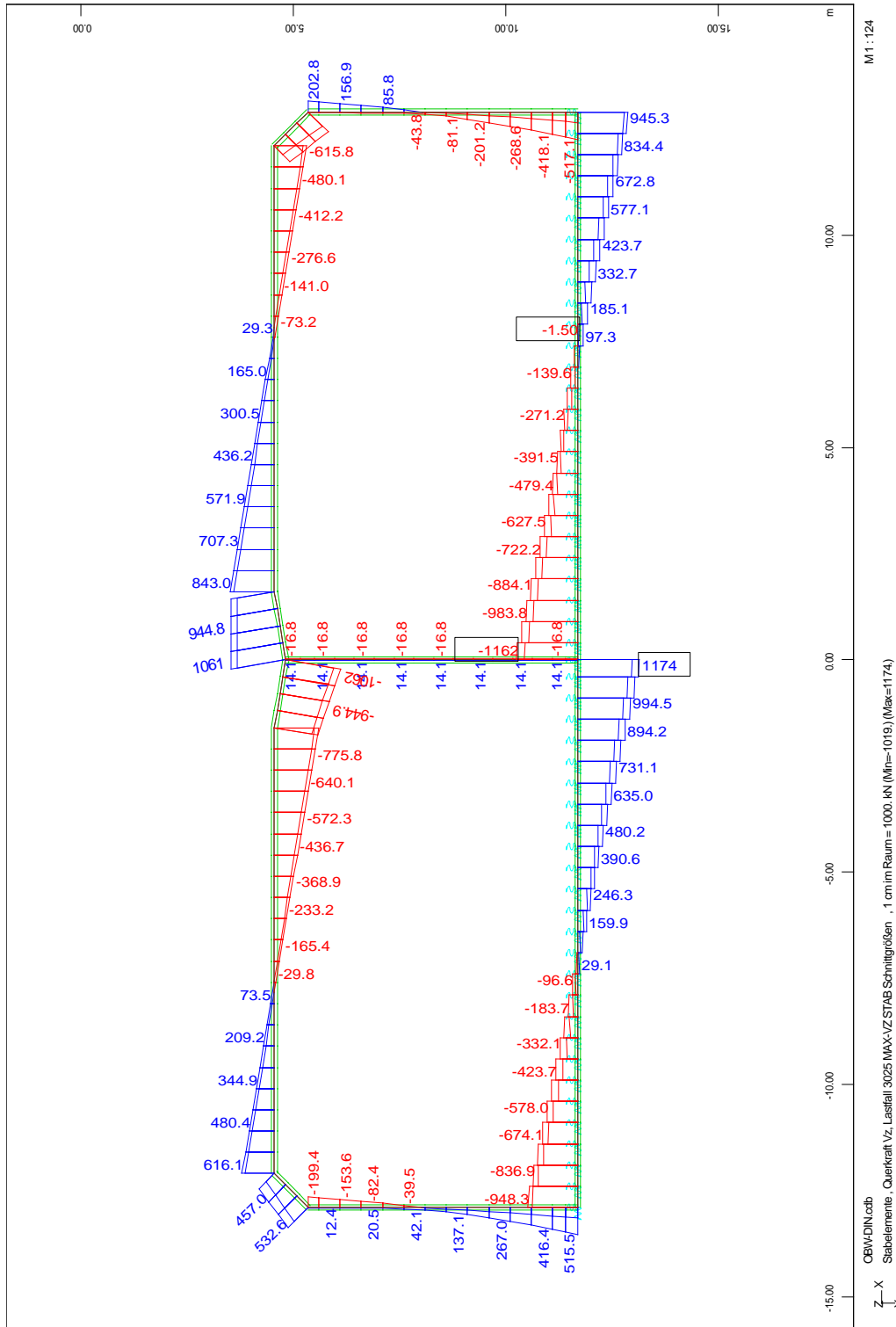


Bild 3.13: Querkräfte LFK 3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 89
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

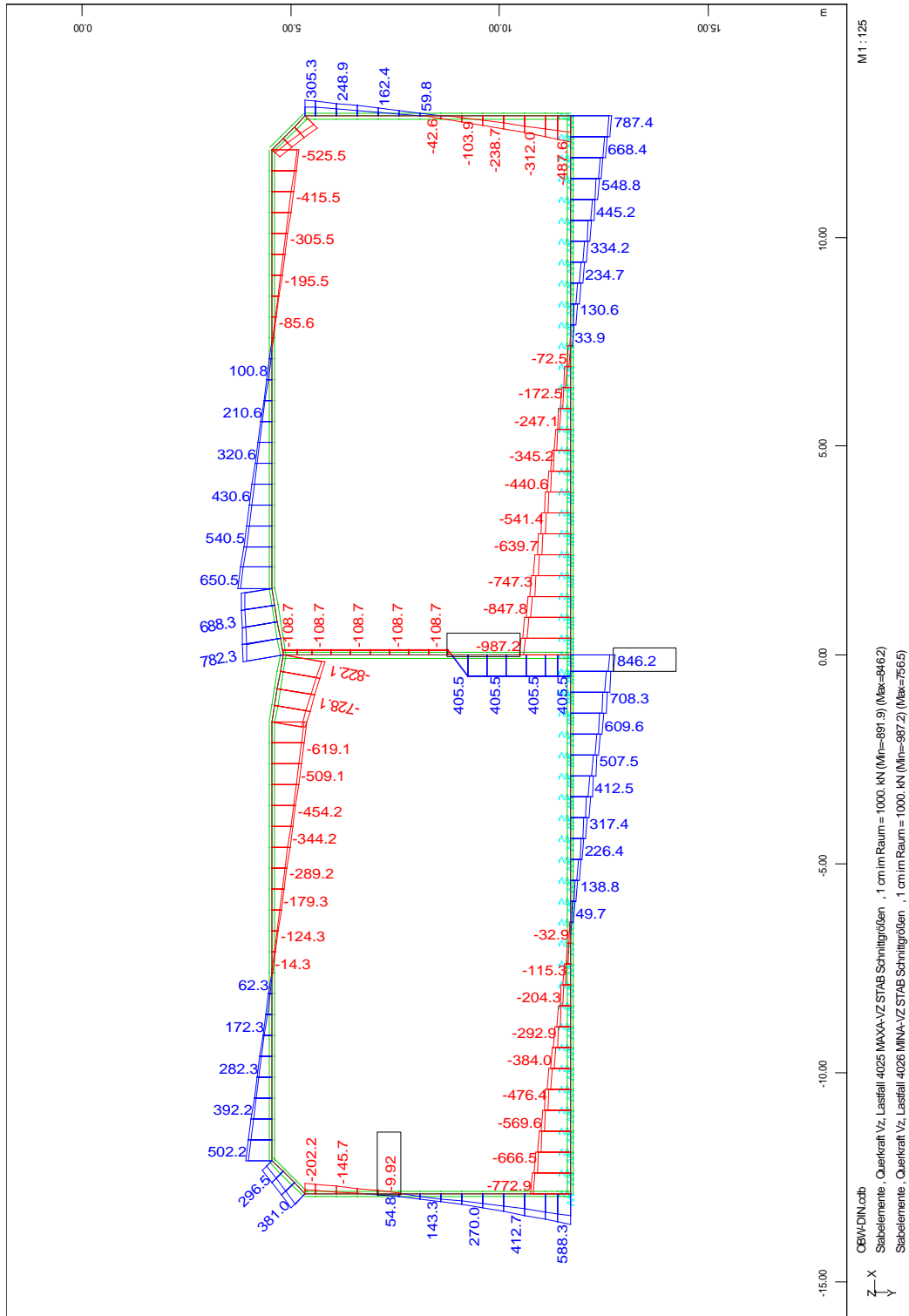


Bild 3.14: Querkräfte LFK 4

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 91
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

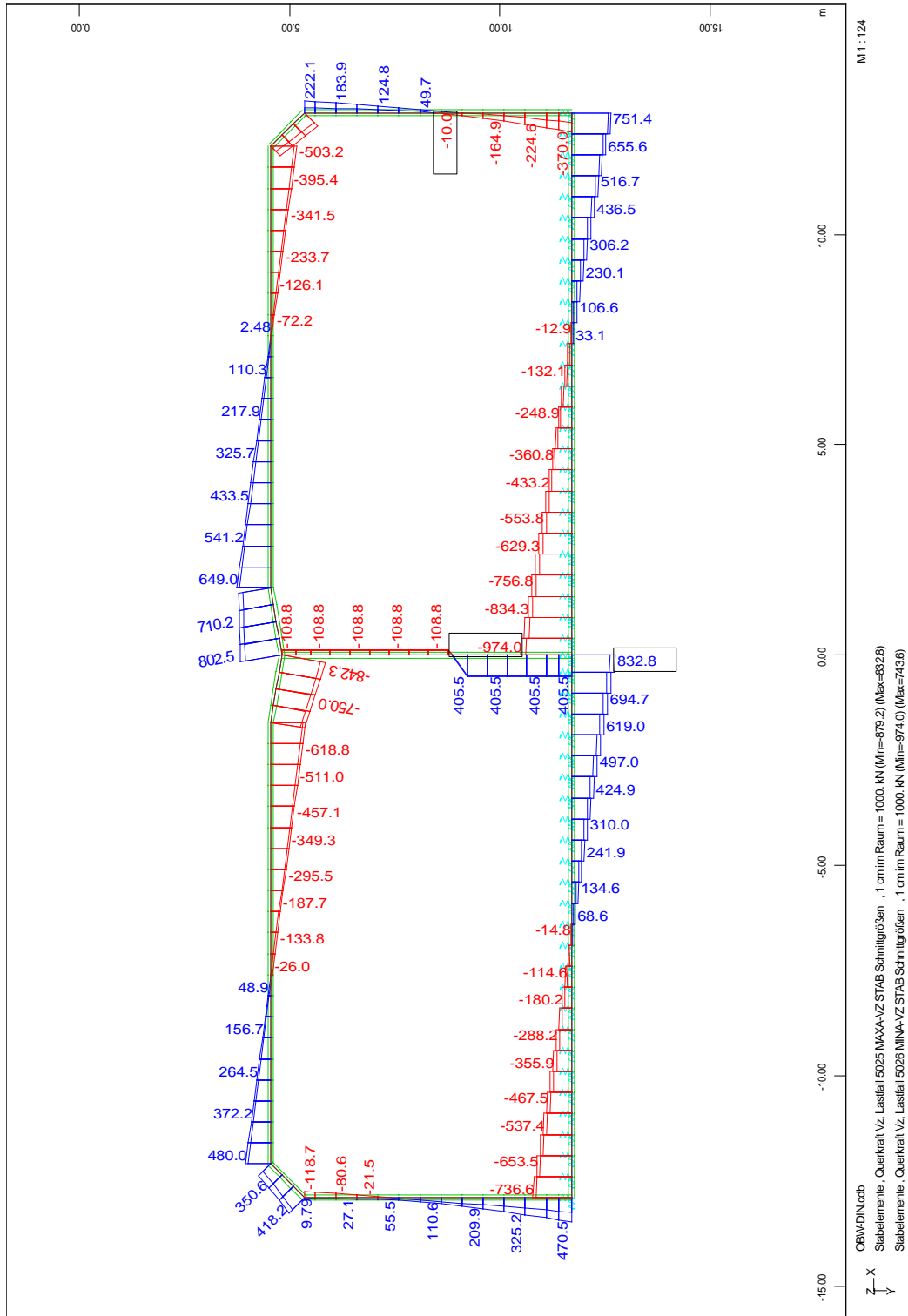


Bild 3.15: Querkräfte LFK 5

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 93
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

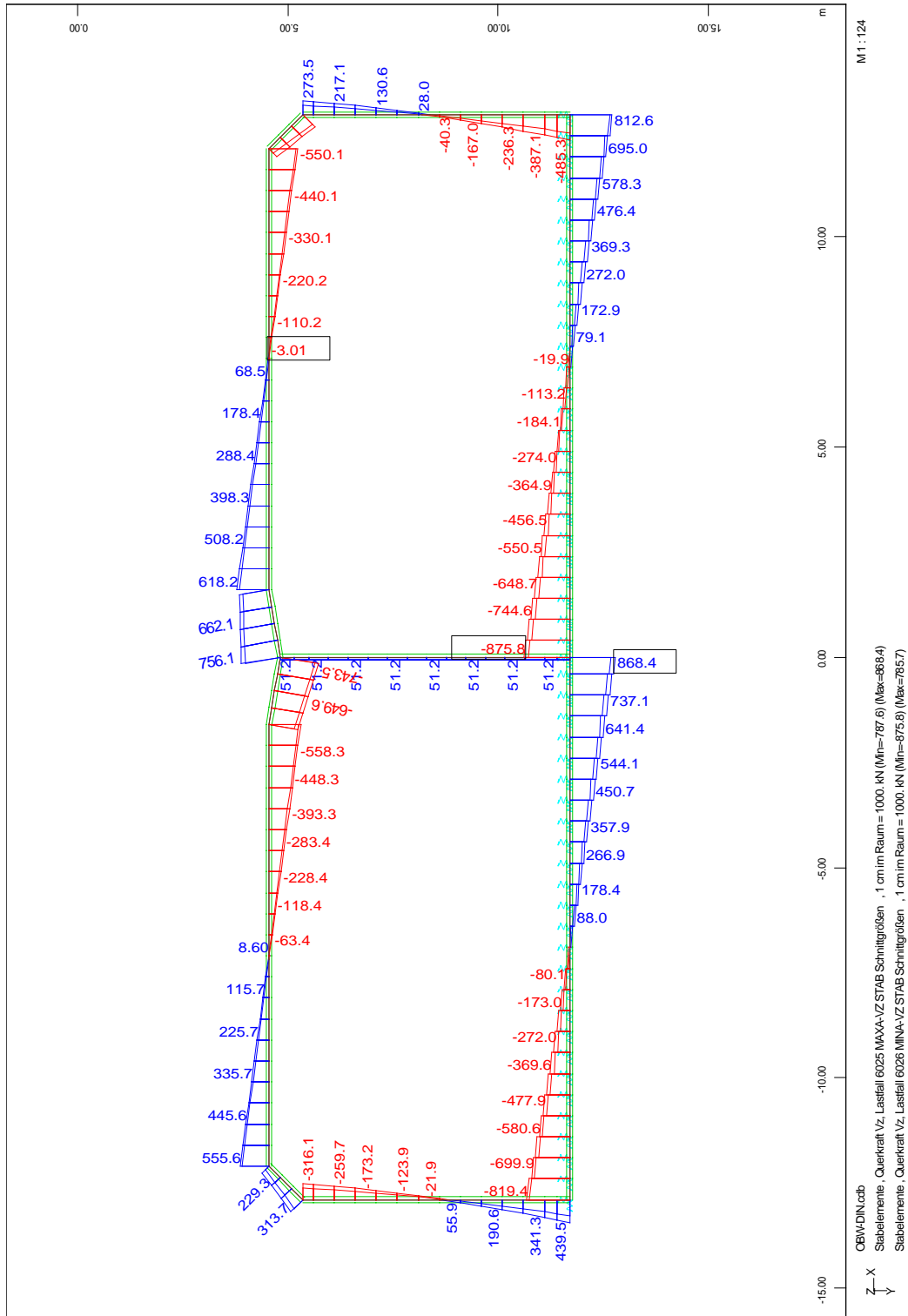


Bild 3.16: Querkräfte LFK 6

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 95
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

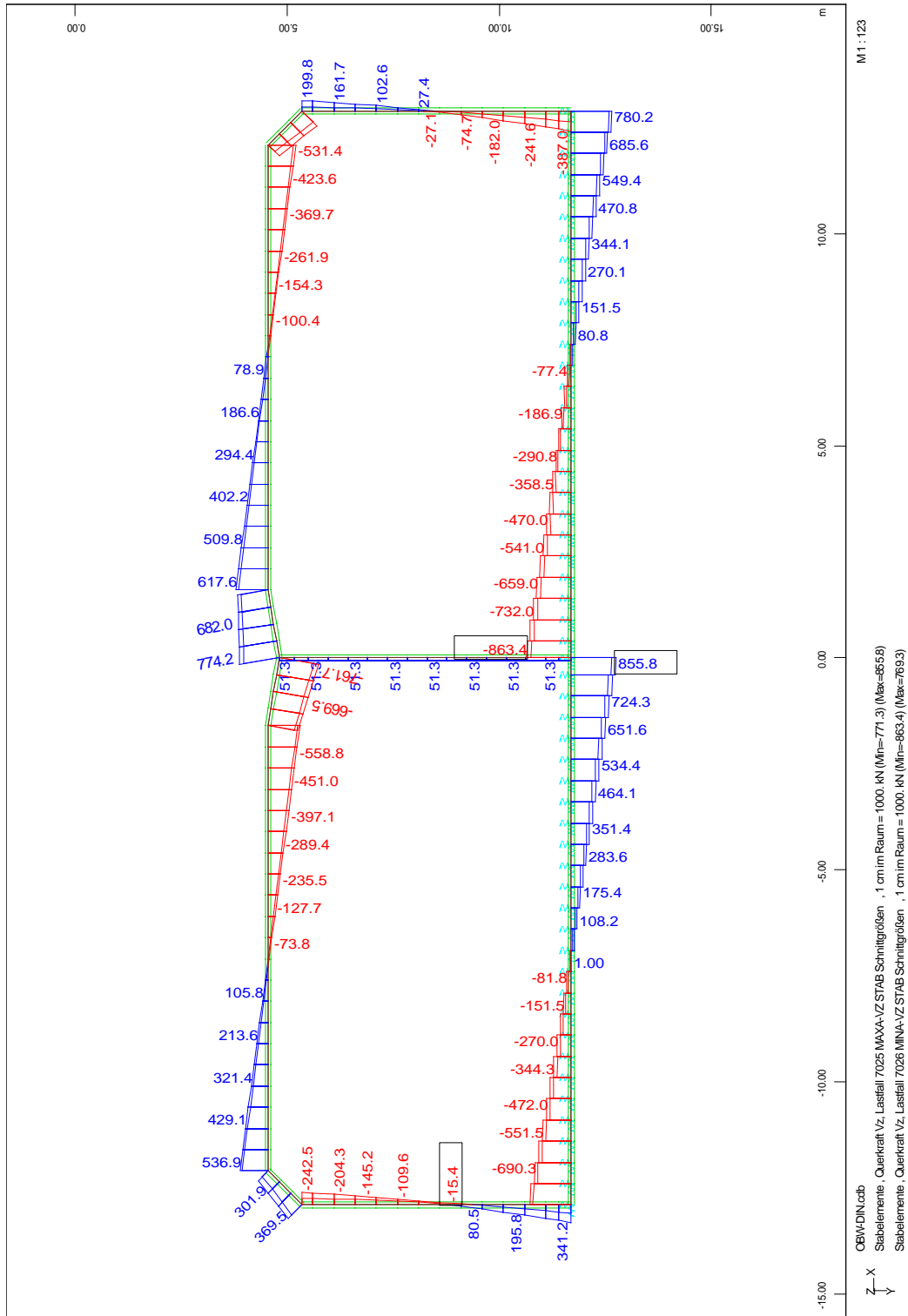


Bild 3.17: Querkräfte LFK 7

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 97
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4. BEMESSUNG

### 4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Biege- und Schubbemessung erfolgt programmintern gemäß DIN-FB 102.

In der Bemessung wird – abhängig vom Bauteil und der erforderlichen Biegebewehrung – ein Abstand zwischen Bewehrungsschwerpunkt und Bauteilaußenrand von 80 mm (60 mm +  $\varnothing 14$  +  $\varnothing 14/2$ ) bis 110 mm (60 mm +  $\varnothing 14$  + zweilagig  $\varnothing 25$ mm) angesetzt.

In der Schubbemessung wird die Begrenzung der Druckstrebenneigung gemäß DIN-FB 102 ( $1,0 \leq \cot \theta \leq 7/4$ ) berücksichtigt und eine vertikale Schubbewehrung angesetzt. Der Ausnutzungsgrad  $V_{Ed} / V_{R,d,max}$  ist überall kleiner als 0,3, so dass die Schubbewehrung allein aus Schubzulagen bestehen darf.

Für die Mittelwand ist kein Knicksicherheitsnachweis erforderlich, da gilt:

$$\lambda = l_0 / i = 24,2 < 25$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.3.5.3.5

$$\text{mit } l_0 \approx 5,6 \text{ m, } i = 0,231 \text{ m}$$

$$\text{und } v_{Ed} = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd}) = 0,11 < 0,41$$

$$\text{mit } N_{Ed} = 1500 \text{ kN/m, } A_c = 0,8 \text{ m}^2/\text{m, } f_{cd} = 17 \text{ MN/m}^2$$

Aufgrund der Anprallgefährdung der Mittelwand ist die Bewehrung gemäß DIN-FB 102, Anhang 108, bis mindestens 2 Meter über Fahrbahnoberkante zweilagig auszubilden.

Die Bemessungsergebnisse für die Biege- und Schubbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind auf den folgenden Seiten dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung <span style="float: right;">Seite 99</span>	
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

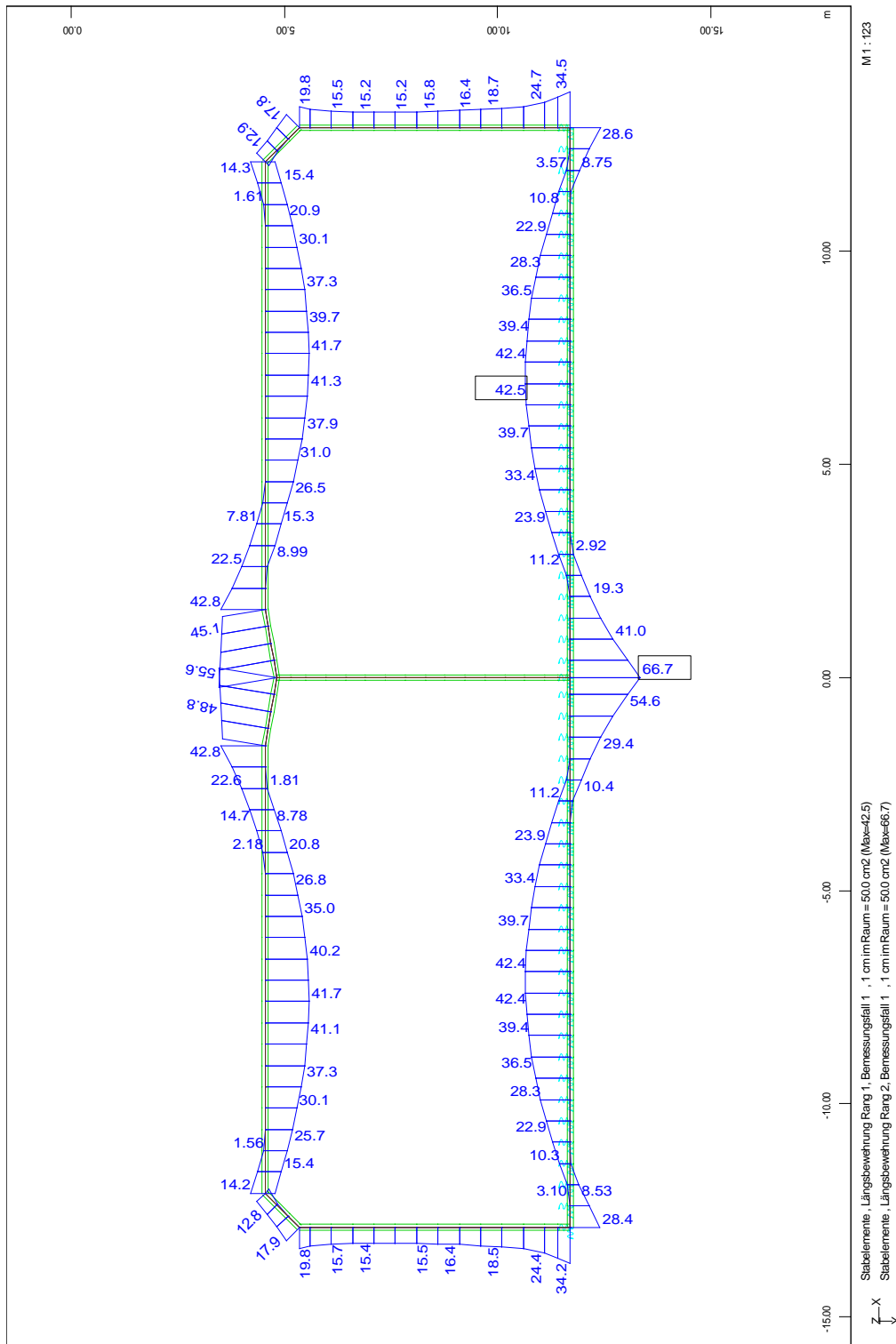


Bild 4.1: statisch erforderliche Biegebewehrung, ständige und vorübergehende Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 101
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

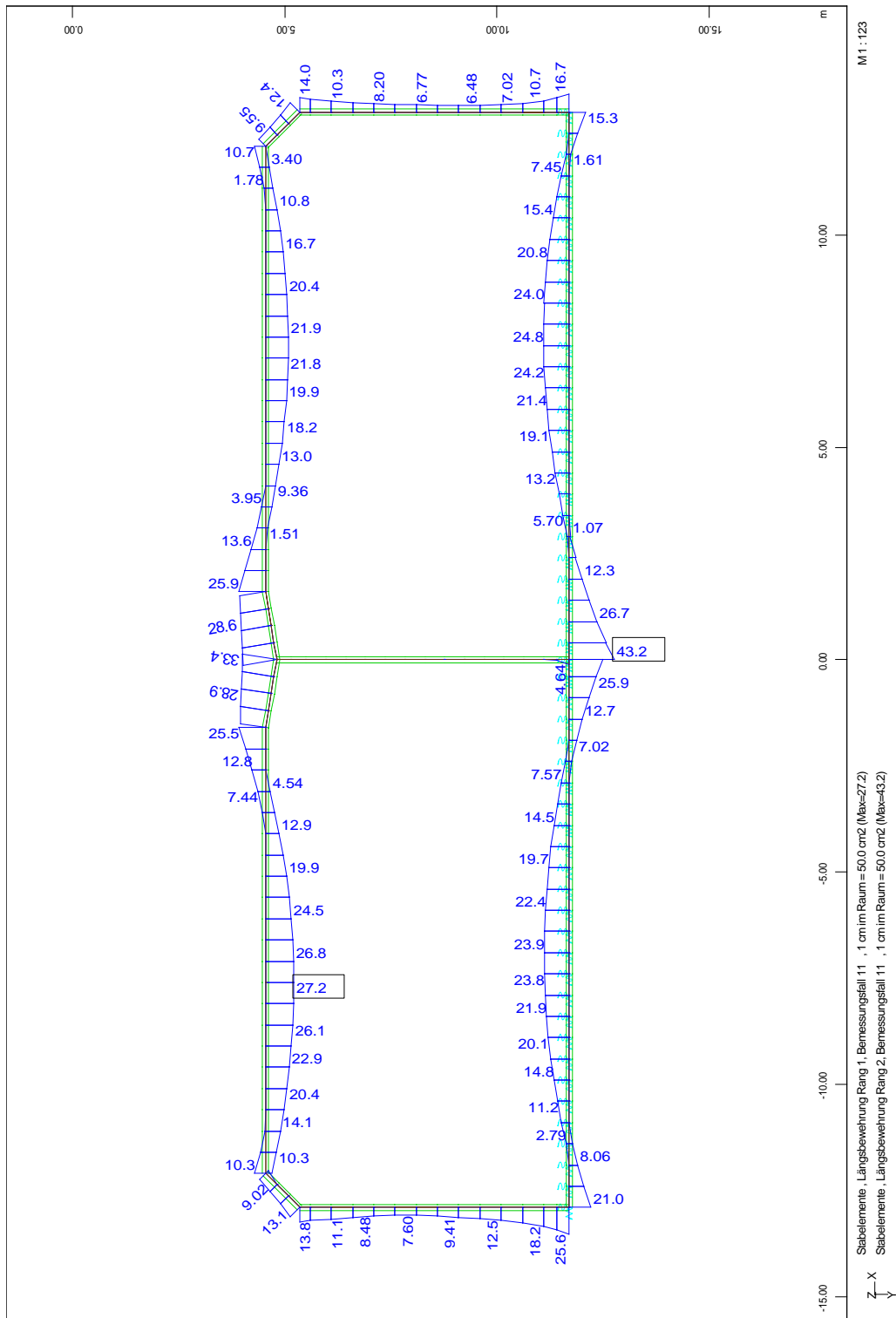


Bild 4.2: statisch erforderliche Biegebewehrung, außergewöhnliche Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 103
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

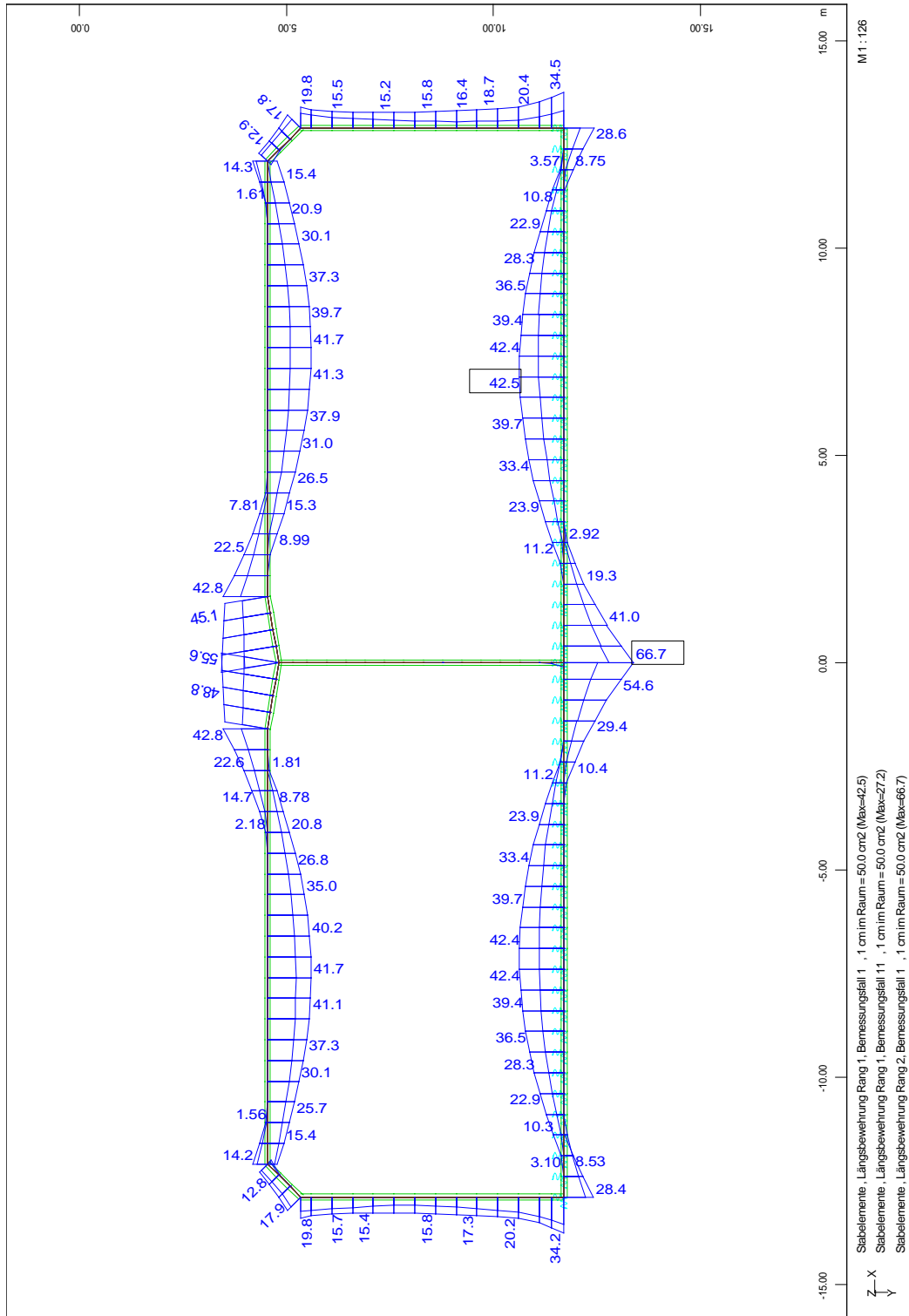


Bild 4.3: statisch erforderliche Biegebewehrung, Maximalwerte

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 105
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

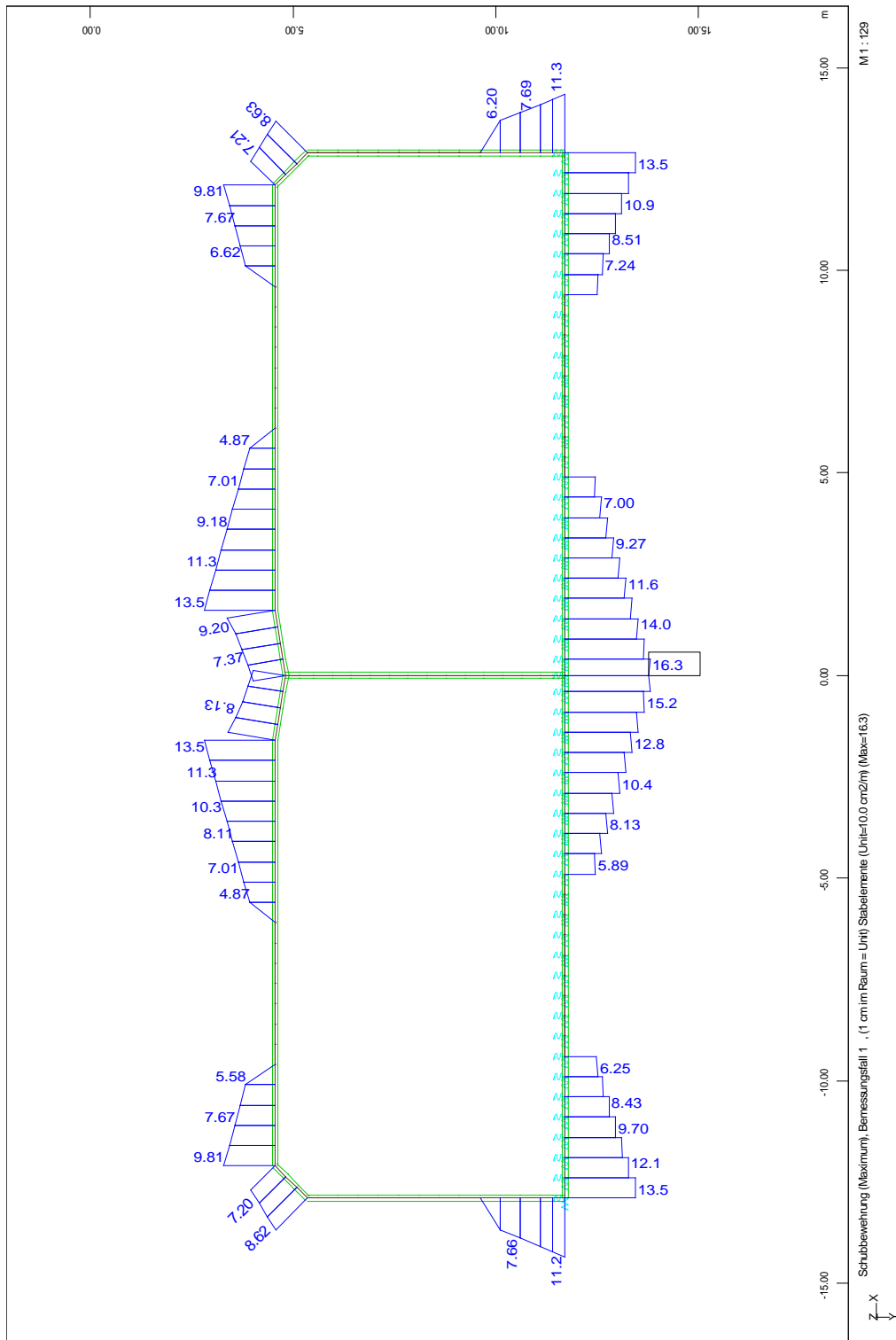


Bild 4.4: Schubbewehrung, ständige und vorübergehende Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 107
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

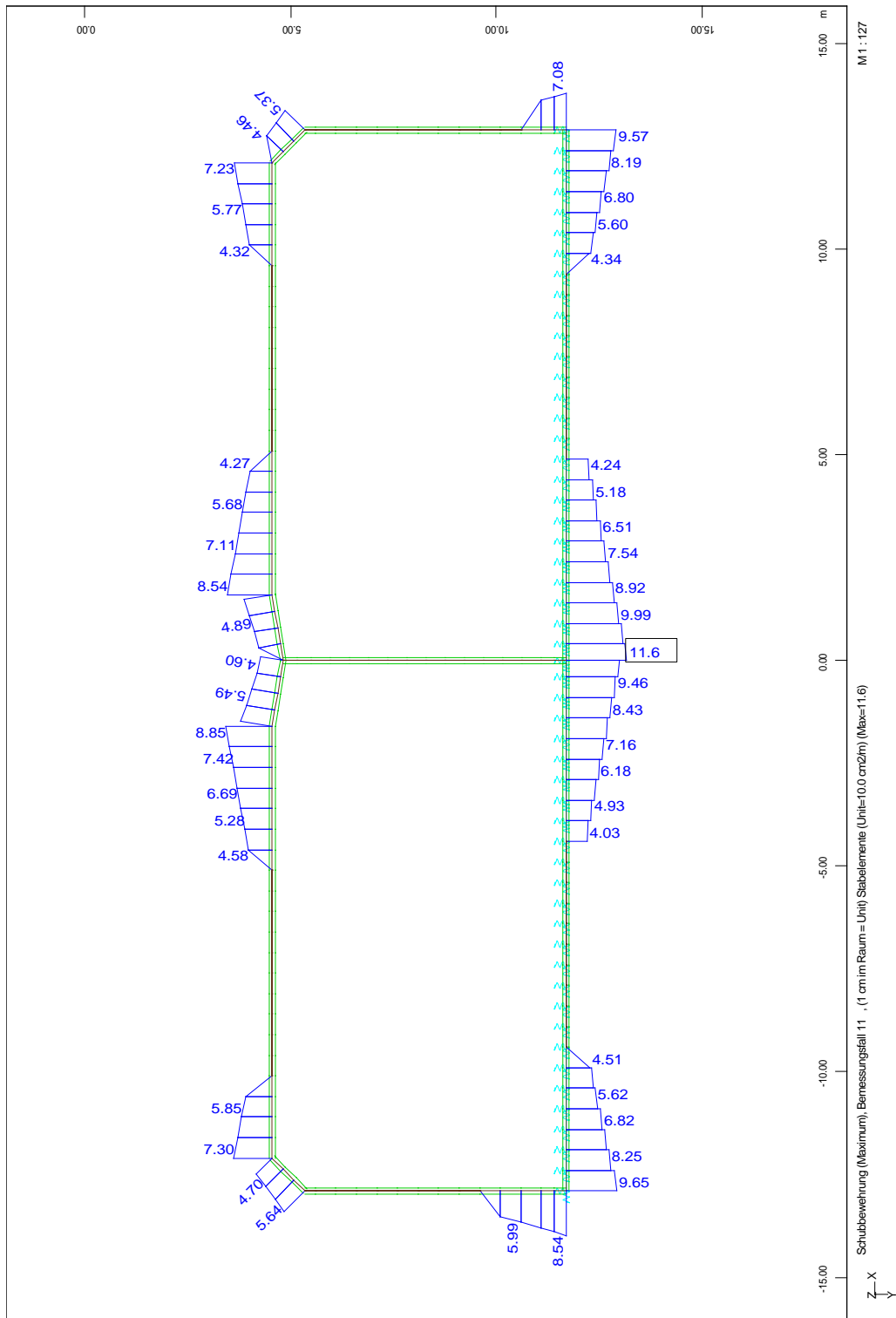


Bild 4.5: Schubbewehrung, außergewöhnliche Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 109
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

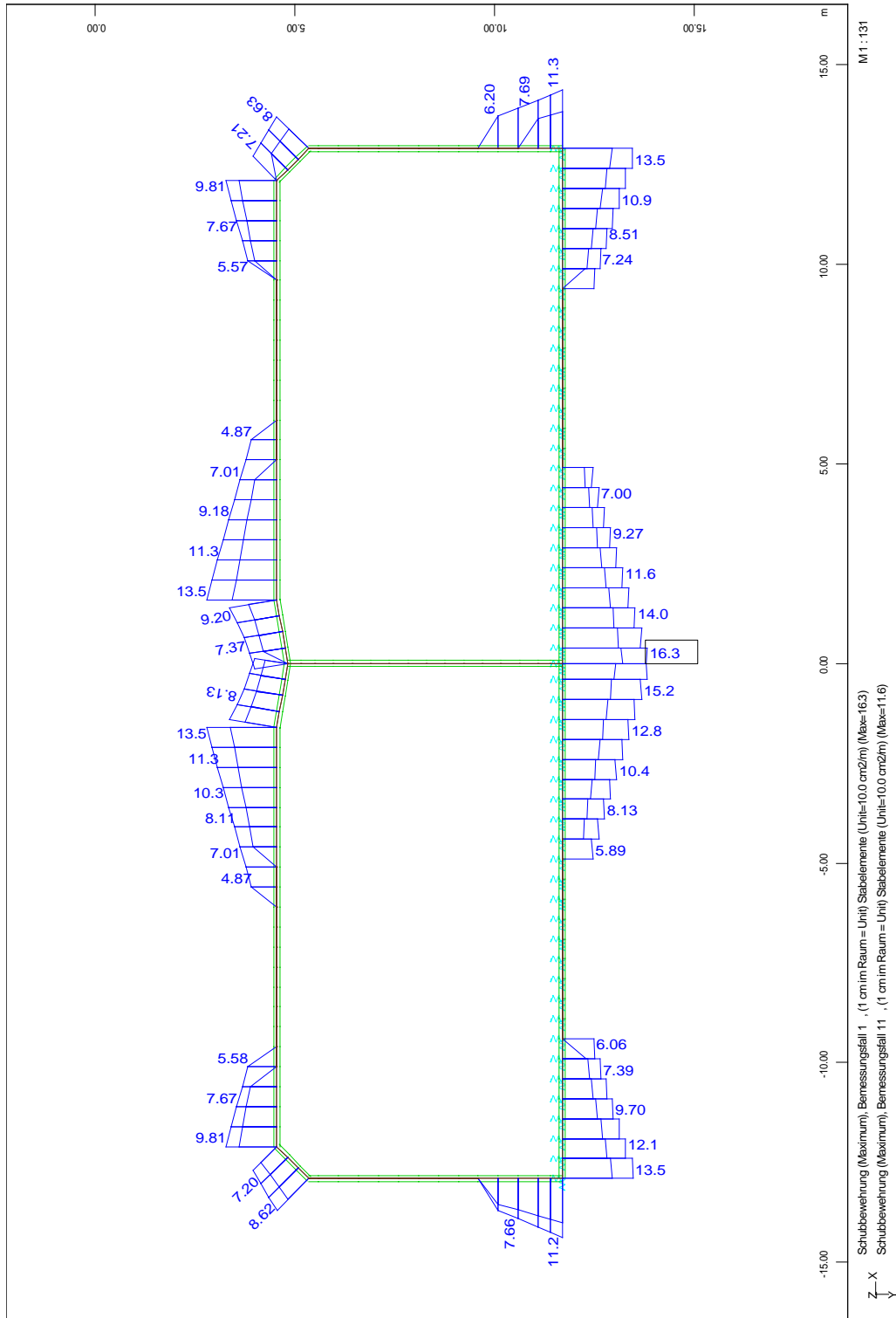


Bild 4.6: Schubbewehrung, Maximalwerte

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 111
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die zulässige rechnerische Rissbreite für die wu-Betonkonstruktion beträgt:

$$w_{k,cal} = 0,20 \text{ mm (Luftseite)}$$

$$w_{k,cal} = 0,15 \text{ mm (Erdseite).}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.4.5

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erfolgt programmintern unter Berücksichtigung der vorgegebenen Stabdurchmesser.

Es werden angesetzt:

Decke außen:	Ø25 mm zweilagig
Decke innen:	Ø20 mm zweilagig
Außenwand außen:	Ø25 mm zweilagig
Außenwand innen:	Ø14 mm
Sohle außen:	Ø25 mm zweilagig
Sohle innen:	Ø20 mm zweilagig
Mittelwand:	Ø14 mm

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung erfolgen durch direkte Berechnung gemäß DIN-FB 102, II, 4.4.2.4.

Die Temperaturlasten werden bei der Rissbreitenbeschränkung auf der sicheren Seite liegend voll mit berücksichtigt, da deren Vernachlässigung für den Fall, dass die Spannungen aus Einwirkungen ohne Temperatur größer sind als die Anrissspannung des Querschnittes, höchstens lokal zu vernachlässigbaren Einsparungen führt.

Der Rechenwert der Rissbreite ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\sigma_s = \frac{3,6 \cdot w_k \cdot \text{eff} \rho_p \cdot E_s}{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff} \rho_p} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff} \rho_p)}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
Gl. (4.201)bis (4.203)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \left( \sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff} \rho_p} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff} \rho_p) \right)}{3,6 \cdot \text{eff} \rho_p \cdot E_s}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 113
Vorgang:	4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

mit  $\rho_p = A_s / A_{c,eff}$   
 $A_{c,eff} = 2,5 \cdot b \cdot (h - d)$   
 $\alpha_e = E_s / E_{cm}$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
 Gl. (4.200a)  
 DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
 Abb. 4-137d)

Der Nachweis der Begrenzung der Betondruckspannung auf  $0,6 f_{ck}$  gemäß DIN-FB 102, II, 4.4.1.2 ist bei Tunnelbauwerken nicht zu führen, da durch die vergrößerte Betondeckung von 6 cm und die außen liegende Längsbewehrung die Entstehung von Querspannungen verhindert wird.

Die erforderliche Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite ist dem folgenden Ausdruck zu entnehmen.

Ein Nachweis der Setzungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist für das Tunnelbauwerk nicht erforderlich, da aufgrund der Aushubentlastung keine Zusatzbeanspruchung des Baugrundes entsteht.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	
Vorgang:	4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

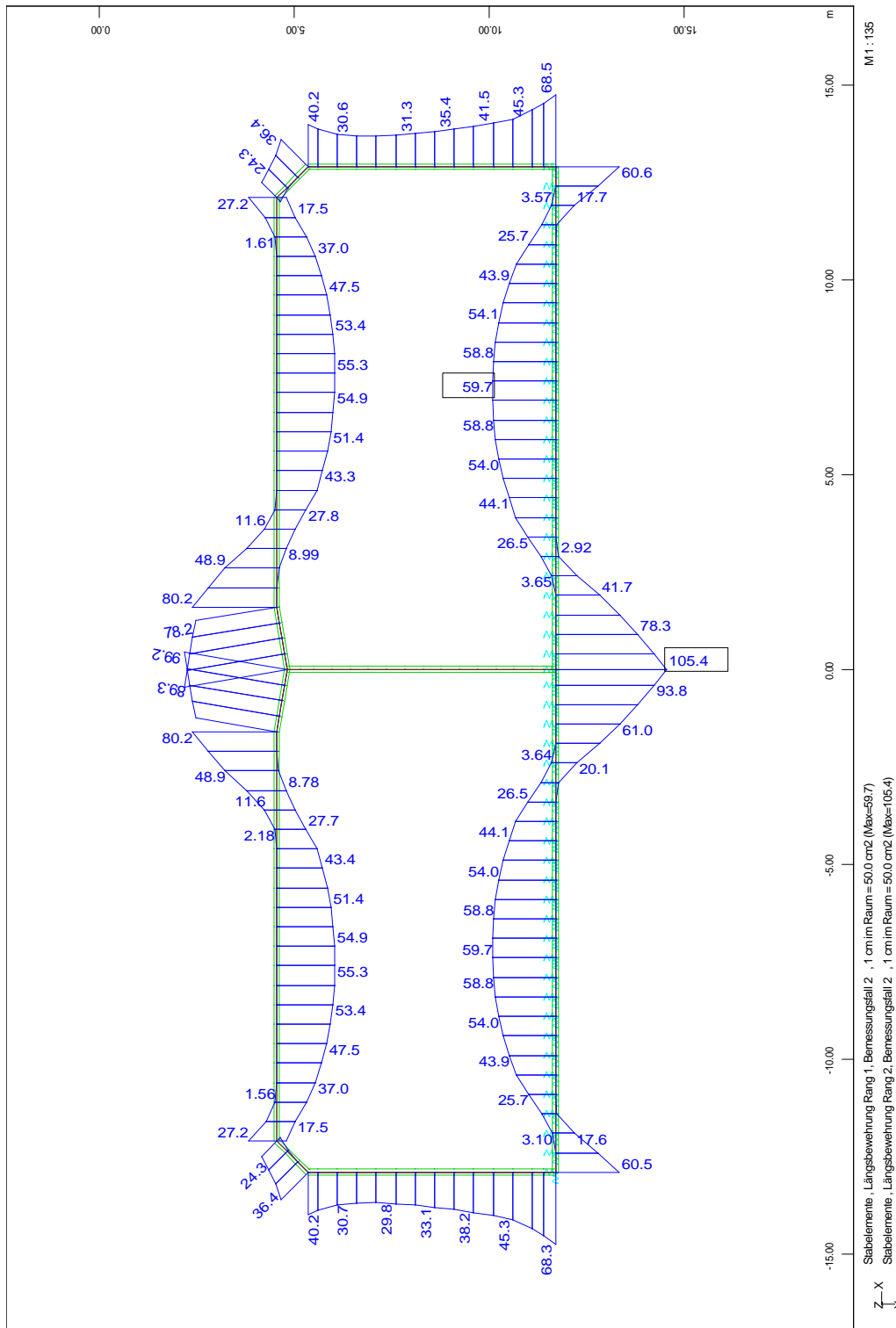


Bild 4.7: Biegebewehrung zur Rissbreitenbeschränkung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 117
Vorgang:	4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 4.3 Mindestbewehrung

#### 4.3.1 Mindestbewehrung allgemein

Mindestbewehrung für wu-Beton-Konstruktionen

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.2

- 0,20 % des Betonquerschnittes bzw.

- nicht mehr als 12 cm<sup>2</sup>/m

Bauteil	d	A <sub>s,erf.</sub>
	cm	cm <sup>2</sup> /m
Sohle	120,0	12,0
Außenwand	100,0	12,0
Mittelwand	80,0	12,0
Decke	110,0	12,0

Tabelle 4.1: Mindestbewehrung allgemein

#### 4.3.2 Mindestbewehrung in Längsrichtung

Mindestbewehrung für Querkontraktion

$$A_{s,q} = 0,20 \cdot A_{s,l}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 5.4.3.2.1 (2)

Position	A <sub>s,l</sub>	A <sub>s,q</sub>
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m
Decke außen	90,0	18,0
Deckenmitte unten	55,3	11,1
Decke Voutenanfang	27,2	5,4
Wand oben	40,2	8,0
Wandmitte	33,1	6,6
Wand unten	68,3	13,7
Sohle außen	60,5	12,1
Sohle oben	59,1	11,8
Sohle Mitte	93,8	18,8

Tabelle 4.2: Mindestbewehrung aus Querkontraktion

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	4. Bemessung		Seite 119
Vorgang:	4.3 Mindestbewehrung		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Mindestbewehrung aus Zwang

Für die Tunnelsohle wird aufgrund geeigneter konstruktiver Maßnahmen (Gleitfolie) unbehinderte Längsdehnung angenommen. Die Tunnelwände und die -decke werden für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme bemessen. Der Einfluss des Zwangs nimmt mit dem Abstand zu dem zwangbehindernden Bauteil ab. Daher wird die erforderliche Bewehrung konstruktiv bis 4 m Höhe über Sohle bzw. in der Decke auf 4 m Breite neben den Wänden eingelegt. In den darüber liegenden Wandabschnitten und in der übrigen Decke ist die Mindestbewehrung maßgebend.

Die Bemessung ist gegenüber der in DIN-FB 102, II, 5.4.7.3 angegebenen konstruktiven Längsbewehrung maßgebend.

Es gilt:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

mit  $s_{r,max} = d_s / (3,6 \text{ eff } \rho)$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \sigma_{sr} - 0,4 f_{ct,eff} / \text{eff } \rho \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho) / E_s$$

$$\text{eff } \rho = A_s / A_{c,eff}$$

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot d_1 P (h - x) / 2$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.201)  
DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.203)  
DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.202)  
DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Gl. (4.200a)  
DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Abb. 4.137

Die Anrissspannung  $\sigma_{sr}$  wird aus der Mindestbewehrung bestimmt unter Ansatz von  $\sigma_s = \sigma_{sr}$

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_{sr}$$

mit  $k_c = 1,0$  für Zug

$k = 0,8$  für  $h \leq 300$  mm

bzw.  $k = 0,5$  für  $h \geq 800$  mm

$$f_{ct,eff} = 0,50 \cdot f_{ctm}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.2 (5), Gl. (4.194)  
DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.2 (5), Gl. (4.195)

$f_{ctm} = 2,9$  MN/m<sup>2</sup>

Bauteil	h	d	d <sub>s</sub>	w <sub>k</sub>	A <sub>s,erf.</sub>
	cm	cm	mm	mm	cm <sup>2</sup> /m
Außenwand innen unten	100	93	20	0,20	24,7
Außenwand außen unten	100	93	20	0,15	28,4
Mittelwand unten	80	73	16	0,20	18,6
Decke oben	110	103	20	0,15	30,4
Decke unten	110	103	20	0,20	26,4

Tabelle 4.3: Mindestbewehrung aus Zwang

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	4. Bemessung		Seite 121
Vorgang:	4.3 Mindestbewehrung		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4.3.2 Mindest-Schubbewehrung

Mindest-Schubbewehrung ist bei Platten nur dort einzulegen, wo statisch eine Schubbewehrung erforderlich ist. Dann ist der 0,6-fache Wert der erforderlichen Mindestbewehrung für Balken einzuhalten.

$$\min \rho_w = 0,6 \cdot \rho$$

DIN-FB 102, II, 5.4.3.3

$$\text{mit } \rho = 0,93 \text{ ‰}$$

DIN-FB 102, II, 5.4.2.2

$$\min A_{SW} = 0,6 \cdot 0,93 = 5,6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 123
Vorgang:	4.3 Mindestbewehrung	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. ERGEBNIS DER BEMESSUNG

### 5.1 Bewehrung in Längsrichtung

Bauteil	h	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Sohle oben	120	12,0	15,4	14/10
Sohle unten, Ecke	120	12,1	15,4	14/10
Sohle unten, Feld	120	12,0	15,4	14/10
Sohle unten, MW	120	18,8	20,1	16/10
AW innen, bis 4 m	100	24,7	25,8	16/20 + 20/20
AW innen	100	12,0	15,4	14/10
AW außen, bis 4 m	100	28,4	31,4	20/10
AW außen	100	12,0	15,4	14/10
MW Zerschellschicht	80	18,6	22,6	12/10 + 12/10
MW	80	12,0	15,4	14/10
Decke oben Ecke bis 4 m	110	30,4	31,4	20/10
Decke oben Feld	110	12,0	15,4	14/10
Decke oben ü. MW bis 4 m	110	30,4	31,4	20/10
Decke unten Ecke bis 4 m	110	26,4	31,4	20/10
Decke unten Feld	110	12,0	15,4	20/10
Decke unten MW bis 4 m	110	26,4	31,4	20/10

Tabelle 5.1: Bewehrung in Längsrichtung

### 5.2 Biegebewehrung in Querrichtung

Bauteil	$A_{s,GZT}$	$A_{s,GZG}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Sohle oben	42,5	59,7	62,8	20/10 + 20/10
Sohle unten, Ecke	28,4	60,5	69,2	25/10 + 16/10
Sohle unten, Feld	-	-	15,4	14/10
Sohle unten, MW	66,7	93,8	98,2	25/10 + 25/10
AW innen	-	-	15,4	14/10
AW außen, unten	34,2	68,3	69,2	25/10 + 16/10
AW außen, oben	19,8	40,2	49,1	25/10

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 125
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Bauteil	$A_{s,GZT}$	$A_{s,GZG}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
MW unten	4,6	-	22,6	12/10 + 12/10
MW	-	-	15,4	14/10
Decke oben Ecke	14,2	27,2	49,1	25/10
Decke oben Feld	-	-	15,4	14/10
Decke oben ü. MW	55,7	99,2	98,2	25/10 + 25/10
Decke unten Ecke	-	-	15,4	14/10
Decke unten Feld	41,7	55,3	62,8	20/10 + 20/10
Decke unten MW	-	-	15,4	14/10

Tabelle 5.2: Biegebewehrung in Querrichtung

### 5.3 Schubbewehrung

Wegen  $V_{Ed} < 0,3 V_{Rdmax}$  sind Schubzulagen (S-Haken) ausreichend.

DIN-FB 102, II, 5.4.3.3

Höchstabstände      längs: 0,7 h bzw. 300mm  
                                  Quer: h bzw. 800 mm

DIN-FB 102, II, 5.4.3.3

Bauteil	$A_{sw,erf}$	$A_{sw,vorh}$	$\varnothing_s / s / s$
	cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	mm / cm / cm
Sohle, Ecke	13,5	13,1	10 / 20 / 30
Sohle, Mitte	16,3	16,1	12 / 20 / 35
AW, unten	11,2	13,1	10 / 20 / 30
Decke, Ecke	9,8	13,1	10 / 20 / 30
Decke, Mitte	13,5	13,1	10 / 20 / 30
MW	-	-	konstruktiv

Tabelle 5.3: Schubbewehrung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 5.4 Darstellung der Biege- und Schubbewehrung

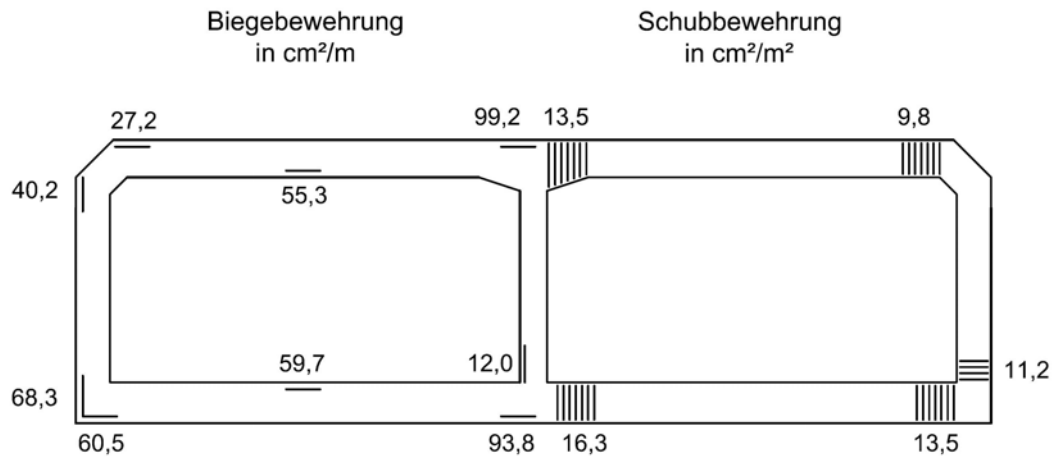


Bild 5.1: Erforderliche Biege- und Schubbewehrung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 129
Vorgang:		



**Stand sicherheitsnachweis**

**für ein Tunnelbauwerk**

**in offener Bauweise**

**Musterbeispiel**

**für die nationale Umsetzung des EC 7**

**bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken**

**mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## Stand sicherheitsnachweis für ein Tunnelbauwerk

### In offener Bauweise

#### Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	2
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	4
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	8
IV. Stand sicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	10
1. Berechnungsgrundlagen	12
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserstände	12
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	14
1.3 Statisches System	16
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	18
2. Nachweis der Auftriebssicherheit	60
3. Schnittgrößenermittlung	64
4. Bemessung	100
4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	100
4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	114
4.3 Mindestbewehrung	120
5. Ergebnis der Bemessung	126
5.1 Bewehrung in Längsrichtung	126
5.2 Biegebewehrung in Querrichtung	126
5.3 Schubbewehrung	128
5.4 Darstellung der Biege- und Schubbewehrung	130

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis	Seite 2	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Das betrachtete Tunnelbauwerk dient zur Unterführung einer vierspurigen Straße mit einem Regelquerschnitt RQ 31T. Es wird in offener Bauweise als Stahlbetonrahmen hergestellt. Aus dem Lichtraumprofil RQ 31T ergeben sich die lichten Innenmaße des 2-zelligen Rahmens von jeweils 12,0 m Breite und 6,0 m Höhe. Die Sohloberkante des Rahmens liegt 11,1 m unter OK Gelände. Die Konstruktionsdicken werden auf der Grundlage einer Vorbemessung zu 1,2 m für die Sohle, 1,1 m für die Tunneldecke, 1,0 m für die Außenwände und 0,80 m für die Innenwand gewählt. Die Blocklänge beträgt 10,0 m. Das Bauwerk wird als wasserundurchlässige Betonkonstruktion geplant.

### Baugrund und Grundwasser

Im Bereich des betrachteten Tunnelblocks steht ab ca. 14,3 m unter OK Gelände bis in größere Tiefen steifer bis halbfester Ton mit sehr geringer Wasserdurchlässigkeit an. Er wird überlagert von einem mitteldichten Sand (Sand 2) mit ca. 8,3 m Mächtigkeit. Ab 6,0 m unter OK Gelände bis zur Geländeoberfläche steht locker bis mitteldicht gelagerter Sand (Sand 1) an. Die Geländeoberfläche wird von einer Dezimeter dicken Mutterbodenschicht gebildet. Der höchste anzusetzende Grundwasserspiegel liegt bei 2,0 m unter Oberkante Gelände, der niedrigste Wasserspiegel 4,0 m tiefer.

### Herstellung und Tragsystem

Die 29,0 m breite und 12,5 m tiefe Baugrube wird durch einfach geankerte, eingespannte Spundwände gesichert. Die Spundwände binden ca. 3,0 m in den wasserundurchlässigen Ton ein, so daß das Grundwasser außerhalb der Baugrube von der Baumaßnahme nicht berührt wird und lediglich innerhalb der Baugrube im Zuge des Aushubs abgesenkt wird.

Nach Erreichen der Endaushubtiefe wird der Tunnelrahmen auf einer 20 cm dicken Sauberkeitsschicht in drei Schritten hergestellt: Als erstes wird die 1,2 m dicke Tunnelsohle betoniert, anschließend die Tunnelwände und im letzten Schritt die Tunneldecke. Nach Erreichen der hinreichenden Festigkeit des Betons wird das Bauwerk vollständig überschüttet und anschließend die Grundwasserhaltung abgestellt. Nach Ausgleich der Wasserspiegel innerhalb und außerhalb der Baugrube werden die Spundwände gezogen.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 4
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

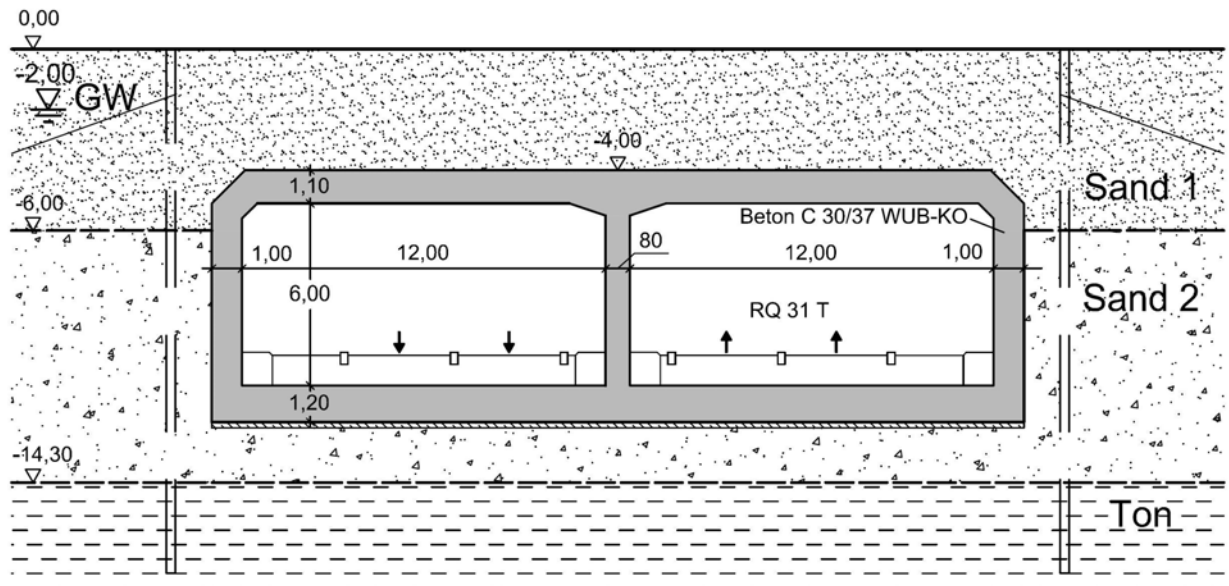


Bild II.1 Tunnel in offener Bauweise, Querschnitt Endzustand

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 6	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 5, Abschn. 2	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Tunnelbau, Offene Bauweise. Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwurf 2012-08
DIN EN 1990	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1990/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1990, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-1-1, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-2	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-2/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-2, Ausgabe 2012-08
DIN EN 1992-1-1	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe 2011-01
DIN EN 1992-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-1-1, Ausgabe 2011-01
DIN EN 1992-2	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1992-2/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-2, Entwurf 2012-04
DIN EN 1997-1	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Ausgabe 2009-09
DIN EN 1997-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1055 Teil 2	Lastannahmen für Bauten, Bodenkenngößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel, Ausgabe 1976-02
DIN 4085	Baugrund – Berechnung des Erddrucks, Ausgabe 2011-05

EDV-Programme:

SOFiSTiK GmbH

Programmmodule zur Stabwerksberechnung

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 8
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des Tunnelbauwerks gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 (Tunnel in offener Bauweise).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1990: für die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für Eigen- und Verkehrslasten
- DIN-EN 1991-2: für den Ansatz von Verkehrslasten
- DIN-EN 1992-2: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften
- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise des Tunnelbauwerkes
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 10	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Tiefe unter GOK	Wichte feucht	Wichte unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	Steifemodul
	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Sand 1	0,0 - 6,0	17	8	30,0	0	75
Sand 2	6,0 - 14,3	19	11	32,5	0	100
Ton	14,3 - 20,0	19	9	20,0	20	20

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Als Bettungsmodul für die Tunnelsohle ist ein Wert von 5 MN/m<sup>3</sup> anzusetzen.

Die charakteristischen Grundwasserstände sind wie folgt anzunehmen:

Grundwasser	Tiefe unter GOK
	m
max GW	2,0
min GW	6,0

Tabelle 1.2: Grundwasserstände

Der Füllboden seitlich und oberhalb des Tunnels ist nach externen Vorgaben einzubauen. Demnach sind für den Füllboden die gleichen Baugrundkennwerte anzusetzen wie für die Sande 1 und 2, d.h. von OK Gelände bis Kote -6,0 m die Kennwerte des Sandes 1 und darunter die Kennwerte des Sandes 2.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 12	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

DIN-EN 1992-2, 3.2

Betonstahlsorte	BSt 500 S	
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 1992-2, NDP zu 3.2.7(2)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.2.7(4)

### Betondeckung

allgemein	$c_{min,dur} = 40 \text{ mm}$	DIN-EN 1992-2, Tab. 4.3.1DE
	$c_{nom} = 45 \text{ mm}$	
erdberührende Flächen	$c_{min,dur} = 50 \text{ mm}$	
	$c_{nom} = 55 \text{ mm}$	
Brandschutz Decke und Wände	$c_{nom} = 6,0 \text{ cm}$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 10.3.2

### Beton

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37 WUB-KO	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (5)
Expositionsklassen	XD2, XF2	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (12)
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 32800 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V): DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

$$\gamma_s = 1,15$$

Außergewöhnliche Bemessungssituation (A):

$$\gamma_s = 1,0$$

im SLS  $\gamma_s = 1,0$

#### Beton:

S+V  $\gamma_c = 1,5$  DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

A  $\gamma_c = 1,3$

im SLS  $\gamma_c = 1,0$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 14
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

Die Ermittlung der Schnittgrößen erfolgt mit einem Stabwerksprogramm der Firma SO-FiSTiK. Die Sohle des Tunnels wird dabei als gebettet angesetzt.

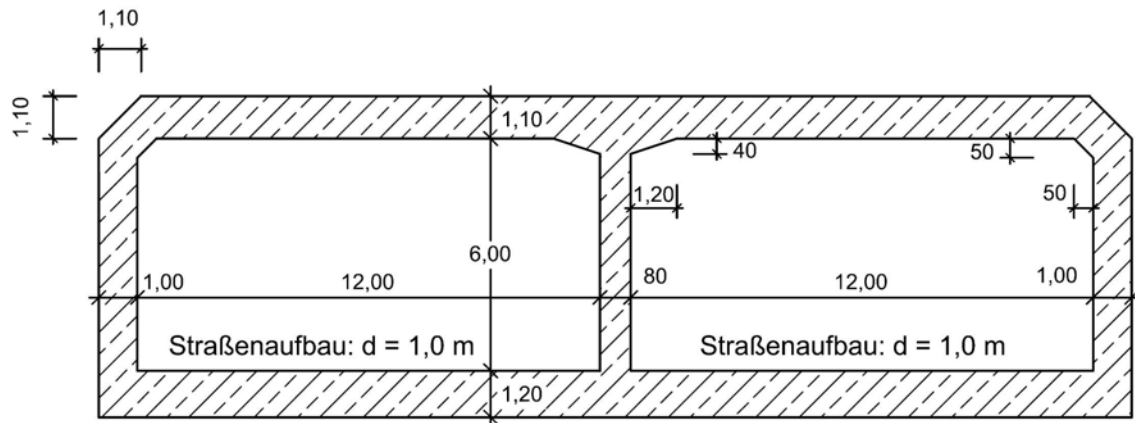


Bild 1.1: Tunnelquerschnitt

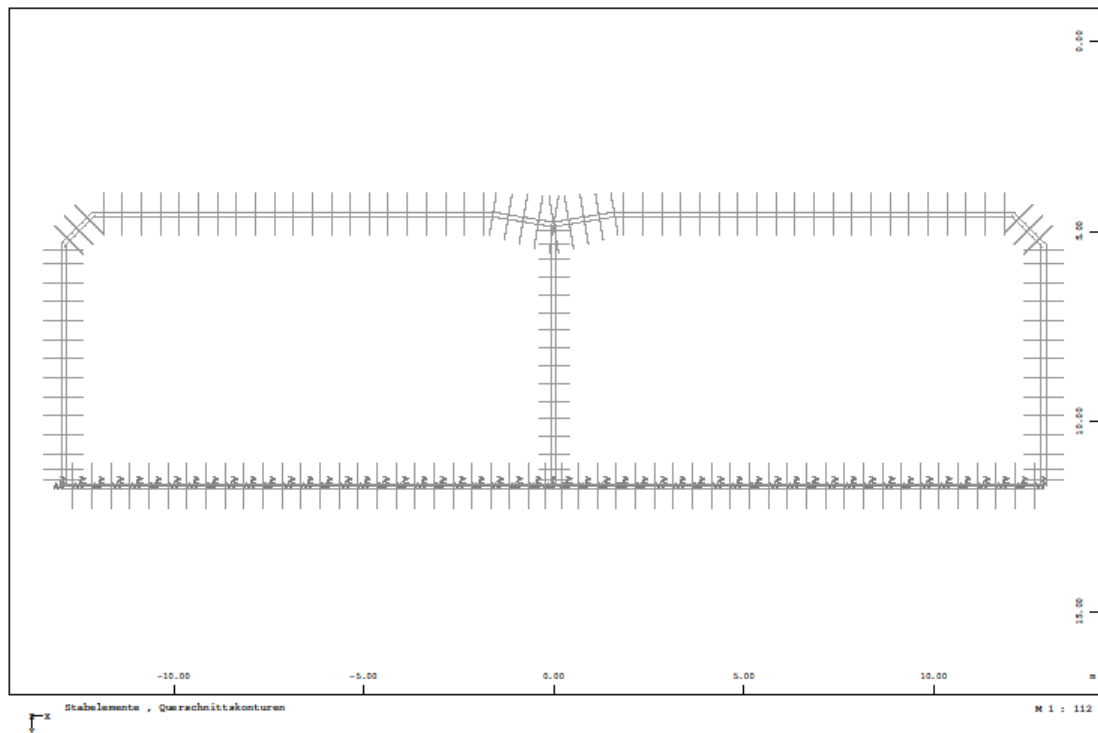


Bild 1.2: Statisches System

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 16
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

### 1.4.1 Ständige Einwirkungen

#### Eigengewicht Tunnel

wird vom Programm ermittelt mit  $\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^3$

DIN EN 1991-1

#### Eigengewicht Fahrbahnaufbau

Dicke  $d \sim 1,0 \text{ m}$   $g_{F,k} = 1,0 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 = 22 \text{ kN/m}^2$

#### Auflast aus Überschüttung

Es werden zwei Belastungszustände betrachtet – der Bauzustand und der Endzustand.

Im Bauzustand wird infolge der Grundwasserabsenkung in der Baugrube kein Wasserdruck angesetzt. Im Endzustand wird der Wasserdruck zwischen dem maximalen und dem minimalen Wasserstand variiert.

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$\Sigma h \cdot \gamma$
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0,00			0,00
		2,00	17	
	-2,00			34,00
		2,00	17	
	-4,00			68,00
		0,60	17	
	-4,60			78,20
		1,40	17	
2	-6,00			102,00
		5,10	19	
	-11,10			198,90

Tabelle 1.3: Auflast aus Überschüttung im Bauzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 18
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$\Sigma h \cdot \gamma$
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0,00			0,00
		2,00	17	
	-2,00			34,00
		2,00	8	
	-4,00			50,00
		0,60	8	
	-4,60			54,80
		1,40	8	
	-6,00			66,00
2	-6,00			66,00
		5,10	11	
	-11,10			122,10

Tabelle 1.4: Auflast im Endzustand bei max GW

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$\Sigma h \cdot \gamma$
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	0,00			0,00
		2,00	17	
	-2,00			34,00
		2,00	17	
	-4,00			68,00
		0,60	17	
	-4,60			78,20
		1,40	17	
	-6,00			102,00
2	-6,00			102,00
		5,10	11	
	-11,10			158,10

Tabelle 1.5: Auflast im Endzustand bei min GW

#### Erddruck auf Tunnelaußenwände

Voruntersuchungen haben gezeigt, dass nur Lastfälle mit voller Überschüttung maßgebend werden. Auch der Lastfall Verdichtungserddruck ist für keine Füllhöhe für die Bemessung relevant. Daher werden nachfolgend nur die Zustände mit voller Überschüttung untersucht.

Für den seitlichen Erddruck wird als größter Wert der Erdruhedruck zugrunde gelegt, als kleinster Wert der halbe aktive Erddruck.

Aufgrund des breiten Querschnittes führen asymmetrische horizontale Erddrücke (einseitig aktiver Erddruck, andere Seite Erdruhedruck und ggf. Verkehr) zu keiner maßgebenden Beanspruchung und werden daher vernachlässigt.

Im Bauzustand ist kein Wasserdruck anzusetzen, für den Endzustand wird der Grundwasserspiegel zwischen max GW und min GW variiert.

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.1 (3)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 20
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Neigungswinkel  $\delta_a = 1/2 \varphi'_k$  (weniger rau)

DIN 4085, Tabelle A.1

Erddruckbeiwerte:  $K_{agh}$  (Sand 1) = 0,29

DIN 4085, Abschn. 6.3.1.2

$K_{agh}$  (Sand 2) = 0,26

$K_{0g}$  (Sand 1) = 0,50

DIN 4085, Abschn. 6.4.1

$K_{0g}$  (Sand 2) = 0,46

Erddruckordinaten im Bauzustand:

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$h \cdot \gamma$	g	$k_{ah}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	min e	$k_0$	$\Sigma g \cdot k_0$	max e
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	-0,00				0,00	0,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
		2,00	17	34,00							
	-2,00				34,00	0,29	9,86	4,93	0,50	17,00	17,00
		2,00	17	34,00							
	-4,00				68,00	0,29	19,72	9,86	0,50	34,00	34,00
		0,55	17	9,35							
	-4,55				77,35	0,29	22,43	11,22	0,50	38,68	38,68
		0,80	17	13,60							
	-5,35				90,95	0,29	26,38	13,19	0,50	45,48	45,48
	0,65	17	11,05								
-6,00				102,00	0,29	29,58	14,79	0,50	51,00	51,00	
2	-6,00				102,00	0,26	26,52	13,26	0,46	46,92	46,92
		5,10	19	96,9							
	-11,10				198,90	0,26	51,71	25,86	0,46	91,49	91,49
		0,60	19	11,4							
	-11,70				210,30	0,26	54,68	27,34	0,46	96,74	96,74
		0,60	19	11,4							
-12,30				221,70	0,26	57,64	28,82	0,46	101,98	101,98	

Tabelle 1.6: Kleinster und größter Erddruck im Bauzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 22
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruckordinaten im Endzustand:

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$h \cdot \gamma$	g	$k_{ah}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	min e	$k_0$	$\Sigma g \cdot k_0$	max e
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	-0,00				0,00	0,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
		2,00	17	34,00							
	-2,00				34,00	0,29	9,86	4,93	0,50	17,00	17,00
		2,00	8	16,00							
	-4,00				50,00	0,29	14,50	7,25	0,50	25,00	25,00
		0,55	8	4,40							
	-4,55				54,40	0,29	15,78	7,89	0,50	27,20	27,20
		0,80	8	6,40							
	-5,35				60,80	0,29	17,63	8,82	0,50	30,40	30,40
	0,65	8	5,20								
-6,00				66,00	0,29	19,14	9,57	0,50	33,00	33,00	
2	-6,00				66,00	0,26	17,16	8,58	0,46	30,36	30,36
		5,10	11	56,1							
	-11,10				122,10	0,26	31,75	15,87	0,46	56,17	56,17
		0,60	11	6,6							
	-11,70				128,70	0,26	33,46	16,73	0,46	59,20	59,20
		0,60	11	6,6							
-12,30				135,30	0,26	35,18	17,59	0,46	62,24	62,24	

Tabelle 1.7: Kleinster und größter Erddruck im Endzustand bei max GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 24
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Schicht	Kote	h	$\gamma$	$h \cdot \gamma$	g	$k_{ah}$	$\Sigma g \cdot k_{ah}$	min e	$k_0$	$\Sigma g \cdot k_0$	max e
		m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
1	0,00				0,00	0,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
		2,00	17	34,00							
	-2,00				34,00	0,29	9,86	4,93	0,50	17,00	17,00
		2,00	17	34,00							
	-4,00				68,00	0,29	19,72	9,86	0,50	34,00	34,00
		0,55	17	9,35							
	-4,55				77,35	0,29	22,43	11,22	0,50	38,68	38,68
		0,80	17	13,60							
	-5,35				90,95	0,29	26,38	13,19	0,50	45,48	45,48
	0,65	17	11,05								
-6,00				102,00	0,29	29,58	14,79	0,50	51,00	51,00	
2	-6,00				102,00	0,26	26,52	13,26	0,46	46,92	46,92
		5,10	11	56,1							
	-11,10				158,10	0,26	41,11	20,55	0,46	72,73	72,73
		0,60	11	6,6							
	-11,70				164,70	0,26	42,82	21,41	0,46	75,76	75,76
		0,60	11	6,6							
-12,30				171,30	0,26	44,54	22,27	0,46	78,80	78,80	

Tabelle 1.8: Kleinster und größter Erddruck im Endzustand bei min GW

Wasserdruck im Endzustand

max GW = 2,0 m unter GOK

min GW = 6,0 m unter GOK

Verkehrslasten auf Überschüttung

Bauzustand  $p = 10 \text{ kN/m}^2$

Endzustand  $p = 5 \text{ kN/m}^2$

Erddruckbeiwerte:  $K_{0p}$  (Sand 1) = 0,50

$K_{0p}$  (Sand 2) = 0,46

EAB EB 156

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.2.4

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 26
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruckordinaten aus Verkehrslast im Bauzustand:

Schicht	Kote	h	$\rho$	$k_0$	max e	
		m	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m	
1	0,00		10,00	0,50	5,00	
		2,00				
	-2,00		10,00	0,50	5,00	
		2,00				
	-4,00		10,00	0,50	5,00	
		0,55				
	-4,55		10,00	0,50	5,00	
		0,80				
	-5,35		10,00	0,50	5,00	
	0,65					
	-6,00		10,00	0,50	5,00	
2		-6,00		10,00	0,46	4,60
		5,10				
		-11,10		10,00	0,46	4,60
		0,60				
		-11,70		10,00	0,46	4,60
		0,60				
	-12,30		10,00	0,46	4,60	

Tabelle 1.9: Erddruck aus Verkehrslasten im Bauzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 28
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Erddruckordinaten aus Verkehrslast im Endzustand:

Schicht	Kote	h	p	$k_0$	max e
		m	kN/m <sup>2</sup>	-	kN/m
1	0,00		5,00	0,50	2,50
		2,00			
	-2,00		5,00	0,50	2,50
		2,00			
	-4,00		5,00	0,50	2,50
		0,55			
	-4,55		5,00	0,50	2,50
		0,80			
	-5,35		5,00	0,50	2,50
		0,65			
2	-6,00		5,00	0,50	2,50
		5,10		0,46	2,30
	-11,10		5,00	0,46	2,30
		0,60			
	-11,70		5,00	0,46	2,30
		0,60			
	-12,30		5,00	0,46	2,30

Tabelle 1.10: Erddruck aus Verkehrslasten im Endzustand

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 30
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4.2 Veränderliche Einwirkungen

### Verkehrslasten im Tunnel

Die Verkehrslasten im Tunnel sind nach DIN-EN 1991-2 anzusetzen.

Haupt-Lastmodell (Lastmodell 1):

DIN-EN 1991-2, 4.3.2

- Doppelachse (Tandem-System TS)

$$\alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} = 300 \text{ kN mit } \alpha_{Q1} = 1,0$$

DIN-EN 1991-2, Tab. 4.2 und DIN EN 1991-2/NA NDP zu 4.3.2(3)

$$\alpha_{Q2} \cdot Q_{2k} = 200 \text{ kN mit } \alpha_{Q2} = 1,0$$

$$\alpha_{Q3} \cdot Q_{3k} = 100 \text{ kN mit } \alpha_{Q3} = 1,0$$

- gleichmäßig verteilte Belastung (UDL-System)

$$\alpha_{q1} \cdot q_{1k} = 12,0 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{q1} = 1,33$$

DIN-EN 1991-2, Tab. 4.2 und DIN EN 1991-2/NA NDP zu 4.3.2(3)

$$\alpha_{q2} \cdot q_{2k} = 6,0 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{q2} = 2,4$$

$$\alpha_{q3} \cdot q_{3k} = 3,0 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{q3} = 1,2$$

$$\alpha_{qr} \cdot q_{rk} = 3,0 \text{ kN/m}^2 \text{ mit } \alpha_{qr} = 1,2$$

Verteilung von Einzellasten:

DIN-EN 1991-2

Die Einzellasten dürfen unter 45° bis zur Mittellinie der tragenden Platte verteilt werden. Quer zur Fahrtrichtung ist die Verteilung bis zum Rand des Fahrstreifens begrenzt. Damit ergeben sich die folgenden Lastverteilungen:

Lastverteilungsbreite  $b = 3,0 \text{ m}$

Lastverteilungslänge  $l = 1,6 + 2 \cdot (1 + 1,2/2) = 4,80 \text{ m}$

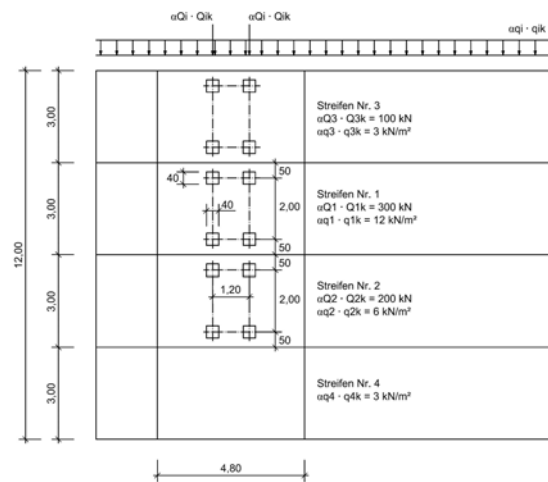
$$\Sigma (\alpha_{Q1} \cdot Q_{1k}) / (b \cdot l) = 41,67 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma (\alpha_{Q2} \cdot Q_{2k}) / (b \cdot l) = 27,78 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma (\alpha_{Q3} \cdot Q_{3k}) / (b \cdot l) = 13,89 \text{ kN/m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 32
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13



Verkehrslasten im Tunnel (LM1 - DIN EN 1991-2)

Bild 1.3: Verkehrslasten im Tunnel

### Temperatureinwirkungen

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.2.6,  
Bild 5.2.1

- Temperatur im Tunnel bis 1000 m vom Portal  
Sommer:  $T = +25 \text{ °C}$   
Winter:  $T = -15 \text{ °C}$
- Tunnelumgebungstemperatur  $T = 10 \text{ °C}$   
im Abstand von 2 m zur Tunnelinnenkontur,  
bei Grundwasser an Außenkante Bauwerk

Temperaturlasten im Bauzustand:

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	$T_{\text{innen}}$	$T_{\text{außen}}$	$T_{\text{Einbau}}$	$T_0$	$\Delta T$
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	25	25	10	15,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	25	10	10	11,023	7,955
Decke	1,10	0,00	25	10	10	10,875	8,250
Decke Voute	1,20	0,00	25	10	10	10,500	9,000
Decke Voute	1,40	0,00	25	10	10	9,750	10,500
Decke Voute	1,50	0,00	25	10	10	9,375	11,250
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	11,250	7,500
Sohle	1,20	0,00	25	10	10	10,500	9,000

Tabelle 1.11: Bauzustand: Temperatur im Sommer ohne Grundwasser

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 34
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	-15	-15	10	-25,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	-15	10	10	-18,371	-13,258
Decke	1,10	0,00	-15	10	10	-18,125	-13,750
Decke Voute	1,20	0,00	-15	10	10	-17,500	-15,000
Decke Voute	1,40	0,00	-15	10	10	-16,250	-17,500
Decke Voute	1,50	0,00	-15	10	10	-15,625	-18,750
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-18,750	-12,500
Sohle	1,20	0,00	-15	10	10	-17,500	-15,000

Tabelle 1.12: Bauzustand: Temperatur im Winter ohne Grundwasser

Temperaturlasten im Endzustand:

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	25	25	10	15,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke	1,10	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke Voute	1,20	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke Voute	1,40	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Decke Voute	1,50	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Sohle	1,20	1,00	25	10	10	4,091	8,182

Tabelle 1.13: Endzustand, Temperatur im Sommer bei max GW

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	-15	-15	10	-25,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke	1,10	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke Voute	1,20	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke Voute	1,40	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Decke Voute	1,50	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Sohle	1,20	1,00	-15	10	10	-6,818	-13,636

Tabelle 1.14: Endzustand, Temperatur im Winter bei max GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 36	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	25	25	10	15,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	25	10	10	11,023	7,955
Decke	1,10	0,00	25	10	10	10,875	8,250
Decke Voute	1,20	0,00	25	10	10	10,500	9,000
Decke Voute	1,40	0,00	25	10	10	9,750	10,500
Decke Voute	1,50	0,00	25	10	10	9,375	11,250
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	11,250	7,500
Außenwand	1,00	0,00	25	10	10	7,500	15,000
Sohle	1,20	1,00	25	10	10	4,091	8,182

Tabelle 1.15: Endzustand, Temperatur im Sommer bei min GW

Position	Dicke d	Dicke Ausbau	T <sub>innen</sub>	T <sub>außen</sub>	T <sub>Einbau</sub>	T <sub>0</sub>	ΔT
-	m	m	°C	°C	°C	K	K
Mittelwand	0,80	0,00	-15	-15	10	-25,000	0,000
Decke außen	1,06	0,00	-15	10	10	-18,371	-13,258
Decke	1,10	0,00	-15	10	10	-18,125	-13,750
Decke Voute	1,20	0,00	-15	10	10	-17,500	-15,000
Decke Voute	1,40	0,00	-15	10	10	-16,250	-17,500
Decke Voute	1,50	0,00	-15	10	10	-15,625	-18,750
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-18,750	-12,500
Außenwand	1,00	0,00	-15	10	10	-12,500	-25,000
Sohle	1,20	1,00	-15	10	10	-6,818	-13,636

Tabelle 1.16: Endzustand, Temperatur im Winter bei min GW

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 38
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.4.3 Außergewöhnliche Einwirkungen

#### Fahrzeuganprall

Ist auf die Innenwand anzusetzen, da deren Dicke  $d = 0,8$  m und damit kleiner als 0,9 m ist:

DIN EN 1992-2/NA, NA6.110.2

rechtwinklig zur Fahrtrichtung 750 kN in 1,25 m Höhe über der Fahrbahnoberfläche (für außerörtliche Straßen)

DIN EN 1991-2,  
DIN EN 1991-2/NA,  
DIN EN 1991-7, Tab. NA2

#### Brand

$\Delta T = 50$  K in Wand und Decke

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 10.3.3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 40
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 1.4.4 Lastfallkombinationen für die Bemessung

Die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind für alle Bauzustände und den Endzustand zu führen. Die maßgebenden Einwirkungskombinationen sind in DIN EN 1990 festgelegt. Gemäß Kapitel 6.4 sind die Einwirkungen a) für ständige Einwirkungen und vorübergehende Situationen und b) für außergewöhnliche Situationen nach den Gleichungen (6.10) und (6.11b) anzusetzen. Die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für die Einwirkungen sind dabei für Eigengewicht (= ständige Einwirkung) und Verkehr nach DIN EN 1990, Anhang A2 anzusetzen.

Erddrücke werden in DIN EN 1990, Anhang A2 (Anwendung für Brücken) nur ohne Unterscheidung ihrer Art (aktiv, Erdruchedruck) berücksichtigt, da sie im Brückenbau nur für die Widerlager von Bedeutung sind. Für Tunnel in offener Bauweise sind sie jedoch die vorherrschende ständige Einwirkung. Aus diesem Grund sind die Teilsicherheitsbeiwerte für vertikale und horizontale Erddrücke sowie Wasserdruck aus der für den Erd- und Grundbau maßgebenden DIN 1054 zu entnehmen.

Ebenso gibt die DIN 1054 – abweichend von DIN EN 1990 – für ständige Einwirkungen aus Baugrund und Grundwasser in der außergewöhnlichen Einwirkungskombination von 1,0 abweichende Teilsicherheiten an. Diese sind maßgebend (vgl. Anmerkung 1 zu Tabelle A2.1 in DIN 1054) und werden daher angesetzt.

Für die Temperatureinwirkungen gibt die ZTV-ING T5, Abschnitt 2 die Teilsicherheit  $\gamma = 1,0$  vor, um eine Überbewertung der Zwangbeanspruchung zu vermeiden.

Die anzusetzenden Lastfallkombinationen ergeben sich damit wie folgt:

##### Tragfähigkeitsnachweis

##### Ständige und vorübergehende Bemessungssituation

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad \text{DIN EN 1990, 6.4.3.2, Gl.(6.10)}$$

##### Außergewöhnliche Bemessungssituation

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{GAj} \cdot G_{kj} + A_d + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad \text{DIN EN 1990, 6.4.3.3, Gl.(6.11b) mit NCI zu 6.4.3.3(2)}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 42
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 1: Bauzustand

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,35^{3)}$	DIN EN 1990, Anhang A, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,35^{1)4)}$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck ohne Wasser bzw. Erdruchdruck ohne Wasser	$\gamma_G = 1,35^{1)4)}$ $\gamma_{E0g} = 1,20^{1)4)}$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,35^{2)}$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Temperatur Sommer bzw. Temperatur Winter	$\gamma = 1,00$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.3 (6)
---	-----------------	----------------------------------

<sup>1)</sup> Bei der Bemessung des Bauwerks unterscheidet DIN EN 1992-2 nicht zwischen Bau- und Endzuständen. Aus diesem Grund werden die Teilsicherheiten für den Erddruck auch im Bauzustand für die Bemessungssituation BS-P nach DIN 1054, Tabelle A2.1 festgelegt.

<sup>2)</sup> Für großflächige Nutzlasten bis 10 kN/m<sup>2</sup> ist gemäß DIN 1054, 9.5.1, A(10) der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_G$  nach Tabelle A2.1 zu wählen.

<sup>3)</sup> Eine Berücksichtigung des Konstruktionseigengewichtes mit  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  erfolgt nicht, da dies im Fall eines überschütteten Tunnels zu keiner maßgebenden Vergrößerung der Bemessungsergebnisse führt. Für die Sohlauffüllung wird dagegen  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  berücksichtigt.

<sup>4)</sup> Für die ständigen Lasten aus Überschüttung und Erddruck wird bei der statischen Berechnung und Bemessung des Bauwerkes ebenfalls  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  nicht berücksichtigt. Dieser Wert ist in DIN 1054 (2010) nur für den Sonderfall vorgesehen. Über die Erddruckvariation ist im Tunnelbau die günstige bzw. ungünstige Wirkung der Erddrucklasten ausreichend abgedeckt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 44
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 2: Endzustand bei max GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,35$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck bei max GW bzw.	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Erdruhedruck bei max GW	$\gamma_{G,E0} = 1,20$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- max GW	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel	$\gamma_Q = 1,35$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.4(B)
TS	$\psi_0 = \psi_1 = 0,75$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
UDL	$\psi_0 = \psi_1 = 0,40$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
- Temperatur Sommer bzw.	$\gamma_T = 1,00$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.3 (6)
Temperatur Winter	$\psi_0 = \psi_1 = 0,60$	

### Lastfallkombination LFK 3: Endzustand bei min GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,35$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck bei min GW bzw.	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
Erdruhedruck bei min GW	$\gamma_{G,E0} = 1,20$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- min GW	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,35$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel	$\gamma_Q = 1,35$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.4(B)
TS	$\psi_0 = \psi_1 = 0,75$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
UDL	$\psi_0 = \psi_1 = 0,40$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
- Temperatur Sommer bzw.	$\gamma_T = 1,00$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.3 (6)
Temperatur Winter	$\psi_0 = \psi_1 = 0,60$	

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 46
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 4: Endzustand Anprall bei max GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck bei max GW bzw. Erdruhedruck bei max GW	$\gamma_G = 1,10$ $\gamma_{G,E0} = 1,00$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1 DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- max GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.4(B)
TS	$\psi_1 = 0,75$ $\psi_2 = 0,0$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
UDL	$\psi_1 = 0,40$ $\psi_2 = 0,0$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
- Temperatur Sommer bzw. Temperatur Winter	$\psi_1 = 0,60$ $\psi_2 = 0,50$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.3 (6)

Außergewöhnliche Einwirkung:

- Anprall	$\gamma_A = 1,00$	DIN EN 1990, A2.3.2
-----------	-------------------	---------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 48
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Lastfallkombination LFK 5: Endzustand Anprall bei min GW

#### Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck bei min GW bzw. Erdruhedruck bei min GW	$\gamma_G = 1,10$ $\gamma_{G,E0} = 1,00$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1 DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- min GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

#### Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.4(B)
TS	$\psi_1 = 0,75$ $\psi_2 = 0,0$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
UDL	$\psi_1 = 0,40$ $\psi_2 = 0,0$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
- Temperatur Sommer bzw. Temperatur Winter	$\psi_1 = 0,60$ $\psi_2 = 0,50$	ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.3 (6)

#### Außergewöhnliche Einwirkung:

- Anprall	$\gamma_A = 1,00$	DIN EN 1990, A2.3.2
-----------	-------------------	---------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 50
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 6: Endzustand Brand bei max GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck bei max GW bzw. Erdruhedruck bei max GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
	$\gamma_{G,E0} = 1,00$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- max GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.4(B)
TS	$\psi_1 = 0,75$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
	$\psi_2 = 0,0$	
UDL	$\psi_1 = 0,40$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
	$\psi_2 = 0,0$	

Außergewöhnliche Einwirkung:

- Brand	$\gamma_A = 1,00$	DIN EN 1990, A2.3.2
---------	-------------------	---------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 52
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 7: Endzustand Brand bei min GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht	$\gamma_{Gsup} = 1,00$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A.2.4(B)
- Auflast aus Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- aktiver Erddruck bei min GW bzw. Erdruhedruck bei min GW	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- min GW	$\gamma_{G,E0} = 1,00$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1
- Verkehrslasten auf Überschüttung	$\gamma_G = 1,10$	DIN 1054, A2.4.7.6.1, Tab. A2.1

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel		DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.4(B)
TS	$\psi_1 = 0,75$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
	$\psi_2 = 0,0$	
UDL	$\psi_1 = 0,40$	DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1
	$\psi_2 = 0,0$	

Außergewöhnliche Einwirkung:

- Brand	$\gamma_A = 1,00$	DIN EN 1990, A2.3.2
---------	-------------------	---------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 54
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks, d.h. die Begrenzung auf bestimmte Rissweiten und Verformungen, ist ebenfalls für alle maßgebenden Zustände zu führen. Dies sind alle Bauzustände und der Endzustand.

Der Nachweis der Rissbreitenbeschränkung ist bei Tunnelbauwerken gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2, für die „häufige Kombination“ zu führen.

### Rissbreitenbeschränkung

Häufige Kombination

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.4.1 (2)

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

DIN EN 1990, 6.5.3, Gl. (6.15b)

Gemäß ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.4.2.2 sind die Temperatureinwirkungen als quasi-ständige Werte mit dem Kombinationsbeiwert  $\psi_2 = 0,50$  anzusetzen.

### Lastfallkombination LFK 8: Bauzustand

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht
- Auflast aus Überschüttung
- aktiver Erddruck ohne Wasser bzw. Erdruhedruck ohne Wasser
- Verkehrslasten auf Überschüttung

Veränderliche Einwirkungen:

- Temperatur Sommer bzw.

Temperatur Winter  $\psi_2 = 0,50$   
(Steifigkeit im Zustand I zugrunde gelegt)

ZTV-ING, T5, Abschn. 2, 3.3.4.2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 56
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Lastfallkombination LFK 9: Endzustand bei max GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht
- Auflast aus Überschüttung
- aktiver Erddruck bei max GW bzw.  
Erdruchdruck bei max GW
- max GW
- Verkehrslasten auf Überschüttung

Veränderliche Einwirkungen:

- Verkehrslasten im Tunnel

TS  $\psi_1 = 0,75, \psi_2 = 0,0$

DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1

UDL  $\psi_1 = 0,40, \psi_2 = 0,0$

DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1

- Temperatur Sommer bzw.

Temperatur Winter  $\psi_2 = 0,50$

ZTV-ING, T5, Abschn. 2, 3.3.4.2

Lastfallkombination LFK 10: Endzustand bei min GW

Ständige Einwirkungen:

- Eigengewicht
- Auflast aus Überschüttung
- aktiver Erddruck bei min GW bzw.  
Erdruchdruck bei min GW
- min GW
- Verkehrslasten auf Überschüttung

Veränderliche Lasten:

- Verkehrslasten im Tunnel

TS  $\psi_1 = 0,75, \psi_2 = 0,0$

DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1

UDL  $\psi_1 = 0,40, \psi_2 = 0,0$

DIN EN 1990, Anhang A2, Tab. A2.1

- Temperatur Sommer bzw.

Temperatur Winter  $\psi_2 = 0,50$

ZTV-ING, T5, Abschn. 2, 3.3.4.2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 58
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. NACHWEIS DER AUFTRIEBSSICHERHEIT

Die Auftriebssicherheit ist nach DIN 1054, Abschnitt 10.2.1 im Grenzzustand UPL nachzuweisen.

$$A_k \cdot \gamma_{G,dst} \leq G_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

DIN 1054, 2.4.7.4

Da die Auftriebssicherheit maßgeblich von den Wichten des Baugrundes und des Bauwerkes abhängt, sind für den Auftriebssicherheitsnachweis die unteren charakteristischen Werte der Wichten anzusetzen.

DIN EN 1997-1, 2.3.5.2 (8)

Sofern das Baugrundgutachten hierüber keine Angaben enthält, können die üblicherweise angegebenen charakteristischen Mittelwerte der Wichten analog zu DIN 1055, Teil 2 (1976) abgemindert werden.

Konstruktionseigengewicht:

$$G_{stb,k} = \gamma_B \cdot V_B = 1871,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } \gamma_B = 25 - 1 = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$V_B = 77,96 \text{ m}^3/\text{m}$$

DIN 1054, 10.1, A (7)

Eigengewicht Ausbau:

$$G_{A,stb,k} = \gamma_A \cdot V_A = 504,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } \gamma_A = 22 - 1 = 21 \text{ kN/m}^3$$

$$V_A = 24 \text{ m}^3/\text{m}$$

DIN 1054, 10.1, A (7)

Überschüttung:

$$G_{\bar{U},stb,k} = \sum \gamma \cdot V = 1187,7 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } \gamma \text{ (Sand 1)} = 17 - 2 = 15 \text{ kN/m}^3$$

$$V = 53,6 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$\gamma' \text{ (Sand 1)} = 8 - 1 = 7 \text{ kN/m}^3$$

$$V = 54,8 \text{ m}^3/\text{m}$$

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

DIN 1055 Teil 2, Abschn. 5.4

Wasserauflast:

$$G_{w,stb,k} = \gamma_w \cdot V = 548,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{mit } \gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$V_w = 54,8 \text{ m}^3/\text{m}$$

DIN EN 1991-1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweis der Auftriebssicherheit	Seite 60
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Auftriebskraft:

$$A_k = \sum \gamma_w \cdot h_w \cdot A_w = 2760,4 \text{ kN/m}$$

mit  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

$$h_{w1} = 12,3 \text{ m} - 2,0 \text{ m} = 10,30 \text{ m}$$

$$A_{w1} = 26,8 \text{ m}^2/\text{m}$$

Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen (UPL):

$$\gamma_{G,dst} = 1,05 \text{ (BS-P) bzw. } 1,00 \text{ (BS-A)}$$

DIN 1054, Tabelle A2.1

$$\gamma_{G,stb} = 0,95 \text{ (BS-P) bzw. } 0,95 \text{ (BS-A)}$$

BS-P: Endzustand

$$1,05 \cdot 2760,4 < (1871,0 + 504,0 + 1187,7 + 548,0) \cdot 0,95$$

$$2898,4 < 3905 \text{ kN/m}$$

BS-A: Endzustand ohne Straßenoberbau

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.2.3 (5)

$$1,00 \cdot 2760,4 < (1871,0 + 1187,7 + 548,0) \cdot 0,95$$

$$2760,4 < 3426,4 \text{ kN/m}$$

Die Auftriebssicherheitsnachweise sind erfüllt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Nachweis der Auftriebssicherheit	Seite 62
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. SCHNITTGRÖSSENERMITTLUNG

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt mit den Berechnungsmodulen von SOFiSTiK. Die maximalen und minimalen Schnittgrößen in den 10 Lastfallkombinationen werden dabei vom Programm ermittelt. Die Umhüllenden der Biegemomente für die LFK 1 bis LFK 10 und der Querkräfte der LFK 1 bis LFK 7 sind auf den folgenden Ausdrucken dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 64
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

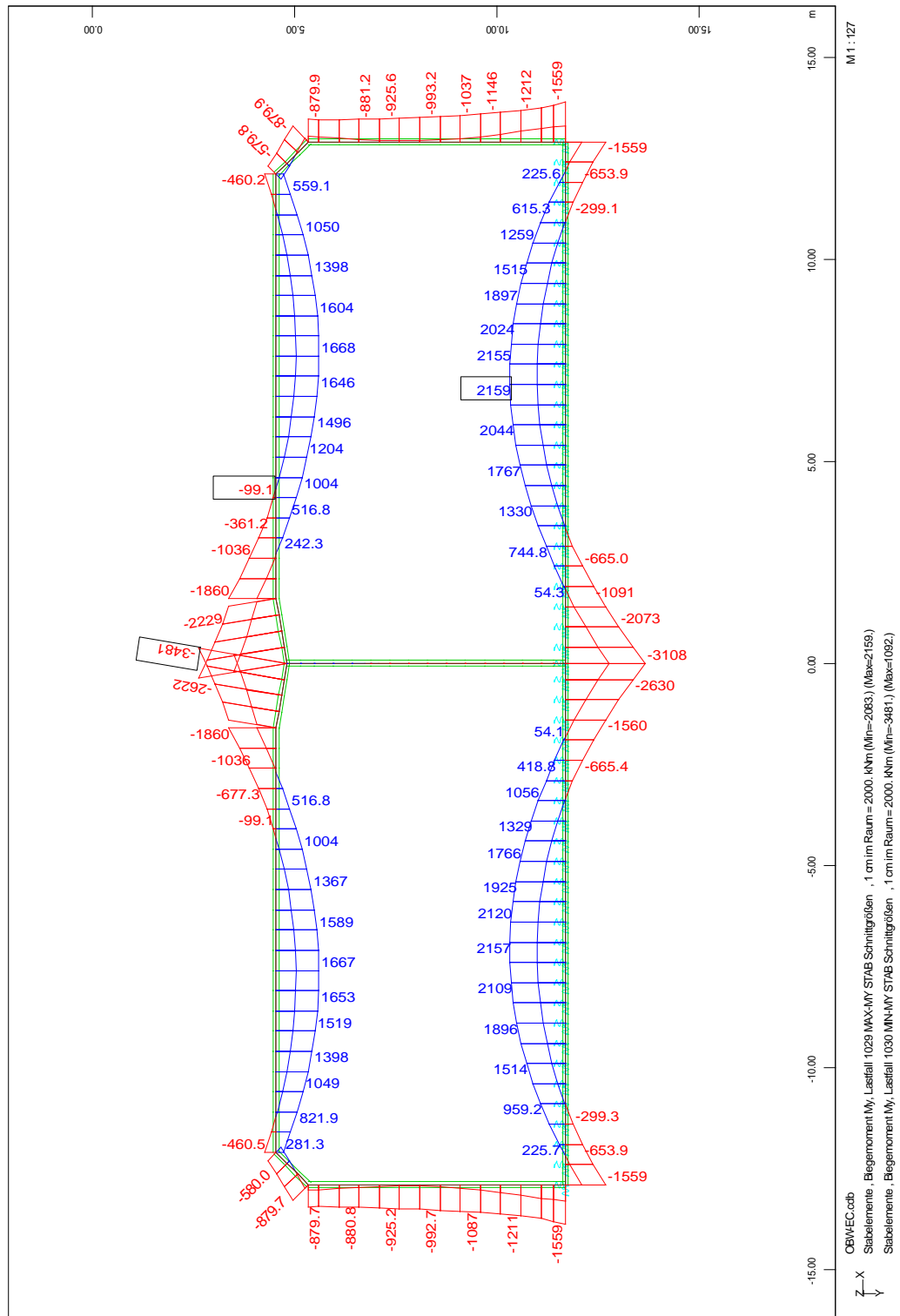


Bild 3.1: Biegemomente LFK 1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 66
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

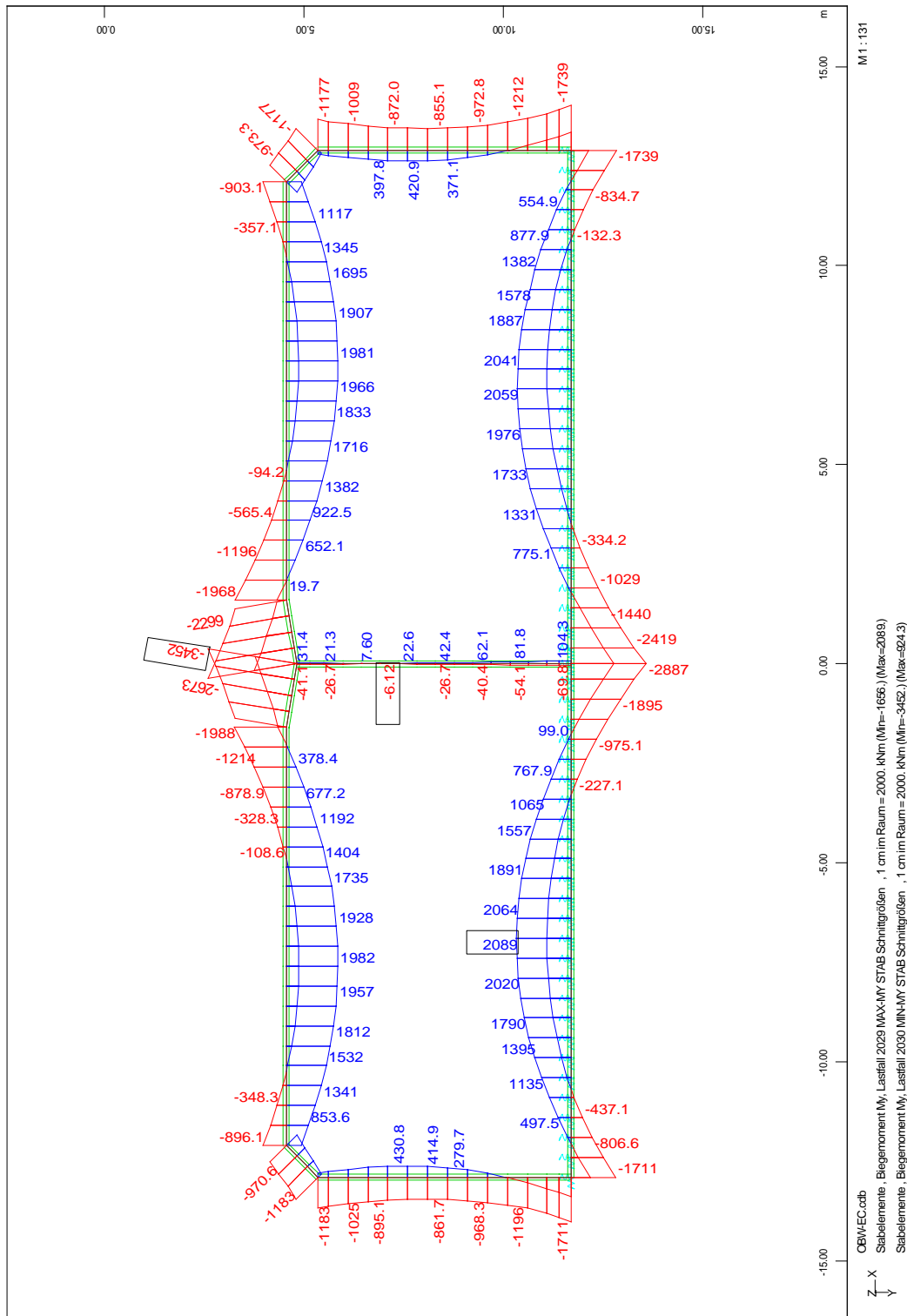


Bild 3.2: Biegemomente LFK 2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 68
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

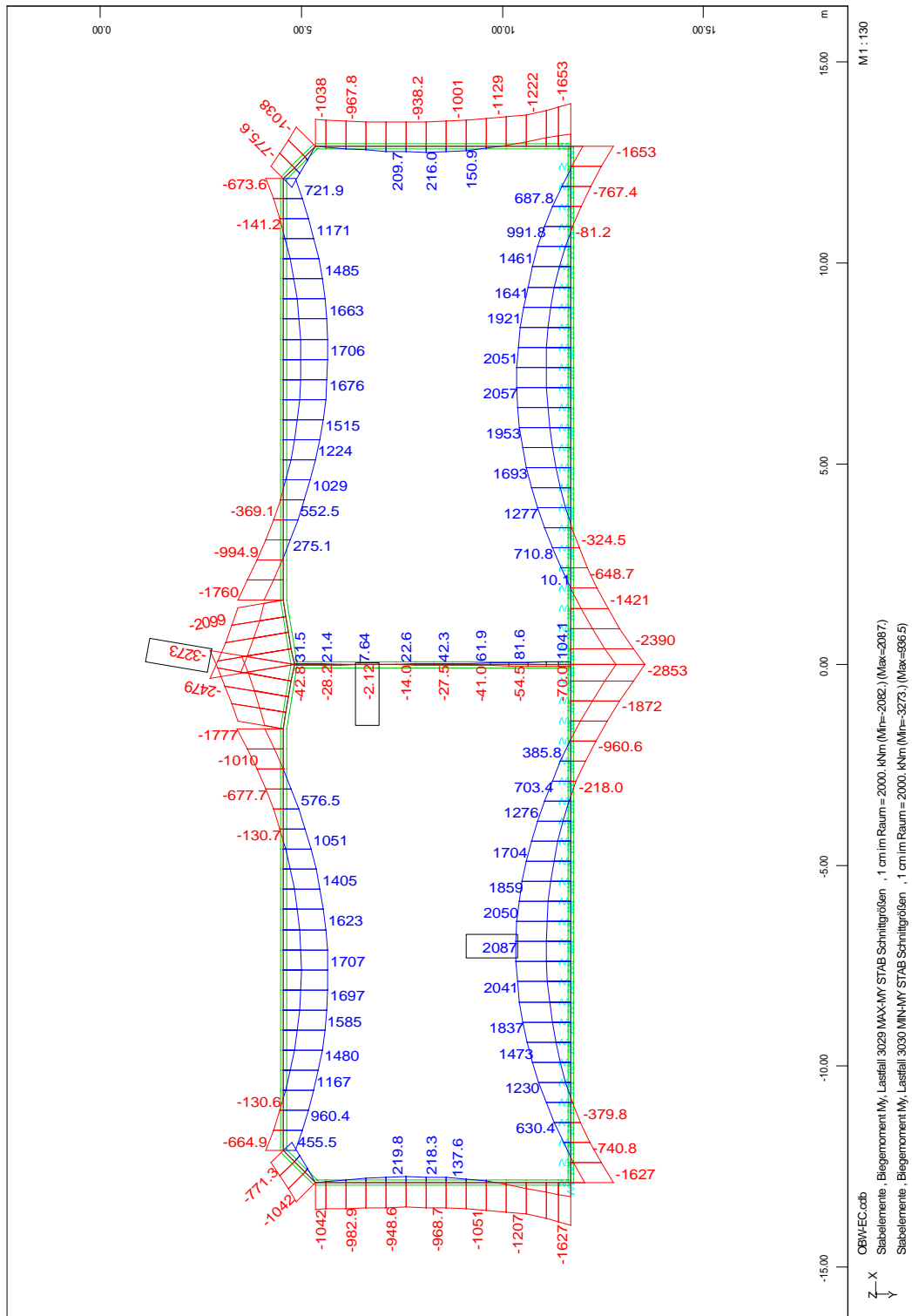


Bild 3.3: Biegemomente LFK 3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 70
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

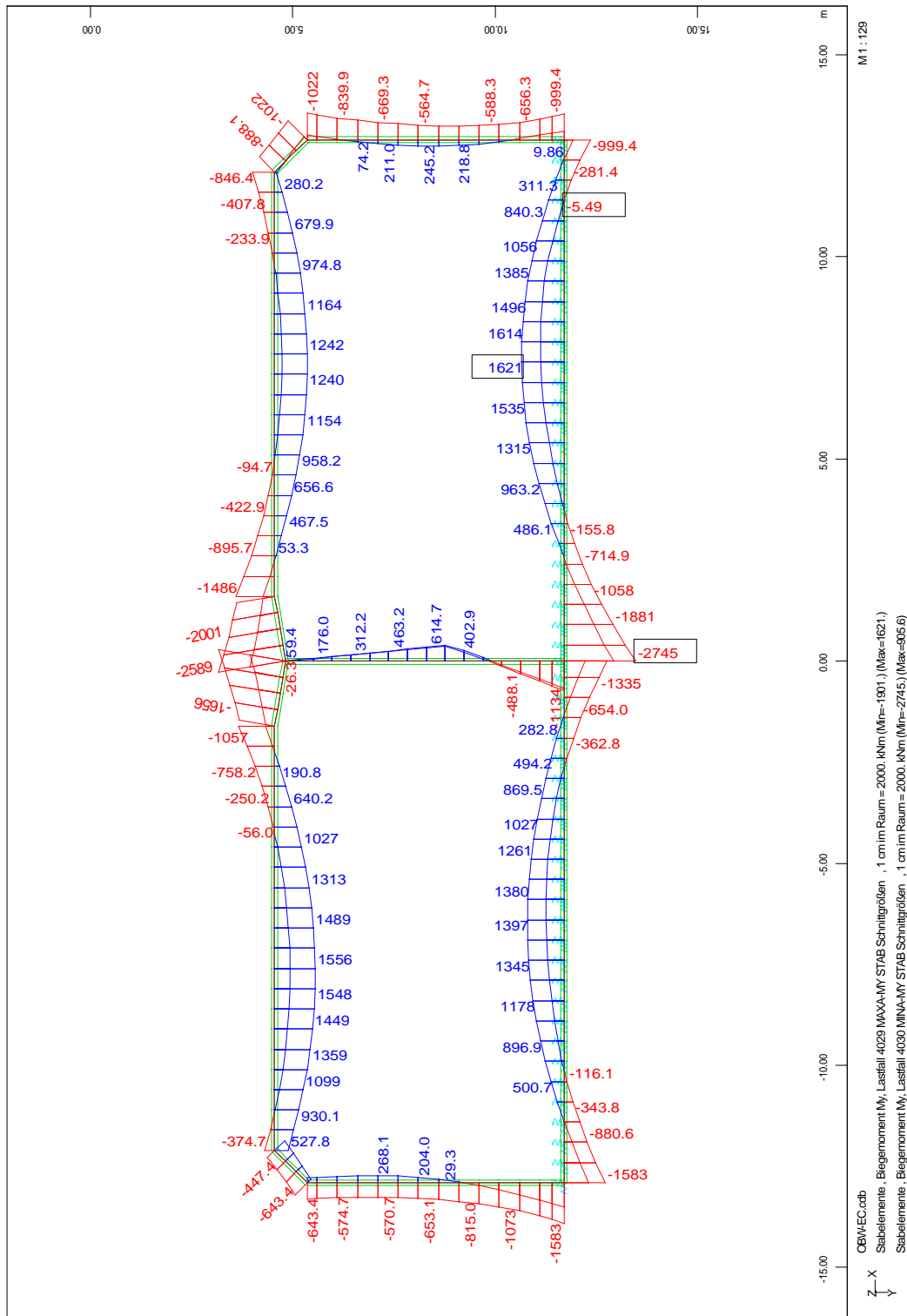


Bild 3.4: Biegemomente LFK 4

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 72
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

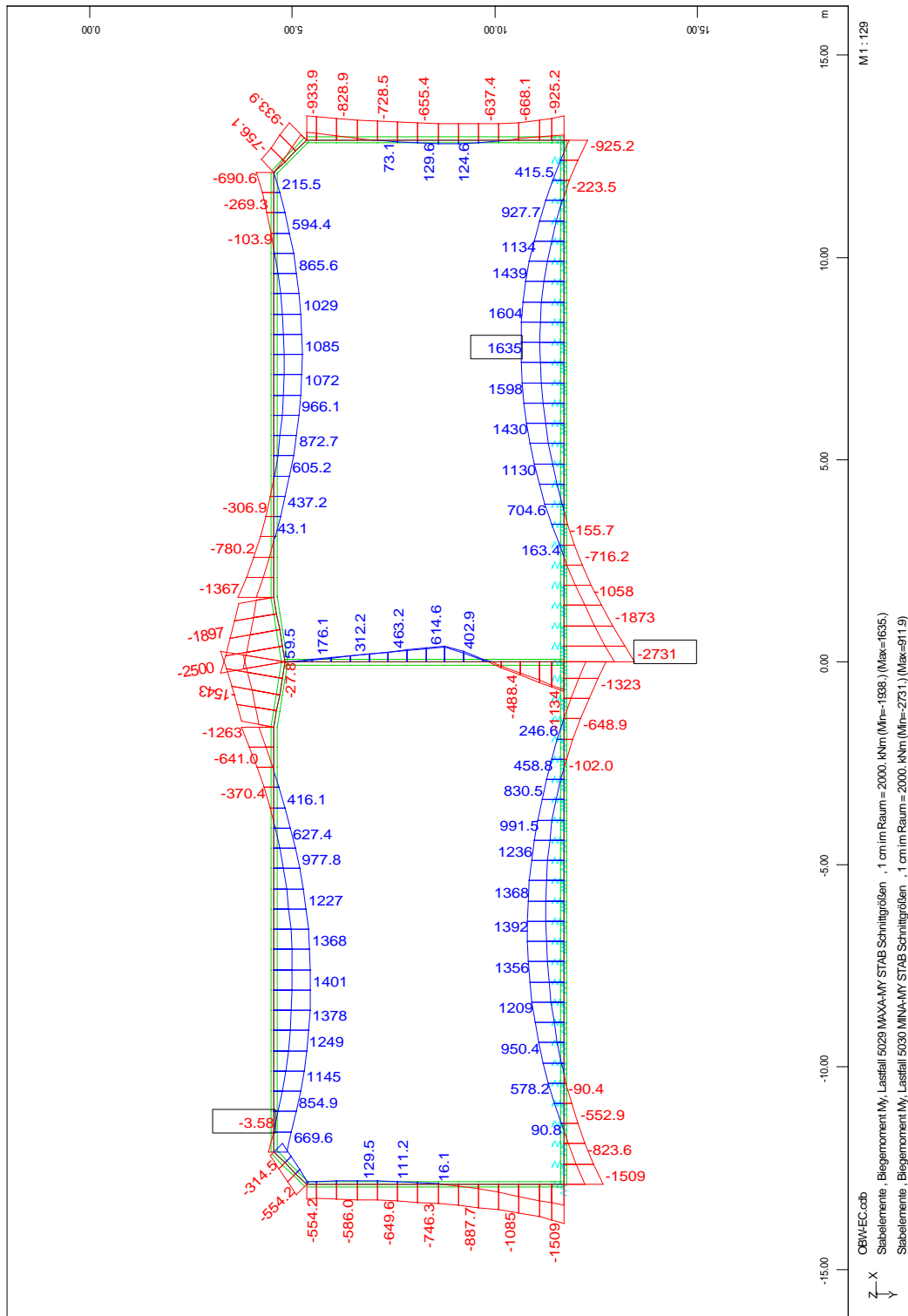


Bild 3.5: Biegemomente LFK 5

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 74
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

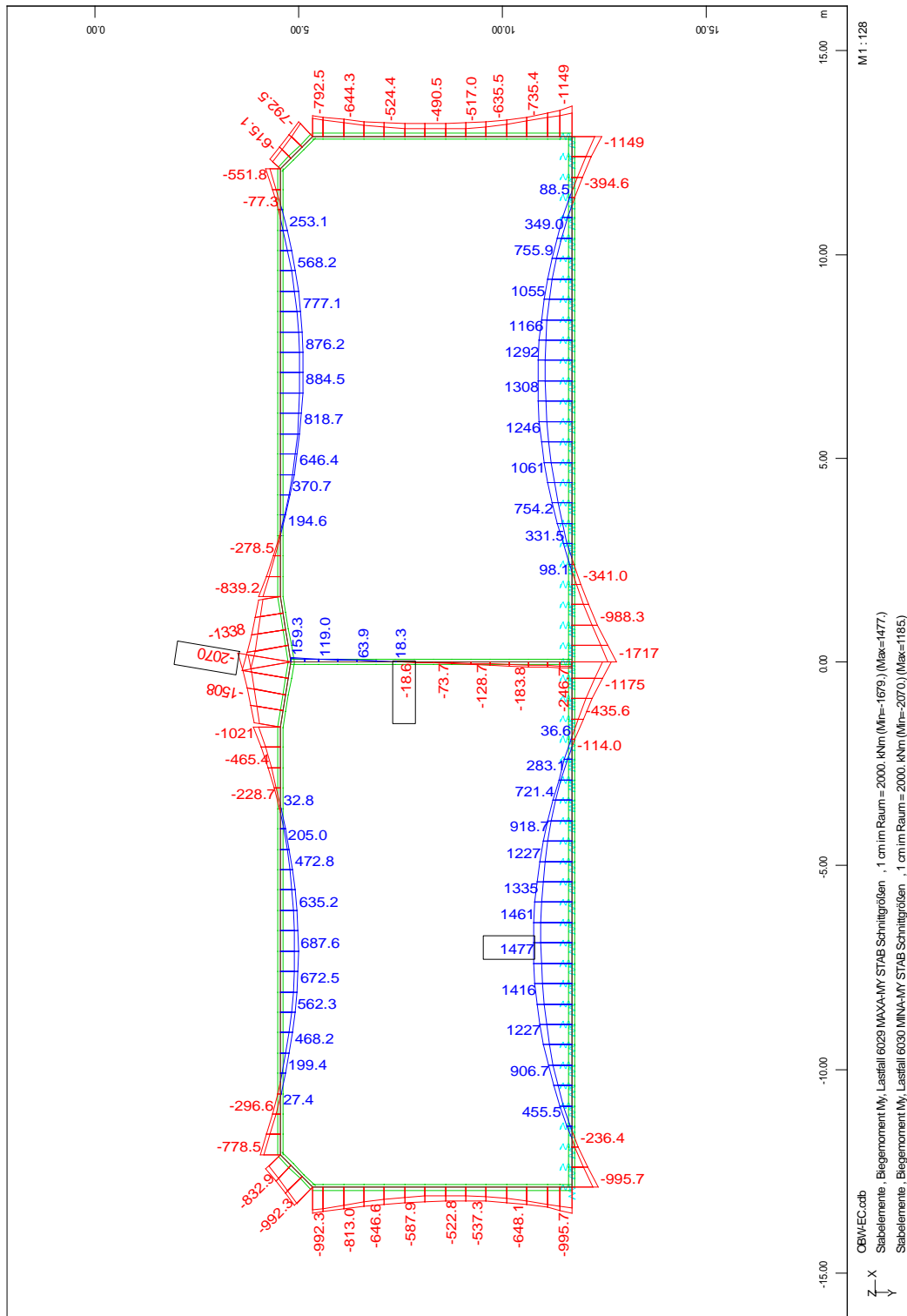


Bild 3.6: Biegemomente LFK 6

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 76
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

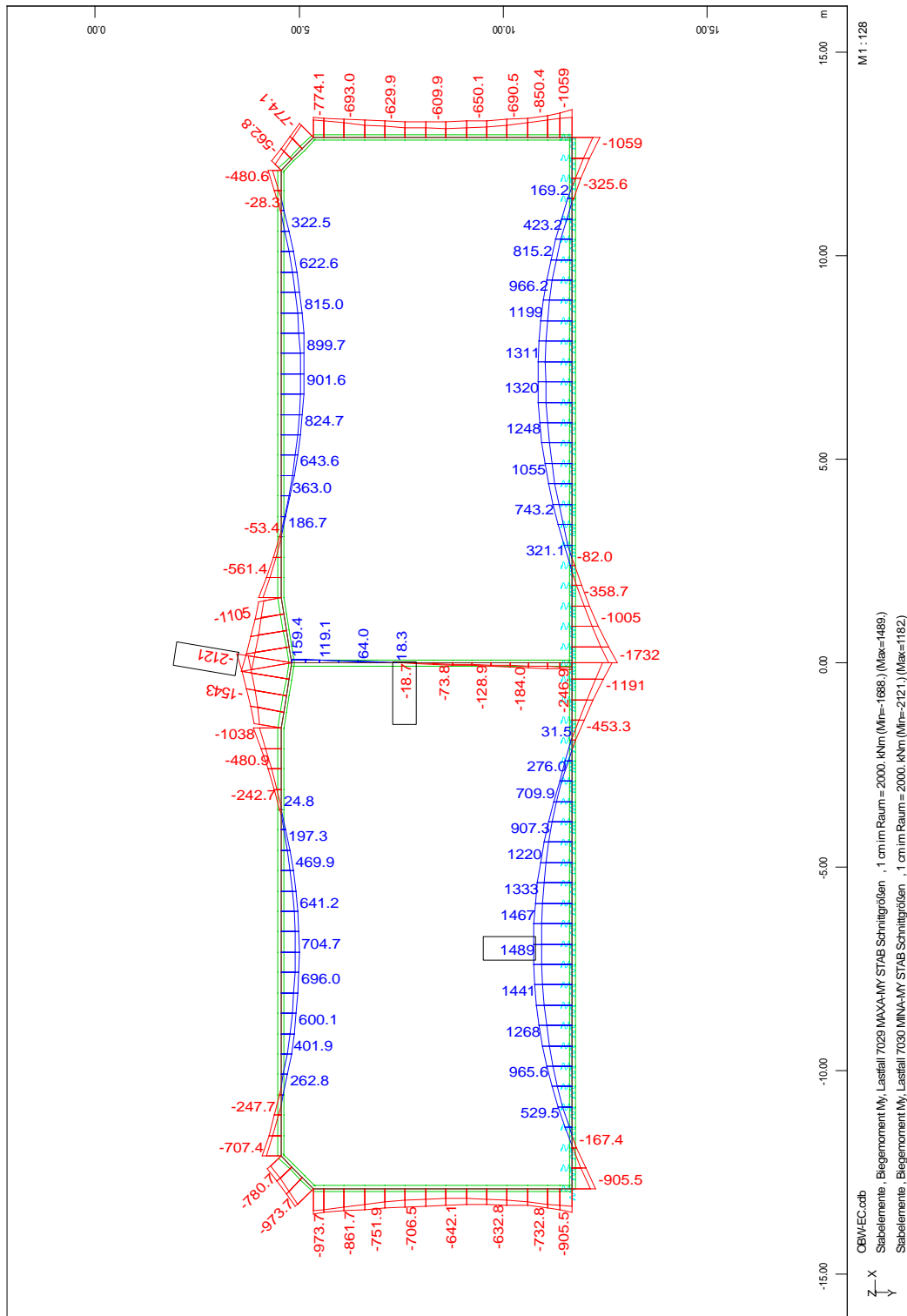


Bild 3.7: Biegemomente LFK 7

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 78
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

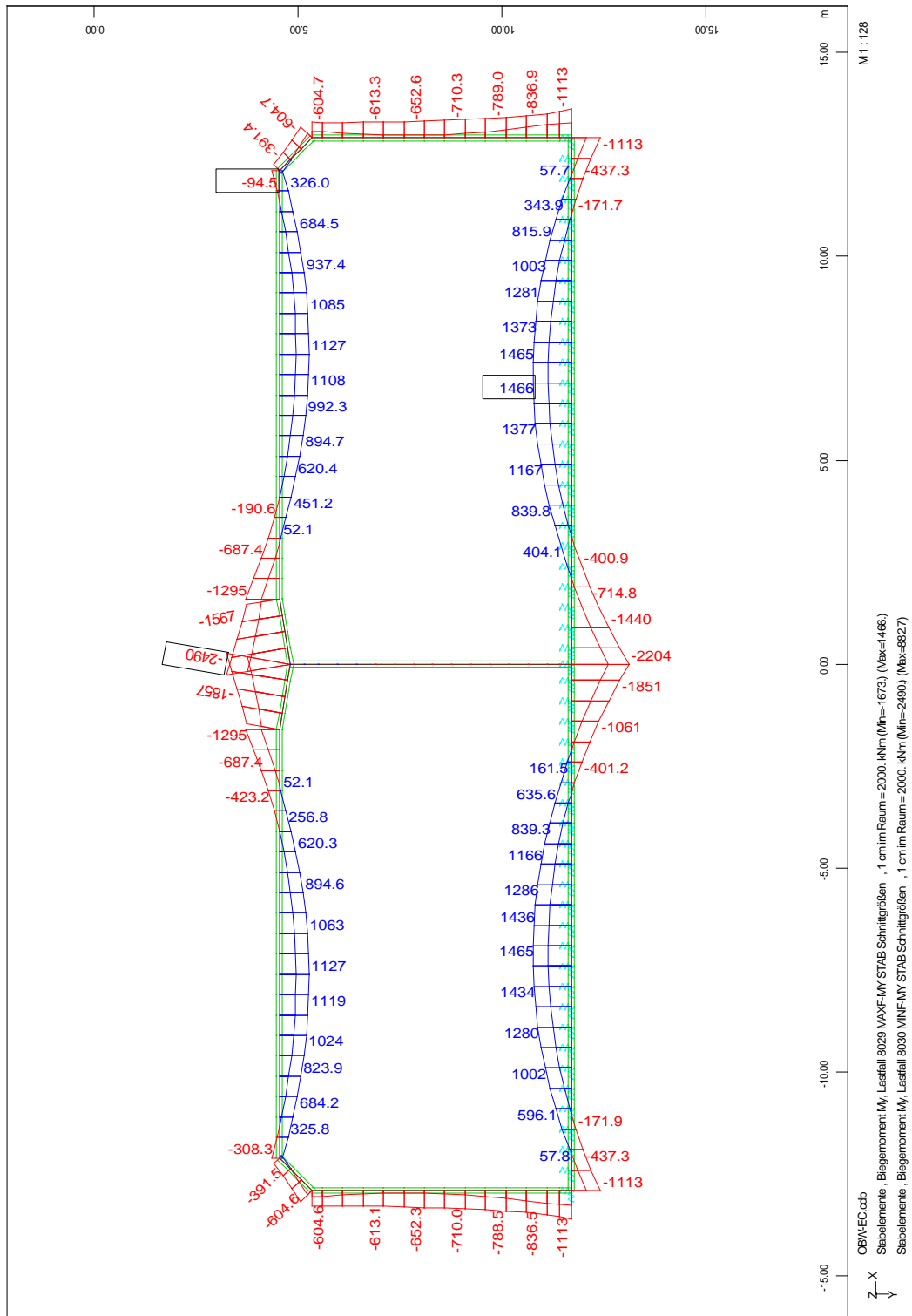


Bild 3.8: Biegemomente LFK 8

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 80
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

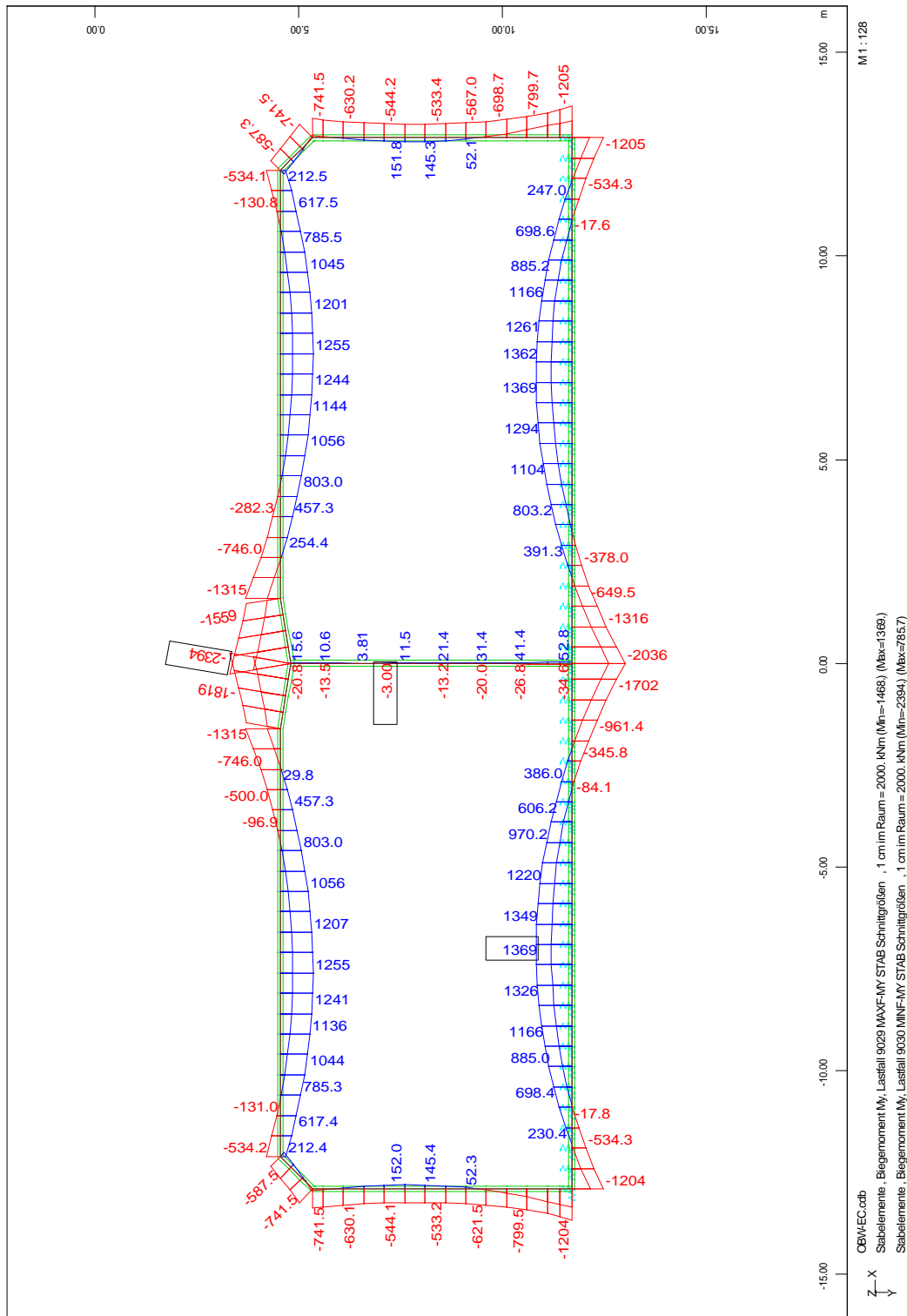


Bild 3.9: Biegemomente LFK 9

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 82
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

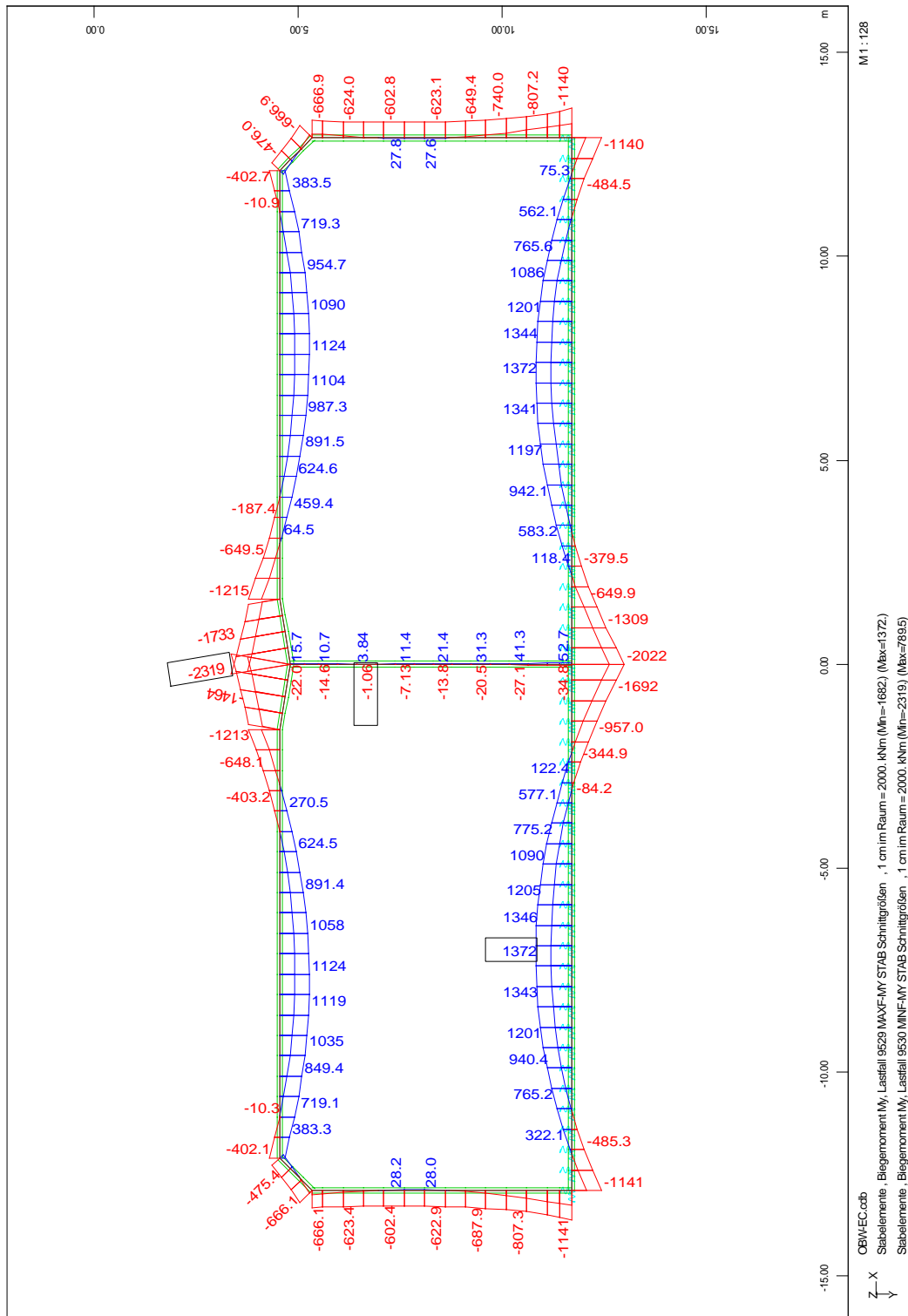


Bild 3.10: Biegemomente LFK 10

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 84
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

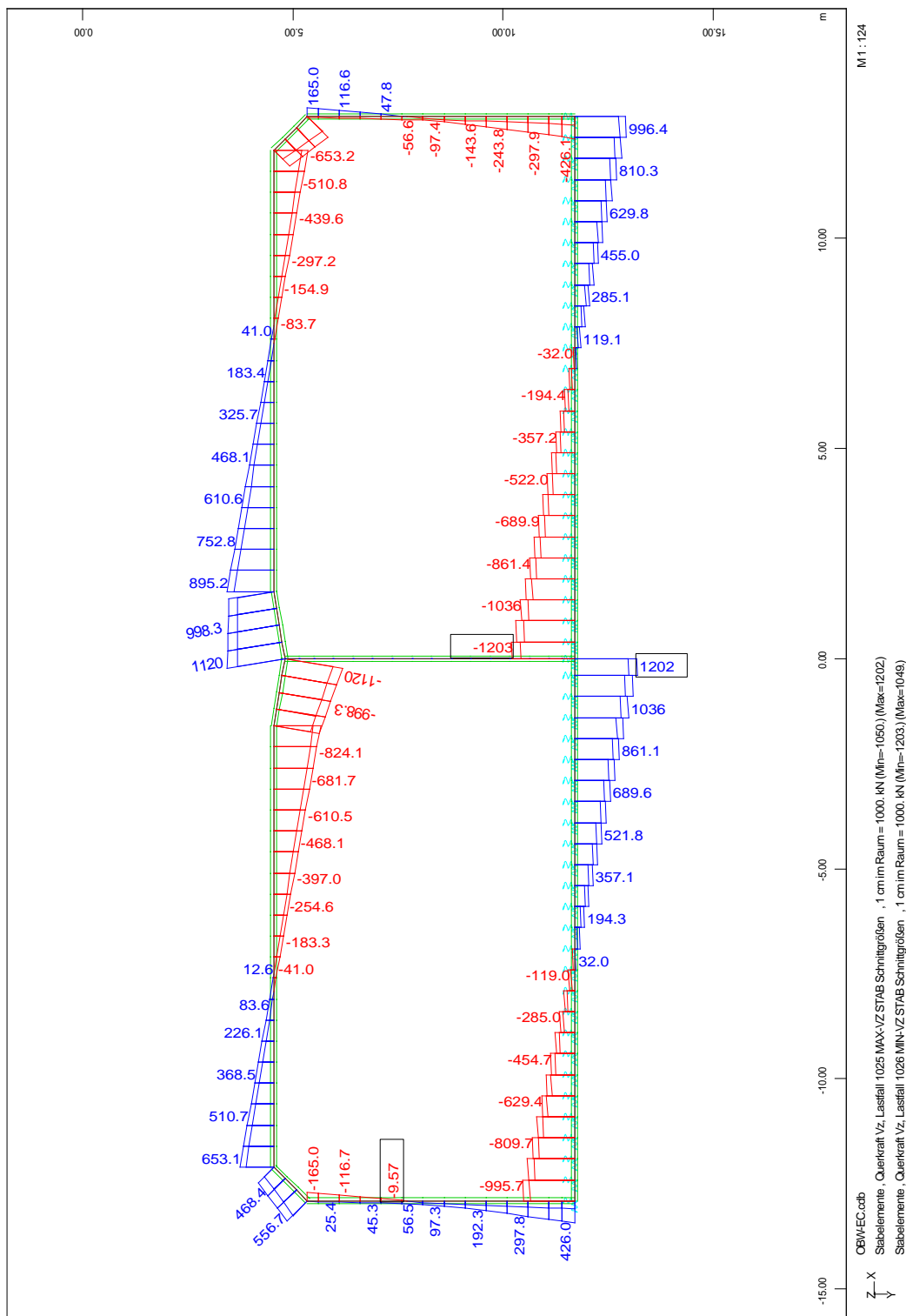


Bild 3.11: Querkräfte LFK 1

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 86
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

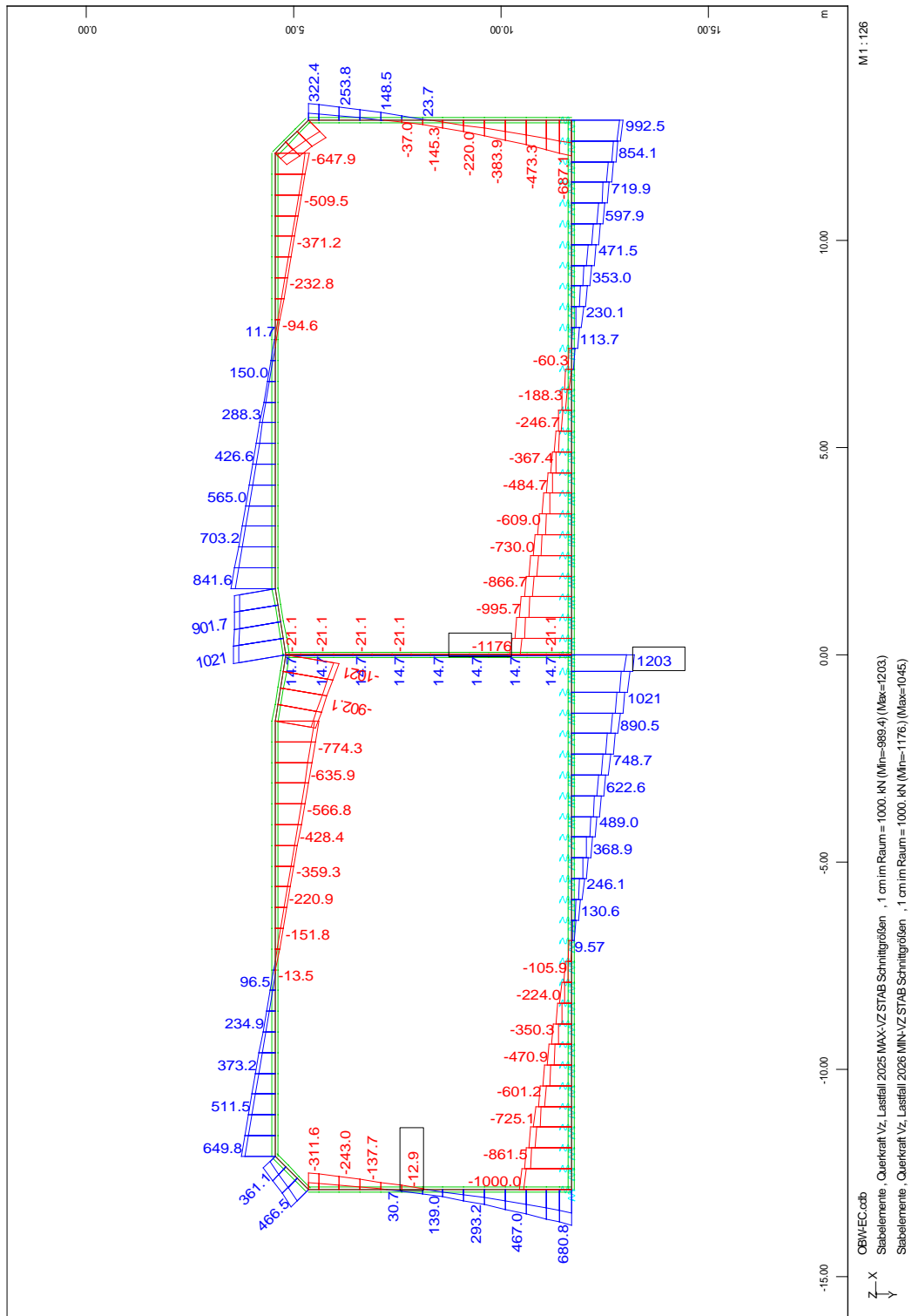


Bild 3.12: Querkräfte LFK 2

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 88
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

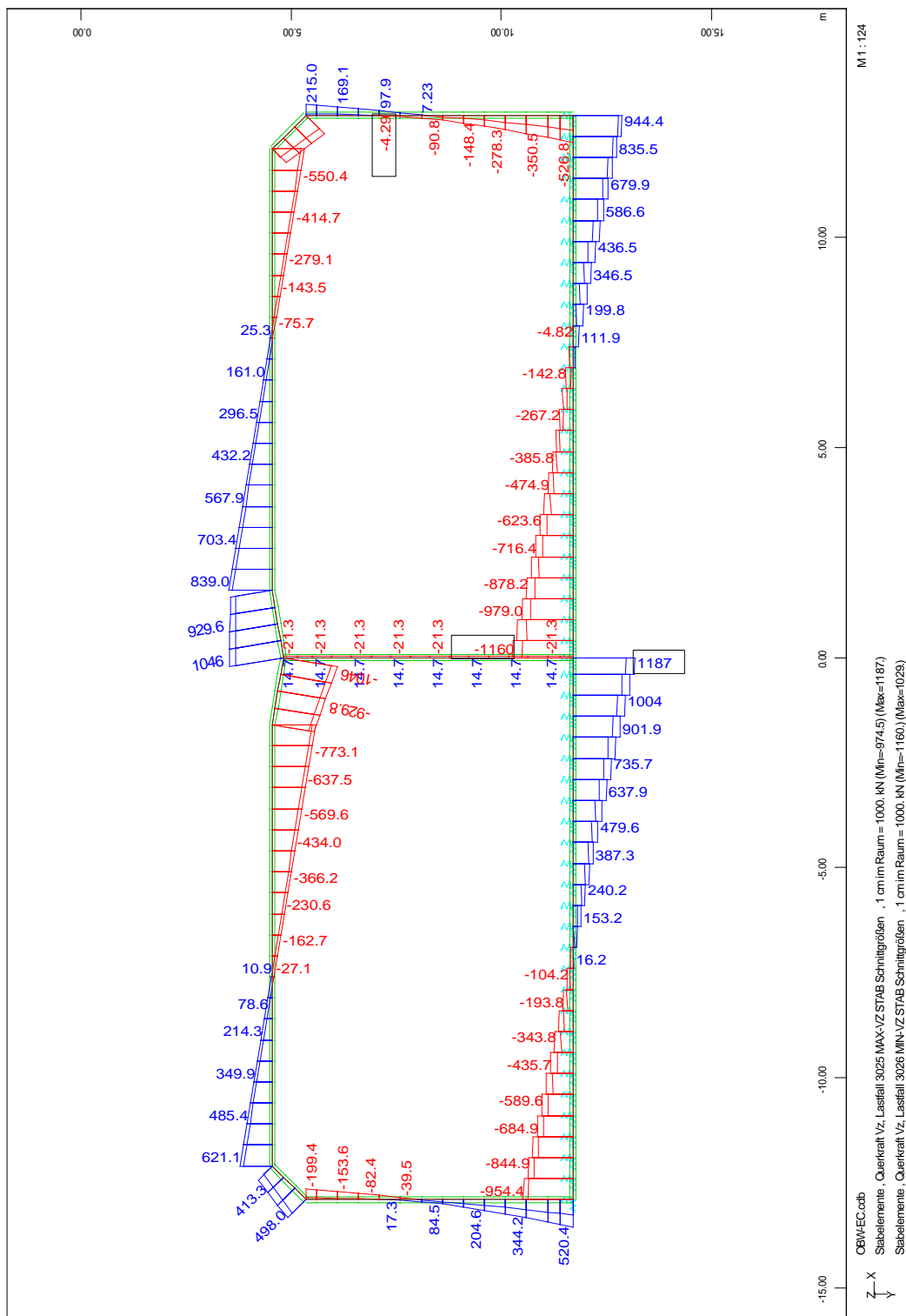


Bild 3.13: Querkräfte LFK 3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 90
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

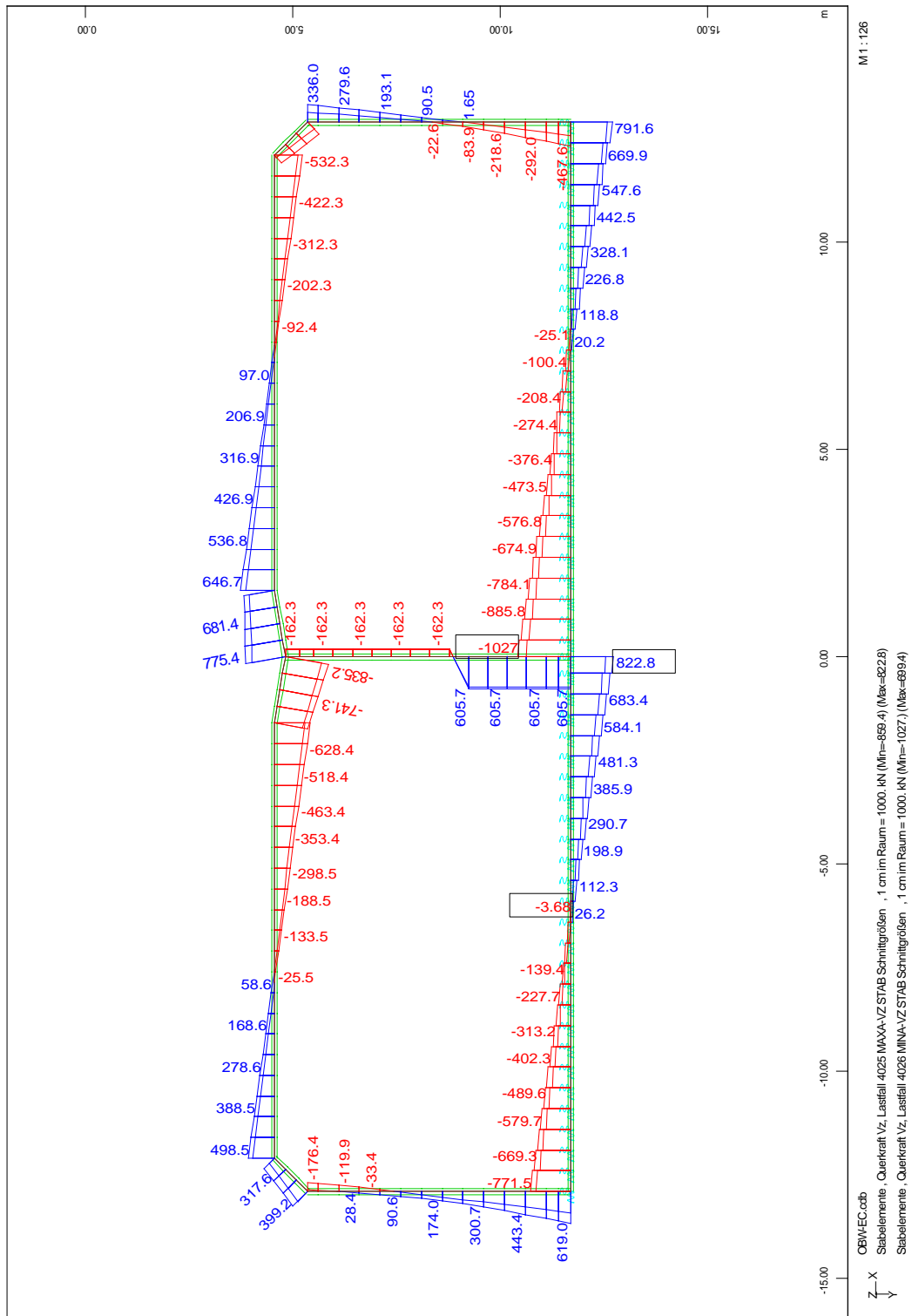


Bild 3.14: Querkräfte LFK 4

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 92
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

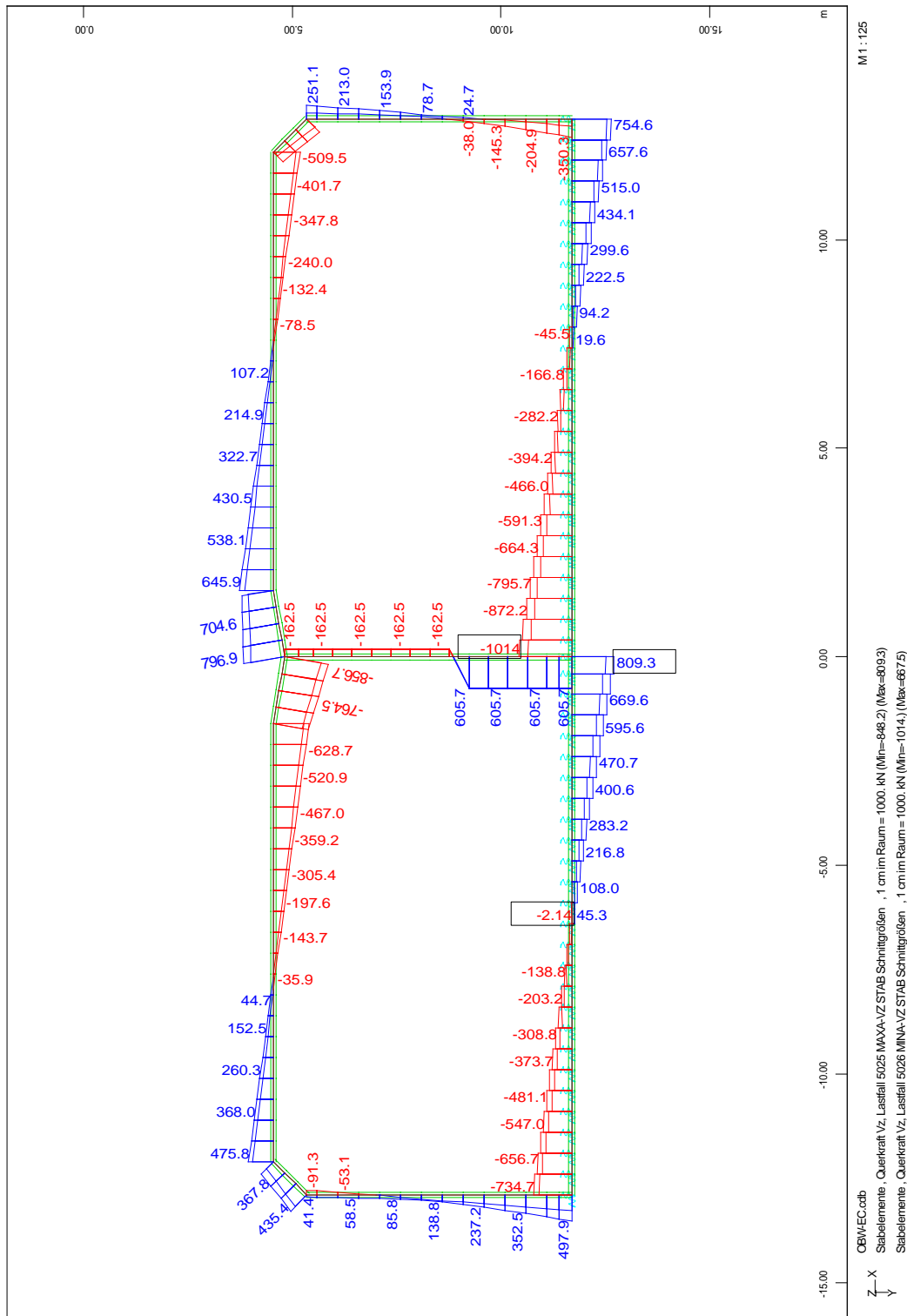


Bild 3.15: Querkräfte LFK 5

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 94
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

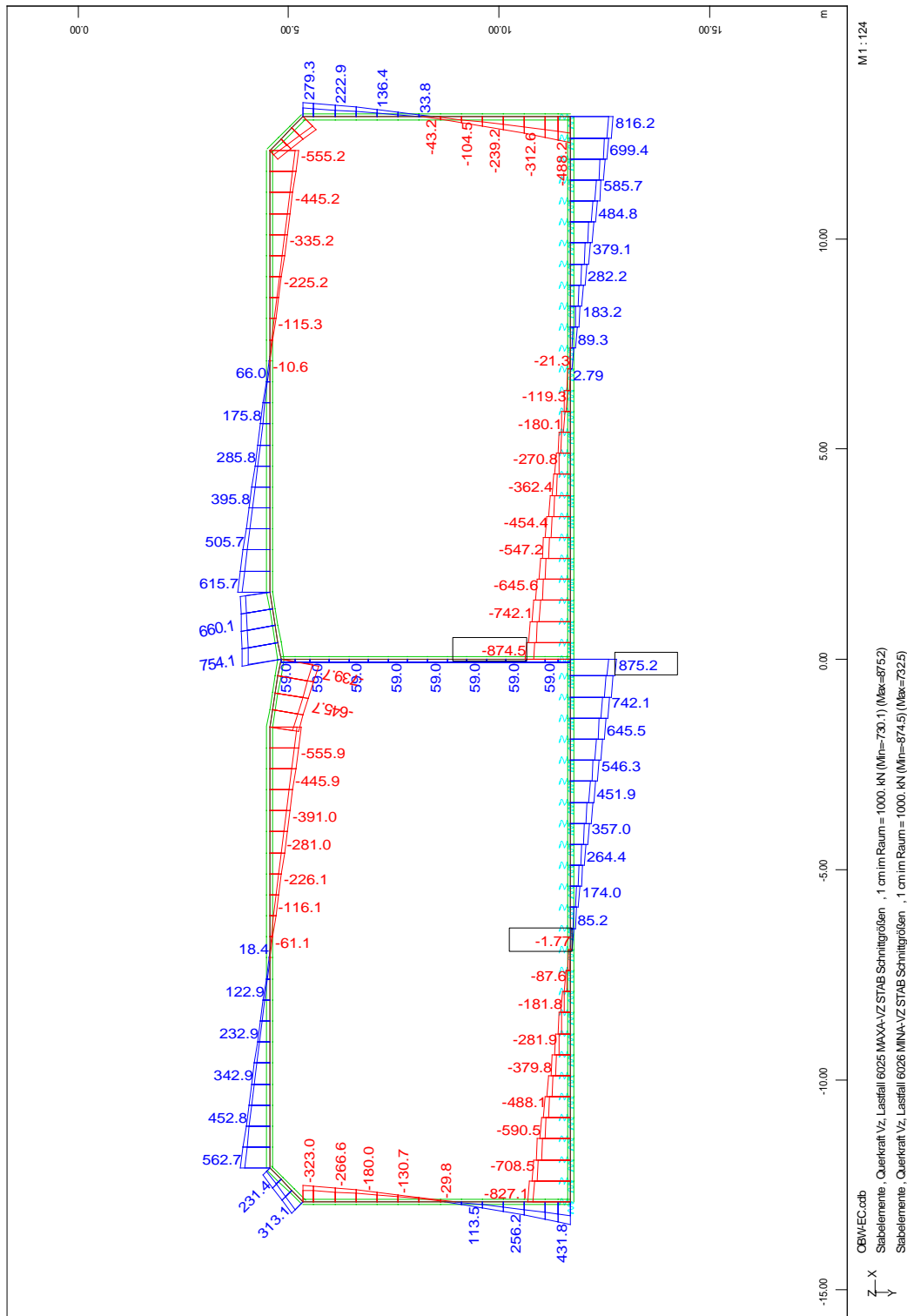


Bild 3.16: Querkräfte LFK 6

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 96
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

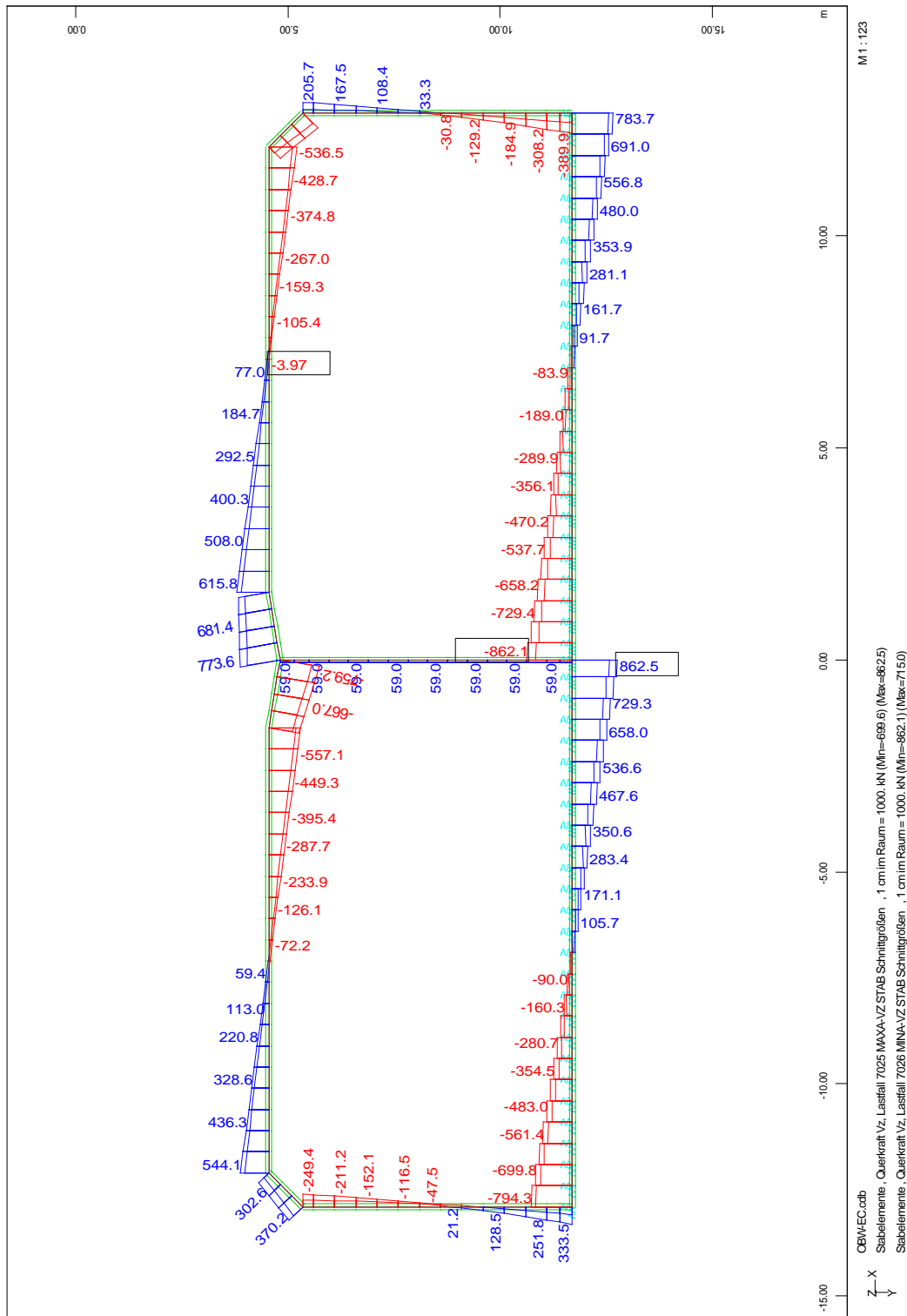


Bild 3.17: Querkräfte LFK 7

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 98
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. BEMESSUNG

##### 4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Biege- und Schubbemessung erfolgt programmintern gemäß DIN EN 1992-2.

In der Bemessung wird – abhängig vom Bauteil und der erforderlichen Biegebewehrung – ein Abstand zwischen Bewehrungsschwerpunkt und Bauteilaußenrand von 80 mm (60 mm +  $\varnothing 14$  +  $\varnothing 14/2$ ) bis 110 mm (60 mm +  $\varnothing 14$  + zweilagig  $\varnothing 25$ mm) angesetzt.

In der Schubbemessung wird die Begrenzung der Druckstrebenneigung gemäß DIN EN 1992-2 ( $1,0 \leq \cot \theta \leq 7/4$ ) berücksichtigt und eine vertikale Schubbewehrung angesetzt. Der Ausnutzungsgrad  $V_{Ed} / V_{R,d,max}$  ist überall kleiner als 0,33, so dass die Schubbewehrung allein aus Schubzulagen bestehen darf.

Für die Mittelwand ist kein Knicksicherheitsnachweis erforderlich, da gilt:

$$\lambda = l_0 / i = 24,2 < 25$$

DIN EN 1992-2, 5.8.3.1

$$\text{mit } l_0 \approx 5,6 \text{ m, } i = 0,231 \text{ m}$$

$$\text{und } v_{Ed} = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd}) = 0,11 < 0,41$$

$$\text{mit } N_{Ed} = 1500 \text{ kN/m, } A_c = 0,8 \text{ m}^2/\text{m, } f_{cd} = 17 \text{ MN/m}^2$$

Aufgrund der Anprallgefährdung der Mittelwand ist die Bewehrung gemäß Anhang NA.VV.109 der DIN EN 1992-2 bis mindestens 2 Meter über Fahrbahnoberkante zweilagig auszubilden.

Die Bemessungsergebnisse für die Biege- und Schubbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind auf den folgenden Seiten dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 100
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

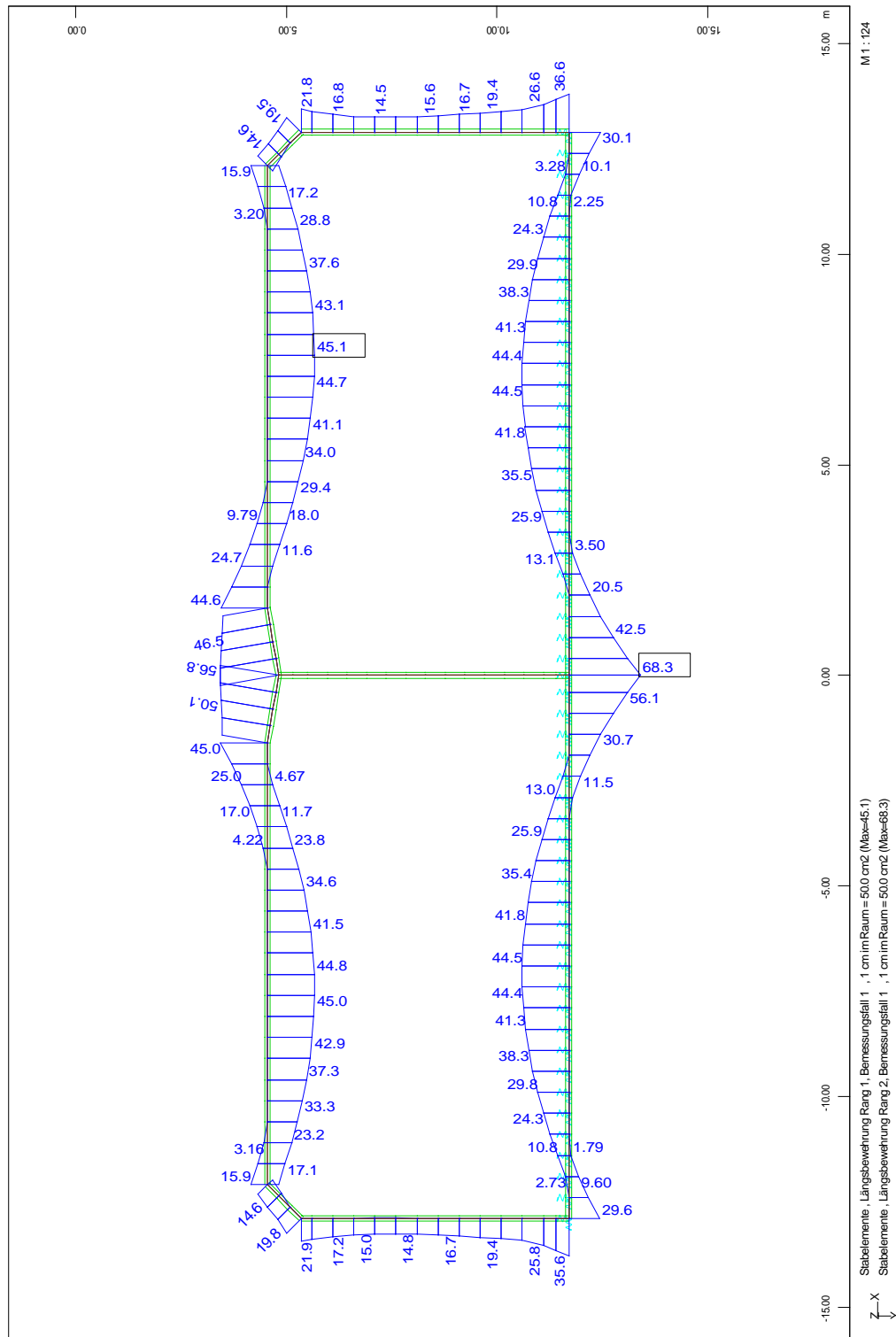


Bild 4.1: statisch erforderliche Biegebewehrung, ständige und vorübergehende Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 102
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

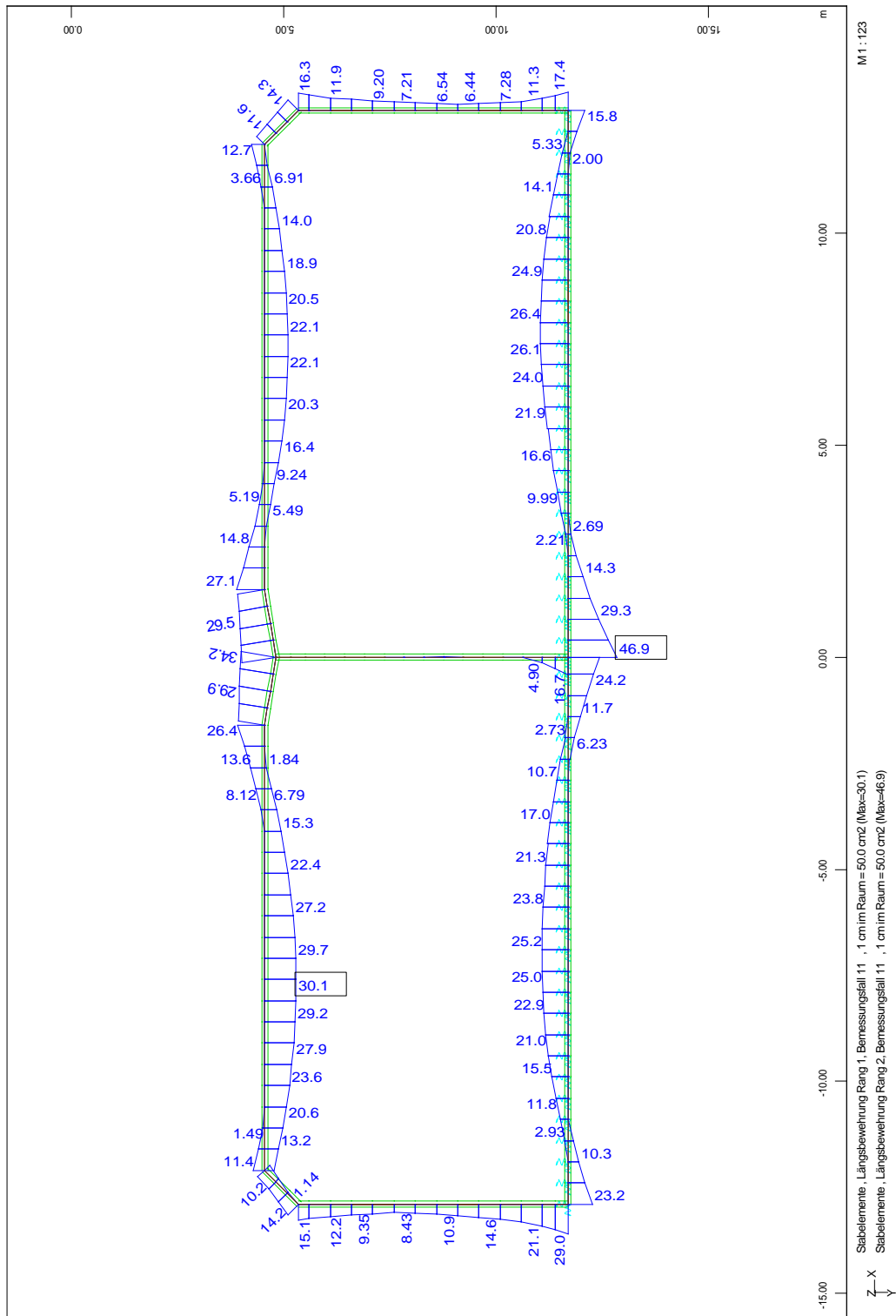


Bild 4.2: statisch erforderliche Biegebewehrung, außergewöhnliche Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 104
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

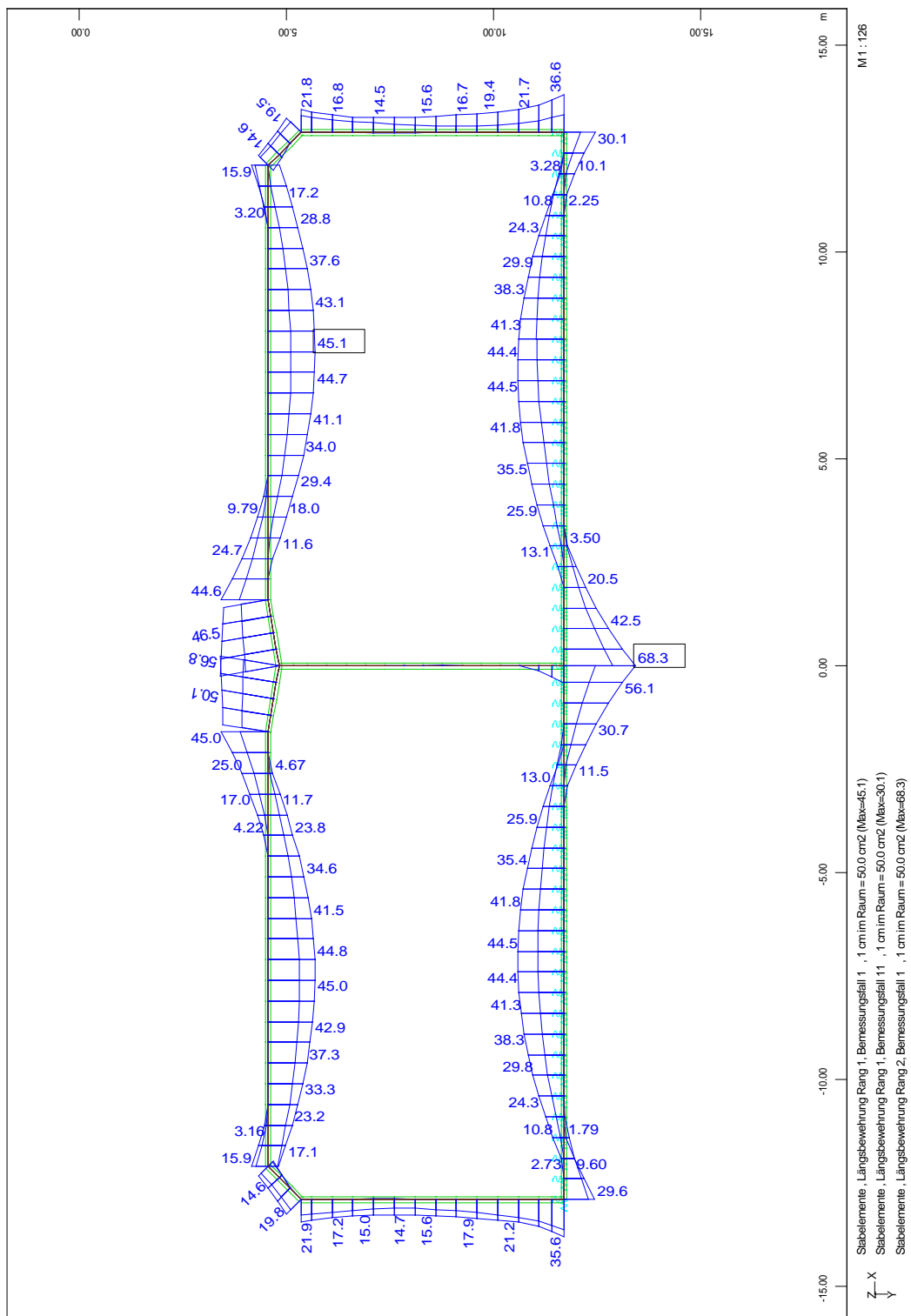


Bild 4.3: statisch erforderliche Biegebewehrung, Maximalwerte

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 106
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

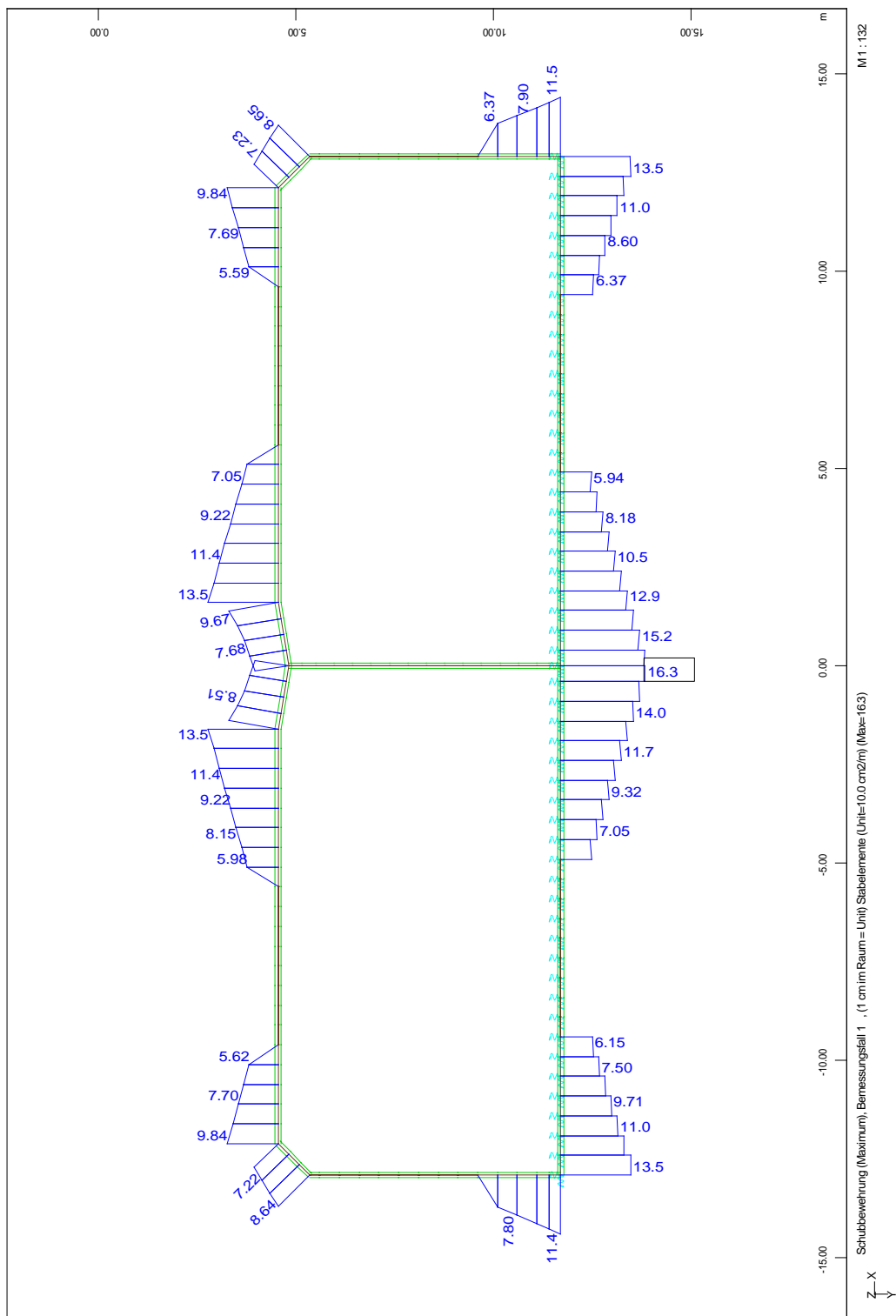


Bild 4.4: Schubbewehrung, ständige und vorübergehende Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 108
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

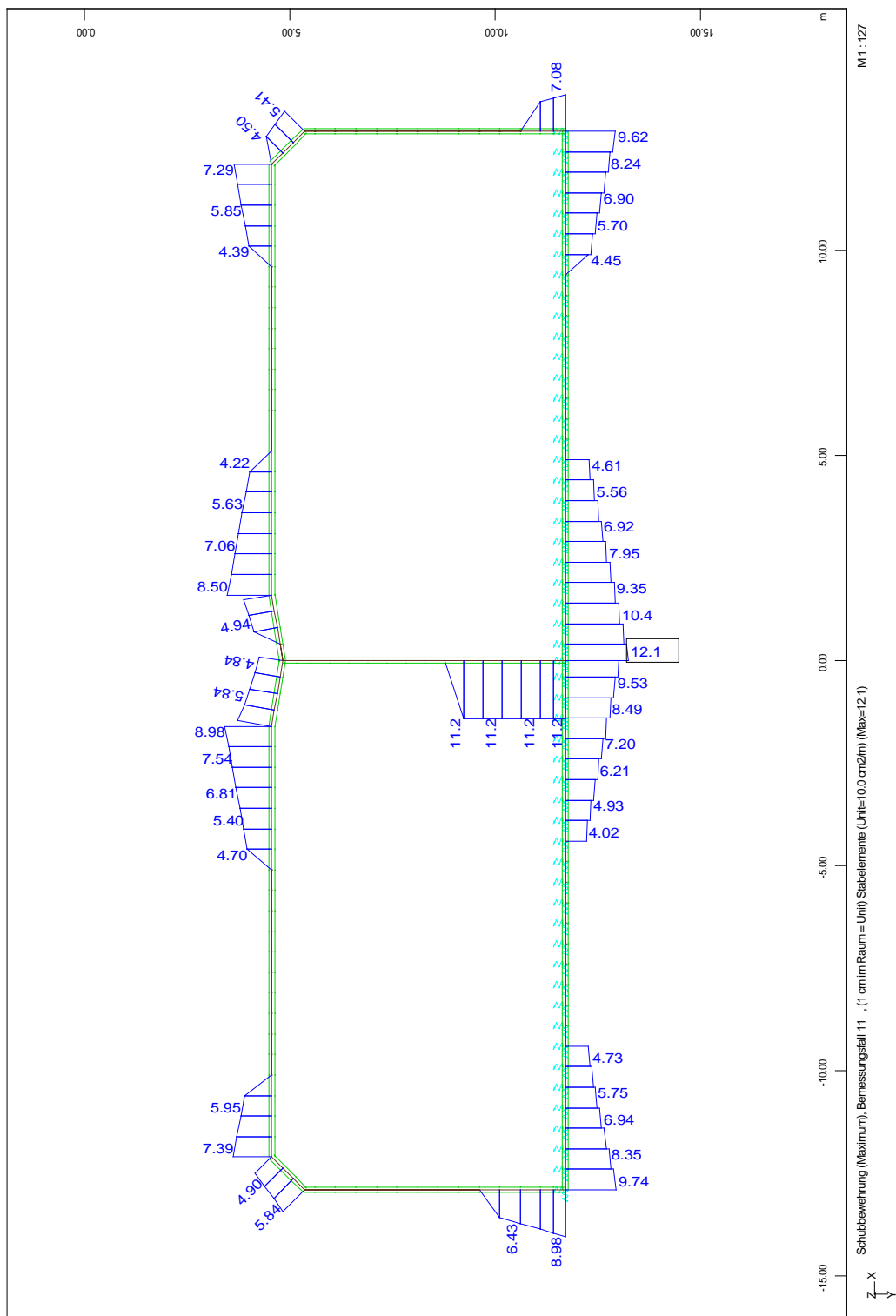


Bild 4.5: Schubbewehrung, außergewöhnliche Bemessungssituation

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 110
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

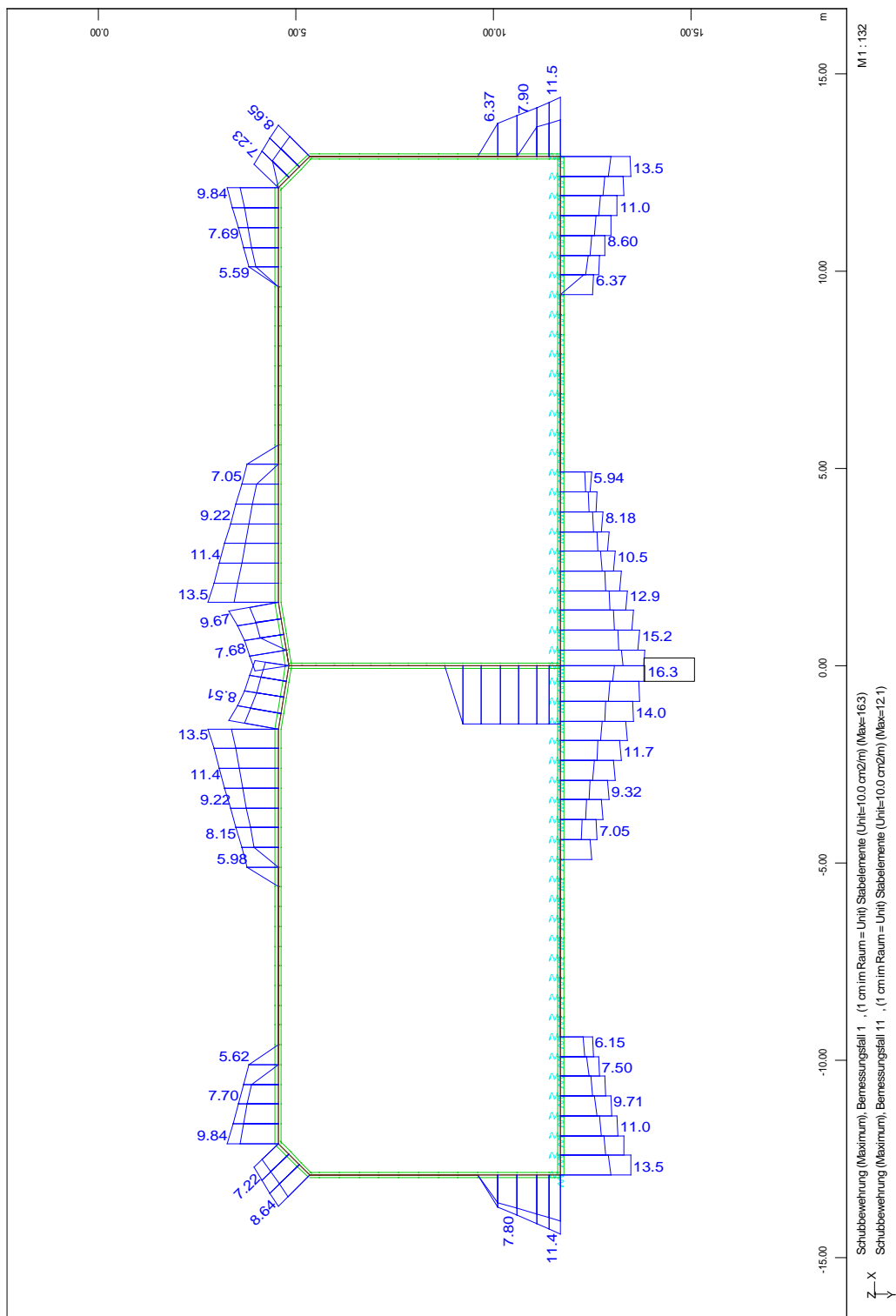


Bild 4.6: Schubbewehrung, Maximalwerte

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 112
Vorgang:	4.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die zulässige rechnerische Rissbreite für die wu-Betonkonstruktion beträgt:

$$w_{k,cal} = 0,20 \text{ mm (Luftseite)}$$

$$w_{k,cal} = 0,15 \text{ mm (Erdseite).}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.4.5

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erfolgt programmintern unter Berücksichtigung der vorgegebenen Stabdurchmesser.

Es werden angesetzt:

Decke außen:	Ø25 mm zweilagig
Decke innen:	Ø20 mm zweilagig
Außenwand außen:	Ø25 mm zweilagig
Außenwand innen:	Ø14 mm
Sohle außen:	Ø25 mm zweilagig
Sohle innen:	Ø20 mm zweilagig
Mittelwand:	Ø14 mm

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung erfolgen durch direkte Berechnung gemäß DIN EN 1992-2, 7.3.4.

Die Temperaturlasten werden bei der Rissbreitenbeschränkung auf der sicheren Seite liegend voll mit berücksichtigt, da deren Vernachlässigung für den Fall, dass die Spannungen aus Einwirkungen ohne Temperatur größer sind als die Anrissspannung des Querschnittes, höchstens lokal zu vernachlässigbaren Einsparungen führt.

Der Rechenwert der Rissbreite ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\sigma_s = \frac{3,6 \cdot w_k \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}$$

DIN EN 1992-2, 7.3.4, Gl. (7.8), (7.9) und NDP zu 7.3.4(3)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \left( \sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right)}{3,6 \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 114
Vorgang:	4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

mit  $\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$  DIN EN 1992-1-1, Gl. (7.10)

$A_{c,eff} = 2,5 \cdot b \cdot (h - d)$  DIN EN 1992-2, NCI zu 7.3.3 (2)

$\alpha_e = E_s / E_{cm}$

Der Nachweis der Begrenzung der Betondruckspannung auf  $0,6 f_{ck}$  gemäß DIN EN 1992-2, 7.2 (102) ist bei Tunnelbauwerken nicht zu führen, da durch die vergrößerte Betondeckung von 6 cm und die außen liegende Längsbewehrung die Entstehung von Querschlüssen verhindert wird.

Die erforderliche Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite ist dem folgenden Ausdruck zu entnehmen.

Ein Nachweis der Setzungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist für das Tunnelbauwerk nicht erforderlich, da aufgrund der Aushubentlastung keine Zusatzbeanspruchung des Baugrundes entsteht.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 116
Vorgang:	4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

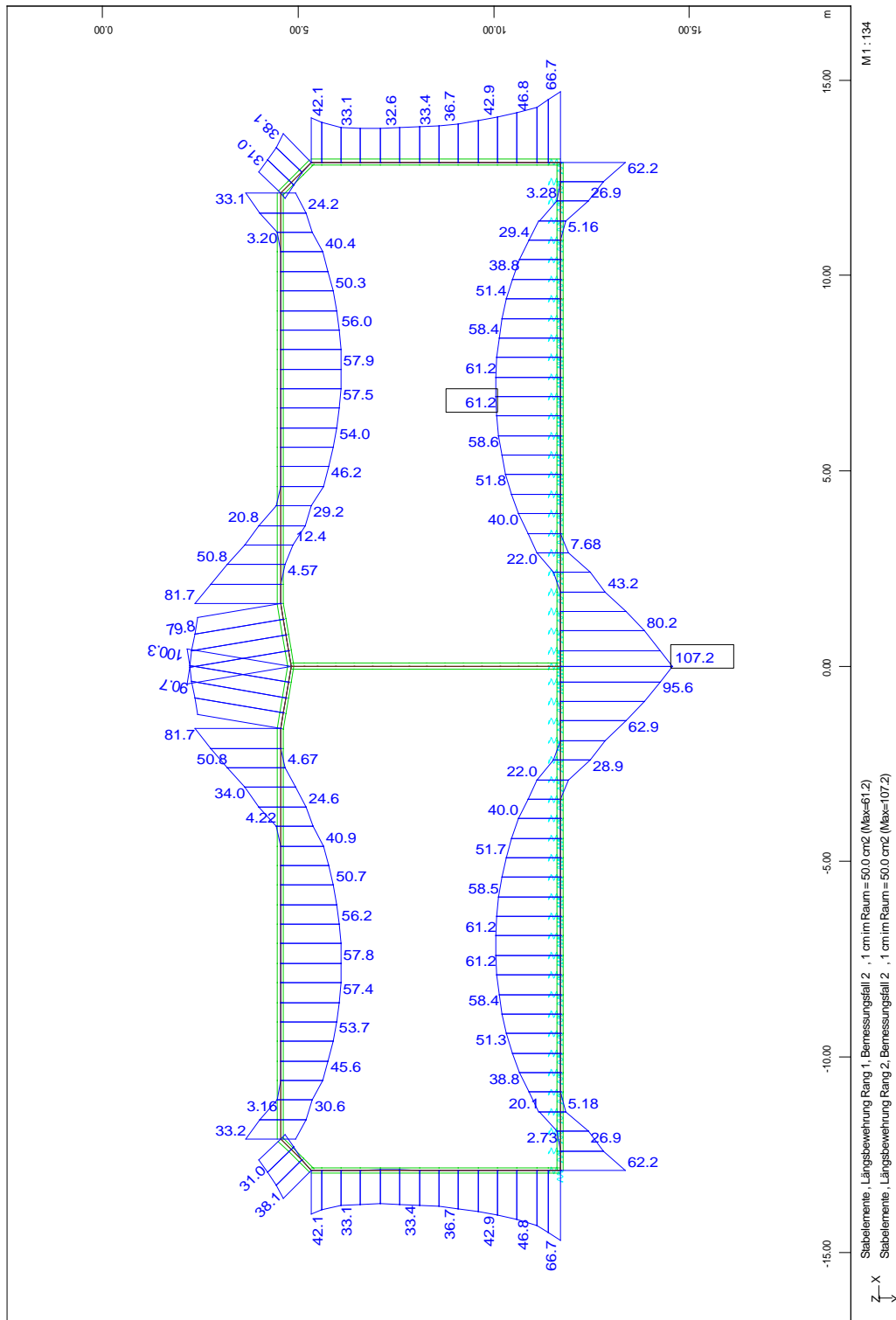


Bild 4.7: Biegebewehrung zur Rissbreitenbeschränkung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 118
Vorgang:	4.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 4.3 Mindestbewehrung

#### 4.3.1 Mindestbewehrung allgemein

Mindestbewehrung für WU-Beton-Konstruktionen

ZTV-ING T5, Abschn. 2, 3.3.2

- 0,20 % des Betonquerschnittes bzw.
- nicht mehr als 12 cm<sup>2</sup>/m

Bauteil	d	A <sub>s,erf</sub>
	cm	cm <sup>2</sup> /m
Sohle	120,0	12,0
Außenwand	100,0	12,0
Mittelwand	80,0	12,0
Decke	110,0	12,0

Tabelle 4.1: Mindestbewehrung allgemein

#### 4.3.2 Mindestbewehrung in Längsrichtung

Mindestbewehrung für Querkontraktion

$$A_{s,q} = 0,20 \cdot A_{s,l}$$

DIN EN 1992-1-1, 9.3.1.1 (2)

Position	A <sub>s,l</sub>	A <sub>s,q</sub>
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m
Decke außen	91,0	18,2
Deckenmitte unten	57,9	11,6
Decke Voutenanfang	33,2	6,6
Wand oben	42,1	8,4
Wandmitte	33,4	6,7
Wand unten	66,7	13,3
Sohle außen	62,2	12,4
Sohle oben	61,2	12,2
Sohle Mitte	95,6	19,1

Tabelle 4.2: Mindestbewehrung aus Querkontraktion

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 120	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung		
Vorgang:	4.3 Mindestbewehrung		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Mindestbewehrung aus Zwang

Für die Tunnelsohle wird aufgrund geeigneter konstruktiver Maßnahmen (Gleitfolie) unbehinderte Längsdehnung angenommen. Die Tunnelwände und die -decke werden für zentrischen Zwang aus abfließender Hydratationswärme bemessen. Der Einfluß des Zwangs nimmt mit dem Abstand zu dem zwangbehindernden Bauteil ab. Daher wird die erforderliche Bewehrung konstruktiv bis 4 m Höhe über Sohle bzw. in der Decke auf 4 m Breite neben den Wänden eingelegt. In den darüber liegenden Wandabschnitten und in der übrigen Decke ist die Mindestbewehrung maßgebend.

Die Bemessung ist gegenüber der in DIN EN 1992-2, 9.6.3 (NA.103) angegebenen konstruktiven Längsbewehrung maßgebend.

Es gilt:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

DIN-EN 1992-2, 7.3.4, Gl. (7.8)

mit  $s_{r,max} = d_s / (3,6 \rho_{p,eff})$

DIN-EN 1992-2, 7.3.4, NDP zu 7.3.4 (3)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \sigma_{sr} - 0,4 f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) / E_s$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.4, Gl. (7.9)

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.4, Gl. (7.10)

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot (h - d) \leq (h - x) / 3 \leq h / 2$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.2 (3)

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Die Anrissspannung  $\sigma_{sr}$  wird aus der Mindestbewehrung bestimmt unter Ansatz von  $\sigma_s = \sigma_{sr}$

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_{sr}$$

DIN-EN 1992-2, 7.3.2, Gl. (7.1)

mit  $k_c = 1,0$  für Zug

DIN-EN 1992-2, 7.3.2

$$k = 0,8 \text{ für } h \leq 300 \text{ mm}$$

bzw.  $k = 0,5$  für  $h \geq 800$  mm

$$f_{ct,eff} = 0,50 \cdot f_{ctm}$$

$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$

Bauteil	h	d	d <sub>s</sub>	w <sub>k</sub>	A <sub>s,erf</sub>
	cm	cm	mm	mm	cm <sup>2</sup> /m
Außenwand innen unten	100	93	20	0,20	24,8
Außenwand außen unten	100	93	20	0,15	28,5
Mittelwand unten	80	73	16	0,20	19,0
Decke oben	110	103	20	0,15	30,5
Decke unten	110	103	20	0,20	26,4

Tabelle 4.3: Mindestbewehrung aus Zwang

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 122	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung		
Vorgang:	4.3 Mindestbewehrung		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4.3.2 Mindest-Schubbewehrung

Mindest-Schubbewehrung ist bei Platten nur dort einzulegen, wo statisch eine Schubbe-  
wehrung erforderlich ist. Dann ist der 0,6-fache Wert der erforderlichen Mindestbeweh-  
rung für Balken einzuhalten.

$$\min \rho_w = 0,6 \cdot \rho$$

DIN EN 1992-2, NCI zu 9.3.2 (2)

$$\text{mit } \rho = 0,93 \text{ ‰}$$

DIN EN 1992-2, NDP zu 9.2.2 (5)

$$\min A_{SW} = 0,6 \cdot 0,93 = 5,6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 124
Vorgang:	4.3 Mindestbewehrung	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. ERGEBNIS DER BEMESSUNG

### 5.1 Bewehrung in Längsrichtung

Bauteil	h	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Sohle oben	120	12,0	15,4	14/10
Sohle unten, Ecke	120	12,4	15,4	14/10
Sohle unten, Feld	120	12,0	15,4	14/10
Sohle unten, MW	120	19,1	20,1	16/10
AW innen, bis 4 m	100	24,8	25,8	16/20 + 20/20
AW innen	100	12,0	15,4	14/10
AW außen, bis 4 m	100	28,5	31,4	20/10
AW außen	100	12,0	15,4	14/10
MW Zerschellschicht	80	18,6	22,6	12/10 + 12/10
MW	80	12,0	15,4	14/10
Decke oben Ecke bis 4 m	110	30,5	31,4	20/10
Decke oben Feld	110	12,0	15,4	14/10
Decke oben ü. MW bis 4 m	110	30,5	31,4	20/10
Decke unten Ecke bis 4 m	110	26,4	31,4	20/10
Decke unten Feld	110	12,0	15,4	20/10
Decke unten MW bis 4 m	110	26,4	31,4	20/10

Tabelle 5.1: Bewehrung in Längsrichtung

### 5.2 Biegebewehrung in Querrichtung

Bauteil	$A_{s,GZT}$	$A_{s,GZG}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Sohle oben	44,5	61,2	62,8	20/10 + 20/10
Sohle unten, Ecke	29,6	62,2	69,2	25/10 + 16/10
Sohle unten, Feld	-	-	15,4	14/10
Sohle unten, MW	68,3	95,6	98,2	25/10 + 25/10
AW innen	-	-	15,4	14/10
AW außen, unten	35,6	66,7	69,2	25/10 + 16/10
AW außen, oben	21,9	42,1	49,1	25/10

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 126
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Bauteil	$A_{s,GZT}$	$A_{s,GZG}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
MW unten	16,7	-	22,6	12/10 + 12/10
MW	-	-	15,4	14/10
Decke oben Ecke	15,9	33,2	49,1	25/10
Decke oben Feld	-	-	15,4	14/10
Decke oben ü. MW	56,8	100,3	98,2	25/10 + 25/10
Decke unten Ecke	-	-	15,4	14/10
Decke unten Feld	45,1	57,9	62,8	20/10 + 20/10
Decke unten MW	-	-	15,4	14/10

Tabelle 5.2: Biegebewehrung in Querrichtung

### 5.3 Schubbewehrung

Wegen  $V_{Ed} < 1/3 V_{Rdmax}$  sind Schubzulagen (S-Haken) ausreichend.

DIN EN 1992-1-1, 9.3.2 (3)

Höchstabstände      längs: 0,7 h  
quer: h

DIN EN 1992-2, NCI zu 9.3.2 (4)

Bauteil	$A_{sw,erf}$	$A_{sw,vorh}$	$\varnothing_s / s / s$
	cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	mm / cm / cm
Sohle, Ecke	13,5	13,1	10 / 20 / 30
Sohle, Mitte	16,3	16,1	12 / 20 / 35
AW, unten	11,2	13,1	10 / 20 / 30
Decke, Ecke	9,8	13,1	10 / 20 / 30
Decke, Mitte	13,5	13,1	10 / 20 / 30
MW	11,2	13,1	10 / 20 / 30

Tabelle 5.3: Schubbewehrung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 128
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in offener Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 5.4 Darstellung der Biege- und Schubbewehrung

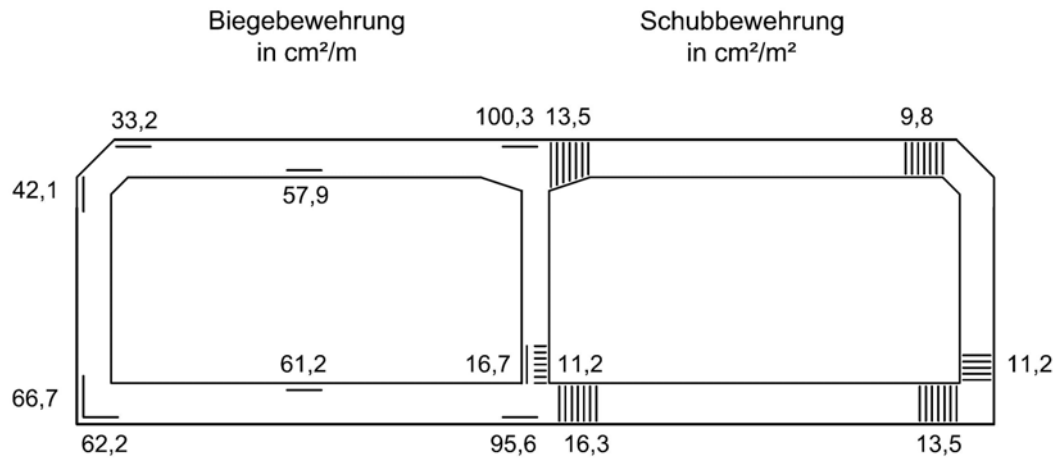


Bild 5.1: Erforderliche Biege- und Schubbewehrung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 130
Vorgang:		

**Standsicherheitsnachweis**

**für ein Tunnelbauwerk**

**in bergmännischer Bauweise**

**Musterbeispiel**

**für die nationale Umsetzung des EC 7**

**bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken**

**mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis für ein Tunnelbauwerk  
in bergmännischer Bauweise (Spritzbetonbauweise)**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	1
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	3
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	9
IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	11
1. Berechnungsgrundlagen	13
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	13
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	15
1.3 Statisches System	17
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	23
2. Berechnungsablauf	25
3. Schnittgrößenermittlung	33
3.1 Außenschale - Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	33
3.2 Innenschale - Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	41
3.3 Innenschale - Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	49
4. Bemessung	55
4.1 Außenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	55
4.2 Innenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	57
4.3 Innenschale - Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	59
4.4 Mindestbewehrung	63
5. Ergebnis der Bemessung	67
5.1 Außenschale	67
5.2 Innenschale	69
5.3 Darstellung der Bewehrung von Außen- und Innenschale	71

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis	Seite 1	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis für ein Tunnelbauwerk  
in bergmännischer Bauweise (Spritzbetonbauweise)**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I.	INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I.	Inhaltsverzeichnis	2
II.	Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	4
III.	Technische Vorschriften, Unterlagen	10
IV.	Stand sicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	12
	1. Berechnungsgrundlagen	14
	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	14
	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	16
	1.3 Statisches System	18
	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	24
	2. Berechnungsablauf	26
	3. Schnittgrößenermittlung	34
	3.1 Außenschale - Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	34
	3.2 Innenschale - Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	42
	3.3 Innenschale - Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	50
	4. Bemessung	56
	4.1 Außenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	56
	4.2 Innenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	58
	4.3 Innenschale - Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	60
	4.4 Mindestbewehrung	64
	5. Ergebnis der Bemessung	68
	5.1 Außenschale	68
	5.2 Innenschale	70
	5.3 Darstellung der Bewehrung von Außen- und Innenschale	72

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis		Archiv-Nr.
Block:		Seite 2	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Der betrachtete Straßentunnel wird für einen zweispurigen Regelquerschnitt RQ 10,5T ausgelegt. Hieraus resultiert eine lichte Breite des Tunnels in Höhe der Fahrbahnoberkante von 9,50 m und eine lichte Höhe in Tunnelachse von ca. 7 m über Fahrbahnoberkante. Im betrachteten Bereich wird der Tunnel in Spritzbetonbauweise aufgeföhren und besteht demzufolge aus einer Spritzbetonaußenschale und einer Schalbetoninnenschale. Aufgrund der Gebirgsverhältnisse erhält das Bauwerk sowohl für den Bau- als auch für den Endzustand ein Stahlbetonsohlgewölbe und wird als wasserundurchlässige Betonkonstruktion (WUBK) ausgeführt. Die Konstruktionsdicken werden auf der Grundlage einer Vorbemessung zu 0,25 m für die Spritzbetonschale und zu 0,40 m für die Innenschale gewählt. Die Blocklänge beträgt 10,0 m.

### Baugrund und Grundwasser

Im Bereich des betrachteten Tunnelblocks besteht der Baugrund ab ca. 6 m unter OK Gelände bis in größere Tiefe aus Sandstein-Tonstein-Schluffstein-Wechselfolgen, die im oberen Bereich verwittert sind. Für die Standsicherheitsberechnung kann davon ausgegangen werden, dass über den unverwitterten Wechselfolgen (ab 13 m unter OK Gelände) angewitterte bis entfestigte Tonstein-Sandstein-Folgen mit einer Mächtigkeit von ca. 7 m anstehen. Überlagert werden die Tonstein-Sandstein-Wechselfolgen durch eine ca. 6,0 m mächtige Oberboden- und Zersatzzone. Der Grundwasserspiegel liegt deutlich unterhalb des Tunnels.

### Herstellung und Tragsystem

Im betrachteten Tunnelabschnitt wird der Hohlraum in drei Arbeitsschritten aufgeföhren. Als erstes wird der Kalottenquerschnitt mit einer lichten Breite von rund 11,1 m und einer lichte Kalottenhöhe von 5,5 m aufgeföhren. Die Kalottenfüße stehen in weitgehend unverwittertem Tonstein-Sandstein, so dass die Standsicherheit der Fußaufstandsflächen ohne weitere Maßnahmen sichergestellt ist. Mit der nachfolgenden Strossenaufföhren wird die lichte Höhe des Hohlraums auf 8,5 m vergrößert. Auch dieser Bauzustand ist hinreichend standsicher. Im letzten Aufföhrenschritt wird die Tunnelsohle ausgebrochen und die vorläufige Spritzbetonsicherung durch ein Sohlgewölbe zum Ring geschlossen. Nach Fertigstellung der Spritzbetonschale wird die Innenschale blockweise spannungsfrei eingebaut.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 3
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Der betrachtete Straßentunnel wird für einen zweispurigen Regelquerschnitt RQ 10,5T ausgelegt. Hieraus resultiert eine lichte Breite des Tunnels in Höhe der Fahrbahnoberkante von 9,50 m und eine lichte Höhe in Tunnelachse von ca. 7 m über Fahrbahnoberkante. Im betrachteten Bereich wird der Tunnel in Spritzbetonbauweise aufgeföhren und besteht demzufolge aus einer Spritzbetonaußenschale und einer Schalbetoninnenschale. Aufgrund der Gebirgsverhältnisse erhält das Bauwerk sowohl für den Bau- als auch für den Endzustand ein Stahlbetonsohlgewölbe und wird als wasserundurchlässige Betonkonstruktion (WUBK) ausgeführt. Die Konstruktionsdicken werden auf der Grundlage einer Vorbemessung zu 0,25 m für die Spritzbetonschale und zu 0,40 m für die Innenschale gewählt. Die Blocklänge beträgt 10,0 m.

### Baugrund und Grundwasser

Im Bereich des betrachteten Tunnelblocks besteht der Baugrund ab ca. 6 m unter OK Gelände bis in größere Tiefe aus Sandstein-Tonstein-Schluffstein-Wechselfolgen, die im oberen Bereich verwittert sind. Für die Standsicherheitsberechnung kann davon ausgegangen werden, dass über den unverwitterten Wechselfolgen (ab 13 m unter OK Gelände) angewitterte bis entfestigte Tonstein-Sandstein-Folgen mit einer Mächtigkeit von ca. 7 m anstehen. Überlagert werden die Tonstein-Sandstein-Wechselfolgen durch eine ca. 6,0 m mächtige Oberboden- und Zersatzzone. Der Grundwasserspiegel liegt deutlich unterhalb des Tunnels.

### Herstellung und Tragsystem

Im betrachteten Tunnelabschnitt wird der Hohlraum in drei Arbeitsschritten aufgeföhren. Als erstes wird der Kalottenquerschnitt mit einer lichten Breite von rund 11,1 m und einer lichte Kalottenhöhe von 5,5 m aufgeföhren. Die Kalottenfüße stehen in weitgehend unverwittertem Tonstein-Sandstein, so dass die Standsicherheit der Fußaufstandsflächen ohne weitere Maßnahmen sichergestellt ist. Mit der nachfolgenden Strossenaufföhren wird die lichte Höhe des Hohlraums auf 8,5 m vergrößert. Auch dieser Bauzustand ist hinreichend standsicher. Im letzten Aufföhrenschritt wird die Tunnelsohle ausgebrochen und die vorläufige Spritzbetonsicherung durch ein Sohlgewölbe zum Ring geschlossen. Nach Fertigstellung der Spritzbetonschale wird die Innenschale blockweise spannungsfrei eingebaut.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 4
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

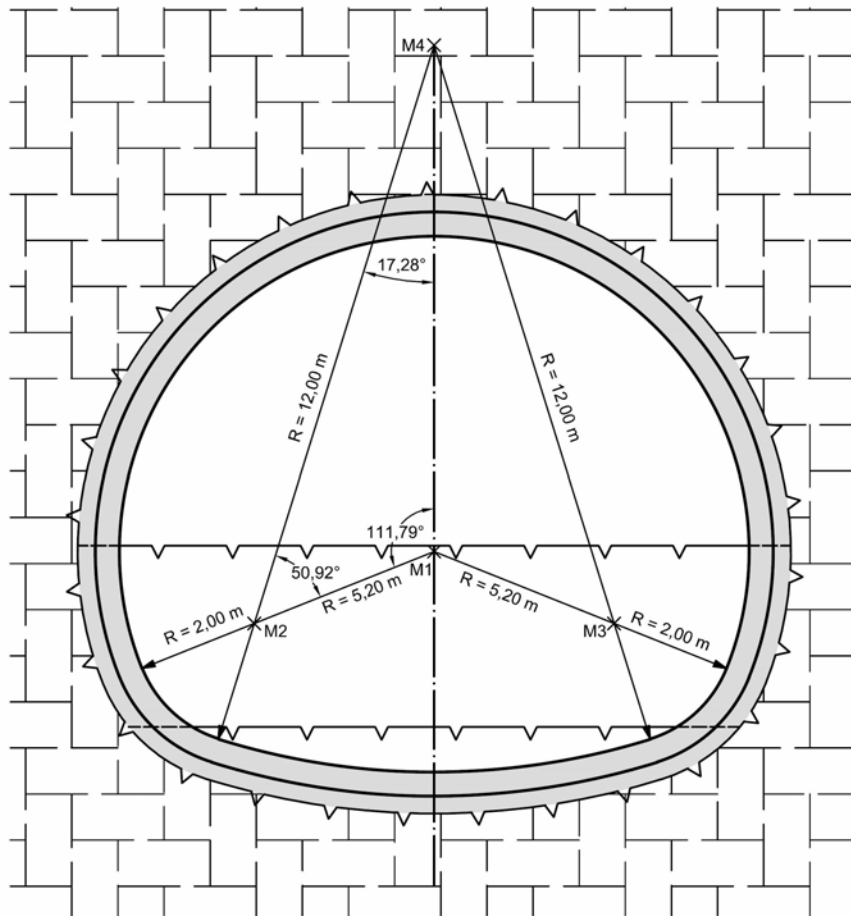


Bild II.1: Tunnelquerschnitt

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Seite 5	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

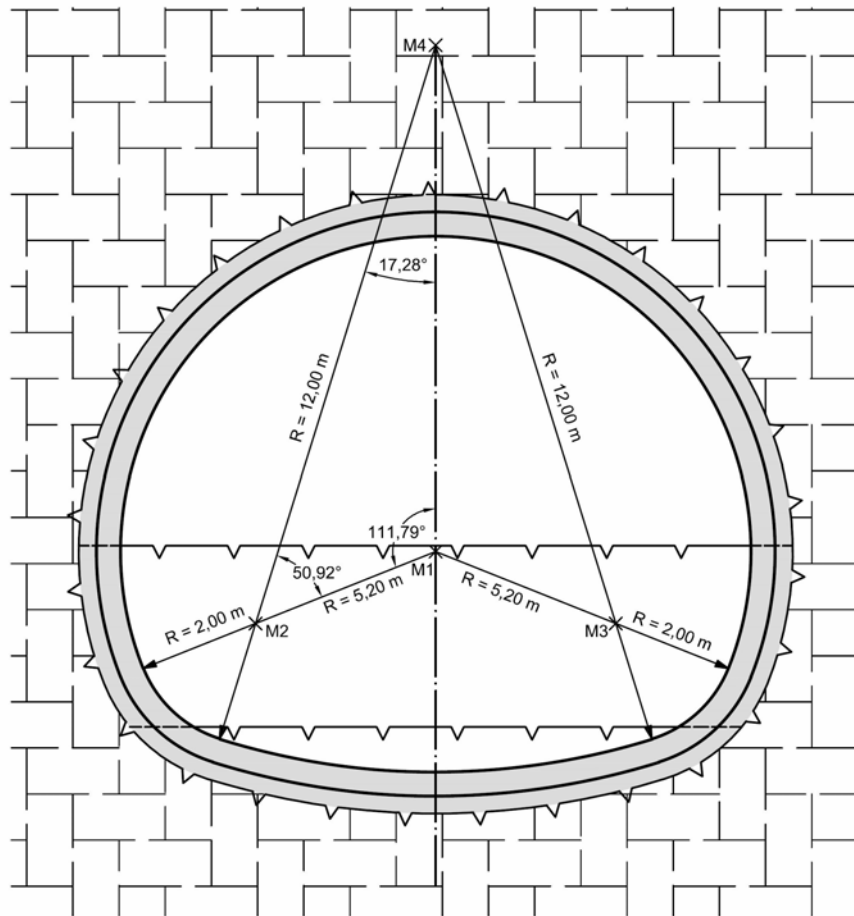


Bild II.1: Tunnelquerschnitt

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 6	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

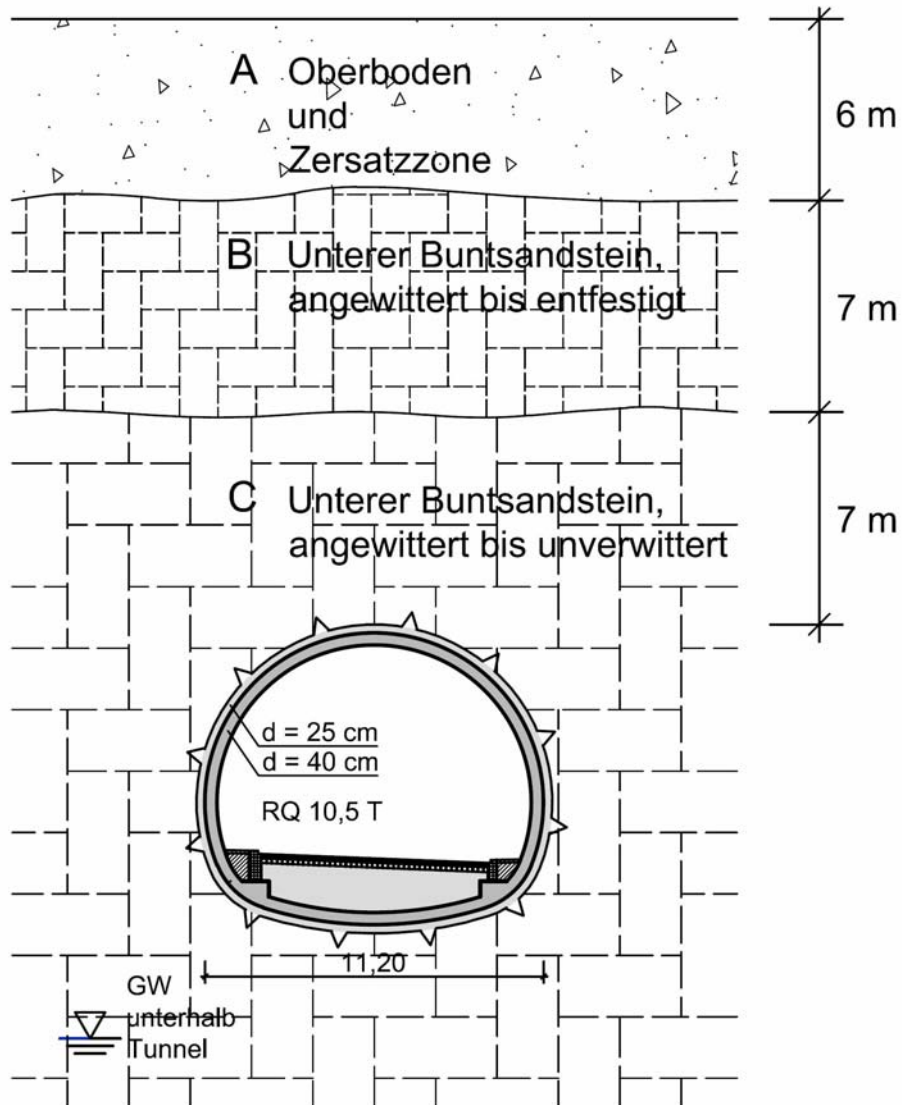


Bild II.2: Tunnel in bergmännischer Bauweise, Querschnitt Endzustand

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Seite 7	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

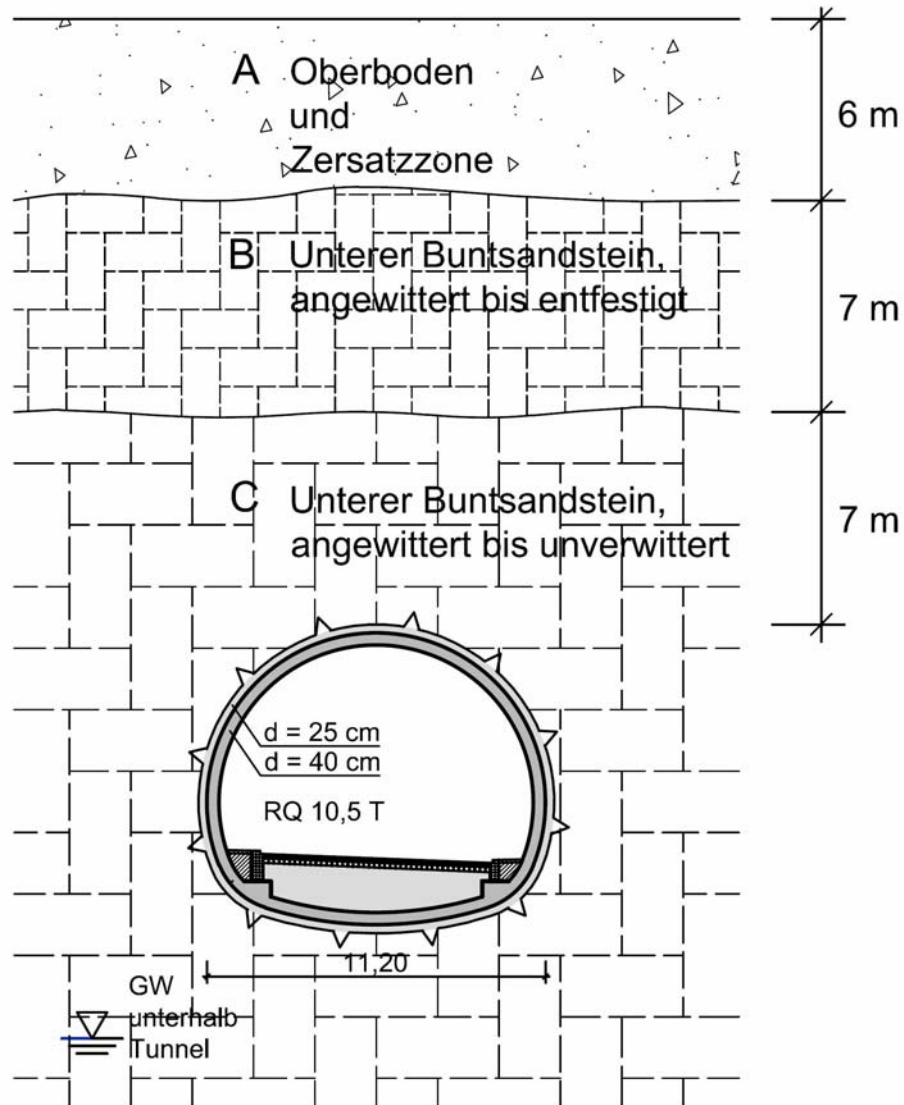


Bild II.2: Tunnel in bergmännischer Bauweise, Querschnitt Endzustand

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 8	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 5, Abschn. 1	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Tunnelbau, Geschlossene Bauweise, Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2012-03
DIN-Fachbericht 101	Einwirkungen auf Brücken, 1. Ausgabe 2009-03
DIN-Fachbericht 102	Betonbrücken, 1. Ausgabe 2009-03
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005-01
DIN 1055 Teil 1	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, Ausgabe 2002-06

EDV-Programme:

FIDES DV-Partner  
SOFiSTiK GmbH

Wintube, Version 2012.255  
Programmmodule zur FE-Berechnung

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 9
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 5, Abschn. 1	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Tunnelbau, Geschlossene Bauweise, Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwurf 2012-08
DIN EN 1990	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1990/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1990, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-1-1, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-2	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-2/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-2, Ausgabe 2012-08
DIN EN 1992-1-1	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe 2011-01
DIN EN 1992-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-1-1, Ausgabe 2011-01
DIN EN 1992-2	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1992-2/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-2, Entwurf 2012-04
DIN EN 1997-1	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Ausgabe 2009-09
DIN EN 1997-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12

EDV-Programme:

FIDES DV-Partner	Wintube, Version 2012.255
SOFISTIK GmbH	Programmmodule zur FE-Berechnung

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen		Archiv-Nr.
Block:		Seite 10	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des in geschlossener Bauweise herzustellenden Tunnelbauwerks gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1 (Tunnelbau, geschlossene Bauweise).

Für die Ansätze zur Bemessung im Einzelnen gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN-Fachbericht 101: für den Ansatz von Verkehrslasten, die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungsseite
- DIN-Fachbericht 102: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften
- DIN 1054: für die Sicherheitsnachweise des Tunnelbauwerkes einschließlich der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 11	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des in geschlossener Bauweise herzustellenden Tunnelbauwerks gelten die zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1 (Tunnelbau, geschlossene Bauweise).

Für die Ansätze zur Bemessung im Einzelnen gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1990: für die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für Eigen- und Verkehrslasten
- DIN-EN 1991-2: für den Ansatz von Verkehrslasten
- DIN-EN 1992-2: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften
- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise des Tunnelbauwerkes
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 12	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Tiefe unter GOK	Wichte feucht	eff. Reibungswinkel	eff. Kohäsion	Elastizitätsmodul	Querdehnzahl	Dilatanzwinkel
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]
A Oberboden und Zersatzzone	0,0 – 6,0	21	27,5	5	15	0,40	-
B Sandstein-Schluffstein-Tonstein-Wechelfolge, entfestigt bis angewittert	6,0 - 13,0	23	30	50	100	0,35	-
C Sandstein-Schluffstein-Tonstein-Wechelfolge, angewittert bis unverwittert	ab 13,0	24	35	500	500	0,30	5

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte für die Kontinuumsberechnung

Grundwasser steht erst weit unterhalb des Tunnels an und wird daher in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Tiefe unter GOK	Wichte feucht	eff. Reibungswinkel	eff. Kohäsion	Elastizitätsmodul	Querdehnzahl	Dilatanzwinkel
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]
A Oberboden und Zersatzzone	0,0 – 6,0	21	27,5	5	15	0,40	-
B Sandstein-Schluffstein-Tonstein-Wechselfolge, entfestigt bis angewittert	6,0 - 13,0	23	30	50	100	0,35	-
C Sandstein-Schluffstein-Tonstein-Wechselfolge, angewittert bis unverwittert	ab 13,0	24	35	500	500	0,30	5

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte für die Kontinuumsberechnung

Grundwasser steht erst weit unterhalb des Tunnels an und wird daher in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 14	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

DIN-FB 102, Kap. II, 3.2

Betonstahlsorte	BSt 500 S	
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1 bzw. DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.1, Tab. R2
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN 1045-1, 9.2.4 (3)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.4.3 (1)
<b>Betondeckung</b>		
Außenschale	nom $c = 3,0 \text{ cm}$	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 6.5.2 (5)
Innenschale	min $c = 4,5 \text{ (a) bzw. } 5,0 \text{ cm (i)}$	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 8.2.2 (3)
	nom $c = 6,0 \text{ cm (a + i)}$	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 8.2.2 (3)

### Beton

#### - Außenschale

Betonfestigkeitsklasse	C 20/25	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 6.5.2
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 20 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.4, Tab. 3.1
Zur pauschalen Erfassung von Krieeffekten bei frühzeitiger Belastung wird der Elastizitätsmodul für den Spritzbeton mit 50% des Nennwertes angesetzt:		
Elastizitätsmodul gewählt:	$E_{cm} = 24900/2 = 12450 \text{ MN/m}^2$	$E_{cm} / 2$ nach DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.5.2, Tab. 3.2

#### - Innenschale

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37 WUB-KO	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (5)
Expositionsklassen	XD1 (XD2), XF2	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (12)
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.4, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 28300 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.5.2, Tab. 3.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V):  
 $\gamma_s = 1,15$

DIN-FB 102, Kap. II, 2.3.3.2, Tab. 2.3

#### Beton:

S+V  
 $\gamma_c = 1,5$

DIN-FB 102, Kap. II, 2.3.3.2, Tab. 2.3

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 15
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

DIN-EN 1992-2, 3.2

Betonstahlsorte	BSt 500 S	
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 1992-2, NDP zu 3.2.7(2)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.2.7(4)

### Betondeckung

Außenschale	nom $c = 3,0 \text{ cm}$	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 6.5.2 (5)
Innenschale	min $c = 4,5 \text{ (a) bzw. } 5,0 \text{ cm (i)}$	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 8.2.2 (3)
	nom $c = 6,0 \text{ cm (a + i)}$	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 8.2.2 (3)

### Beton

#### - Außenschale

Betonfestigkeitsklasse	C 20/25	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 6.5.2
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 20 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2, Tab. 3.1

Zur pauschalen Erfassung von Kriecheffekten bei frühzeitiger Belastung wird der Elastizitätsmodul für den Spritzbeton mit 50% des Nennwertes angesetzt:

Elastizitätsmodul gewählt:	$E_{cm} = 30000/2 = 15000 \text{ MN/m}^2$	$E_{cm} / 2$ nach DIN EN 1992-1, 3.1.2, Tab. 3.1
----------------------------	---	--

#### - Innenschale

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37 WUB-KO	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (5)
Expositionsklassen	XD1 (XD2), XF2	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (12)
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 32800 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2, Tab. 3.1

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V): DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

$$\gamma_s = 1,15$$

#### Beton:

S+V  $\gamma_c = 1,5$  DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 16
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

Die statische Berechnung der Tunnelschalen erfolgt mit dem FE-Programm WINTUBE der Firma FIDES-DV-Partner, das intern die Berechnungsmodule der Firma SOFiSTiK nutzt.

Das Gebirge wird mit den von Wilson und Taylor entwickelten nichtkonformen, vierknotigen Elementen beschrieben. Diese können reine Biegezustände und lineare Spannungsverteilungen exakt erfassen, wenn sie als Rechtecke oder Parallelogramme vorliegen. Die Berechnung erfolgt für den ebenen Dehnungszustand. Dabei wird eine Gebirgsscheibe senkrecht zur Tunnellängsachse mit der Dicke 1 m erfasst.

Das Spannungs-Dehnungsverhalten der Scheibenelemente wird durch ein elastoplastisches Materialgesetz nach Mohr/Coulomb in der erweiterten Form nach Pande/Zienkiewicz mit nichtassoziierter Fließregel bestimmt. Der Einsatzbereich liegt bei i.w. isotropem Baugrund, dessen Bruchverhalten mit den Scherparametern Reibungswinkel und Kohäsion beschrieben werden kann.

Innen- und Außenschale des Tunnels werden mit Stabelementen simuliert. Diese sind lineare prismatische Elemente mit konstantem Querschnitt unter Einbeziehung von Gelenkwirkungen und Schubverformungen. Die Kopplung zwischen den Knoten der Außen- und Innenschale erfolgt über Einzelfedern, deren Kraftübertragung ausschließlich in radialer Richtung zum Tunnel geschieht. Eine Zugkraftübertragung wird ausgeschlossen. Diese Kopplung erfasst die Wirkungsweise der Trennfolie zwischen Außen- und Innenschale, die eine Übertragung von Scherkräften verhindert.

Die Größe des FE-Netzes wird in Anlehnung an die Empfehlungen des Arbeitskreises 1.6 „Numerik in der Geotechnik“ gewählt. Das Berechnungsnetz ist in horizontaler Richtung 9 Tunneldurchmesser breit und erfasst in vertikaler Richtung den Baugrund von der Geländeoberkante bis 2 Tunneldurchmesser unterhalb des Tunnels.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 17
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

Die statische Berechnung der Tunnelschalen erfolgt mit dem FE-Programm WINTUBE der Firma FIDES-DV-Partner, das intern die Berechnungsmodule der Firma SOFiSTiK nutzt.

Das Gebirge wird mit den von Wilson und Taylor entwickelten nichtkonformen, vierknotigen Elementen beschrieben. Diese können reine Biegezustände und lineare Spannungsverteilungen exakt erfassen, wenn sie als Rechtecke oder Parallelogramme vorliegen. Die Berechnung erfolgt für den ebenen Dehnungszustand. Dabei wird eine Gebirgsscheibe senkrecht zur Tunnellängsachse mit der Dicke 1 m erfasst.

Das Spannungs-Dehnungsverhalten der Scheibenelemente wird durch ein elastoplastisches Materialgesetz nach Mohr/Coulomb in der erweiterten Form nach Pande/Zienkiewicz mit nichtassoziierter Fließregel bestimmt. Der Einsatzbereich liegt bei i.w. isotropem Baugrund, dessen Bruchverhalten mit den Scherparametern Reibungswinkel und Kohäsion beschrieben werden kann.

Innen- und Außenschale des Tunnels werden mit Stabelementen simuliert. Diese sind lineare prismatische Elemente mit konstantem Querschnitt unter Einbeziehung von Gelenkwirkungen und Schubverformungen. Die Kopplung zwischen den Knoten der Außen- und Innenschale erfolgt über Einzelfedern, deren Kraftübertragung ausschließlich in radialer Richtung zum Tunnel geschieht. Eine Zugkraftübertragung wird ausgeschlossen. Diese Kopplung erfasst die Wirkungsweise der Trennfolie zwischen Außen- und Innenschale, die eine Übertragung von Scherkräften verhindert.

Die Größe des FE-Netzes wird in Anlehnung an die Empfehlungen des Arbeitskreises 1.6 „Numerik in der Geotechnik“ gewählt. Das Berechnungsnetz ist in horizontaler Richtung 9 Tunneldurchmesser breit und erfasst in vertikaler Richtung den Baugrund von der Geländeoberkante bis 2 Tunneldurchmesser unterhalb des Tunnels.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 18
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

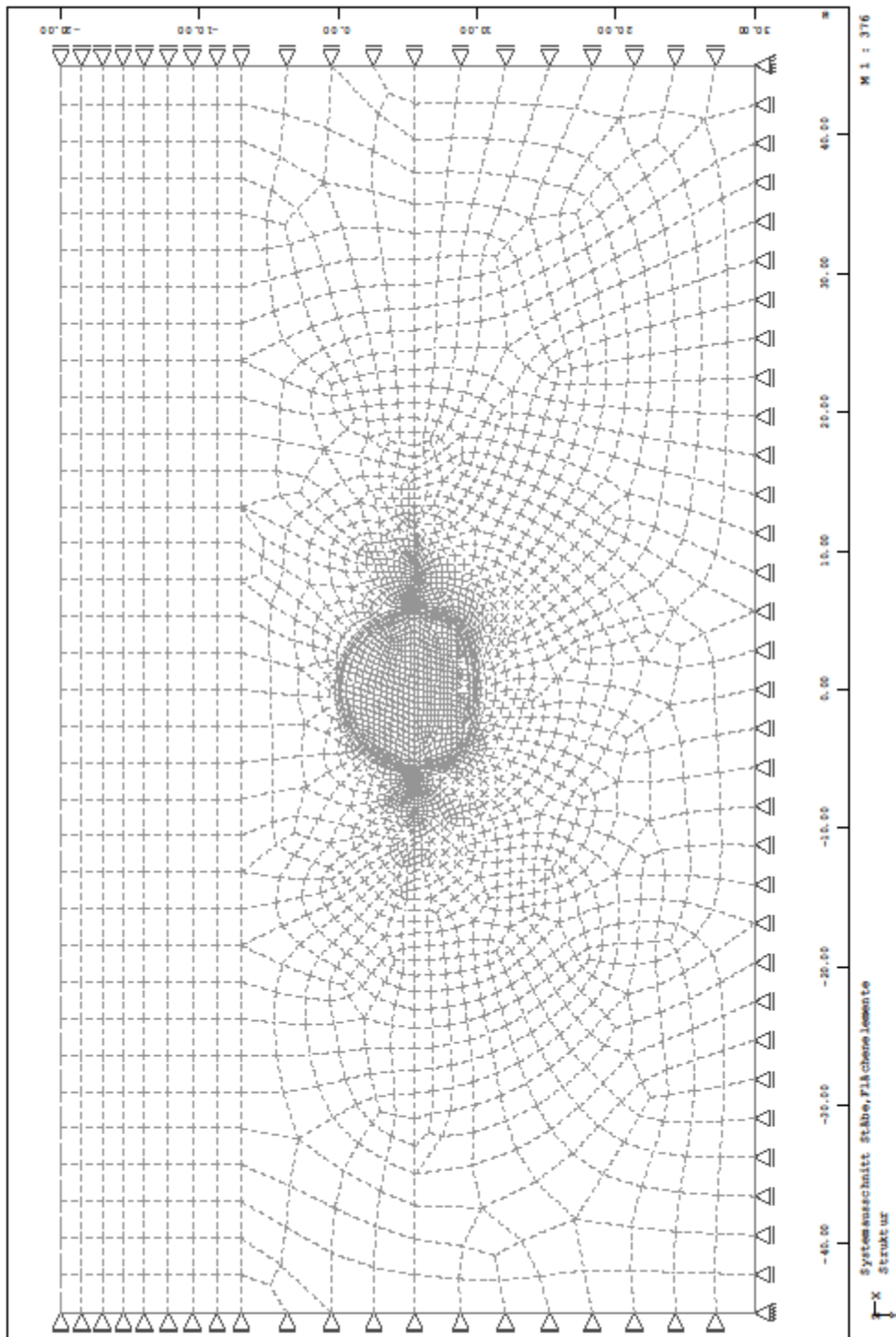


Bild 1.1: FE-Netz

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 19
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

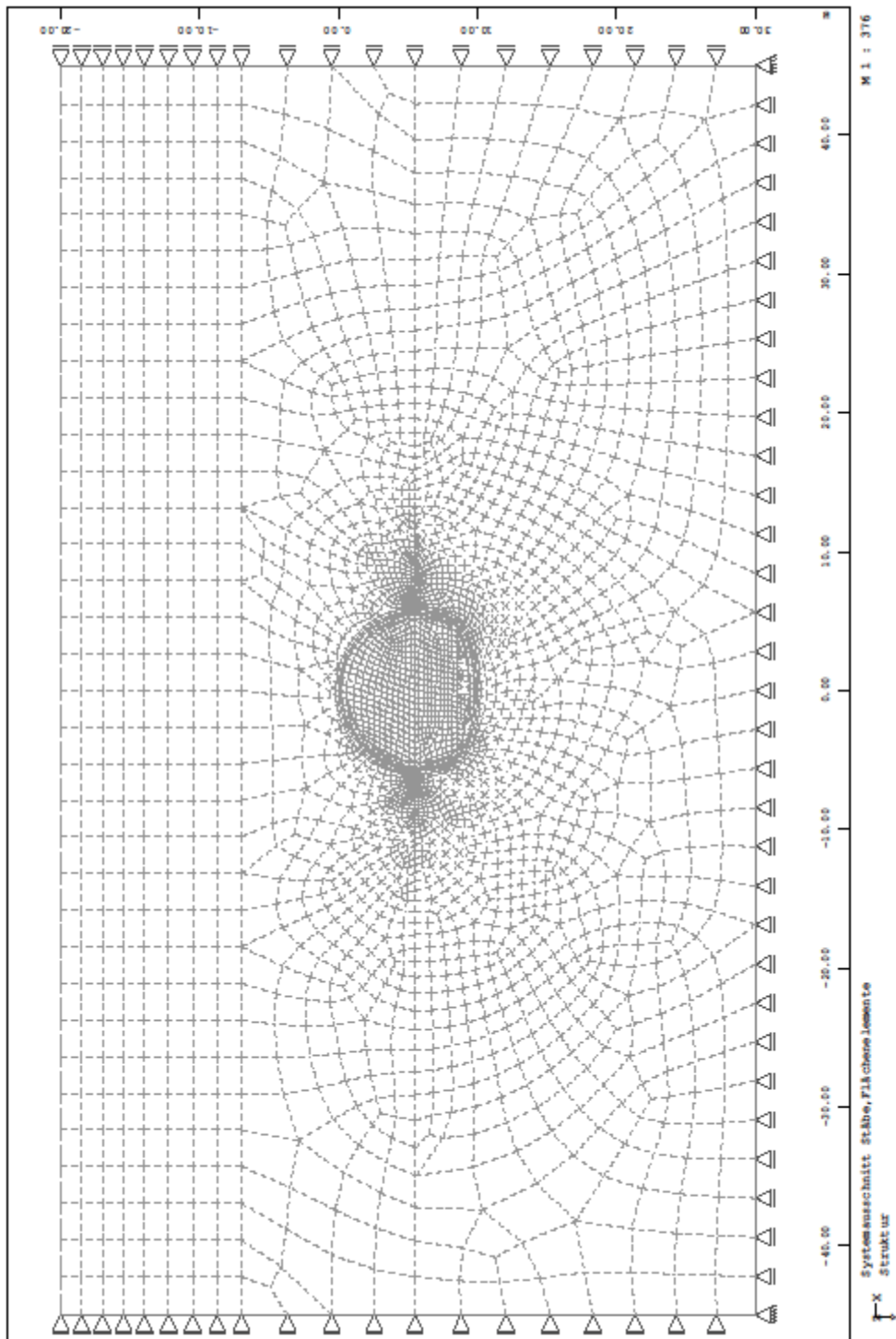


Bild 1.1: FE-Netz

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 20
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

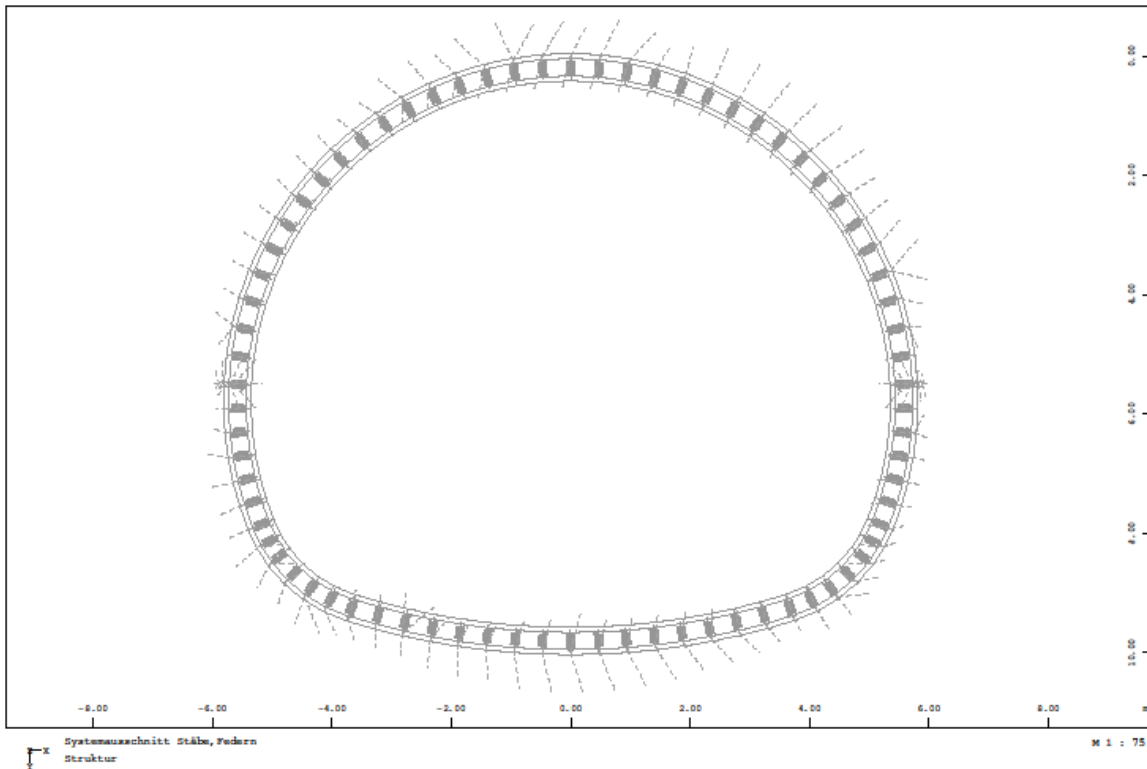


Bild 1.2: Stabelemente der Außen- und Innenschale mit Koppelfedern

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 21
Vorgang:	1.3 Statisches System	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

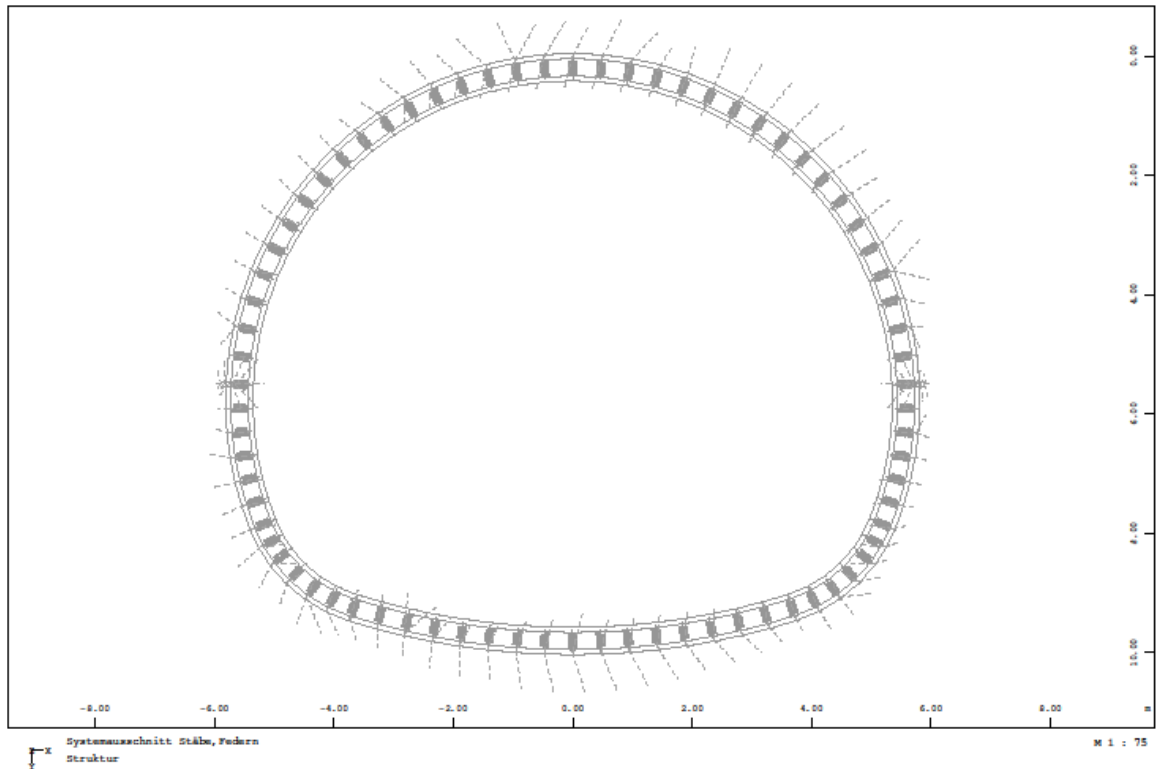


Bild 1.2: Stabelemente der Außen- und Innenschale mit Koppelfedern

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 22
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Das Tunnelbauwerk wird durch ständige Einwirkungen und durch Temperatur belastet.

### Eigengewicht Tunnel

wird vom Programm ermittelt mit  $\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^2$

DIN 1055-1

### Gebirgsdruck

Der Primärspannungszustand im Gebirge wird vom Programm aus der Gebirgswichte, der jeweiligen Überlagerungshöhe und der Querdehnzahl errechnet. Die vertikalen und horizontalen Gebirgsspannungen ergeben sich wie folgt:

vertikal:  $\sigma_v = \gamma \cdot h$

horizontal:  $\sigma_h = \sigma_v \cdot \frac{\nu}{(1-\nu)}$

Der effektive vertikale Gebirgsdruck auf die Tunnelaußenschale ist im tunnelbautechnischen Gutachten mit  $200 \text{ kN/m}^2$  (= ca. 44% des Überlagerungsgewichtes) vorgegeben. Der zugehörige Seitendruck ergibt sich in der Kontinuumsberechnung aus dieser Vorgabe automatisch in Abhängigkeit vom Primärspannungszustand und den Steifigkeiten des Baugrunds und der Auskleidung.

### Wasserdruck

Ein Wasserdruck wirkt weder im Bau- noch im Endzustand auf die Tunnelauskleidung, da der Grundwasserspiegel unterhalb des Tunnels liegt.

### Temperatureinwirkungen auf Innenschale

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.2.2.5  
Bild 5.1.1

- Temperatur im Tunnel bis 1000 m vom Portal

Sommer:  $T = +25 \text{ }^\circ\text{C}$

Winter:  $T = -15 \text{ }^\circ\text{C}$

- Temperaturverlauf im Querschnitt:

$$\Delta T = 10 \text{ K}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.2.2.5 (3)

- Aufstelltemperatur  $10 \text{ }^\circ\text{C}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 23
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Das Tunnelbauwerk wird durch ständige Einwirkungen und durch Temperatur belastet.

### Eigengewicht Tunnel

wird vom Programm ermittelt mit  $\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^2$

DIN EN 1991-1

### Gebirgsdruck

Der Primärspannungszustand im Gebirge wird vom Programm aus der Gebirgswichte, der jeweiligen Überlagerungshöhe und der Querdehnzahl errechnet. Die vertikalen und horizontalen Gebirgsspannungen ergeben sich wie folgt:

vertikal:  $\sigma_v = \gamma \cdot h$

horizontal:  $\sigma_h = \sigma_v \cdot \frac{\nu}{(1 - \nu)}$

Der effektive vertikale Gebirgsdruck auf die Tunnelaußenschale ist im tunnelbautechnischen Gutachten mit  $200 \text{ kN/m}^2$  (= ca. 44% des Überlagerungsgewichtes) vorgegeben. Der zugehörige Seitendruck ergibt sich in der Kontinuumsberechnung aus dieser Vorgabe automatisch in Abhängigkeit vom Primärspannungszustand und den Steifigkeiten des Baugrunds und der Auskleidung.

### Wasserdruck

Ein Wasserdruck wirkt weder im Bau- noch im Endzustand auf die Tunnelauskleidung, da der Grundwasserspiegel unterhalb des Tunnels liegt.

### Temperatureinwirkungen auf Innenschale

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.2.2.2  
Bild 5.1.1

- Temperatur im Tunnel bis 1000 m vom Portal

Sommer:  $T = +25 \text{ °C}$

Winter:  $T = -15 \text{ °C}$

- Temperaturverlauf im Querschnitt:

$$\Delta T = 10 \text{ K}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.2.2.2 (4)

- Aufstelltemperatur  $10 \text{ °C}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 24
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. BERECHNUNGSABLAUF

Die Berechnung erfolgt sukzessive und berücksichtigt die einzelnen Ausbruchsphasen und Einbauzustände.

### 2.1 Schritt 1: Primärspannungszustand

- Ermittlung des Primärspannungszustandes infolge Eigengewicht des anstehenden Baugrundes
- Die Verformungen werden zu Null gesetzt.

### 2.2 Schritt 2: Vorentspannung der Kalotte

- Ausgangszustand = Schritt 1
- Die Steifigkeit des Bodens im späteren Ausbruchsquerschnitt und die Belastung aus dem Primärzustand auf die spätere Tunnelkontur werden über einen Faktor reduziert, um eine Vorentspannung des Gebirges im Kalottenquerschnitt infolge Annäherung des Vortriebs zu simulieren. Hierbei erfolgt eine Spannungsumlagerung im Bereich des Ausbruchsquerschnittes.
- Die Primärspannungen des Bodens im Entspannungsbereich werden aus rechentechnischen Gründen (Kräftebilanz) ebenfalls über einen Faktor verringert.
- Die Vorentspannung wird so kalibriert, dass die vom tunnelbautechnischen Gutachter angegebene effektive Belastung der Außenschale erreicht wird.

### 2.3 Schritt 3: Ausbruch und Sicherung der Kalotte

- Ausgangszustand = Schritt 2
- Die Elemente im Ausbruchsbereich werden aus dem System entfernt.
- Die Stabelemente für den Kalottenbogen werden eingebaut.
- Die beim Ausbruch frei werdenden Spannungen am Ausbruchsrund werden programmintern als Lasten auf das gekoppelte System aus Spritzbetonschale und Kontinuum angesetzt und die daraus resultierenden Spannungen und Verformungen errechnet.

### 2.4 Schritt 4: Vorentspannung der Strosse

- Ausgangszustand = Schritt 3
- Aufweichung des späteren Ausbruchsquerschnittes und Spannungsumlagerung wie im Schritt 2.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 25
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. BERECHNUNGSABLAUF

Die Berechnung erfolgt sukzessive und berücksichtigt die einzelnen Ausbruchsphasen und Einbauzustände.

### 2.1 Schritt 1: Primärspannungszustand

- Ermittlung des Primärspannungszustandes infolge Eigengewicht des anstehenden Baugrundes
- Die Verformungen werden zu Null gesetzt.

### 2.2 Schritt 2: Vorentspannung der Kalotte

- Ausgangszustand = Schritt 1
- Die Steifigkeit des Bodens im späteren Ausbruchsquerschnitt und die Belastung aus dem Primärzustand auf die spätere Tunnelkontur werden über einen Faktor reduziert, um eine Vorentspannung des Gebirges im Kalottenquerschnitt infolge Annäherung des Vortriebs zu simulieren. Hierbei erfolgt eine Spannungumlagerung im Bereich des Ausbruchsquerschnittes.
- Die Primärspannungen des Bodens im Entspannungsbereich werden aus rechen-technischen Gründen (Kräftebilanz) ebenfalls über einen Faktor verringert.
- Die Vorentspannung wird so kalibriert, dass die vom tunnelbautechnischen Gutachter angegebene effektive Belastung der Außenschale erreicht wird.

### 2.3 Schritt 3: Ausbruch und Sicherung der Kalotte

- Ausgangszustand = Schritt 2
- Die Elemente im Ausbruchsbereich werden aus dem System entfernt.
- Die Stabelemente für den Kalottenbogen werden eingebaut.
- Die beim Ausbruch frei werdenden Spannungen am Ausbruchrand werden programm-intern als Lasten auf das gekoppelte System aus Spritzbetonschale und Kontinuum angesetzt und die daraus resultierenden Spannungen und Verformungen errechnet.

### 2.4 Schritt 4: Vorentspannung der Strosse

- Ausgangszustand = Schritt 3
- Aufweichung des späteren Ausbruchsquerschnittes und Spannungumlagerung wie im Schritt 2.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 26
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.5 Schritt 5: Ausbruch und Sicherung der Strosse

- Ausgangszustand = Schritt 4
- Die Elemente im Ausbruchsbereich werden aus dem System entfernt.
- Die Stabelemente für den Strossenbereich werden eingebaut.
- Die beim Ausbruch frei werdenden Spannungen am Ausbruchsrund werden programmintern auf das gekoppelte System aus Spritzbetonschale und Kontinuum angesetzt und die daraus resultierenden Spannungen und Verformungen errechnet.

## 2.6 Schritt 6: Vorentspannung der Sohle

- Ausgangszustand = Schritt 5
- Aufweichung des späteren Ausbruchsquerschnittes und Spannungsumlagerung wie im Schritt 2 und 4.

## 2.7 Schritt 7: Ausbruch und Sicherung der Sohle

- Ausgangszustand = Schritt 6
- Die Elemente im Ausbruchsbereich werden aus dem System entfernt.
- Die Stabelemente für den Sohlbereich werden eingebaut.
- Die beim Ausbruch frei werdenden Spannungen am Ausbruchsrund werden programmintern auf das gekoppelte System aus Spritzbetonschale und Kontinuum angesetzt und die daraus resultierenden Spannungen und Verformungen errechnet.

## 2.8 Schritt 8: Einbau der Innenschale

- Ausgangszustand = Schritt 7
- Die Stäbe für die Innenschale und die Federelemente zwischen den Knoten der Außen- und Innenschale werden aktiviert. Diese Federelemente können nur Druckkräfte in ihren Wirkungsrichtungen übertragen.
- Das Eigengewicht der Innenschale wird auf die Innenschale angesetzt.

## 2.9 Schritt 9: Innenschale mit Temperaturlasten im Sommer (GZT)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 27
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.5 Schritt 5: Ausbruch und Sicherung der Strosse

- Ausgangszustand = Schritt 4
- Die Elemente im Ausbruchsbereich werden aus dem System entfernt.
- Die Stabelemente für den Strossenbereich werden eingebaut.
- Die beim Ausbruch frei werdenden Spannungen am Ausbruchsrand werden programmintern auf das gekoppelte System aus Spritzbetonschale und Kontinuum angesetzt und die daraus resultierenden Spannungen und Verformungen errechnet.

## 2.6 Schritt 6: Vorentspannung der Sohle

- Ausgangszustand = Schritt 5
- Aufweichung des späteren Ausbruchsquerschnittes und Spannungsumlagerung wie im Schritt 2 und 4.

## 2.7 Schritt 7: Ausbruch und Sicherung der Sohle

- Ausgangszustand = Schritt 6
- Die Elemente im Ausbruchsbereich werden aus dem System entfernt.
- Die Stabelemente für den Sohlbereich werden eingebaut.
- Die beim Ausbruch frei werdenden Spannungen am Ausbruchsrand werden programmintern auf das gekoppelte System aus Spritzbetonschale und Kontinuum angesetzt und die daraus resultierenden Spannungen und Verformungen errechnet.

## 2.8 Schritt 8: Einbau der Innenschale

- Ausgangszustand = Schritt 7
- Die Stäbe für die Innenschale und die Federelemente zwischen den Knoten der Außen- und Innenschale werden aktiviert. Diese Federelemente können nur Druckkräfte in ihren Wirkungsrichtungen übertragen.
- Das Eigengewicht der Innenschale wird auf die Innenschale angesetzt.

## 2.9 Schritt 9: Innenschale mit Temperaturlasten im Sommer (GZT)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 28
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 2.10 Schritt 10: Innenschale mit Temperaturlasten im Winter (GZT)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

### 2.11 Schritt 15: Verrottung der Außenschale

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First der Innenschale wieder aktiviert.
- Die Stäbe für die Außenschale werden deaktiviert.
- Aus den frei werdenden Schnittgrößen der Außenschale werden programmintern äquivalente Knotenkräfte errechnet und auf das gekoppelte System aus Gebirge und Innenschale angesetzt.

### 2.12 Schritt 16: IS mit Temperaturlasten im Sommer (GZT), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

### 2.13 Schritt 17: IS mit Temperaturlasten im Winter (GZT), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

### 2.14 Schritt 20: Innenschale mit Temperaturlasten im Sommer (GZG)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 29
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.10 Schritt 10: Innenschale mit Temperaturlasten im Winter (GZT)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

## 2.11 Schritt 15: Verrottung der Außenschale

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First der Innenschale wieder aktiviert.
- Die Stäbe für die Außenschale werden deaktiviert.
- Aus den frei werdenden Schnittgrößen der Außenschale werden programmintern äquivalente Knotenkräfte errechnet und auf das gekoppelte System aus Gebirge und Innenschale angesetzt.

## 2.12 Schritt 16: IS mit Temperaturlasten im Sommer (GZT), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

## 2.13 Schritt 17: IS mit Temperaturlasten im Winter (GZT), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

## 2.14 Schritt 20: Innenschale mit Temperaturlasten im Sommer (GZG)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 30
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 2.15 Schritt 21: Innenschale mit Temperaturlasten im Winter (GZG)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

### 2.16 Schritt 22: IS mit Temperaturlasten im Sommer (GZG), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

### 2.17 Schritt 23: IS mit Temperaturlasten im Winter (GZG), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

Die nicht aufgeführten Berechnungsschritte sind lediglich in der Nummerierung ausgelassen worden und entfallen.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 31
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 2.15 Schritt 21: Innenschale mit Temperaturlasten im Winter (GZG)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

### 2.16 Schritt 22: IS mit Temperaturlasten im Sommer (GZG), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

### 2.17 Schritt 23: IS mit Temperaturlasten im Winter (GZG), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

Die nicht aufgeführten Berechnungsschritte sind lediglich in der Nummerierung ausgelassen worden und entfallen.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 32
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. SCHNITTGRÖSSENERMITTLUNG

Die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit werden gemäß DIN 1054, Abschnitt 4.3 und 4.4 geführt. Die Einwirkungen (Eigengewicht und Gebirgsdruck) werden dabei mit ihren charakteristischen Werten auf das System angesetzt.

Lediglich die Temperatureinwirkungen werden für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) mit dem Faktor  $1/\gamma_g$  multipliziert auf das System aufgebracht, um bei Multiplikation der Schnittgrößen mit den Teilsicherheitsbeiwerten in Anlehnung an die ZTV-ING T5, Abschnitt 2 eine Teilsicherheit von 1,0 für die Temperatur zu berücksichtigen. Bei der Ermittlung der Schnittgrößen für den Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) werden die Temperatureinwirkungen gemäß ZTV-ING, T5, Abschnitt 1, 3.4.2.1 mit einem Kombinationswert  $\psi_2 = 0,5$  angesetzt.

Für die Bemessung werden die Schnittgrößen anschließend mit den zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten nach DIN 1054, Tabelle 2 (hier  $\gamma_g = 1,35$  (GZT) bzw.  $\gamma_g = 1,0$  (GZG) im LF 1) multipliziert.

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt aus WINTUBE heraus mit dem Programm TALPA von SOFiSTiK.

#### 3.1 Außenschale – Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Auf den folgenden Seiten sind die Momenten- und Normalkraftverläufe unter den charakteristischen Einwirkungen für die drei Ausbruchsritte dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. SCHNITTGRÖSSENERMITTLUNG

Die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit werden gemäß DIN 1054, Abschnitt 2.4.7 und 2.4.8 geführt. Die Einwirkungen (Eigengewicht und Gebirgsdruck) werden dabei mit ihren charakteristischen Werten auf das System angesetzt.

Lediglich die Temperatureinwirkungen werden für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) mit dem Faktor  $1/\gamma_g$  multipliziert auf das System aufgebracht, um bei Multiplikation der Schnittgrößen mit den Teilsicherheitsbeiwerten in Anlehnung an die ZTV-ING T5, Abschnitt 2 eine Teilsicherheit von 1,0 für die Temperatur zu berücksichtigen. Bei der Ermittlung der Schnittgrößen für den Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) werden die Temperatureinwirkungen gemäß ZTV-ING, T5, Abschnitt 1, 3.4.2.1 mit einem Kombinationswert  $\psi_2 = 0,5$  angesetzt.

Für die Bemessung werden die Schnittgrößen anschließend mit den zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten nach DIN 1054, Tabelle A2.1 (hier  $\gamma_g = 1,35$  (ULS) bzw.  $\gamma_g = 1,0$  (SLS) in der Bemessungssituation BS-P) multipliziert.

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt aus WINTUBE heraus mit dem Programm TALPA von SOFISTIK.

#### 3.1 Außenschale – Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Auf den folgenden Seiten sind die Momenten- und Normalkraftverläufe unter den charakteristischen Einwirkungen für die drei Ausbruchsritte dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 34
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

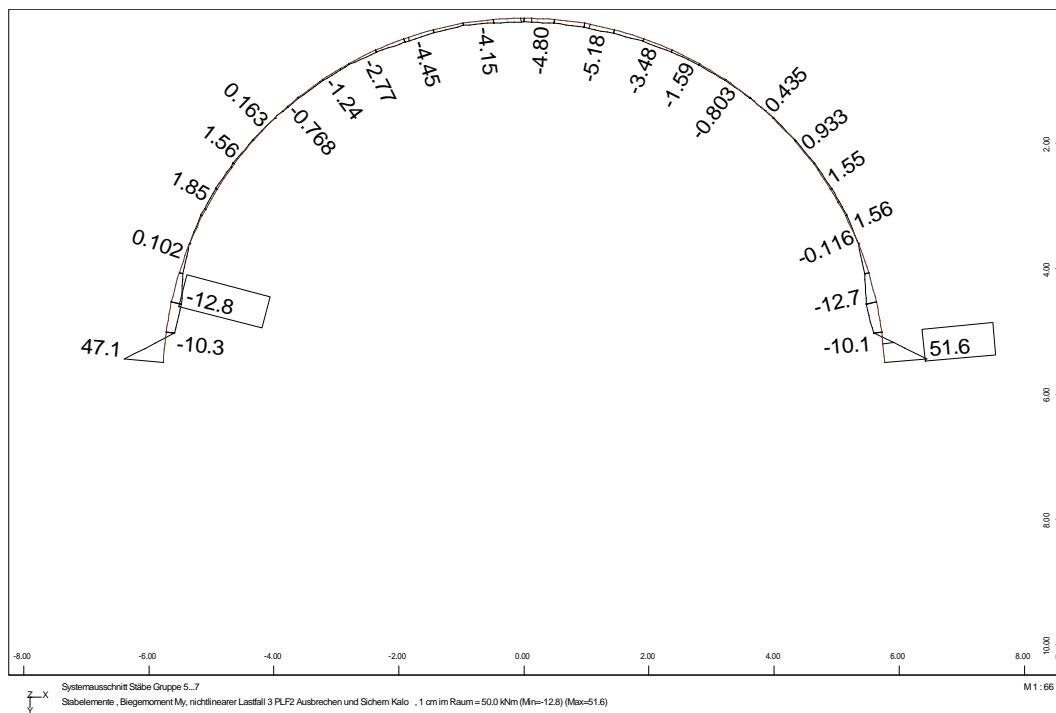


Bild 3.1: charakteristische Biegemomente der Außenschale, Kalottenausbruch

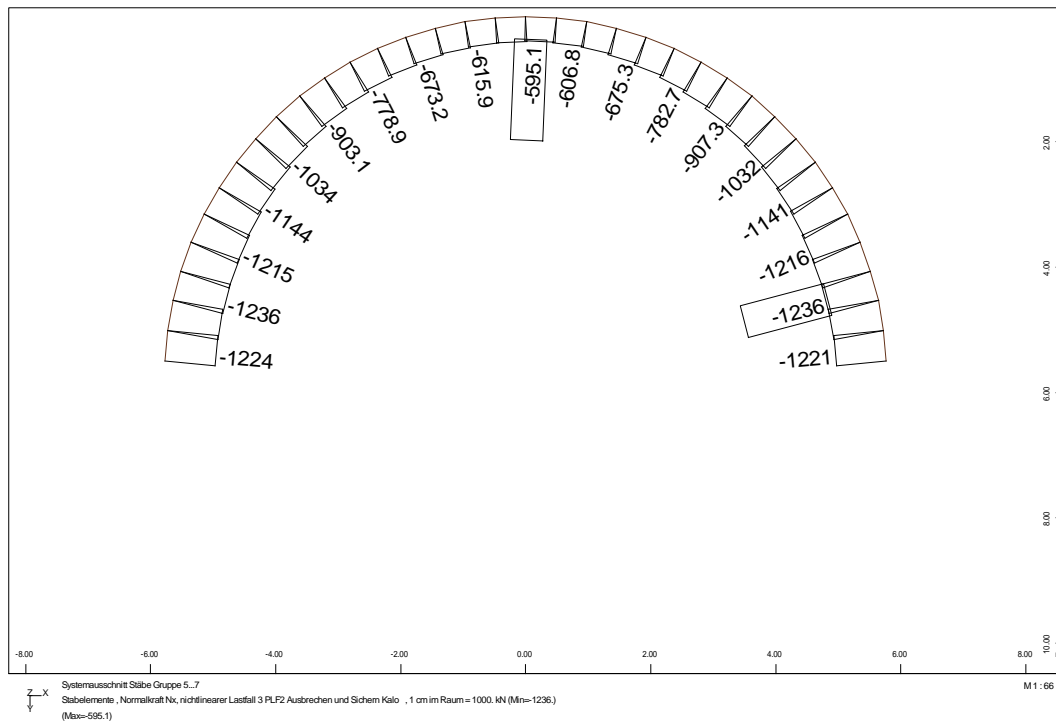


Bild 3.2: charakteristische Normalkräfte der Außenschale, Kalottenausbruch

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 35
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

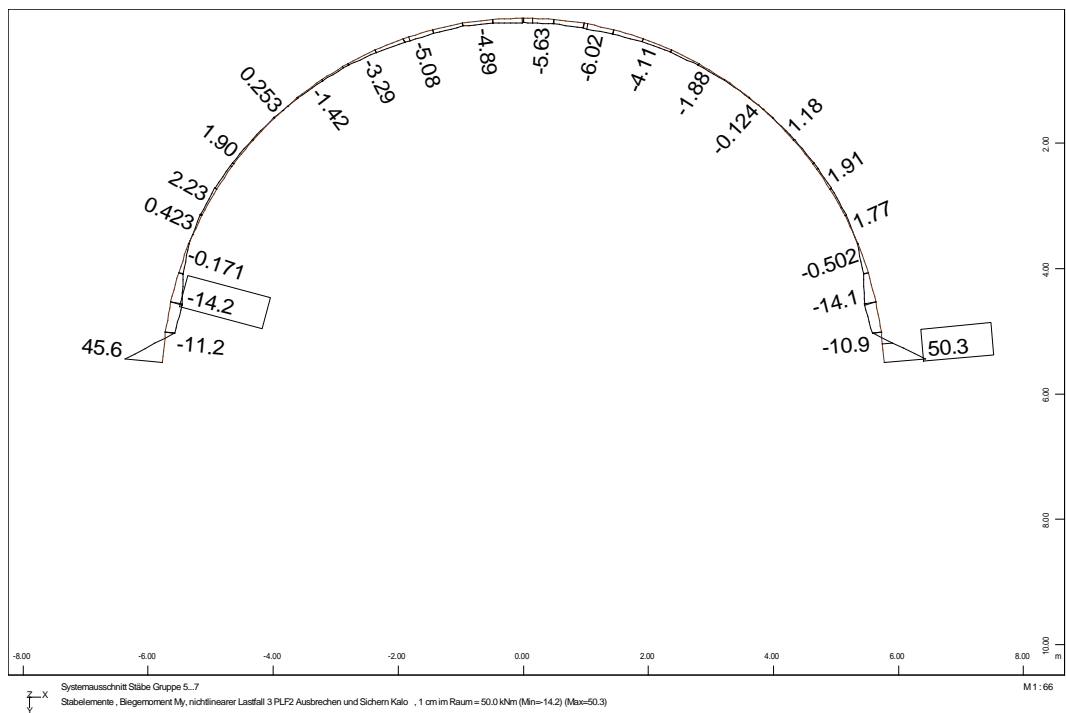


Bild 3.1: charakteristische Biegemomente der Außenschale, Kalottenausbruch

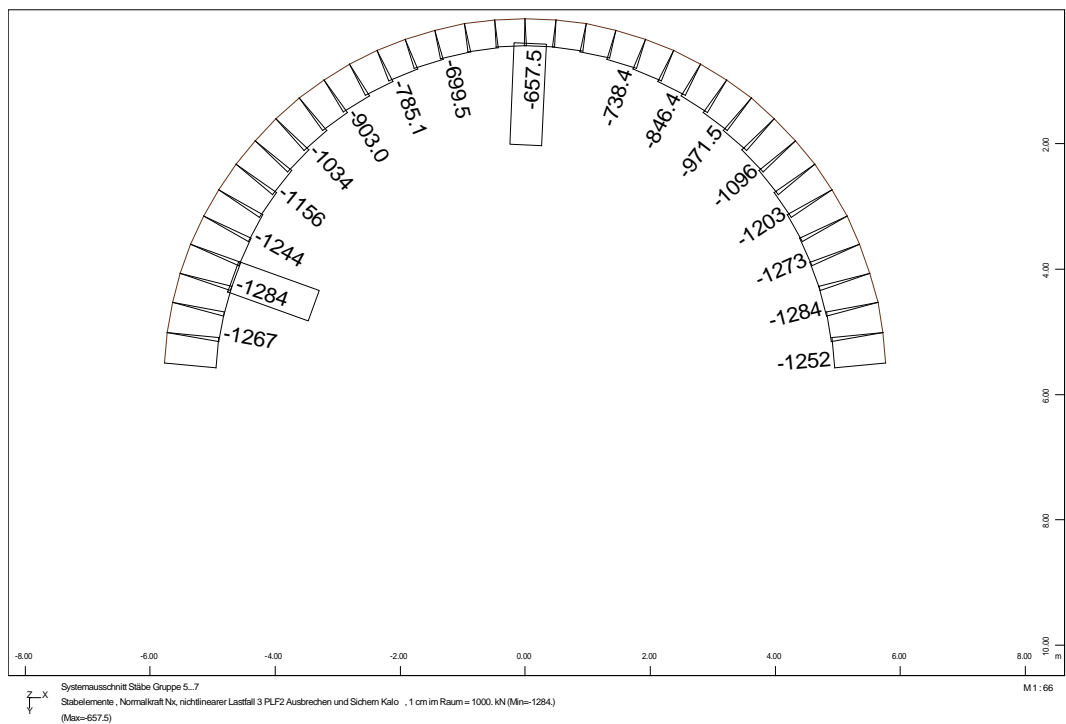


Bild 3.2: charakteristische Normalkräfte der Außenschale, Kalottenausbruch

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 36
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

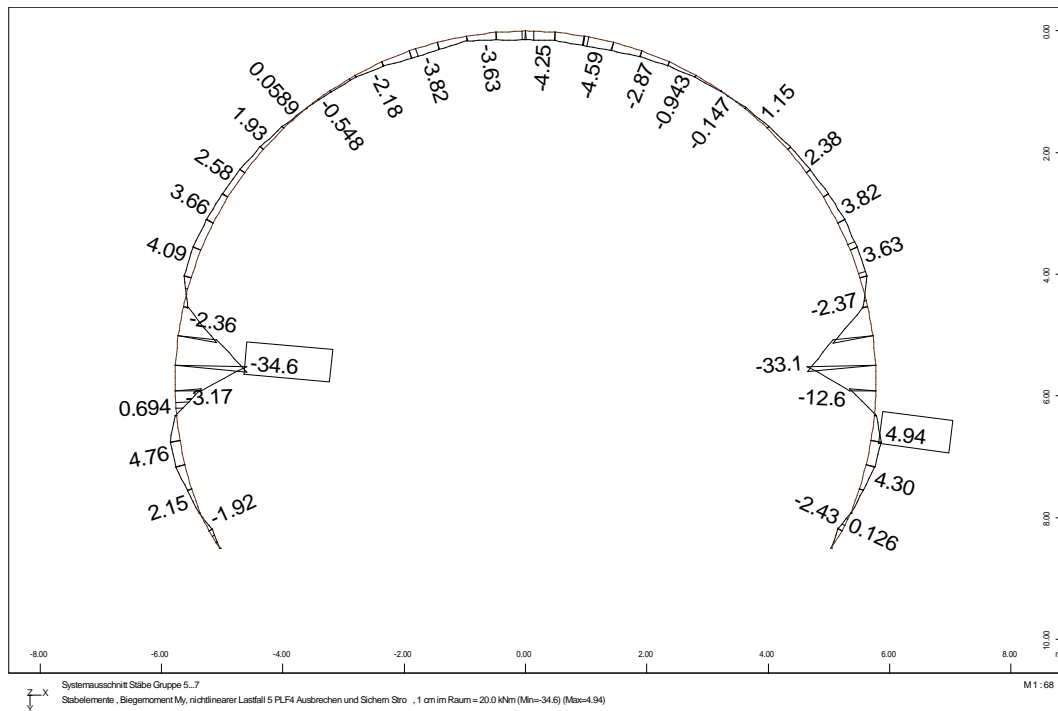


Bild 3.3: charakteristische Biegemomente der Außenschale, Strossenausbruch

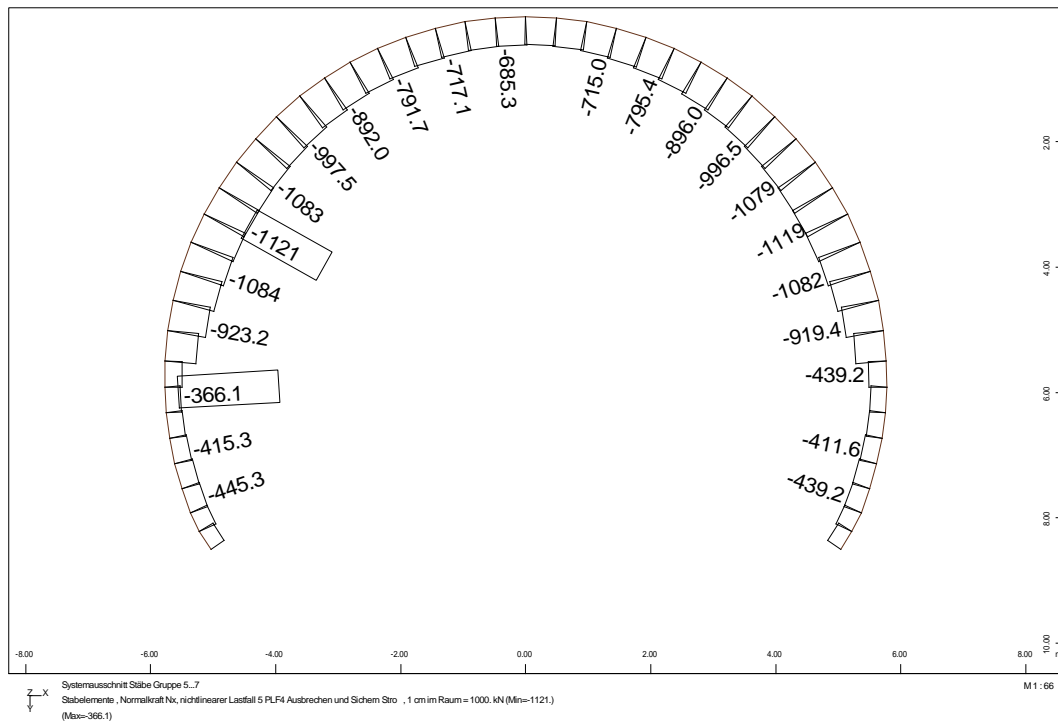


Bild 3.4: charakteristische Normalkräfte der Außenschale, Strossenausbruch

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 37
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

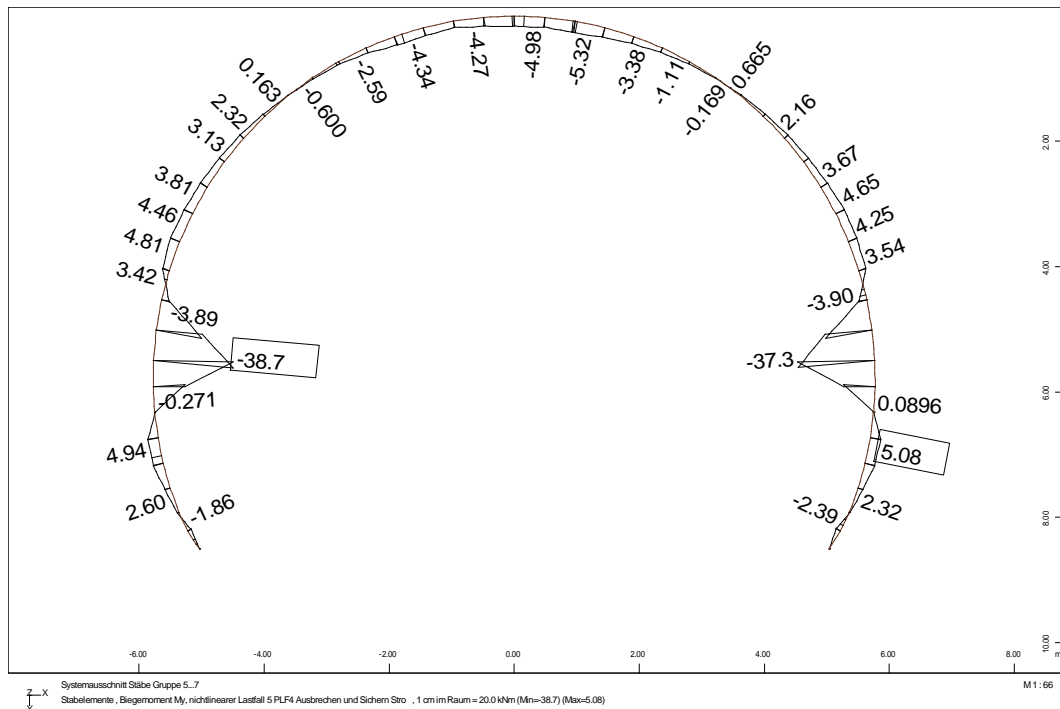


Bild 3.3: charakteristische Biegemomente der Außenschale, Strossenausbruch

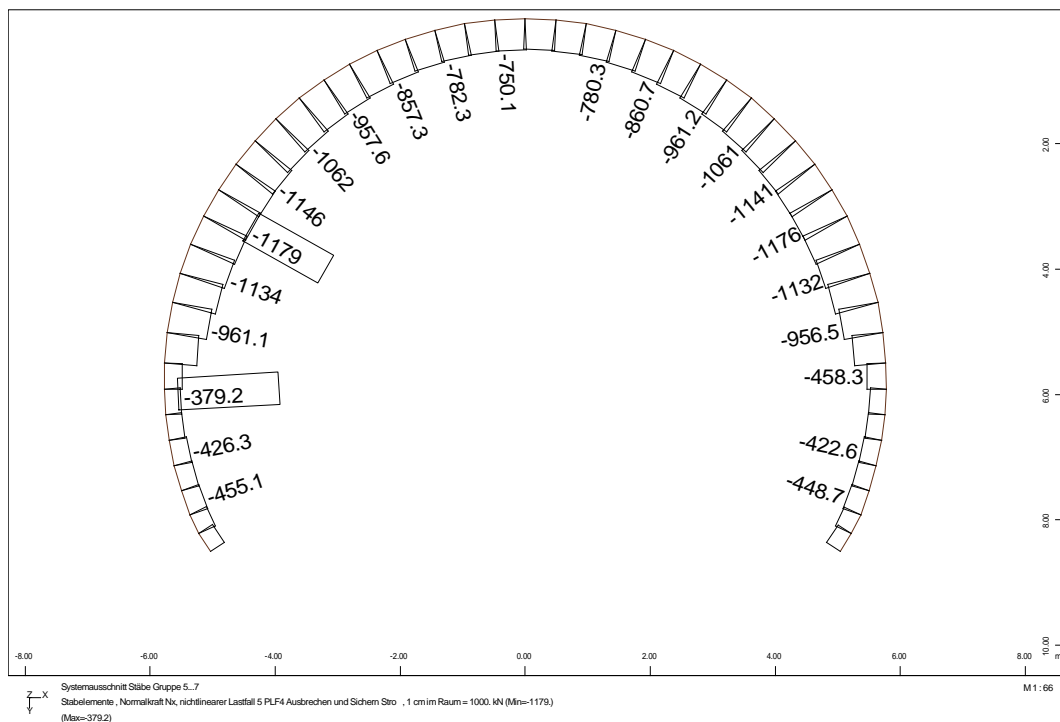


Bild 3.4: charakteristische Normalkräfte der Außenschale, Strossenausbruch

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 38
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

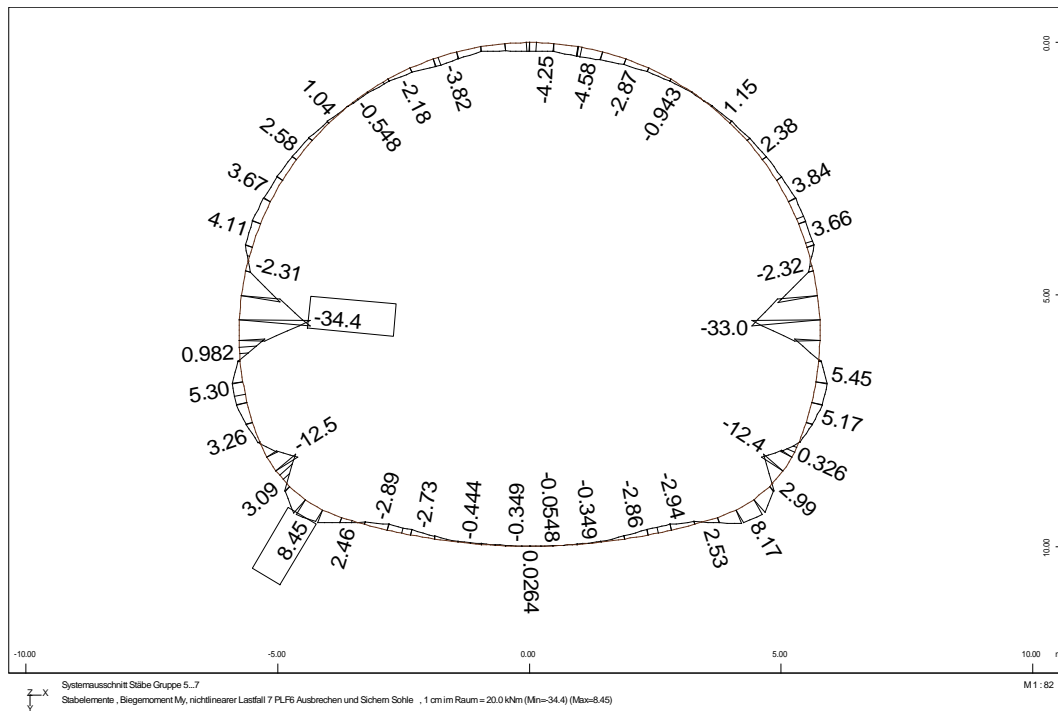


Bild 3.5: charakteristische Biegemomente der Außenschale, Vollausbuch

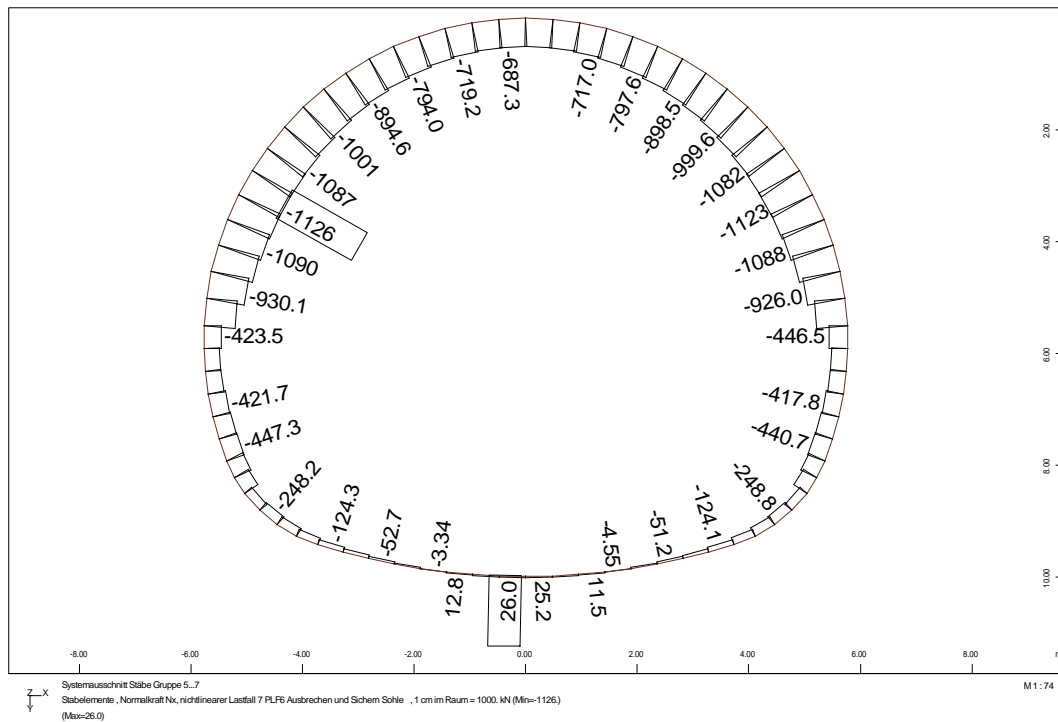


Bild 3.6: charakteristische Normalkräfte der Außenschale, Vollausbuch

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 39
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

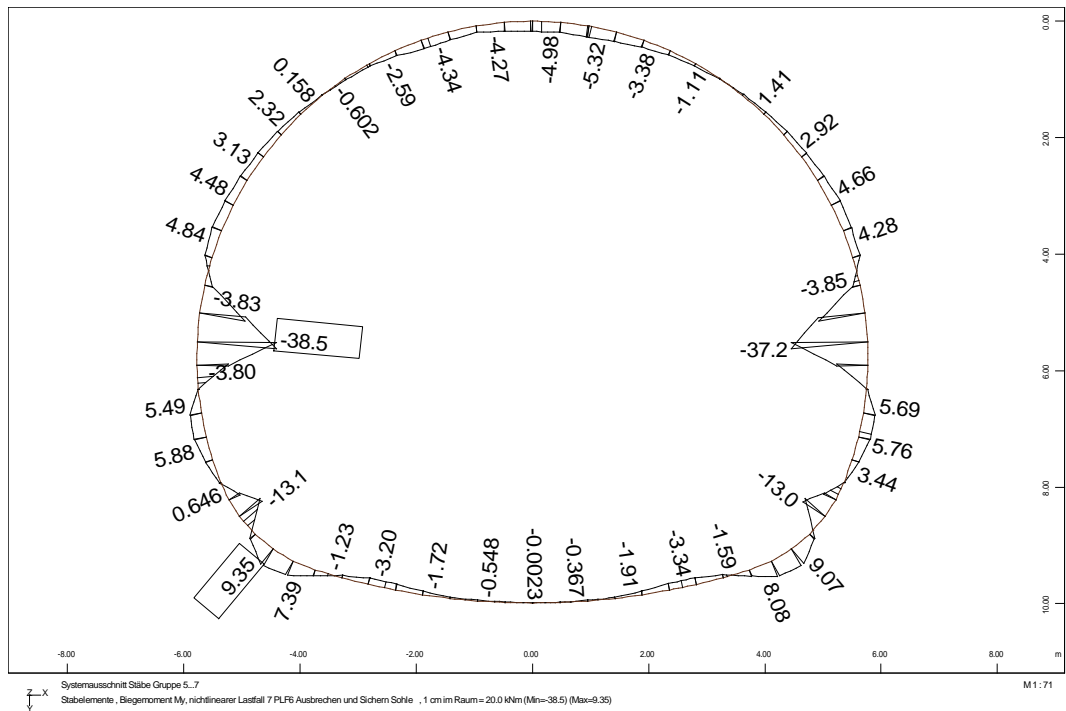


Bild 3.5: charakteristische Biegemomente der Außenschale, Vollausruch

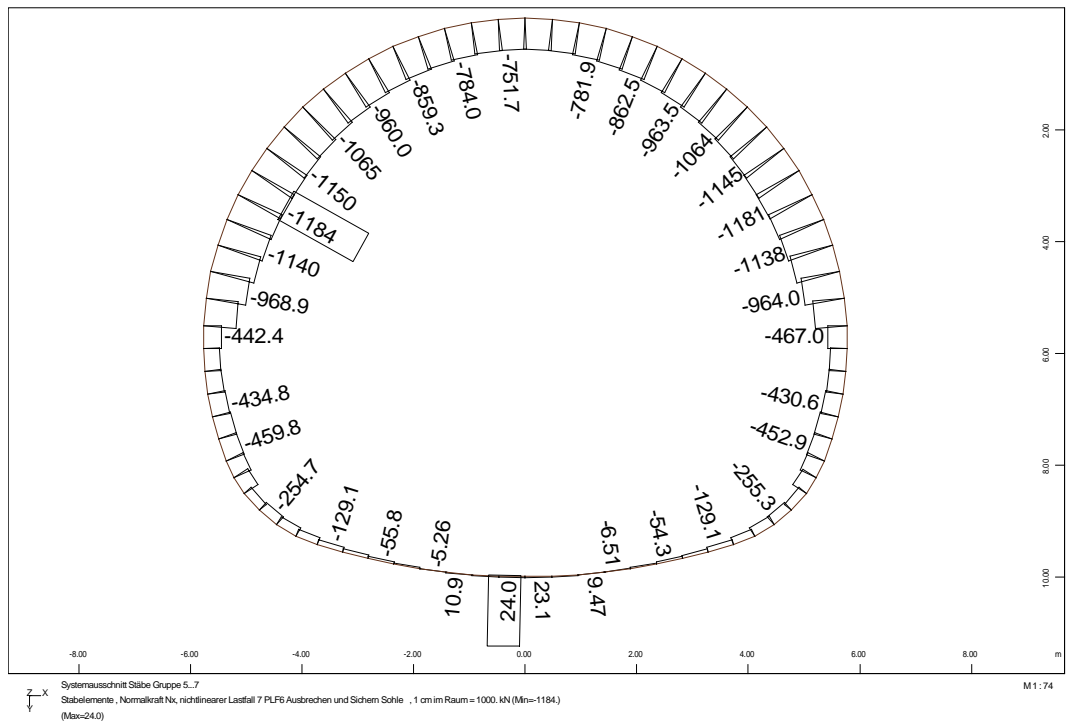


Bild 3.6: charakteristische Normalkräfte der Außenschale, Vollausruch

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 40
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.2 Innenschale - Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Auf den folgenden Seiten sind die Momentenlinien unter den charakteristischen Einwirkungen (1,0-fache Gebirgs- und Eigengewichtslasten, 1/1,35-fache Temperaturlasten) für die sechs Berechnungsschritte dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	
Vorgang:	3.2: Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.2 Innenschale - Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Auf den folgenden Seiten sind die Momentenlinien unter den charakteristischen Einwirkungen (1,0-fache Gebirgs- und Eigengewichtslasten, 1/1,35-fache Temperaturlasten) für die sechs Berechnungsschritte dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 42
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

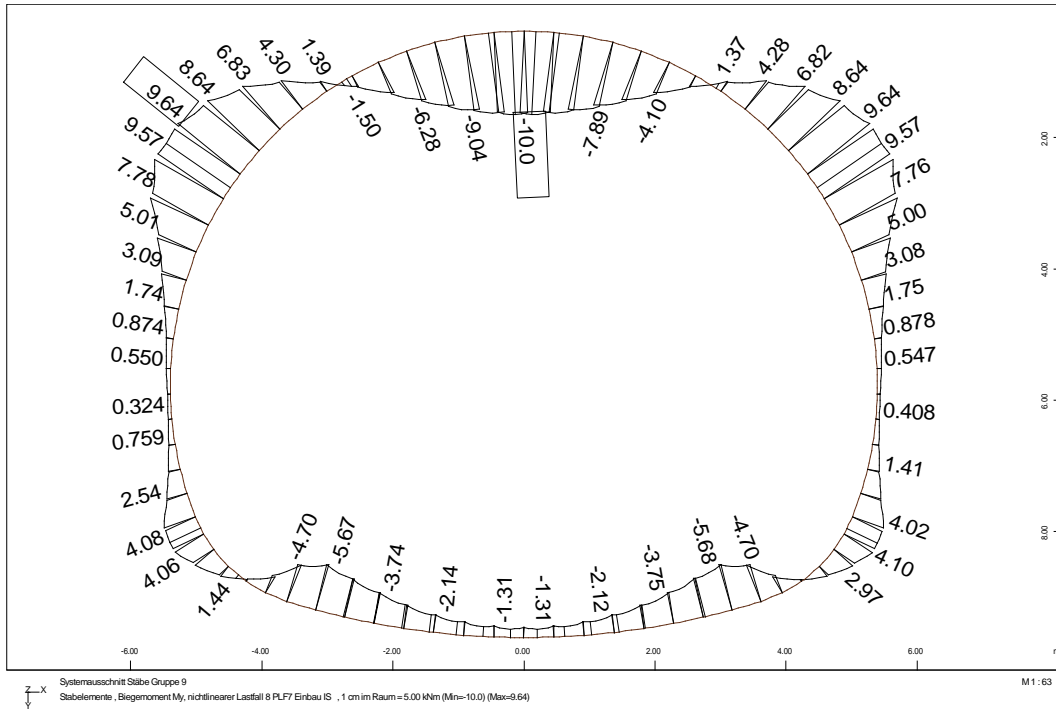


Bild 3.7: char.Biegemomente der Innenschale, Schritt 8 (EG)

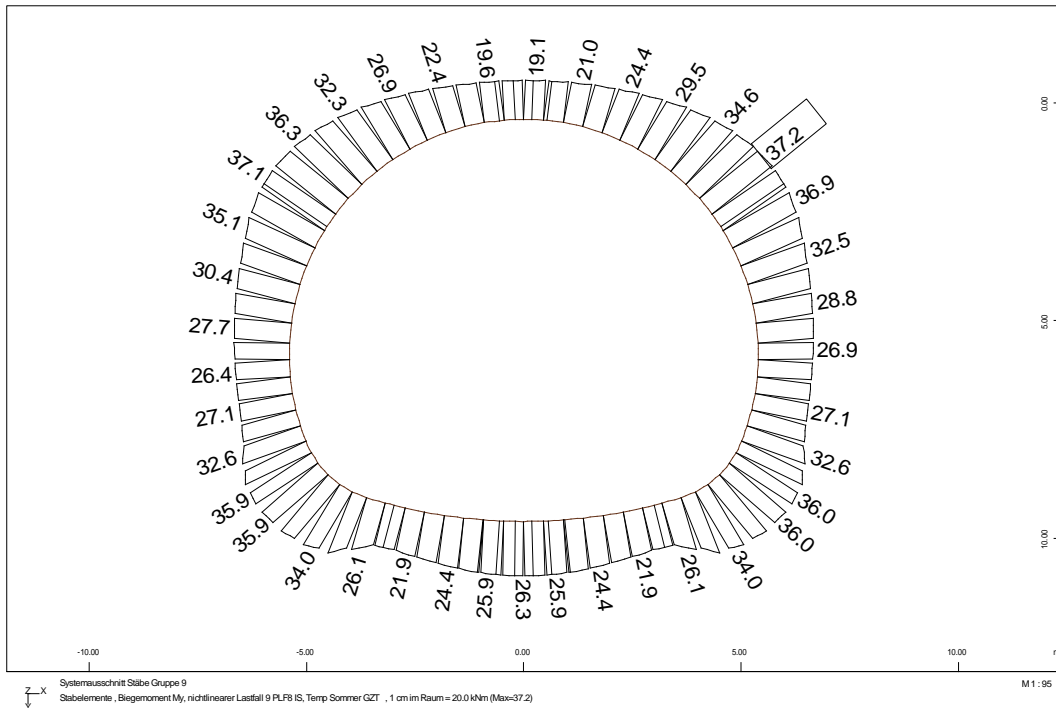


Bild 3.8: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 9 (EG + Som.GZT)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 43
Vorgang:	3.2: Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

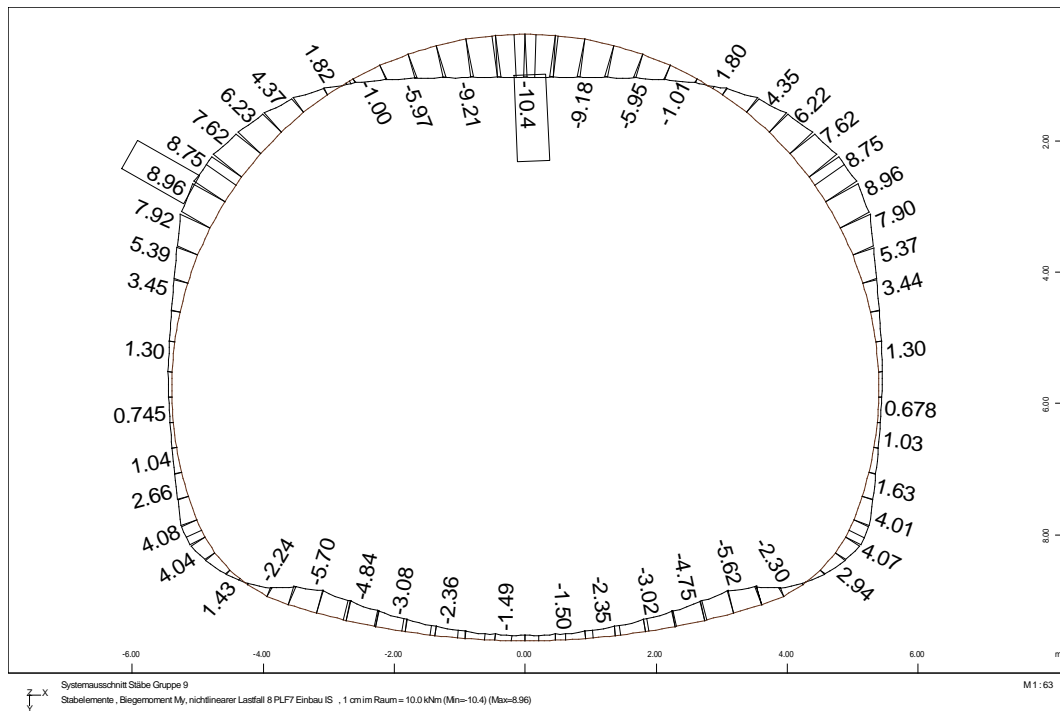


Bild 3.7: char.Biegemomente der Innenschale, Schritt 8 (EG)

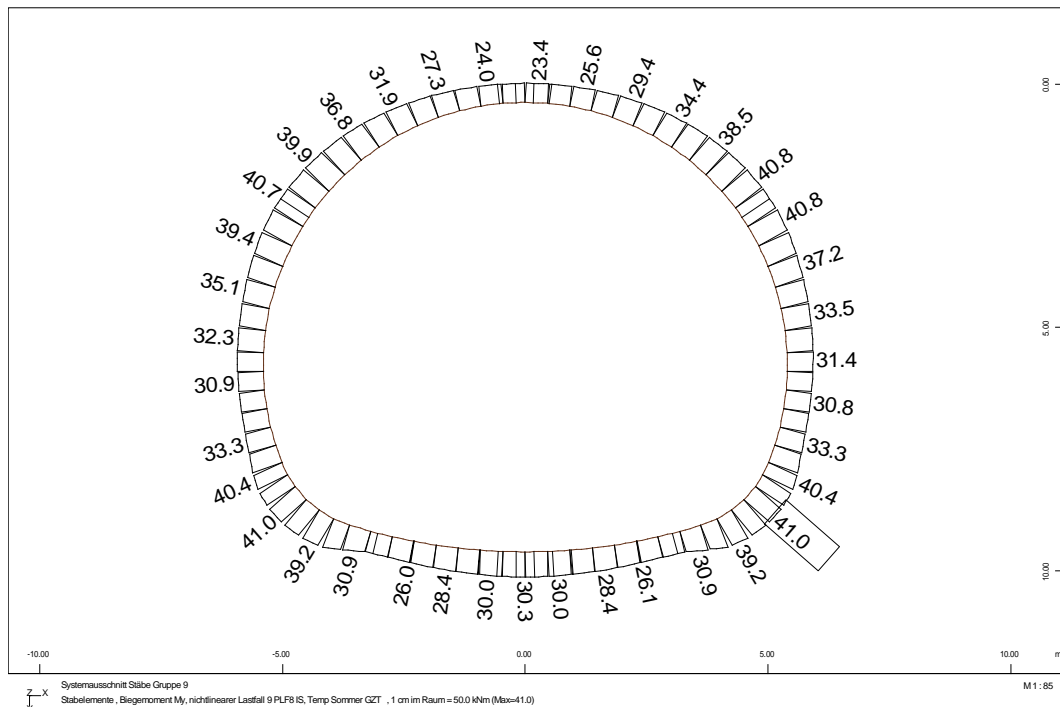


Bild 3.8: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 9 (EG + Som.GZT)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 44
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

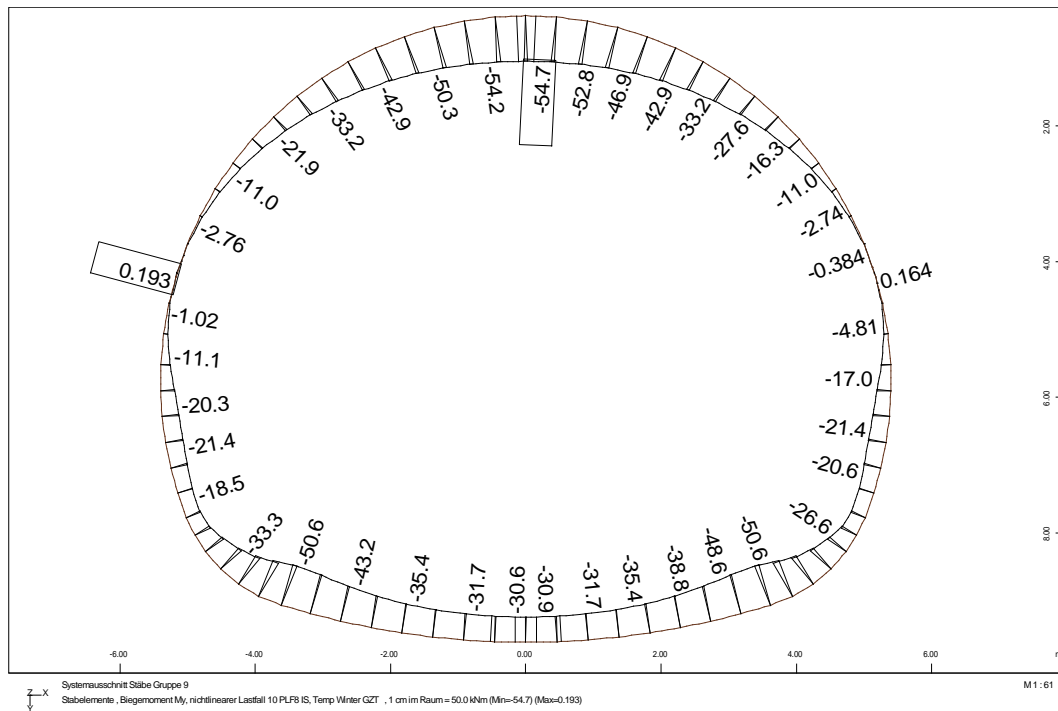


Bild 3.9: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 10 (EG + Win.GZT)

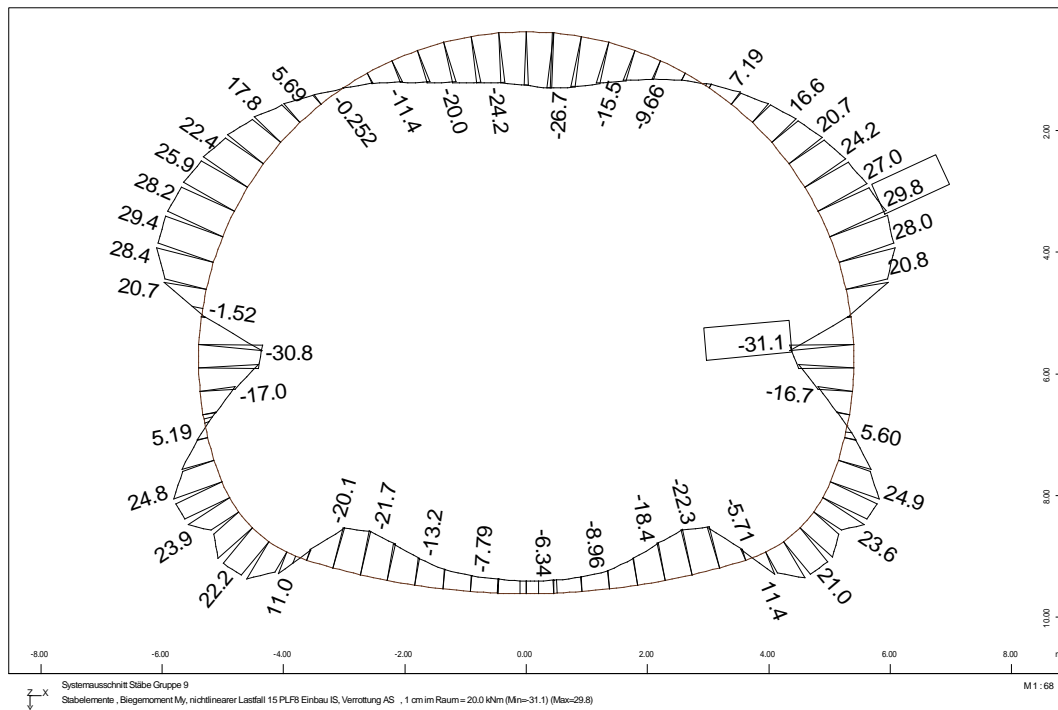


Bild 3.10: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 15 (EG, AS verrottet)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 45
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

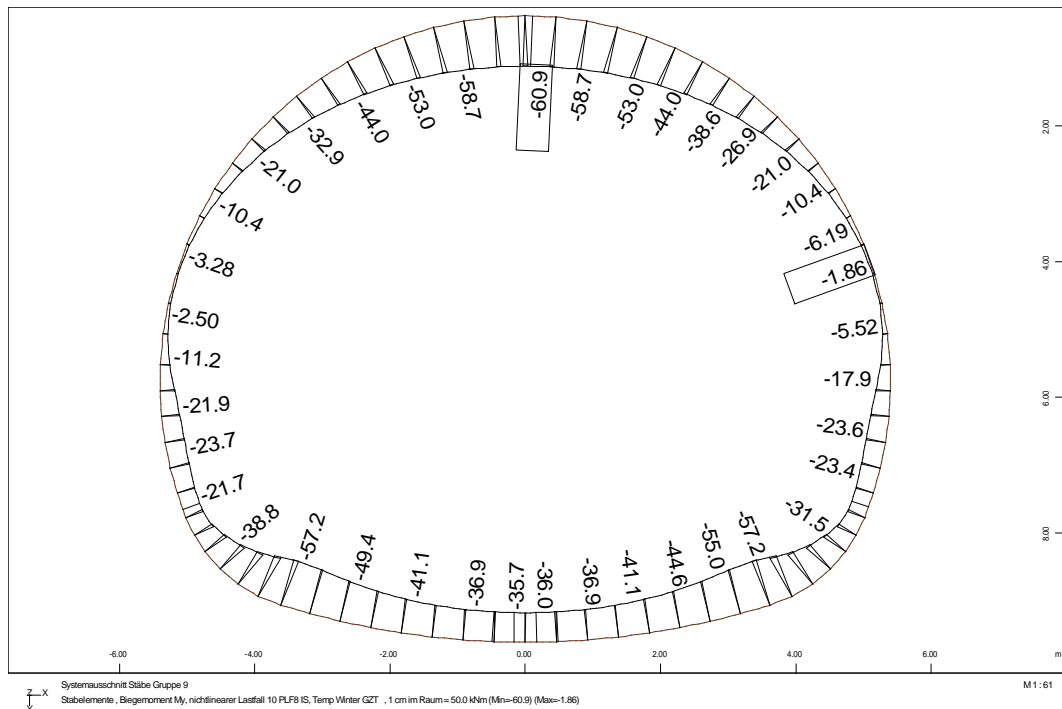


Bild 3.9: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 10 (EG + Win.GZT)

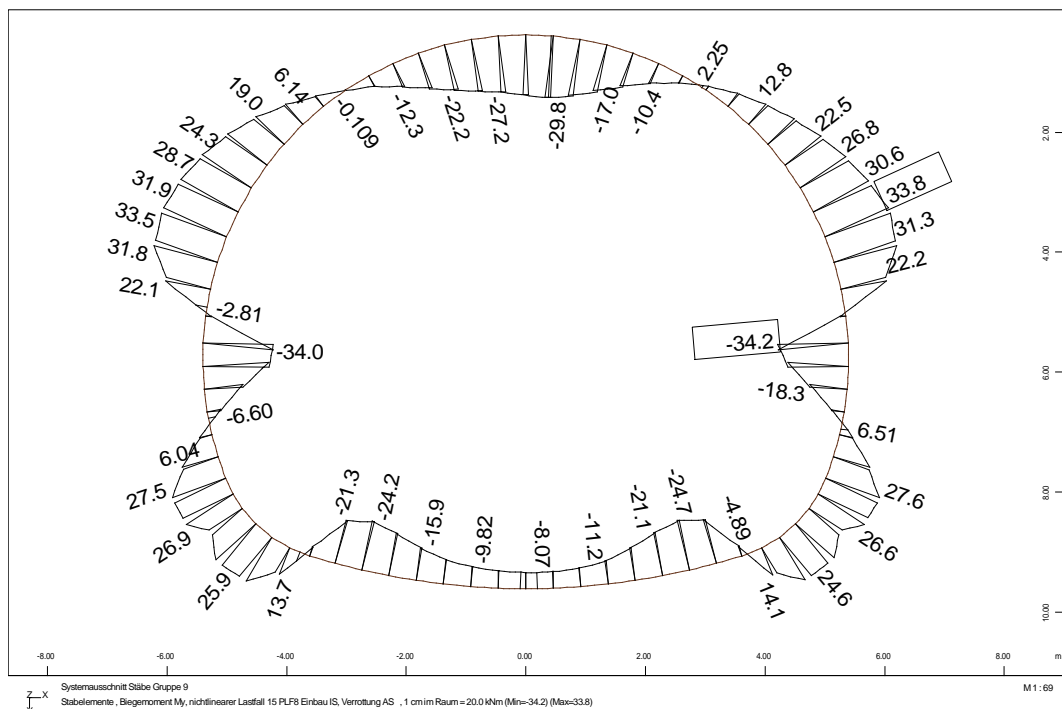


Bild 3.10: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 15 (EG, AS verrottet)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 46
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

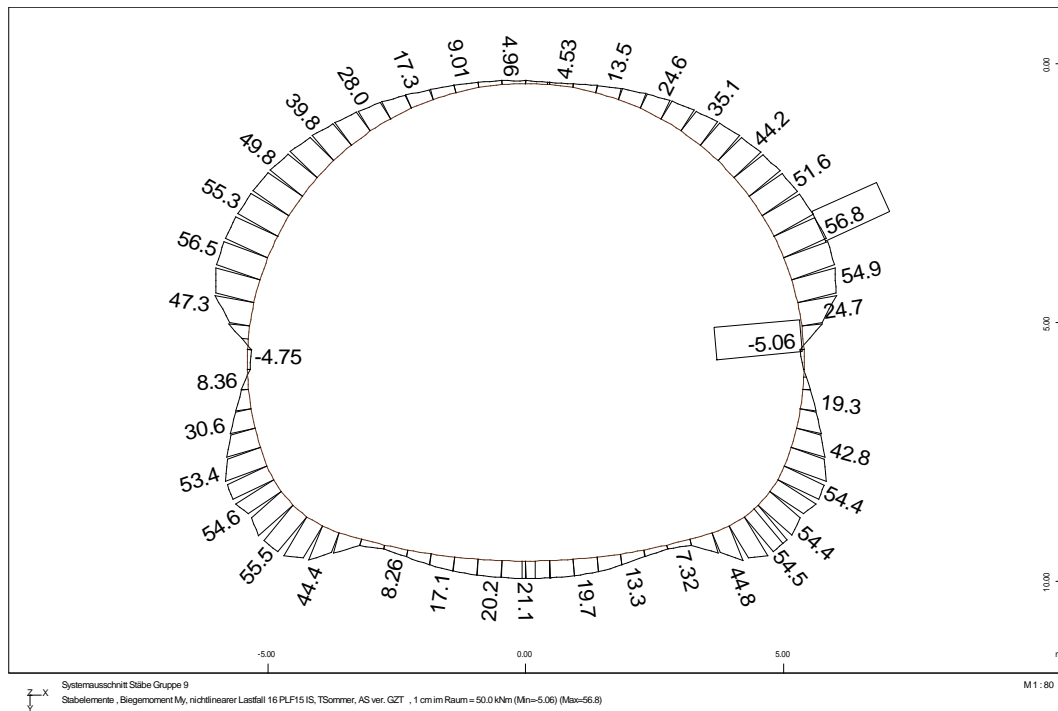


Bild 3.11: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 16 (EG + Som.GZT, AS verrottet)

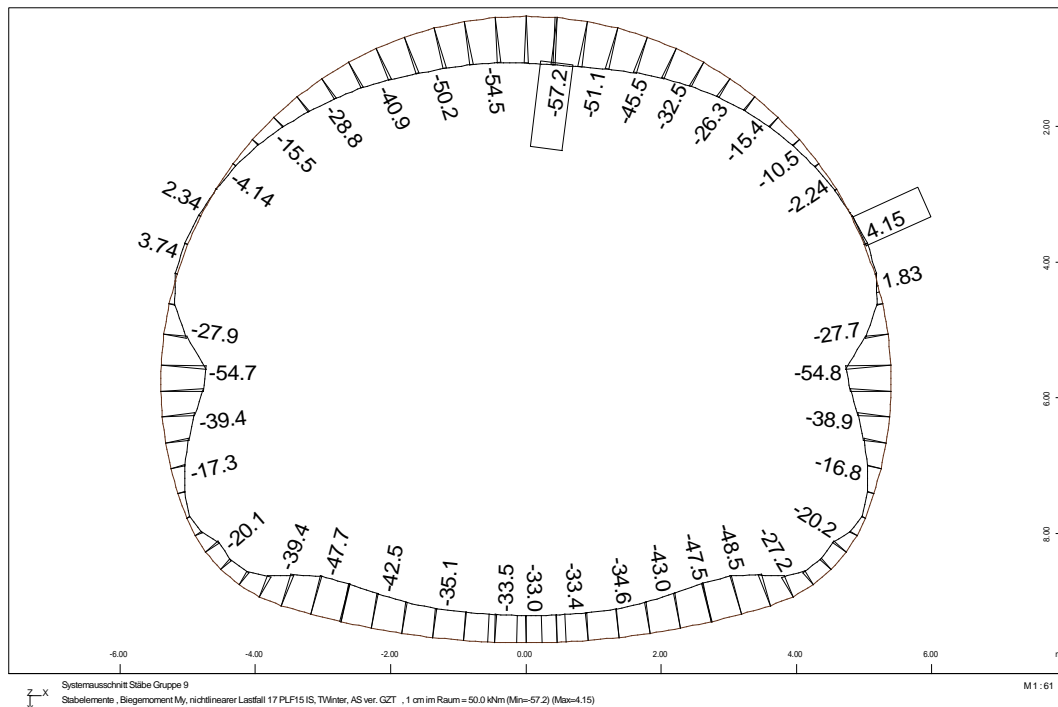


Bild 3.12: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 17 (EG + Win.GZT, AS verrottet)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 47
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

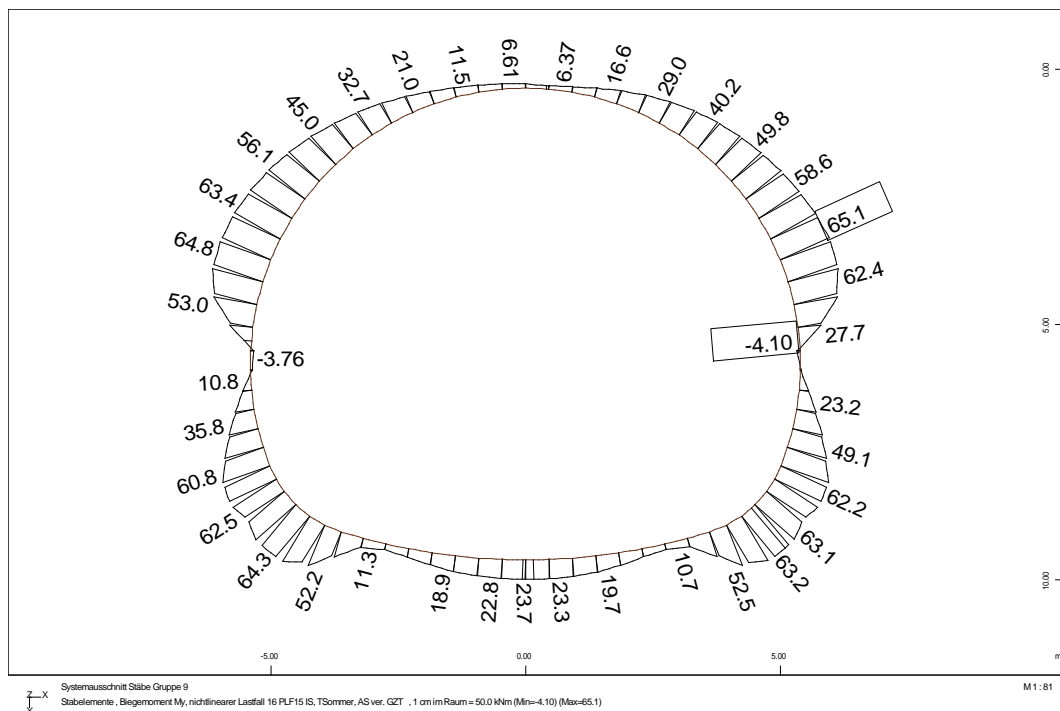


Bild 3.11: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 16 (EG + Som.GZT, AS verrottet)

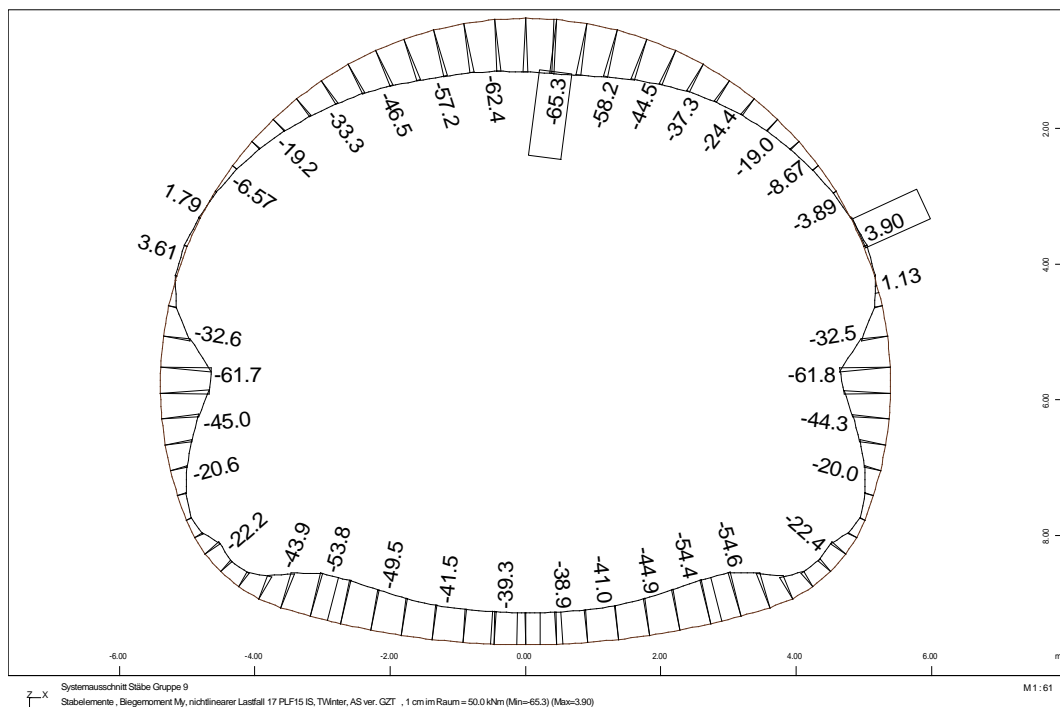


Bild 3.12: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 17 (EG + Win.GZT, AS verrottet)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 48
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.3 Innenschale - Schnittgrößen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Auf den folgenden Seiten sind die Momentenlinien unter der häufigen Einwirkungskombination (1,0-fache Gebirgs- und Eigengewichtslasten und 0,5-fache Temperaturlasten) für die vier maßgebenden Berechnungsschritte dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.3 Innenschale - Schnittgrößen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Auf den folgenden Seiten sind die Momentenlinien unter der häufigen Einwirkungskombination (1,0-fache Gebirgs- und Eigengewichtslasten und 0,5-fache Temperaturlasten) für die vier maßgebenden Berechnungsschritte dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 50
Vorgang:	3.3 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

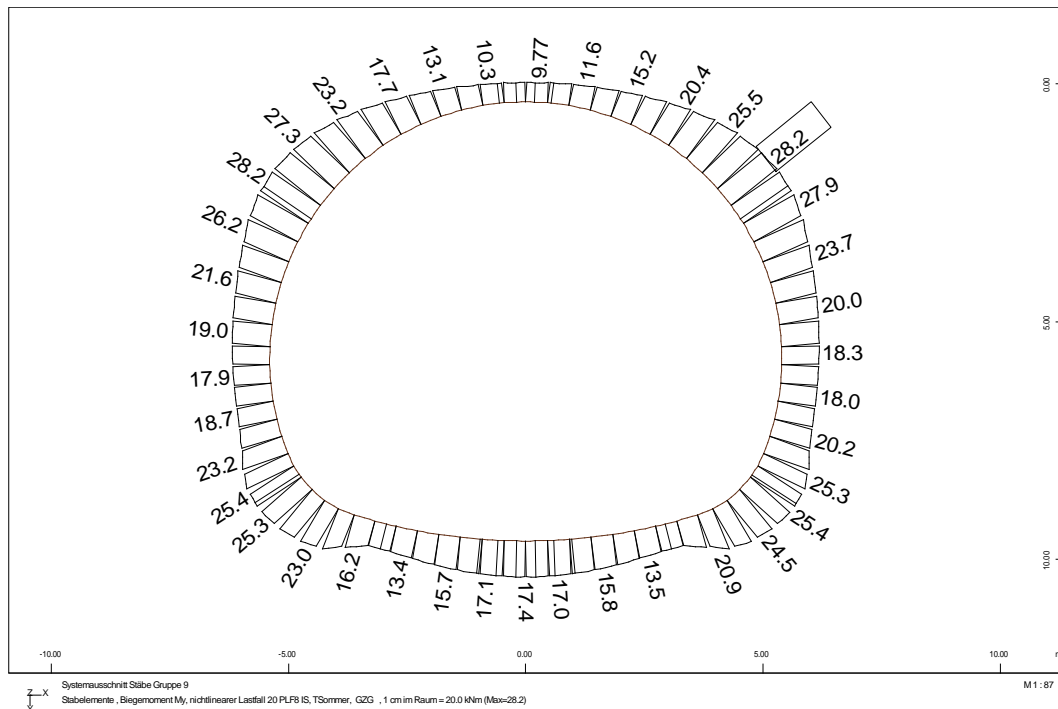


Bild 3.13: Biegemomente der Innenschale, Schritt 20 (EG + Som.GZG)

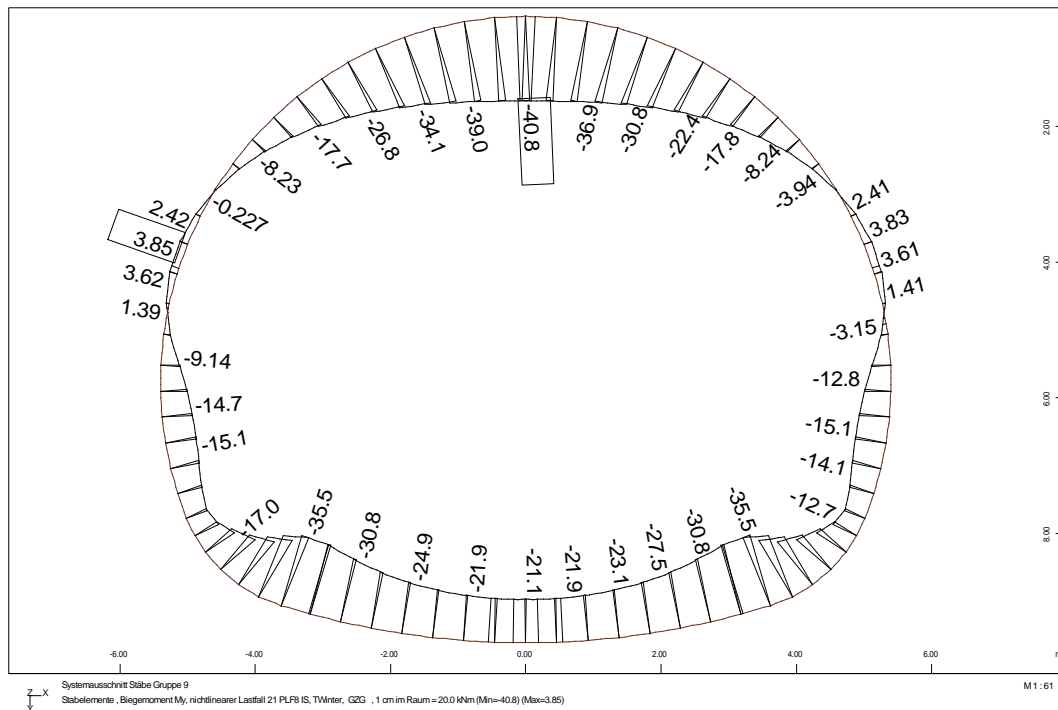


Bild 3.14: Biegemomente der Innenschale, Schritt 21 (EG + Win.GZG)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 51
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

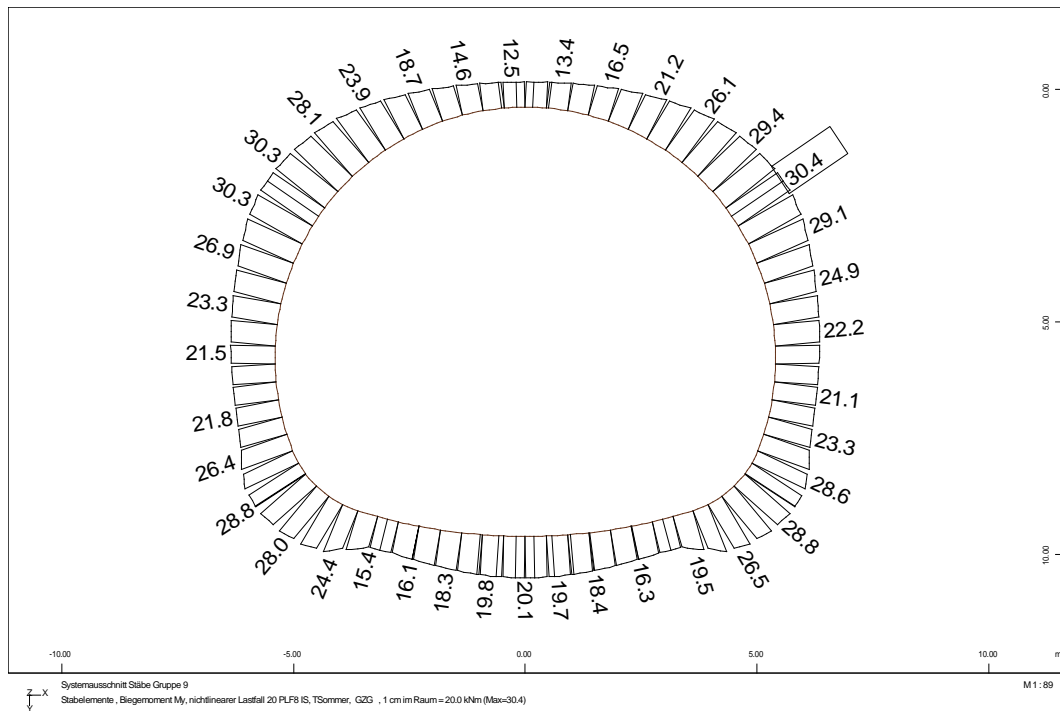


Bild 3.13: Biegemomente der Innenschale, Schritt 20 (EG + Som.GZG)

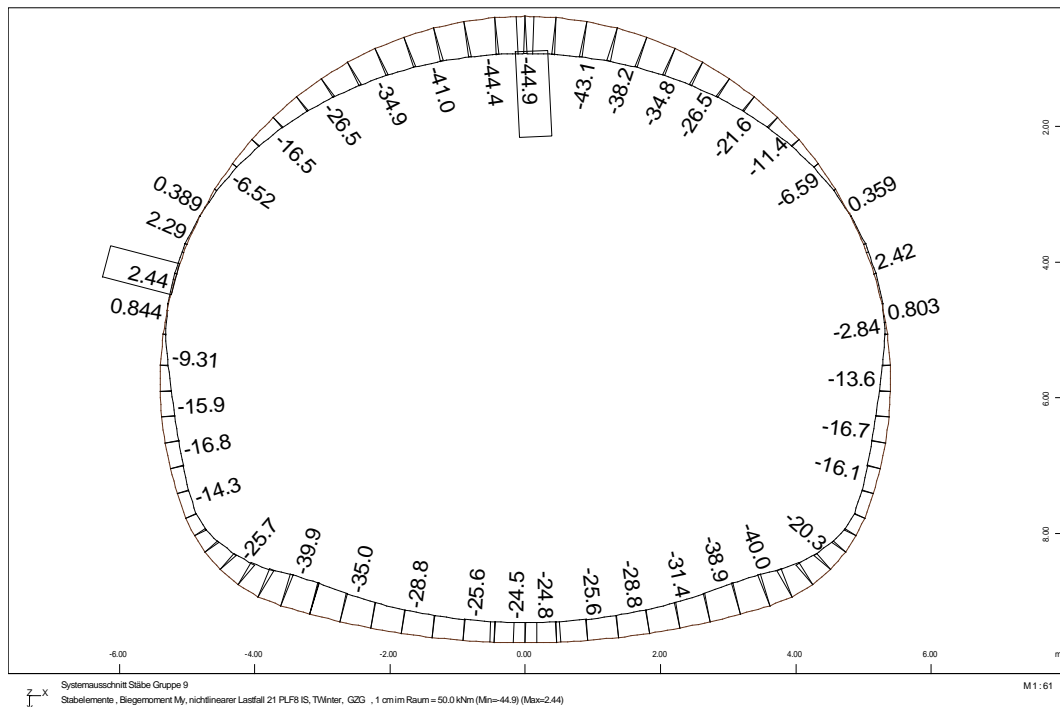


Bild 3.14: Biegemomente der Innenschale, Schritt 21 (EG + Win.GZG)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 52
Vorgang:	3.3 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

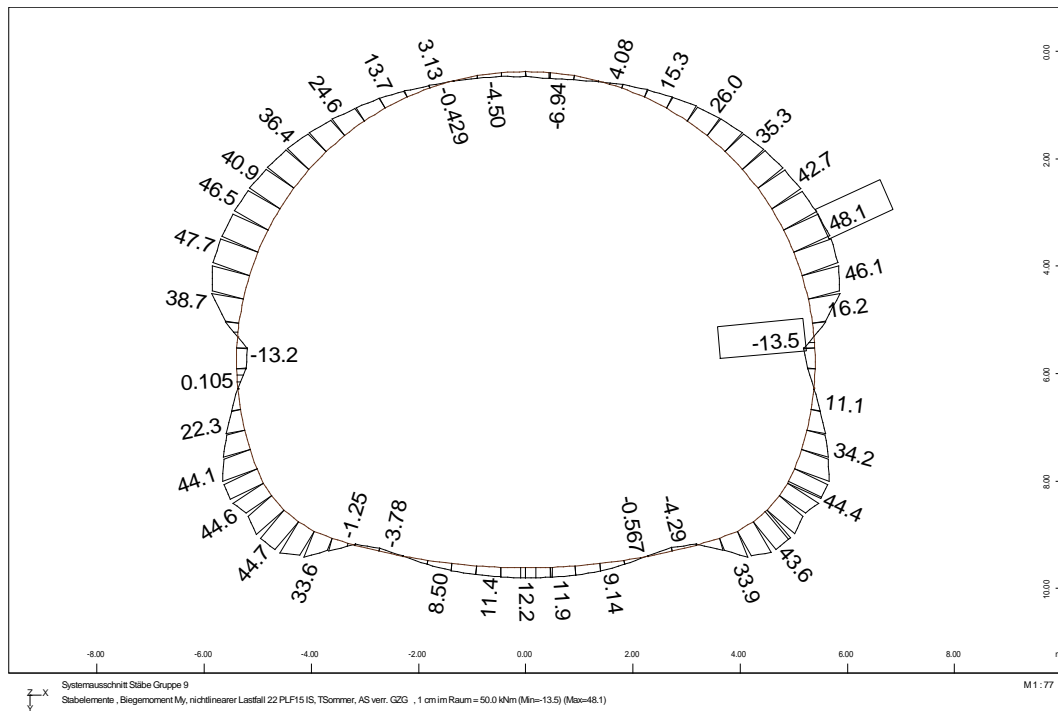


Bild 3.15: Biegemomente der Innenschale, Schritt 22 (EG + Som.GZG, AS verrottet)

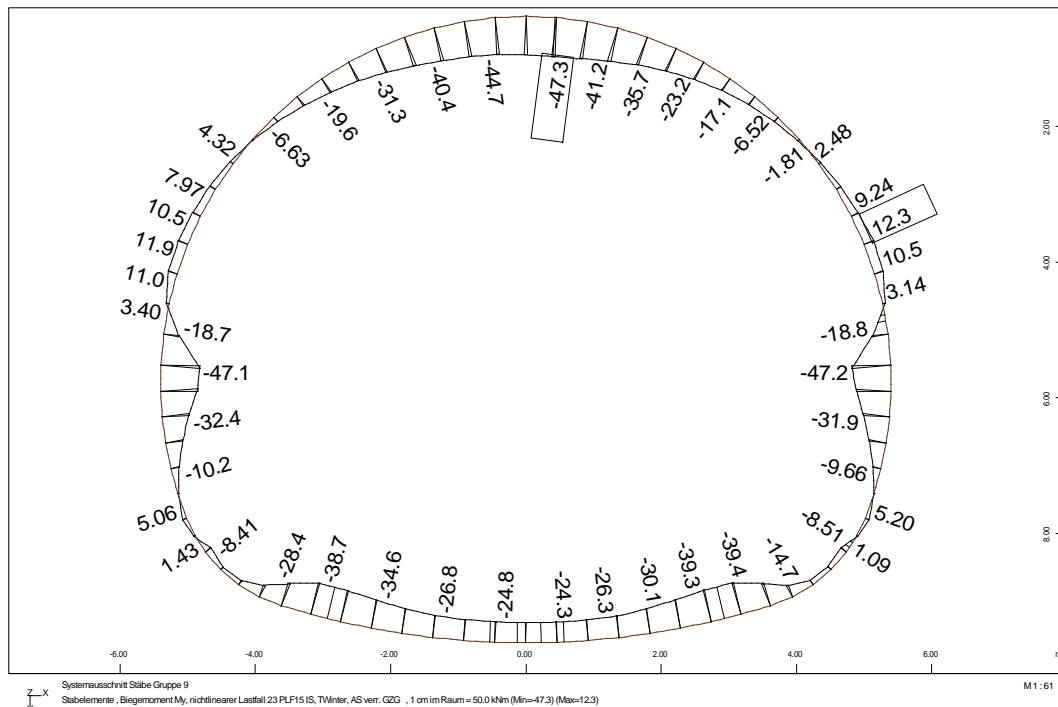


Bild 3.16: Biegemomente der Innenschale, Schritt 23 (EG + Win.GZG, AS verrottet)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 53
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

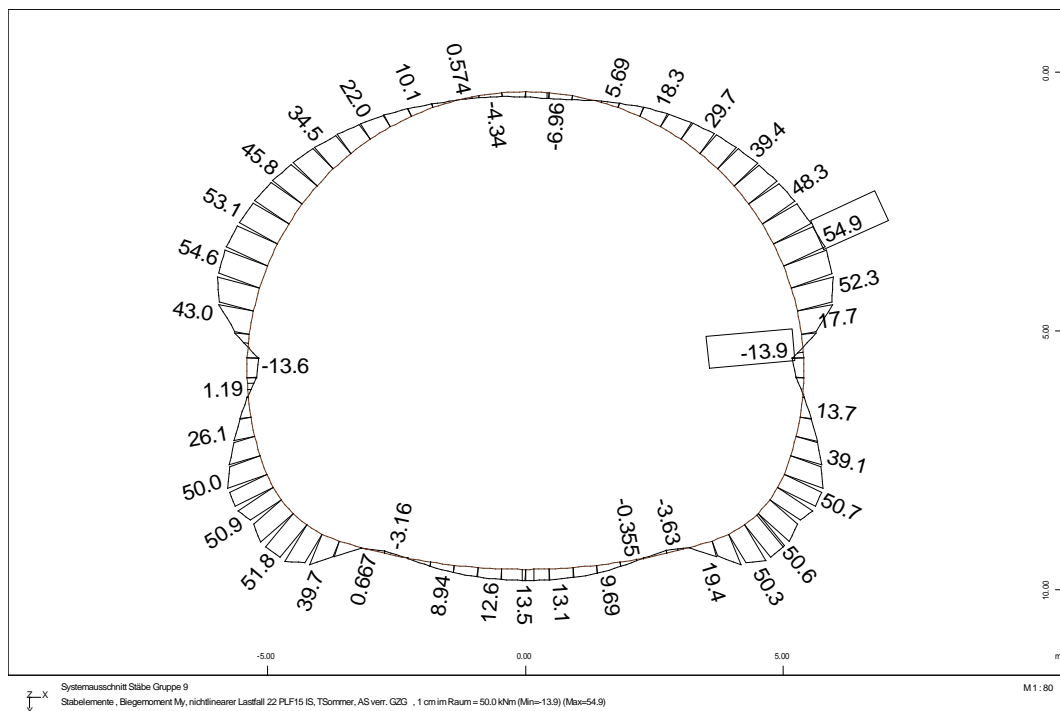


Bild 3.15: Biegemomente der Innenschale, Schritt 22 (EG + Som.GZG, AS verrottet)

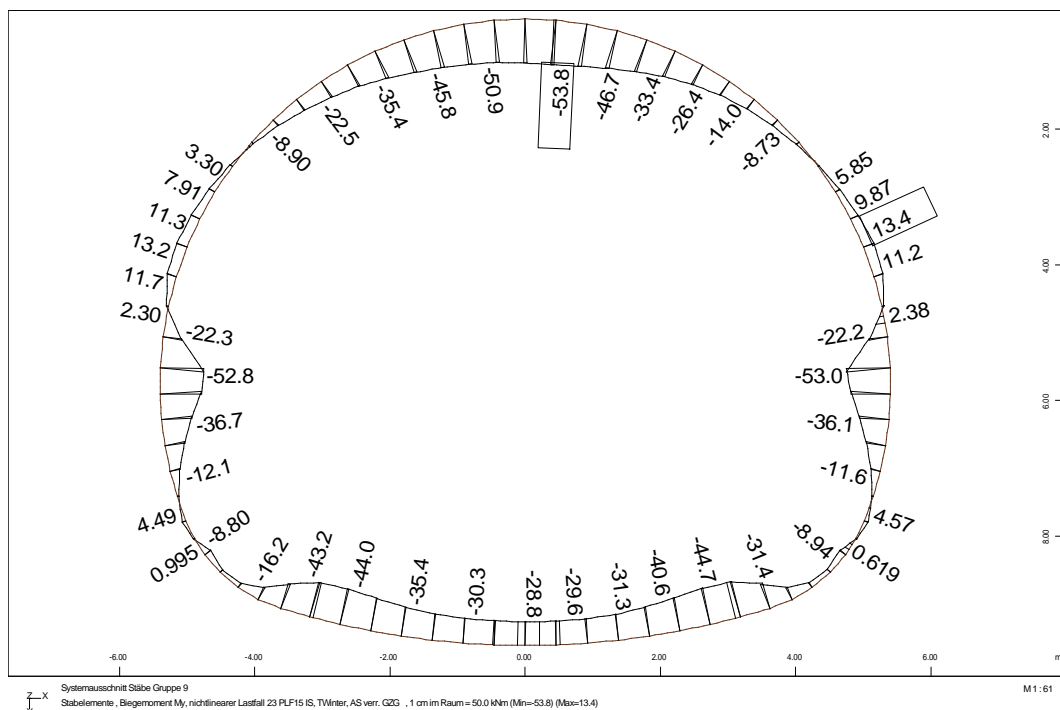


Bild 3.16: Biegemomente der Innenschale, Schritt 23 (EG + Win.GZG, AS verrottet)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 54
Vorgang:	3.3 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4. BEMESSUNG

### 4.1 Außenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Bemessung erfolgt programmintern gemäß DIN-Fachbericht 102. Aufgrund der langen Standzeit der Außenschale erfolgt die Bemessung mit den Teilsicherheiten des Lastfalles 1 gemäß DIN 1054, Tabelle 2.

Die Bemessungsschnittgrößen werden programmintern durch Multiplikation der charakteristischen Schnittgrößen mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_g = 1,35$  für ständige Lasten ermittelt.

Die Bemessungsergebnisse werden im Folgenden grafisch dargestellt. Es zeigt sich, dass abgesehen von einer minimalen Bewehrung in der Sohle, die aus einer numerisch entstandenen, aber tatsächlich nicht vorhandenen Zugkraft in Sohlmitte resultiert, keine Biegebewehrung erforderlich ist.

Konstruktiv wird eine zweilagige Mattenbewehrung (Q188A außen und innen) vorgesehen.

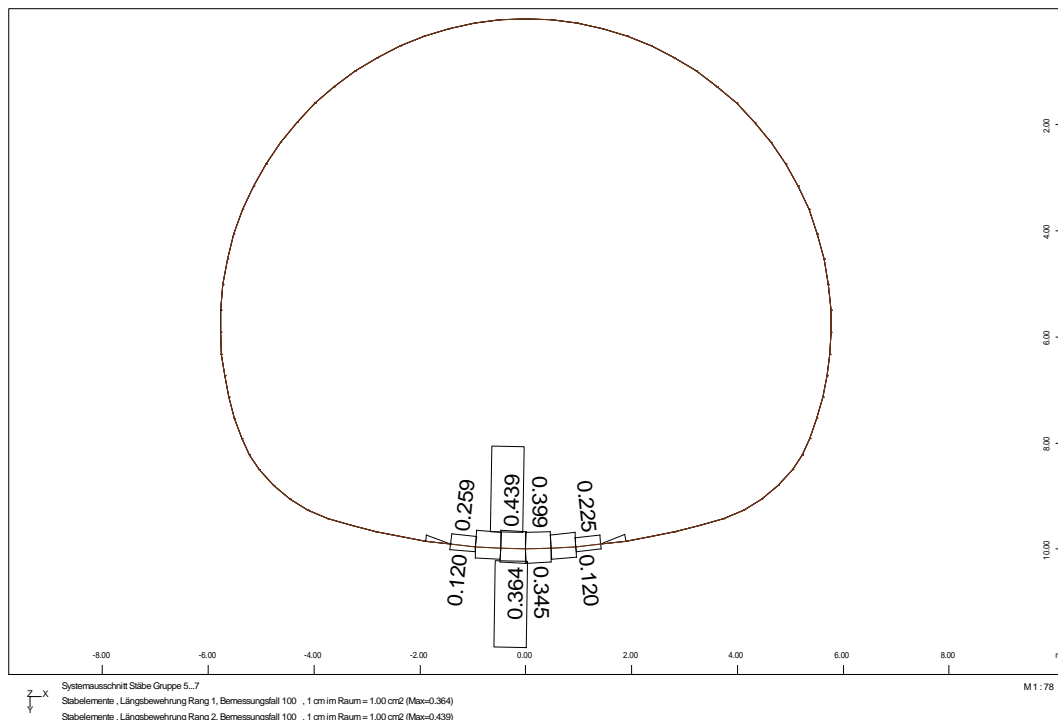


Bild 4.1: statisch erforderliche Biegebewehrung der Außenschale

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 55
Vorgang:	4.1 Außenschale – Nachweise im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. BEMESSUNG

##### 4.1 Außenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Bemessung erfolgt programmintern gemäß DIN EN 1992-2. Aufgrund der langen Standzeit der Außenschale erfolgt die Bemessung mit den Teilsicherheiten der Bemessungssituation BS-P gemäß DIN 1054, Tabelle A2.1.

Die Bemessungsschnittgrößen werden programmintern durch Multiplikation der charakteristischen Schnittgrößen mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_g = 1,35$  für ständige Lasten ermittelt.

Die Bemessungsergebnisse werden im Folgenden grafisch dargestellt. Es zeigt sich, dass abgesehen von einer minimalen Bewehrung in der Sohle, die aus einer numerisch entstandenen, aber tatsächlich nicht vorhandenen Zugkraft in Sohlmitte resultiert, keine Biegebewehrung erforderlich ist.

Konstruktiv wird eine zweilagige Mattenbewehrung (Q188A außen und innen) vorgesehen.

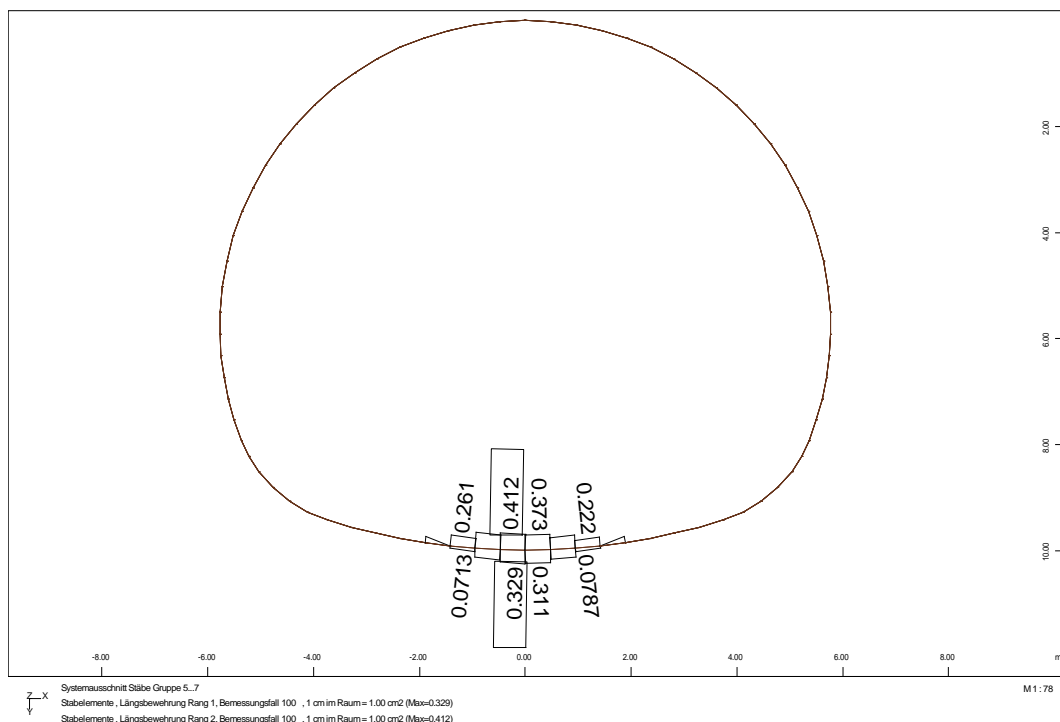


Bild 4.1: statisch erforderliche Biegebewehrung der Außenschale

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 56
Vorgang:	4.1 Außenschale – Nachweise im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.2 Innenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Biege- und Schubbemessung erfolgt programmintern gemäß DIN-Fachbericht 102. Die Bemessungsschnittgrößen werden programmintern durch Multiplikation der charakteristischen Schnittgrößen mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_g = 1,35$  für ständige Lasten (und  $\gamma_T = 1,0$  für Temperaturlasten) ermittelt.

Die Bemessungsergebnisse für Biegung werden im Folgenden grafisch dargestellt. Schubbewehrung ist nicht erforderlich.

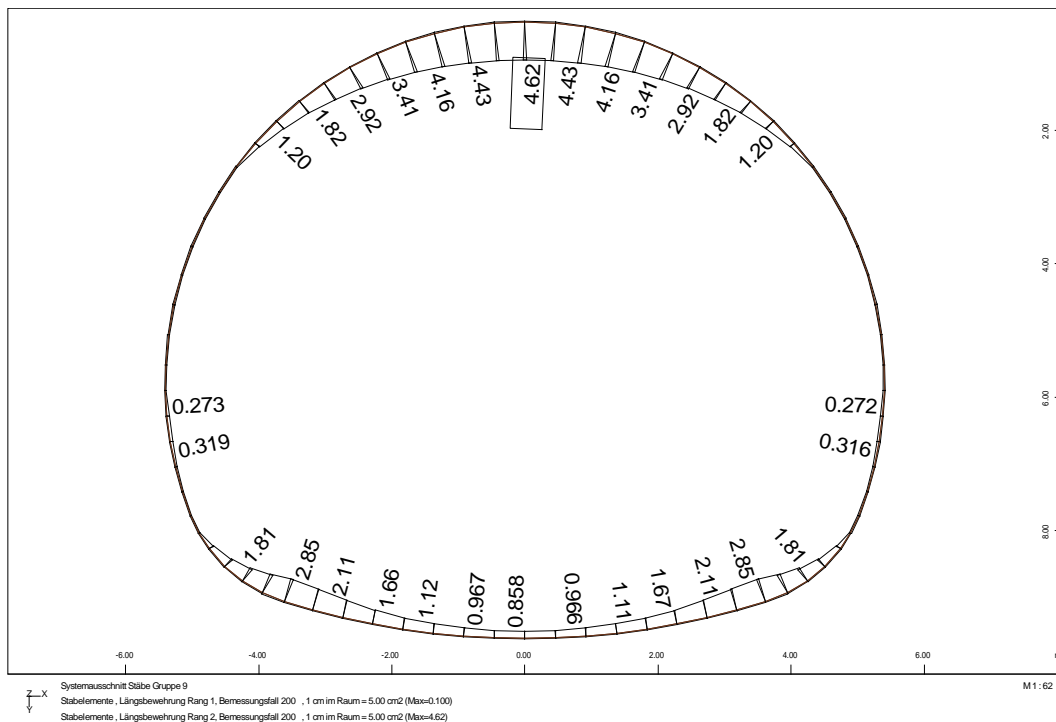


Bild 4.2: statisch erforderliche Biegebewehrung der Innenschale

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 57
Vorgang:	4.2 Innenschale – Nachweise im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.2 Innenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Biege- und Schubbemessung erfolgt programmintern gemäß DIN EN 1992-2. Die Bemessungsschnittgrößen werden programmintern durch Multiplikation der charakteristischen Schnittgrößen mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_g = 1,35$  für ständige Lasten (und  $\gamma_T = 1,0$  für Temperaturlasten) ermittelt.

Die Bemessungsergebnisse für Biegung werden im Folgenden grafisch dargestellt. Schubbewehrung ist nicht erforderlich.

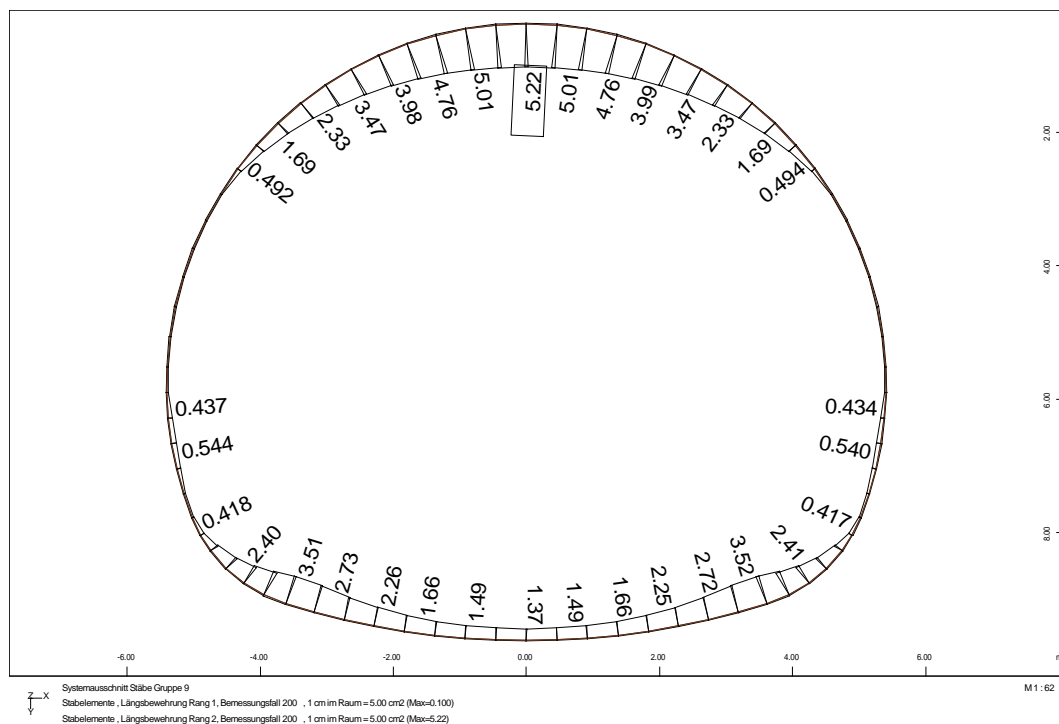


Bild 4.2: statisch erforderliche Biegebewehrung der Innenschale

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 58
Vorgang:	4.2 Innenschale – Nachweise im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 4.3 Innenschale – Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Gemäß ZTV-ING T5, Abschnitt 1, 3.4.1 wird für die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung die häufige Einwirkungskombination angesetzt.

Die Bemessungsschnittgrößen werden programmintern durch Multiplikation der charakteristischen Schnittgrößen mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_g = 1,0$  für ständige Lasten (und  $\psi_2 = 0,50$  für Temperaturlasten) ermittelt

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.4.2

Die zulässige rechnerische Rissbreite für die wu-Betonkonstruktion beträgt:

$w_{k,cal} = 0,20$  mm (Luftseite)

$w_{k,cal} = 0,15$  mm (Erdseite).

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.4.4

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erfolgt programmintern unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Stabdurchmessers von 10 mm.

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung erfolgen durch direkte Berechnung gemäß DIN-Fachbericht 102, II, 4.4.2.4.

Der Rechenwert der Rissbreite ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\sigma_s = \frac{3,6 \cdot w_k \cdot \text{eff } \rho_p \cdot E_s}{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho_p} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho_p)}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
Gl. (4.201) bis (4.203)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \left( \sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho_p} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho_p) \right)}{3,6 \cdot \text{eff } \rho_p \cdot E_s}$$

mit  $\text{eff } \rho_p = A_s / A_{c,eff}$

$A_{c,eff} = 2,5 \cdot b \cdot (h - d)$

$\alpha_e = E_s / E_{cm}$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
Gl. (4.200a)  
DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3,  
Abb. 4-137d)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 59
Vorgang:	4.3 Innenschale – Nachweise im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 4.3 Innenschale – Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Gemäß ZTV-ING T5, Abschnitt 1, 3.4.1 wird für die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung die häufige Einwirkungskombination angesetzt.

Die Bemessungsschnittgrößen werden programmintern durch Multiplikation der charakteristischen Schnittgrößen mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_g = 1,0$  für ständige Lasten (und  $\psi_2 = 0,50$  für Temperaturlasten) ermittelt

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.3.4

Die zulässige rechnerische Rissbreite für die wu-Betonkonstruktion beträgt:

$$w_{k,cal} = 0,20 \text{ mm (Luftseite)}$$

$$w_{k,cal} = 0,15 \text{ mm (Erdseite).}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.3.4.4

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erfolgt programmintern unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Stabdurchmessers von 10 mm. Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung erfolgen durch direkte Berechnung gemäß DIN EN 1992-2, 7.3.4.

Der Rechenwert der Rissbreite ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\sigma_s = \frac{3,6 \cdot w_k \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}$$

DIN EN 1992-2, 7.3.4, Gl. (7.8), (7.9) und NDP zu 7.3.4(3)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \left( \sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right)}{3,6 \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}$$

mit  $\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot b \cdot (h - d)$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

DIN EN 1992-1-1, Gl. (7.10)

DIN EN 1992-2, NCI zu 7.3.3 (2)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 60
Vorgang:	4.3 Innenschale – Nachweise im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Der Nachweis der Begrenzung der Betondruckspannung auf  $0,6 f_{ck}$  gemäß DIN-FB 102, II, 4.4.1.2 ist bei Tunnelbauwerken nicht zu führen, da durch die vergrößerte Betondeckung von 6 cm und die außen liegende Längsbewehrung die Entstehung von Quersugrissen verhindert wird.

Die erforderliche Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite ist dem folgenden Ausdruck zu entnehmen.

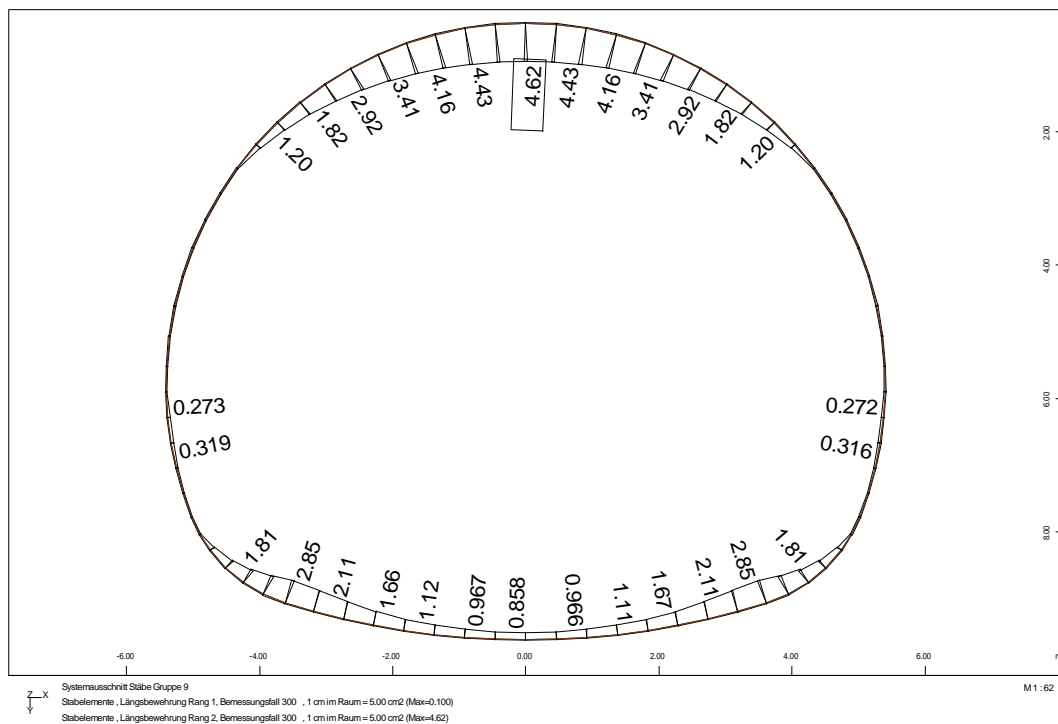


Bild 4.3: erforderliche Biegebewehrung der Innenschale zur Rissbreitenbeschränkung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 61
Vorgang:	4.3 Innenschale – Nachweise im GZ der Gebrauchstauglichkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Der Nachweis der Begrenzung der Betondruckspannung auf  $0,6 f_{ck}$  gemäß DIN EN 1992-2, 7.2 (102) ist bei Tunnelbauwerken nicht zu führen, da durch die vergrößerte Betondeckung von 6 cm und die außen liegende Längsbewehrung die Entstehung von Querspannungen verhindert wird.

Die erforderliche Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite ist dem folgenden Ausdruck zu entnehmen.

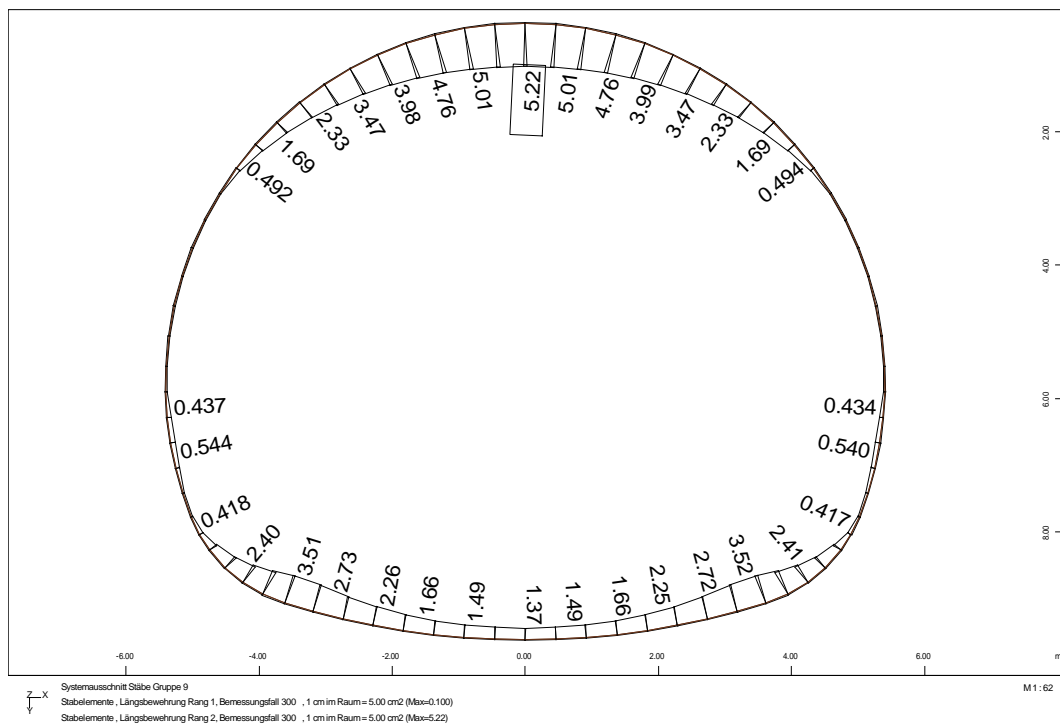


Bild 4.3: erforderliche Biegebewehrung der Innenschale zur Rissbreitenbeschränkung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 62
Vorgang:	4.3 Innenschale – Nachweise im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.4 Mindestbewehrung

### 4.4.1 Mindestbewehrung allgemein

Mindestbewehrung für wu-Beton-Konstruktionen

$$a_{smin} = 3,9 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 7.2.2 (2)

### 4.4.2 Mindestbewehrung in Längsrichtung

#### Mindestbewehrung für Querkontraktion

$$A_{s,q} = 0,20 \cdot A_{s,l}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 5.4.3.2.1 (2)

#### Mindestbewehrung aus Zwang

Aufgrund der Schwindbehinderung ist oberhalb der Arbeitsfuge eine erhöhte Mindestbewehrung in Längsrichtung erforderlich. Diese wird nach DIN-Fachbericht 102 ermittelt.

ZTV-ING, T5, Abschn.1, 3.4.4 (4)

Es gilt:

$$W_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

mit  $s_{r,max} = d_s / (3,6 \text{ eff } \rho)$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \sigma_{sr} - 0,4 f_{ct,eff} / \text{eff } \rho \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho) / E_s$$

$$\text{eff } \rho = A_s / A_{c,eff}$$

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot d_1 \leq (h - x) / 2$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.201)

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.203)

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.202)

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Gl. (4.200a)

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Abb. 4.137

Die Anrissspannung  $\sigma_{sr}$  wird aus der Mindestbewehrung bestimmt unter Ansatz von  $\sigma_s = \sigma_{sr}$

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_{sr}$$

mit  $k_c = 1,0$  für Zug

$$k = 0,8 \text{ für } h \leq 300 \text{ mm}$$

$$\text{bzw. } k = 0,5 \text{ für } h \geq 800 \text{ mm}$$

$$f_{ct,eff} = 0,50 \cdot f_{ctm}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.2 (5), Gl. (4.194)

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.2 (5), Gl. (4.195)

$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$

Die ermittelte Bewehrung wird konstruktiv bis 3 m Höhe über der Arbeitsfuge eingelegt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	4. Bemessung		Seite 63
Vorgang:	4.4 Mindestbewehrung		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.4 Mindestbewehrung

### 4.4.1 Mindestbewehrung allgemein

Mindestbewehrung für wu-Beton-Konstruktionen

$$a_{smin} = 3,9 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 7.2.2 (2)

### 4.4.2 Mindestbewehrung in Längsrichtung

#### Mindestbewehrung für Querkontraktion

$$A_{s,q} = 0,20 \cdot A_{s,l}$$

DIN EN 1992-1-1, 9.3.1.1 (2)

#### Mindestbewehrung aus Zwang

Aufgrund der Schwindbehinderung ist oberhalb der Arbeitsfuge eine erhöhte Mindestbewehrung in Längsrichtung erforderlich. Diese wird nach DIN EN 1992-2 ermittelt.

ZTV-ING, T5, Abschn.1, 3.3.4.4 (4)

Es gilt:

$$W_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

DIN-EN 1992-2, 7.3.4, Gl. (7.8)

mit  $s_{r,max} = d_s / (3,6 \rho_{p,eff})$

DIN-EN 1992-2, 7.3.4, NDP zu 7.3.4 (3)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \sigma_{sr} - 0,4 f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) / E_s$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.4, Gl. (7.9)

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.4, Gl. (7.10)

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot (h - d) \leq (h - x) / 3 \leq h / 2$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.2 (3)

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Die Anrissspannung  $\sigma_{sr}$  wird aus der Mindestbewehrung bestimmt unter Ansatz von  $\sigma_s = \sigma_{sr}$

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_{sr}$$

DIN-EN 1992-2, 7.3.2, Gl. (7.1)

mit  $k_c = 1,0$  für Zug

DIN-EN 1992-2, 7.3.2

$$k = 0,8 \text{ für } h \leq 300 \text{ mm}$$

bzw.  $k = 0,5$  für  $h \geq 800 \text{ mm}$

$$f_{ct,eff} = 0,50 \cdot f_{ctm}$$

$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$

Die ermittelte Bewehrung wird konstruktiv bis 3 m Höhe über der Arbeitsfuge eingelegt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 64
Vorgang:	4.4 Mindestbewehrung	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Bauteil	h	d	d <sub>s</sub>	w <sub>k</sub>	A <sub>s,erf</sub>
	cm	cm	mm	mm	cm <sup>2</sup> /m
Ulme außen	40	33,5	14	0,15	15,5
Ulme innen	40	33,5	12	0,20	12,5

Tabelle 4.1: Mindestbewehrung aus Zwang

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	
Vorgang:	4.4 Mindestbewehrung	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Bauteil	h	d	d <sub>s</sub>	w <sub>k</sub>	A <sub>s,erf</sub>
	cm	cm	mm	mm	cm <sup>2</sup> /m
Ulme außen	40	33,5	14	0,15	15,5
Ulme innen	40	33,5	12	0,20	12,5

Tabelle 4.1: Mindestbewehrung aus Zwang

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 66	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung		
Vorgang:	4.4 Mindestbewehrung		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. ERGEBNIS DER BEMESSUNG

### 5.1 Außenschale

#### 5.1.1 Biegebewehrung in Längs- und Ringrichtung

Die Biegebewehrung wird konstruktiv gewählt.

Bauteil	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	außen und innen
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	BSt-Matte
Kalotte	-	1,88	Q188 A
Strosse	-	1,88	Q188 A
Sohle	(0,4)	1,88	Q188 A

Tabelle 5.1: Biegebewehrung der Außenschale

#### 5.1.2 Schubbewehrung

nicht erforderlich

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	
Vorgang:	5.1 Außenschale	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. ERGEBNIS DER BEMESSUNG

### 5.1 Außenschale

#### 5.1.1 Biegebewehrung in Längs- und Ringrichtung

Die Biegebewehrung wird konstruktiv gewählt.

Bauteil	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	außen und innen
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	BSt-Matte
Kalotte	-	1,88	Q188 A
Strosse	-	1,88	Q188 A
Sohle	(0,4)	1,88	Q188 A

Tabelle 5.1: Biegebewehrung der Außenschale

#### 5.1.2 Schubbewehrung

nicht erforderlich

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 68
Vorgang:	5.1 Außenschale	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5.2 Innenschale

### 5.2.1 Bewehrung in Längsrichtung

Bauteil	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Sohle	3,9	3,9	10/20
Ulme bis 3 m, innen	12,5	13,9	12/10 + 10/30
Ulme bis 3 m, außen	15,5	15,4	14/10
Gewölbe	3,9	3,9	10/20

Tabelle 5.2: Bewehrung der Innenschale in Längsrichtung

### 5.2.2 Biegebewehrung in Ringrichtung

Bauteil	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Firste innen	4,62	5,6	12/20
Firste außen	-	3,9	10/20
Ulme innen	-	3,9	10/20
Ulme außen	-	3,9	10/20
Sohle innen	2,85	3,9	10/20
Sohle außen	-	3,9	10/20

Tabelle 5.3: Biegebewehrung der Innenschale in Ringrichtung

### 5.2.3 Schubbewehrung

keine Schubbewehrung erforderlich

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	5. Ergebnis der Bemessung		Seite 69
Vorgang:	5.2 Innenschale		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5.2 Innenschale

### 5.2.1 Bewehrung in Längsrichtung

Bauteil	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Sohle	3,9	3,9	10/20
Ulme bis 3 m, innen	12,5	13,9	12/10 + 10/30
Ulme bis 3 m, außen	15,5	15,4	14/10
Gewölbe	3,9	3,9	10/20

Tabelle 5.2: Bewehrung der Innenschale in Längsrichtung

### 5.2.2 Biegebewehrung in Ringrichtung

Bauteil	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Firste innen	5,22	5,6	12/20
Firste außen	-	3,9	10/20
Ulme innen	-	3,9	10/20
Ulme außen	-	3,9	10/20
Sohle innen	3,52	3,9	10/20
Sohle außen	-	3,9	10/20

Tabelle 5.3: Biegebewehrung der Innenschale in Ringrichtung

### 5.2.3 Schubbewehrung

keine Schubbewehrung erforderlich

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 70
Vorgang:	5.2 Innenschale	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 5.3 Darstellung der Bewehrung von Außen - und Innenschale

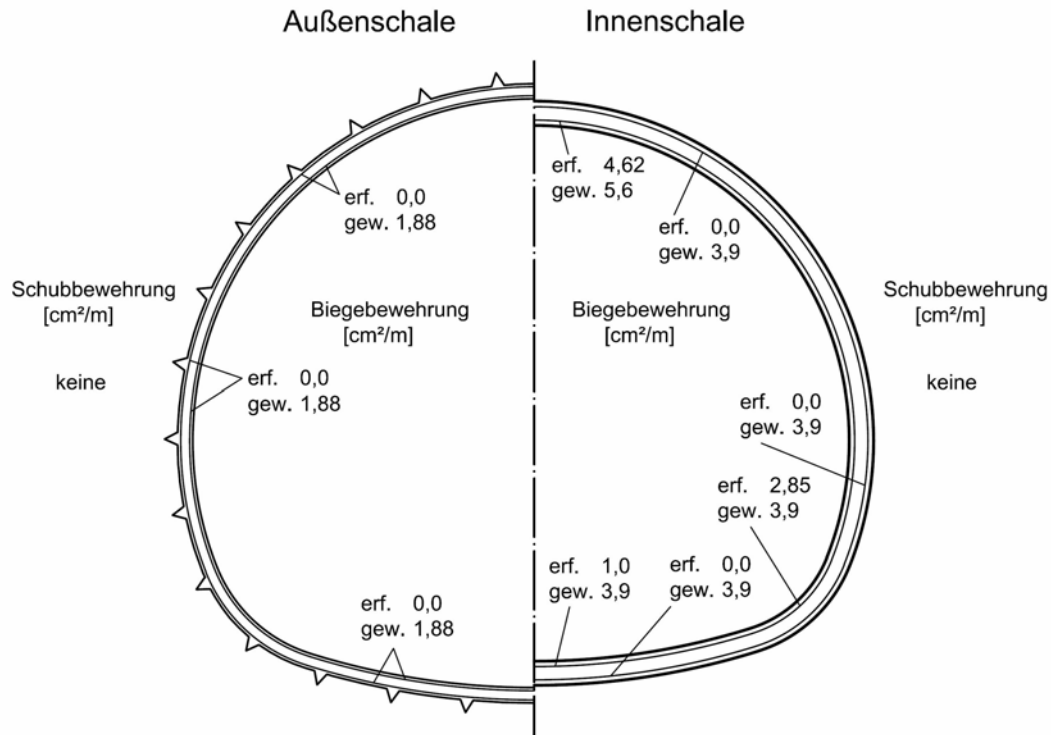


Bild 5.1: Erforderliche und konstruktiv gewählte Biege- und Schubbewehrung der Außen- und Innenschale

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 71
Vorgang:	5.3 Darstellung der Bewehrung	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 5.3 Darstellung der Bewehrung von Außen- und Innenschale

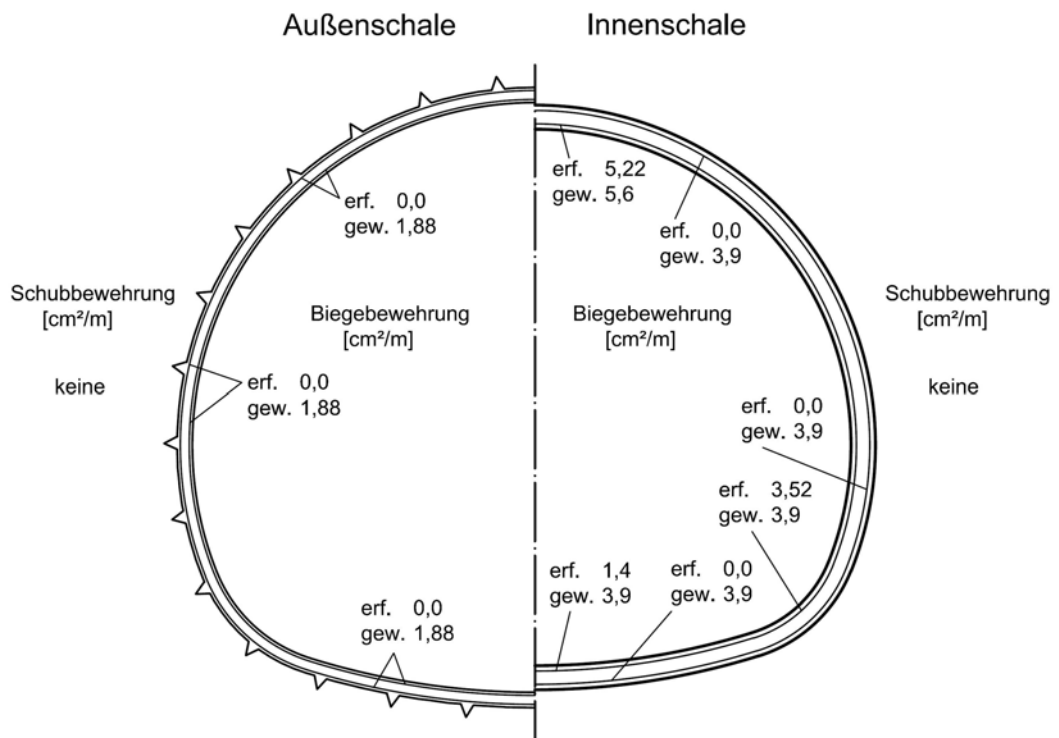


Bild 5.1: Erforderliche und konstruktiv gewählte Biege- und Schubbewehrung der Außen- und Innenschale

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 72
Vorgang:	5.3 Darstellung der Bewehrung	

**Stand sicherheitsnachweis**

**für ein Tunnelbauwerk**

**in bergmännischer Bauweise**

**Musterbeispiel**

**für die nationale Umsetzung des EC 7**

**bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken**

**mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis für ein Tunnelbauwerk  
in bergmännischer Bauweise (Spritzbetonbauweise)**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	1
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	3
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	9
IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	11
1. Berechnungsgrundlagen	13
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	13
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	15
1.3 Statisches System	17
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	23
2. Berechnungsablauf	25
3. Schnittgrößenermittlung	33
3.1 Außenschale - Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	33
3.2 Innenschale - Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	41
3.3 Innenschale - Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	49
4. Bemessung	55
4.1 Außenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	55
4.2 Innenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	57
4.3 Innenschale - Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	59
4.4 Mindestbewehrung	63
5. Ergebnis der Bemessung	67
5.1 Außenschale	67
5.2 Innenschale	69
5.3 Darstellung der Bewehrung von Außen- und Innenschale	71

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis		Archiv-Nr.
Block:		Seite 1	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Der betrachtete Straßentunnel wird für einen zweispurigen Regelquerschnitt RQ 10,5T ausgelegt. Hieraus resultiert eine lichte Breite des Tunnels in Höhe der Fahrhahnoberkante von 9,50 m und eine lichte Höhe in Tunnelachse von ca. 7 m über Fahrhahnoberkante. Im betrachteten Bereich wird der Tunnel in Spritzbetonbauweise aufgeföhren und besteht demzufolge aus einer Spritzbetonaußenschale und einer Schalbetoninnenschale. Aufgrund der Gebirgsverhältnisse erhält das Bauwerk sowohl für den Bau- als auch für den Endzustand ein Stahlbetonsohlgewölbe und wird als wasserundurchlässige Betonkonstruktion (WUBK) ausgeführt. Die Konstruktionsdicken werden auf der Grundlage einer Vorbemessung zu 0,25 m für die Spritzbetonschale und zu 0,40 m für die Innenschale gewählt. Die Blocklänge beträgt 10,0 m.

### Baugrund und Grundwasser

Im Bereich des betrachteten Tunnelblocks besteht der Baugrund ab ca. 6 m unter OK Gelände bis in größere Tiefe aus Sandstein-Tonstein-Schluffstein-Wechselfolgen, die im oberen Bereich verwittert sind. Für die Standsicherheitsberechnung kann davon ausgegangen werden, dass über den unverwitterten Wechselfolgen (ab 13 m unter OK Gelände) angewitterte bis entfestigte Tonstein-Sandstein-Folgen mit einer Mächtigkeit von ca. 7 m anstehen. Überlagert werden die Tonstein-Sandstein-Wechselfolgen durch eine ca. 6,0 m mächtige Oberboden- und Zersatzzone. Der Grundwasserspiegel liegt deutlich unterhalb des Tunnels.

### Herstellung und Tragsystem

Im betrachteten Tunnelabschnitt wird der Hohlraum in drei Arbeitsschritten aufgeföhren. Als erstes wird der Kalottenquerschnitt mit einer lichten Breite von rund 11,1 m und einer lichte Kalottenhöhe von 5,5 m aufgeföhren. Die Kalottenfüße stehen in weitgehend unverwittertem Tonstein-Sandstein, so dass die Standsicherheit der Fußaufstandsflächen ohne weitere Maßnahmen sichergestellt ist. Mit der nachfolgenden Strossenaufföhren wird die lichte Höhe des Hohlraums auf 8,5 m vergrößert. Auch dieser Bauzustand ist hinreichend standsicher. Im letzten Aufföhrenschritt wird die Tunnelsohle ausgebrochen und die vorläufige Spritzbetonsicherung durch ein Sohlgewölbe zum Ring geschlossen. Nach Fertigstellung der Spritzbetonschale wird die Innenschale blockweise spannungsfrei eingebaut.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 3
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig	
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr. Datum: 31.03.13

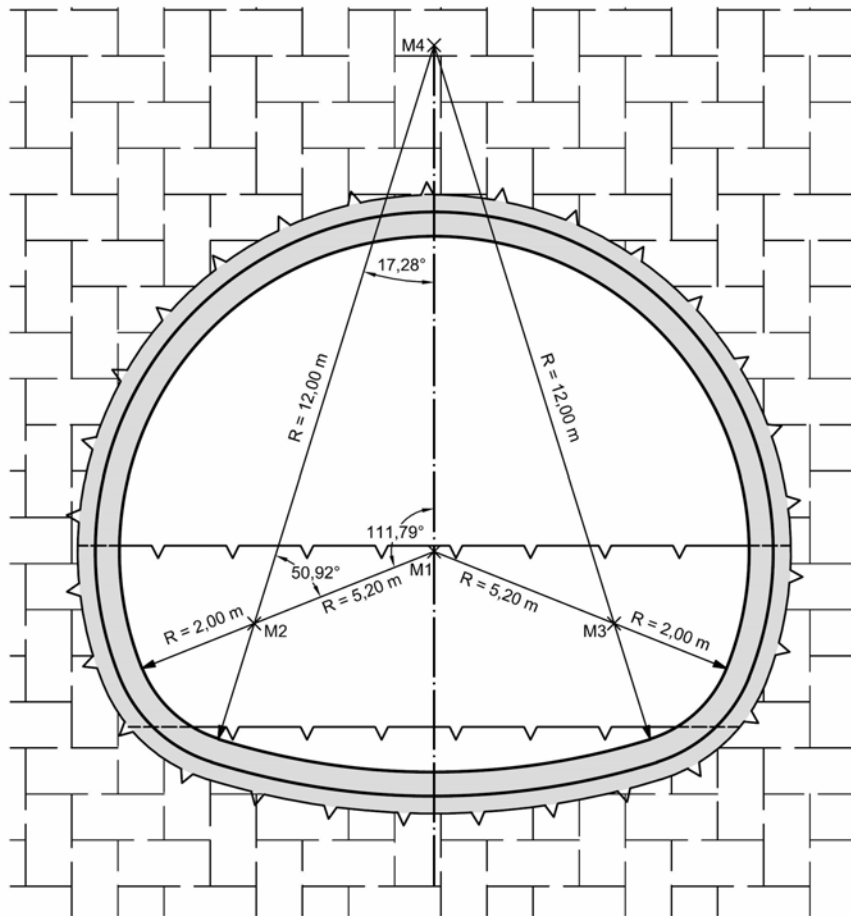


Bild II.1: Tunnelquerschnitt

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 5
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

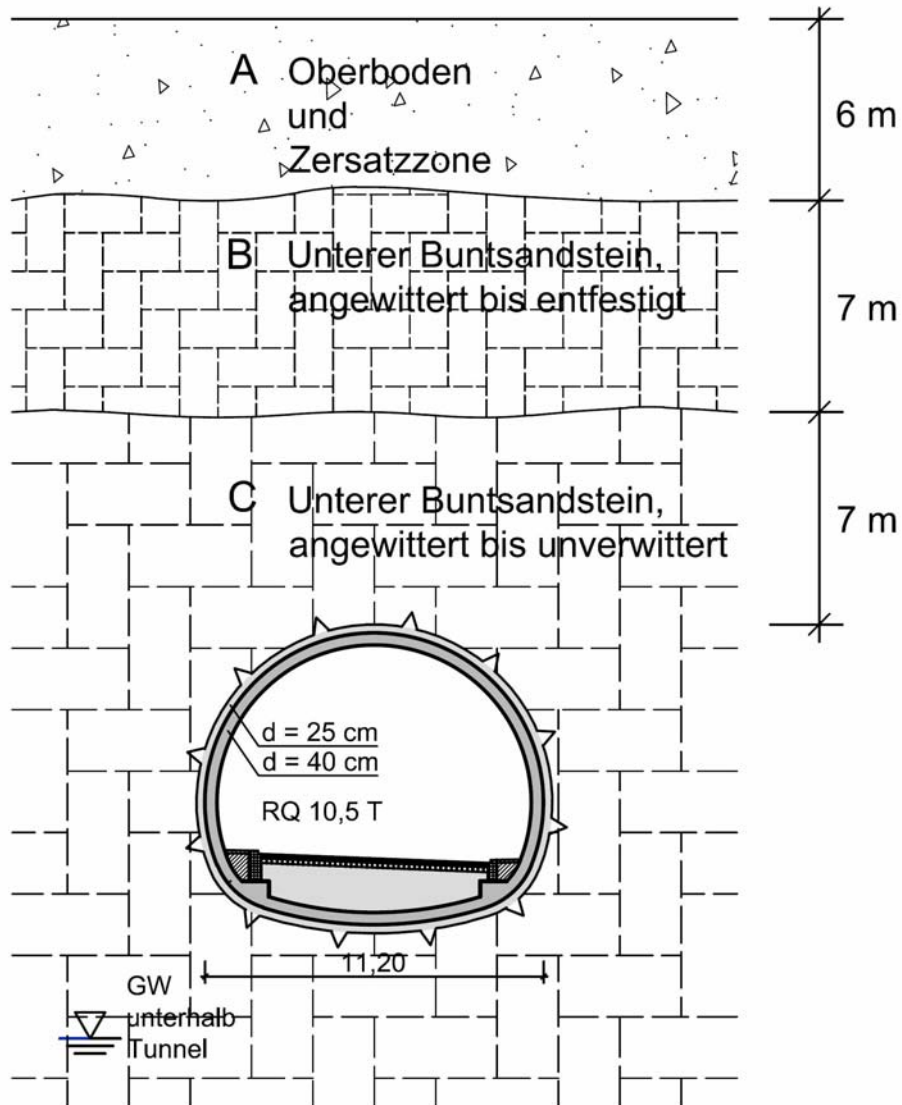


Bild II.2: Tunnel in bergmännischer Bauweise, Querschnitt Endzustand

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Seite 7	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 5, Abschn. 1	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Tunnelbau, Geschlossene Bauweise, Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2012-03
DIN-Fachbericht 101	Einwirkungen auf Brücken, 1. Ausgabe 2009-03
DIN-Fachbericht 102	Betonbrücken, 1. Ausgabe 2009-03
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005-01
DIN 1055 Teil 1	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, Ausgabe 2002-06

EDV-Programme:

FIDES DV-Partner	Wintube, Version 2012.255
SOFiSTiK GmbH	Programmmodule zur FE-Berechnung

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 9
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des in geschlossener Bauweise herzustellenden Tunnelbauwerks gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1 (Tunnelbau, geschlossene Bauweise).

Für die Ansätze zur Bemessung im Einzelnen gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN-Fachbericht 101: für den Ansatz von Verkehrslasten, die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungsseite
- DIN-Fachbericht 102: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften
- DIN 1054: für die Sicherheitsnachweise des Tunnelbauwerkes einschließlich der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 11	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Tiefe unter GOK	Wichte feucht	eff. Reibungswinkel	eff. Kohäsion	Elastizitätsmodul	Querdehnzahl	Dilatanzwinkel
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]
A Oberboden und Zersatzzone	0,0 – 6,0	21	27,5	5	15	0,40	-
B Sandstein-Schluffstein-Tonstein-Wechelfolge, entfestigt bis angewittert	6,0 - 13,0	23	30	50	100	0,35	-
C Sandstein-Schluffstein-Tonstein-Wechelfolge, angewittert bis unverwittert	ab 13,0	24	35	500	500	0,30	5

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte für die Kontinuumsberechnung

Grundwasser steht erst weit unterhalb des Tunnels an und wird daher in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

DIN-FB 102, Kap. II, 3.2

Betonstahlsorte	BSt 500 S	
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1 bzw. DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.1, Tab. R2
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN 1045-1, 9.2.4 (3)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.4.3 (1)
<b>Betondeckung</b>		
Außenschale	nom $c = 3,0 \text{ cm}$	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 6.5.2 (5)
Innenschale	min $c = 4,5 \text{ (a) bzw. } 5,0 \text{ cm (i)}$	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 8.2.2 (3)
	nom $c = 6,0 \text{ cm (a + i)}$	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 8.2.2 (3)

### Beton

#### - Außenschale

Betonfestigkeitsklasse	C 20/25	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 6.5.2
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 20 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.4, Tab. 3.1
Zur pauschalen Erfassung von Kriecheffekten bei frühzeitiger Belastung wird der Elastizitätsmodul für den Spritzbeton mit 50% des Nennwertes angesetzt:		
Elastizitätsmodul gewählt:	$E_{cm} = 24900/2 = 12450 \text{ MN/m}^2$	$E_{cm} / 2$ nach DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.5.2, Tab. 3.2

#### - Innenschale

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37 WUB-KO	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (5)
Expositionsklassen	XD1 (XD2), XF2	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (12)
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.4, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 28300 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.5.2, Tab. 3.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V):	DIN-FB 102, Kap. II, 2.3.3.2, Tab. 2.3
$\gamma_s = 1,15$	

#### Beton:

S+V	$\gamma_c = 1,5$	DIN-FB 102, Kap. II, 2.3.3.2, Tab. 2.3
-----	------------------	--

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 15
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

Die statische Berechnung der Tunnelschalen erfolgt mit dem FE-Programm WINTUBE der Firma FIDES-DV-Partner, das intern die Berechnungsmodule der Firma SOFiSTiK nutzt.

Das Gebirge wird mit den von Wilson und Taylor entwickelten nichtkonformen, vierknotigen Elementen beschrieben. Diese können reine Biegezustände und lineare Spannungsverteilungen exakt erfassen, wenn sie als Rechtecke oder Parallelogramme vorliegen. Die Berechnung erfolgt für den ebenen Dehnungszustand. Dabei wird eine Gebirgsscheibe senkrecht zur Tunnellängsachse mit der Dicke 1 m erfasst.

Das Spannungs-Dehnungsverhalten der Scheibenelemente wird durch ein elastoplastisches Materialgesetz nach Mohr/Coulomb in der erweiterten Form nach Pande/Zienkiewicz mit nichtassoziierter Fließregel bestimmt. Der Einsatzbereich liegt bei i.w. isotropem Baugrund, dessen Bruchverhalten mit den Scherparametern Reibungswinkel und Kohäsion beschrieben werden kann.

Innen- und Außenschale des Tunnels werden mit Stabelementen simuliert. Diese sind lineare prismatische Elemente mit konstantem Querschnitt unter Einbeziehung von Gelenkwirkungen und Schubverformungen. Die Kopplung zwischen den Knoten der Außen- und Innenschale erfolgt über Einzelfedern, deren Kraftübertragung ausschließlich in radialer Richtung zum Tunnel geschieht. Eine Zugkraftübertragung wird ausgeschlossen. Diese Kopplung erfasst die Wirkungsweise der Trennfolie zwischen Außen- und Innenschale, die eine Übertragung von Scherkräften verhindert.

Die Größe des FE-Netzes wird in Anlehnung an die Empfehlungen des Arbeitskreises 1.6 „Numerik in der Geotechnik“ gewählt. Das Berechnungsnetz ist in horizontaler Richtung 9 Tunneldurchmesser breit und erfasst in vertikaler Richtung den Baugrund von der Geländeoberkante bis 2 Tunneldurchmesser unterhalb des Tunnels.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 17
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

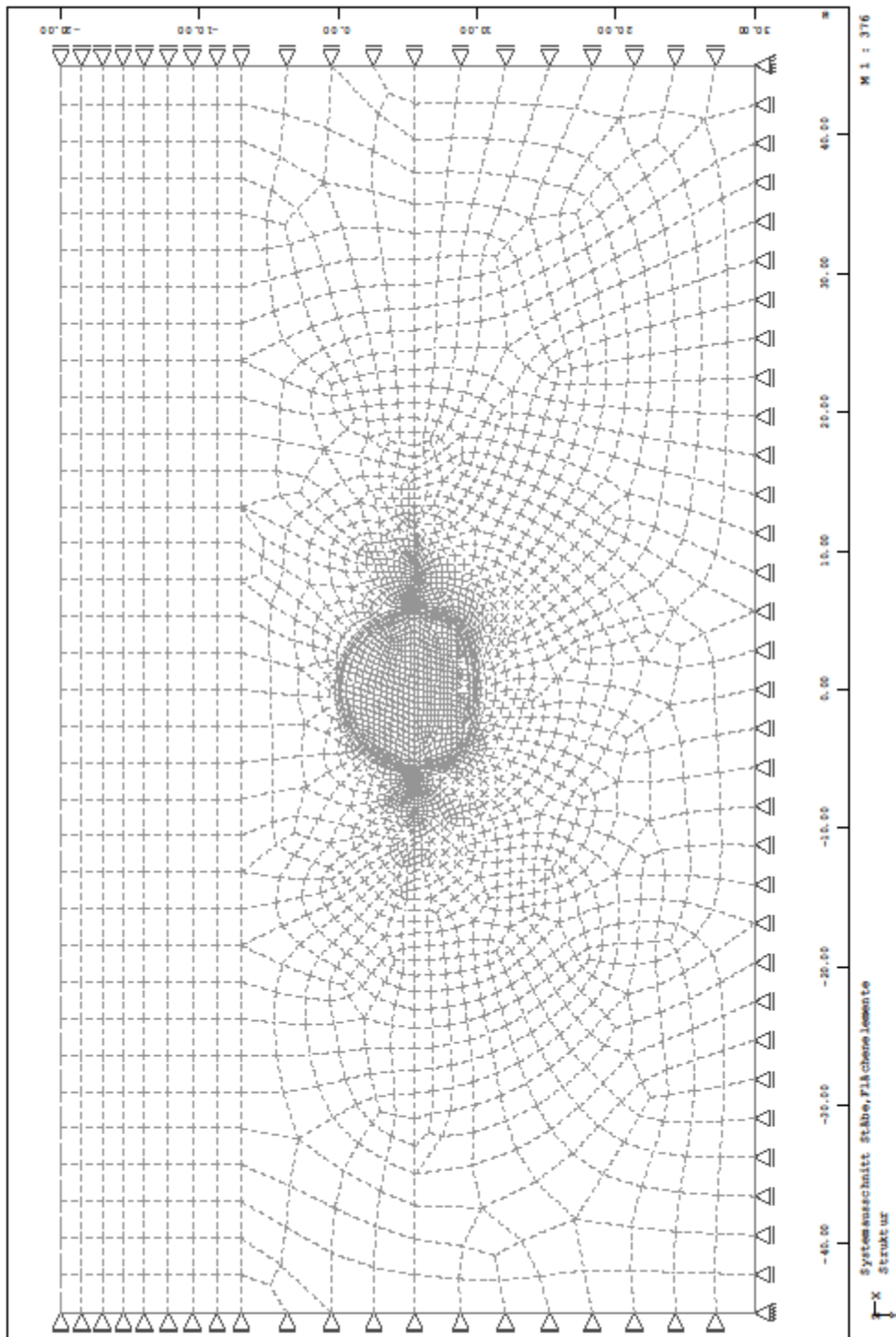


Bild 1.1: FE-Netz

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 19
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

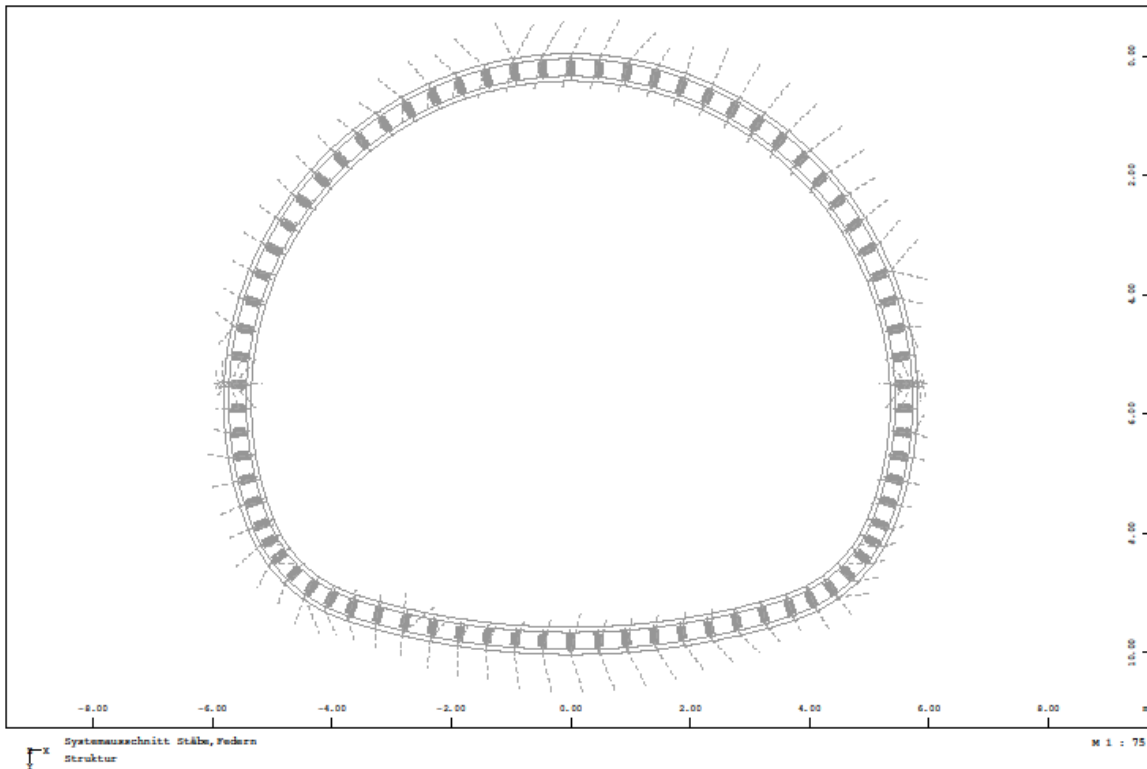


Bild 1.2: Stabelemente der Außen- und Innenschale mit Koppelfedern

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 21
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Das Tunnelbauwerk wird durch ständige Einwirkungen und durch Temperatur belastet.

### Eigengewicht Tunnel

wird vom Programm ermittelt mit  $\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^2$

DIN 1055-1

### Gebirgsdruck

Der Primärspannungszustand im Gebirge wird vom Programm aus der Gebirgswichte, der jeweiligen Überlagerungshöhe und der Querdehnzahl errechnet. Die vertikalen und horizontalen Gebirgsspannungen ergeben sich wie folgt:

vertikal:  $\sigma_v = \gamma \cdot h$

horizontal:  $\sigma_h = \sigma_v \cdot \frac{\nu}{(1-\nu)}$

Der effektive vertikale Gebirgsdruck auf die Tunnelaußenschale ist im tunnelbautechnischen Gutachten mit  $200 \text{ kN/m}^2$  (= ca. 44% des Überlagerungsgewichtes) vorgegeben. Der zugehörige Seitendruck ergibt sich in der Kontinuumsberechnung aus dieser Vorgabe automatisch in Abhängigkeit vom Primärspannungszustand und den Steifigkeiten des Baugrunds und der Auskleidung.

### Wasserdruck

Ein Wasserdruck wirkt weder im Bau- noch im Endzustand auf die Tunnelauskleidung, da der Grundwasserspiegel unterhalb des Tunnels liegt.

### Temperatureinwirkungen auf Innenschale

- Temperatur im Tunnel bis 1000 m vom Portal

Sommer:  $T = +25 \text{ °C}$

Winter:  $T = -15 \text{ °C}$

- Temperaturverlauf im Querschnitt:

$$\Delta T = 10 \text{ K}$$

- Aufstelltemperatur  $10 \text{ °C}$

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.2.2.5  
Bild 5.1.1

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.2.2.5 (3)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 23
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. BERECHNUNGSABLAUF

Die Berechnung erfolgt sukzessive und berücksichtigt die einzelnen Ausbruchsphasen und Einbauzustände.

### 2.1 Schritt 1: Primärspannungszustand

- Ermittlung des Primärspannungszustandes infolge Eigengewicht des anstehenden Baugrundes
- Die Verformungen werden zu Null gesetzt.

### 2.2 Schritt 2: Vorentspannung der Kalotte

- Ausgangszustand = Schritt 1
- Die Steifigkeit des Bodens im späteren Ausbruchsquerschnitt und die Belastung aus dem Primärzustand auf die spätere Tunnelkontur werden über einen Faktor reduziert, um eine Vorentspannung des Gebirges im Kalottenquerschnitt infolge Annäherung des Vortriebs zu simulieren. Hierbei erfolgt eine Spannungsumlagerung im Bereich des Ausbruchsquerschnittes.
- Die Primärspannungen des Bodens im Entspannungsbereich werden aus rechentechnischen Gründen (Kräftebilanz) ebenfalls über einen Faktor verringert.
- Die Vorentspannung wird so kalibriert, dass die vom tunnelbautechnischen Gutachter angegebene effektive Belastung der Außenschale erreicht wird.

### 2.3 Schritt 3: Ausbruch und Sicherung der Kalotte

- Ausgangszustand = Schritt 2
- Die Elemente im Ausbruchsbereich werden aus dem System entfernt.
- Die Stabelemente für den Kalottenbogen werden eingebaut.
- Die beim Ausbruch frei werdenden Spannungen am Ausbruchrand werden programmintern als Lasten auf das gekoppelte System aus Spritzbetonschale und Kontinuum angesetzt und die daraus resultierenden Spannungen und Verformungen errechnet.

### 2.4 Schritt 4: Vorentspannung der Strosse

- Ausgangszustand = Schritt 3
- Aufweichung des späteren Ausbruchsquerschnittes und Spannungsumlagerung wie im Schritt 2.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 25
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.5 Schritt 5: Ausbruch und Sicherung der Strosse

- Ausgangszustand = Schritt 4
- Die Elemente im Ausbruchsbereich werden aus dem System entfernt.
- Die Stabelemente für den Strossenbereich werden eingebaut.
- Die beim Ausbruch frei werdenden Spannungen am Ausbruchsrand werden programmintern auf das gekoppelte System aus Spritzbetonschale und Kontinuum angesetzt und die daraus resultierenden Spannungen und Verformungen errechnet.

## 2.6 Schritt 6: Vorentspannung der Sohle

- Ausgangszustand = Schritt 5
- Aufweichung des späteren Ausbruchsquerschnittes und Spannungsumlagerung wie im Schritt 2 und 4.

## 2.7 Schritt 7: Ausbruch und Sicherung der Sohle

- Ausgangszustand = Schritt 6
- Die Elemente im Ausbruchsbereich werden aus dem System entfernt.
- Die Stabelemente für den Sohlbereich werden eingebaut.
- Die beim Ausbruch frei werdenden Spannungen am Ausbruchsrand werden programmintern auf das gekoppelte System aus Spritzbetonschale und Kontinuum angesetzt und die daraus resultierenden Spannungen und Verformungen errechnet.

## 2.8 Schritt 8: Einbau der Innenschale

- Ausgangszustand = Schritt 7
- Die Stäbe für die Innenschale und die Federelemente zwischen den Knoten der Außen- und Innenschale werden aktiviert. Diese Federelemente können nur Druckkräfte in ihren Wirkungsrichtungen übertragen.
- Das Eigengewicht der Innenschale wird auf die Innenschale angesetzt.

## 2.9 Schritt 9: Innenschale mit Temperaturlasten im Sommer (GZT)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 27
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.10 Schritt 10: Innenschale mit Temperaturlasten im Winter (GZT)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

## 2.11 Schritt 15: Verrottung der Außenschale

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First der Innenschale wieder aktiviert.
- Die Stäbe für die Außenschale werden deaktiviert.
- Aus den frei werdenden Schnittgrößen der Außenschale werden programmintern äquivalente Knotenkräfte errechnet und auf das gekoppelte System aus Gebirge und Innenschale angesetzt.

## 2.12 Schritt 16: IS mit Temperaturlasten im Sommer (GZT), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

## 2.13 Schritt 17: IS mit Temperaturlasten im Winter (GZT), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

## 2.14 Schritt 20: Innenschale mit Temperaturlasten im Sommer (GZG)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 29
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 2.15 Schritt 21: Innenschale mit Temperaturlasten im Winter (GZG)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

### 2.16 Schritt 22: IS mit Temperaturlasten im Sommer (GZG), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

### 2.17 Schritt 23: IS mit Temperaturlasten im Winter (GZG), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

Die nicht aufgeführten Berechnungsschritte sind lediglich in der Nummerierung ausgelassen worden und entfallen.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 31
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. SCHNITTGRÖSSENERMITTLUNG

Die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit werden gemäß DIN 1054, Abschnitt 4.3 und 4.4 geführt. Die Einwirkungen (Eigengewicht und Gebirgsdruck) werden dabei mit ihren charakteristischen Werten auf das System angesetzt.

Lediglich die Temperatureinwirkungen werden für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) mit dem Faktor  $1/\gamma_g$  multipliziert auf das System aufgebracht, um bei Multiplikation der Schnittgrößen mit den Teilsicherheitsbeiwerten in Anlehnung an die ZTV-ING T5, Abschnitt 2 eine Teilsicherheit von 1,0 für die Temperatur zu berücksichtigen. Bei der Ermittlung der Schnittgrößen für den Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) werden die Temperatureinwirkungen gemäß ZTV-ING, T5, Abschnitt 1, 3.4.2.1 mit einem Kombinationswert  $\psi_2 = 0,5$  angesetzt.

Für die Bemessung werden die Schnittgrößen anschließend mit den zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten nach DIN 1054, Tabelle 2 (hier  $\gamma_g = 1,35$  (GZT) bzw.  $\gamma_g = 1,0$  (GZG) im LF 1) multipliziert.

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt aus WINTUBE heraus mit dem Programm TALPA von SOFiSTiK.

#### 3.1 Außenschale – Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Auf den folgenden Seiten sind die Momenten- und Normalkraftverläufe unter den charakteristischen Einwirkungen für die drei Ausbruchsritte dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

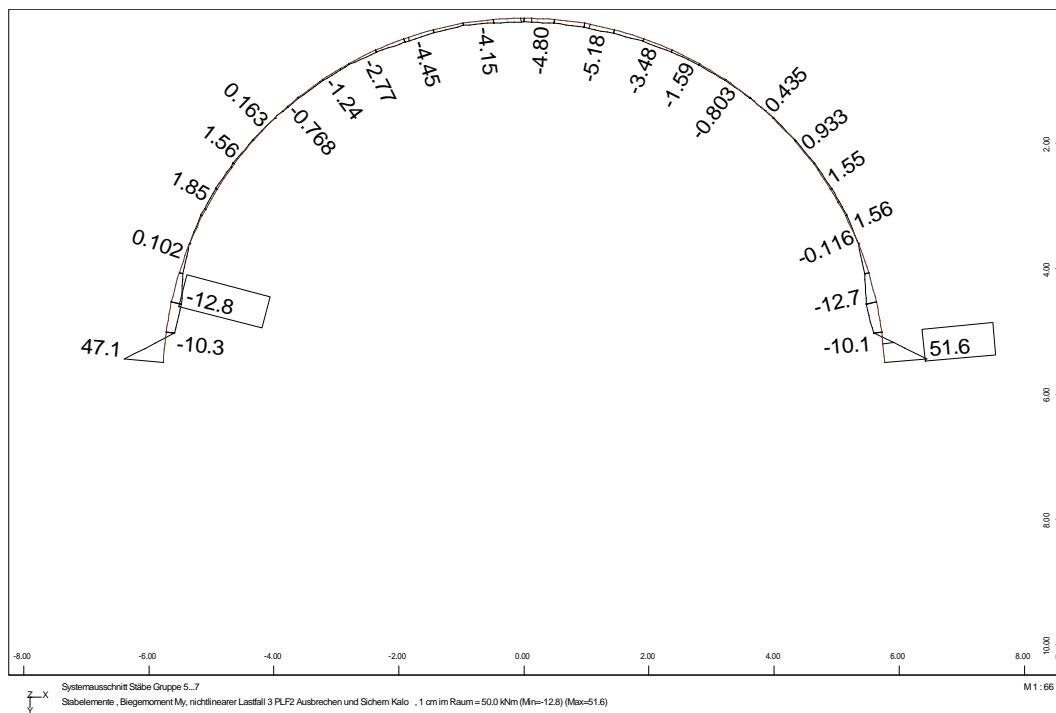


Bild 3.1: charakteristische Biegemomente der Außenschale, Kalottenausbruch

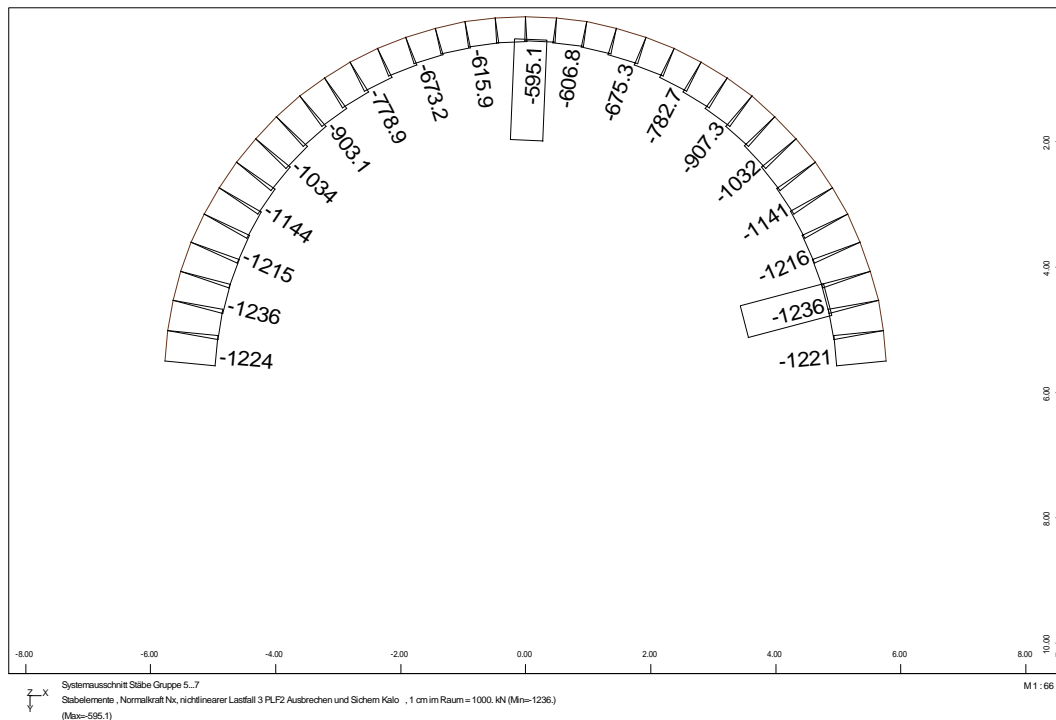


Bild 3.2: charakteristische Normalkräfte der Außenschale, Kalottenausbruch

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 35
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

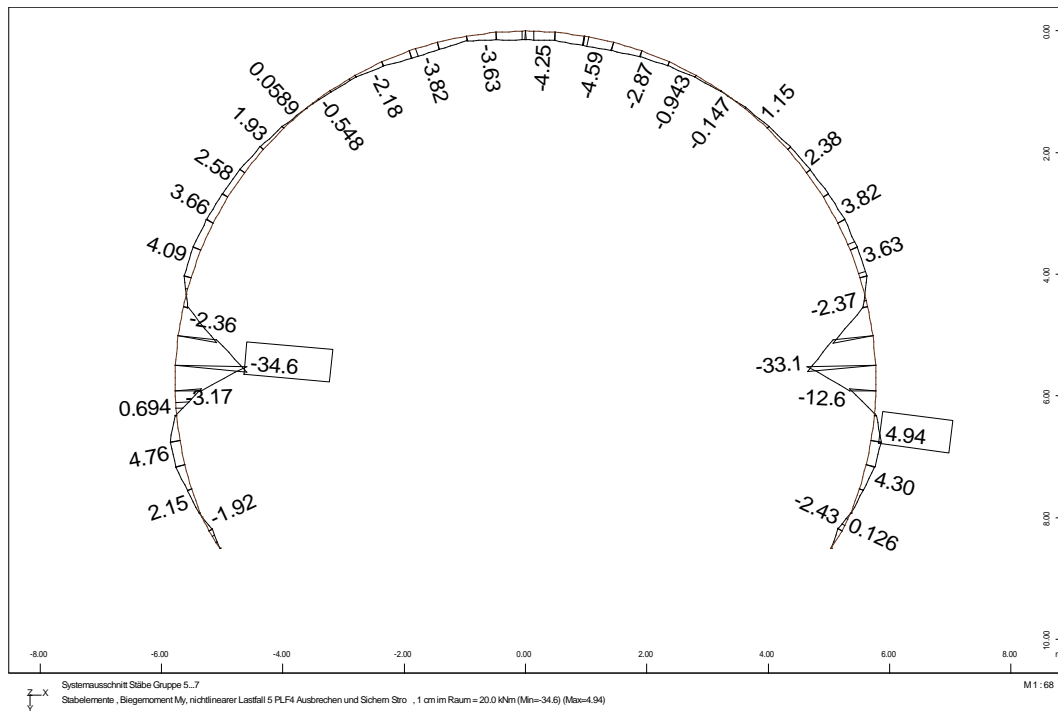


Bild 3.3: charakteristische Biegemomente der Außenschale, Strossenausbruch

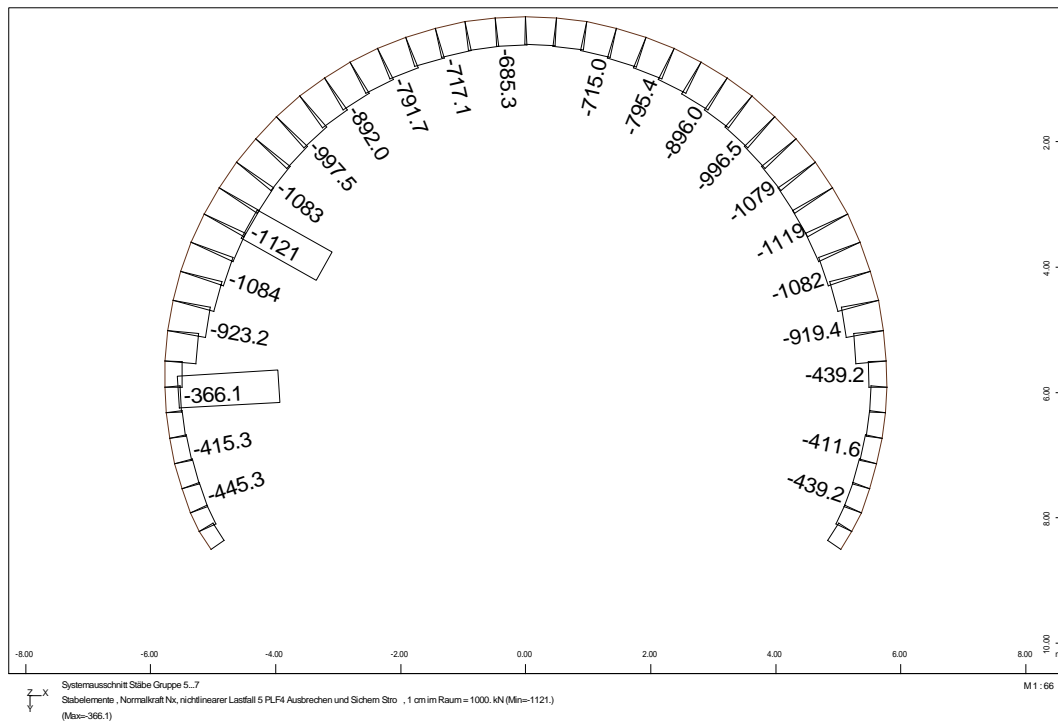


Bild 3.4: charakteristische Normalkräfte der Außenschale, Strossenausbruch

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 37
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

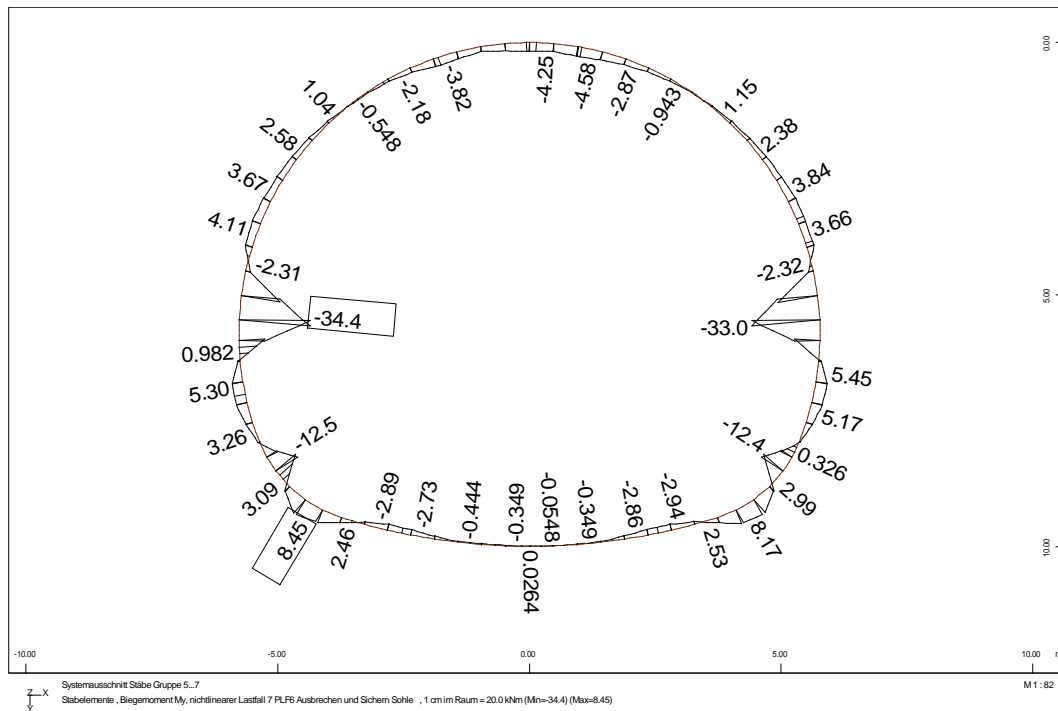


Bild 3.5: charakteristische Biegemomente der Außenschale, Vollausbuch

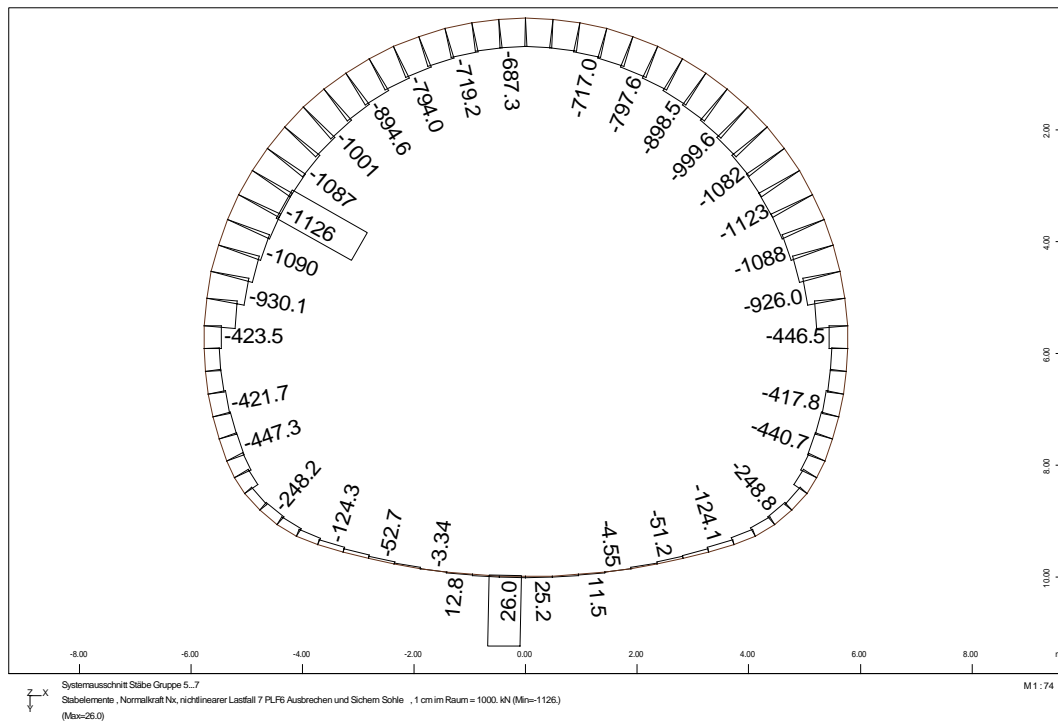


Bild 3.6: charakteristische Normalkräfte der Außenschale, Vollausbuch

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 39
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.2 Innenschale - Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Auf den folgenden Seiten sind die Momentenlinien unter den charakteristischen Einwirkungen (1,0-fache Gebirgs- und Eigengewichtslasten, 1/1,35-fache Temperaturlasten) für die sechs Berechnungsschritte dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	
Vorgang:	3.2: Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

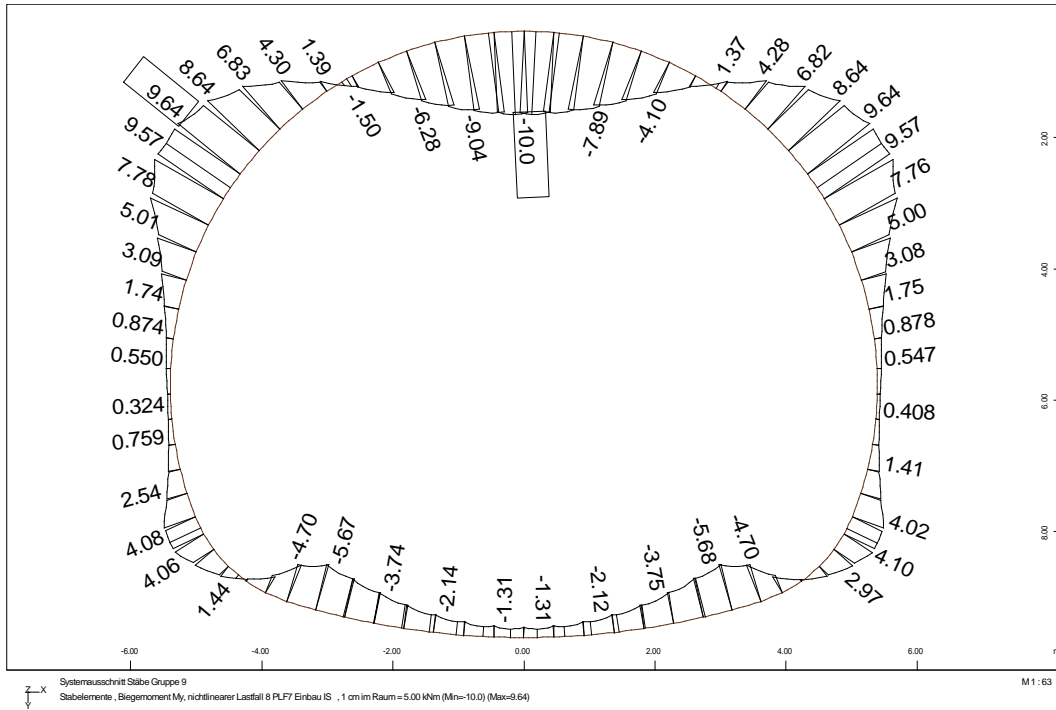


Bild 3.7: char.Biegemomente der Innenschale, Schritt 8 (EG)

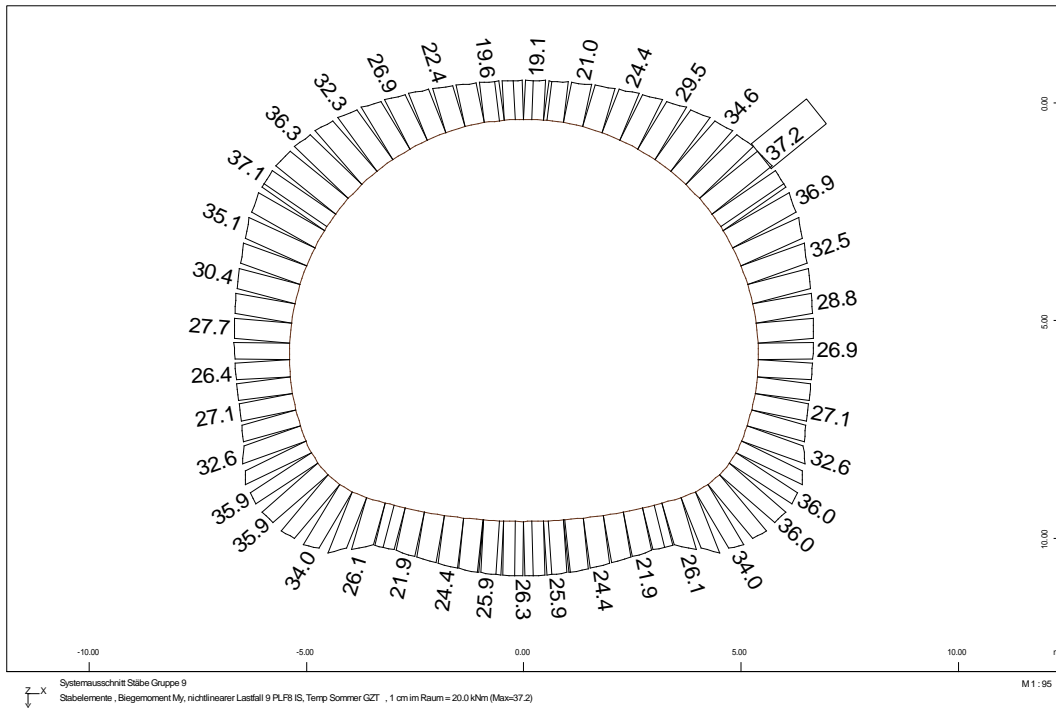


Bild 3.8: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 9 (EG + Som.GZT)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 43
Vorgang:	3.2: Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

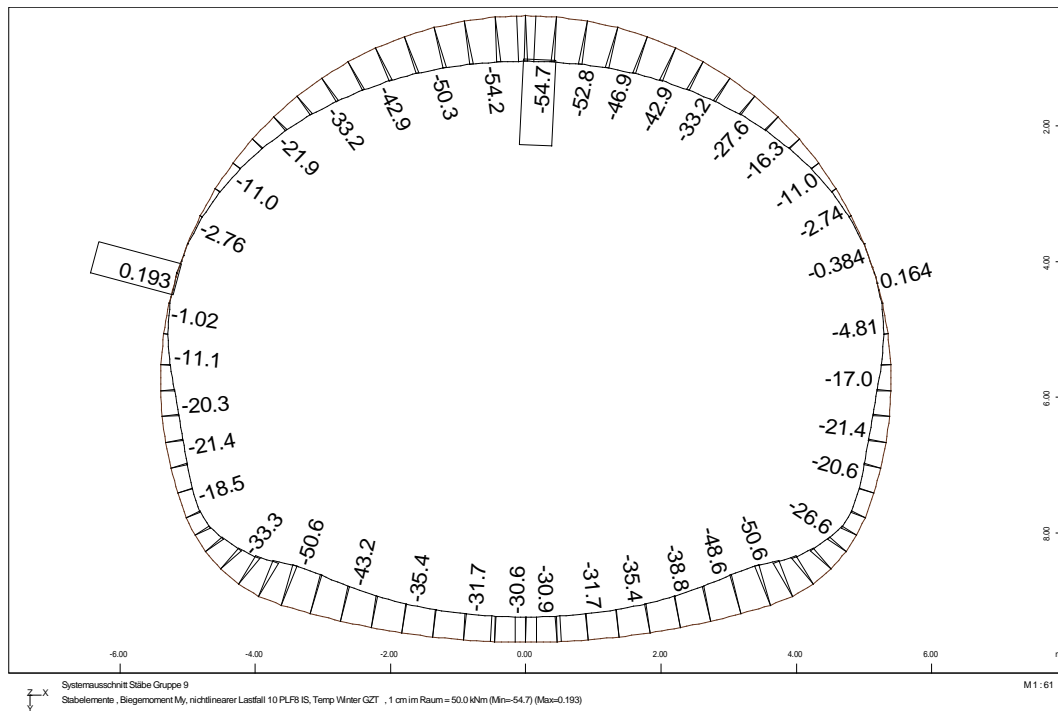


Bild 3.9: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 10 (EG + Win.GZT)

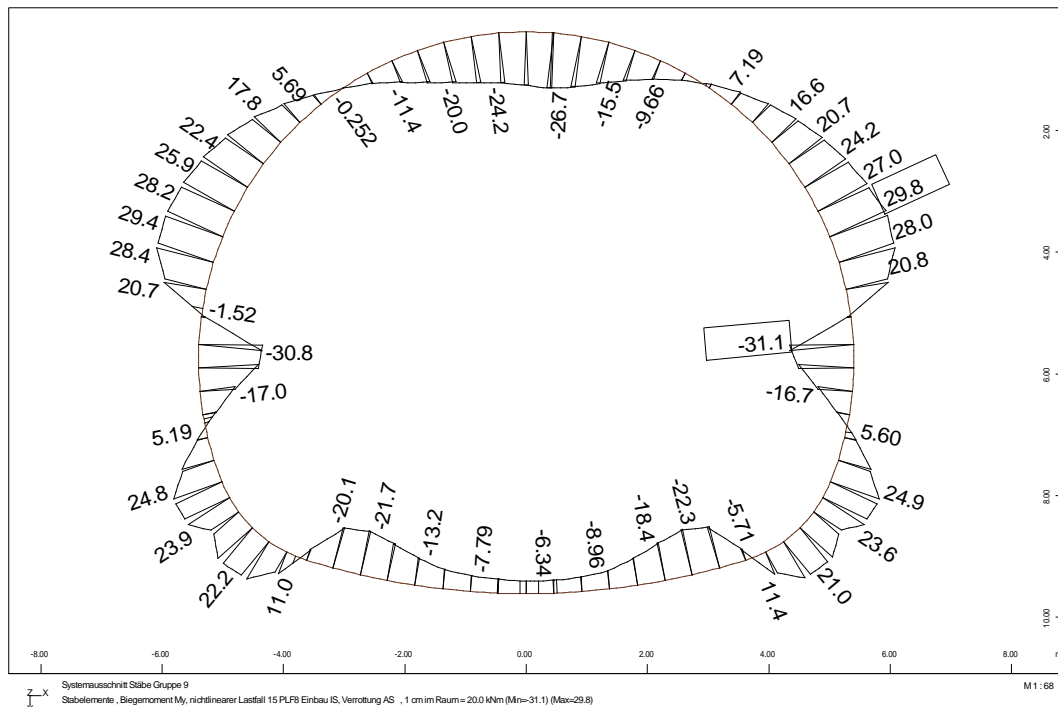


Bild 3.10: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 15 (EG, AS verrottet)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 45
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

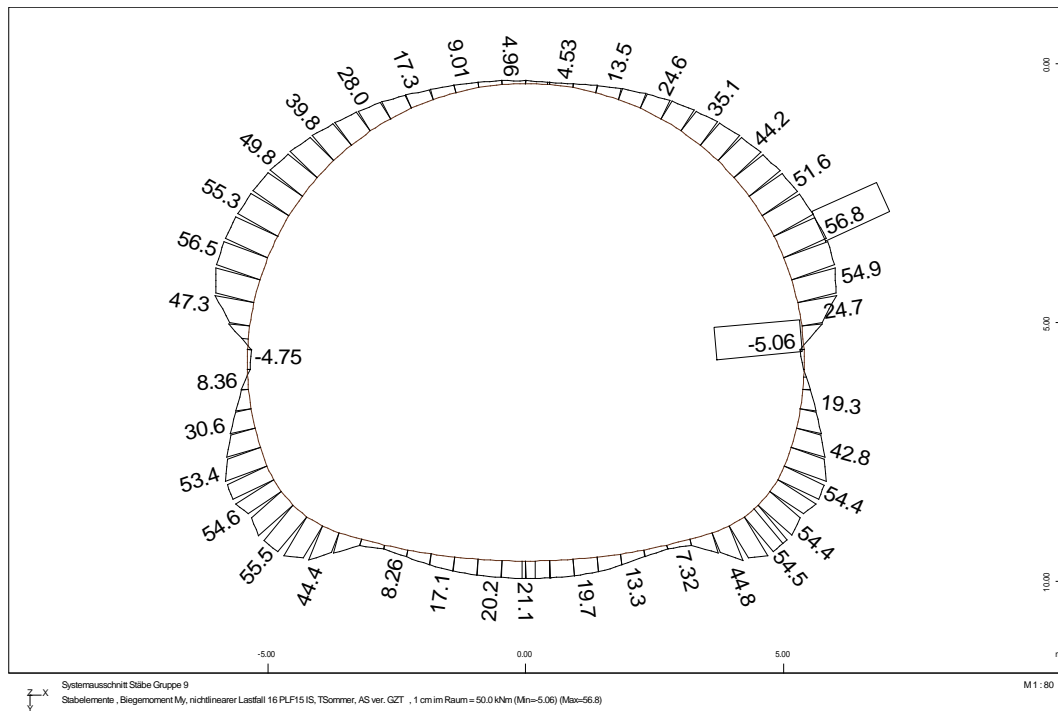


Bild 3.11: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 16 (EG + Som.GZT, AS verrottet)

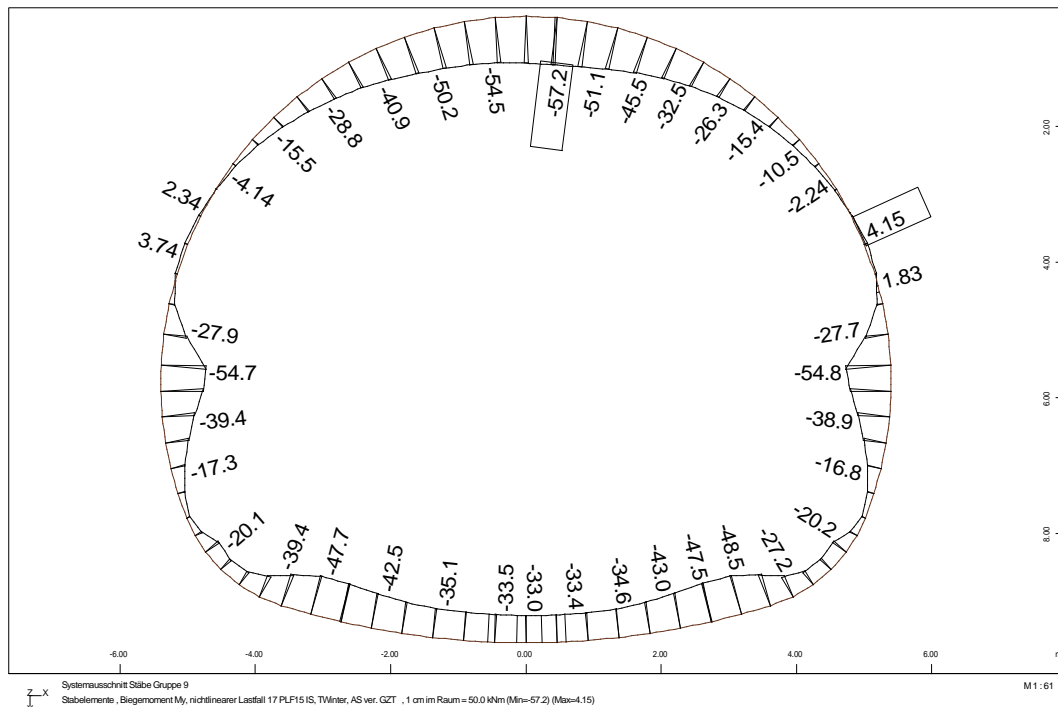


Bild 3.12: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 17 (EG + Win.GZT, AS verrottet)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 47
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.3 Innenschale - Schnittgrößen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Auf den folgenden Seiten sind die Momentenlinien unter der häufigen Einwirkungskombination (1,0-fache Gebirgs- und Eigengewichtslasten und 0,5-fache Temperaturlasten) für die vier maßgebenden Berechnungsschritte dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	3. Schnittgrößenermittlung		Seite 49
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

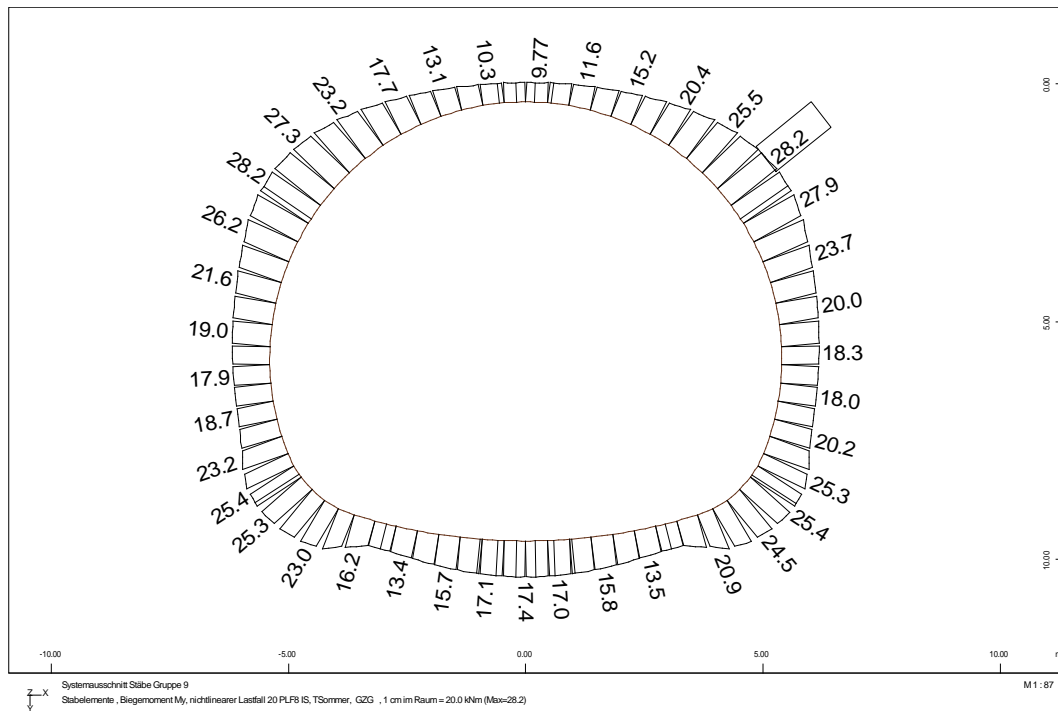


Bild 3.13: Biegemomente der Innenschale, Schritt 20 (EG + Som.GZG)

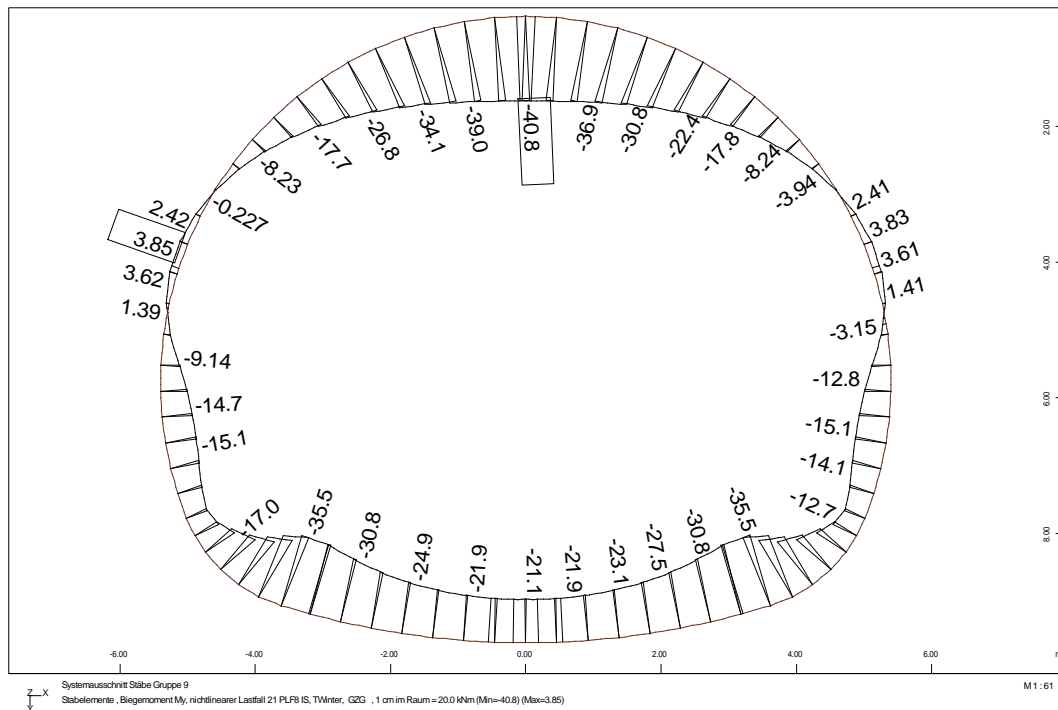


Bild 3.14: Biegemomente der Innenschale, Schritt 21 (EG + Win.GZG)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 51
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

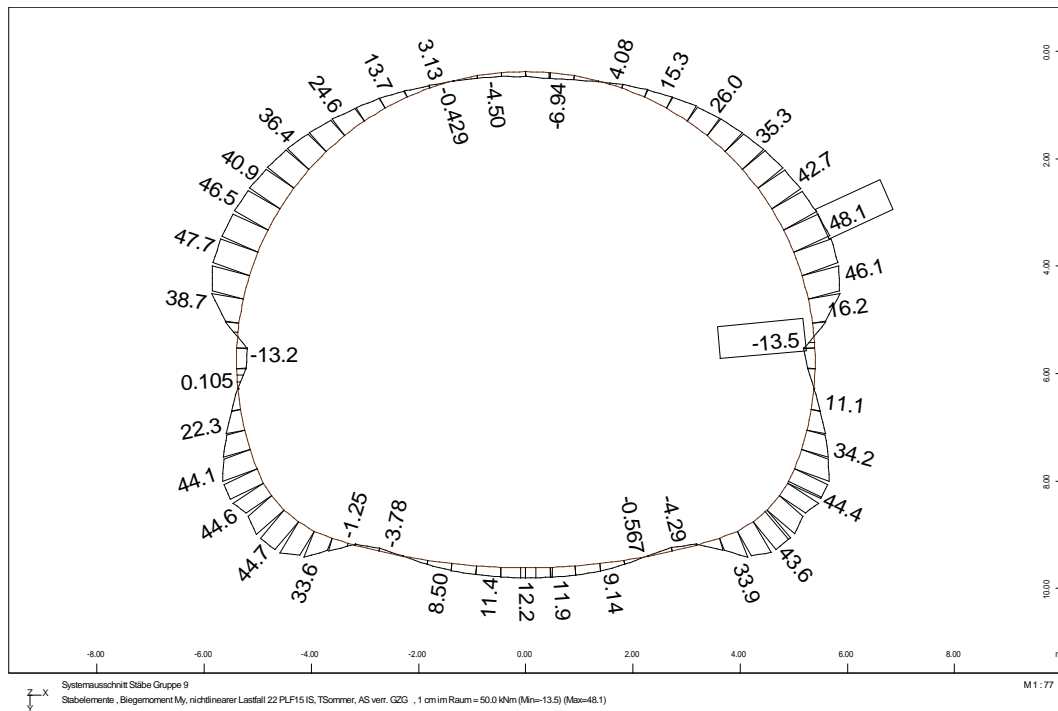


Bild 3.15: Biegemomente der Innenschale, Schritt 22 (EG + Som.GZG, AS verrottet)

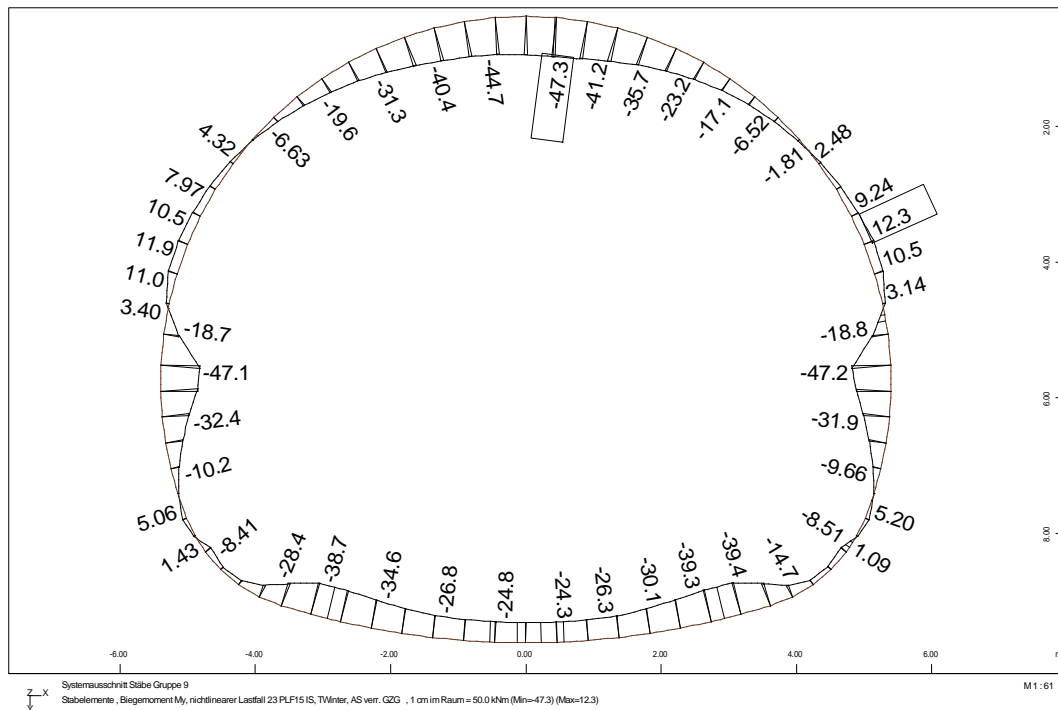


Bild 3.16: Biegemomente der Innenschale, Schritt 23 (EG + Win.GZG, AS verrottet)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 53
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4. BEMESSUNG

### 4.1 Außenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Bemessung erfolgt programmintern gemäß DIN-Fachbericht 102. Aufgrund der langen Standzeit der Außenschale erfolgt die Bemessung mit den Teilsicherheiten des Lastfalles 1 gemäß DIN 1054, Tabelle 2.

Die Bemessungsschnittgrößen werden programmintern durch Multiplikation der charakteristischen Schnittgrößen mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_g = 1,35$  für ständige Lasten ermittelt.

Die Bemessungsergebnisse werden im Folgenden grafisch dargestellt. Es zeigt sich, dass abgesehen von einer minimalen Bewehrung in der Sohle, die aus einer numerisch entstandenen, aber tatsächlich nicht vorhandenen Zugkraft in Sohlmitte resultiert, keine Biegebewehrung erforderlich ist.

Konstruktiv wird eine zweilagige Mattenbewehrung (Q188A außen und innen) vorgesehen.

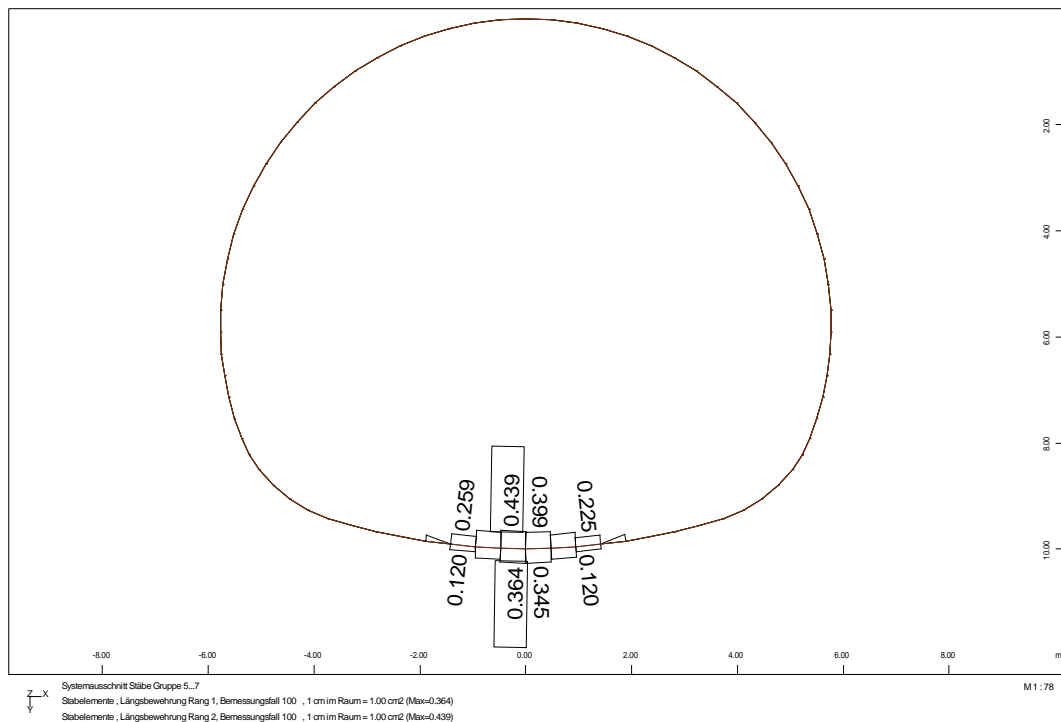


Bild 4.1: statisch erforderliche Biegebewehrung der Außenschale

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 55
Vorgang:	4.1 Außenschale – Nachweise im GZ der Tragfähigkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.2 Innenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Biege- und Schubbemessung erfolgt programmintern gemäß DIN-Fachbericht 102. Die Bemessungsschnittgrößen werden programmintern durch Multiplikation der charakteristischen Schnittgrößen mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_g = 1,35$  für ständige Lasten (und  $\gamma_T = 1,0$  für Temperaturlasten) ermittelt.

Die Bemessungsergebnisse für Biegung werden im Folgenden grafisch dargestellt. Schubbewehrung ist nicht erforderlich.

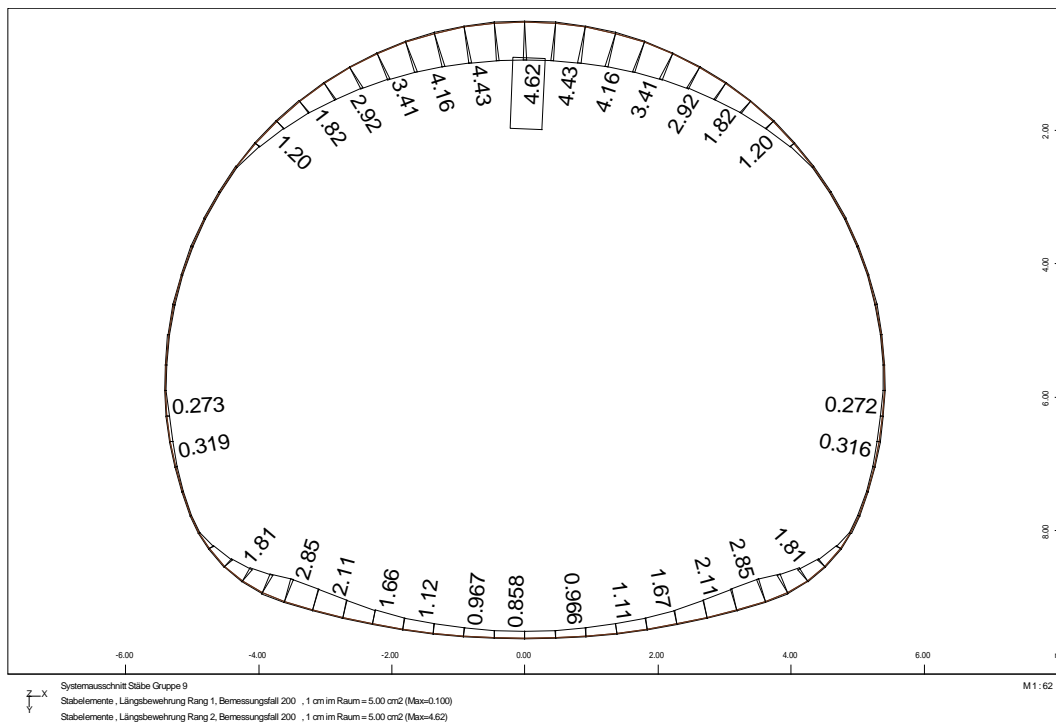


Bild 4.2: statisch erforderliche Biegebewehrung der Innenschale

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 57
Vorgang:	4.2 Innenschale – Nachweise im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 4.3 Innenschale – Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Gemäß ZTV-ING T5, Abschnitt 1, 3.4.1 wird für die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung die häufige Einwirkungskombination angesetzt.

Die Bemessungsschnittgrößen werden programmintern durch Multiplikation der charakteristischen Schnittgrößen mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_g = 1,0$  für ständige Lasten (und  $\psi_2 = 0,50$  für Temperaturlasten) ermittelt

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.4.2

Die zulässige rechnerische Rissbreite für die wu-Betonkonstruktion beträgt:

$w_{k,cal} = 0,20$  mm (Luftseite)

$w_{k,cal} = 0,15$  mm (Erdseite).

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.4.4

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erfolgt programmintern unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Stabdurchmessers von 10 mm.

Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung erfolgen durch direkte Berechnung gemäß DIN-Fachbericht 102, II, 4.4.2.4.

Der Rechenwert der Rissbreite ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\sigma_s = \frac{3,6 \cdot w_k \cdot \text{eff } \rho_p \cdot E_s}{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho_p} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho_p)}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Gl. (4.201) bis (4.203)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \left( \sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\text{eff } \rho_p} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho_p) \right)}{3,6 \cdot \text{eff } \rho_p \cdot E_s}$$

mit  $\text{eff } \rho_p = A_s / A_{c,eff}$

$A_{c,eff} = 2,5 \cdot b \cdot (h - d)$

$\alpha_e = E_s / E_{cm}$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Gl. (4.200a)

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Abb. 4-137d)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 59
Vorgang:	4.3 Innenschale – Nachweise im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Der Nachweis der Begrenzung der Betondruckspannung auf  $0,6 f_{ck}$  gemäß DIN-FB 102, II, 4.4.1.2 ist bei Tunnelbauwerken nicht zu führen, da durch die vergrößerte Betondeckung von 6 cm und die außen liegende Längsbewehrung die Entstehung von Quersugrissen verhindert wird.

Die erforderliche Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite ist dem folgenden Ausdruck zu entnehmen.

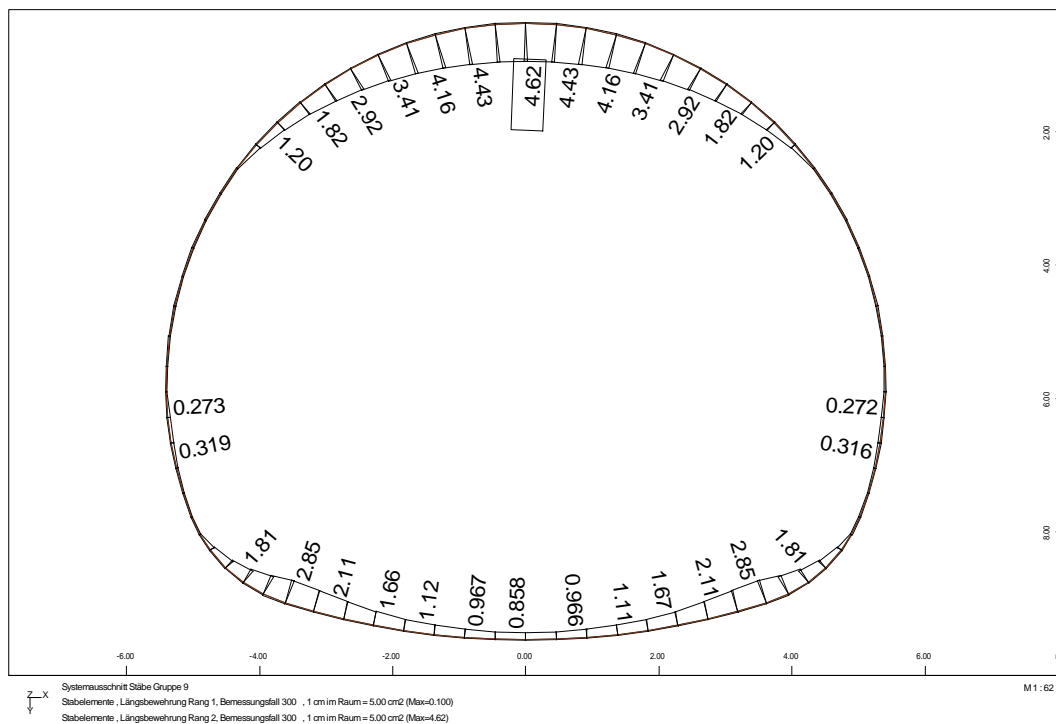


Bild 4.3: erforderliche Biegebewehrung der Innenschale zur Rissbreitenbeschränkung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 61
Vorgang:	4.3 Innenschale – Nachweise im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.4 Mindestbewehrung

### 4.4.1 Mindestbewehrung allgemein

Mindestbewehrung für wu-Beton-Konstruktionen

$$a_{smin} = 3,9 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 7.2.2 (2)

### 4.4.2 Mindestbewehrung in Längsrichtung

#### Mindestbewehrung für Querkontraktion

$$A_{s,q} = 0,20 \cdot A_{s,l}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 5.4.3.2.1 (2)

#### Mindestbewehrung aus Zwang

Aufgrund der Schwindbehinderung ist oberhalb der Arbeitsfuge eine erhöhte Mindestbewehrung in Längsrichtung erforderlich. Diese wird nach DIN-Fachbericht 102 ermittelt.

ZTV-ING, T5, Abschn.1, 3.4.4 (4)

Es gilt:

$$W_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

mit  $s_{r,max} = d_s / (3,6 \text{ eff } \rho)$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \sigma_{sr} - 0,4 f_{ct,eff} / \text{eff } \rho \cdot (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho) / E_s$$

$$\text{eff } \rho = A_s / A_{c,eff}$$

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot d_1 \leq (h - x) / 2$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.201)

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.203)

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.4, Gl. (4.202)

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Gl. (4.200a)

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.3, Abb. 4.137

Die Anrissspannung  $\sigma_{sr}$  wird aus der Mindestbewehrung bestimmt unter Ansatz von  $\sigma_s = \sigma_{sr}$

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_{sr}$$

mit  $k_c = 1,0$  für Zug

$k = 0,8$  für  $h \leq 300 \text{ mm}$

bzw.  $k = 0,5$  für  $h \geq 800 \text{ mm}$

$$f_{ct,eff} = 0,50 \cdot f_{ctm}$$

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.2 (5), Gl. (4.194)

DIN-FB 102, Kap. II, 4.4.2.2 (5), Gl. (4.195)

$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$

Die ermittelte Bewehrung wird konstruktiv bis 3 m Höhe über der Arbeitsfuge eingelegt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	4. Bemessung		Seite 63
Vorgang:	4.4 Mindestbewehrung		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Bauteil	h	d	d <sub>s</sub>	w <sub>k</sub>	A <sub>s,erf</sub>
	cm	cm	mm	mm	cm <sup>2</sup> /m
Ulme außen	40	33,5	14	0,15	15,5
Ulme innen	40	33,5	12	0,20	12,5

Tabelle 4.1: Mindestbewehrung aus Zwang

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	
Vorgang:	4.4 Mindestbewehrung	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. ERGEBNIS DER BEMESSUNG

### 5.1 Außenschale

#### 5.1.1 Biegebewehrung in Längs- und Ringrichtung

Die Biegebewehrung wird konstruktiv gewählt.

Bauteil	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	außen und innen
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	BSt-Matte
Kalotte	-	1,88	Q188 A
Strosse	-	1,88	Q188 A
Sohle	(0,4)	1,88	Q188 A

Tabelle 5.1: Biegebewehrung der Außenschale

#### 5.1.2 Schubbewehrung

nicht erforderlich

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	
Vorgang:	5.1 Außenschale	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5.2 Innenschale

### 5.2.1 Bewehrung in Längsrichtung

Bauteil	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Sohle	3,9	3,9	10/20
Ulme bis 3 m, innen	12,5	13,9	12/10 + 10/30
Ulme bis 3 m, außen	15,5	15,4	14/10
Gewölbe	3,9	3,9	10/20

Tabelle 5.2: Bewehrung der Innenschale in Längsrichtung

### 5.2.2 Biegebewehrung in Ringrichtung

Bauteil	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Firste innen	4,62	5,6	12/20
Firste außen	-	3,9	10/20
Ulme innen	-	3,9	10/20
Ulme außen	-	3,9	10/20
Sohle innen	2,85	3,9	10/20
Sohle außen	-	3,9	10/20

Tabelle 5.3: Biegebewehrung der Innenschale in Ringrichtung

### 5.2.3 Schubbewehrung

keine Schubbewehrung erforderlich

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	5. Ergebnis der Bemessung		Seite 69
Vorgang:	5.2 Innenschale		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 5.3 Darstellung der Bewehrung von Außen - und Innenschale

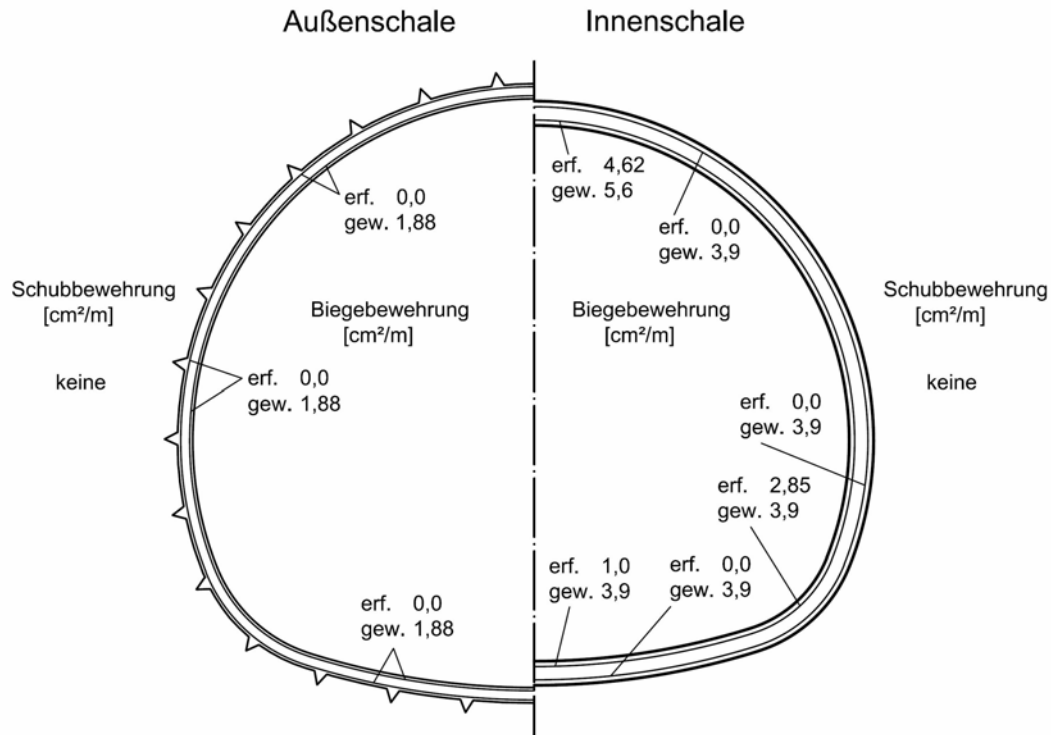


Bild 5.1: Erforderliche und konstruktiv gewählte Biege- und Schubbewehrung der Außen- und Innenschale

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 71
Vorgang:	5.3 Darstellung der Bewehrung	



**Stand sicherheitsnachweis**

**für ein Tunnelbauwerk**

**in bergmännischer Bauweise**

**Musterbeispiel**

**für die nationale Umsetzung des EC 7**

**bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken**

**mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis für ein Tunnelbauwerk  
in bergmännischer Bauweise (Spritzbetonbauweise)**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	2
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	4
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	10
IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	12
1. Berechnungsgrundlagen	14
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	14
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	16
1.3 Statisches System	18
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	24
2. Berechnungsablauf	26
3. Schnittgrößenermittlung	34
3.1 Außenschale - Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	34
3.2 Innenschale - Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	42
3.3 Innenschale - Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	50
4. Bemessung	56
4.1 Außenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	56
4.2 Innenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	58
4.3 Innenschale - Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	60
4.4 Mindestbewehrung	64
5. Ergebnis der Bemessung	68
5.1 Außenschale	68
5.2 Innenschale	70
5.3 Darstellung der Bewehrung von Außen- und Innenschale	72

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis	
Block:		Seite 2
Vorgang:		Archiv-Nr.

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Der betrachtete Straßentunnel wird für einen zweispurigen Regelquerschnitt RQ 10,5T ausgelegt. Hieraus resultiert eine lichte Breite des Tunnels in Höhe der Fahrbahnoberkante von 9,50 m und eine lichte Höhe in Tunnelachse von ca. 7 m über Fahrbahnoberkante. Im betrachteten Bereich wird der Tunnel in Spritzbetonbauweise aufgeföhren und besteht demzufolge aus einer Spritzbetonaußenschale und einer Schalbetoninnenschale. Aufgrund der Gebirgsverhältnisse erhält das Bauwerk sowohl für den Bau- als auch für den Endzustand ein Stahlbetonsohlgewölbe und wird als wasserundurchlässige Betonkonstruktion (WUBK) ausgeführt. Die Konstruktionsdicken werden auf der Grundlage einer Vorbemessung zu 0,25 m für die Spritzbetonschale und zu 0,40 m für die Innenschale gewählt. Die Blocklänge beträgt 10,0 m.

### Baugrund und Grundwasser

Im Bereich des betrachteten Tunnelblocks besteht der Baugrund ab ca. 6 m unter OK Gelände bis in größere Tiefe aus Sandstein-Tonstein-Schluffstein-Wechselfolgen, die im oberen Bereich verwittert sind. Für die Standsicherheitsberechnung kann davon ausgegangen werden, dass über den unverwitterten Wechselfolgen (ab 13 m unter OK Gelände) angewitterte bis entfestigte Tonstein-Sandstein-Folgen mit einer Mächtigkeit von ca. 7 m anstehen. Überlagert werden die Tonstein-Sandstein-Wechselfolgen durch eine ca. 6,0 m mächtige Oberboden- und Zersatzzone. Der Grundwasserspiegel liegt deutlich unterhalb des Tunnels.

### Herstellung und Tragsystem

Im betrachteten Tunnelabschnitt wird der Hohlraum in drei Arbeitsschritten aufgeföhren. Als erstes wird der Kalottenquerschnitt mit einer lichten Breite von rund 11,1 m und einer lichte Kalottenhöhe von 5,5 m aufgeföhren. Die Kalottenfüße stehen in weitgehend unverwittertem Tonstein-Sandstein, so dass die Standsicherheit der Fußaufstandsflächen ohne weitere Maßnahmen sichergestellt ist. Mit der nachfolgenden Strossenaufföhren wird die lichte Höhe des Hohlraums auf 8,5 m vergrößert. Auch dieser Bauzustand ist hinreichend standsicher. Im letzten Aufföhrenschritt wird die Tunnelsohle ausgebrochen und die vorläufige Spritzbetonsicherung durch ein Sohlgewölbe zum Ring geschlossen. Nach Fertigstellung der Spritzbetonschale wird die Innenschale blockweise spannungsfrei eingebaut.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 4
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

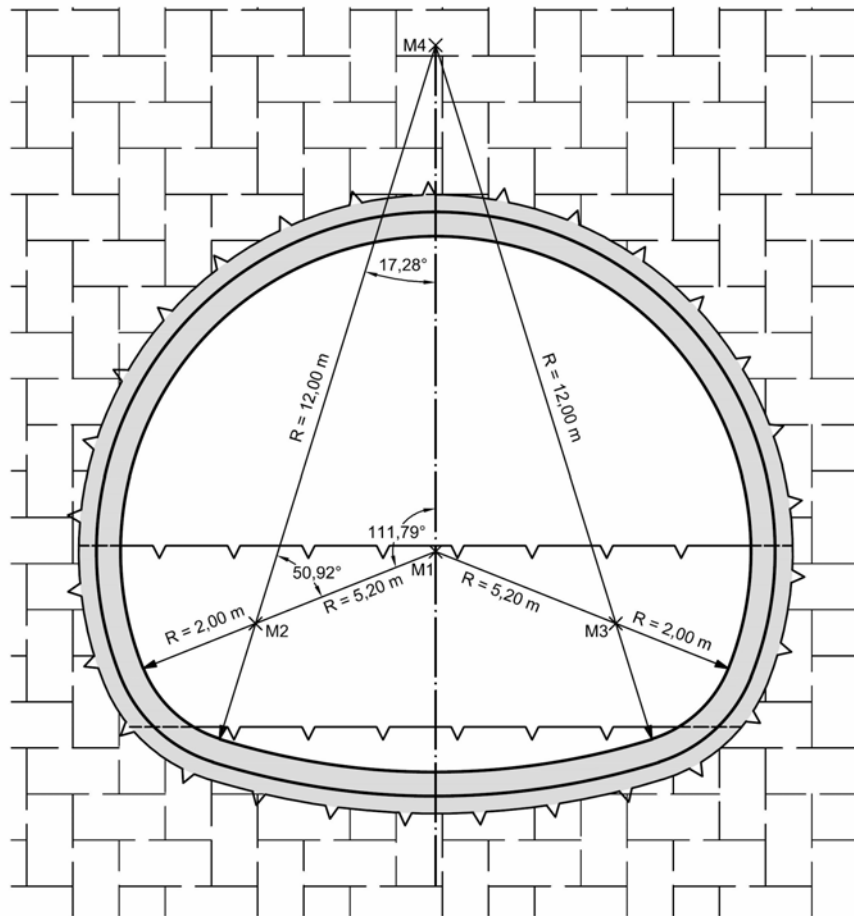


Bild II.1: Tunnelquerschnitt

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 6	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

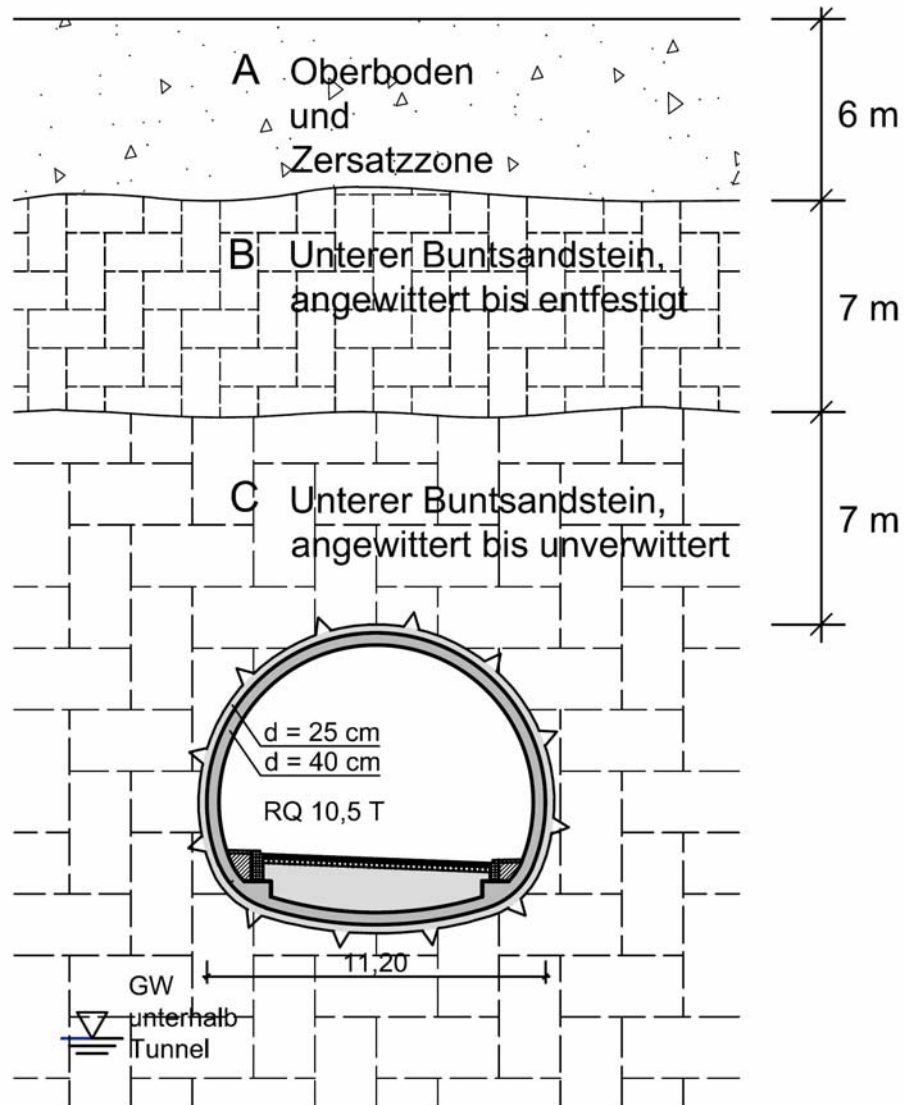


Bild II.2: Tunnel in bergmännischer Bauweise, Querschnitt Endzustand

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 8	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 5, Abschn. 1	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Tunnelbau, Geschlossene Bauweise, Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwurf 2012-08
DIN EN 1990	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1990/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1990, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-1-1, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-2	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-2/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-2, Ausgabe 2012-08
DIN EN 1992-1-1	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe 2011-01
DIN EN 1992-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-1-1, Ausgabe 2011-01
DIN EN 1992-2	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1992-2/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-2, Entwurf 2012-04
DIN EN 1997-1	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Ausgabe 2009-09
DIN EN 1997-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12

EDV-Programme:

FIDES DV-Partner	Wintube, Version 2012.255
SOFISTIK GmbH	Programmmodule zur FE-Berechnung

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen		Archiv-Nr.
Block:		Seite 10	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des in geschlossener Bauweise herzustellenden Tunnelbauwerks gelten die zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1 (Tunnelbau, geschlossene Bauweise).

Für die Ansätze zur Bemessung im Einzelnen gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1990: für die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für Eigen- und Verkehrslasten
- DIN-EN 1991-2: für den Ansatz von Verkehrslasten
- DIN-EN 1992-2: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften
- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise des Tunnelbauwerkes
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 12	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Tiefe unter GOK	Wichte feucht	eff. Reibungswinkel	eff. Kohäsion	Elastizitätsmodul	Querdehnzahl	Dilatanzwinkel
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[MN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]
A Oberboden und Zersatzzone	0,0 – 6,0	21	27,5	5	15	0,40	-
B Sandstein-Schluffstein-Tonstein-Wechselfolge, entfestigt bis angewittert	6,0 - 13,0	23	30	50	100	0,35	-
C Sandstein-Schluffstein-Tonstein-Wechselfolge, angewittert bis unverwittert	ab 13,0	24	35	500	500	0,30	5

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte für die Kontinuumsberechnung

Grundwasser steht erst weit unterhalb des Tunnels an und wird daher in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 14	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

DIN-EN 1992-2, 3.2

Betonstahlsorte	BSt 500 S	
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 1992-2, NDP zu 3.2.7(2)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.2.7(4)

### Betondeckung

Außenschale	nom $c = 3,0 \text{ cm}$	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 6.5.2 (5)
Innenschale	min $c = 4,5 \text{ (a) bzw. } 5,0 \text{ cm (i)}$	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 8.2.2 (3)
	nom $c = 6,0 \text{ cm (a + i)}$	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 8.2.2 (3)

### Beton

#### - Außenschale

Betonfestigkeitsklasse	C 20/25	ZTV-ING T5, Abschn. 1, 6.5.2
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 20 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2, Tab. 3.1

Zur pauschalen Erfassung von Kriecheffekten bei frühzeitiger Belastung wird der Elastizitätsmodul für den Spritzbeton mit 50% des Nennwertes angesetzt:

Elastizitätsmodul gewählt:	$E_{cm} = 30000/2 = 15000 \text{ MN/m}^2$	$E_{cm} / 2$ nach DIN EN 1992-1, 3.1.2, Tab. 3.1
----------------------------	---	--

#### - Innenschale

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37 WUB-KO	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (5)
Expositionsklassen	XD1 (XD2), XF2	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 1, 4 (12)
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 32800 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2, Tab. 3.1

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V): DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

$$\gamma_s = 1,15$$

#### Beton:

S+V  $\gamma_c = 1,5$  DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 16
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

Die statische Berechnung der Tunnelschalen erfolgt mit dem FE-Programm WINTUBE der Firma FIDES-DV-Partner, das intern die Berechnungsmodule der Firma SOFiSTiK nutzt.

Das Gebirge wird mit den von Wilson und Taylor entwickelten nichtkonformen, vierknotigen Elementen beschrieben. Diese können reine Biegezustände und lineare Spannungsverteilungen exakt erfassen, wenn sie als Rechtecke oder Parallelogramme vorliegen. Die Berechnung erfolgt für den ebenen Dehnungszustand. Dabei wird eine Gebirgsscheibe senkrecht zur Tunnellängsachse mit der Dicke 1 m erfasst.

Das Spannungs-Dehnungsverhalten der Scheibenelemente wird durch ein elastoplastisches Materialgesetz nach Mohr/Coulomb in der erweiterten Form nach Pande/Zienkiewicz mit nichtassoziierter Fließregel bestimmt. Der Einsatzbereich liegt bei i.w. isotropem Baugrund, dessen Bruchverhalten mit den Scherparametern Reibungswinkel und Kohäsion beschrieben werden kann.

Innen- und Außenschale des Tunnels werden mit Stabelementen simuliert. Diese sind lineare prismatische Elemente mit konstantem Querschnitt unter Einbeziehung von Gelenkwirkungen und Schubverformungen. Die Kopplung zwischen den Knoten der Außen- und Innenschale erfolgt über Einzelfedern, deren Kraftübertragung ausschließlich in radialer Richtung zum Tunnel geschieht. Eine Zugkraftübertragung wird ausgeschlossen. Diese Kopplung erfasst die Wirkungsweise der Trennfolie zwischen Außen- und Innenschale, die eine Übertragung von Scherkräften verhindert.

Die Größe des FE-Netzes wird in Anlehnung an die Empfehlungen des Arbeitskreises 1.6 „Numerik in der Geotechnik“ gewählt. Das Berechnungsnetz ist in horizontaler Richtung 9 Tunneldurchmesser breit und erfasst in vertikaler Richtung den Baugrund von der Geländeoberkante bis 2 Tunneldurchmesser unterhalb des Tunnels.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 18
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

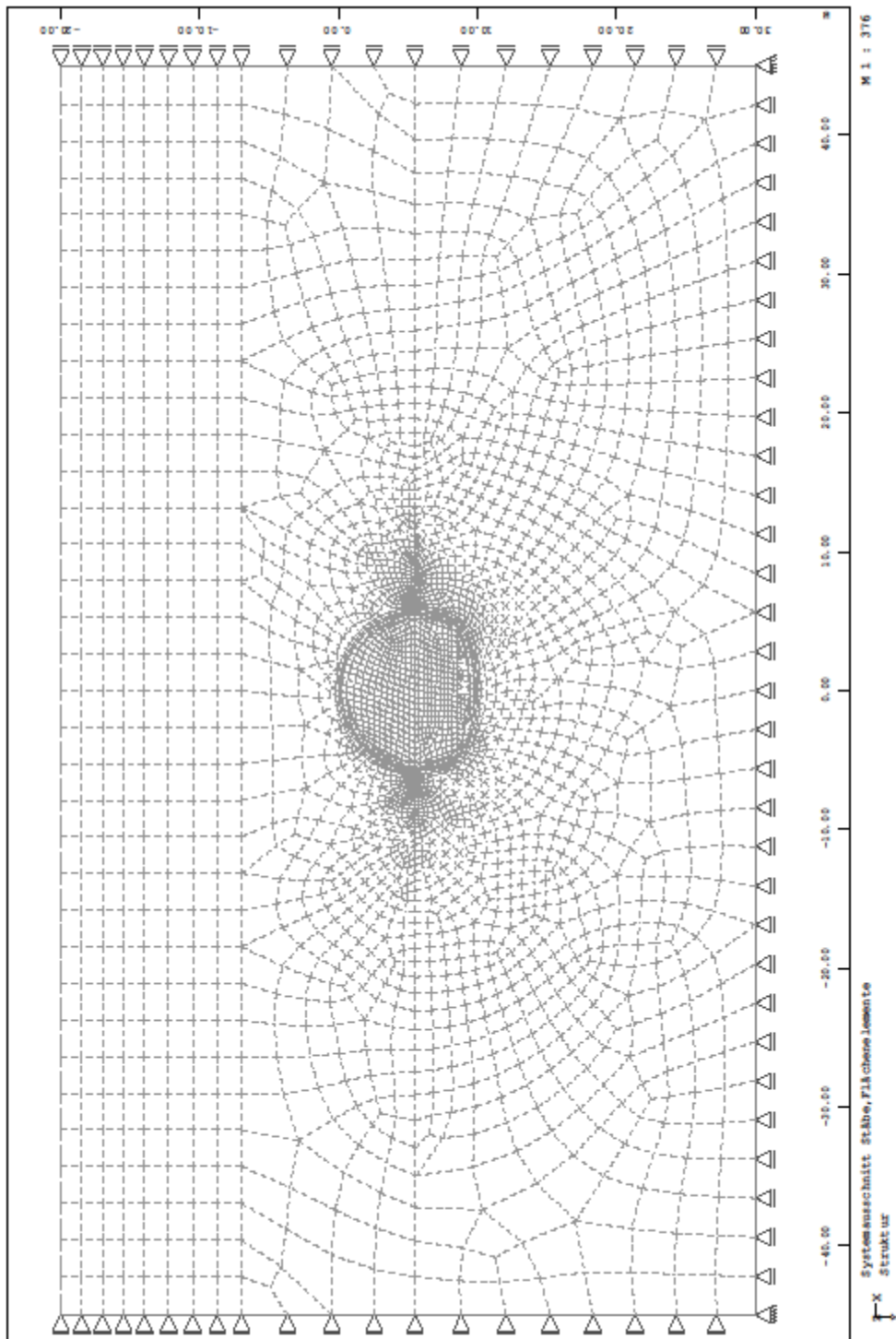


Bild 1.1: FE-Netz

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 20
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

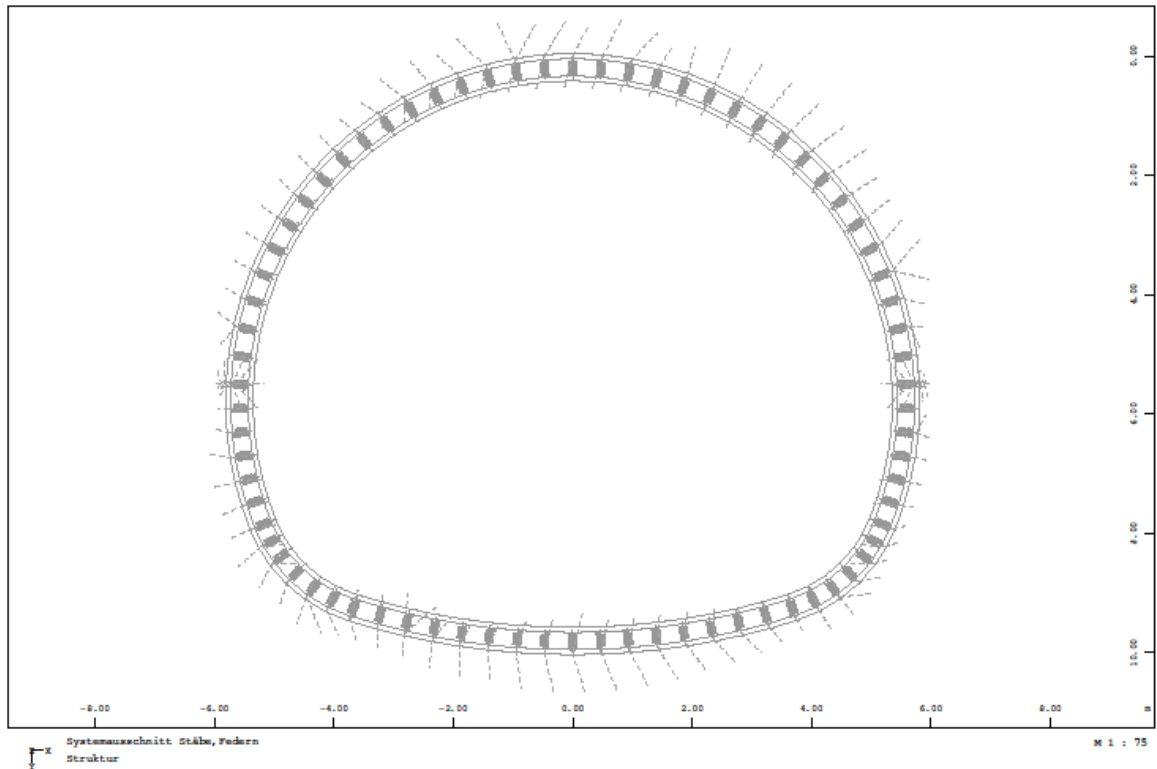


Bild 1.2: Stabelemente der Außen- und Innenschale mit Koppelfedern

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 22
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Das Tunnelbauwerk wird durch ständige Einwirkungen und durch Temperatur belastet.

### Eigengewicht Tunnel

wird vom Programm ermittelt mit  $\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^2$

DIN EN 1991-1

### Gebirgsdruck

Der Primärspannungszustand im Gebirge wird vom Programm aus der Gebirgswichte, der jeweiligen Überlagerungshöhe und der Querdehnzahl errechnet. Die vertikalen und horizontalen Gebirgsspannungen ergeben sich wie folgt:

vertikal:  $\sigma_v = \gamma \cdot h$

horizontal:  $\sigma_h = \sigma_v \cdot \frac{\nu}{(1-\nu)}$

Der effektive vertikale Gebirgsdruck auf die Tunnelaußenschale ist im tunnelbautechnischen Gutachten mit  $200 \text{ kN/m}^2$  (= ca. 44% des Überlagerungsgewichtes) vorgegeben. Der zugehörige Seitendruck ergibt sich in der Kontinuumsberechnung aus dieser Vorgabe automatisch in Abhängigkeit vom Primärspannungszustand und den Steifigkeiten des Baugrunds und der Auskleidung.

### Wasserdruck

Ein Wasserdruck wirkt weder im Bau- noch im Endzustand auf die Tunnelauskleidung, da der Grundwasserspiegel unterhalb des Tunnels liegt.

### Temperatureinwirkungen auf Innenschale

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.2.2.2  
Bild 5.1.1

- Temperatur im Tunnel bis 1000 m vom Portal

Sommer:  $T = +25 \text{ }^\circ\text{C}$

Winter:  $T = -15 \text{ }^\circ\text{C}$

- Temperaturverlauf im Querschnitt:

$$\Delta T = 10 \text{ K}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.2.2.2 (4)

- Aufstelltemperatur  $10 \text{ }^\circ\text{C}$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 24
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. BERECHNUNGSABLAUF

Die Berechnung erfolgt sukzessive und berücksichtigt die einzelnen Ausbruchsphasen und Einbauzustände.

### 2.1 Schritt 1: Primärspannungszustand

- Ermittlung des Primärspannungszustandes infolge Eigengewicht des anstehenden Baugrundes
- Die Verformungen werden zu Null gesetzt.

### 2.2 Schritt 2: Vorentspannung der Kalotte

- Ausgangszustand = Schritt 1
- Die Steifigkeit des Bodens im späteren Ausbruchsquerschnitt und die Belastung aus dem Primärzustand auf die spätere Tunnelkontur werden über einen Faktor reduziert, um eine Vorentspannung des Gebirges im Kalottenquerschnitt infolge Annäherung des Vortriebs zu simulieren. Hierbei erfolgt eine Spannungsumlagerung im Bereich des Ausbruchsquerschnittes.
- Die Primärspannungen des Bodens im Entspannungsbereich werden aus rechen-technischen Gründen (Kräftebilanz) ebenfalls über einen Faktor verringert.
- Die Vorentspannung wird so kalibriert, dass die vom tunnelbautechnischen Gutachter angegebene effektive Belastung der Außenschale erreicht wird.

### 2.3 Schritt 3: Ausbruch und Sicherung der Kalotte

- Ausgangszustand = Schritt 2
- Die Elemente im Ausbruchsbereich werden aus dem System entfernt.
- Die Stabelemente für den Kalottenbogen werden eingebaut.
- Die beim Ausbruch frei werdenden Spannungen am Ausbruchsrand werden programm-intern als Lasten auf das gekoppelte System aus Spritzbetonschale und Kontinuum angesetzt und die daraus resultierenden Spannungen und Verformungen errechnet.

### 2.4 Schritt 4: Vorentspannung der Strosse

- Ausgangszustand = Schritt 3
- Aufweichung des späteren Ausbruchsquerschnittes und Spannungsumlagerung wie im Schritt 2.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 26
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2.5 Schritt 5: Ausbruch und Sicherung der Strosse

- Ausgangszustand = Schritt 4
- Die Elemente im Ausbruchsbereich werden aus dem System entfernt.
- Die Stabelemente für den Strossenbereich werden eingebaut.
- Die beim Ausbruch frei werdenden Spannungen am Ausbruchrand werden programmintern auf das gekoppelte System aus Spritzbetonschale und Kontinuum angesetzt und die daraus resultierenden Spannungen und Verformungen errechnet.

## 2.6 Schritt 6: Vorentspannung der Sohle

- Ausgangszustand = Schritt 5
- Aufweichung des späteren Ausbruchsquerschnittes und Spannungsumlagerung wie im Schritt 2 und 4.

## 2.7 Schritt 7: Ausbruch und Sicherung der Sohle

- Ausgangszustand = Schritt 6
- Die Elemente im Ausbruchsbereich werden aus dem System entfernt.
- Die Stabelemente für den Sohlbereich werden eingebaut.
- Die beim Ausbruch frei werdenden Spannungen am Ausbruchrand werden programmintern auf das gekoppelte System aus Spritzbetonschale und Kontinuum angesetzt und die daraus resultierenden Spannungen und Verformungen errechnet.

## 2.8 Schritt 8: Einbau der Innenschale

- Ausgangszustand = Schritt 7
- Die Stäbe für die Innenschale und die Federelemente zwischen den Knoten der Außen- und Innenschale werden aktiviert. Diese Federelemente können nur Druckkräfte in ihren Wirkungsrichtungen übertragen.
- Das Eigengewicht der Innenschale wird auf die Innenschale angesetzt.

## 2.9 Schritt 9: Innenschale mit Temperaturlasten im Sommer (GZT)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 28
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 2.10 Schritt 10: Innenschale mit Temperaturlasten im Winter (GZT)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

### 2.11 Schritt 15: Verrottung der Außenschale

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First der Innenschale wieder aktiviert.
- Die Stäbe für die Außenschale werden deaktiviert.
- Aus den frei werdenden Schnittgrößen der Außenschale werden programmintern äquivalente Knotenkräfte errechnet und auf das gekoppelte System aus Gebirge und Innenschale angesetzt.

### 2.12 Schritt 16: IS mit Temperaturlasten im Sommer (GZT), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

### 2.13 Schritt 17: IS mit Temperaturlasten im Winter (GZT), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $1/\gamma_g$ )

### 2.14 Schritt 20: Innenschale mit Temperaturlasten im Sommer (GZG)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 30
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 2.15 Schritt 21: Innenschale mit Temperaturlasten im Winter (GZG)

- Ausgangszustand = Schritt 8
- Aufgrund der Firstspaltverpressung werden die im Schritt 8 ausgeschalteten Federelemente im First wieder aktiviert.
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

### 2.16 Schritt 22: IS mit Temperaturlasten im Sommer (GZG), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Sommer (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

### 2.17 Schritt 23: IS mit Temperaturlasten im Winter (GZG), AS verrottet

- Ausgangszustand = Schritt 15
- Aufbringen der Temperatureinwirkungen im Winter (mit Faktor  $\psi_2 = 0,5$ )

Die nicht aufgeführten Berechnungsschritte sind lediglich in der Nummerierung ausgelassen worden und entfallen.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Berechnungsablauf	Seite 32
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. SCHNITTGRÖSSENERMITTLUNG

Die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit werden gemäß DIN 1054, Abschnitt 2.4.7 und 2.4.8 geführt. Die Einwirkungen (Eigengewicht und Gebirgsdruck) werden dabei mit ihren charakteristischen Werten auf das System angesetzt.

Lediglich die Temperatureinwirkungen werden für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) mit dem Faktor  $1/\gamma_g$  multipliziert auf das System aufgebracht, um bei Multiplikation der Schnittgrößen mit den Teilsicherheitsbeiwerten in Anlehnung an die ZTV-ING T5, Abschnitt 2 eine Teilsicherheit von 1,0 für die Temperatur zu berücksichtigen. Bei der Ermittlung der Schnittgrößen für den Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) werden die Temperatureinwirkungen gemäß ZTV-ING, T5, Abschnitt 1, 3.4.2.1 mit einem Kombinationswert  $\psi_2 = 0,5$  angesetzt.

Für die Bemessung werden die Schnittgrößen anschließend mit den zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten nach DIN 1054, Tabelle A2.1 (hier  $\gamma_g = 1,35$  (ULS) bzw.  $\gamma_g = 1,0$  (SLS) in der Bemessungssituation BS-P) multipliziert.

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt aus WINTUBE heraus mit dem Programm TALPA von SOFISTIK.

#### 3.1 Außenschale – Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Auf den folgenden Seiten sind die Momenten- und Normalkraftverläufe unter den charakteristischen Einwirkungen für die drei Ausbruchsschritte dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 34
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

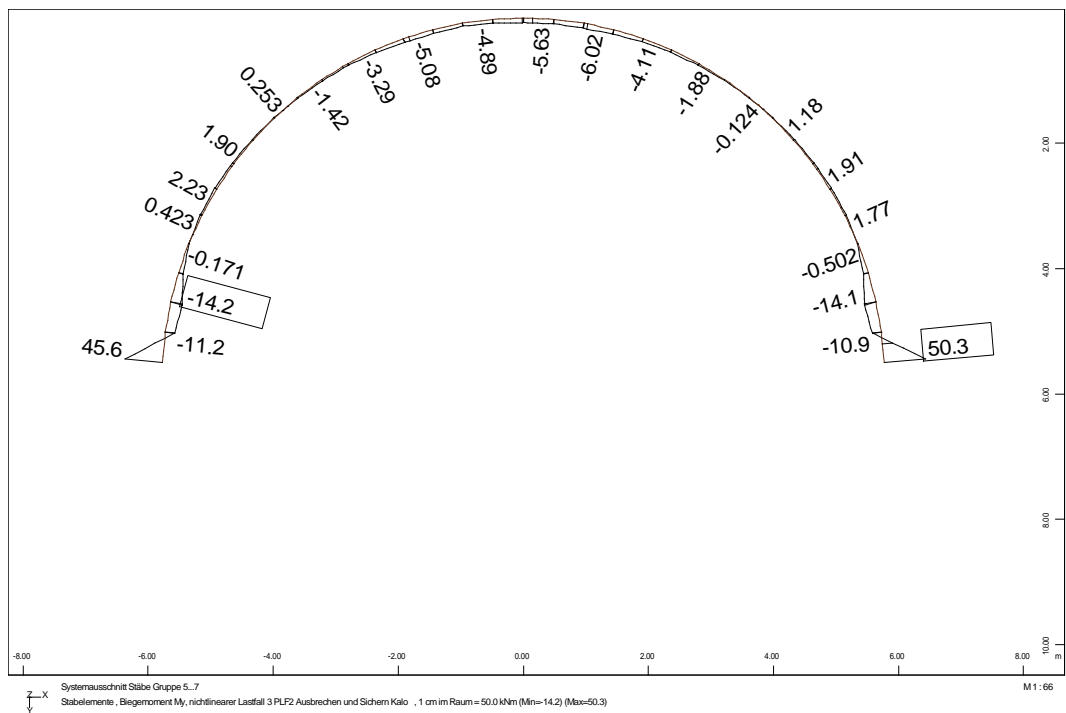


Bild 3.1: charakteristische Biegemomente der Außenschale, Kalottenausbruch

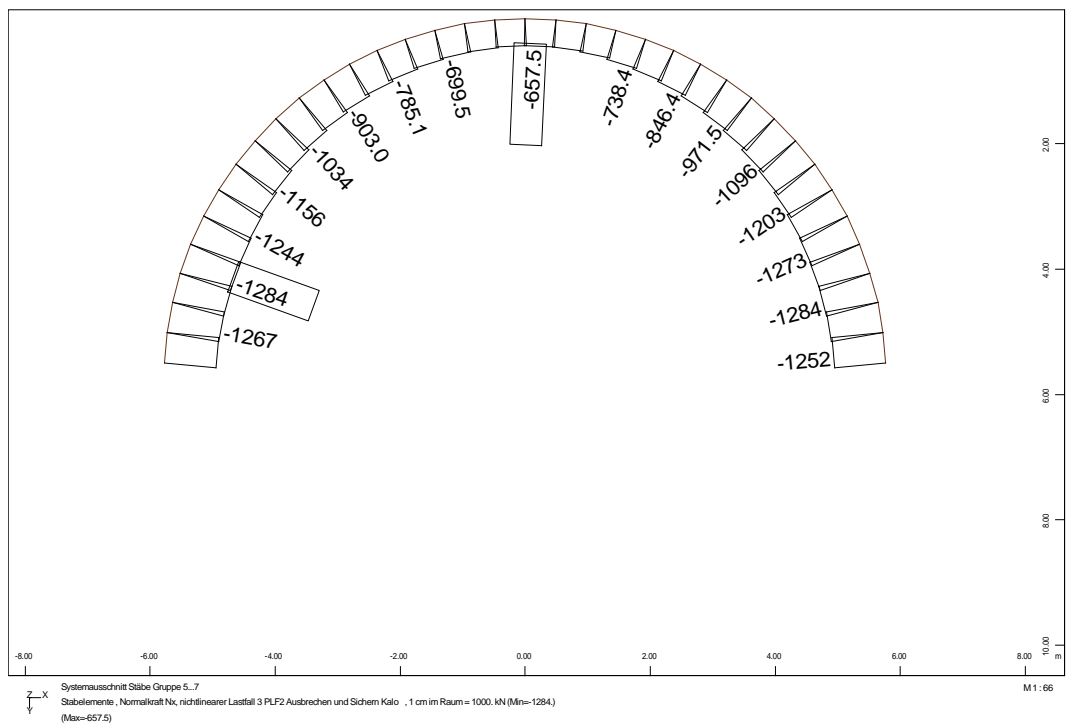


Bild 3.2: charakteristische Normalkräfte der Außenschale, Kalottenausbruch

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 36
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

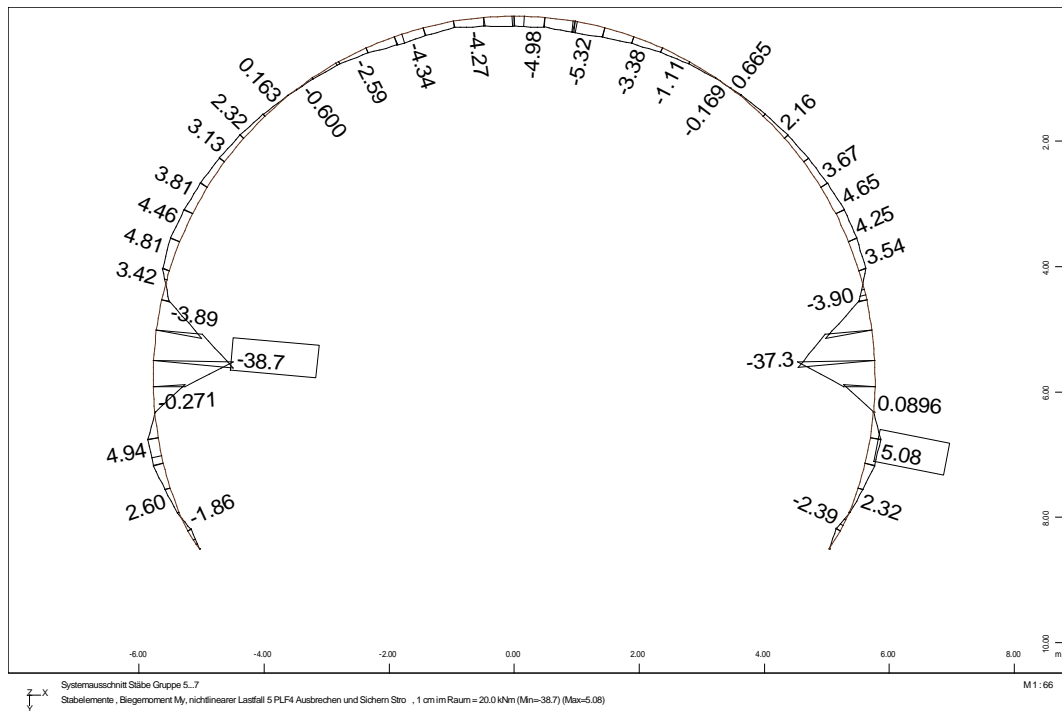


Bild 3.3: charakteristische Biegemomente der Außenschale, Strossenausbruch

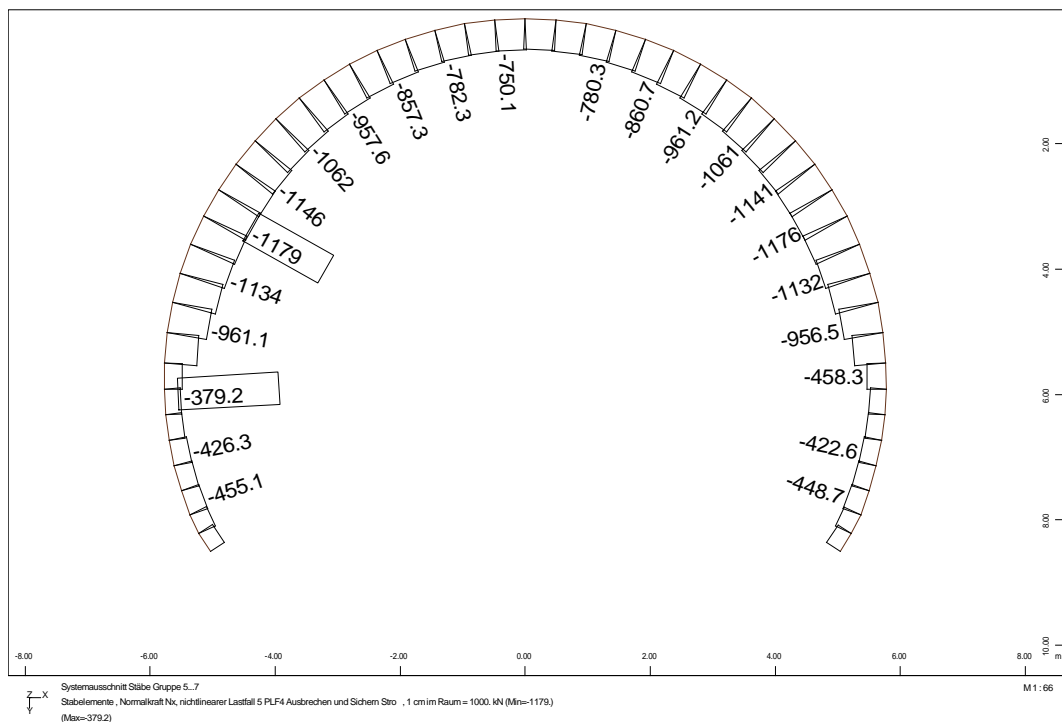


Bild 3.4: charakteristische Normalkräfte der Außenschale, Strossenausbruch

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 38
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

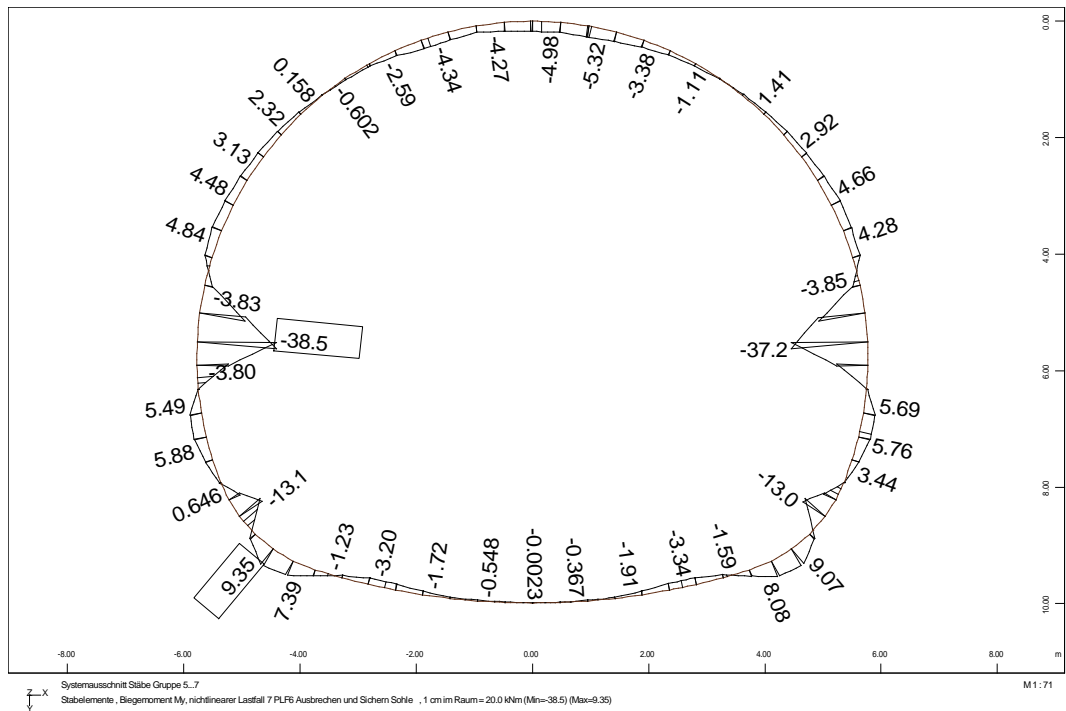


Bild 3.5: charakteristische Biegemomente der Außenschale, Vollausruch

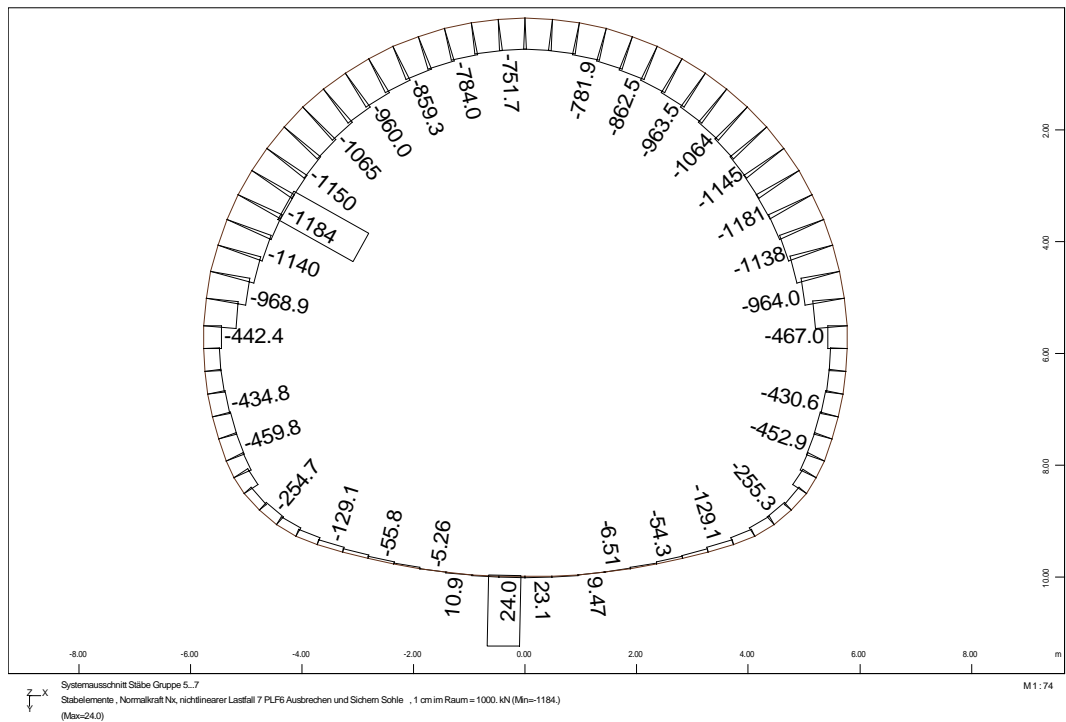


Bild 3.6: charakteristische Normalkräfte der Außenschale, Vollausruch

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 40
Vorgang:	3.1 Außenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.2 Innenschale - Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Auf den folgenden Seiten sind die Momentenlinien unter den charakteristischen Einwirkungen (1,0-fache Gebirgs- und Eigengewichtslasten, 1/1,35-fache Temperaturlasten) für die sechs Berechnungsschritte dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 42
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

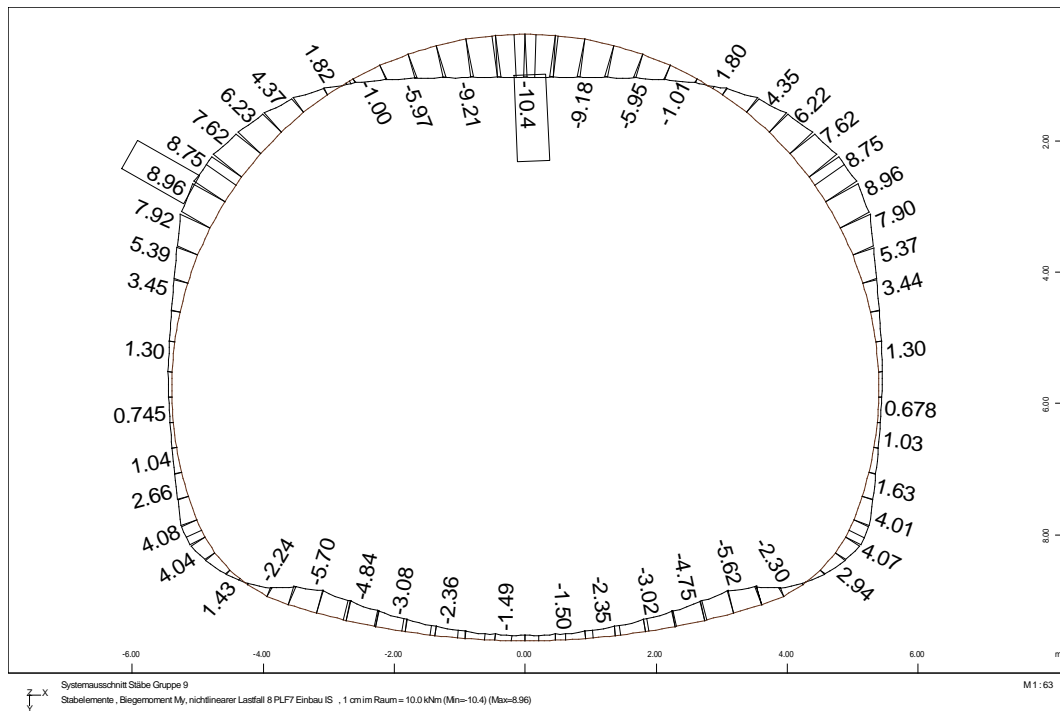


Bild 3.7: char.Biegemomente der Innenschale, Schritt 8 (EG)

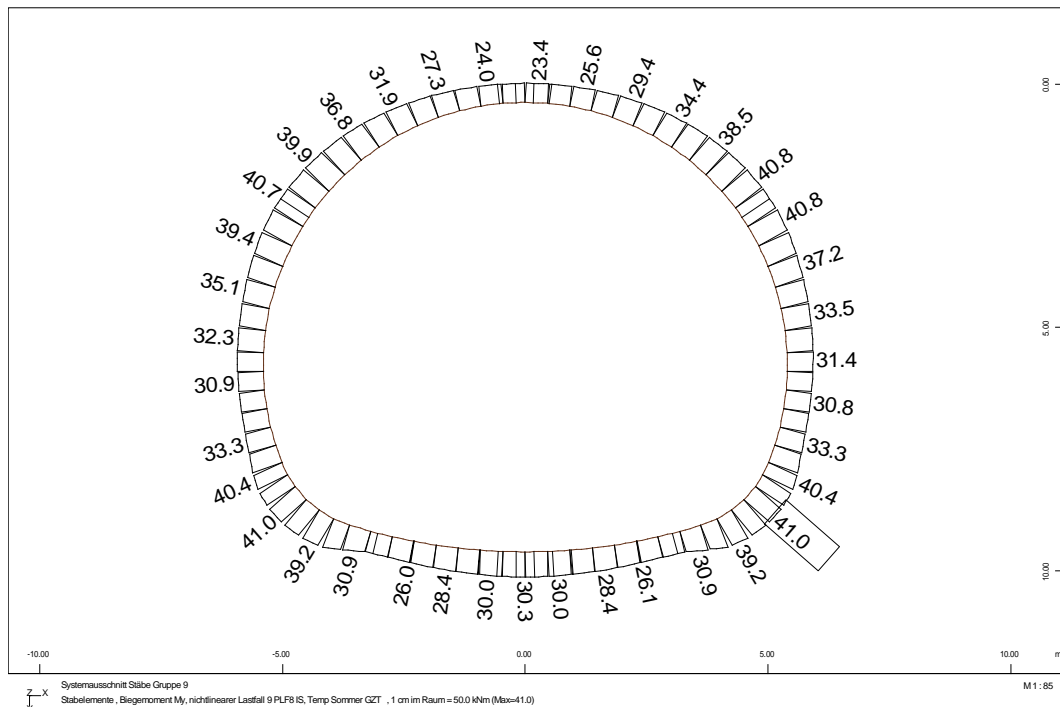


Bild 3.8: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 9 (EG + Som.GZT)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 44
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

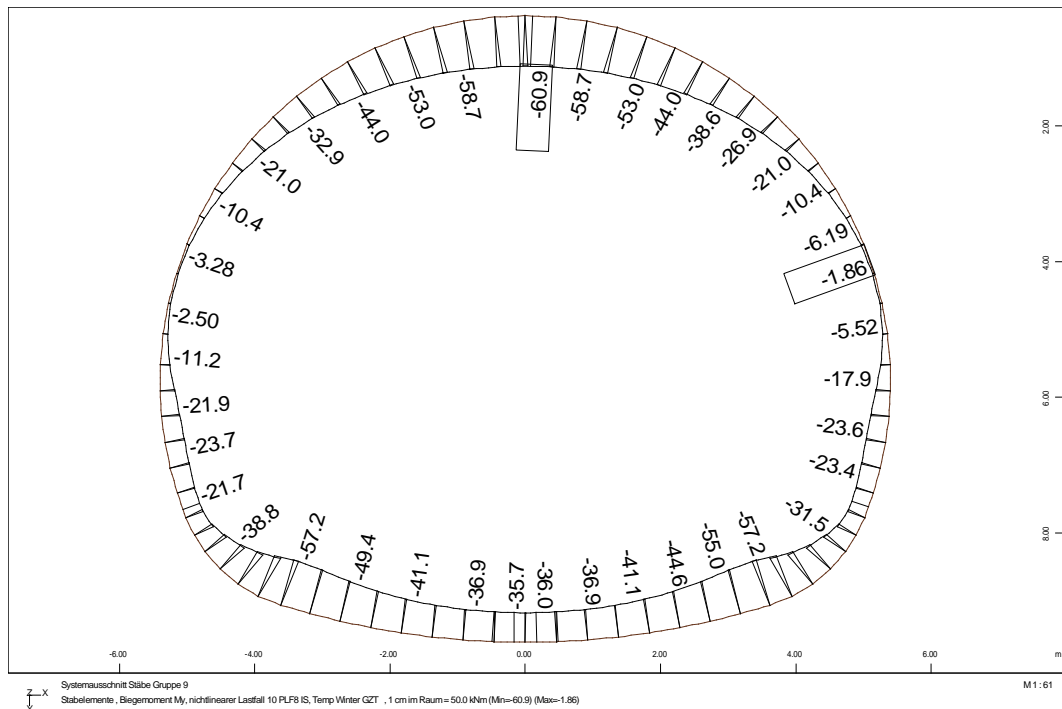


Bild 3.9: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 10 (EG + Win.GZT)

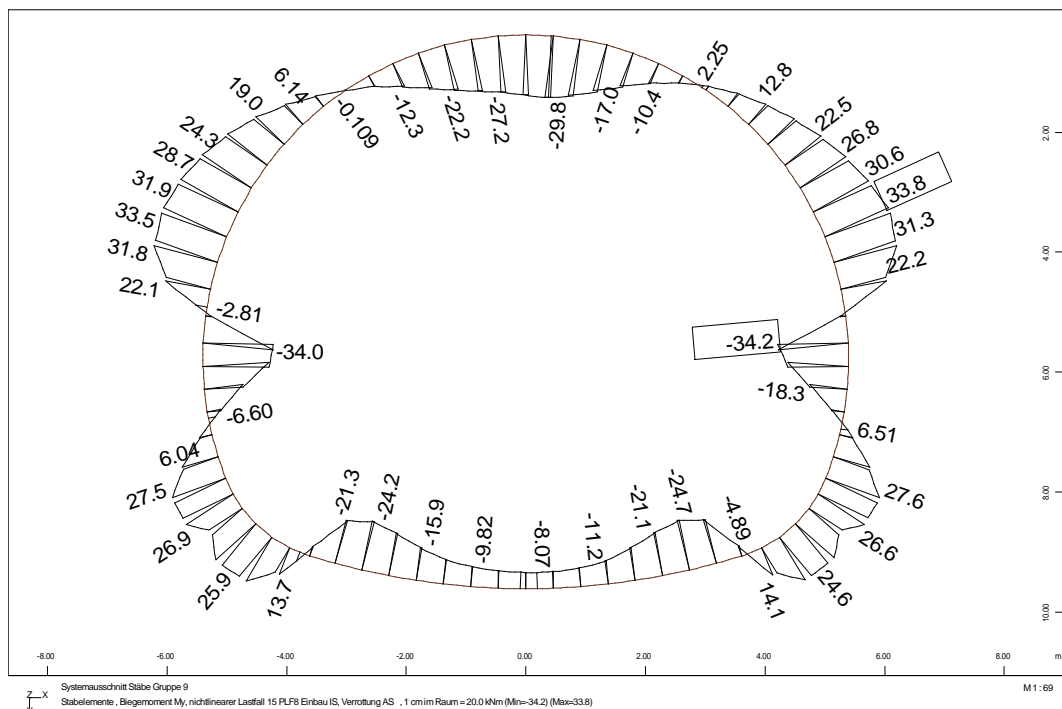


Bild 3.10: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 15 (EG, AS verrottet)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 46
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

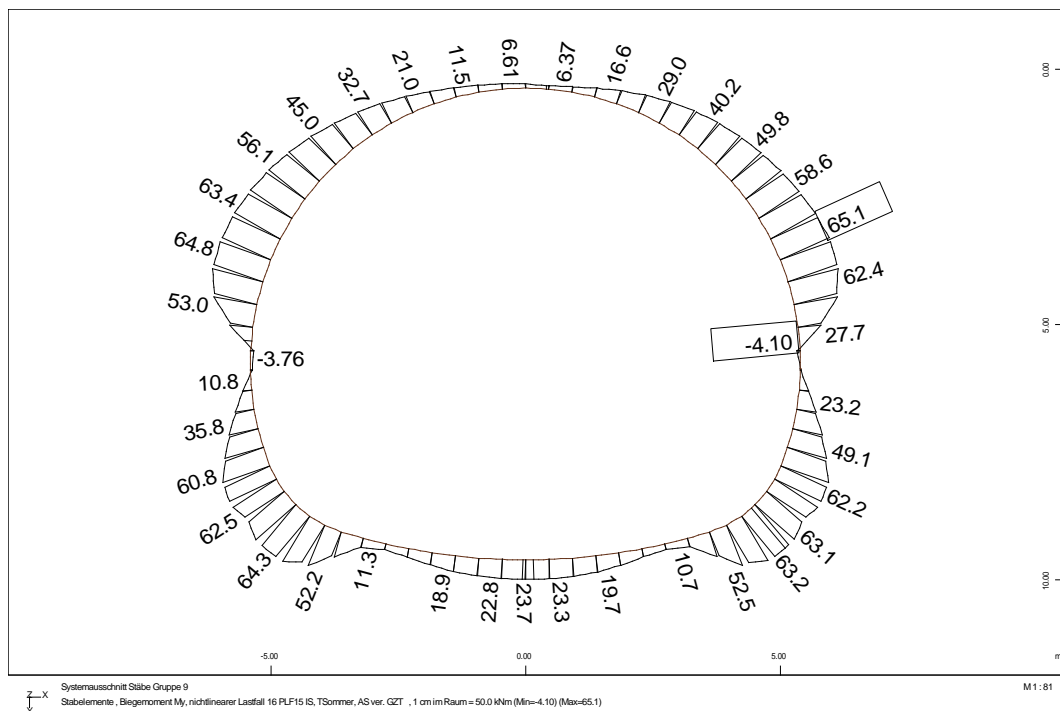


Bild 3.11: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 16 (EG + Som.GZT, AS verrottet)

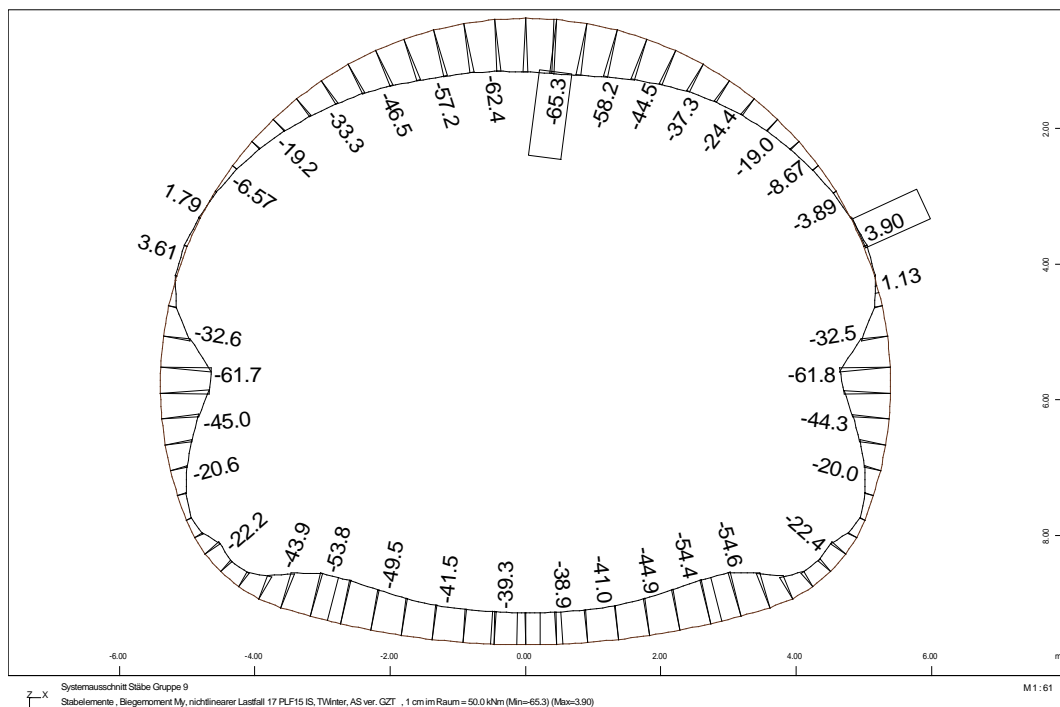


Bild 3.12: char. Biegemomente der Innenschale, Schritt 17 (EG + Win.GZT, AS verrottet)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 48
Vorgang:	3.2 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.3 Innenschale - Schnittgrößen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Auf den folgenden Seiten sind die Momentenlinien unter der häufigen Einwirkungskombination (1,0-fache Gebirgs- und Eigengewichtslasten und 0,5-fache Temperaturlasten) für die vier maßgebenden Berechnungsschritte dargestellt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 50
Vorgang:	3.3 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

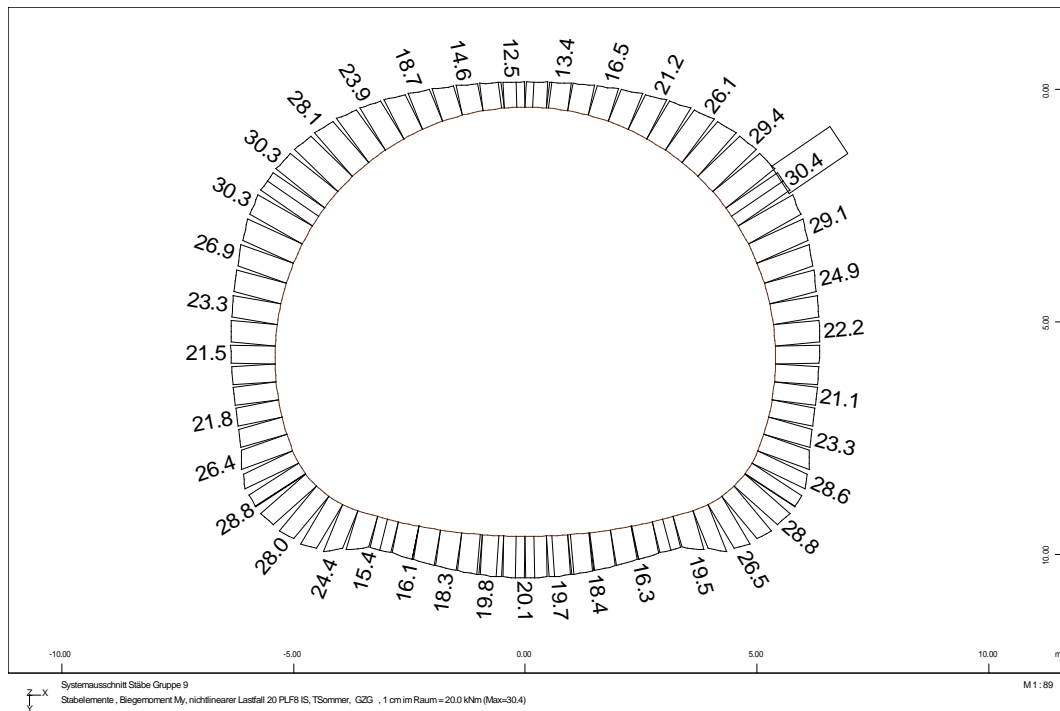


Bild 3.13: Biegemomente der Innenschale, Schritt 20 (EG + Som.GZG)

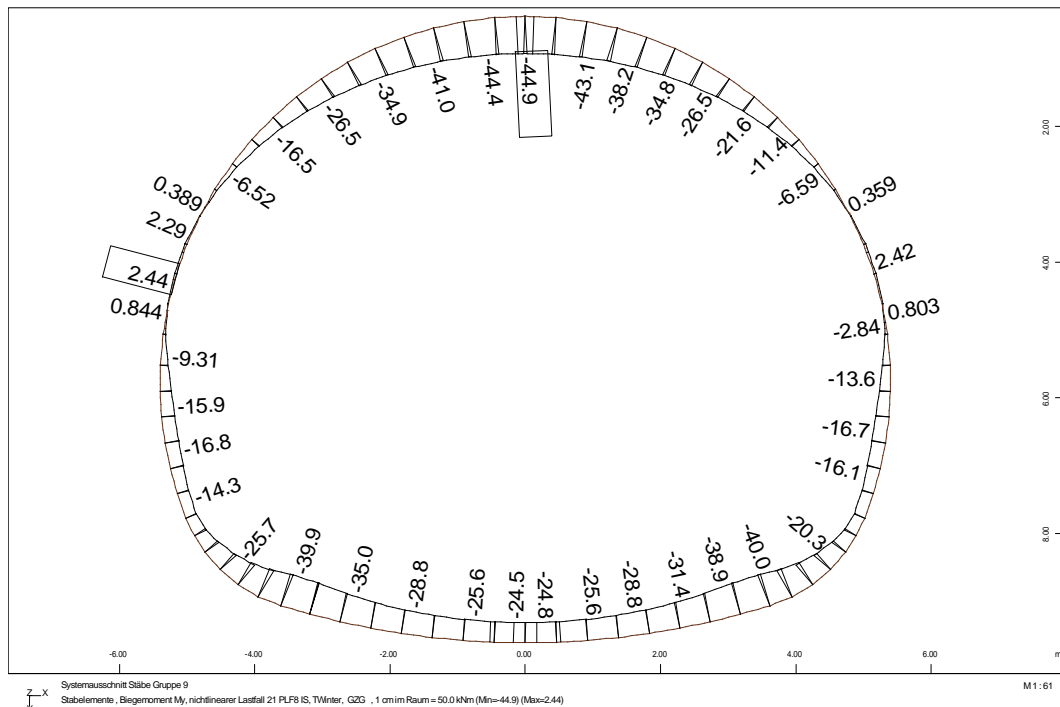


Bild 3.14: Biegemomente der Innenschale, Schritt 21 (EG + Win.GZG)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 52
Vorgang:	3.3 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

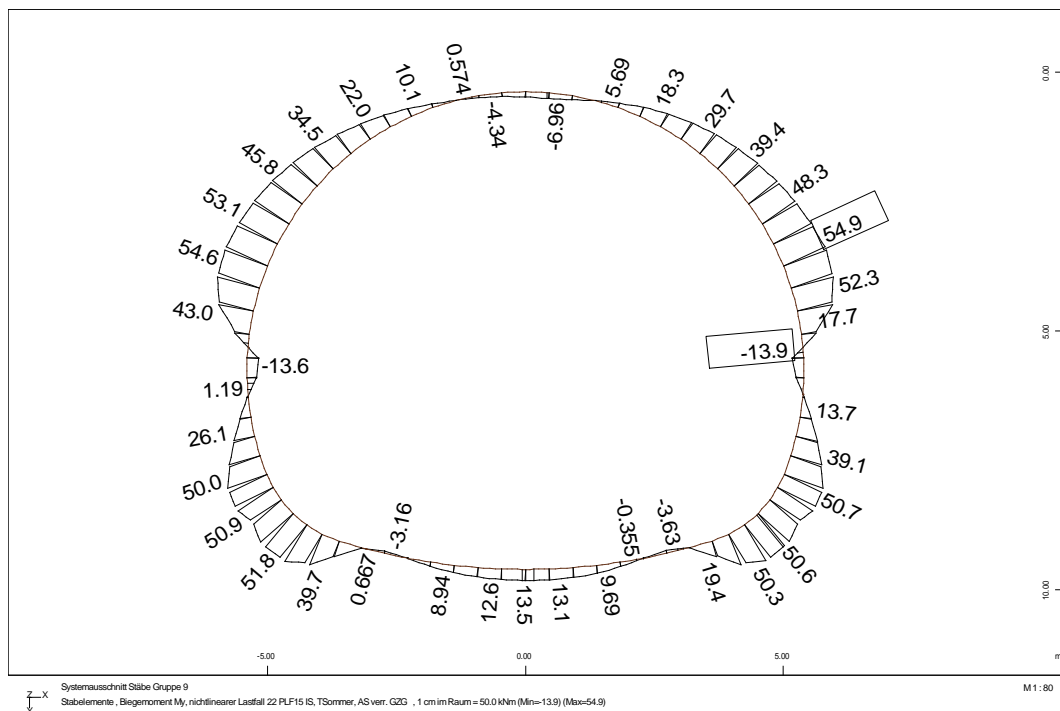


Bild 3.15: Biegemomente der Innenschale, Schritt 22 (EG + Som.GZG, AS verrottet)

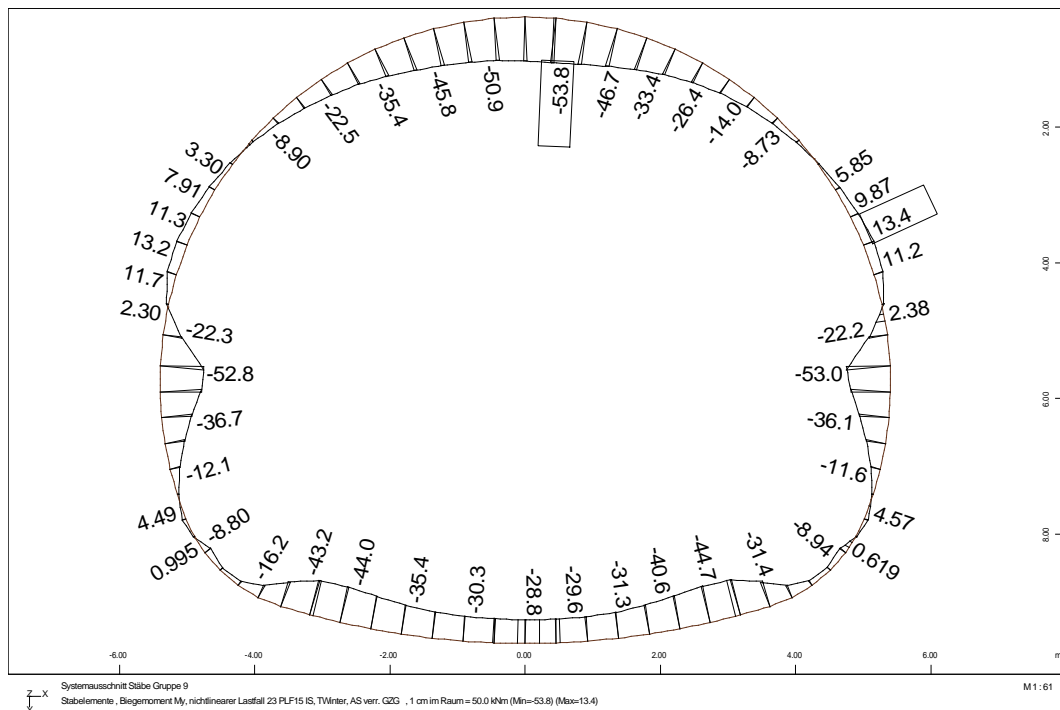


Bild 3.16: Biegemomente der Innenschale, Schritt 23 (EG + Win.GZG, AS verrottet)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Schnittgrößenermittlung	Seite 54
Vorgang:	3.3 Innenschale – Schnittgrößen im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. BEMESSUNG

##### 4.1 Außenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Bemessung erfolgt programmintern gemäß DIN EN 1992-2. Aufgrund der langen Standzeit der Außenschale erfolgt die Bemessung mit den Teilsicherheiten der Bemessungssituation BS-P gemäß DIN 1054, Tabelle A2.1.

Die Bemessungsschnittgrößen werden programmintern durch Multiplikation der charakteristischen Schnittgrößen mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_g = 1,35$  für ständige Lasten ermittelt.

Die Bemessungsergebnisse werden im Folgenden grafisch dargestellt. Es zeigt sich, dass abgesehen von einer minimalen Bewehrung in der Sohle, die aus einer numerisch entstandenen, aber tatsächlich nicht vorhandenen Zugkraft in Sohlmitte resultiert, keine Biegebewehrung erforderlich ist.

Konstruktiv wird eine zweilagige Mattenbewehrung (Q188A außen und innen) vorgesehen.

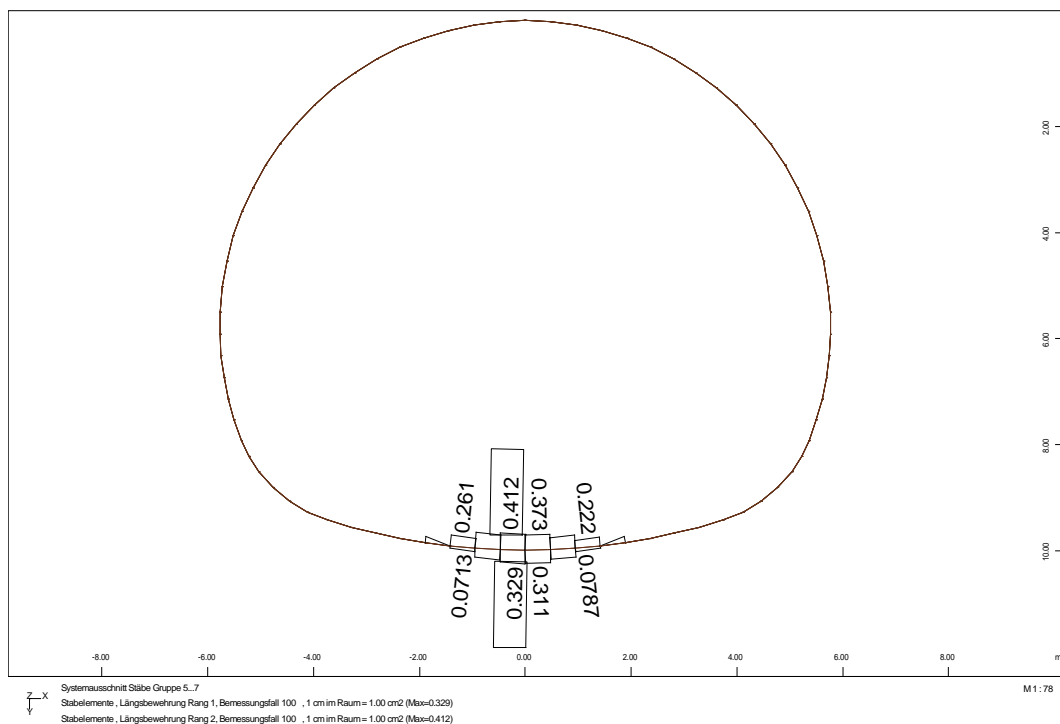


Bild 4.1: statisch erforderliche Biegebewehrung der Außenschale

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 56
Vorgang:	4.1 Außenschale – Nachweise im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.2 Innenschale - Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Biege- und Schubbemessung erfolgt programmintern gemäß DIN EN 1992-2. Die Bemessungsschnittgrößen werden programmintern durch Multiplikation der charakteristischen Schnittgrößen mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_g = 1,35$  für ständige Lasten (und  $\gamma_T = 1,0$  für Temperaturlasten) ermittelt.

Die Bemessungsergebnisse für Biegung werden im Folgenden grafisch dargestellt. Schubbewehrung ist nicht erforderlich.

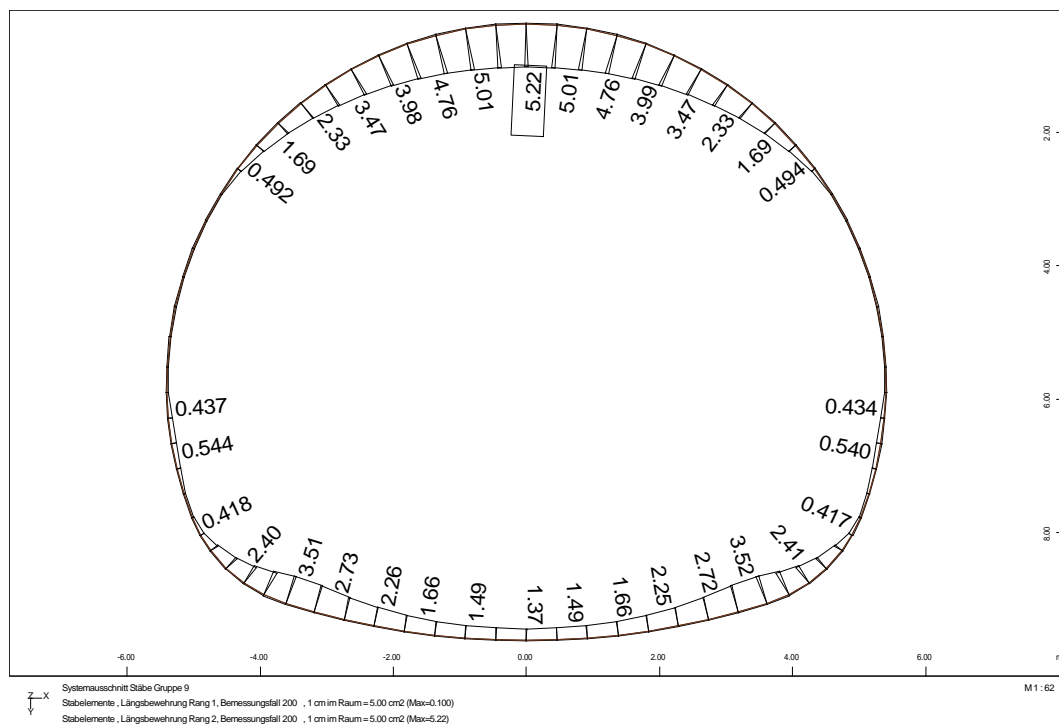


Bild 4.2: statisch erforderliche Biegebewehrung der Innenschale

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 58
Vorgang:	4.2 Innenschale – Nachweise im GZ der Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 4.3 Innenschale – Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Gemäß ZTV-ING T5, Abschnitt 1, 3.4.1 wird für die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung die häufige Einwirkungskombination angesetzt.

Die Bemessungsschnittgrößen werden programmintern durch Multiplikation der charakteristischen Schnittgrößen mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_g = 1,0$  für ständige Lasten (und  $\psi_2 = 0,50$  für Temperaturlasten) ermittelt

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.3.4

Die zulässige rechnerische Rissbreite für die wu-Betonkonstruktion beträgt:

$$w_{k,cal} = 0,20 \text{ mm (Luftseite)}$$

$$w_{k,cal} = 0,15 \text{ mm (Erdseite).}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 3.3.4.4

Die Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erfolgt programmintern unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Stabdurchmessers von 10 mm. Die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung erfolgen durch direkte Berechnung gemäß DIN EN 1992-2, 7.3.4.

Der Rechenwert der Rissbreite ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\sigma_s = \frac{3,6 \cdot w_k \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}$$

DIN EN 1992-2, 7.3.4, Gl. (7.8), (7.9) und NDP zu 7.3.4(3)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \left( \sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right)}{3,6 \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}$$

mit  $\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot b \cdot (h - d)$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

DIN EN 1992-1-1, Gl. (7.10)

DIN EN 1992-2, NCI zu 7.3.3 (2)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 60
Vorgang:	4.3 Innenschale – Nachweise im GZ der Gebrauchstauglichkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Der Nachweis der Begrenzung der Betondruckspannung auf  $0,6 f_{ck}$  gemäß DIN EN 1992-2, 7.2 (102) ist bei Tunnelbauwerken nicht zu führen, da durch die vergrößerte Betondeckung von 6 cm und die außen liegende Längsbewehrung die Entstehung von Querspannungen verhindert wird.

Die erforderliche Biegebewehrung zur Begrenzung der Rissbreite ist dem folgenden Ausdruck zu entnehmen.

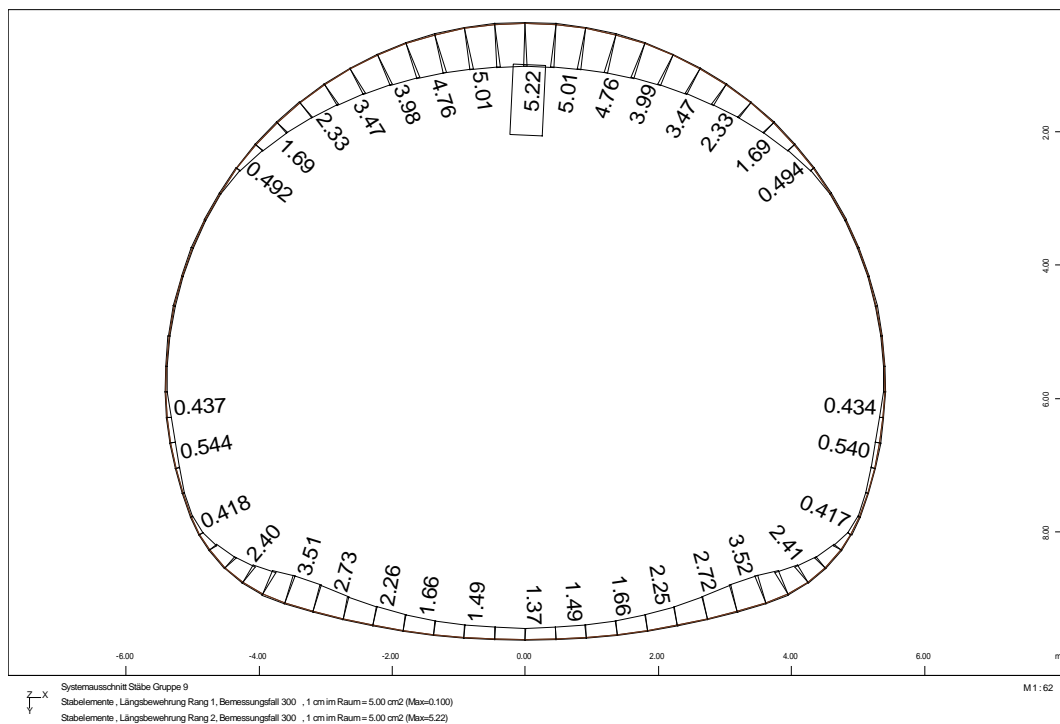


Bild 4.3: erforderliche Biegebewehrung der Innenschale zur Rissbreitenbeschränkung

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 62
Vorgang:	4.3 Innenschale – Nachweise im GZ der Gebrauchstauglichkeit	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.4 Mindestbewehrung

### 4.4.1 Mindestbewehrung allgemein

Mindestbewehrung für wu-Beton-Konstruktionen

$$a_{smin} = 3,9 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ZTV-ING T5, Abschn. 1, 7.2.2 (2)

### 4.4.2 Mindestbewehrung in Längsrichtung

#### Mindestbewehrung für Querkontraktion

$$A_{s,q} = 0,20 \cdot A_{s,l}$$

DIN EN 1992-1-1, 9.3.1.1 (2)

#### Mindestbewehrung aus Zwang

Aufgrund der Schwindbehinderung ist oberhalb der Arbeitsfuge eine erhöhte Mindestbewehrung in Längsrichtung erforderlich. Diese wird nach DIN EN 1992-2 ermittelt.

ZTV-ING, T5, Abschn.1, 3.3.4.4 (4)

Es gilt:

$$W_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

DIN-EN 1992-2, 7.3.4, Gl. (7.8)

mit  $s_{r,max} = d_s / (3,6 \rho_{p,eff})$

DIN-EN 1992-2, 7.3.4, NDP zu 7.3.4 (3)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \sigma_{sr} - 0,4 f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) / E_s$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.4, Gl. (7.9)

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.4, Gl. (7.10)

$$A_{c,eff} = 2,5 \cdot (h - d) \leq (h - x) / 3 \leq h / 2$$

DIN-EN 1992-1-1, 7.3.2 (3)

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

Die Anrissspannung  $\sigma_{sr}$  wird aus der Mindestbewehrung bestimmt unter Ansatz von  $\sigma_s = \sigma_{sr}$

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_{sr}$$

DIN-EN 1992-2, 7.3.2, Gl. (7.1)

mit  $k_c = 1,0$  für Zug

DIN-EN 1992-2, 7.3.2

$$k = 0,8 \text{ für } h \leq 300 \text{ mm}$$

bzw.  $k = 0,5$  für  $h \geq 800 \text{ mm}$

$$f_{ct,eff} = 0,50 \cdot f_{ctm}$$

$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$

Die ermittelte Bewehrung wird konstruktiv bis 3 m Höhe über der Arbeitsfuge eingelegt.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung	Seite 64
Vorgang:	4.4 Mindestbewehrung	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Bauteil	h	d	d <sub>s</sub>	w <sub>k</sub>	A <sub>s,erf</sub>
	cm	cm	mm	mm	cm <sup>2</sup> /m
Ulme außen	40	33,5	14	0,15	15,5
Ulme innen	40	33,5	12	0,20	12,5

Tabelle 4.1: Mindestbewehrung aus Zwang

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 66	Archiv-Nr.
Block:	4. Bemessung		
Vorgang:	4.4 Mindestbewehrung		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. ERGEBNIS DER BEMESSUNG

### 5.1 Außenschale

#### 5.1.1 Biegebewehrung in Längs- und Ringrichtung

Die Biegebewehrung wird konstruktiv gewählt.

Bauteil	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	außen und innen
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	BSt-Matte
Kalotte	-	1,88	Q188 A
Strosse	-	1,88	Q188 A
Sohle	(0,4)	1,88	Q188 A

Tabelle 5.1: Biegebewehrung der Außenschale

#### 5.1.2 Schubbewehrung

nicht erforderlich

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 68
Vorgang:	5.1 Außenschale	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5.2 Innenschale

### 5.2.1 Bewehrung in Längsrichtung

Bauteil	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Sohle	3,9	3,9	10/20
Ulme bis 3 m, innen	12,5	13,9	12/10 + 10/30
Ulme bis 3 m, außen	15,5	15,4	14/10
Gewölbe	3,9	3,9	10/20

Tabelle 5.2: Bewehrung der Innenschale in Längsrichtung

### 5.2.2 Biegebewehrung in Ringrichtung

Bauteil	$A_{s,erf}$	$A_{s,vorh}$	$\varnothing_s / s$
	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	mm / cm
Firste innen	5,22	5,6	12/20
Firste außen	-	3,9	10/20
Ulme innen	-	3,9	10/20
Ulme außen	-	3,9	10/20
Sohle innen	3,52	3,9	10/20
Sohle außen	-	3,9	10/20

Tabelle 5.3: Biegebewehrung der Innenschale in Ringrichtung

### 5.2.3 Schubbewehrung

keine Schubbewehrung erforderlich

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 70
Vorgang:	5.2 Innenschale	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Tunnel in bergm. Bauweise DIN EN 1997 / DIN 1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 5.3 Darstellung der Bewehrung von Außen- und Innenschale

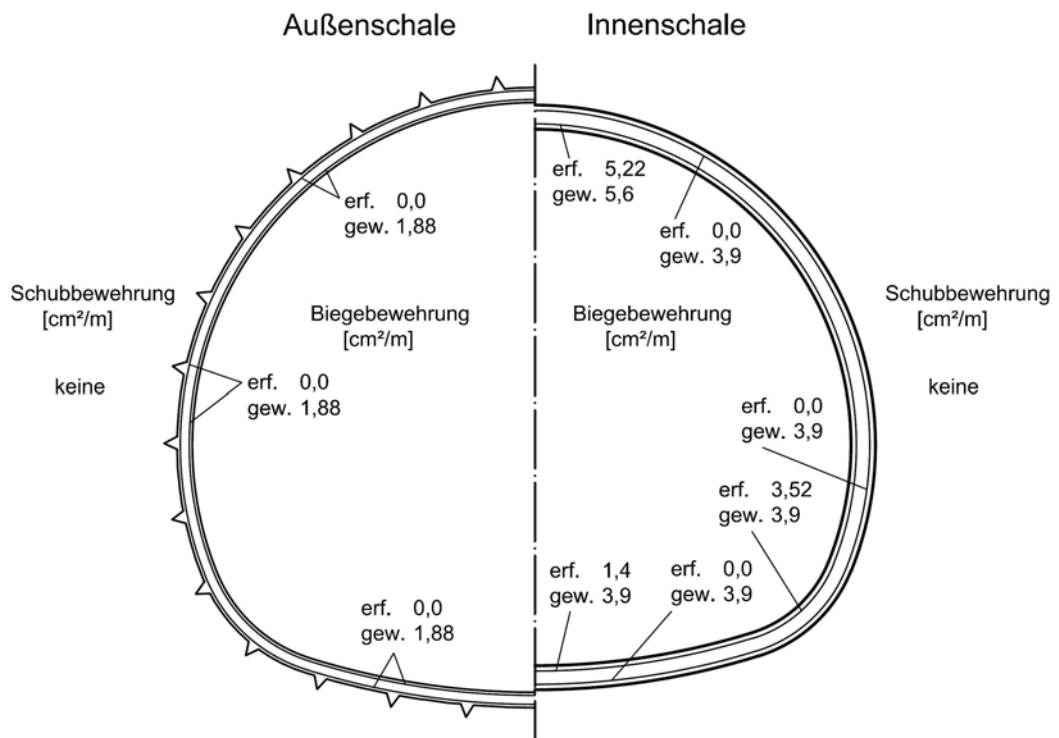


Bild 5.1: Erforderliche und konstruktiv gewählte Biege- und Schubbewehrung der Außen- und Innenschale

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Bemessung	Seite 72
Vorgang:	5.3 Darstellung der Bewehrung	

## **Stand sicherheitsnachweis**

### **für eine Pfahlgründung**

#### **Musterbeispiel**

#### **für die nationale Umsetzung des EC 7**

#### **bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken**

#### **mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## Stand sicherheitsnachweis für eine Pfahlgründung

### Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	1
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	3
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	7
IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	9
1. Berechnungsgrundlagen	11
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	11
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	13
1.3 Statisches System	17
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	21
1.5 Ermittlung der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie	25
1.6 Gruppenwirkung der Pfähle	29
2. Ermittlung der Pfahlkräfte	33
3. Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	39
3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit	39
3.2 Nachweise der inneren Tragfähigkeit	43
4. Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	45
4.1 Setzungen	45
4.2 Mindestbewehrung und Rissbreitenbeschränkung der Pfähle	57
5. Ergebnis der Pfahlbemessung	59

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis	Seite 1	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

**Stand sicherheitsnachweis  
für eine Pfahlgründung**

**Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von  
Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	2
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	4
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	8
IV. Stand sicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	10
1. Berechnungsgrundlagen	12
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	12
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	14
1.3 Statisches System	18
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	22
1.5 Ermittlung der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie	26
1.6 Gruppenwirkung der Pfähle	30
2. Ermittlung der Pfahlkräfte	34
3. Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	40
3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit	40
3.2 Nachweise der inneren Tragfähigkeit	44
4. Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	46
4.1 Setzungen	46
4.2 Mindestbewehrung und Rissbreitenbeschränkung der Pfähle	58
5. Ergebnis der Pfahlbemessung	60

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis	Seite 2	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Zur Gründung eines Pfeilers für ein mehrfeldriges Brückenbauwerk wird zur Abtragung der Vertikal- und Horizontallasten eine Pfahlrost-Konstruktion mit starrer Pfahlkopfplatte hergestellt. Die 8 geneigt ausgeführten Pfähle haben einen Durchmesser von 60 cm und werden als Bohrpfähle geplant. Sie überbrücken die unterhalb einer Auffüllung anstehende ca. 8 m mächtige Tonschicht und gründen 6 m tief in tragfähigem Fels.

### Baugrund und Grundwasser

In Gründungsebene bis ca. 8 m Tiefe steht Ton an, der für eine Flachgründung keine ausreichende Tragfähigkeit aufweist. Der unterhalb der Tonschicht anstehende Fels in Form einer verwitterten Tonstein-Sandstein-Wechsellagerung weist dagegen eine ausreichend Tragfähigkeit auf, so dass eine Pfahlgründung ausgeführt werden kann. Grundwasser steht in Gründungstiefe nicht an.

### Herstellung und Tragsystem

Nach dem Voraushub einer Arbeitsebene werden die Bohrpfähle mit verrohrter Bohrung bis 6 m tief in den anstehenden tragfähigen Fels hergestellt. Die Pfähle werden bis 0,5 m über Unterkante der späteren Pfahlkopfplatte betoniert. Der Überstand wird später abgebrochen und die biegesteife Stahlbeton-Pfahlkopfplatte betoniert. Das Gelände wird anschließend wieder bis zur ursprünglichen Geländehöhe aufgefüllt.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:	Seite 3	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Zur Gründung eines Pfeilers für ein mehrfeldriges Brückenbauwerk wird zur Abtragung der Vertikal- und Horizontallasten eine Pfahlrost-Konstruktion mit starrer Pfahlkopfplatte hergestellt. Die 8 geneigt ausgeführten Pfähle haben einen Durchmesser von 60 cm und werden als Bohrpfähle geplant. Sie überbrücken die unterhalb einer Auffüllung anstehende ca. 8 m mächtige Tonschicht und gründen 6 m tief in tragfähigem Fels.

### Baugrund und Grundwasser

In Gründungsebene bis ca. 8 m Tiefe steht Ton an, der für eine Flachgründung keine ausreichende Tragfähigkeit aufweist. Der unterhalb der Tonschicht anstehende Fels in Form einer verwitterten Tonstein-Sandstein-Wechselagerung weist dagegen eine ausreichend Tragfähigkeit auf, so dass eine Pfahlgründung ausgeführt werden kann. Grundwasser steht in Gründungstiefe nicht an.

### Herstellung und Tragsystem

Nach dem Voraushub einer Arbeitsebene werden die Bohrpfähle mit verrohrter Bohrung bis 6 m tief in den anstehenden tragfähigen Fels hergestellt. Die Pfähle werden bis 0,5 m über Unterkante der späteren Pfahlkopfplatte betoniert. Der Überstand wird später abgebrochen und die biegesteife Stahlbeton-Pfahlkopfplatte betoniert. Das Gelände wird anschließend wieder bis zur ursprünglichen Geländehöhe aufgefüllt.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 4	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

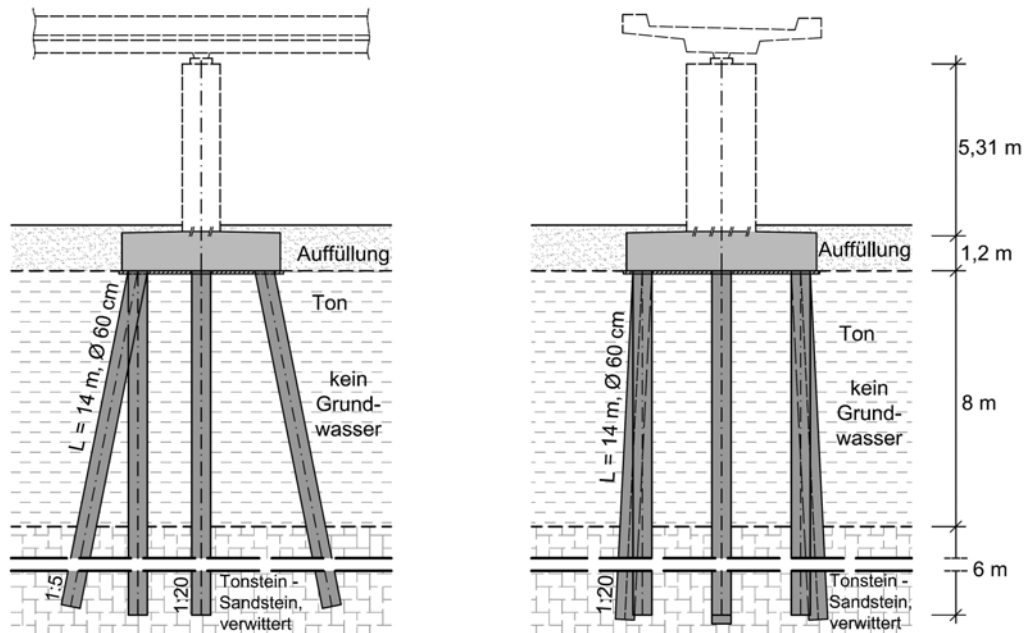


Bild II.1: Pfahlgründung, Längs- und Querschnitt

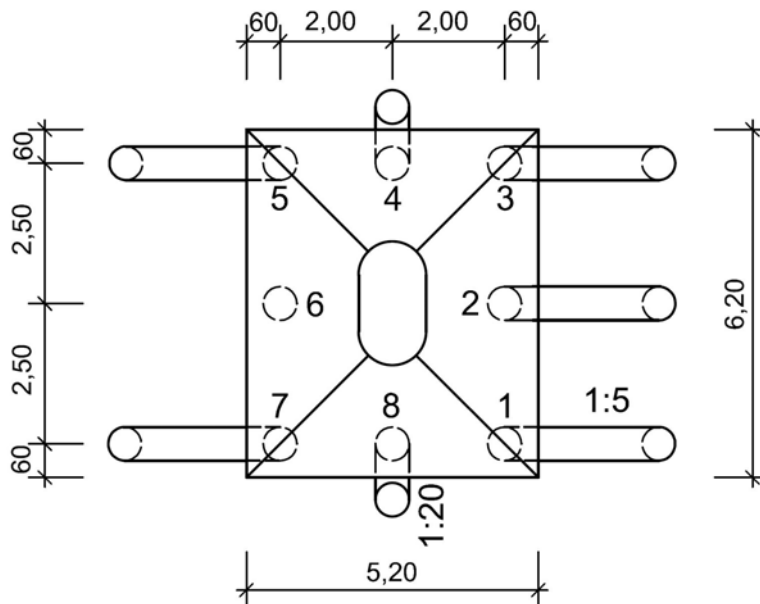


Bild II.2: Pfahlgründung, Draufsicht Pfahlkopfplatte mit Pfahlnummern

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Seite 5	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

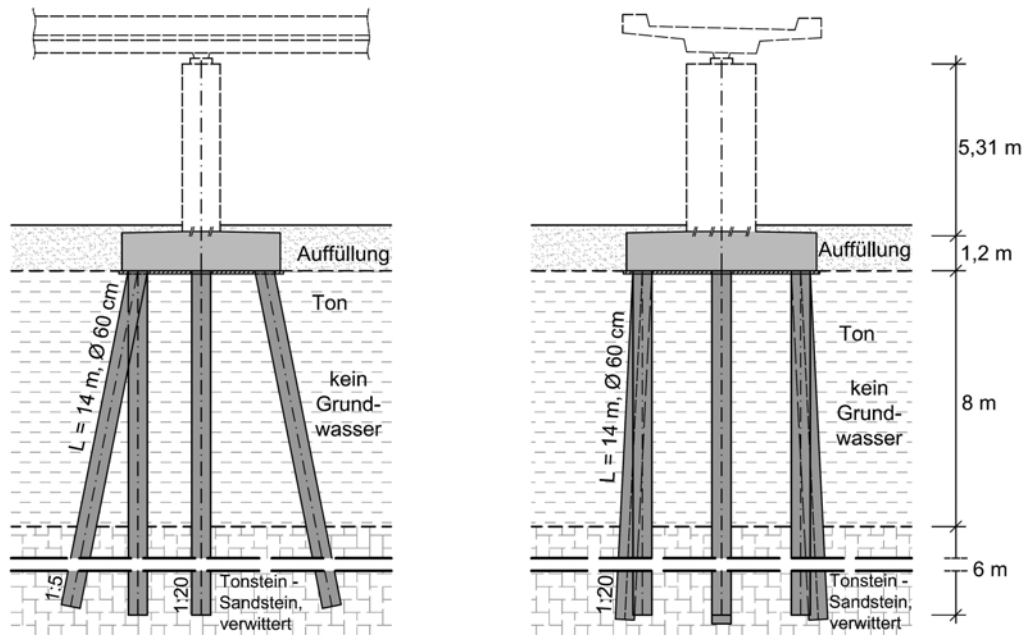


Bild II.1: Pfahlgründung, Längs- und Querschnitt

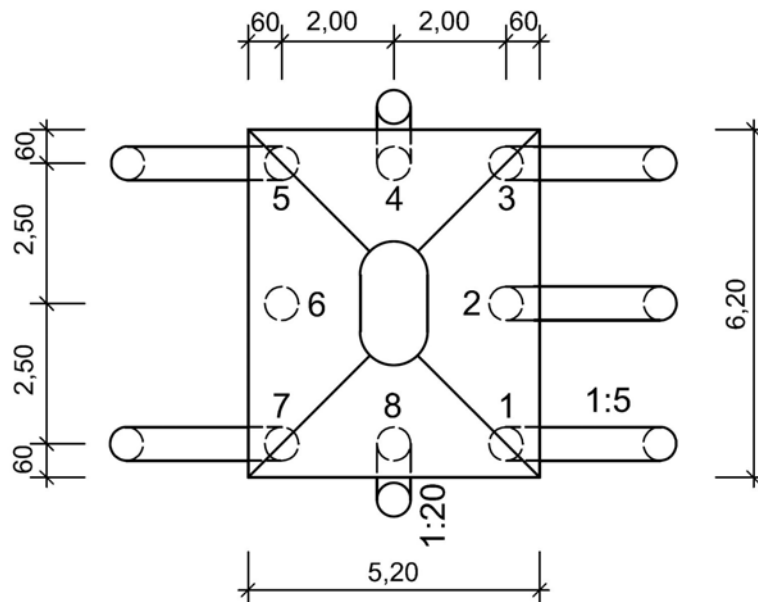


Bild II.2: Pfahlgründung, Draufsicht Pfahlkopfplatte mit Pfahlnummern

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Seite 6	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 2, Abschn. 2 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Grundbau, Gründungen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2007-12

DIN-Fachbericht 101 Einwirkungen auf Brücken, Ausgabe 2009-03

DIN-Fachbericht 102 Betonbrücken, Ausgabe 2009-03

DIN 1054 Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005-01

DIN 1055 Teil 1 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, Ausgabe 2002-06

DIN EN 1536 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau, Bohrpfähle, Ausgabe 2010-12

EA-Pfähle Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst und Sohn, 2007

EDV-Programme:

SOFISTIK Programmmodule zur Stabwerksberechnung

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen		Archiv-Nr.
Block:		Seite 7	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 2, Abschn. 2	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Grundbau, Gründungen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwurf 2012-08
DIN EN 1990	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1990/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1990, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-1-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-1-1, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-2	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1991-2/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-2, Ausgabe 2012-08
DIN EN 1992-2	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1992-2/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-2, Entwurf 2012-04
DIN EN 1997-1	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Ausgabe 2009-09
DIN EN 1997-1/NA	Nationaler Anhang zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12
DIN EN 1536	Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau, Bohrpfähle, Ausgabe 2010-12
EA-Pfähle	Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst und Sohn, 2. Auflage 2012

EDV-Programme:

SOFISTIK                      Programmmodule zur Stabwerksberechnung

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 8
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise der Pfahlgründung gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 2 (Grundbau, Gründungen).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Teilsicherheiten und Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN-Fachbericht 101: für den Ansatz von Verkehrslasten und die zugehörigen Teilsicherheiten auf der Einwirkungsseite
- DIN-Fachbericht 102: für die Bemessung und die Material-Teilsicherheitsbeiwerte der Stahlbetonkonstruktion
- DIN 1054(2005): für die Sicherheitsnachweise der Gründung einschließlich der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus dem Baugrund

Darüber hinaus sind die EA-Pfähle zu beachten.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 9	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise der Pfahlgründung gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 2 (Grundbau, Gründungen).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Teilsicherheiten und Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1990: für die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für Eigen- und Verkehrslasten
- DIN-EN 1991-2: für den Ansatz von Verkehrslasten
- DIN-EN 1992-2: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften
- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise der Pfahlgründung
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser

Darüber hinaus sind die EA-Pfähle zu beachten.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 10	
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Wichte feucht	Reibungs- winkel	Kohäsion	Pfahlmantel- reibung $q_{s,k}$	Steifemodul Es
	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Ton	19	20	15	-	< 5
Verwitterungszone Tonstein - Sandstein	22	25	50	0,10	200 - 300

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Grundwasser steht im Gründungsbereich nicht an.

Zum Nachweis der Pfahltragfähigkeit wurden in dem anstehenden Baugrund drei statische Pfahlprobelastungen (Druckpfähle) durchgeführt.

Für die Zugpfähle kann auf einen Erfahrungswert der Mantelreibung zurückgegriffen werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Wichte feucht	Reibungs- winkel	Kohäsion	Pfahlmantel- reibung $q_{s,k}$	Steifemodul Es
	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Ton	19	20	15	-	< 5
Verwitterungszone Tonstein - Sandstein	22	25	50	0,10	200 - 300

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Grundwasser steht im Gründungsbereich nicht an.

Zum Nachweis der Pfahltragfähigkeit wurden in dem anstehenden Baugrund drei statische Pfahlprobelastungen (Druckpfähle) durchgeführt.

Für die Zugpfähle kann auf einen Erfahrungswert der Mantelreibung zurückgegriffen werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 12
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

Betonstahlsorte	BSt 500 S	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1 bzw.
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.1, Tab. R2 DIN 1045-1, 9.2.4 (3)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.4.3 (1)

### Betondeckung

allgemein	nom $c = 50 \text{ mm}$	DIN EN 1536, 7.7.2
-----------	-------------------------	--------------------

### Beton

Betonfestigkeitsklasse	C30/37	
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.4, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 28600 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.5.2, Tab. 3.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V):		DIN-FB 102, Kap. II, 2.3.3.2, Tab. 2.3
--	--	---

$$\gamma_s = 1,15$$

im GZ2	$\gamma_s = 1,0$
--------	------------------

#### Beton:

S+V	$\gamma_c = 1,5$	DIN-FB 102, Kap. II, 2.3.3.2, Tab. 2.3
-----	------------------	---

im GZ2	$\gamma_c = 1,0$
--------	------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 13
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

DIN-EN 1992-2, 3.2

Betonstahlsorte	BSt 500 S	
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 1992-2, NDP zu 3.2.7(2)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.2.7(4)

### Betondeckung

allgemein	nom $c = 50 \text{ mm}$	DIN EN 1536, 7.7.2
-----------	-------------------------	--------------------

### Beton

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37	
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 32800 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V): DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

$$\gamma_s = 1,15$$

im SLS  $\gamma_s = 1,0$

#### Beton:

S+V  $\gamma_c = 1,5$  DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

im SLS  $\gamma_c = 1,0$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 14
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Pfähle

Die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise erfolgen für den Lastfall 1.

DIN 1054

Teilsicherheitsbeiwerte GZ 1B

Pfahldruckwiderstand bei Probelast.

$$\gamma_{Pc} = 1,20$$

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

Pfahlzugwiderstand bei Probelast.

$$\gamma_t = 1,30$$

Pfahlwiderstand auf Zug

aufgrund von Erfahrungswerten.

$$\gamma_P = 1,40$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 15
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Pfähle

Die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise erfolgen für die Bemessungssituation BS-P.

DIN EN 1997-1

Teilsicherheitsbeiwerte GEO-2 / STR

Pfahldruckwiderstand bei Probebel.  $\gamma_t = 1,10$

DIN 1054, Tab. A 2.3

Pfahlzugwiderstand bei Probebel.  $\gamma_{s,t} = 1,15$

Pfahlwiderstand auf Zug

aufgrund von Erfahrungswerten  $\gamma_{s,t} = 1,50$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 16
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

Der Pfahlrost mit seinen 8 Gründungspfählen wird als dreidimensionales System abgebildet. Dabei werden die Pfähle als Pendelstützen mit gelenkiger Lagerung am Kopf und am Fuß modelliert. Die Pfahlkopfplatte wird als beigesteife Stahlbetonplatte mit ihrer tatsächlichen Steifigkeit abgebildet.

Zur Ermittlung der Eigengewichts-Lasten des Pfeilers und zur Berücksichtigung der zutreffenden Hebelarme der Brückenaufasten wird auch der Pfeiler mit abgebildet.

Gemäß DIN 1054, 8.3.1 (4) ist die Nichtlinearität der Widerstands-Setzungslinie der Pfähle bei den Standsicherheitsnachweisen zu beachten. Daher werden an den Füßen der als starr abgebildeten Pfähle elastische Federn angeordnet, deren Federsteifigkeiten iterativ an die jeweiligen Pfahllasten der einzelnen Pfähle angepasst werden können. Die Federsteifigkeiten werden dabei als Sekanten aus der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie ermittelt.

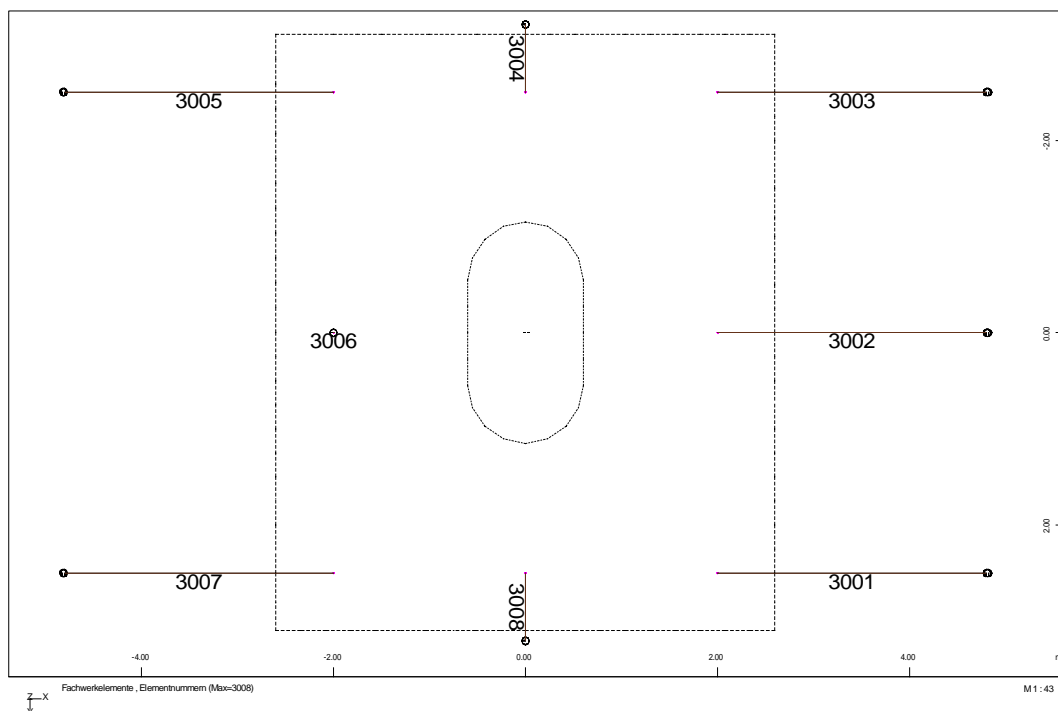


Bild 1.1: Draufsicht Pfahlkopfplatte mit Pfahlnummern

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 17
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

Der Pfahlrost mit seinen 8 Gründungspfählen wird als dreidimensionales System abgebildet. Dabei werden die Pfähle als Pendelstützen mit gelenkiger Lagerung am Kopf und am Fuß modelliert. Die Pfahlkopfplatte wird als biegesteife Stahlbetonplatte mit ihrer tatsächlichen Steifigkeit abgebildet.

Zur Ermittlung der Eigengewichts-Lasten des Pfeilers und zur Berücksichtigung der zutreffenden Hebelarme der Brückenaufasten wird auch der Pfeiler mit abgebildet.

Gemäß DIN 1054, 7.3.1, A (5) ist die Nichtlinearität der Widerstands-Setzungslinie der Pfähle bei den Standsicherheitsnachweisen zu beachten. Daher werden an den Füßen der als starr abgebildeten Pfähle elastische Federn angeordnet, deren Federsteifigkeiten iterativ an die jeweiligen Pfahllasten der einzelnen Pfähle angepasst werden können. Die Federsteifigkeiten werden dabei als Sekanten aus der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie ermittelt.

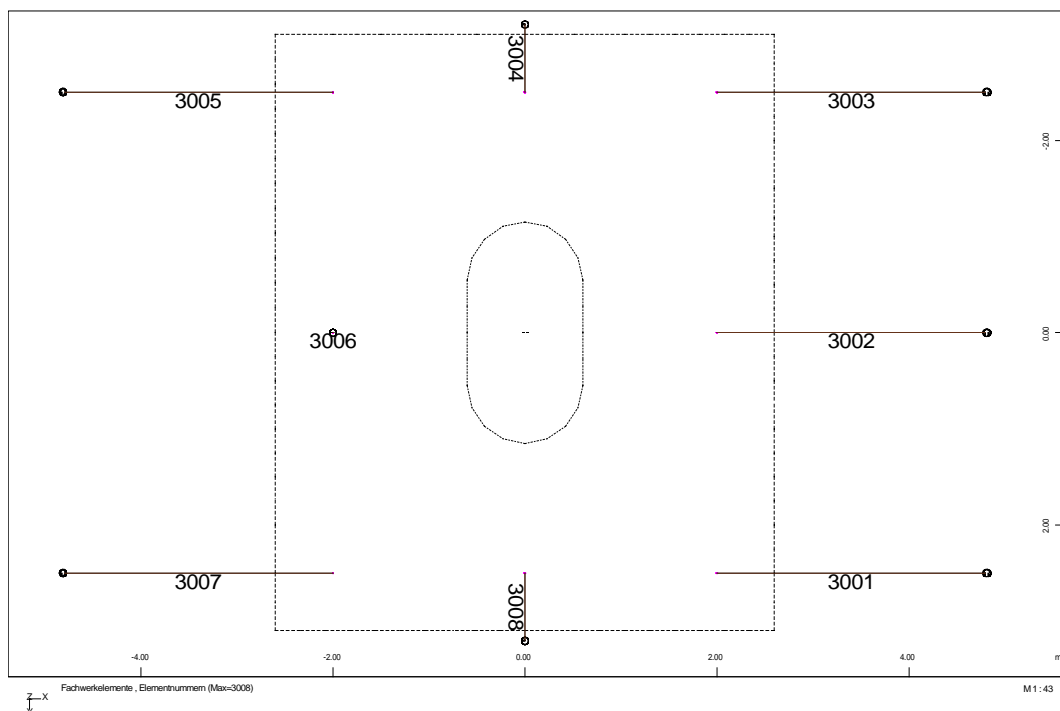


Bild 1.1: Draufsicht Pfahlkopfplatte mit Pfahlnummern

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 18
Vorgang:	1.3 Statisches System	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

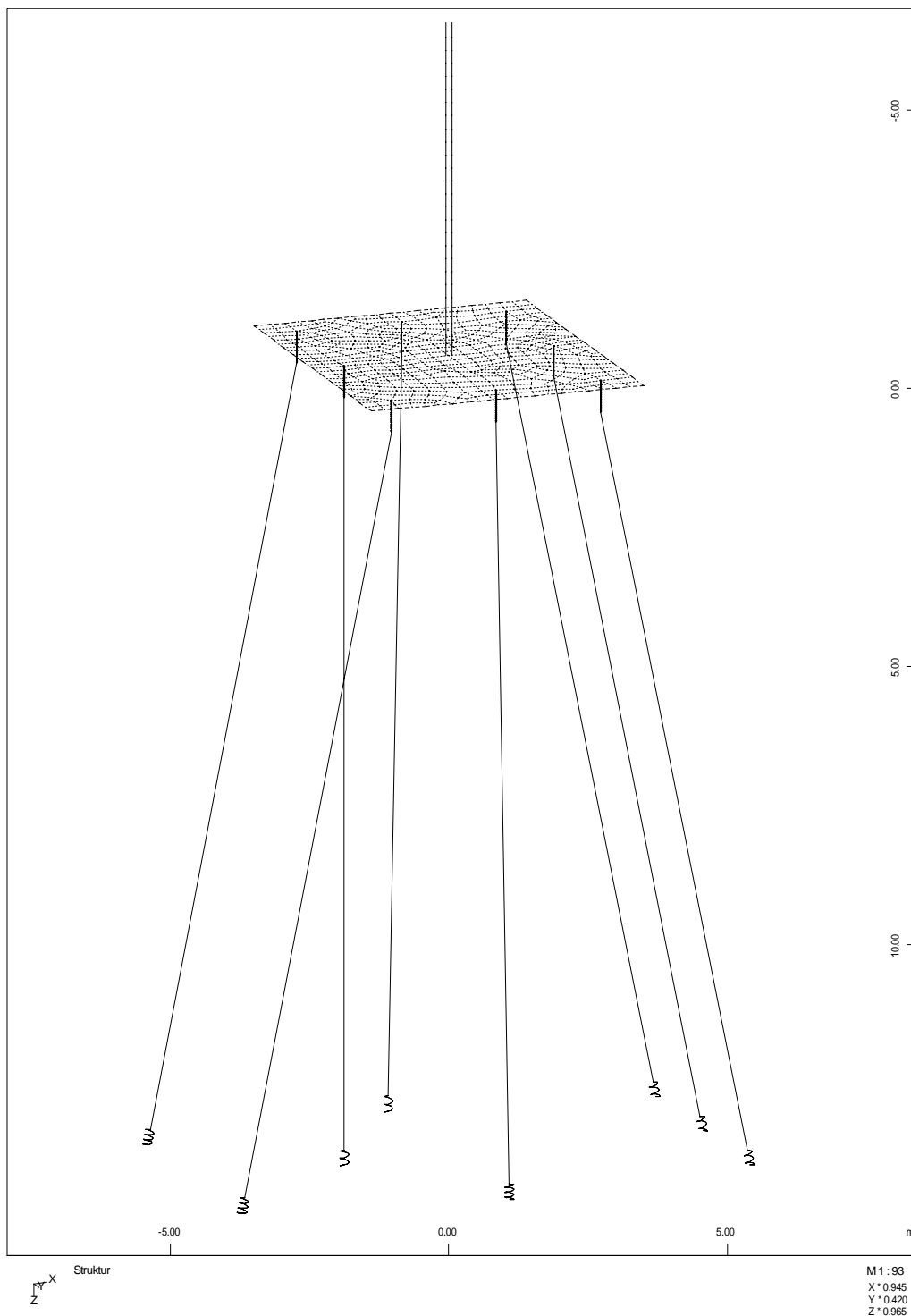


Bild 1.2: Statisches System

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 19
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

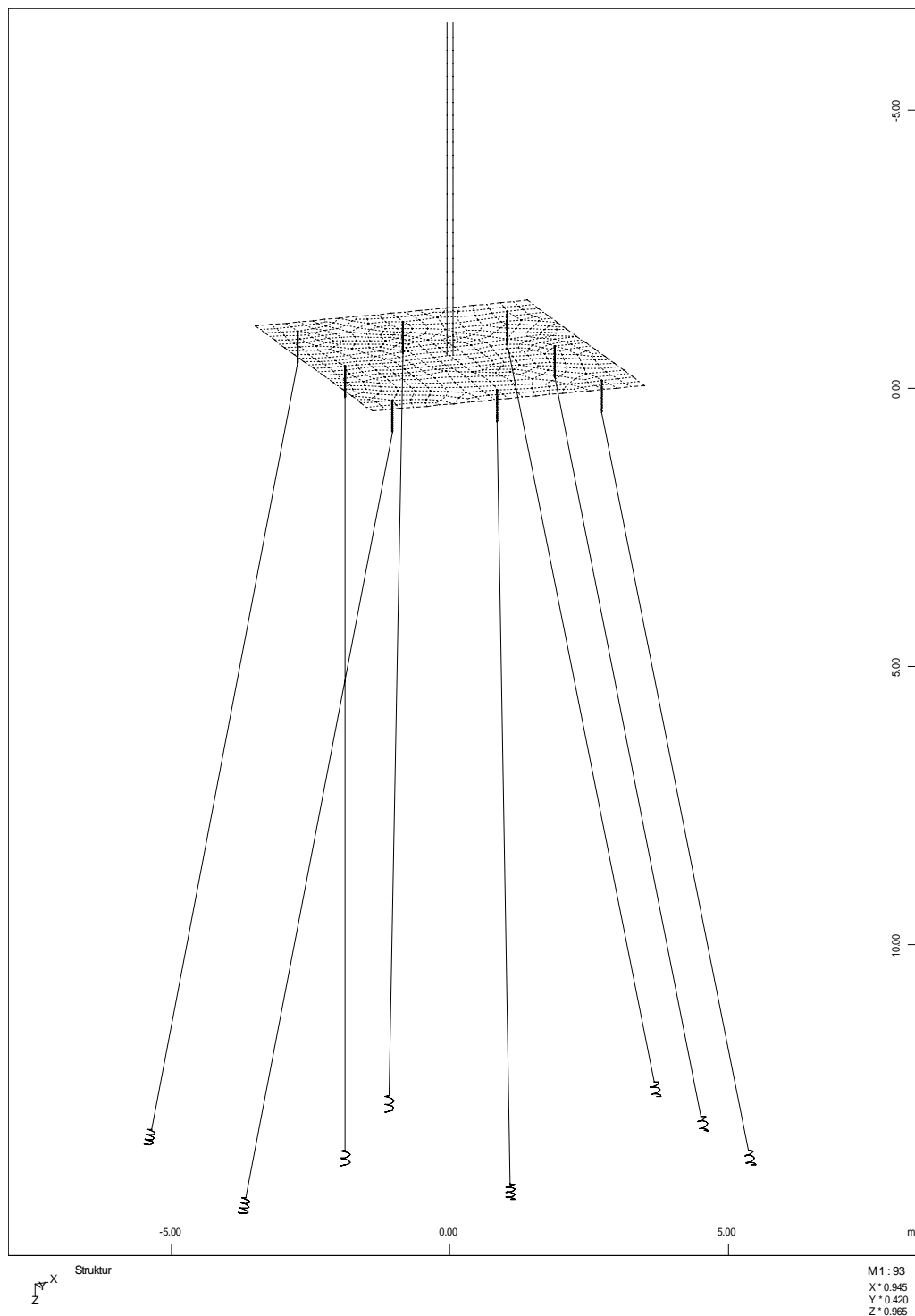


Bild 1.2: Statisches System

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 20
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Der Pfahlrost wird durch die Gründungslasten des Brückenbauwerkes beansprucht. Die Einwirkungen setzen sich zusammen aus den Eigengewichtslasten der Brücke und des Pfeilers gemäß DIN 1055-1 sowie den Brückenverkehrslasten gemäß DIN-Fachbericht 101.

Bedingt durch die veränderten Straßenverkehrslasten und die veränderten Teilsicherheitsbeiwerte für Straßenverkehrslasten würden sich im Berechnungsbeispiel auf der Grundlage der alten nationalen und der neuen europäischen Vorschriften abweichende Gründungslasten ergeben. Das Maß der Abweichung hängt dabei von der Spannweite und Breite der Brücke ab.

Zur Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse für die Pfahlgründung werden hier vereinfachte fiktive charakteristische Einwirkungen angesetzt, die mit den gleichen, allgemeinen Teilsicherheitsbeiwerten ( $\gamma_G = 1,35$  und  $\gamma_Q = 1,50$ ) gemäß DIN 1054, Tab. 2 beaufschlagt werden:

ständige Last:  $G_k = 1600 \text{ kN}$   
veränderliche Last:  $Q_{v,k} = 640 \text{ kN}$   
 $Q_{h,k} = 400 \text{ kN}$

Die Lasten werden an Oberkante des Pfeilers aufgebracht, vgl. Bild 1.3.

Zusätzlich wird programmintern das Eigengewicht von Pfeiler und Pfahlkopfplatte berücksichtigt:  $G_k = 1300 \text{ kN}$

Das Eigengewicht der Pfähle wird vernachlässigt.

DIN 1054, 8.3.1 (5)

Negative Mantelreibung aufgrund der weichen Tonschicht tritt nicht auf, da seitlich der Gründung nur bis zur ursprünglichen Geländeoberkante verfüllt wird. Für diese Last ist der Ton bereits konsolidiert.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 21
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Der Pfahlrost wird durch die Gründungslasten des Brückenbauwerkes beansprucht. Die Einwirkungen setzen sich zusammen aus den Eigengewichtslasten der Brücke und des Pfeilers gemäß DIN EN 1991-1-1 sowie den Brückenverkehrslasten gemäß DIN EN 1991-2.

Bedingt durch die veränderten Straßenverkehrslasten und die veränderten Teilsicherheitsbeiwerte für Straßenverkehrslasten würden sich im Berechnungsbeispiel auf der Grundlage der alten nationalen und der neuen europäischen Vorschriften abweichende Gründungslasten ergeben. Das Maß der Abweichung hängt dabei von der Spannweite und Breite der Brücke ab.

Zur Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse für die Pfahlgründung werden hier vereinfachte fiktive charakteristische Einwirkungen angesetzt, die mit den gleichen, allgemeinen Teilsicherheitsbeiwerten ( $\gamma_G = 1,35$  und  $\gamma_Q = 1,50$ ) gemäß DIN 1054, Tab. A 2.1 beaufschlagt werden:

ständige Last:  $G_k = 1600 \text{ kN}$   
veränderliche Last:  $Q_{v,k} = 640 \text{ kN}$   
 $Q_{h,k} = 400 \text{ kN}$

Die Lasten werden an Oberkante des Pfeilers aufgebracht, vgl. Bild 1.3.

Zusätzlich wird programmintern das Eigengewicht von Pfeiler und Pfahlkopfplatte berücksichtigt:  $G_k = 1300 \text{ kN}$

Das Eigengewicht der Pfähle wird vernachlässigt.

DIN EN 1997-1, 7.6.2.1 (2)

Negative Mantelreibung aufgrund der weichen Tonschicht tritt nicht auf, da seitlich der Gründung nur bis zur ursprünglichen Geländeoberkante verfüllt wird. Für diese Last ist der Ton bereits konsolidiert.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 22
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

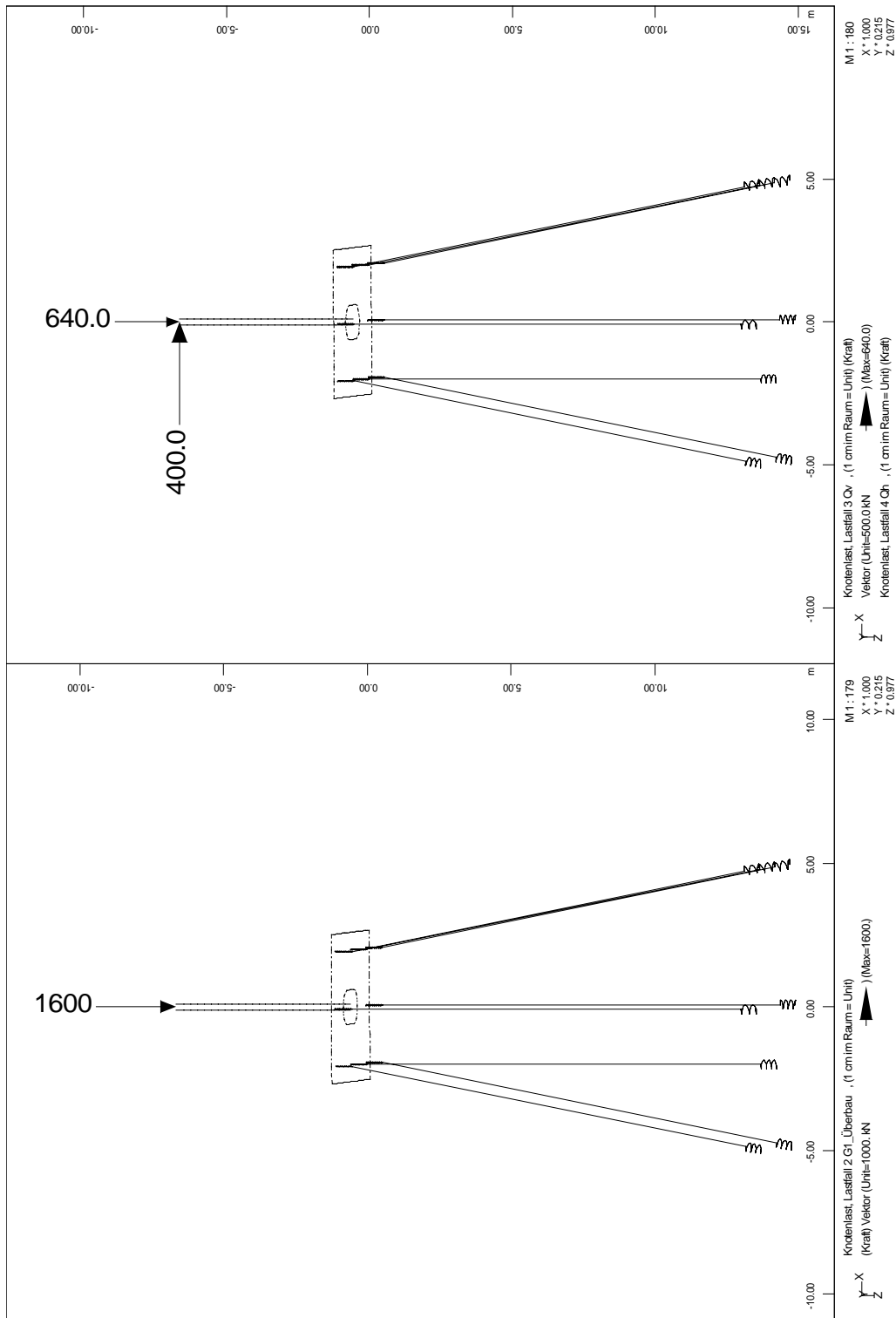


Bild 1.3: charakteristische ständige und veränderliche Einwirkungen am Pfeilerkopf

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 23
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

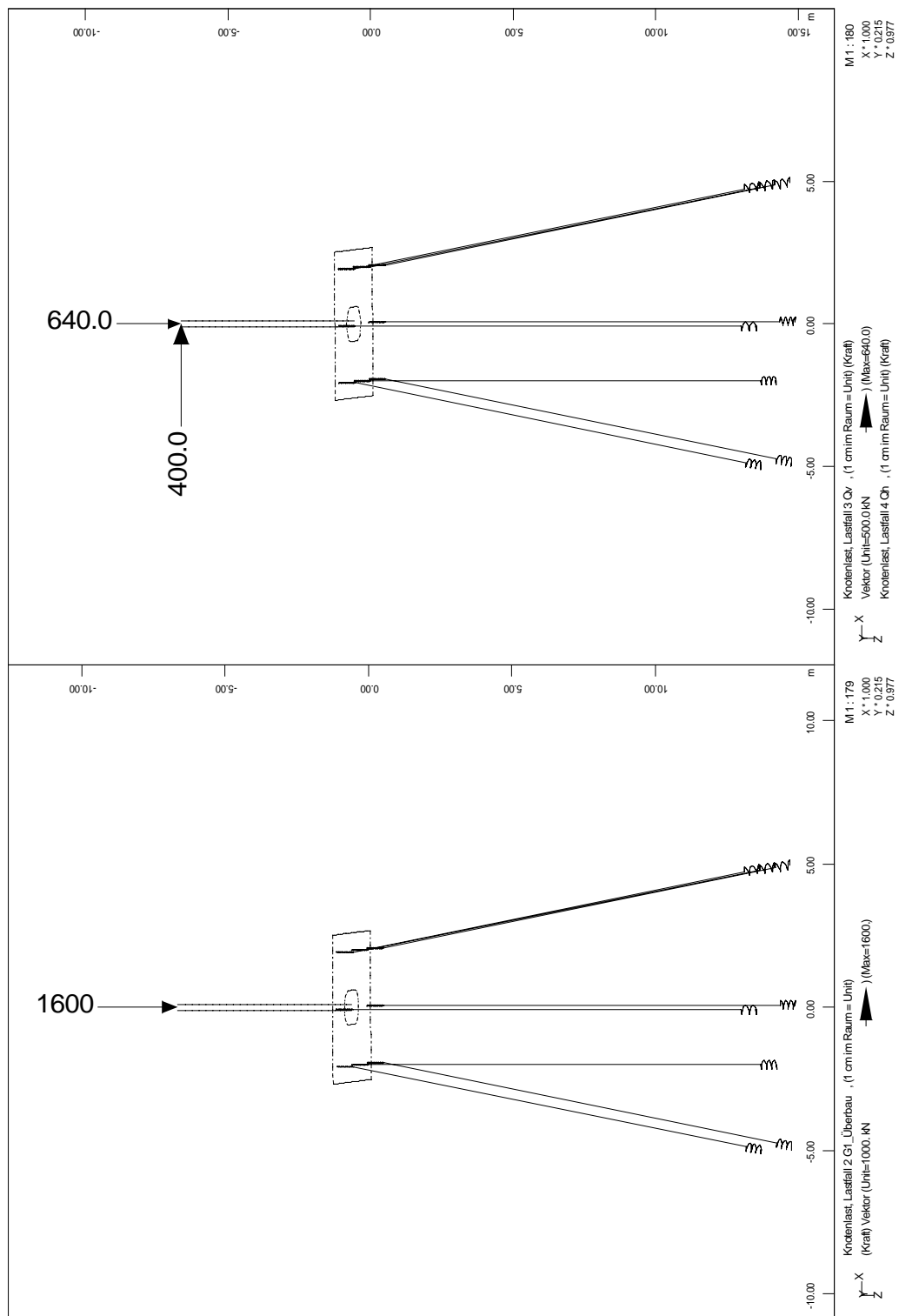


Bild 1.3: charakteristische ständige und veränderliche Einwirkungen am Pfeilerkopf

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 24
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.5 Ermittlung der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie

Es liegen die Ergebnisse von drei statischen Pfahlprobelastungen vor. Aus diesen Probelastungen wird gemäß DIN 1054 eine charakteristische Widerstands-Setzungslinie ermittelt.

Aufgrund der starren Kopfplatte, durch die die Last auf mehrere Pfähle verteilt wird, dürfen die Mittelwerte der Versuchsergebnisse verwendet und mit Streuungsfaktoren  $\xi$  belegt werden.

$$R_{1,k} = \bar{R}_{1m} / \xi \quad \text{DIN 1054, 8.4.2, Gl. (27)}$$

$$\text{Mit } s_N = \sqrt{\sum_{i=1}^N (\bar{R}_{1m} - R_{1m,i})^2 / (N - 1)} \quad \text{DIN 1054, 8.4.2, Gl. (28)}$$

$$\xi = 1,0 \text{ für } s_N / R_{1m} = 0 \quad \text{DIN 1054, 8.4.2, Tab. 4}$$

$$\xi = 1,05 \text{ für } s_N / R_{1m} = 25$$

Hier:  $s_N / R_{1m} \approx 0$                        $\xi = 1,0$

Die Ermittlung erfolgt tabellarisch:

s	Versuchsergebnisse			Mittelwert	$s_N$	$s_N / R_m$	$\xi$	char.Wert
	$R_{c1}$	$R_{c2}$	$R_{c3}$	$R_m$				
cm	MN	MN	MN	MN	[-]	[-]	[-]	MN
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	1,0	0,000
0,50	0,70	0,75	0,67	0,71	0,040	0,057	1,0	0,707
1,00	1,25	1,34	1,19	1,26	0,075	0,060	1,0	1,260
1,50	1,35	1,45	1,28	1,36	0,085	0,063	1,0	1,360
2,00	1,42	1,55	1,33	1,43	0,111	0,077	1,0	1,433
3,50	1,55	1,66	1,47	1,56	0,095	0,061	1,0	1,560
6,00	1,70	1,80	1,62	1,71	0,090	0,053	1,0	1,707

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 25
Vorgang:	1.5 Charakteristische Widerstands-Setzungslinie		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.5 Ermittlung der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie

Es liegen die Ergebnisse von drei statischen Pfahlprobelastungen vor. Aus diesen Probelastungen wird gemäß DIN EN 1997-1 eine charakteristische Widerstands-Setzungslinie ermittelt.

Aufgrund der starren Kopfplatte, durch die die Last auf mehrere Pfähle verteilt wird, dürfen die von der Versuchsanzahl abhängigen Streuungsfaktoren  $\xi_1$  und  $\xi_2$  durch den Faktor 1,1 dividiert werden.

$$R_{c;k} = \text{MIN} \left\{ \frac{(R_{c;m})_{\text{mitt}}}{\xi_1}, \frac{(R_{c;m})_{\text{min}}}{\xi_2} \right\} \quad \text{DIN EN 1997-1, 7.6.2.2, Gl. (7.2)}$$

$$\xi_1 = 1,15 \text{ für } n=3 \text{ Versuche } \xi_1 = 1,15 / 1,1 = 1,045 > 1,0 \quad \text{DIN 1054, 7.6.2.2, Tab. A7.1}$$

$$\xi_2 = 1,00 \text{ für } n=3 \text{ Versuche } \xi_2 = 1,0 / 1,1 = 0,909$$

Die Ermittlung erfolgt tabellarisch:

s	Versuchsergebnisse			Mittelwert	$\xi_1$	Kleinstwert	$\xi_2$	char.Wert
	$R_{c1}$	$R_{c2}$	$R_{c3}$	$R_{cm, \text{mitt}}$		$R_{cm, \text{min}}$		$R_{c;k}$
cm	MN	MN	MN	MN	[-]	[-]	[-]	MN
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,045	0,00	0,909	0,000
0,50	0,70	0,75	0,67	0,71	1,045	0,67	0,909	0,676
1,00	1,25	1,34	1,19	1,26	1,045	1,19	0,909	1,205
1,50	1,35	1,45	1,28	1,36	1,045	1,28	0,909	1,301
2,00	1,42	1,55	1,33	1,43	1,045	1,33	0,909	1,371
3,50	1,55	1,66	1,47	1,56	1,045	1,47	0,909	1,492
6,00	1,70	1,80	1,62	1,71	1,045	1,62	0,909	1,632

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 26	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.5 Charakteristische Widerstands-Setzungslinie		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

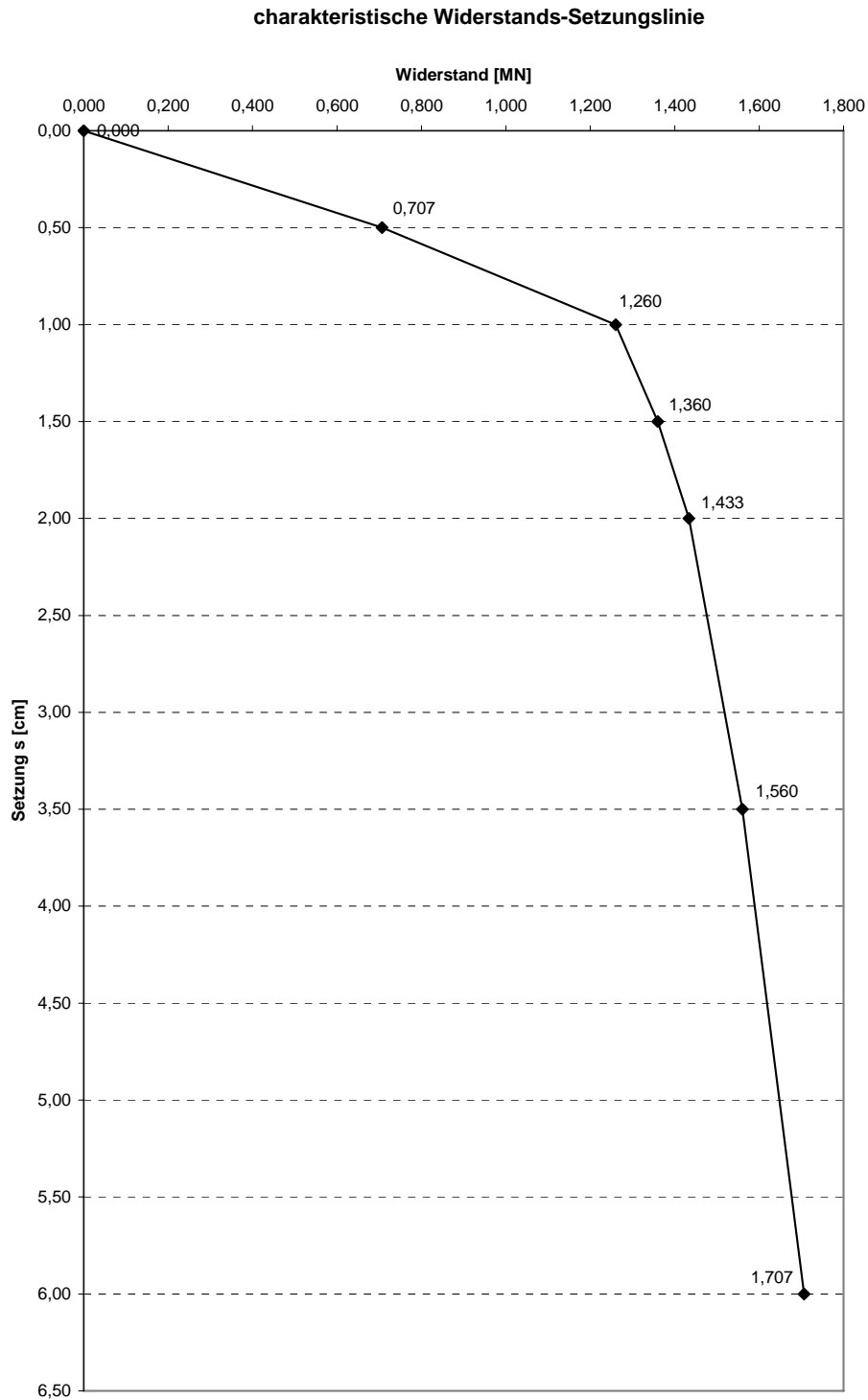


Bild 1.4: charakteristische Widerstands-Setzungslinie aus Pfahlversuchen

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 27
Vorgang:	1.5 Charakteristische Widerstands-Setzungslinie	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

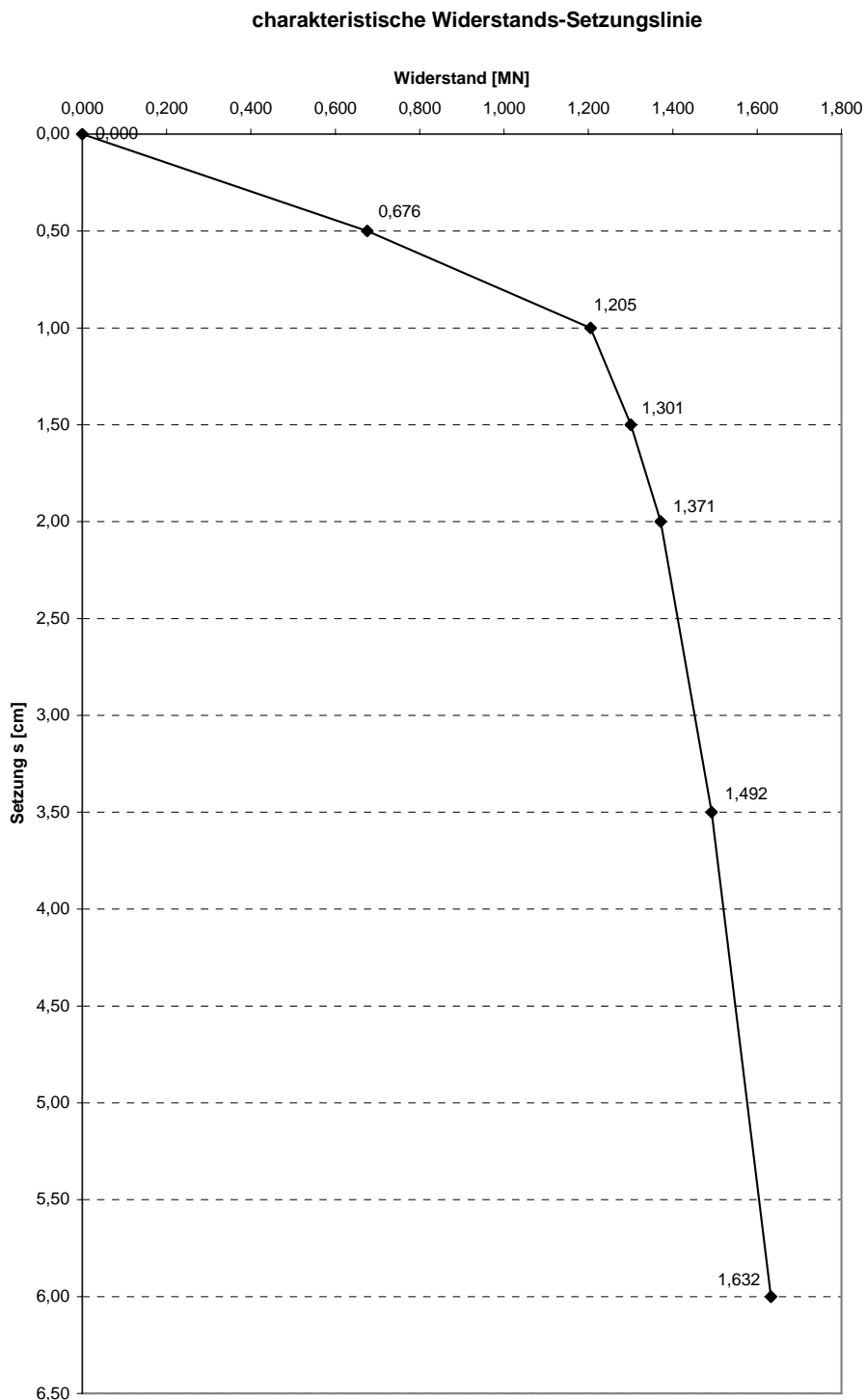


Bild 1.4: charakteristische Widerstands-Setzungslinie aus Pfahlversuchen

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 28
Vorgang:	1.5 Charakteristische Widerstands-Setzungslinie	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.6 Gruppenwirkung der Pfähle

In Pfahlrosten stehen die Einzelpfähle per definitionem so weit auseinander, dass keine gegenseitige Beeinflussung des Tragverhaltens benachbarter Pfähle auftritt, vgl. EA-Pfähle, 3.1.2.

Bei dem hier vorliegenden Pfahlrost kann aufgrund des geringen Pfahlabstandes (2,5m) und der großen Pfahllänge (6 m in tragfähigem Baugrund) eine gegenseitige Beeinflussung der Pfähle nicht ohne weiteres ausgeschlossen werden.

Die in den EA-Pfähle, Kapitel 8, angegebenen Nomogramme zur Abschätzung der Gruppenwirkung können nur bedingt auf den vorliegenden Pfahlrost übertragen werden, da sie für quadratische Pfahlgruppen unter zentrischer Beanspruchung hergeleitet wurden. Die Pfähle des Pfahlrostes erhalten aufgrund der Horizontallast jedoch je nach ihrer Lage stark unterschiedliche Lasten.

Das gegenüber Einzelpfählen weichere Tragverhalten und die geringere Tragfähigkeit des Pfahlrostes werden in Anlehnung an die Nomogramme der EA-Pfähle abgeschätzt.

Es wird für die Eckpfähle ein Faktor von 90% und für die übrigen Pfähle, die alle als Randpfähle zu betrachten sind, ein Faktor von 80% der Steifigkeit eines Einzelpfahles angesetzt. Die charakteristischen Widerstandssetzungslinien der Pfähle werden mit diesen Faktoren abgemindert.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.6 Gruppenwirkung der Pfähle	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.6 Gruppenwirkung der Pfähle

In Pfahlrosten stehen die Einzelpfähle per definitionem so weit auseinander, dass keine gegenseitige Beeinflussung des Tragverhaltens benachbarter Pfähle auftritt, vgl. EA-Pfähle, 3.1.2.

Bei dem hier vorliegenden Pfahlrost kann aufgrund des geringen Pfahlabstandes (2,5 m) und der großen Pfahllänge (6 m in tragfähigem Baugrund) eine gegenseitige Beeinflussung der Pfähle nicht ohne weiteres ausgeschlossen werden.

Die in den EA-Pfähle, Kapitel 8, angegebenen Nomogramme zur Abschätzung der Gruppenwirkung können nur bedingt auf den vorliegenden Pfahlrost übertragen werden, da sie für quadratische Pfahlgruppen unter zentrischer Beanspruchung hergeleitet wurden. Die Pfähle des Pfahlrostes erhalten aufgrund der Horizontallast jedoch je nach ihrer Lage stark unterschiedliche Lasten.

Das gegenüber Einzelpfählen weichere Tragverhalten und die geringere Tragfähigkeit des Pfahlrostes werden in Anlehnung an die Nomogramme der EA-Pfähle abgeschätzt.

Es wird für die Eckpfähle ein Faktor von 90% und für die übrigen Pfähle, die alle als Randpfähle zu betrachten sind, ein Faktor von 80% der Steifigkeit eines Einzelpfahles angesetzt. Die charakteristischen Widerstandssetzungslinien der Pfähle werden mit diesen Faktoren abgemindert.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 30
Vorgang:	1.6 Gruppenwirkung der Pfähle	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

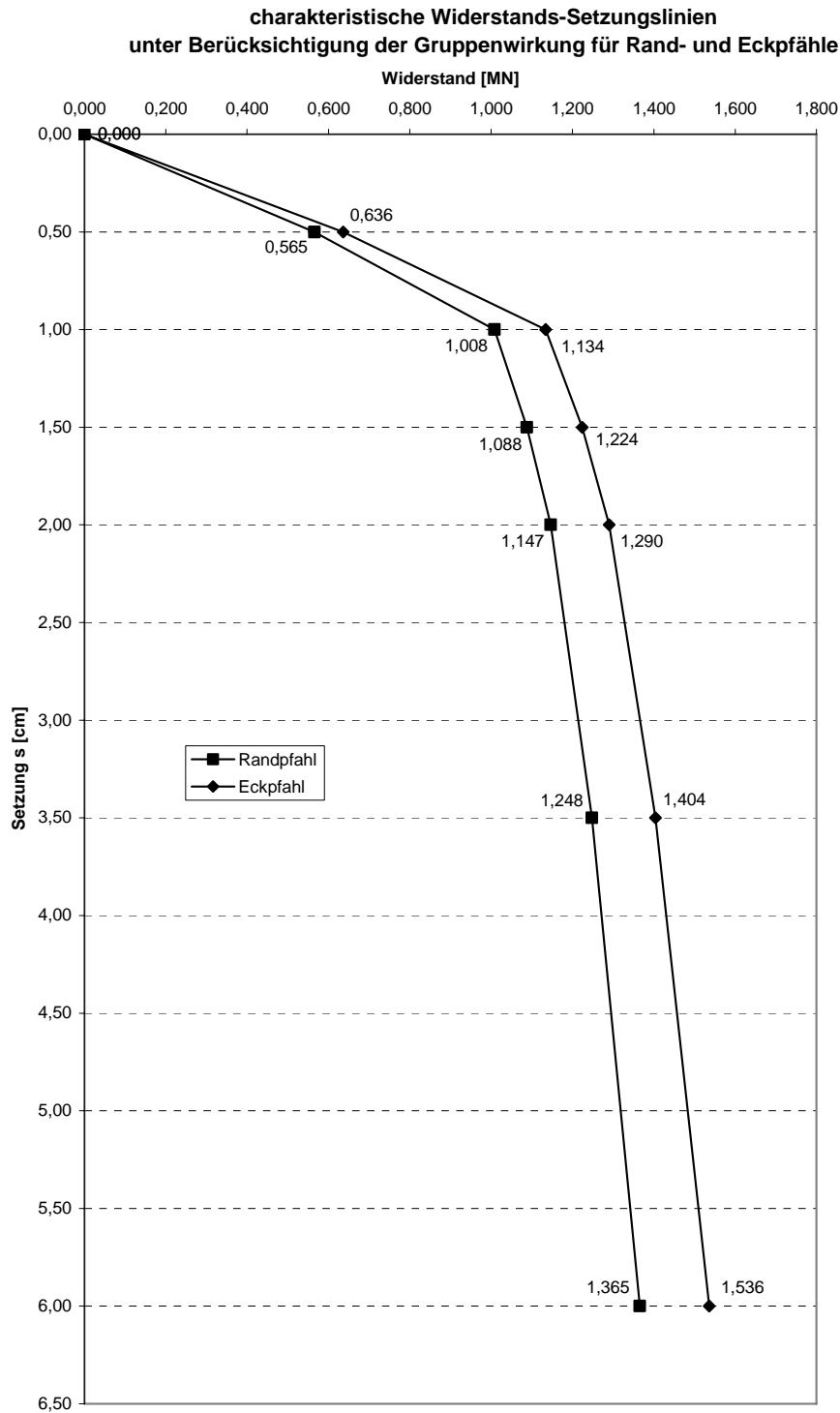


Bild 1.5: charakteristische Widerstands-Setzungslinie für Eck- und Randpfähle

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 31
Vorgang:	1.6 Gruppenwirkung der Pfähle	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Dудeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

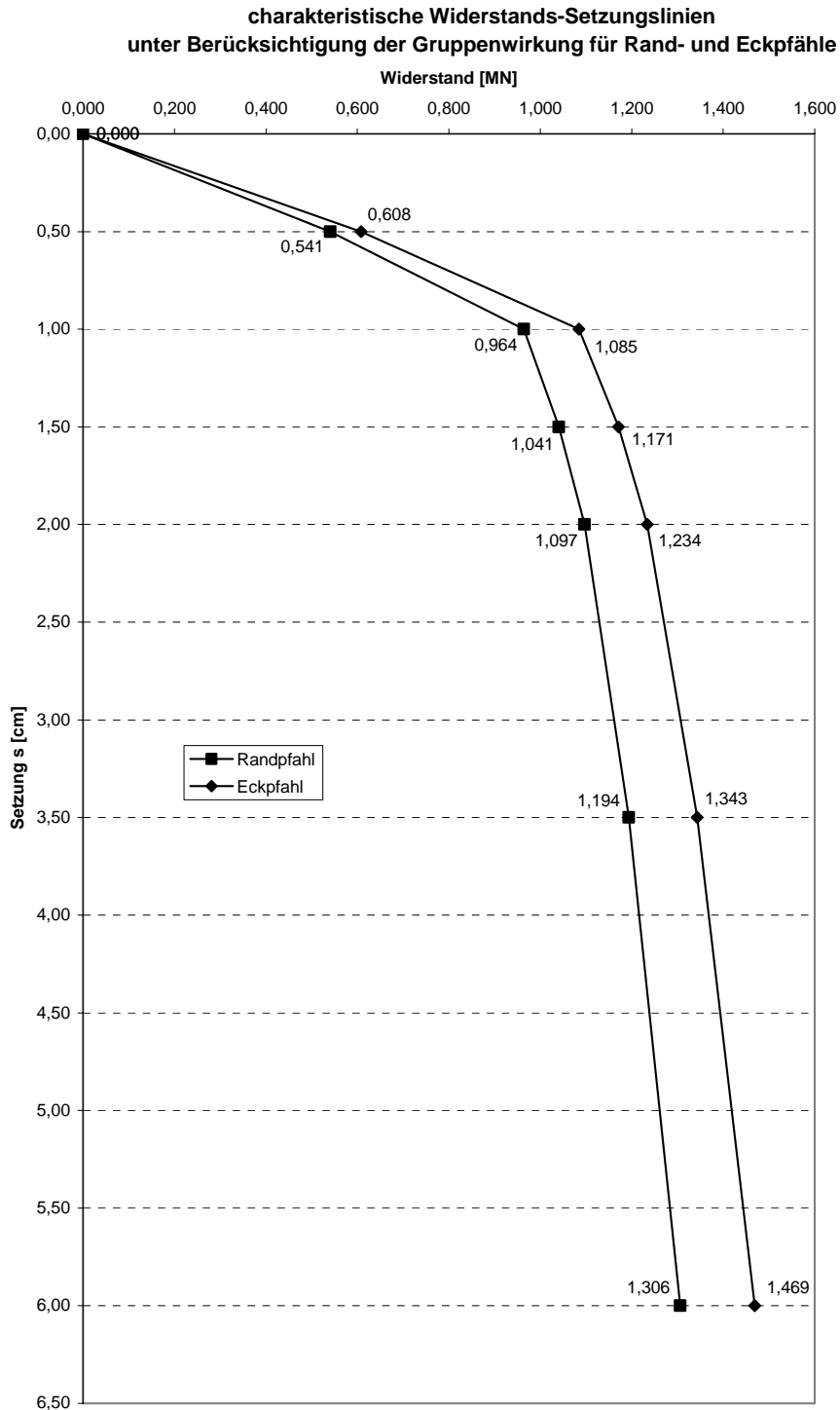


Bild 1.5: charakteristische Widerstands-Setzungslinie für Eck- und Randpfähle

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 32
Vorgang:	1.6 Gruppenwirkung der Pfähle	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. ERMITTLUNG DER PFAHLKRÄFTE

Die Pfahlkräfte werden aufgrund der nichtlinearen Widerstands-Setzungslinie unter charakteristischen Einwirkungen ermittelt.

Es werden die zwei Lastfallkombinationen

LFK1: ständige Lasten

LFK 2: ständige und veränderliche Lasten

getrennt untersucht.

Die Federn an den Pfahlfüßen werden bei Bedarf iterativ an die Pfahlkräfte angepasst, so dass im Ergebnis alle Pfähle mit einer Steifigkeit abgebildet sind, die ihrer Lage in der Widerstands-Setzungslinie entspricht.

Als Startwert wird der lineare Anfangsast der Widerstands-Setzungslinie mit

$s = 0,50 \text{ cm}$

$R_c = 0,707 \text{ MN}$

$c = R_c / s = 707 \text{ kN} / 0,005\text{m} = 141400 \text{ kN/m}$  angesetzt.

Aufgrund der Gruppenwirkung werden die Eckpfähle mit 90% dieser Steifigkeit (127260 kN/m) und die übrigen Pfähle mit 80% dieses Wertes (113120 kN/m) angesetzt.

Es ergeben sich die folgenden Pfahlkräfte:

LFK1:

Pfahl	$G_k$ [kN]	Grenze linearer Ast [kN]
1	-362,5	-636
2	-334,6	-565
3	-361,5	-636
4	-409,6	-565
5	-529,8	-636
6	0,0	-565
7	-529,8	-636
8	-409,6	-565

Unter ständigen Lasten bleiben alle Pfähle im ersten Ast der W-S-Linie. Die Federsteifigkeiten müssen nicht angepasst werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	2. Ermittlung der Pfahlkräfte		Seite 33
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. ERMITTLUNG DER PFAHLKRÄFTE

Die Pfahlkräfte werden aufgrund der nichtlinearen Widerstands-Setzungslinie unter charakteristischen Einwirkungen ermittelt.

Es werden die zwei Lastfallkombinationen

LFK1: ständige Lasten

LFK 2: ständige und veränderliche Lasten

getrennt untersucht.

Die Federn an den Pfahlfüßen werden bei Bedarf iterativ an die Pfahlkräfte angepasst, so dass im Ergebnis alle Pfähle mit einer Steifigkeit abgebildet sind, die ihrer Lage in der Widerstands-Setzungslinie entspricht.

Als Startwert wird der lineare Anfangsast der Widerstands-Setzungslinie mit

$s = 0,50 \text{ cm}$

$R_c = 0,676 \text{ MN}$

$c = R_c / s = 676 \text{ kN} / 0,005\text{m} = 135200 \text{ kN/m}$  angesetzt.

Aufgrund der Gruppenwirkung werden die Eckpfähle mit 90% dieser Steifigkeit (121680 kN/m) und die übrigen Pfähle mit 80% dieses Wertes (108160 kN/m) angesetzt.

Es ergeben sich die folgenden Pfahlkräfte:

LFK1:

Pfahl	$G_{,k}$	Grenze linearer Ast
	[kN]	[kN]
1	-362,7	-608
2	-334,2	-541
3	-362,7	-608
4	-409,5	-541
5	-529,8	-608
6	0,0	-541
7	-529,8	-608
8	-409,5	-541

Unter ständigen Lasten bleiben alle Pfähle im ersten Ast der W-S-Linie. Die Federsteifigkeiten müssen nicht angepasst werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Ermittlung der Pfahlkräfte	Seite 34
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

LFK2:

Pfahl	$(G+Q)_{,k}$ Startwert	Grenze lin. Ast	$c_{neu}$	$(G+Q)_{,k}$ 3. Iteration
	[kN]	[kN]	[kN/m]	[kN]
1	-731,0	-636	122849	-729,3
2	-669,0	-565	108613	-663,3
3	-731,0	-636	122849	-729,3
4	-358,8	-565	-	-367,7
5	-45,7	-636	-	-41,2
6	-640,0	-565	109526	-640,0
7	-45,7	-636	-	-41,2
8	-358,8	-565	-	-367,7

In der LFK 2 sind für 4 Federn Anpassungen der Federsteifigkeiten erforderlich.

Die charakteristischen Pfahlkräfte ergeben sich damit wie folgt:

Pfahl	$G_{,k}$	$(G+Q)_{,k}$	$Q_{,k} = (G+Q)_{,k} - G_{,k}$
	[kN]	[kN]	[kN]
1	-362,5	-729,3	-366,8
2	-334,6	-663,3	-328,7
3	-361,5	-729,3	-366,8
4	-409,6	-367,7	41,9
5	-529,8	-41,2	488,6
6	0,0	-640,0	-640,0
7	-529,8	-41,2	488,6
8	-409,6	-367,7	41,9

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Ermittlung der Pfahlkräfte	
Vorgang:	Seite 35	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

LFK2:

Pfahl	$(G+Q)_{,k}$ Startwert	Grenze lin. Ast	$c_{neu}$	$(G+Q)_{,k}$ 3. Iteration
	[kN]	[kN]	[kN/m]	[kN]
1	-731,3	-608	116335	-728,7
2	-668,5	-541	102914	-662,3
3	-731,3	-608	116335	-728,7
4	-358,7	-541	-	-369,9
5	-45,8	-608	-	-40,1
6	-640,0	-541	103695	-640,0
7	-45,8	-608	-	-40,1
8	-358,7	-541	-	-369,9

In der LFK 2 sind für 4 Federn Anpassungen der Federsteifigkeiten erforderlich.

Die charakteristischen Pfahlkräfte ergeben sich damit wie folgt:

Pfahl	$G_{,k}$	$(G+Q)_{,k}$	$Q_{,k} = (G+Q)_{,k} - G_{,k}$
	[kN]	[kN]	[kN]
1	-362,7	-728,7	-366,0
2	-334,2	-662,3	-328,1
3	-362,7	-728,7	-366,0
4	-409,5	-369,9	39,6
5	-529,8	-40,1	489,7
6	0,0	-640,0	-640,0
7	-529,8	-40,1	489,7
8	-409,5	-369,9	39,6

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Ermittlung der Pfahlkräfte	Seite 36
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

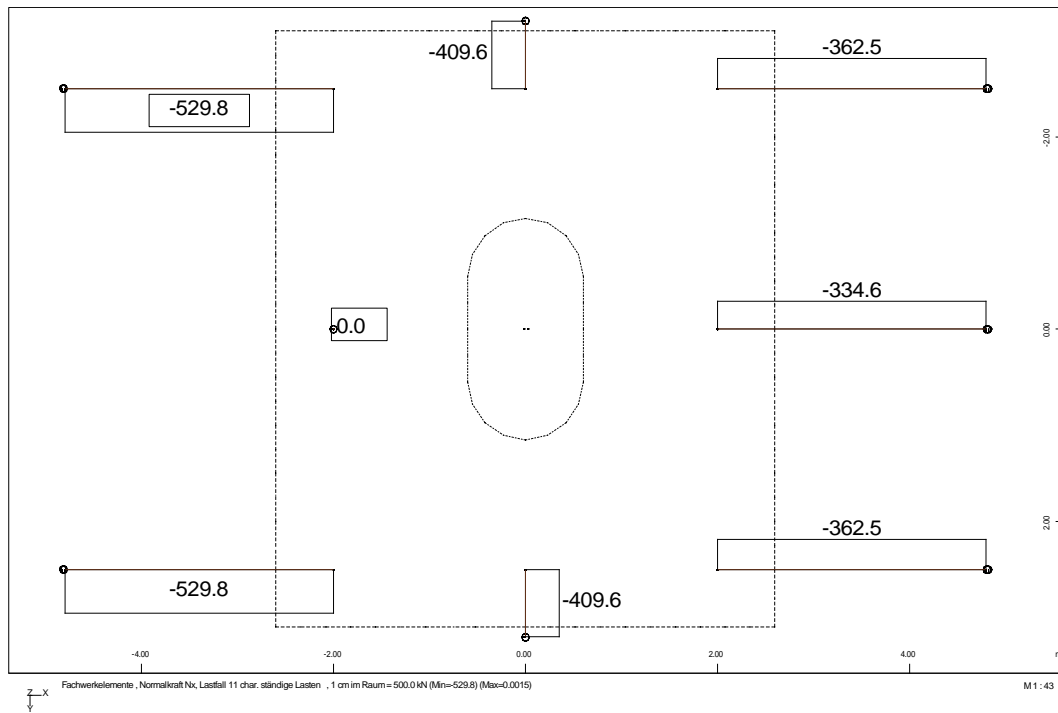


Bild 2.1: charakteristische Pfahlkräfte unter ständigen Lasten

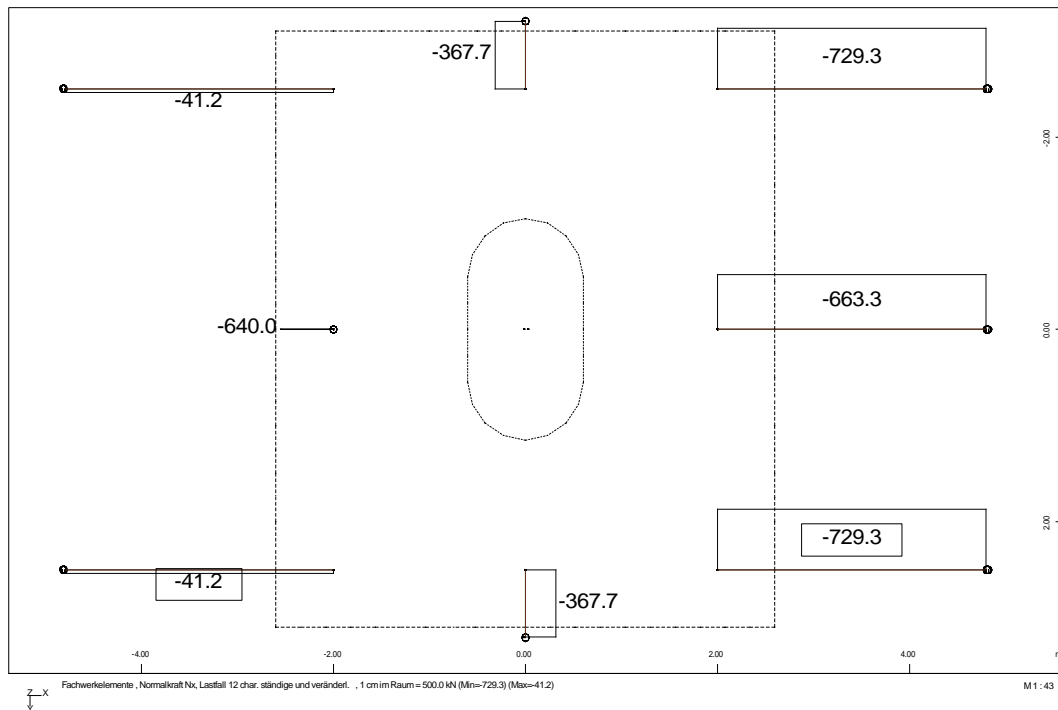


Bild 2.2: charakteristische Pfahlkräfte unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Ermittlung der Pfahlkräfte	Seite 37
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

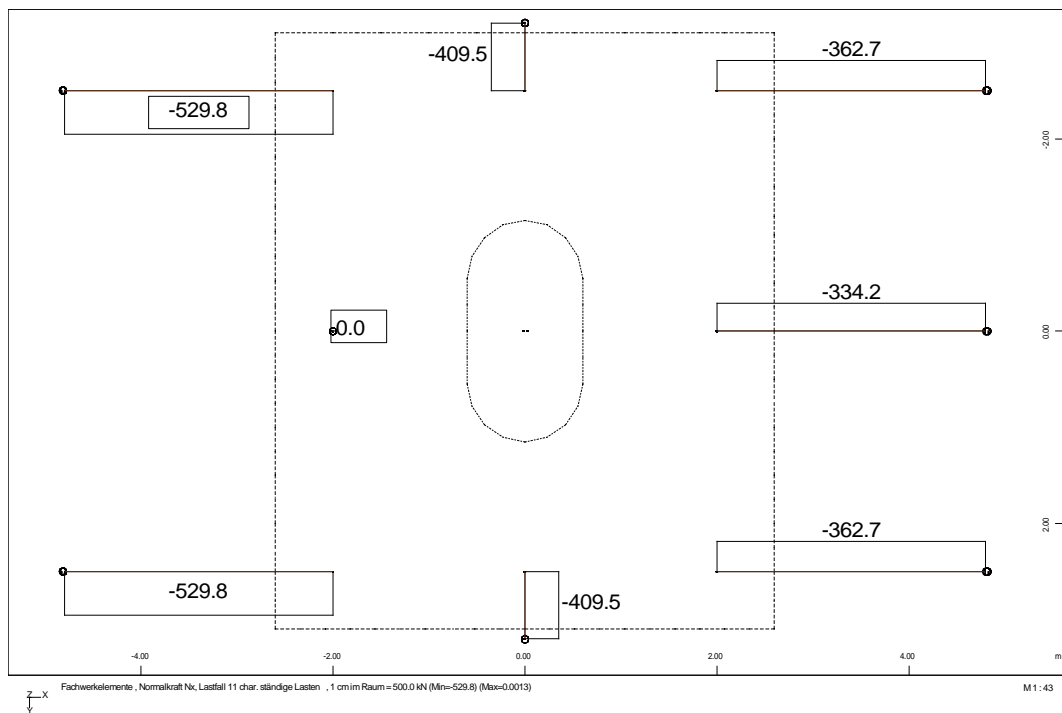


Bild 2.1: charakteristische Pfahlkräfte unter ständigen Lasten

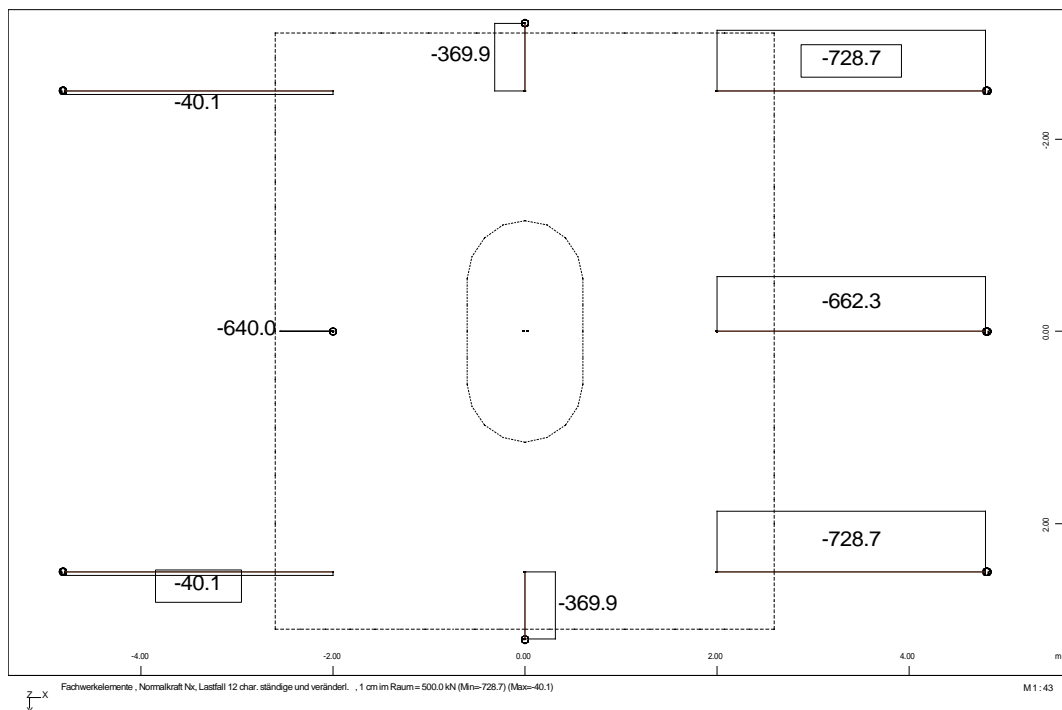


Bild 2.2: charakteristische Pfahlkräfte unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Ermittlung der Pfahlkräfte	Seite 38
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER TRAGFÄHIGKEIT

#### 3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit

Für alle Pfähle ist eine ausreichende Sicherheit gegen Versagen durch Bruch des Bodens im Grenzzustand GZ1B:

$$E_d \leq R_d$$

nachzuweisen.

Es gilt:  $E_d = G_{k} \cdot \gamma_G + Q_{k} \cdot \gamma_Q$

Für Zugpfähle ist die günstige Wirkung ständiger Lasten nur mit  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  anzusetzen. DIN 1054, 8.3.4

Die Widerstände der Druckpfähle ergeben sich aus den Pfahlversuchen unter Berücksichtigung der Gruppenwirkung wie folgt:

$$R_d = R_k / \gamma_{Pc} \quad \text{mit } \gamma_{Pc} = 1,20 \quad \text{DIN 1054, Tab. 3}$$

für die Eckpfähle:  $R_d = -0,9 \cdot 1,71 / 1,20 = -1,283 \text{ MN}$

für die Randpfähle:  $R_d = -0,8 \cdot 1,71 / 1,20 = -1,138 \text{ MN}$

Für die Widerstände der Zugpfähle wird hier auf Erfahrungswerte bei vergleichbaren Bauvorhaben zurückgegriffen bzw. die Mantelreibung aus den Druckversuchen abgeleitet.

Als Erfahrungswert wird angesetzt:  $q_{sk} = 0,10 \text{ MN/m}^2$

$$R_k = A \cdot q_{sk} = 1,13 \text{ MN}$$

mit  $A = 0,6 \cdot \pi \cdot 6,0 = 11,31 \text{ m}^2$

$$R_d = R_k / \gamma_P \quad \text{mit } \gamma_P = 1,40 \quad \text{DIN 1054, Tab. 3}$$

für die Zugpfähle:  $R_d = 1,13 / 1,40 = 0,808 \text{ MN}$

Eine Gruppenwirkung ist hier nicht zu berücksichtigen, da die Zugpfähle weit auseinander liegen.

Der Nachweis erfolgt tabellarisch mit den im Abschnitt 2 ermittelten Schnittgrößen:

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 39
Vorgang:	3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER TRAGFÄHIGKEIT

#### 3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit

Für alle Pfähle ist eine ausreichende Sicherheit gegen Versagen durch Bruch des Bodens mit dem Nachweisverfahren GEO-2:

$$F_{c;d} \leq R_{c;d}$$

nachzuweisen.

$$\text{Es gilt: } F_{c;d} = G_{,k} \cdot \gamma_G + Q_{,k} \cdot \gamma_Q$$

Für Zugpfähle ist die günstige Wirkung ständiger Lasten nur mit  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  anzusetzen. DIN 1054, 7.6.3.1 A (2)

Die Widerstände der Druckpfähle ergeben sich aus den Pfahlversuchen unter Berücksichtigung der Gruppenwirkung wie folgt:

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_t \quad \text{mit } \gamma_t = 1,10 \quad \text{DIN 1054, Tab. A 2.3}$$

$$\text{für die Eckpfähle: } R_d = - 0,9 \cdot 1,632 / 1,10 = -1,335 \text{ MN}$$

$$\text{für die Randpfähle: } R_d = - 0,8 \cdot 1,632 / 1,10 = -1,187 \text{ MN}$$

Für die Widerstände der Zugpfähle wird hier auf Erfahrungswerte bei vergleichbaren Bauvorhaben zurückgegriffen bzw. die Mantelreibung aus den Druckversuchen abgeleitet.

Als Erfahrungswert wird angesetzt:  $q_{sk} = 0,10 \text{ MN/m}^2$

$$R_{c;k} = A \cdot q_{sk} = 1,13 \text{ MN}$$

$$\text{mit } A = 0,6 \cdot \pi \cdot 6,0 = 11,31 \text{ m}^2$$

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_{S,t} \quad \text{mit } \gamma_{S,t} = 1,50 \quad \text{DIN 1054, Tab. A 2.3}$$

$$\text{für die Zugpfähle: } R_{c;d} = 1,13 / 1,50 = 0,753 \text{ MN}$$

Eine Gruppenwirkung ist hier nicht zu berücksichtigen, da die Zugpfähle weit auseinander liegen.

Der Nachweis erfolgt tabellarisch mit den im Abschnitt 2 ermittelten Schnittgrößen:

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 40
Vorgang:	3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Pfahl	$E_d$ [kN]	$R_d$ [kN]	Ausnutzungsgrad [%]
1	-1039,6	-1283	81
2	-944,8	-1138	83
3	-1039,6	-1283	81
4	-490,1	-1138	43
5	203,1	808	25
6	-960,0	-1138	84
7	203,1	808	25
8	-490,1	-1138	43

Ein Knicksicherheitsnachweis der Druckpfähle ist nicht erforderlich, da der Ton eine Scherfestigkeit von  $c_u \geq 15 \text{ kN/m}^2$  aufweist.

DIN 1054, 8.5.1 (2)

Aufgrund der geringen Zugkräfte und des großen Abstandes der Zugpfähle erübrigen sich Nachweise des angehängten Bodenkörpers.

DIN 1054, 8.5.4

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 41
Vorgang:	3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Pfahl	$F_{c;d}$ [kN]	$R_{c;d}$ [kN]	Ausnutzungsgrad [%]
1	-1038,6	-1335	78
2	-943,3	-1187	79
3	-1038,6	-1335	78
4	-493,4	-1187	42
5	204,8	753	27
6	-960,0	-1187	81
7	204,8	753	27
8	-493,4	-1187	42

Ein Knicksicherheitsnachweis der Druckpfähle ist nicht erforderlich, da der Ton eine Scherfestigkeit von  $c_u \geq 10 \text{ kN/m}^2$  aufweist.

DIN EN 1997-1, 7.8 (5)

Aufgrund der geringen Zugkräfte und des großen Abstandes der Zugpfähle erübrigen sich Nachweise des angehängten Bodenkörpers.

DIN EN 1997-1, 7.6.3.1 (7)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 42	
Vorgang:	3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.2 Nachweise der inneren Tragfähigkeit

Die Bemessung der Bohrpfähle erfolgt gemäß DIN EN 1536 auf der Grundlage des DIN-Fachberichtes 102. Die Pfähle werden planmäßig mittig auf Druck oder Zug beansprucht. Es kommt ein Beton der Güte C30/37 zum Einsatz.

Druckpfähle:

$$E_{d,max} = -1039,6 \text{ kN}$$

$$R_d = A_c \cdot f_{cd} = -4,8 \text{ MN}$$

DIN-FB 102, II, 4.3.1

$$\text{mit } A_c = 0,6^2 \cdot \pi / 4 = 0,283 \text{ m}^2$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{d,max} = -1039,6 \text{ kN} < R_d = 4800 \text{ kN}$$

Zugpfähle:

$$E_{d,min} = 203,1 \text{ kN}$$

$$\text{erf } A_s = E_d / f_{yd} = 4,7 \text{ cm}^2$$

$$\text{mit } f_{ck} = 500 \text{ MN/m}^2$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MN/m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 43
Vorgang:	3.2 Nachweise der inneren Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.2 Nachweise der inneren Tragfähigkeit

Die Bemessung der Bohrpfähle erfolgt gemäß DIN EN 1536 auf der Grundlage der DIN EN 1992-1-1. Die Pfähle werden planmäßig mittig auf Druck oder Zug beansprucht. Es kommt ein Beton der Güte C30/37 zum Einsatz.

Druckpfähle:

$$F_{d,max} = -1038,6 \text{ kN}$$

$$R_d = A_c \cdot f_{cd} = -4,8 \text{ MN}$$

DIN EN 1992-2, 6.1

$$\text{mit } A_c = 0,6^2 \cdot \pi / 4 = 0,283 \text{ m}^2$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$$

$$\gamma_C = 1,5, k_f = 1,0$$

DIN EN 1992-1-1, NDP zu  
2.4.2.5 (2)

$$f_{cd} = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17 \text{ MN/m}^2$$

$$F_{d,max} = -1038,6 \text{ kN} < R_d = 4800 \text{ kN}$$

Zugpfähle:

$$F_{d,min} = 204,8 \text{ kN}$$

$$\text{erf } A_s = F_d / f_{yd} = 4,7 \text{ cm}^2$$

$$\text{mit } f_{ck} = 500 \text{ MN/m}^2$$

$$\gamma_S = 1,15$$

$$f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MN/m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 44
Vorgang:	3.2 Nachweise der inneren Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

##### 4.1 Setzungen

Die Pfahlsetzungen im Gebrauchszustand können den im Abschnitt 2 geführten Berechnungen entnommen werden.

Diese Setzungen wurden unter Berücksichtigung der nichtlinearen Widerstands-Setzungslinien abhängig vom Ausnutzungsgrad der einzelnen Pfähle und unter Berücksichtigung der Gruppenwirkung ermittelt. Die charakteristischen Pfahlsetzungen liegen zwischen 0 und 6,1 mm.

Darüber hinaus werden die resultierenden Verformungen der Pfahlkopfplatte und des Pfeilers ausgewertet. Die Kopfverschiebungen des Pfeilers unter charakteristischen ständigen und veränderlichen Einwirkungen betragen 3,9 bzw. 3,6 mm in vertikaler und 9,4 bzw. 23,4 mm in horizontaler Richtung jeweils unter charakteristischen ständigen bzw. charakteristischen ständigen und veränderlichen Lasten.

Die Setzungen und Verformungen sind für die Gründung und die Brücke als unkritisch einzustufen.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 45
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

##### 4.1 Setzungen

Die Pfahlsetzungen im Gebrauchszustand können den im Abschnitt 2 geführten Berechnungen entnommen werden.

Diese Setzungen wurden unter Berücksichtigung der nichtlinearen Widerstandssetzungslinien abhängig vom Ausnutzungsgrad der einzelnen Pfähle und unter Berücksichtigung der Gruppenwirkung ermittelt. Die charakteristischen Pfahlsetzungen liegen zwischen 0 und 6,4 mm.

Darüber hinaus werden die resultierenden Verformungen der Pfahlkopfplatte und des Pfeilers ausgewertet. Die Kopfverschiebungen des Pfeilers unter charakteristischen ständigen und veränderlichen Einwirkungen betragen 4,1 bzw. 3,8 mm in vertikaler und 9,9 bzw. 24,5 mm in horizontaler Richtung jeweils unter charakteristischen ständigen bzw. charakteristischen ständigen und veränderlichen Lasten.

Die Setzungen und Verformungen sind für die Gründung und die Brücke als unkritisch einzustufen.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 46
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

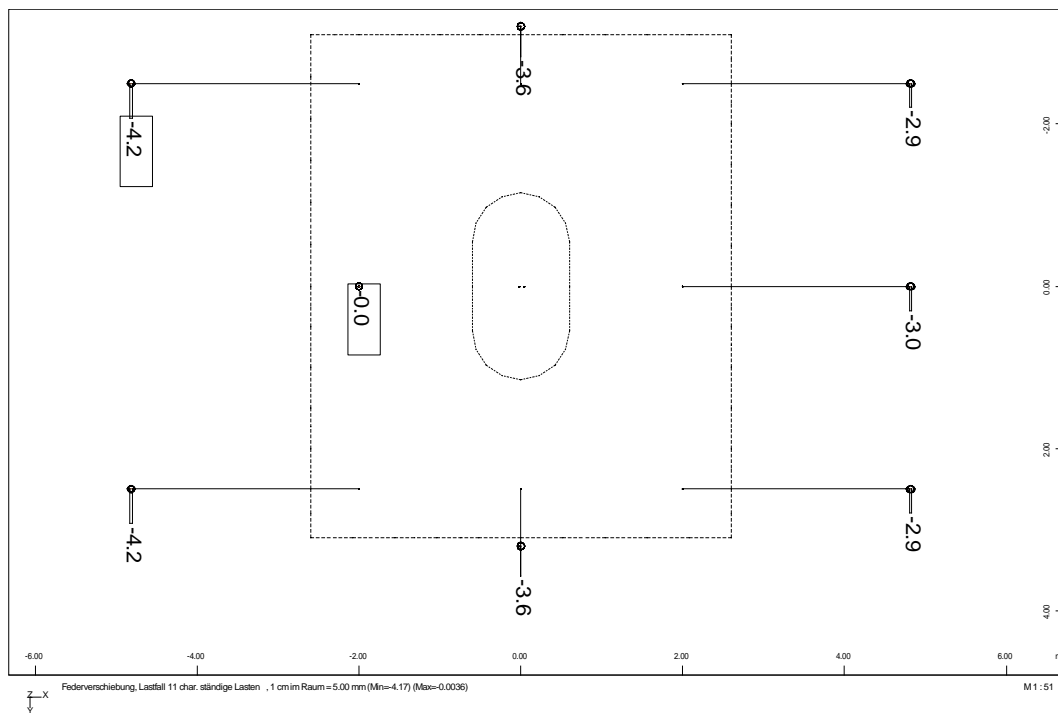


Bild 4.1: charakteristische Pfahlsetzungen unter ständigen Lasten

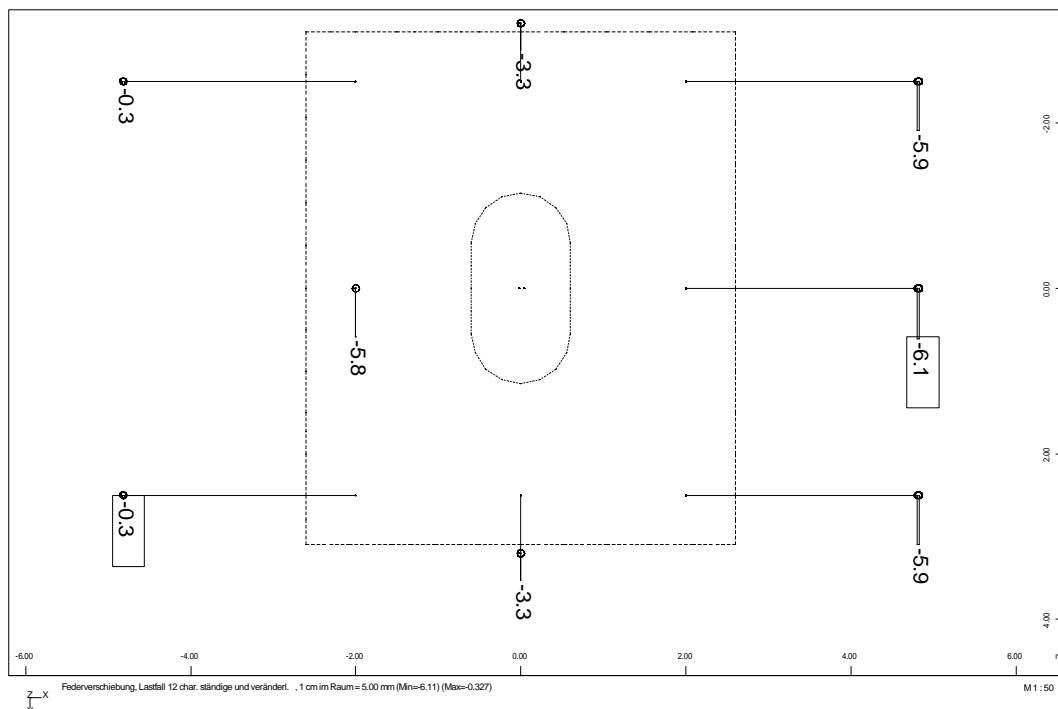


Bild 4.2: charakteristische Pfahlsetzungen unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 47
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

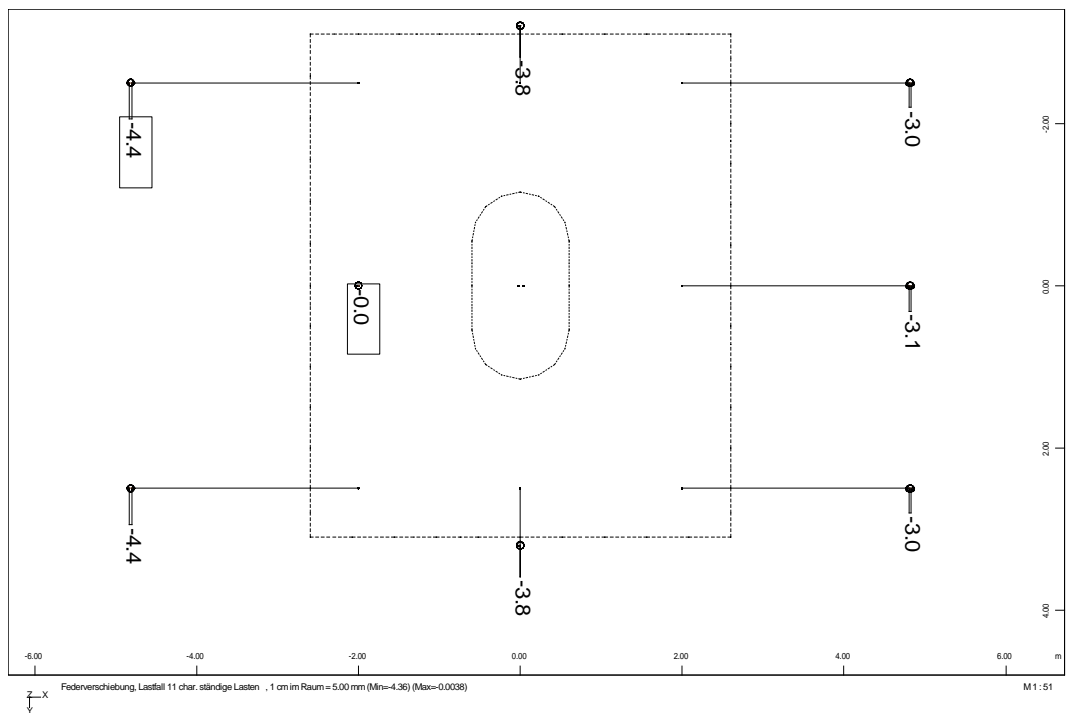


Bild 4.1: charakteristische Pfahlsetzungen unter ständigen Lasten

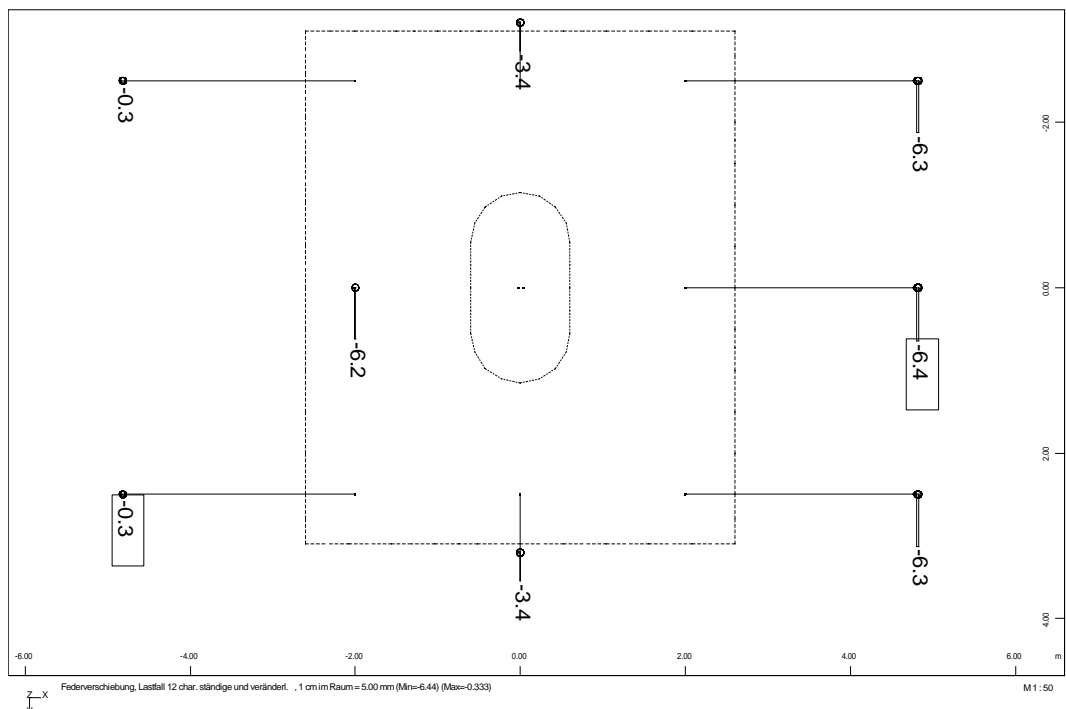


Bild 4.2: charakteristische Pfahlsetzungen unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 48
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

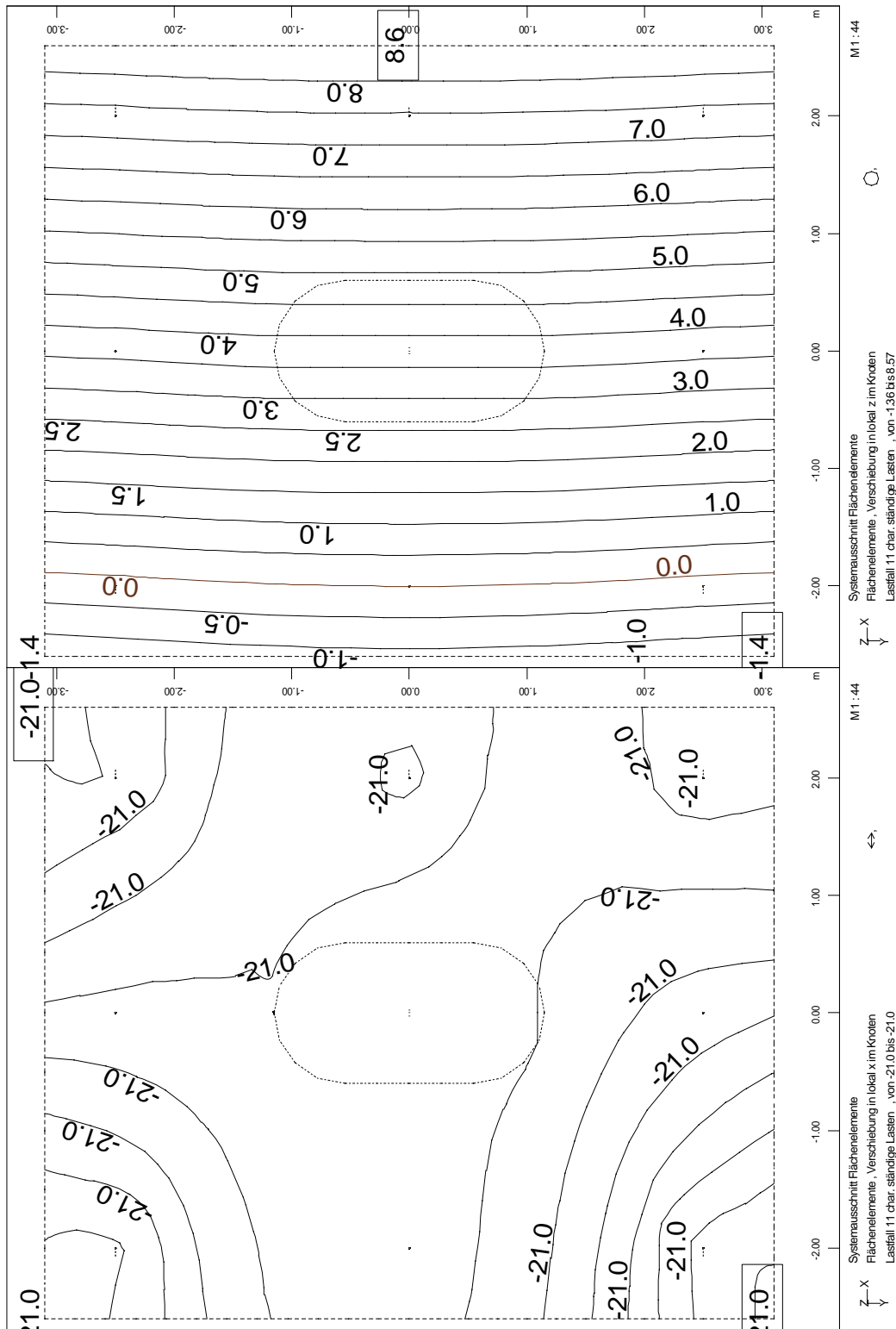


Bild 4.3: char. Verformungen der Pfahlkopfplatte unter ständigen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 49
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

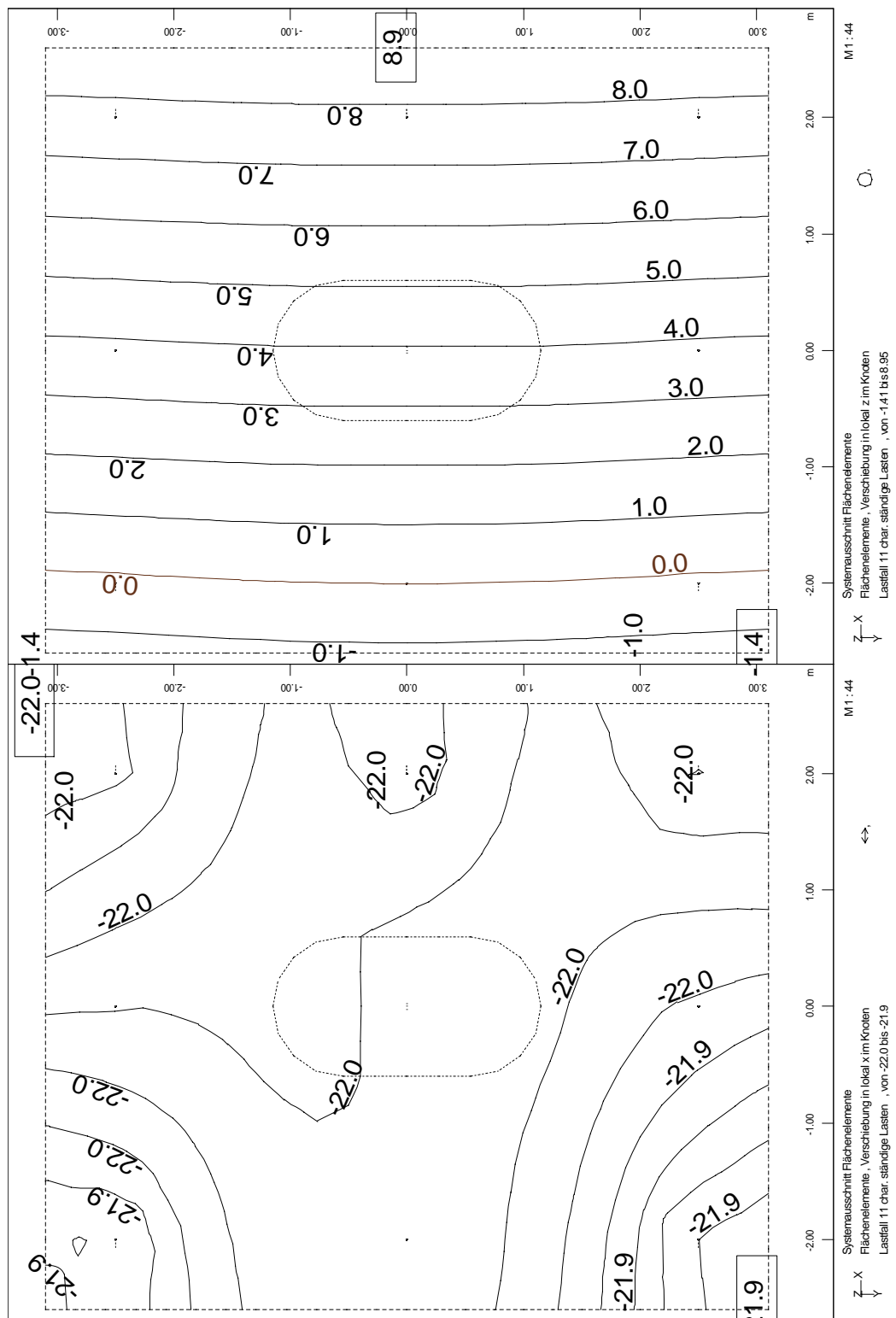


Bild 4.3: char. Verformungen der Pfahlkopfplatte unter ständigen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 50	
Vorgang:	4.1 Setzungen		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

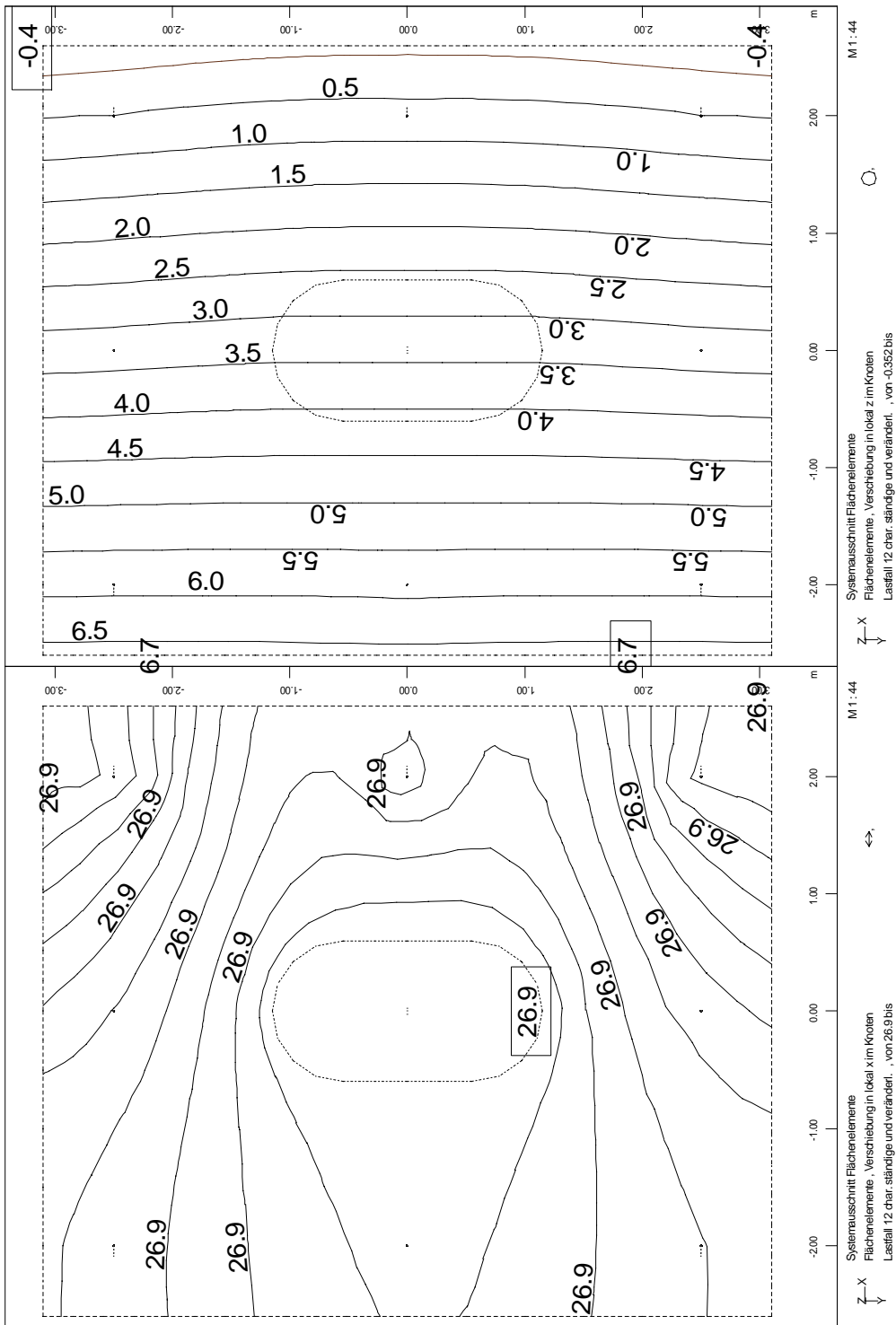


Bild 4.4: char. Verformungen der Pfahlkopfplatte unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 51	
Vorgang:	4.1 Setzungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

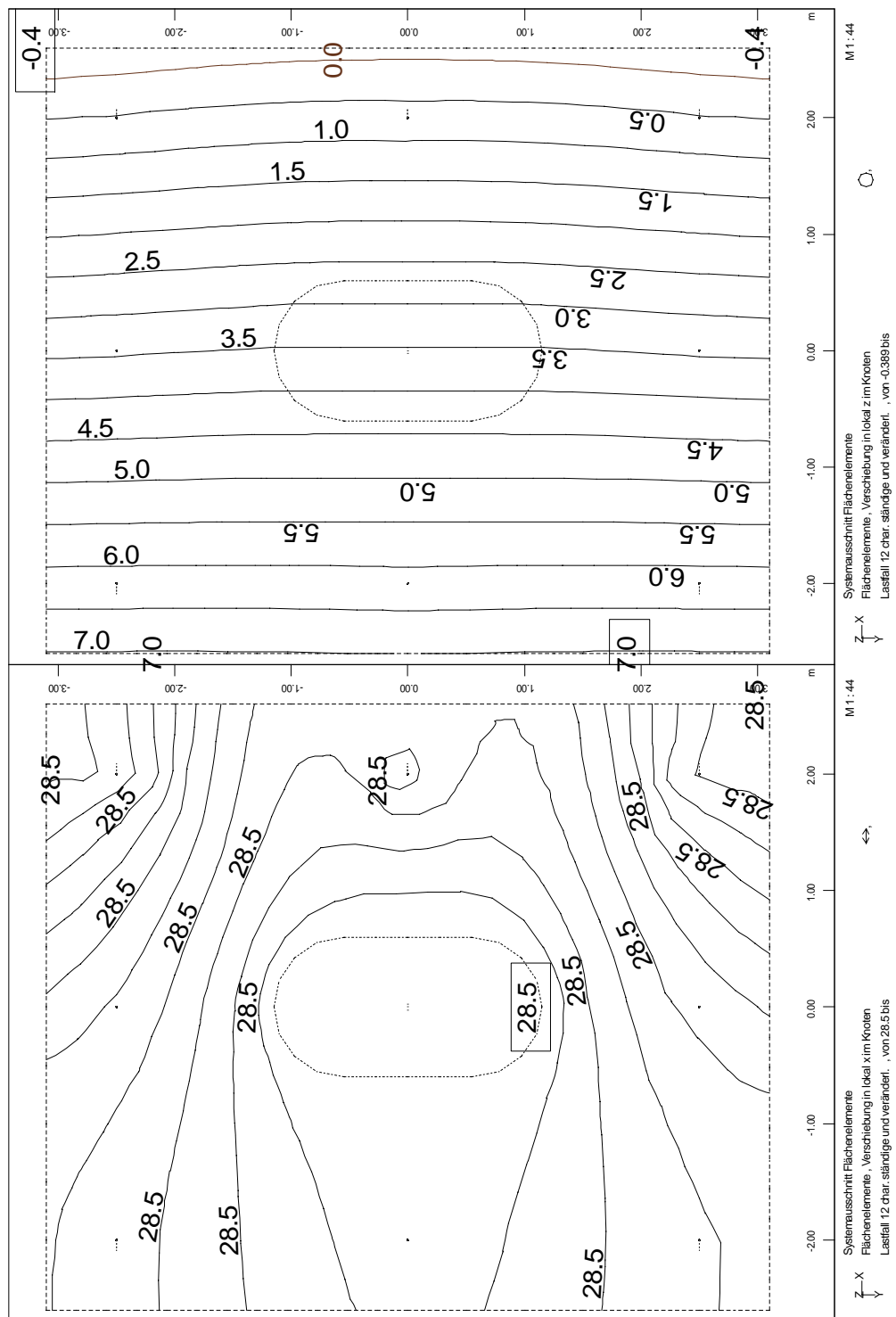


Bild 4.4: char. Verformungen der Pfahlkopfplatte unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 52	
Vorgang:	4.1 Setzungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

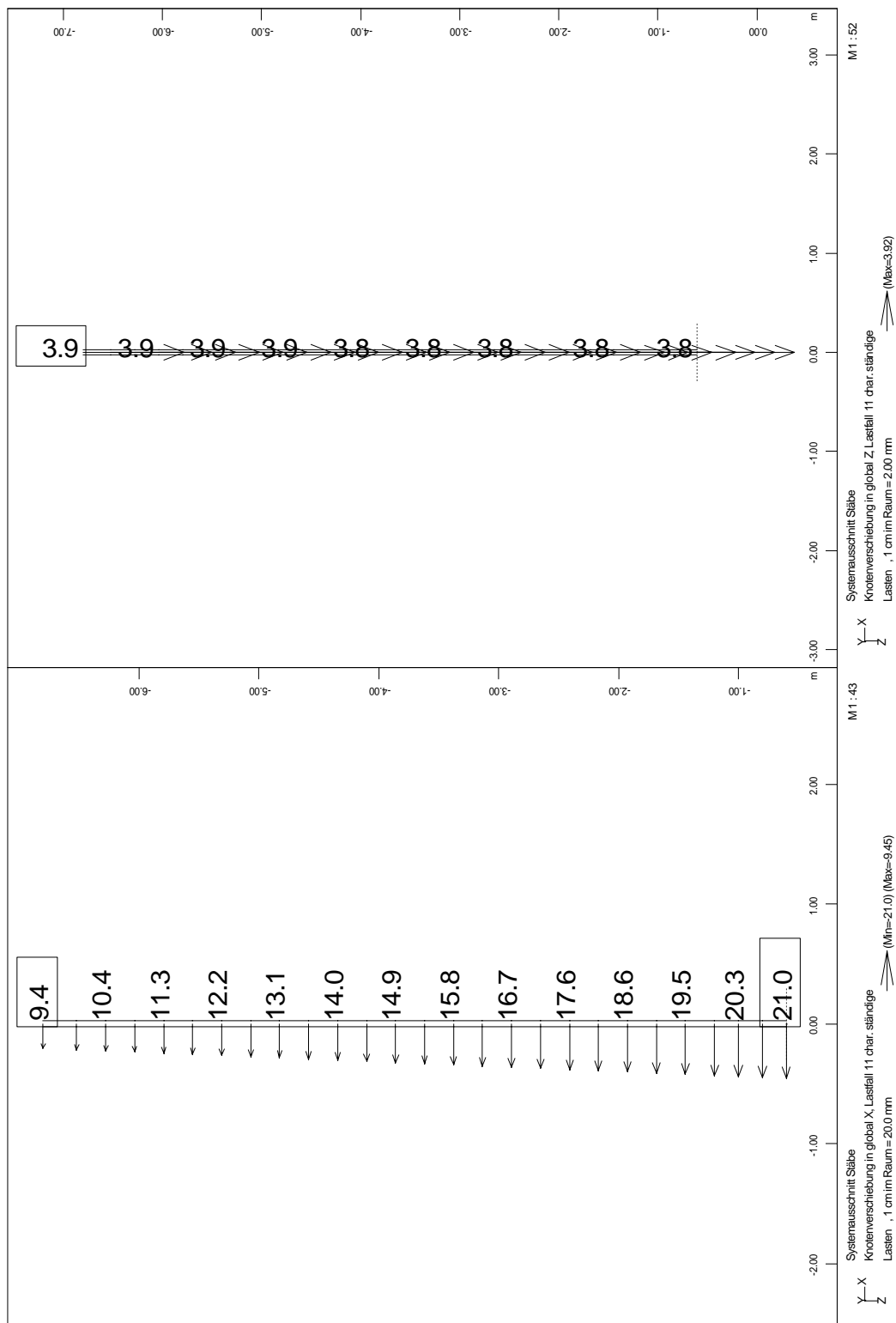


Bild 4.5: char. Verformungen des Pfeilers unter ständigen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit Seite 53	
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

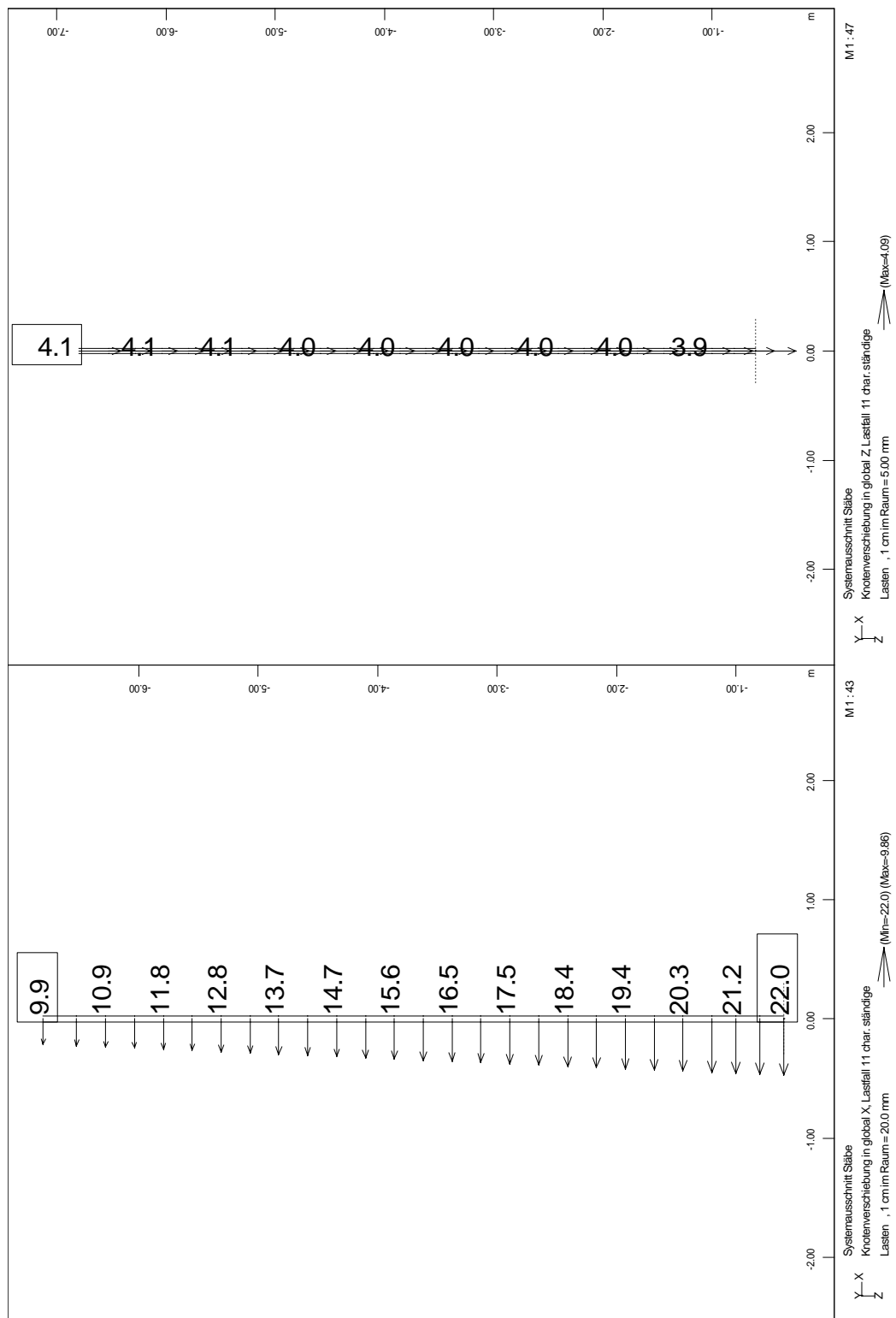


Bild 4.5: char. Verformungen des Pfeilers unter ständigen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 54	
Vorgang:	4.1 Setzungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

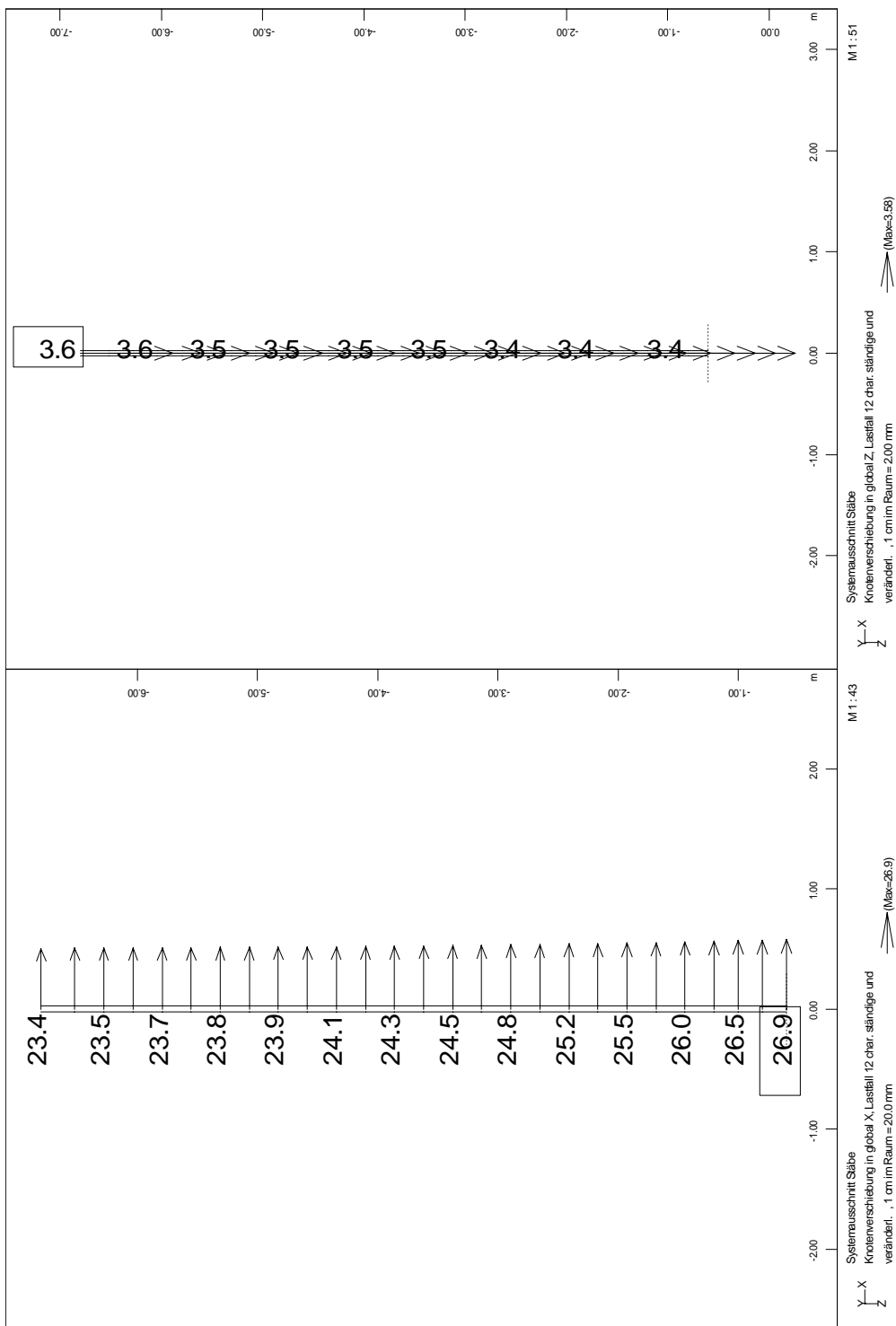


Bild 4.6: char. Verformungen des Pfeilers unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 55
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

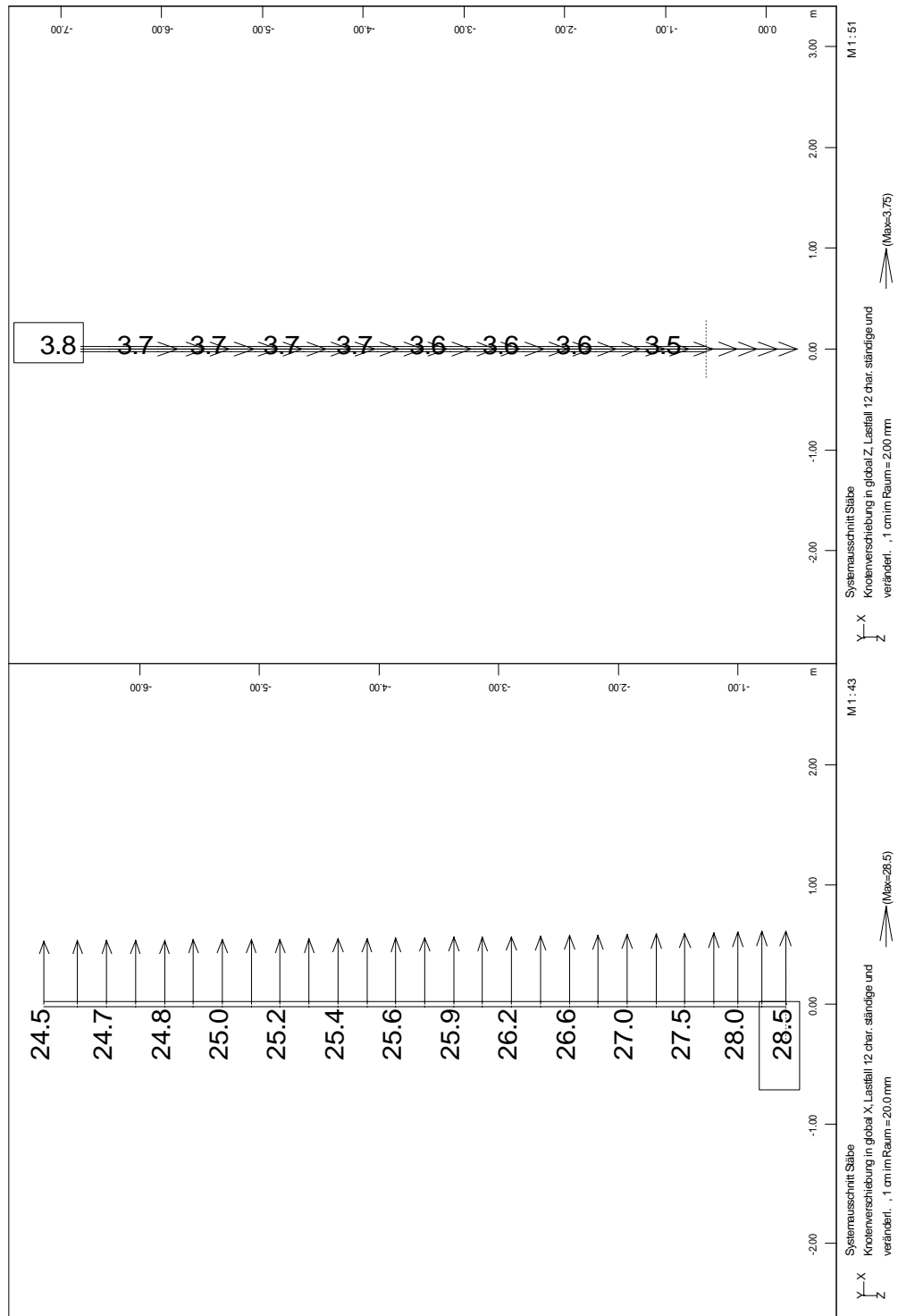


Bild 4.6: char. Verformungen des Pfeilers unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 56	
Vorgang:	4.1 Setzungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.2 Mindestbewehrung und Rissbreitenbeschränkung der Pfähle

Es ist die folgende Mindestbewehrung der Pfähle vorzusehen:

für  $A_c = 0,6 \cdot \pi / 4 = 0,28 \text{ m}^2 < 0,5 \text{ m}^2$

$A_{s,\text{längs}} \geq 0,5 \% \cdot A_c = 14,1 \text{ cm}^2$

DIN EN 1536, 7.5.2

Als Querbewehrung sind Wendel mit einem Stabdurchmesser  $\geq 6 \text{ mm}$  vorzusehen.

DIN EN 1536, 7.5.3

Mindestmaß der Betondeckung  $\min c = \text{nom } c = 50 \text{ mm}$

DIN EN 1536, 7.7.2

Aus ausführungstechnischen Gründen kann eine höhere Betondeckung gewählt werden.

Für die Druckpfähle sind keine Nachweise zur Spannungsbegrenzung im Gebrauchszustand erforderlich.

Die Zugpfähle sind mit der erforderlichen Mindestbewehrung  $A_s = 14,1 \text{ cm}^2 > A_{s,\text{erf}} = 4,7 \text{ cm}^2$  ausreichend bewehrt, um die Bildung größerer Risse zu verhindern. Weitere Nachweise sind nicht erforderlich.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit Seite 57	
Vorgang:	4.2 Mindestbewehrung und Rissbreitenbeschränkung der Pfähle	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.2 Mindestbewehrung und Rissbreitenbeschränkung der Pfähle

Es ist die folgende Mindestbewehrung der Pfähle vorzusehen:

$$\text{für } A_c = 0,6 \cdot \pi / 4 = 0,28 \text{ m}^2 < 0,5 \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{längs}} \geq 0,5 \% \cdot A_c = 14,1 \text{ cm}^2$$

DIN EN 1536, 7.5.2  
DIN EN 1992-1-1, 9.8.5

Als Querbewehrung sind Wendel mit einem Stabdurchmesser  $\geq 6$  mm vorzusehen.

DIN EN 1536, 7.5.3

Mindestmaß der Betondeckung  $\min c = \text{nom } c = 50$  mm

DIN EN 1536, 7.7.2

Aus ausführungstechnischen Gründen kann eine höhere Betondeckung gewählt werden.

Für die Druckpfähle sind keine Nachweise zur Spannungsbegrenzung im Gebrauchszustand erforderlich.

Die Zugpfähle sind mit der erforderlichen Mindestbewehrung  $A_S = 14,1 \text{ cm}^2 > A_{S,\text{erf}} = 4,7 \text{ cm}^2$  ausreichend bewehrt, um die Bildung größerer Risse zu verhindern. Weitere Nachweise sind nicht erforderlich.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 58
Vorgang:	4.2 Mindestbewehrung und Rissbreitenbeschränkung der Pfähle	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. ERGEBNIS DER PFAHLBEMESSUNG

Für die Bohrpfähle mit der gewählten Einbindetiefe von 6,0 m in den tragfähigen Fels ergeben sich auf der Grundlage der ausgeführten Pfahlversuche die folgenden Ausnutzungsgrade:

Pfahl	Ausnutzungsgrad
	[%]
1	81
2	83
3	81
4	43
5	25
6	84
7	25
8	43

Tab. 5.1: Ausnutzungsgrad  
der Pfähle

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Pfahlbemessung	Seite 59
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. ERGEBNIS DER PFAHLBEMESSUNG

Für die Bohrpfähle mit der gewählten Einbindetiefe von 6,0 m in den tragfähigen Fels ergeben sich auf der Grundlage der ausgeführten Pfahlversuche die folgenden Ausnutzungsgrade:

Pfahl	Ausnutzungsgrad
	[%]
1	78
2	79
3	78
4	42
5	27
6	81
7	27
8	42

Tab. 5.1: Ausnutzungsgrad  
der Pfähle

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Pfahlbemessung	Seite 60
Vorgang:		

# **Stand sicherheitsnachweis**

## **für eine Pfahlgründung**

### **Musterbeispiel**

### **für die nationale Umsetzung des EC 7**

### **bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken**

### **mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## Stand sicherheitsnachweis für eine Pfahlgründung

### Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)

I. INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I. Inhaltsverzeichnis	1
II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	3
III. Technische Vorschriften, Unterlagen	7
IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	9
1. Berechnungsgrundlagen	11
1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	11
1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	13
1.3 Statisches System	17
1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	21
1.5 Ermittlung der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie	25
1.6 Gruppenwirkung der Pfähle	29
2. Ermittlung der Pfahlkräfte	33
3. Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	39
3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit	39
3.2 Nachweise der inneren Tragfähigkeit	43
4. Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	45
4.1 Setzungen	45
4.2 Mindestbewehrung und Rissbreitenbeschränkung der Pfähle	57
5. Ergebnis der Pfahlbemessung	59

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis	Seite 1	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Zur Gründung eines Pfeilers für ein mehrfeldriges Brückenbauwerk wird zur Abtragung der Vertikal- und Horizontallasten eine Pfahlrost-Konstruktion mit starrer Pfahlkopfplatte hergestellt. Die 8 geneigt ausgeführten Pfähle haben einen Durchmesser von 60 cm und werden als Bohrpfähle geplant. Sie überbrücken die unterhalb einer Auffüllung anstehende ca. 8 m mächtige Tonschicht und gründen 6 m tief in tragfähigem Fels.

### Baugrund und Grundwasser

In Gründungsebene bis ca. 8 m Tiefe steht Ton an, der für eine Flachgründung keine ausreichende Tragfähigkeit aufweist. Der unterhalb der Tonschicht anstehende Fels in Form einer verwitterten Tonstein-Sandstein-Wechselagerung weist dagegen eine ausreichend Tragfähigkeit auf, so dass eine Pfahlgründung ausgeführt werden kann. Grundwasser steht in Gründungstiefe nicht an.

### Herstellung und Tragsystem

Nach dem Voraushub einer Arbeitsebene werden die Bohrpfähle mit verrohrter Bohrung bis 6 m tief in den anstehenden tragfähigen Fels hergestellt. Die Pfähle werden bis 0,5 m über Unterkante der späteren Pfahlkopfplatte betoniert. Der Überstand wird später abgebrochen und die biegesteife Stahlbeton-Pfahlkopfplatte betoniert. Das Gelände wird anschließend wieder bis zur ursprünglichen Geländehöhe aufgefüllt.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Archiv-Nr.
Block:		Seite 3
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

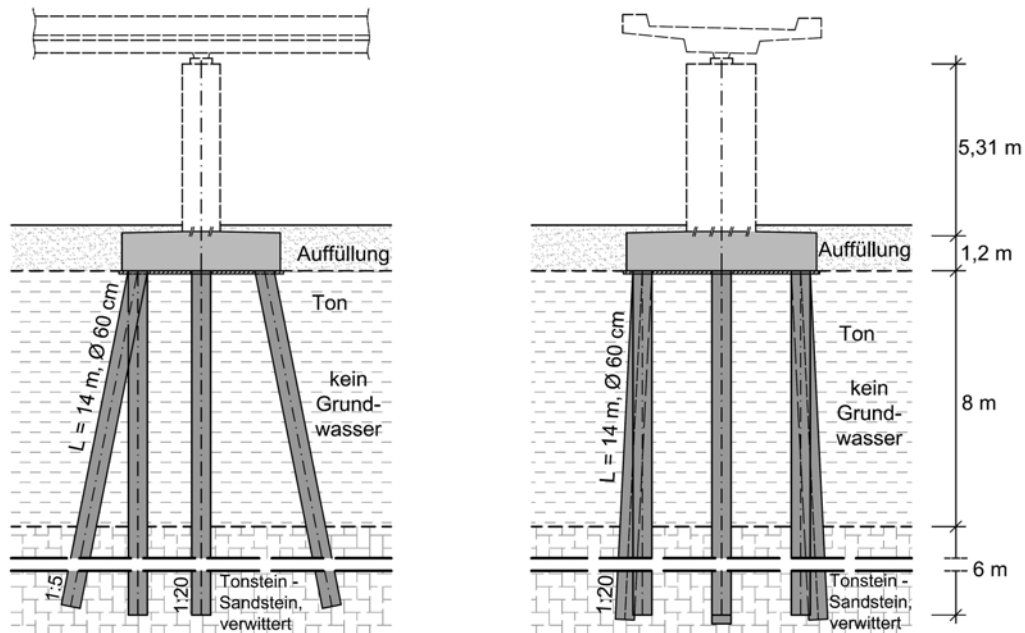


Bild II.1: Pfahlgründung, Längs- und Querschnitt

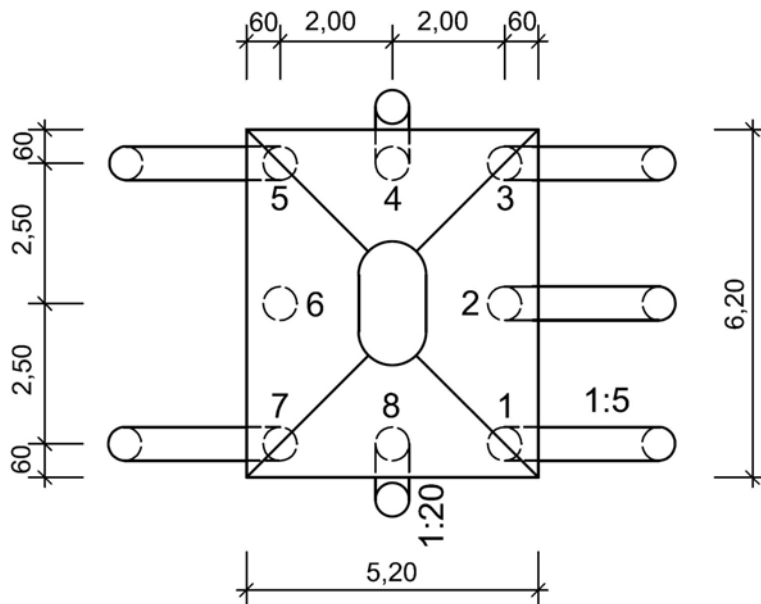


Bild II.2: Pfahlgründung, Draufsicht Pfahlkopfplatte mit Pfahlnummern

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	Seite 5	Archiv-Nr.
Block:			
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### III. TECHNISCHE VORSCHRIFTEN, UNTERLAGEN

ZTV-ING, Teil 2, Abschn. 2	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Grundbau, Gründungen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2007-12
DIN-Fachbericht 101	Einwirkungen auf Brücken, Ausgabe 2009-03
DIN-Fachbericht 102	Betonbrücken, Ausgabe 2009-03
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005-01
DIN 1055 Teil 1	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, Ausgabe 2002-06

DIN EN 1536	Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau, Bohrpfähle, Ausgabe 2010-12
EA-Pfähle	Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst und Sohn, 2007

EDV-Programme:

SOFISTIK	Programmmodule zur Stabwerksberechnung
----------	--

Bauteil:	III. Technische Vorschriften, Unterlagen	Archiv-Nr.
Block:		Seite 7
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise der Pfahlgründung gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 2 (Grundbau, Gründungen).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Teilsicherheiten und Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN-Fachbericht 101: für den Ansatz von Verkehrslasten und die zugehörigen Teilsicherheiten auf der Einwirkungsseite
- DIN-Fachbericht 102: für die Bemessung und die Material-Teilsicherheitsbeiwerte der Stahlbetonkonstruktion
- DIN 1054(2005): für die Sicherheitsnachweise der Gründung einschließlich der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus dem Baugrund

Darüber hinaus sind die EA-Pfähle zu beachten.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 9	
Vorgang:		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Wichte feucht	Reibungs- winkel	Kohäsion	Pfahlmantel- reibung $q_{s,k}$	Steifemodul Es
	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Ton	19	20	15	-	< 5
Verwitterungszone Tonstein - Sandstein	22	25	50	0,10	200 - 300

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Grundwasser steht im Gründungsbereich nicht an.

Zum Nachweis der Pfahltragfähigkeit wurden in dem anstehenden Baugrund drei statische Pfahlprobelastungen (Druckpfähle) durchgeführt.

Für die Zugpfähle kann auf einen Erfahrungswert der Mantelreibung zurückgegriffen werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

Betonstahlsorte	BSt 500 S	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1 bzw. DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.1, Tab. R2
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN 1045-1, 9.2.4 (3)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.2.4.3 (1)

### Betondeckung

allgemein	nom $c = 50 \text{ mm}$	DIN EN 1536, 7.7.2
-----------	-------------------------	--------------------

### Beton

Betonfestigkeitsklasse	C30/37	
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.4, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 28600 \text{ MN/m}^2$	DIN-FB 102, Kap. II, 3.1.5.2, Tab. 3.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V):		DIN-FB 102, Kap. II, 2.3.3.2, Tab. 2.3
--	--	---

$$\gamma_s = 1,15$$

im GZ2	$\gamma_s = 1,0$
--------	------------------

#### Beton:

S+V	$\gamma_c = 1,5$	DIN-FB 102, Kap. II, 2.3.3.2, Tab. 2.3
-----	------------------	---

im GZ2	$\gamma_c = 1,0$
--------	------------------

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 13
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Pfähle

Die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise erfolgen für den Lastfall 1.

DIN 1054

Teilsicherheitsbeiwerte GZ 1B

Pfahldruckwiderstand bei Probelast.

$$\gamma_{Pc} = 1,20$$

DIN 1054, Abschn. 6.4.2, Tab. 3

Pfahlzugwiderstand bei Probelast.

$$\gamma_t = 1,30$$

Pfahlwiderstand auf Zug

aufgrund von Erfahrungswerten.

$$\gamma_P = 1,40$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 15
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

Der Pfahlrost mit seinen 8 Gründungspfählen wird als dreidimensionales System abgebildet. Dabei werden die Pfähle als Pendelstützen mit gelenkiger Lagerung am Kopf und am Fuß modelliert. Die Pfahlkopfplatte wird als beigesteife Stahlbetonplatte mit ihrer tatsächlichen Steifigkeit abgebildet.

Zur Ermittlung der Eigengewichts-Lasten des Pfeilers und zur Berücksichtigung der zutreffenden Hebelarme der Brückenaufasten wird auch der Pfeiler mit abgebildet.

Gemäß DIN 1054, 8.3.1 (4) ist die Nichtlinearität der Widerstands-Setzungslinie der Pfähle bei den Standsicherheitsnachweisen zu beachten. Daher werden an den Füßen der als starr abgebildeten Pfähle elastische Federn angeordnet, deren Federsteifigkeiten iterativ an die jeweiligen Pfahllasten der einzelnen Pfähle angepasst werden können. Die Federsteifigkeiten werden dabei als Sekanten aus der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie ermittelt.

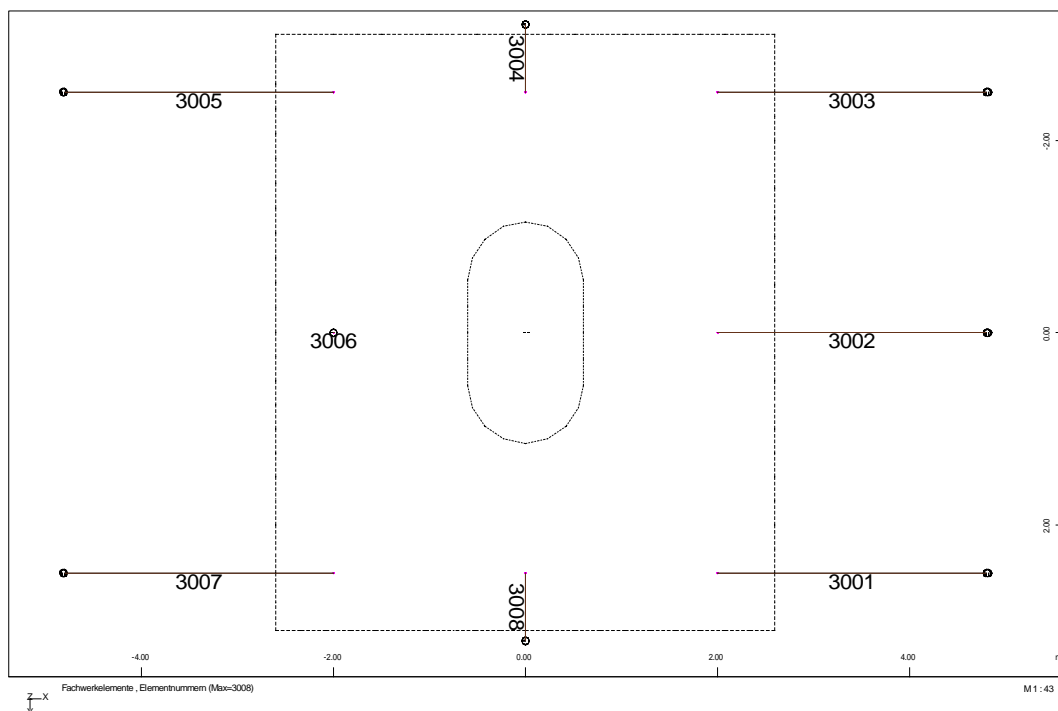


Bild 1.1: Draufsicht Pfahlkopfplatte mit Pfahlnummern

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 17
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

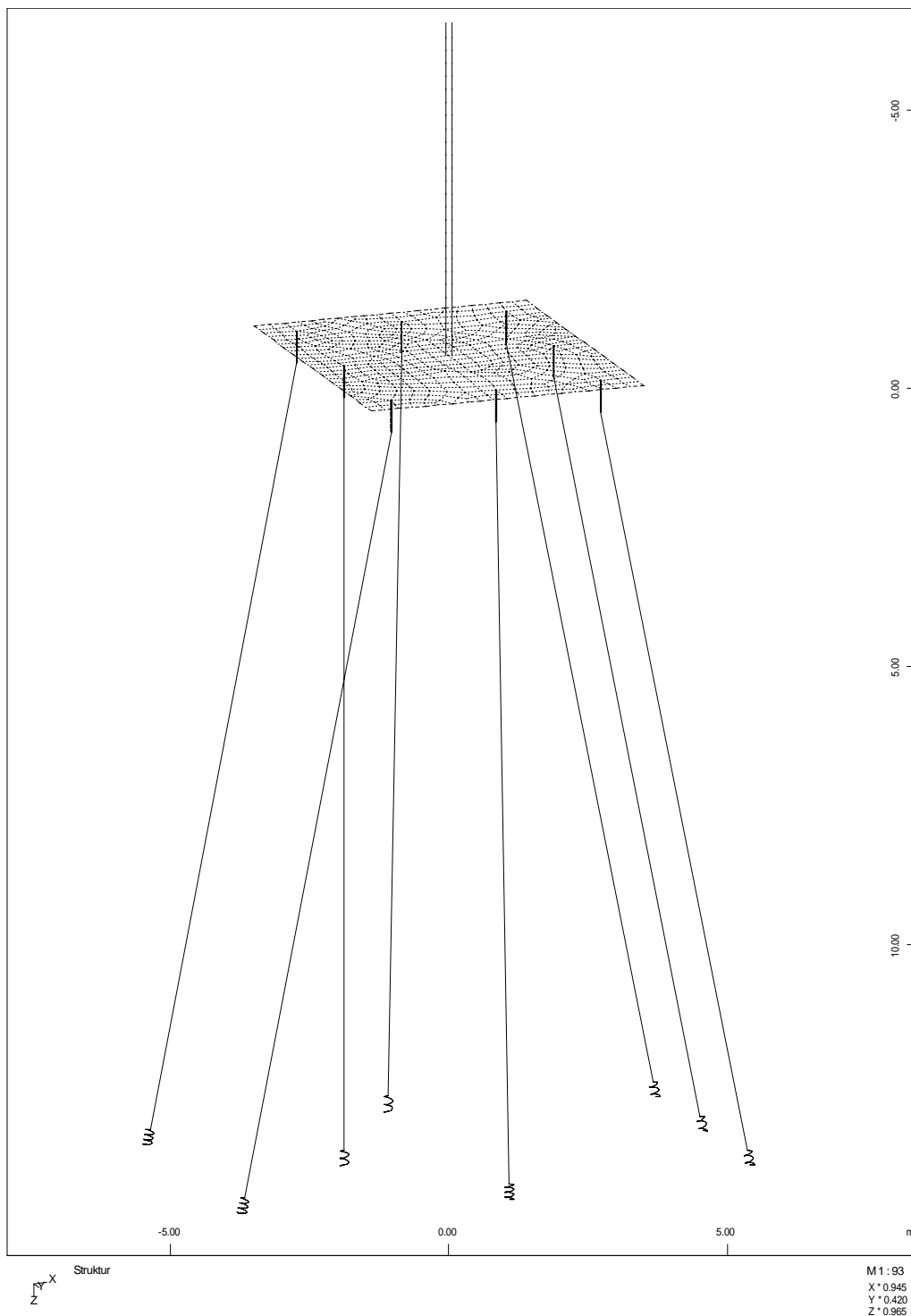


Bild 1.2: Statisches System

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 19
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Der Pfahlrost wird durch die Gründungslasten des Brückenbauwerkes beansprucht. Die Einwirkungen setzen sich zusammen aus den Eigengewichtslasten der Brücke und des Pfeilers gemäß DIN 1055-1 sowie den Brückenverkehrslasten gemäß DIN-Fachbericht 101.

Bedingt durch die veränderten Straßenverkehrslasten und die veränderten Teilsicherheitsbeiwerte für Straßenverkehrslasten würden sich im Berechnungsbeispiel auf der Grundlage der alten nationalen und der neuen europäischen Vorschriften abweichende Gründungslasten ergeben. Das Maß der Abweichung hängt dabei von der Spannweite und Breite der Brücke ab.

Zur Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse für die Pfahlgründung werden hier vereinfachte fiktive charakteristische Einwirkungen angesetzt, die mit den gleichen, allgemeinen Teilsicherheitsbeiwerten ( $\gamma_G = 1,35$  und  $\gamma_Q = 1,50$ ) gemäß DIN 1054, Tab. 2 beaufschlagt werden:

ständige Last:  $G_k = 1600 \text{ kN}$   
veränderliche Last:  $Q_{v,k} = 640 \text{ kN}$   
 $Q_{h,k} = 400 \text{ kN}$

Die Lasten werden an Oberkante des Pfeilers aufgebracht, vgl. Bild 1.3.

Zusätzlich wird programmintern das Eigengewicht von Pfeiler und Pfahlkopfplatte berücksichtigt:  $G_k = 1300 \text{ kN}$

Das Eigengewicht der Pfähle wird vernachlässigt.

DIN 1054, 8.3.1 (5)

Negative Mantelreibung aufgrund der weichen Tonschicht tritt nicht auf, da seitlich der Gründung nur bis zur ursprünglichen Geländeoberkante verfüllt wird. Für diese Last ist der Ton bereits konsolidiert.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 21
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

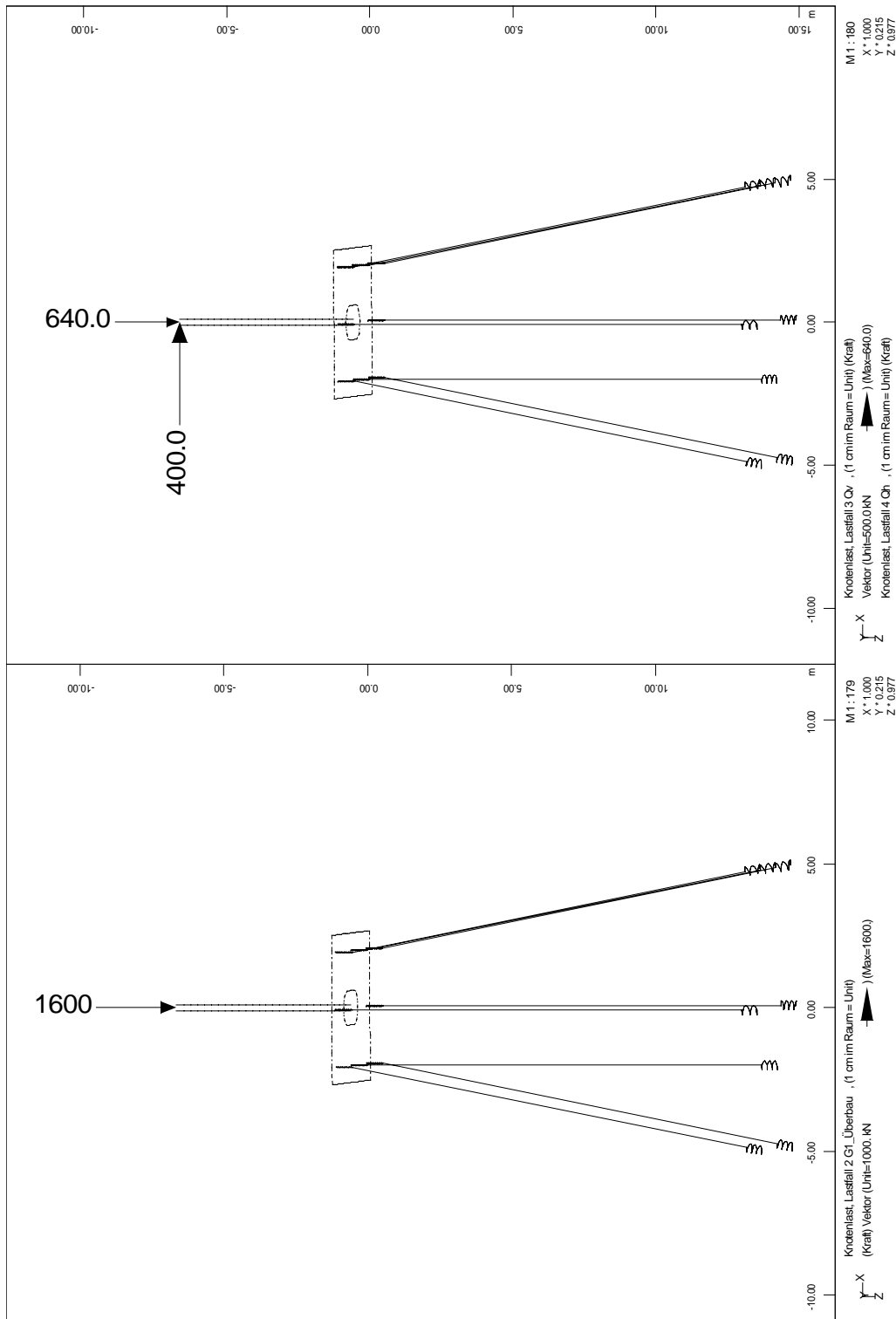


Bild 1.3: charakteristische ständige und veränderliche Einwirkungen am Pfeilerkopf

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 23
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.5 Ermittlung der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie

Es liegen die Ergebnisse von drei statischen Pfahlprobelastungen vor. Aus diesen Probelastungen wird gemäß DIN 1054 eine charakteristische Widerstands-Setzungslinie ermittelt.

Aufgrund der starren Kopfplatte, durch die die Last auf mehrere Pfähle verteilt wird, dürfen die Mittelwerte der Versuchsergebnisse verwendet und mit Streuungsfaktoren  $\xi$  belegt werden.

$$R_{1,k} = \bar{R}_{1m} / \xi \quad \text{DIN 1054, 8.4.2, Gl. (27)}$$

$$\text{Mit } s_N = \sqrt{\sum_{i=1}^N (\bar{R}_{1m} - R_{1m,i})^2 / (N-1)} \quad \text{DIN 1054, 8.4.2, Gl. (28)}$$

$$\xi = 1,0 \text{ für } s_N / R_{1m} = 0 \quad \text{DIN 1054, 8.4.2, Tab. 4}$$

$$\xi = 1,05 \text{ für } s_N / R_{1m} = 25$$

Hier:  $s_N / R_{1m} \approx 0$                        $\xi = 1,0$

Die Ermittlung erfolgt tabellarisch:

s	Versuchsergebnisse			Mittelwert	$s_N$	$s_N / R_m$	$\xi$	char.Wert
	$R_{c1}$	$R_{c2}$	$R_{c3}$	$R_m$				
cm	MN	MN	MN	MN	[-]	[-]	[-]	MN
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	1,0	0,000
0,50	0,70	0,75	0,67	0,71	0,040	0,057	1,0	0,707
1,00	1,25	1,34	1,19	1,26	0,075	0,060	1,0	1,260
1,50	1,35	1,45	1,28	1,36	0,085	0,063	1,0	1,360
2,00	1,42	1,55	1,33	1,43	0,111	0,077	1,0	1,433
3,50	1,55	1,66	1,47	1,56	0,095	0,061	1,0	1,560
6,00	1,70	1,80	1,62	1,71	0,090	0,053	1,0	1,707

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		Seite 25
Vorgang:	1.5 Charakteristische Widerstands-Setzungslinie		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

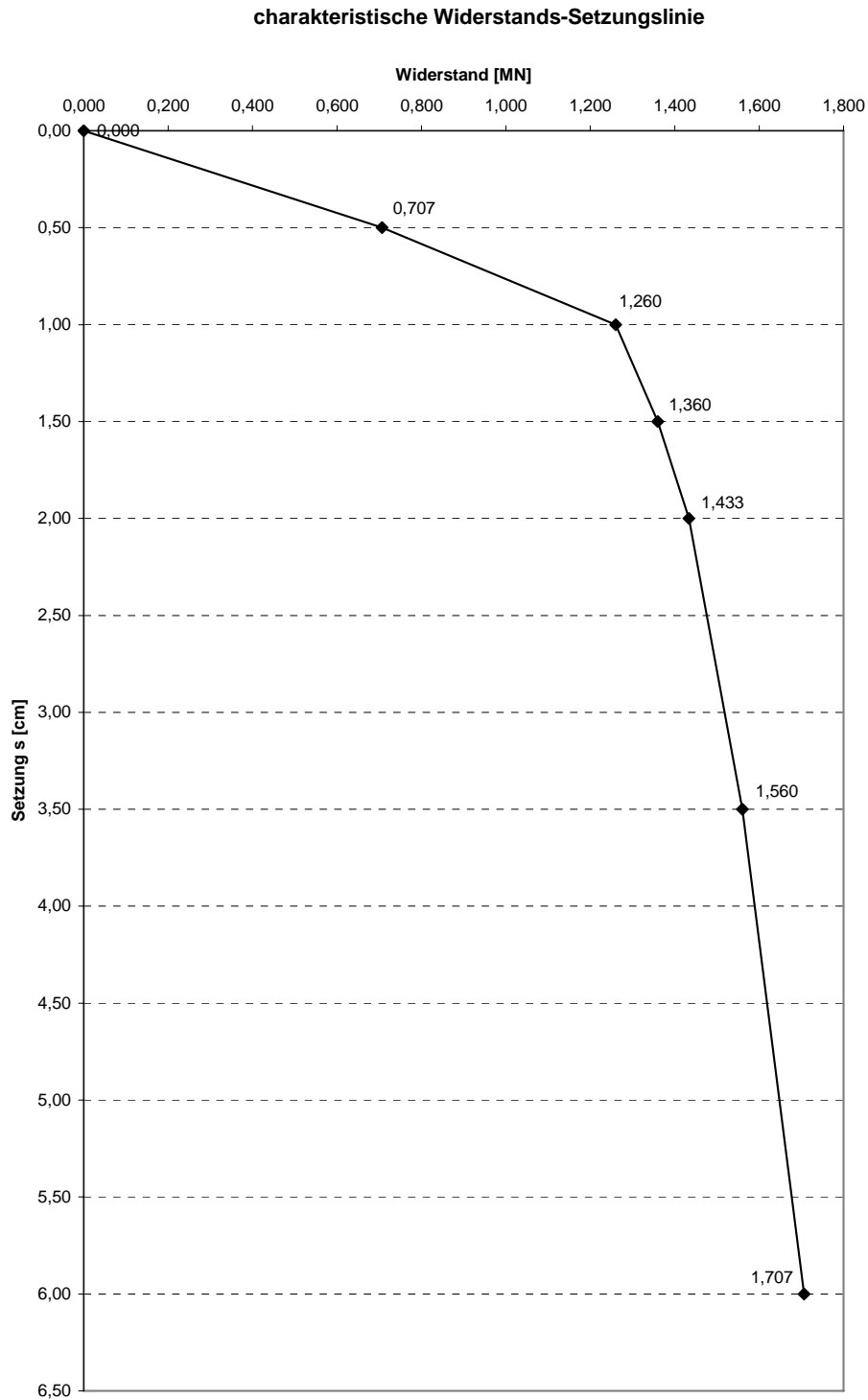


Bild 1.4: charakteristische Widerstands-Setzungslinie aus Pfahlversuchen

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 27
Vorgang:	1.5 Charakteristische Widerstands-Setzungslinie	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.6 Gruppenwirkung der Pfähle

In Pfahlrosten stehen die Einzelpfähle per definitionem so weit auseinander, dass keine gegenseitige Beeinflussung des Tragverhaltens benachbarter Pfähle auftritt, vgl. EA-Pfähle, 3.1.2.

Bei dem hier vorliegenden Pfahlrost kann aufgrund des geringen Pfahlabstandes (2,5m) und der großen Pfahllänge (6 m in tragfähigem Baugrund) eine gegenseitige Beeinflussung der Pfähle nicht ohne weiteres ausgeschlossen werden.

Die in den EA-Pfähle, Kapitel 8, angegebenen Nomogramme zur Abschätzung der Gruppenwirkung können nur bedingt auf den vorliegenden Pfahlrost übertragen werden, da sie für quadratische Pfahlgruppen unter zentrischer Beanspruchung hergeleitet wurden. Die Pfähle des Pfahlrostes erhalten aufgrund der Horizontallast jedoch je nach ihrer Lage stark unterschiedliche Lasten.

Das gegenüber Einzelpfählen weichere Tragverhalten und die geringere Tragfähigkeit des Pfahlrostes werden in Anlehnung an die Nomogramme der EA-Pfähle abgeschätzt.

Es wird für die Eckpfähle ein Faktor von 90% und für die übrigen Pfähle, die alle als Randpfähle zu betrachten sind, ein Faktor von 80% der Steifigkeit eines Einzelpfahles angesetzt. Die charakteristischen Widerstandssetzungslinien der Pfähle werden mit diesen Faktoren abgemindert.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	
Vorgang:	1.6 Gruppenwirkung der Pfähle	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

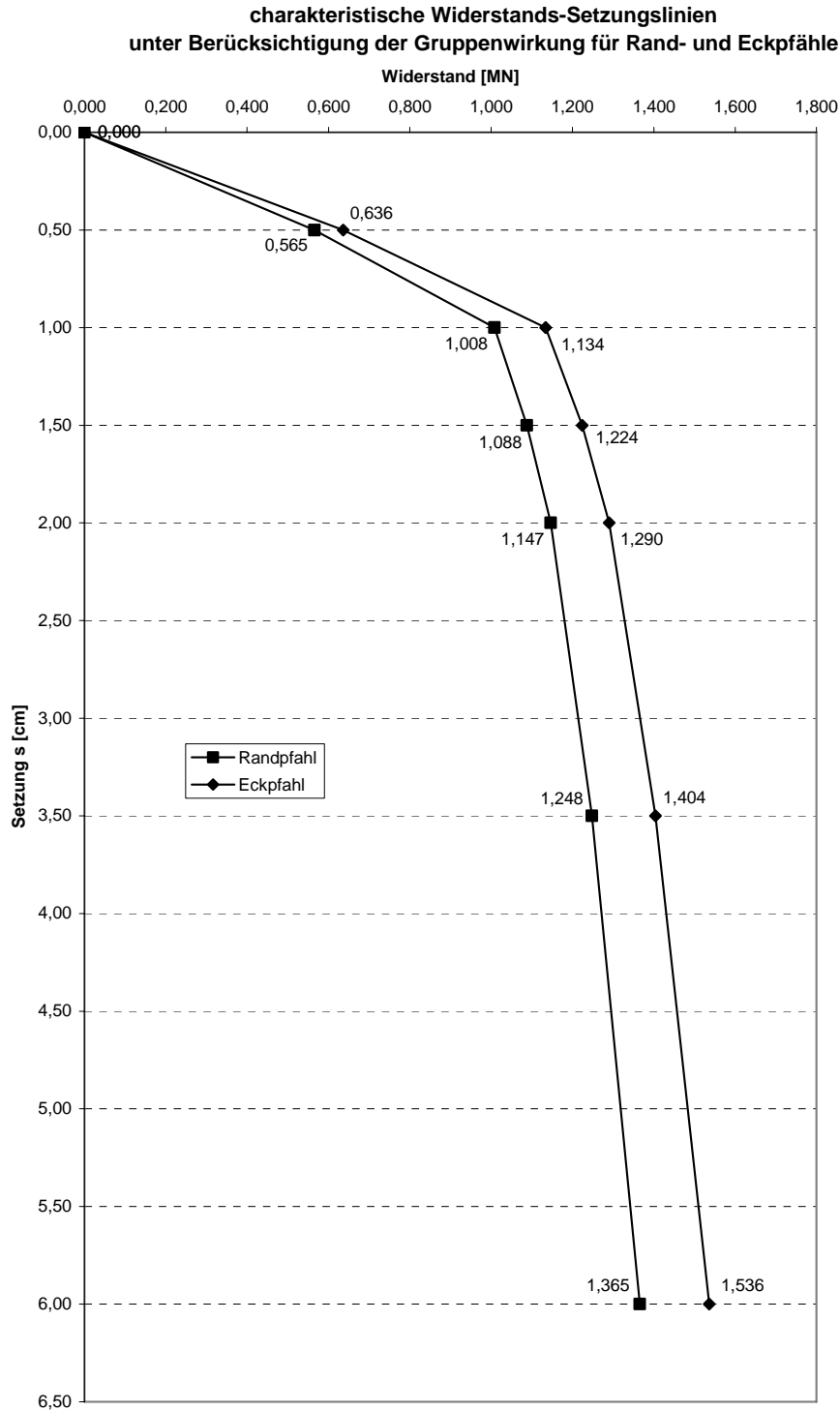


Bild 1.5: charakteristische Widerstands-Setzungslinie für Eck- und Randpfähle

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 31
Vorgang:	1.6 Gruppenwirkung der Pfähle	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. ERMITTLUNG DER PFAHLKRÄFTE

Die Pfahlkräfte werden aufgrund der nichtlinearen Widerstands-Setzungslinie unter charakteristischen Einwirkungen ermittelt.

Es werden die zwei Lastfallkombinationen

LFK1: ständige Lasten

LFK 2: ständige und veränderliche Lasten

getrennt untersucht.

Die Federn an den Pfahlfüßen werden bei Bedarf iterativ an die Pfahlkräfte angepasst, so dass im Ergebnis alle Pfähle mit einer Steifigkeit abgebildet sind, die ihrer Lage in der Widerstands-Setzungslinie entspricht.

Als Startwert wird der lineare Anfangsast der Widerstands-Setzungslinie mit

$s = 0,50 \text{ cm}$

$R_c = 0,707 \text{ MN}$

$c = R_c / s = 707 \text{ kN} / 0,005\text{m} = 141400 \text{ kN/m}$  angesetzt.

Aufgrund der Gruppenwirkung werden die Eckpfähle mit 90% dieser Steifigkeit (127260 kN/m) und die übrigen Pfähle mit 80% dieses Wertes (113120 kN/m) angesetzt.

Es ergeben sich die folgenden Pfahlkräfte:

LFK1:

Pfahl	$G_k$ [kN]	Grenze linearer Ast [kN]
1	-362,5	-636
2	-334,6	-565
3	-361,5	-636
4	-409,6	-565
5	-529,8	-636
6	0,0	-565
7	-529,8	-636
8	-409,6	-565

Unter ständigen Lasten bleiben alle Pfähle im ersten Ast der W-S-Linie. Die Federsteifigkeiten müssen nicht angepasst werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.	
Block:	2. Ermittlung der Pfahlkräfte		Seite 33
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

LFK2:

Pfahl	$(G+Q)_{,k}$ Startwert	Grenze lin. Ast	$c_{neu}$	$(G+Q)_{,k}$ 3. Iteration
	[kN]	[kN]	[kN/m]	[kN]
1	-731,0	-636	122849	-729,3
2	-669,0	-565	108613	-663,3
3	-731,0	-636	122849	-729,3
4	-358,8	-565	-	-367,7
5	-45,7	-636	-	-41,2
6	-640,0	-565	109526	-640,0
7	-45,7	-636	-	-41,2
8	-358,8	-565	-	-367,7

In der LFK 2 sind für 4 Federn Anpassungen der Federsteifigkeiten erforderlich.

Die charakteristischen Pfahlkräfte ergeben sich damit wie folgt:

Pfahl	$G_{,k}$	$(G+Q)_{,k}$	$Q_{,k} = (G+Q)_{,k} - G_{,k}$
	[kN]	[kN]	[kN]
1	-362,5	-729,3	-366,8
2	-334,6	-663,3	-328,7
3	-361,5	-729,3	-366,8
4	-409,6	-367,7	41,9
5	-529,8	-41,2	488,6
6	0,0	-640,0	-640,0
7	-529,8	-41,2	488,6
8	-409,6	-367,7	41,9

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Ermittlung der Pfahlkräfte	
Vorgang:	Seite 35	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

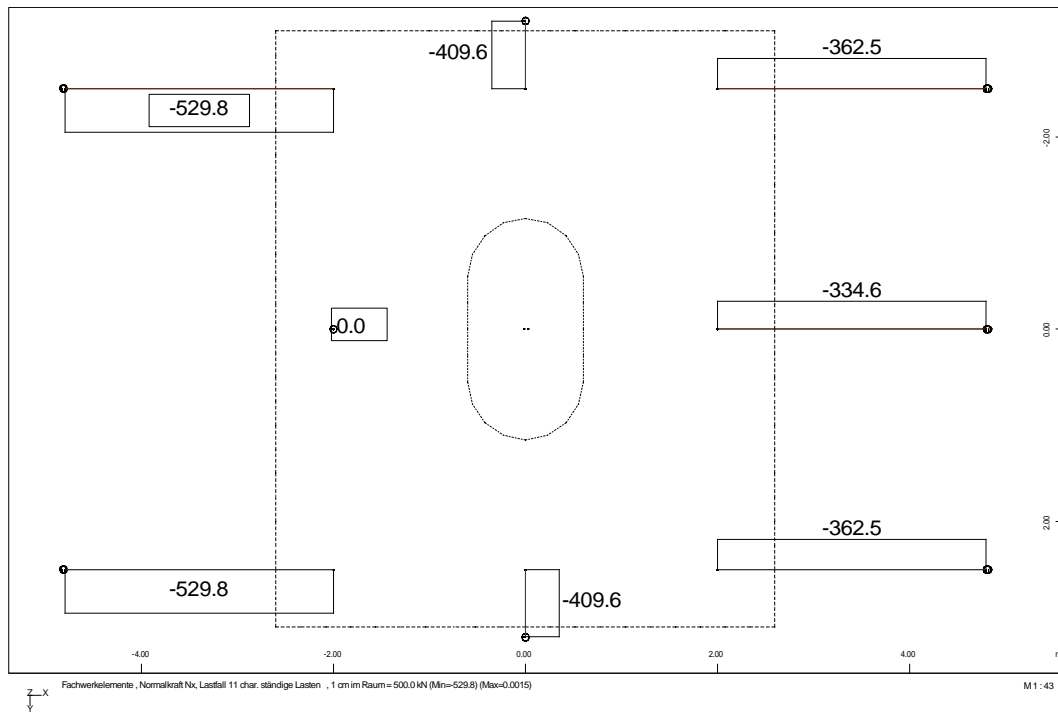


Bild 2.1: charakteristische Pfahlkräfte unter ständigen Lasten

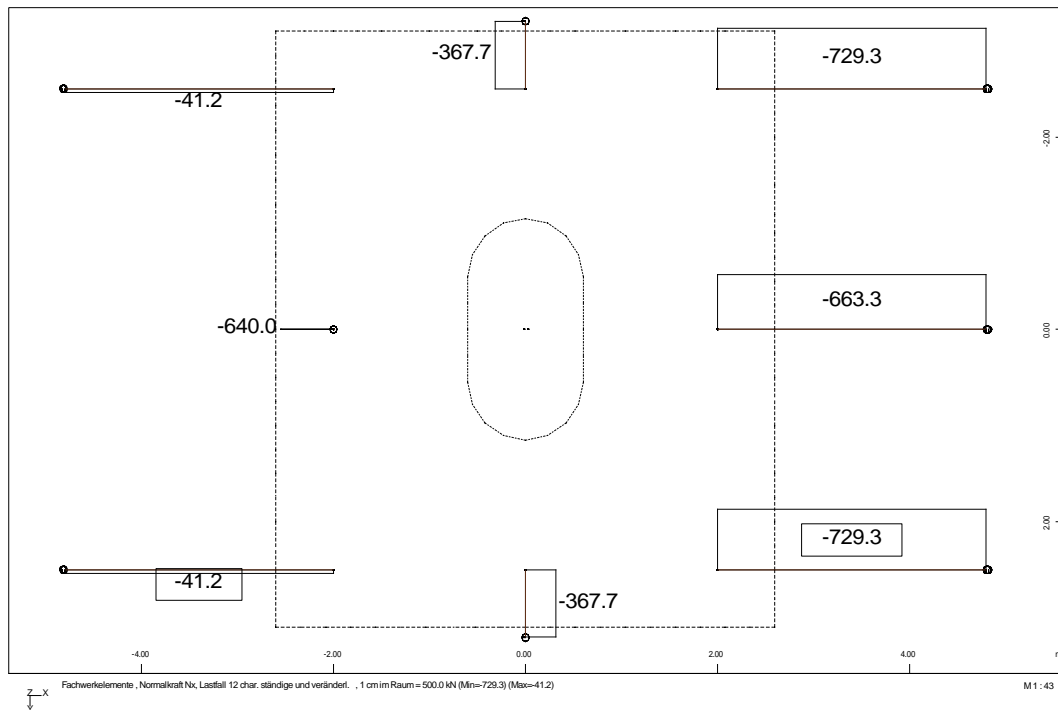


Bild 2.2: charakteristische Pfahlkräfte unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Ermittlung der Pfahlkräfte	Seite 37
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER TRAGFÄHIGKEIT

#### 3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit

Für alle Pfähle ist eine ausreichende Sicherheit gegen Versagen durch Bruch des Bodens im Grenzzustand GZ1B:

$$E_d \leq R_d$$

nachzuweisen.

Es gilt:  $E_d = G_{,k} \cdot \gamma_G + Q_{,k} \cdot \gamma_Q$

Für Zugpfähle ist die günstige Wirkung ständiger Lasten nur mit  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  anzusetzen. DIN 1054, 8.3.4

Die Widerstände der Druckpfähle ergeben sich aus den Pfahlversuchen unter Berücksichtigung der Gruppenwirkung wie folgt:

$$R_d = R_k / \gamma_{Pc} \quad \text{mit } \gamma_{Pc} = 1,20 \quad \text{DIN 1054, Tab. 3}$$

für die Eckpfähle:  $R_d = -0,9 \cdot 1,71 / 1,20 = -1,283 \text{ MN}$

für die Randpfähle:  $R_d = -0,8 \cdot 1,71 / 1,20 = -1,138 \text{ MN}$

Für die Widerstände der Zugpfähle wird hier auf Erfahrungswerte bei vergleichbaren Bauvorhaben zurückgegriffen bzw. die Mantelreibung aus den Druckversuchen abgeleitet.

Als Erfahrungswert wird angesetzt:  $q_{sk} = 0,10 \text{ MN/m}^2$

$$R_k = A \cdot q_{sk} = 1,13 \text{ MN}$$

mit  $A = 0,6 \cdot \pi \cdot 6,0 = 11,31 \text{ m}^2$

$$R_d = R_k / \gamma_P \quad \text{mit } \gamma_P = 1,40 \quad \text{DIN 1054, Tab. 3}$$

für die Zugpfähle:  $R_d = 1,13 / 1,40 = 0,808 \text{ MN}$

Eine Gruppenwirkung ist hier nicht zu berücksichtigen, da die Zugpfähle weit auseinander liegen.

Der Nachweis erfolgt tabellarisch mit den im Abschnitt 2 ermittelten Schnittgrößen:

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 39
Vorgang:	3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Pfahl	$E_d$ [kN]	$R_d$ [kN]	Ausnutzungsgrad [%]
1	-1039,6	-1283	81
2	-944,8	-1138	83
3	-1039,6	-1283	81
4	-490,1	-1138	43
5	203,1	808	25
6	-960,0	-1138	84
7	203,1	808	25
8	-490,1	-1138	43

Ein Knicksicherheitsnachweis der Druckpfähle ist nicht erforderlich, da der Ton eine Scherfestigkeit von  $c_u \geq 15 \text{ kN/m}^2$  aufweist.

DIN 1054, 8.5.1 (2)

Aufgrund der geringen Zugkräfte und des großen Abstandes der Zugpfähle erübrigen sich Nachweise des angehängten Bodenkörpers.

DIN 1054, 8.5.4

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 41	
Vorgang:	3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.2 Nachweise der inneren Tragfähigkeit

Die Bemessung der Bohrpfähle erfolgt gemäß DIN EN 1536 auf der Grundlage des DIN-Fachberichtes 102. Die Pfähle werden planmäßig mittig auf Druck oder Zug beansprucht. Es kommt ein Beton der Güte C30/37 zum Einsatz.

Druckpfähle:

$$E_{d,max} = -1039,6 \text{ kN}$$

$$R_d = A_c \cdot f_{cd} = -4,8 \text{ MN}$$

DIN-FB 102, II, 4.3.1

$$\text{mit } A_c = 0,6^2 \cdot \pi / 4 = 0,283 \text{ m}^2$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{d,max} = -1039,6 \text{ kN} < R_d = 4800 \text{ kN}$$

Zugpfähle:

$$E_{d,min} = 203,1 \text{ kN}$$

$$\text{erf } A_s = E_d / f_{yd} = 4,7 \text{ cm}^2$$

$$\text{mit } f_{ck} = 500 \text{ MN/m}^2$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MN/m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 43
Vorgang:	3.2 Nachweise der inneren Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

##### 4.1 Setzungen

Die Pfahlsetzungen im Gebrauchszustand können den im Abschnitt 2 geführten Berechnungen entnommen werden.

Diese Setzungen wurden unter Berücksichtigung der nichtlinearen Widerstands-Setzungslinien abhängig vom Ausnutzungsgrad der einzelnen Pfähle und unter Berücksichtigung der Gruppenwirkung ermittelt. Die charakteristischen Pfahlsetzungen liegen zwischen 0 und 6,1 mm.

Darüber hinaus werden die resultierenden Verformungen der Pfahlkopfplatte und des Pfeilers ausgewertet. Die Kopfverschiebungen des Pfeilers unter charakteristischen ständigen und veränderlichen Einwirkungen betragen 3,9 bzw. 3,6 mm in vertikaler und 9,4 bzw. 23,4 mm in horizontaler Richtung jeweils unter charakteristischen ständigen bzw. charakteristischen ständigen und veränderlichen Lasten.

Die Setzungen und Verformungen sind für die Gründung und die Brücke als unkritisch einzustufen.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 45	
Vorgang:	4.1 Setzungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

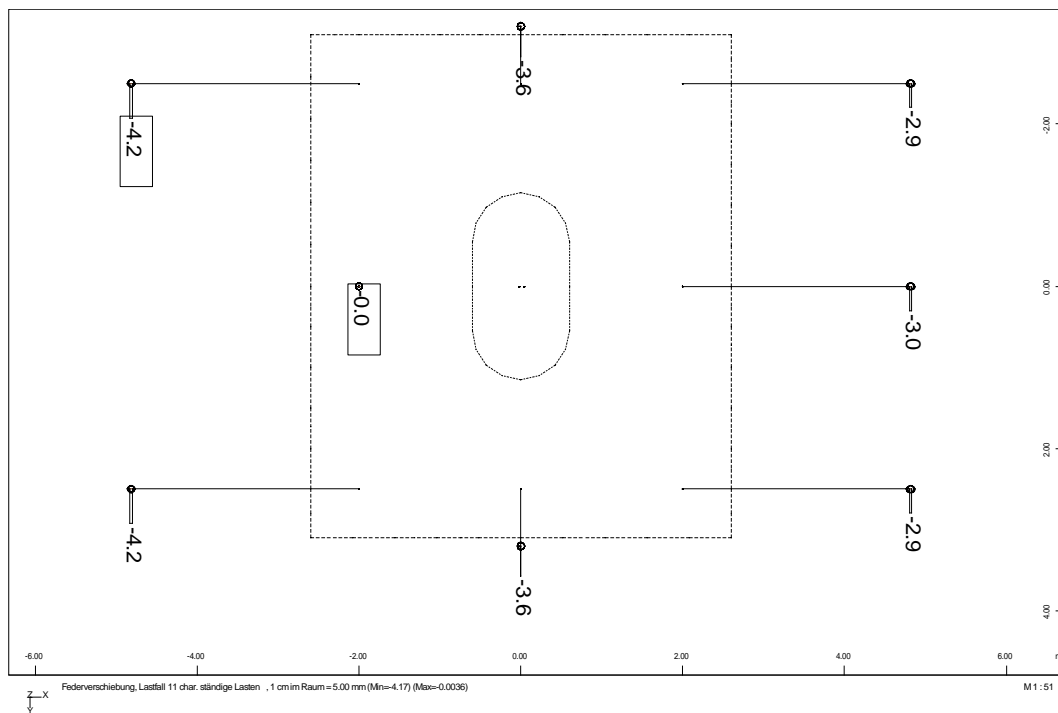


Bild 4.1: charakteristische Pfahlsetzungen unter ständigen Lasten

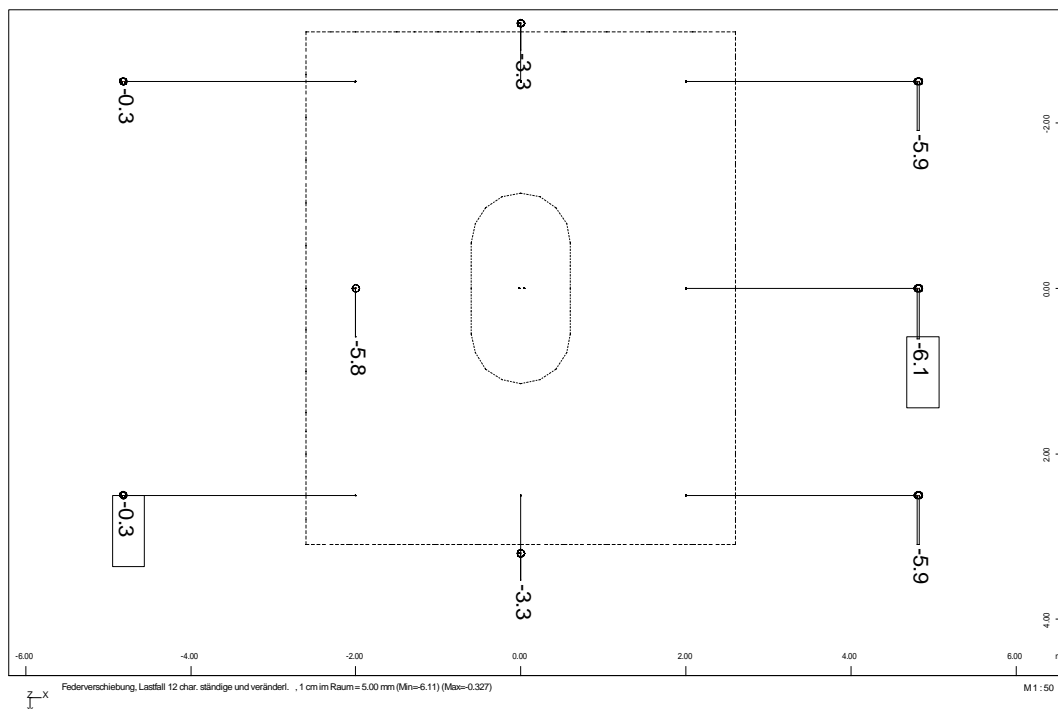


Bild 4.2: charakteristische Pfahlsetzungen unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 47
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

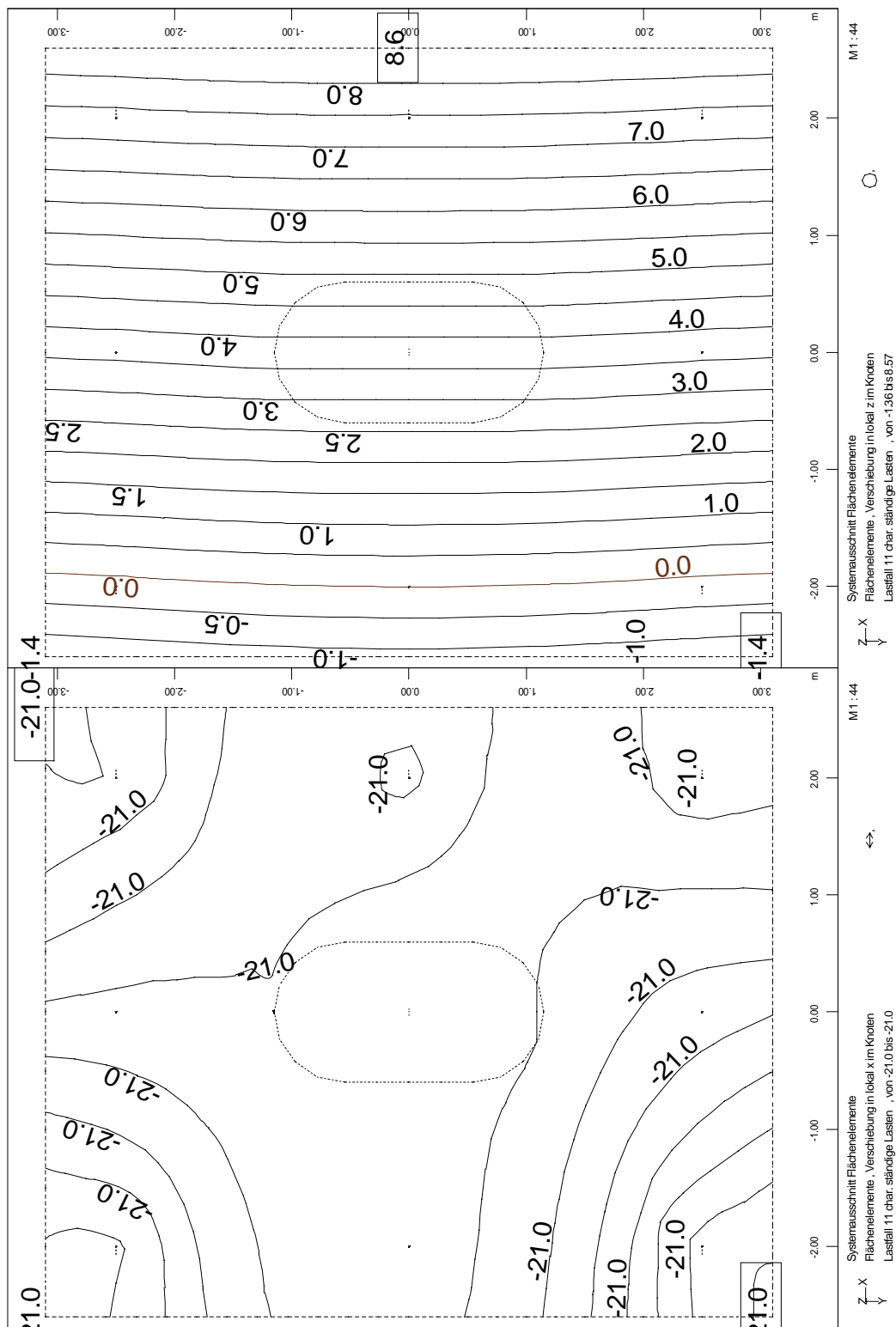


Bild 4.3: char. Verformungen der Pfahlkopfplatte unter ständigen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 49
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

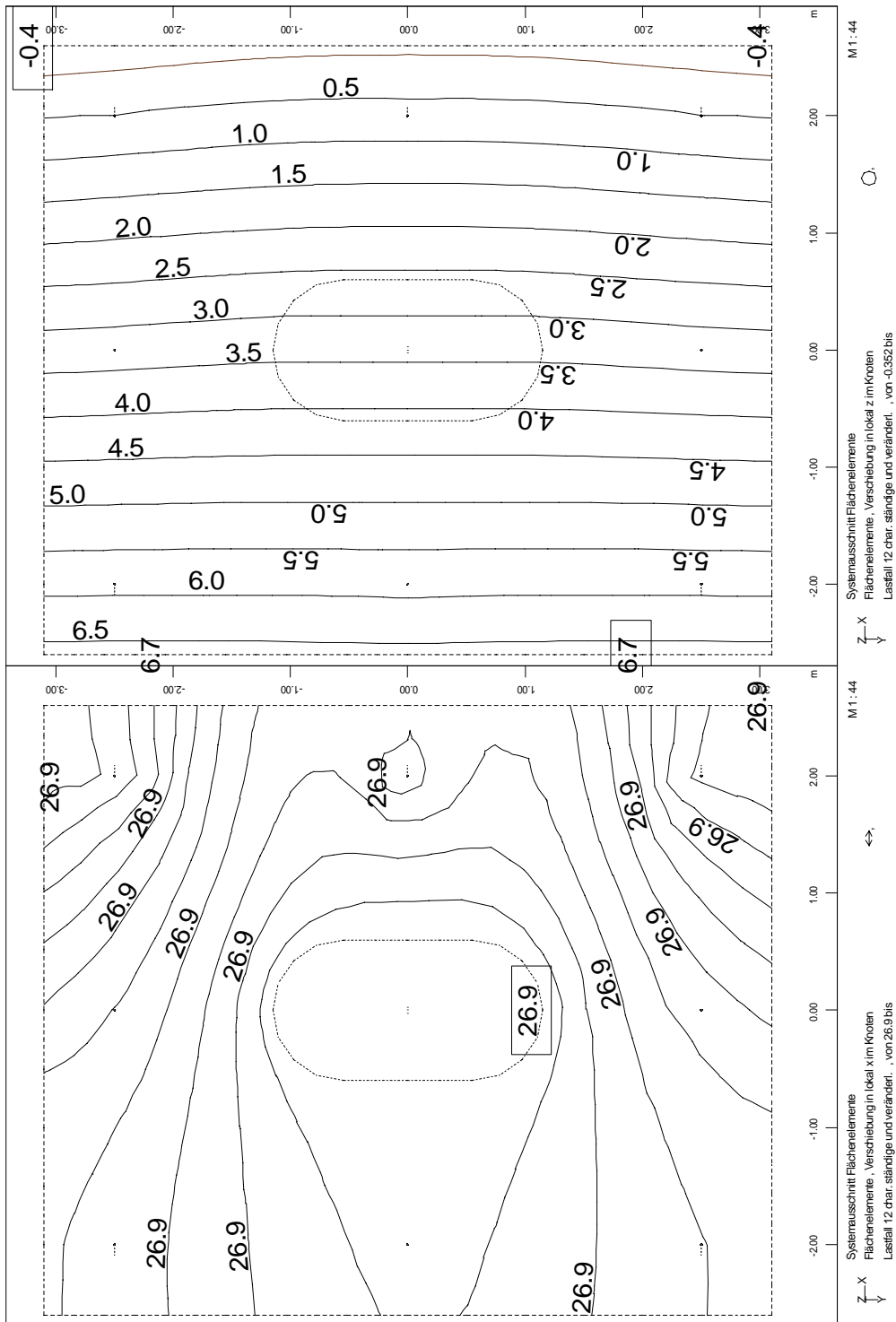


Bild 4.4: char. Verformungen der Pfahlkopfplatte unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 51	
Vorgang:	4.1 Setzungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

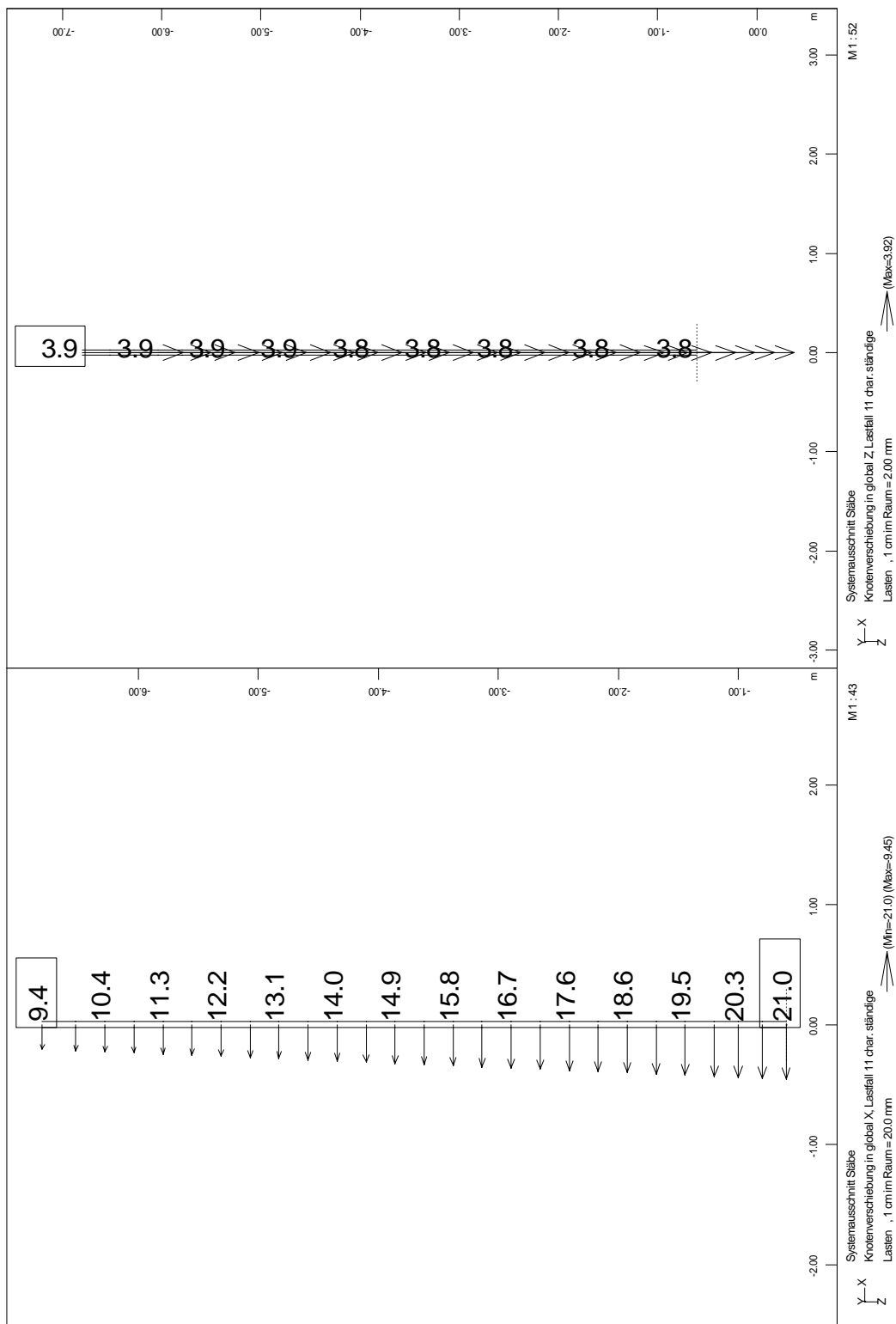


Bild 4.5: char. Verformungen des Pfeilers unter ständigen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit Seite 53	
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

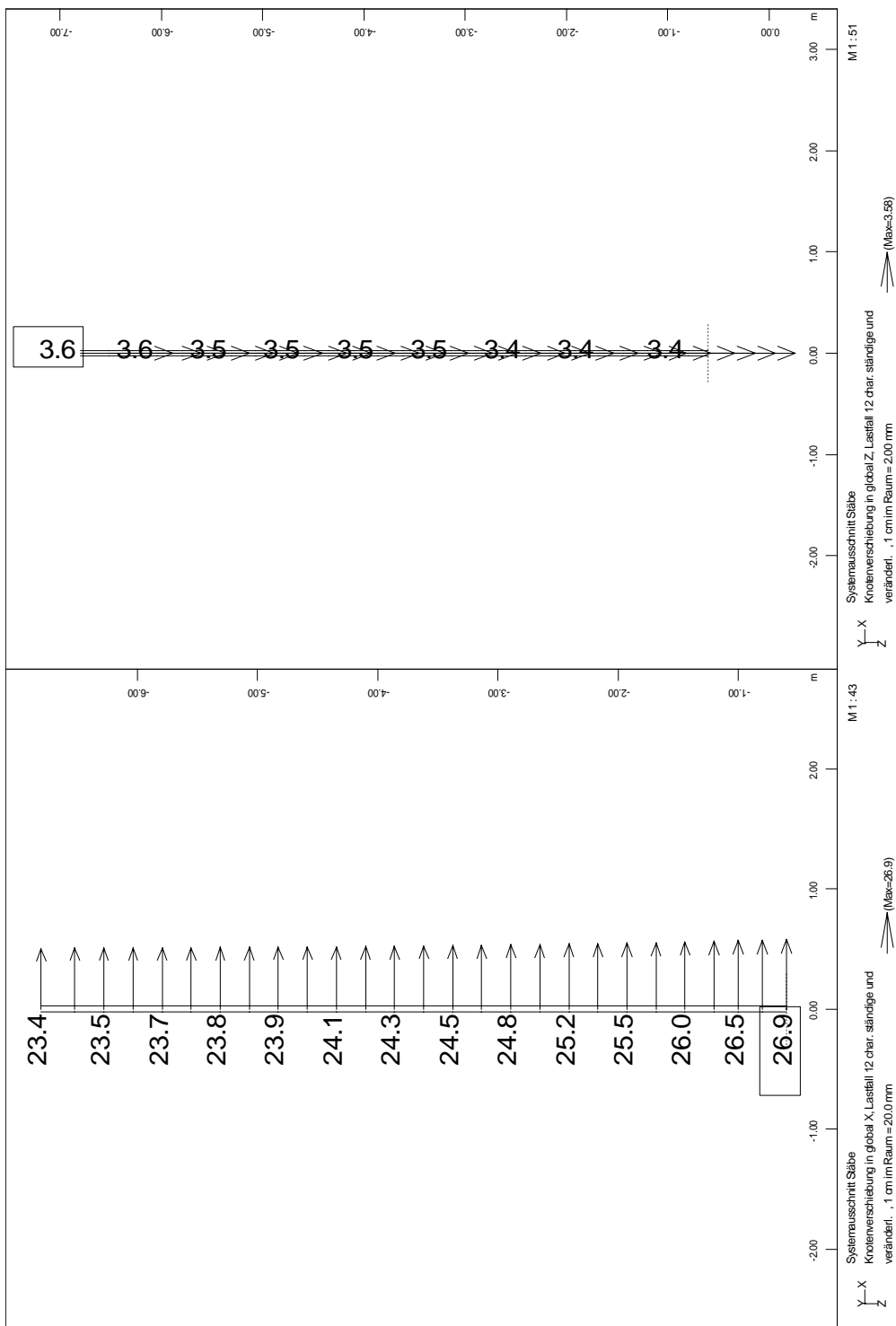


Bild 4.6: char. Verformungen des Pfeilers unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 55
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.2 Mindestbewehrung und Rissbreitenbeschränkung der Pfähle

Es ist die folgende Mindestbewehrung der Pfähle vorzusehen:

$$\text{für } A_c = 0,6 \cdot \pi / 4 = 0,28 \text{ m}^2 < 0,5 \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{längs}} \geq 0,5 \% \cdot A_c = 14,1 \text{ cm}^2$$

DIN EN 1536, 7.5.2

Als Querbewehrung sind Wendel mit einem Stabdurchmesser  $\geq 6 \text{ mm}$  vorzusehen.

DIN EN 1536, 7.5.3

Mindestmaß der Betondeckung  $\min c = \text{nom } c = 50 \text{ mm}$

DIN EN 1536, 7.7.2

Aus ausführungstechnischen Gründen kann eine höhere Betondeckung gewählt werden.

Für die Druckpfähle sind keine Nachweise zur Spannungsbegrenzung im Gebrauchszustand erforderlich.

Die Zugpfähle sind mit der erforderlichen Mindestbewehrung  $A_S = 14,1 \text{ cm}^2 > A_{S,\text{erf}} = 4,7 \text{ cm}^2$  ausreichend bewehrt, um die Bildung größerer Risse zu verhindern. Weitere Nachweise sind nicht erforderlich.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit Seite 57	
Vorgang:	4.2 Mindestbewehrung und Rissbreitenbeschränkung der Pfähle	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. ERGEBNIS DER PFAHLBEMESSUNG

Für die Bohrpfähle mit der gewählten Einbindetiefe von 6,0 m in den tragfähigen Fels ergeben sich auf der Grundlage der ausgeführten Pfahlversuche die folgenden Ausnutzungsgrade:

Pfahl	Ausnutzungsgrad
	[%]
1	81
2	83
3	81
4	43
5	25
6	84
7	25
8	43

Tab. 5.1: Ausnutzungsgrad  
der Pfähle

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Pfahlbemessung	Seite 59
Vorgang:		

# **Stand sicherheitsnachweis für eine Pfahlgründung**

## **Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)**

erstellt im Auftrag des

Bundesministeriums  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
(BMVBS)

vertreten durch die  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch-Gladbach

Braunschweig, den 31.03.13

von

Dipl.-Ing. Silke Briebrecher und Dr.-Ing. Axel Städing

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## Stand sicherheitsnachweis für eine Pfahlgründung

### Musterbeispiel für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054(2005)

I.	INHALTSVERZEICHNIS	Seite
I.	Inhaltsverzeichnis	2
II.	Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung	4
III.	Technische Vorschriften, Unterlagen	8
IV.	Stand sicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	10
	1. Berechnungsgrundlagen	12
	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	12
	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	14
	1.3 Statisches System	18
	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	22
	1.5 Ermittlung der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie	26
	1.6 Gruppenwirkung der Pfähle	30
	2. Ermittlung der Pfahlkräfte	34
	3. Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	40
	3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit	40
	3.2 Nachweise der inneren Tragfähigkeit	44
	4. Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	46
	4.1 Setzungen	46
	4.2 Mindestbewehrung und Rissbreitenbeschränkung der Pfähle	58
	5. Ergebnis der Pfahlbemessung	60

Bauteil:	I. Inhaltsverzeichnis		Archiv-Nr.
Block:		Seite 2	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## II. BESCHREIBUNG DES BAUWERKS UND DER HERSTELLUNG

### Allgemeines, Geometrie

Zur Gründung eines Pfeilers für ein mehrfeldriges Brückenbauwerk wird zur Abtragung der Vertikal- und Horizontallasten eine Pfahlrost-Konstruktion mit starrer Pfahlkopfplatte hergestellt. Die 8 geneigt ausgeführten Pfähle haben einen Durchmesser von 60 cm und werden als Bohrpfähle geplant. Sie überbrücken die unterhalb einer Auffüllung anstehende ca. 8 m mächtige Tonschicht und gründen 6 m tief in tragfähigem Fels.

### Baugrund und Grundwasser

In Gründungsebene bis ca. 8 m Tiefe steht Ton an, der für eine Flachgründung keine ausreichende Tragfähigkeit aufweist. Der unterhalb der Tonschicht anstehende Fels in Form einer verwitterten Tonstein-Sandstein-Wechselagerung weist dagegen eine ausreichend Tragfähigkeit auf, so dass eine Pfahlgründung ausgeführt werden kann. Grundwasser steht in Gründungstiefe nicht an.

### Herstellung und Tragsystem

Nach dem Voraushub einer Arbeitsebene werden die Bohrpfähle mit verrohrter Bohrung bis 6 m tief in den anstehenden tragfähigen Fels hergestellt. Die Pfähle werden bis 0,5 m über Unterkante der späteren Pfahlkopfplatte betoniert. Der Überstand wird später abgebrochen und die biegesteife Stahlbeton-Pfahlkopfplatte betoniert. Das Gelände wird anschließend wieder bis zur ursprünglichen Geländehöhe aufgefüllt.

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 4	
Vorgang:			

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

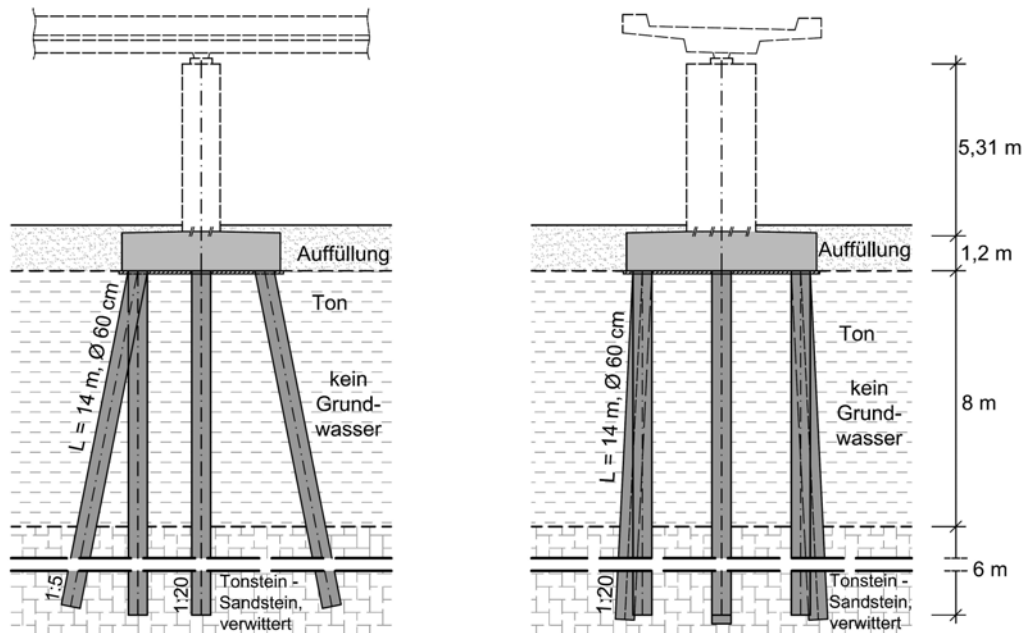


Bild II.1: Pfahlgründung, Längs- und Querschnitt

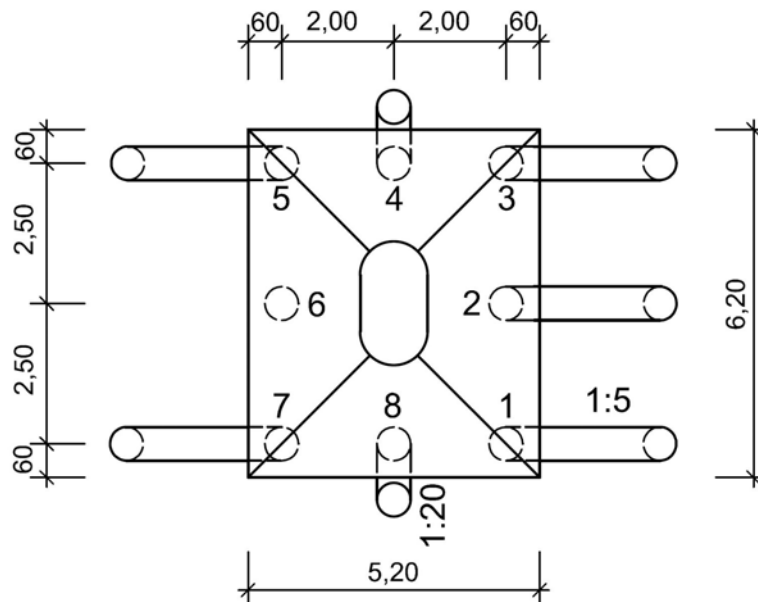


Bild II.2: Pfahlgründung, Draufsicht Pfahlkopfplatte mit Pfahlnummern

Bauteil:	II. Beschreibung des Bauwerks und der Herstellung		Archiv-Nr.
Block:		Seite 6	
Vorgang:			



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### IV. STANDSICHERHEITS- UND GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEISE

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise der Pfahlgründung gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 2 (Grundbau, Gründungen).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Teilsicherheiten und Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1990: für die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für Eigen- und Verkehrslasten
- DIN-EN 1991-2: für den Ansatz von Verkehrslasten
- DIN-EN 1992-2: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften
- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise der Pfahlgründung
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser

Darüber hinaus sind die EA-Pfähle zu beachten.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchtauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	Seite 10	
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

### 1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse

Für den Baugrund sind die folgenden charakteristischen Kennwerte gegeben:

Bodenart	Wichte feucht	Reibungs- winkel	Kohäsion	Pfahlmantel- reibung $q_{s,k}$	Steifemodul Es
	kN/m <sup>3</sup>	Grad	kN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
Ton	19	20	15	-	< 5
Verwitterungszone Tonstein - Sandstein	22	25	50	0,10	200 - 300

Tabelle 1.1: Charakteristische Baugrundkennwerte

Grundwasser steht im Gründungsbereich nicht an.

Zum Nachweis der Pfahltragfähigkeit wurden in dem anstehenden Baugrund drei statische Pfahlprobelastungen (Druckpfähle) durchgeführt.

Für die Zugpfähle kann auf einen Erfahrungswert der Mantelreibung zurückgegriffen werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 12
Vorgang:	1.1 Baugrundkennwerte und Wasserverhältnisse	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte

### Betonstahl

DIN-EN 1992-2, 3.2

Betonstahlsorte	BSt 500 S	
Nennstreckgrenze	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	DIN 488 T1, Tab. 1
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$	DIN EN 1992-2, NDP zu 3.2.7(2)
Duktilitätsklasse	normal (Klasse A)	
Elastizitätsmodul	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.2.7(4)

### Betondeckung

allgemein	nom $c = 50 \text{ mm}$	DIN EN 1536, 7.7.2
-----------	-------------------------	--------------------

### Beton

Betonfestigkeitsklasse	C 30/37	
charakt. Druckfestigkeit	$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2, Tab. 3.1
Mittelwert der Zugfestigkeit	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MN/m}^2$	
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 32800 \text{ MN/m}^2$	DIN-EN 1992-2, 3.1.2

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe

#### Stahl:

Ständige und vorübergehende Bemessungssituation (S+V): DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

$$\gamma_s = 1,15$$

im SLS  $\gamma_s = 1,0$

#### Beton:

S+V  $\gamma_c = 1,5$  DIN-EN 1992-2, Tab. 2.1DE

im SLS  $\gamma_c = 1,0$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 14
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### Pfähle

Die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise erfolgen für die Bemessungssituation BS-P.

DIN EN 1997-1

Teilsicherheitsbeiwerte GEO-2 / STR

Pfahldruckwiderstand bei Probebel.  $\gamma_t = 1,10$

DIN 1054, Tab. A 2.3

Pfahlzugwiderstand bei Probebel.  $\gamma_{s,t} = 1,15$

Pfahlwiderstand auf Zug

aufgrund von Erfahrungswerten  $\gamma_{s,t} = 1,50$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 16
Vorgang:	1.2 Materialkennwerte, Teilsicherheitsbeiwerte	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 1.3 Statisches System

Der Pfahlrost mit seinen 8 Gründungspfählen wird als dreidimensionales System abgebildet. Dabei werden die Pfähle als Pendelstützen mit gelenkiger Lagerung am Kopf und am Fuß modelliert. Die Pfahlkopfplatte wird als biegesteife Stahlbetonplatte mit ihrer tatsächlichen Steifigkeit abgebildet.

Zur Ermittlung der Eigengewichts-Lasten des Pfeilers und zur Berücksichtigung der zutreffenden Hebelarme der Brückenaufasten wird auch der Pfeiler mit abgebildet.

Gemäß DIN 1054, 7.3.1, A (5) ist die Nichtlinearität der Widerstands-Setzungslinie der Pfähle bei den Standsicherheitsnachweisen zu beachten. Daher werden an den Füßen der als starr abgebildeten Pfähle elastische Federn angeordnet, deren Federsteifigkeiten iterativ an die jeweiligen Pfahllasten der einzelnen Pfähle angepasst werden können. Die Federsteifigkeiten werden dabei als Sekanten aus der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie ermittelt.

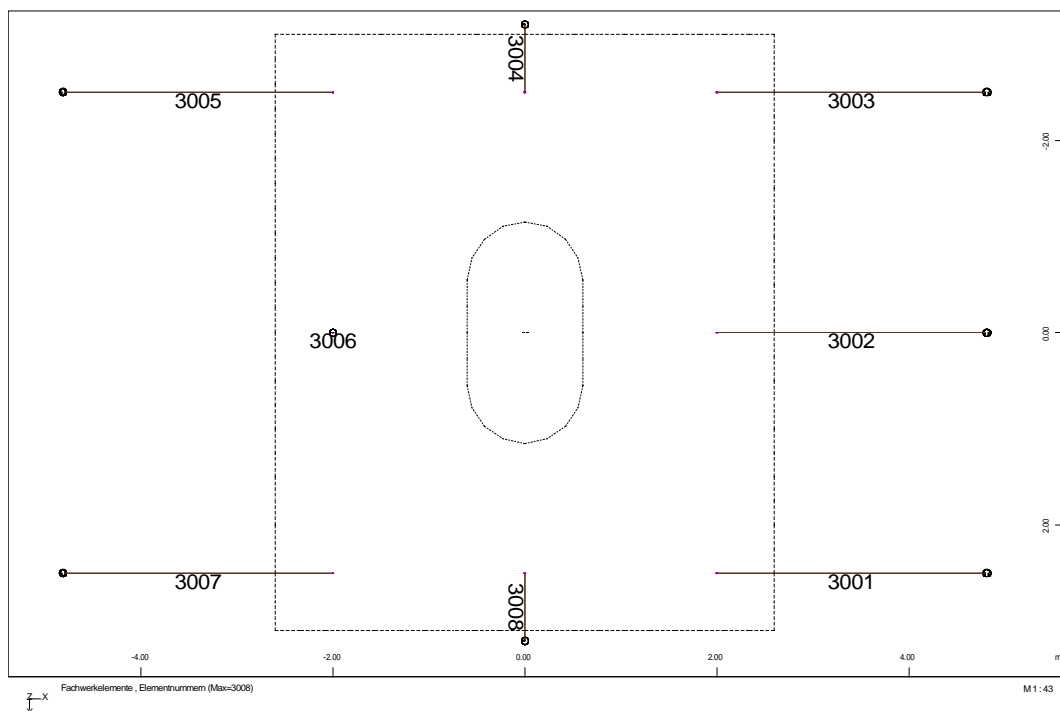


Bild 1.1: Draufsicht Pfahlkopfplatte mit Pfahlnummern

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 18
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

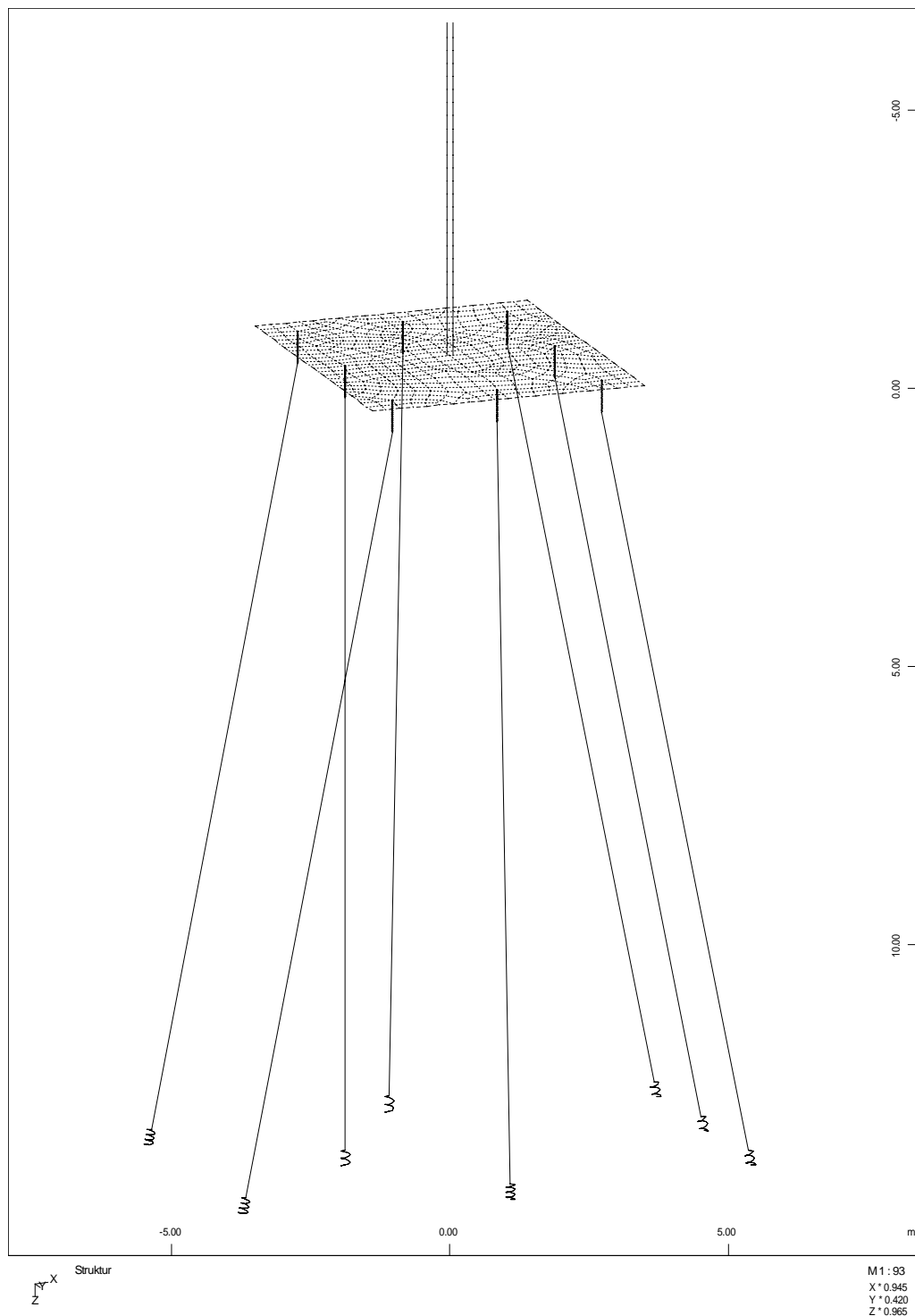


Bild 1.2: Statisches System

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 20
Vorgang:	1.3 Statisches System	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Der Pfahlrost wird durch die Gründungslasten des Brückenbauwerkes beansprucht. Die Einwirkungen setzen sich zusammen aus den Eigengewichtslasten der Brücke und des Pfeilers gemäß DIN EN 1991-1-1 sowie den Brückenverkehrslasten gemäß DIN EN 1991-2.

Bedingt durch die veränderten Straßenverkehrslasten und die veränderten Teilsicherheitsbeiwerte für Straßenverkehrslasten würden sich im Berechnungsbeispiel auf der Grundlage der alten nationalen und der neuen europäischen Vorschriften abweichende Gründungslasten ergeben. Das Maß der Abweichung hängt dabei von der Spannweite und Breite der Brücke ab.

Zur Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse für die Pfahlgründung werden hier vereinfachte fiktive charakteristische Einwirkungen angesetzt, die mit den gleichen, allgemeinen Teilsicherheitsbeiwerten ( $\gamma_G = 1,35$  und  $\gamma_Q = 1,50$ ) gemäß DIN 1054, Tab. A 2.1 beaufschlagt werden:

ständige Last:  $G_k = 1600 \text{ kN}$   
veränderliche Last:  $Q_{v,k} = 640 \text{ kN}$   
 $Q_{h,k} = 400 \text{ kN}$

Die Lasten werden an Oberkante des Pfeilers aufgebracht, vgl. Bild 1.3.

Zusätzlich wird programmintern das Eigengewicht von Pfeiler und Pfahlkopfplatte berücksichtigt:  $G_k = 1300 \text{ kN}$

Das Eigengewicht der Pfähle wird vernachlässigt.

DIN EN 1997-1, 7.6.2.1 (2)

Negative Mantelreibung aufgrund der weichen Tonschicht tritt nicht auf, da seitlich der Gründung nur bis zur ursprünglichen Geländeoberkante verfüllt wird. Für diese Last ist der Ton bereits konsolidiert.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 22
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

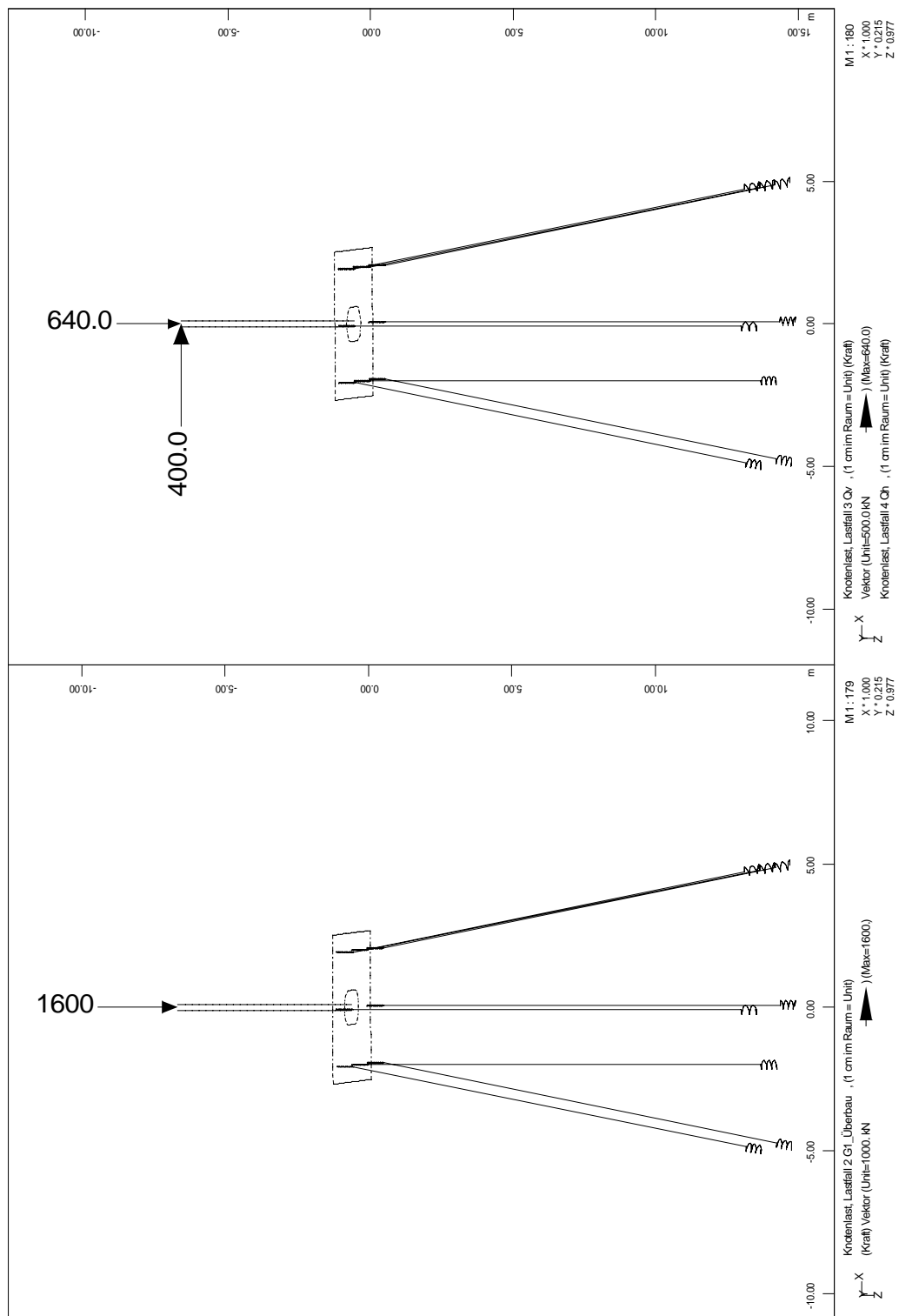


Bild 1.3: charakteristische ständige und veränderliche Einwirkungen am Pfeilerkopf

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 24
Vorgang:	1.4 Charakteristische Werte der Einwirkungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.5 Ermittlung der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie

Es liegen die Ergebnisse von drei statischen Pfahlprobelastungen vor. Aus diesen Probelastungen wird gemäß DIN EN 1997-1 eine charakteristische Widerstands-Setzungslinie ermittelt.

Aufgrund der starren Kopfplatte, durch die die Last auf mehrere Pfähle verteilt wird, dürfen die von der Versuchsanzahl abhängigen Streuungsfaktoren  $\xi_1$  und  $\xi_2$  durch den Faktor 1,1 dividiert werden.

$$R_{c;k} = \text{MIN} \left\{ \frac{(R_{c;m})_{\text{mitt}}}{\xi_1}, \frac{(R_{c;m})_{\text{min}}}{\xi_2} \right\} \quad \text{DIN EN 1997-1, 7.6.2.2, Gl. (7.2)}$$

$$\xi_1 = 1,15 \text{ für } n=3 \text{ Versuche } \xi_1 = 1,15 / 1,1 = 1,045 > 1,0 \quad \text{DIN 1054, 7.6.2.2, Tab. A7.1}$$

$$\xi_2 = 1,00 \text{ für } n=3 \text{ Versuche } \xi_2 = 1,0 / 1,1 = 0,909$$

Die Ermittlung erfolgt tabellarisch:

s	Versuchsergebnisse			Mittelwert	$\xi_1$	Kleinstwert	$\xi_2$	char.Wert
	$R_{c1}$	$R_{c2}$	$R_{c3}$	$R_{cm, \text{mitt}}$		$R_{cm, \text{min}}$		$R_{c;k}$
cm	MN	MN	MN	MN	[-]	[-]	[-]	MN
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,045	0,00	0,909	0,000
0,50	0,70	0,75	0,67	0,71	1,045	0,67	0,909	0,676
1,00	1,25	1,34	1,19	1,26	1,045	1,19	0,909	1,205
1,50	1,35	1,45	1,28	1,36	1,045	1,28	0,909	1,301
2,00	1,42	1,55	1,33	1,43	1,045	1,33	0,909	1,371
3,50	1,55	1,66	1,47	1,56	1,045	1,47	0,909	1,492
6,00	1,70	1,80	1,62	1,71	1,045	1,62	0,909	1,632

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Seite 26	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen		
Vorgang:	1.5 Charakteristische Widerstands-Setzungslinie		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Dudgeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

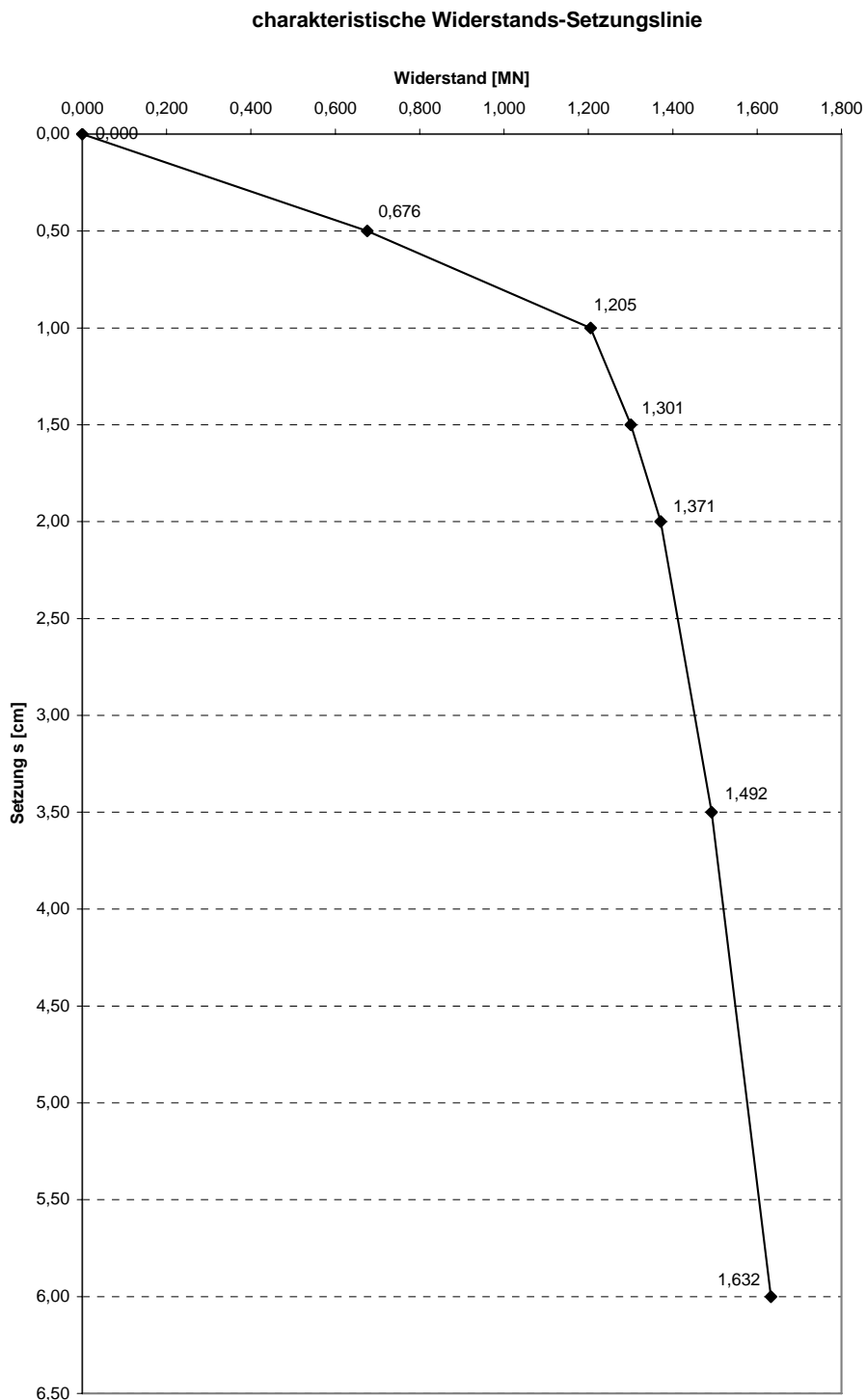


Bild 1.4: charakteristische Widerstands-Setzungslinie aus Pfahlversuchen

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 28
Vorgang:	1.5 Charakteristische Widerstands-Setzungslinie	



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 1.6 Gruppenwirkung der Pfähle

In Pfahlrosten stehen die Einzelpfähle per definitionem so weit auseinander, dass keine gegenseitige Beeinflussung des Tragverhaltens benachbarter Pfähle auftritt, vgl. EA-Pfähle, 3.1.2.

Bei dem hier vorliegenden Pfahlrost kann aufgrund des geringen Pfahlabstandes (2,5 m) und der großen Pfahllänge (6 m in tragfähigem Baugrund) eine gegenseitige Beeinflussung der Pfähle nicht ohne weiteres ausgeschlossen werden.

Die in den EA-Pfähle, Kapitel 8, angegebenen Nomogramme zur Abschätzung der Gruppenwirkung können nur bedingt auf den vorliegenden Pfahlrost übertragen werden, da sie für quadratische Pfahlgruppen unter zentrischer Beanspruchung hergeleitet wurden. Die Pfähle des Pfahlrostes erhalten aufgrund der Horizontallast jedoch je nach ihrer Lage stark unterschiedliche Lasten.

Das gegenüber Einzelpfählen weichere Tragverhalten und die geringere Tragfähigkeit des Pfahlrostes werden in Anlehnung an die Nomogramme der EA-Pfähle abgeschätzt.

Es wird für die Eckpfähle ein Faktor von 90% und für die übrigen Pfähle, die alle als Randpfähle zu betrachten sind, ein Faktor von 80% der Steifigkeit eines Einzelpfahles angesetzt. Die charakteristischen Widerstandssetzungslinien der Pfähle werden mit diesen Faktoren abgemindert.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 30
Vorgang:	1.6 Gruppenwirkung der Pfähle	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

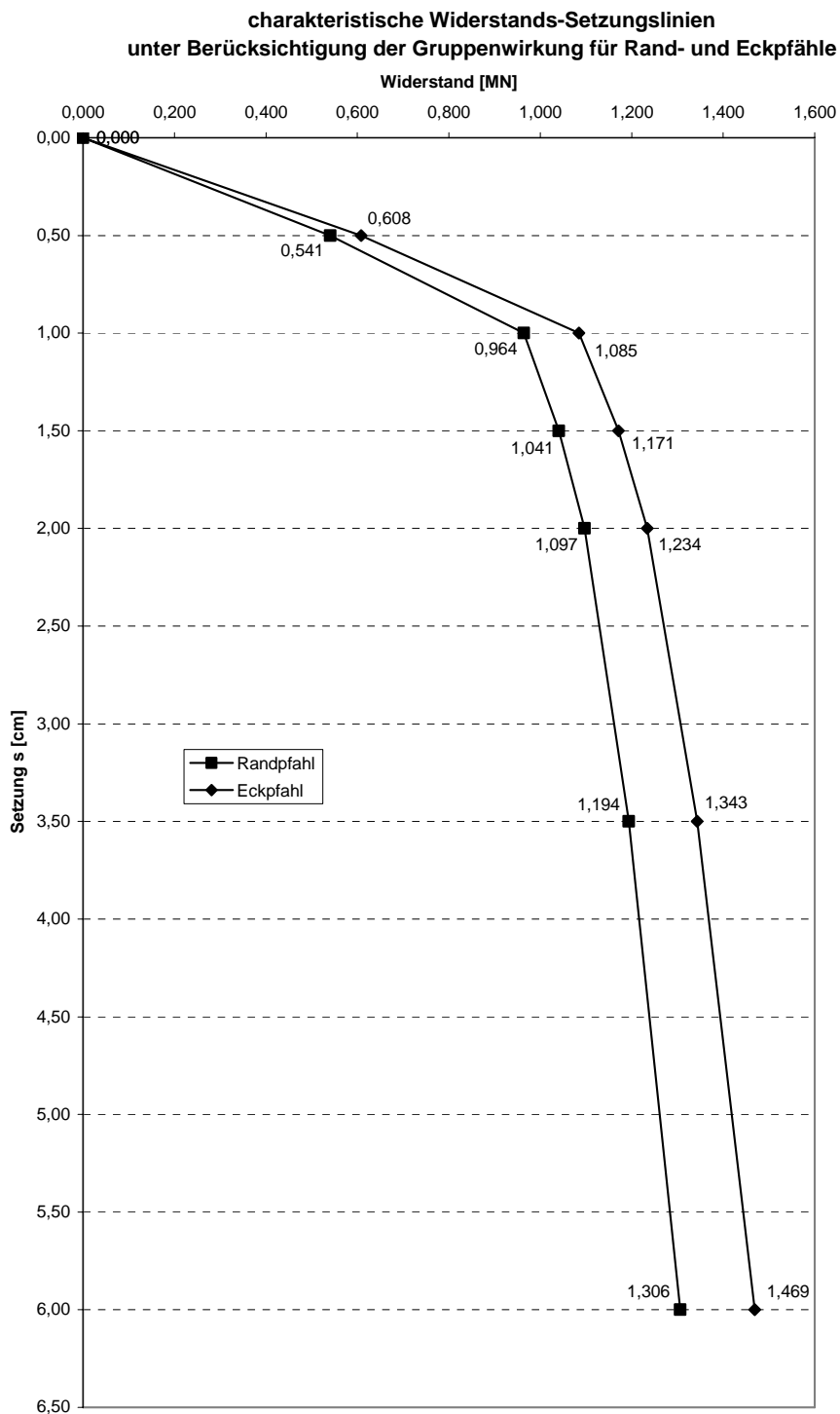


Bild 1.5: charakteristische Widerstands-Setzungslinie für Eck- und Randpfähle

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	1. Berechnungsgrundlagen	Seite 32
Vorgang:	1.6 Gruppenwirkung der Pfähle	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 2. ERMITTLUNG DER PFAHLKRÄFTE

Die Pfahlkräfte werden aufgrund der nichtlinearen Widerstands-Setzungslinie unter charakteristischen Einwirkungen ermittelt.

Es werden die zwei Lastfallkombinationen

LFK1: ständige Lasten

LFK 2: ständige und veränderliche Lasten

getrennt untersucht.

Die Federn an den Pfahlfüßen werden bei Bedarf iterativ an die Pfahlkräfte angepasst, so dass im Ergebnis alle Pfähle mit einer Steifigkeit abgebildet sind, die ihrer Lage in der Widerstands-Setzungslinie entspricht.

Als Startwert wird der lineare Anfangsast der Widerstands-Setzungslinie mit

$s = 0,50 \text{ cm}$

$R_c = 0,676 \text{ MN}$

$c = R_c / s = 676 \text{ kN} / 0,005\text{m} = 135200 \text{ kN/m}$  angesetzt.

Aufgrund der Gruppenwirkung werden die Eckpfähle mit 90% dieser Steifigkeit (121680 kN/m) und die übrigen Pfähle mit 80% dieses Wertes (108160 kN/m) angesetzt.

Es ergeben sich die folgenden Pfahlkräfte:

LFK1:

Pfahl	$G_{,k}$	Grenze linearer Ast
	[kN]	[kN]
1	-362,7	-608
2	-334,2	-541
3	-362,7	-608
4	-409,5	-541
5	-529,8	-608
6	0,0	-541
7	-529,8	-608
8	-409,5	-541

Unter ständigen Lasten bleiben alle Pfähle im ersten Ast der W-S-Linie. Die Federsteifigkeiten müssen nicht angepasst werden.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Ermittlung der Pfahlkräfte	Seite 34
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN 1054(2005)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

LFK2:

Pfahl	$(G+Q)_{,k}$ Startwert	Grenze lin. Ast	$c_{neu}$	$(G+Q)_{,k}$ 3. Iteration
	[kN]	[kN]	[kN/m]	[kN]
1	-731,3	-608	116335	-728,7
2	-668,5	-541	102914	-662,3
3	-731,3	-608	116335	-728,7
4	-358,7	-541	-	-369,9
5	-45,8	-608	-	-40,1
6	-640,0	-541	103695	-640,0
7	-45,8	-608	-	-40,1
8	-358,7	-541	-	-369,9

In der LFK 2 sind für 4 Federn Anpassungen der Federsteifigkeiten erforderlich.

Die charakteristischen Pfahlkräfte ergeben sich damit wie folgt:

Pfahl	$G_{,k}$	$(G+Q)_{,k}$	$Q_{,k} = (G+Q)_{,k} - G_{,k}$
	[kN]	[kN]	[kN]
1	-362,7	-728,7	-366,0
2	-334,2	-662,3	-328,1
3	-362,7	-728,7	-366,0
4	-409,5	-369,9	39,6
5	-529,8	-40,1	489,7
6	0,0	-640,0	-640,0
7	-529,8	-40,1	489,7
8	-409,5	-369,9	39,6

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Ermittlung der Pfahlkräfte	Seite 36
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

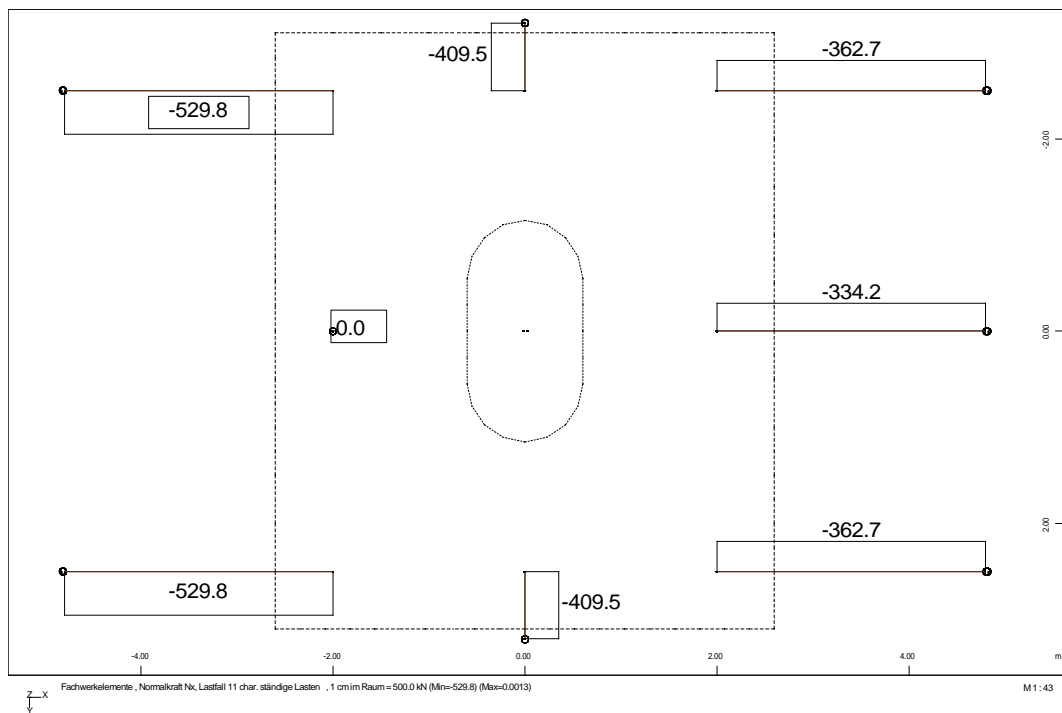


Bild 2.1: charakteristische Pfahlkräfte unter ständigen Lasten

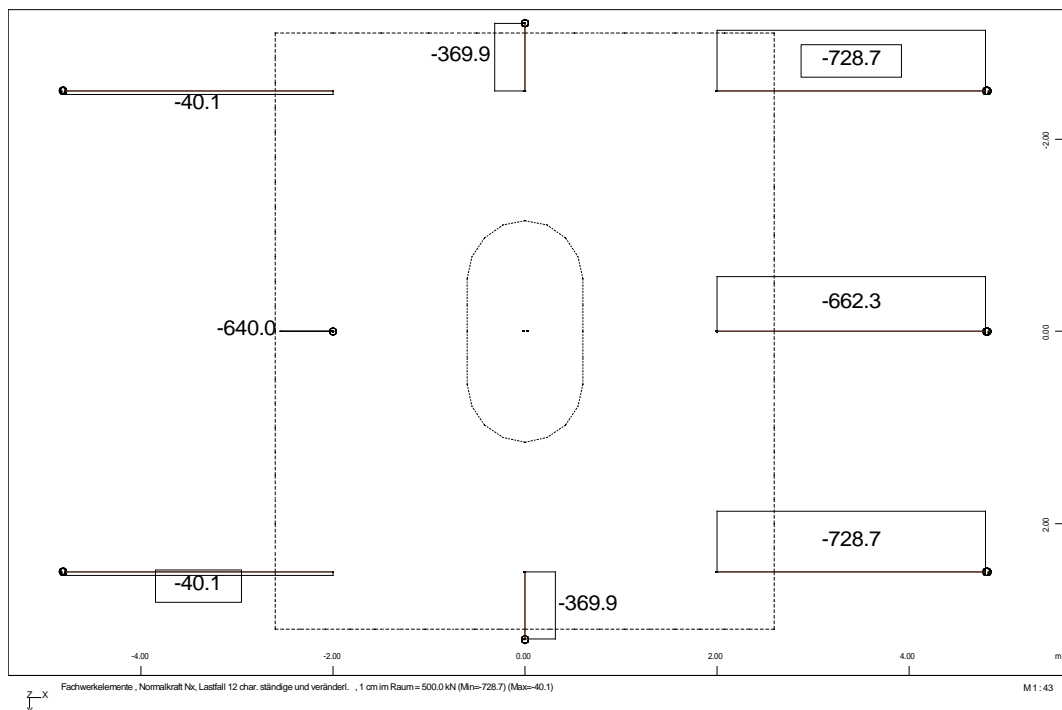


Bild 2.2: charakteristische Pfahlkräfte unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	2. Ermittlung der Pfahlkräfte	Seite 38
Vorgang:		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER TRAGFÄHIGKEIT

#### 3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit

Für alle Pfähle ist eine ausreichende Sicherheit gegen Versagen durch Bruch des Bodens mit dem Nachweisverfahren GEO-2:

$$F_{c;d} \leq R_{c;d}$$

nachzuweisen.

$$\text{Es gilt: } F_{c;d} = G_{,k} \cdot \gamma_G + Q_{,k} \cdot \gamma_Q$$

Für Zugpfähle ist die günstige Wirkung ständiger Lasten nur mit  $\gamma_{G,inf} = 1,0$  anzusetzen. DIN 1054, 7.6.3.1 A (2)

Die Widerstände der Druckpfähle ergeben sich aus den Pfahlversuchen unter Berücksichtigung der Gruppenwirkung wie folgt:

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_t \quad \text{mit } \gamma_t = 1,10 \quad \text{DIN 1054, Tab. A 2.3}$$

$$\text{für die Eckpfähle: } R_d = - 0,9 \cdot 1,632 / 1,10 = -1,335 \text{ MN}$$

$$\text{für die Randpfähle: } R_d = - 0,8 \cdot 1,632 / 1,10 = -1,187 \text{ MN}$$

Für die Widerstände der Zugpfähle wird hier auf Erfahrungswerte bei vergleichbaren Bauvorhaben zurückgegriffen bzw. die Mantelreibung aus den Druckversuchen abgeleitet.

Als Erfahrungswert wird angesetzt:  $q_{sk} = 0,10 \text{ MN/m}^2$

$$R_{c;k} = A \cdot q_{sk} = 1,13 \text{ MN}$$

$$\text{mit } A = 0,6 \cdot \pi \cdot 6,0 = 11,31 \text{ m}^2$$

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_{S,t} \quad \text{mit } \gamma_{S,t} = 1,50 \quad \text{DIN 1054, Tab. A 2.3}$$

$$\text{für die Zugpfähle: } R_{c;d} = 1,13 / 1,50 = 0,753 \text{ MN}$$

Eine Gruppenwirkung ist hier nicht zu berücksichtigen, da die Zugpfähle weit auseinander liegen.

Der Nachweis erfolgt tabellarisch mit den im Abschnitt 2 ermittelten Schnittgrößen:

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 40
Vorgang:	3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

Pfahl	$F_{c;d}$ [kN]	$R_{c;d}$ [kN]	Ausnutzungsgrad [%]
1	-1038,6	-1335	78
2	-943,3	-1187	79
3	-1038,6	-1335	78
4	-493,4	-1187	42
5	204,8	753	27
6	-960,0	-1187	81
7	204,8	753	27
8	-493,4	-1187	42

Ein Knicksicherheitsnachweis der Druckpfähle ist nicht erforderlich, da der Ton eine Scherfestigkeit von  $c_u \geq 10 \text{ kN/m}^2$  aufweist.

DIN EN 1997-1, 7.8 (5)

Aufgrund der geringen Zugkräfte und des großen Abstandes der Zugpfähle erübrigen sich Nachweise des angehängten Bodenkörpers.

DIN EN 1997-1, 7.6.3.1 (7)

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 42	
Vorgang:	3.1 Nachweise der äußeren Tragfähigkeit		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

### 3.2 Nachweise der inneren Tragfähigkeit

Die Bemessung der Bohrpfähle erfolgt gemäß DIN EN 1536 auf der Grundlage der DIN EN 1992-1-1. Die Pfähle werden planmäßig mittig auf Druck oder Zug beansprucht. Es kommt ein Beton der Güte C30/37 zum Einsatz.

Druckpfähle:

$$F_{d,max} = -1038,6 \text{ kN}$$

$$R_d = A_c \cdot f_{cd} = -4,8 \text{ MN}$$

DIN EN 1992-2, 6.1

$$\text{mit } A_c = 0,6^2 \cdot \pi / 4 = 0,283 \text{ m}^2$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MN/m}^2$$

$$\gamma_C = 1,5, k_f = 1,0$$

DIN EN 1992-1-1, NDP zu  
2.4.2.5 (2)

$$f_{cd} = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17 \text{ MN/m}^2$$

$$F_{d,max} = -1038,6 \text{ kN} < R_d = 4800 \text{ kN}$$

Zugpfähle:

$$F_{d,min} = 204,8 \text{ kN}$$

$$\text{erf } A_s = F_d / f_{yd} = 4,7 \text{ cm}^2$$

$$\text{mit } f_{ck} = 500 \text{ MN/m}^2$$

$$\gamma_S = 1,15$$

$$f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MN/m}^2$$

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	3. Nachweise in den GZ der Tragfähigkeit	Seite 44	
Vorgang:	3.2 Nachweise der inneren Tragfähigkeit		



Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

#### 4. NACHWEISE IN DEN GRENZZUSTÄNDEN DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

##### 4.1 Setzungen

Die Pfahlsetzungen im Gebrauchszustand können den im Abschnitt 2 geführten Berechnungen entnommen werden.

Diese Setzungen wurden unter Berücksichtigung der nichtlinearen Widerstands-Setzungslinien abhängig vom Ausnutzungsgrad der einzelnen Pfähle und unter Berücksichtigung der Gruppenwirkung ermittelt. Die charakteristischen Pfahlsetzungen liegen zwischen 0 und 6,4 mm.

Darüber hinaus werden die resultierenden Verformungen der Pfahlkopfplatte und des Pfeilers ausgewertet. Die Kopfverschiebungen des Pfeilers unter charakteristischen ständigen und veränderlichen Einwirkungen betragen 4,1 bzw. 3,8 mm in vertikaler und 9,9 bzw. 24,5 mm in horizontaler Richtung jeweils unter charakteristischen ständigen bzw. charakteristischen ständigen und veränderlichen Lasten.

Die Setzungen und Verformungen sind für die Gründung und die Brücke als unkritisch einzustufen.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 46
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

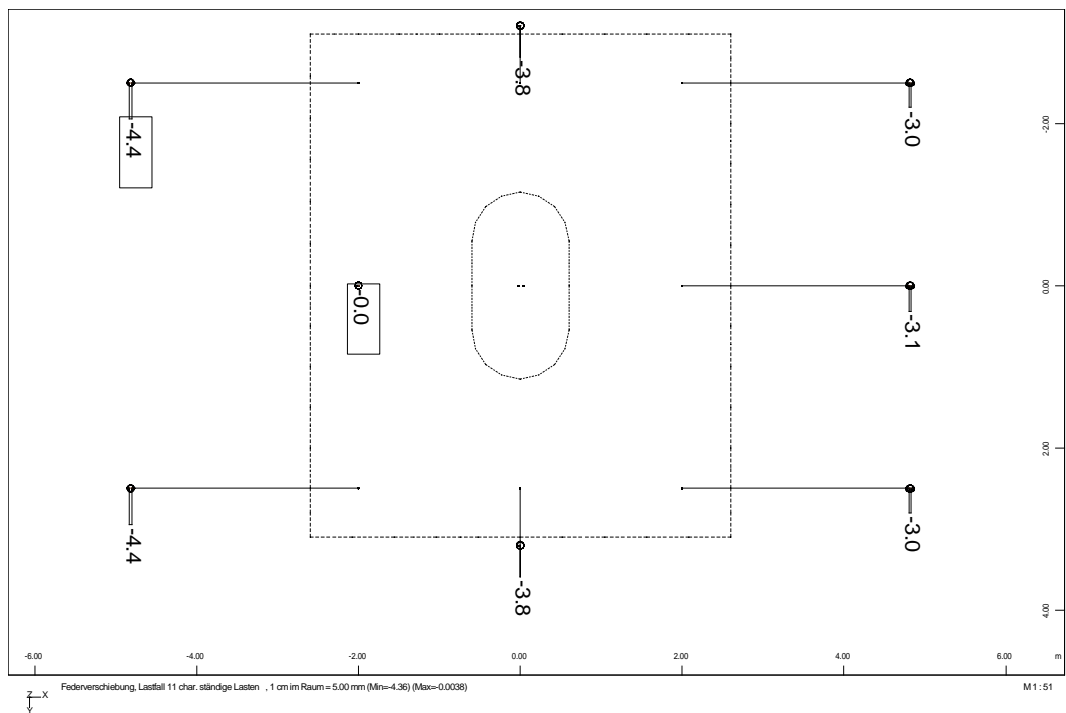


Bild 4.1: charakteristische Pfahlsetzungen unter ständigen Lasten

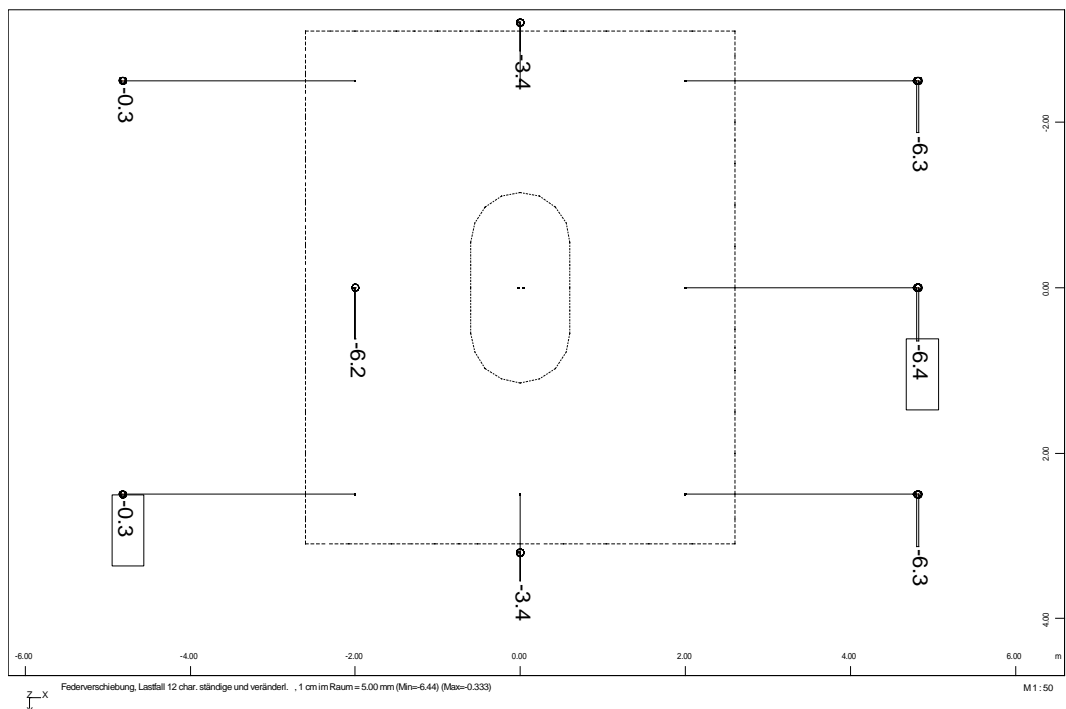


Bild 4.2: charakteristische Pfahlsetzungen unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 48
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

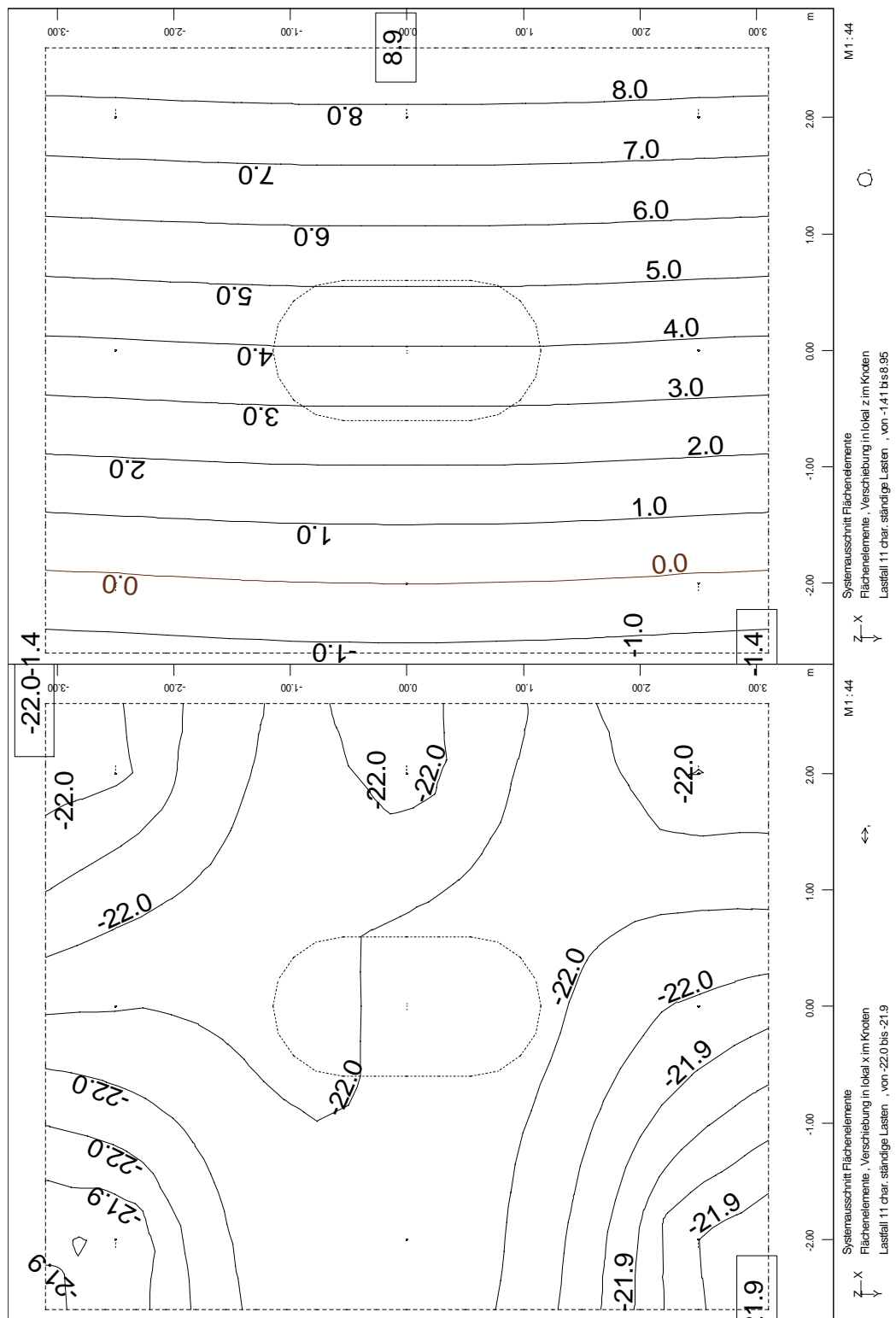


Bild 4.3: char. Verformungen der Pfahlkopfplatte unter ständigen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 50
Vorgang:	4.1 Setzungen	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

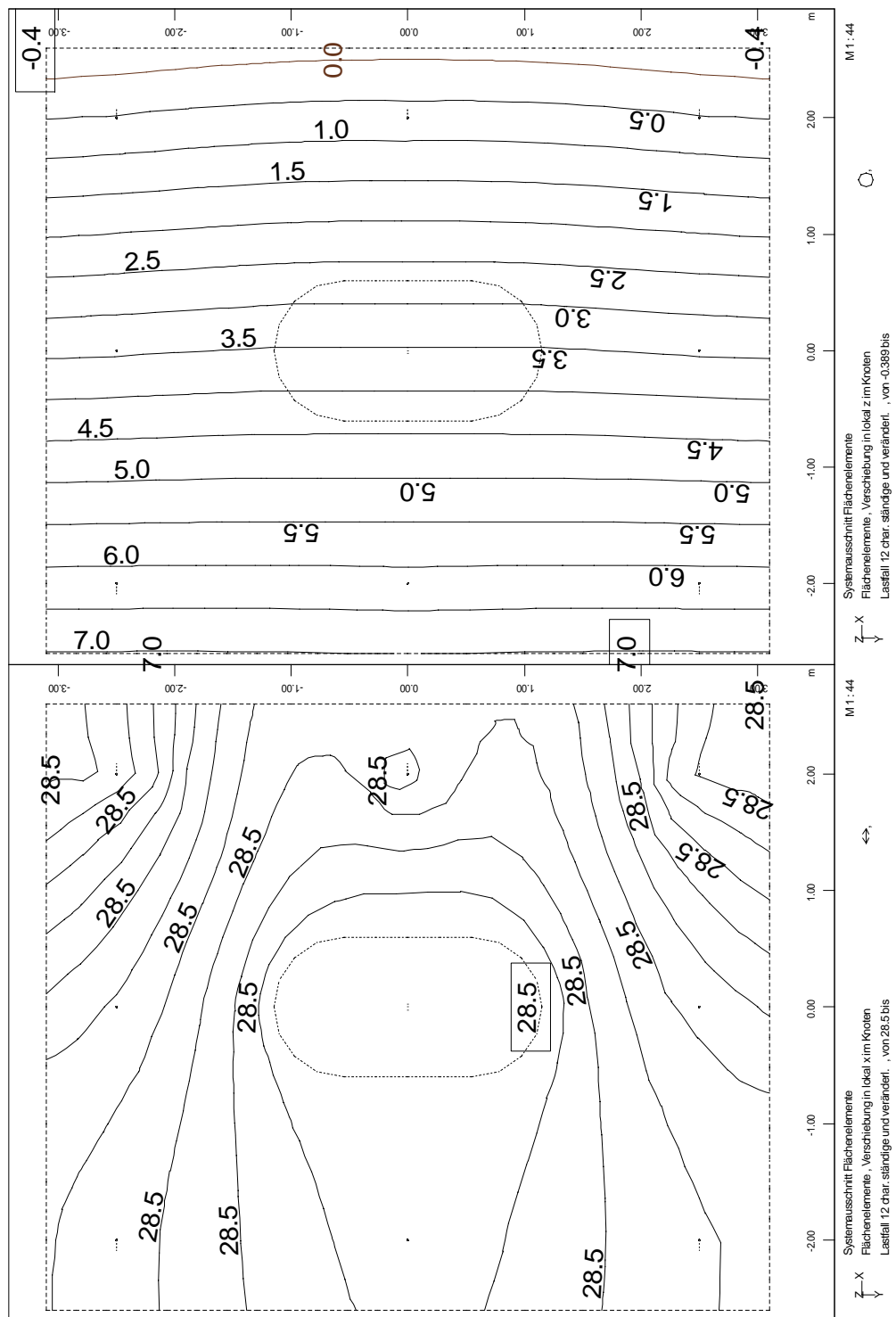


Bild 4.4: char. Verformungen der Pfahlkopfplatte unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 52	
Vorgang:	4.1 Setzungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

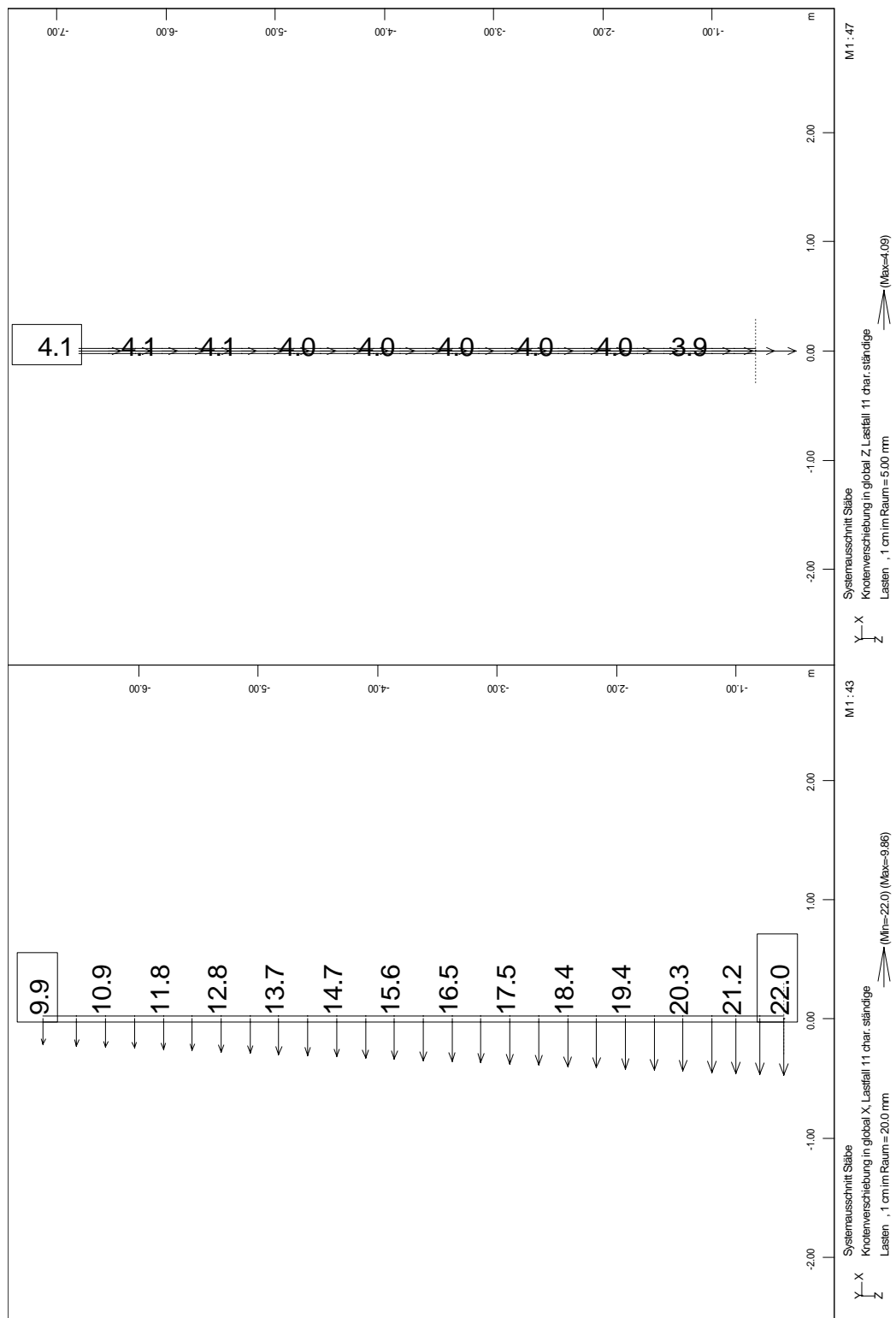


Bild 4.5: char. Verformungen des Pfeilers unter ständigen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 54	
Vorgang:	4.1 Setzungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

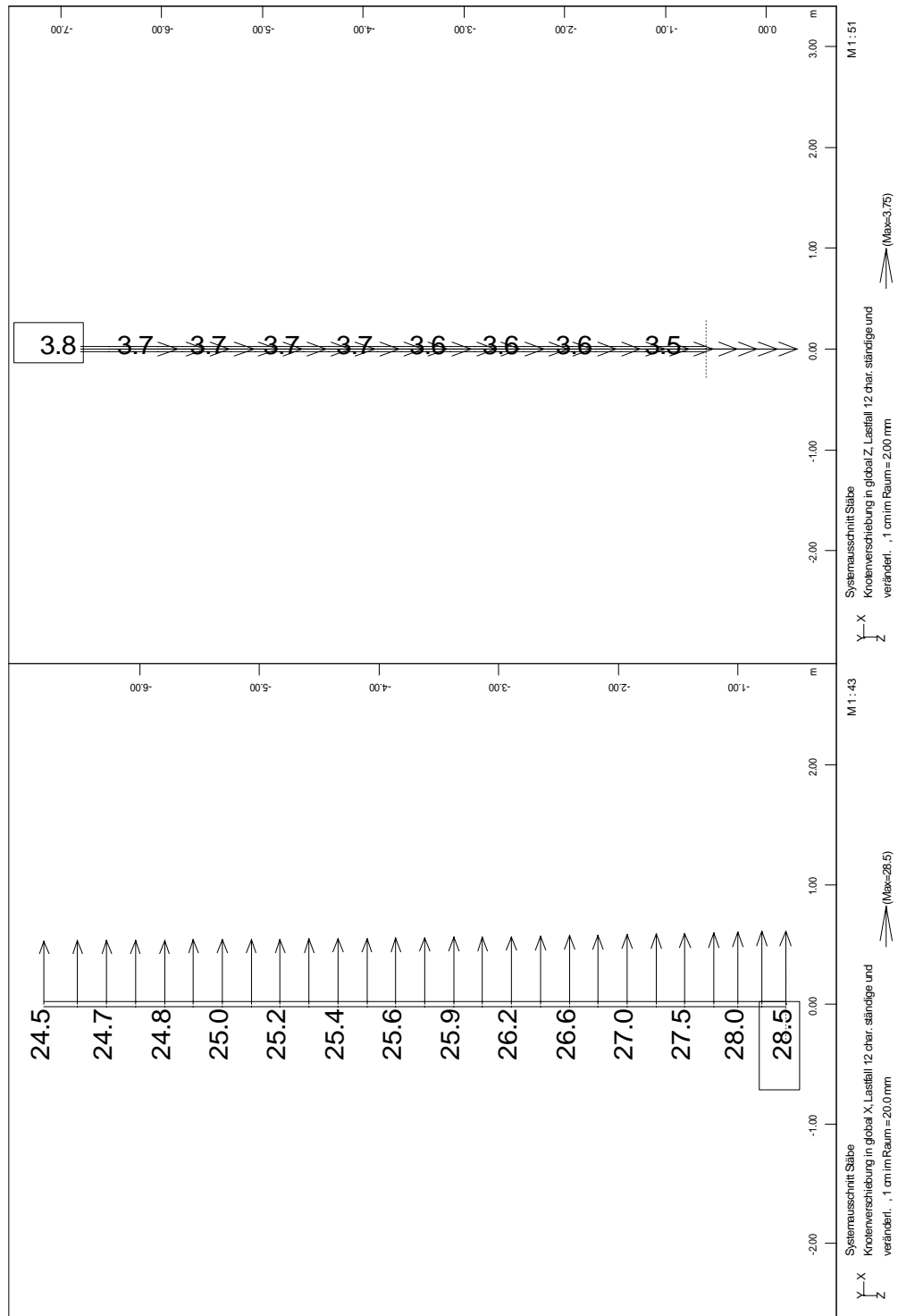


Bild 4.6: char. Verformungen des Pfeilers unter ständigen und veränderlichen Lasten

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise		Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 56	
Vorgang:	4.1 Setzungen		

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 4.2 Mindestbewehrung und Rissbreitenbeschränkung der Pfähle

Es ist die folgende Mindestbewehrung der Pfähle vorzusehen:

$$\text{für } A_c = 0,6 \cdot \pi / 4 = 0,28 \text{ m}^2 < 0,5 \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{längs}} \geq 0,5 \% \cdot A_c = 14,1 \text{ cm}^2$$

DIN EN 1536, 7.5.2  
DIN EN 1992-1-1, 9.8.5

Als Querbewehrung sind Wendel mit einem Stabdurchmesser  $\geq 6$  mm vorzusehen.

DIN EN 1536, 7.5.3

Mindestmaß der Betondeckung  $\min c = \text{nom } c = 50$  mm

DIN EN 1536, 7.7.2

Aus ausführungstechnischen Gründen kann eine höhere Betondeckung gewählt werden.

Für die Druckpfähle sind keine Nachweise zur Spannungsbegrenzung im Gebrauchszustand erforderlich.

Die Zugpfähle sind mit der erforderlichen Mindestbewehrung  $A_S = 14,1 \text{ cm}^2 > A_{S,\text{erf}} = 4,7 \text{ cm}^2$  ausreichend bewehrt, um die Bildung größerer Risse zu verhindern. Weitere Nachweise sind nicht erforderlich.

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	4. Nachweise in den GZ der Gebrauchstauglichkeit	Seite 58
Vorgang:	4.2 Mindestbewehrung und Rissbreitenbeschränkung der Pfähle	

Verfasser:	Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH, Braunschweig		
Bauwerk:	Musterbeispiel Pfahlgründung DIN EN 1997 / DIN1054(2010)	ASB Nr.	Datum: 31.03.13

## 5. ERGEBNIS DER PFAHLBEMESSUNG

Für die Bohrpfähle mit der gewählten Einbindetiefe von 6,0 m in den tragfähigen Fels ergeben sich auf der Grundlage der ausgeführten Pfahlversuche die folgenden Ausnutzungsgrade:

Pfahl	Ausnutzungsgrad
	[%]
1	78
2	79
3	78
4	42
5	27
6	81
7	27
8	42

Tab. 5.1: Ausnutzungsgrad  
der Pfähle

Bauteil:	IV. Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Archiv-Nr.
Block:	5. Ergebnis der Pfahlbemessung	Seite 60
Vorgang:		