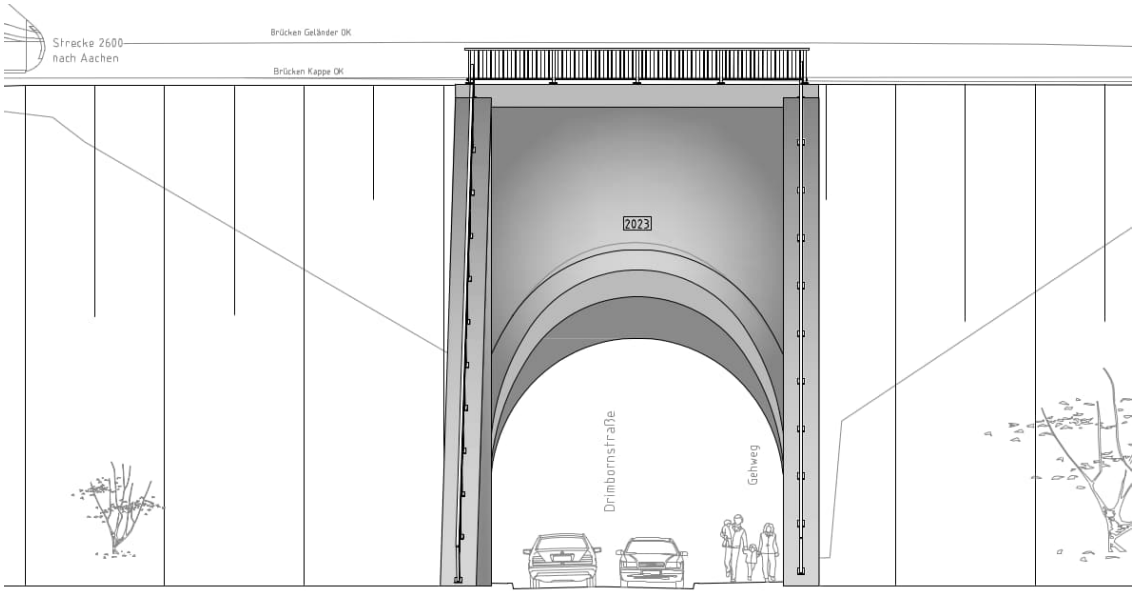
DB Engineering & Consulting GmbH

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

Statische Berechnung im Rahmen der Entwurfsplanung Gewölbetragwerk



EÜ Drimbornstraße in Aachen

Inhalt

1 Vorbemerkungen 7
1.1 Beschreibung des Tragwerks 7
1.2 Quellen 8
1.2.1 Technische Vorschriften 8
1.2.2 Literatur 9
1.2.3 Programme 9
1.2.4 Gutachten/Aktenvermerke 9
1.3 Geometrisches System / Positionsplan 10
1.4 Materialkennwerte 13
1.4.1 Betonfestigkeitsklasse 13
1.4.2 Betondruckfestigkeiten Gewölbe 13
1.4.3 Betondruckfestigkeiten Pfähle 14
1.4.4 Eigenschaften der Baustoffe 14
1.4.5 Betondeckung 15
1.5 Baugrundverhältnisse 16
1.5.1 Bodenarten und Schichtenfolge 16
1.5.2 Baugrundaufbau gemäß Baugrundgutachten 18
1.5.3 Grundwasser gemäß Baugrundgutachten 18
1.5.4 Gründung 18
2 Darstellung und Beschreibung des statischen Systems 20
2.1 Gewölbe 20
2.2 Tiefgründung auf Bohrpfählen 21
2.2.1 Vorbemerkung 21
2.2.2 Statisches System 21
2.2.3 Kennwerte für die Bemessung der Pfahlgründung 22
2.2.4 Lastabtrag der Horizontalkräfte 22
2.2.5 Lastabtrag der Vertikalkräfte 24
3 Einwirkungen und Einwirkungskombination 25
3.1 Ständige Einwirkungen 25
3.1.1 Eigengewicht des Bauwerks 25
3.1.2 Last aus Bestandsgewölbe 25
3.1.1 Überschüttung 25
3.1.1 Fahrbahn 25
3.1.2 Ständiger Erddruck 26
3.1.3 Fahrbahnlast-Straße 26

3.2 Veränderliche Einwirkungen 27
3.2.1 Einwirkungen aus Zugverkehr (DIN EN 1991-2, Kap. 6) 27
3.2.2 Einwirkungen aus Temperatur (DIN EN 1991-1-5, 6.1) 32
3.2.4 Einwirkungen aus Wind (DIN EN 1991-1-4/NA, Anhang NA.N) 34
3.2.1 Veränderliche Lasten aus Verkehr unter der EÜ 34
3.2.2 Verkehrslast auf Dienstwegen (DIN EN 1991-2, Kap. 6.3.7) 34
3.2.3 Außergewöhnliche Einwirkungen 35
3.2.4 Ermüdung (DIN EN 1991-2, Kap. 6.9) 36
4 Grundlagen der Bemessung 39
4.1 Teilsicherheitsbeiwerte 39
4.2 Kombinationsbeiwerte 39
4.3 Bemessungssituationen 39
4.3.1 Ständige und vorübergehende Bemessungssituation 39
4.3.2 Charakteristische Situation 40
4.3.3 Häufige Situation 40
4.3.4 Quasi ständige Kombination 41
4.3.5 Außergewöhnliche Situation 41
4.3.6 Erdbeben 41
4.3.7 Ermüdungskombination (DIN EN 1992-1-1) 42
5 Nachweise am Gesamtsystem 43
5.1 Nachweise für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 43
5.1.1 Überprüfung des Resonanzrisikos 43
5.1.2 Querverformung und Querschwingungen des Gewölbes 43
5.1.3 Nachweis der Verdrehung 44
5.1.4 Vertikale Verformung des Gewölbes (Nachweis der Durchbiegung) 45
5.1.5 Maximale Durchbiegung für den Reisendenkomfort 46
5.1.6 Nachweis der Betondruckfestigkeit 47
5.2 Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit 48
5.3 Durchstanzen 48
5.4 Benötigte Bewehrung 48
5.4.1 Querkraftbewehrung der Bohrpfähle 48
5.4.2 Verankerungslänge der Bohrpfähle 48
5.5 Nachweise der Pfahlgründung 50
5.5.1 Allgemeines 50
5.5.2 Innere Tragfähigkeit der Pfähle 50
5.5.3 Äußere Tragfähigkeit 53

5.5.4 Nachweis des ausreichenden Bodenwiderstands 53
5.5.5 Nachweis der horizontalen Verschiebung 55
5.1 Nachweise im Erdbebenfall 56
5.1.1 Nachweis der Summe der effektiven modalen Massen 56
5.2 Nachweis der Ermüdung für Straßenverkehr 57
5.2.1 Beton 57
5.2.2 Betonstahl 59

Tabellen

Tabelle 1: Streckenparameter der Strecke 2600 7
Tabelle 2: Expositionsklassen Gewölbe 13
Tabelle 3: Expositionsklasse Pfähle 14
Tabelle 4: Betoneigenschaften Pfahlkopfplatte 14
Tabelle 5: Betoneigenschaften Pfähle 14
Tabelle 6: Betonstahleigenschaften 14
Tabelle 7: Betondeckung Gewölbedecke 15
Tabelle 8: Betondeckung Gewölbewände 15
Tabelle 9: Betondeckung Pfähle 15
Tabelle 10: Charakteristische Zahlenwerte ausgewählter geotechnischer Kenngrößen (IBES Baugrundgutachten) 18
Tabelle 11: Charakteristische Werte für Mantelreibung und Spitzendruck bei Bohrpfählen (IBES Baugrundgutachten) 19
Tabelle 12: Spannen der Erfahrungswerte für den charakteristischen Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ für Bohrpfähle in nichtbindigen Böden – EA Pfähle 19
Tabelle 13: Kennwerte des Gewölbes 21
Tabelle 14: Kennwerte der Tiefgründung 22
Tabelle 15: Schichtabhängige Bodenwiderstände für Pfähle 22
Tabelle 16: Abminderungsfaktoren der Bettung (Y) – Pfähle Gewölbe 23
Tabelle 17: Abminderungsfaktoren der Bettung (Z) – Pfähle Gewölbe 23
Tabelle 18: Bettung – Pfähle Gewölbe 23
Tabelle 19: Federkraft 24
Tabelle 20: Kombination der Temperatureinwirkungen 33
Tabelle 21: Parameter der Ermüdungsfestigkeitskurven (Wöhlerlinien) für Betonstahl 36
Tabelle 22:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination 39
Tabelle 23:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination 39
Tabelle 24: Kombinationsbeiwerte für Eisenbahnbrücken 39

Tabelle 25:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination 39
Tabelle 26: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (Ständ. u. vorübergehende Situation) 40
Tabelle 27: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (Charakteristische Situation) 40
Tabelle 28: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (häufige Situation)..... 40
Tabelle 29: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (Quasi ständige Kombination) 41
Tabelle 30: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (Außergewöhnliche Situation) 41
Tabelle 31: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (Erdbeben)..... 41
Tabelle 32: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (Ermüdung)..... 42
Tabelle 33: Gesamt-Bodenwiderstände für Pfähle..... 50

Abbildungen

Abbildung 1: Draufsicht..... 10
Abbildung 2: Längsschnitt..... 11
Abbildung 3: Querschnitt 12
Abbildung 4: Lageplan mit Erkundungspunkten 16
Abbildung 5: Bohrkern BK1..... 17
Abbildung 6: Bohrkerne BK2 und BK3 17
Abbildung 7: Übersicht des Gewölbetragwerks InfoCAD [m]..... 20
Abbildung 8: Tiefgründung, InfoCAD [m]..... 21
Abbildung 9: Abminderungsfaktoren der Pfahlbettung 22
Abbildung 10: Lastgruppen für Eisenbahnverkehr, DIN EN 1991-2, Kap. 6 27
Abbildung 11: Lastmodell LM71, DIN EN 1991-2, Kap. 6.3.2..... 28
Abbildung 12: Verteilung der Belastung aus LM71 im Boden nach Ril 836..... 28
Abbildung 13: Verteilung des LM71 29
Abbildung 14: Lastansatz nach Ril. 836.2001, Kap 7 Bild 2 30
Abbildung 15: Lichtraumprofil der Drimbornstraße..... 34
Abbildung 16: Ermüdungslastmodell 3..... 38
Abbildung 17: Verdrehung min ϕ_y in der Ausgabe Infograph, Lastgruppe LM71 mit α 44
Abbildung 18: Verdrehung min ϕ_y in der Ausgabe Infograph, infolge Temperatur..... 44
Abbildung 19: Verformungen max u_z in der Ausgabe Infograph, Lastgruppe Eisenbahnlasten.... 45
Abbildung 20: Verformungen max u_z in der Ausgabe Infograph, Lastgruppe LM71 Gleis 1 ohne α 46
Abbildung 21: Verhältniswert der Betondruckspannungen $\sigma_{Max}/\sigma_{zul}$ InfoCAD..... 47

Abbildung 22: Bemessungswiderstand der Betondruckstreben q_r / $v_{Rd,max}$ [InfoCAD] 48
Abbildung 23: Querschnitt Bohrpfahl, InfoCAD 50
Abbildung 24: Erforderliche Längsbewehrung, InfoCAD 51
Abbildung 25: Erforderliche Schubbewehrung, InfoCAD 52
Abbildung 26: Auflagerreaktionen $R_{z,d,Max}$, InfoCAD 53
Abbildung 27: Bettungsreaktionen $B_{z,k,Max}$, InfoCAD 54
Abbildung 28: Verschiebungen $u_{x,k,Max}$, InfoCAD 55
Abbildung 29: Effektive modale Massen Ausgabe Infograph – Erdbeben 56
Abbildung 30: Ermüdung Beton σ_{cdx} /$\sigma_{cdx,zul}$, InfoCAD 57
Abbildung 31: Ermüdung Beton σ_{cdy} /$\sigma_{cdy,zul}$, InfoCAD 57
Abbildung 32: Ermüdung Beton, InfoCAD - Spannungsspitzen 58
Abbildung 33: Ermüdung Betonstahl σ_{sdx} /$\sigma_{sdx,zul}$, InfoCAD 59
Abbildung 34: Ermüdung Betonstahl σ_{sdy} /$\sigma_{sdy,zul}$, InfoCAD 59
Abbildung 35: Ermüdung Betonstahl σ_{sb} /$\sigma_{sb,zul}$, InfoCAD 60

1 Vorbemerkungen

1.1 Beschreibung des Tragwerks

Die hier vorgelegten Standsicherheitsnachweise betreffen die Eisenbahnüberführung EÜ Drimbornstraße in Aachen, die die Strecken 2600, 2564 und 2560 über die Drimbornstraße überführt.

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

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die Streckenparameter zusammengefasst:

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

Tabelle 1: Streckenparameter der Strecke 2600

Die neue Eisenbahnüberführung besteht aus einem Gewölbe auf Bohrpfählen. Die straßenparallelen Flügelwände werden unabhängig vom Gewölbetragwerk erstellt.

Die vorliegende statische Berechnung umfasst den Nachweis aller wesentlichen tragenden Bauteile des Bauwerkes. Da das Gewölbe in seiner Gesamtbreite von 35,5 m durch die lichte Höhe in drei Abschnitte unterteilt ist, wird in dieser Berechnung das südliche Gewölbedrittel mit der max. lichten Höhe von ≤ 8,9 m inkl. Gewölbeportal betrachtet.

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

Das Gewölbe wird mit den üblichen Verkehrslasten aus Schienenverkehr nach DIN EN 1991-2 belastet.

Die Standsicherheitsnachweise für die Herstellung erforderlicher bauzeitlicher Baugrubenverbauten sind nicht Gegenstand dieser statischen Berechnung.

1.2 Quellen

1.2.1 Technische Vorschriften

DIN EN 1990 DIN EN 1990/NA	Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung und Nationaler Anhang
DIN EN 1991-1-1 DIN EN 1991-1-1/NA	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-1: Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau und Nationaler Anhang
DIN EN 1991-1-4 DIN EN 1991-1-4/NA	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-4: Windlasten und Nationaler Anhang
DIN EN 1991-1-5 DIN EN 1991-1-5/NA	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-5: Temperatureinwirkungen und Nationaler Anhang
DIN EN 1991-1-7 DIN EN 1991-1-7/NA	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-7: Außergewöhnliche Einwirkungen und Nationaler Anhang
DIN EN 1991-2 DIN EN 1991-2/NA	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken und Nationaler Anhang
DIN EN 1992-2 DIN EN 1992-2/NA	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln und Nationaler Anhang
DIN EN 1994-2 DIN EN 1994-2/NA	Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton Teil 2: Allgemeine Bemessungs- und Anwendungsregeln für Brücken und Nationaler Anhang
DIN EN 1997-1 DIN EN 1997-1/NA	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik Teil 1: Allgemeine Regeln und Nationaler Anhang
DIN 1054	Baugrund und Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
DIN 4149	Bauten in deutschen Erdbebengebieten Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten
Ril 804	Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten
Ril 836	Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten

ZTV-ING	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten
RiZ-ING	Richtzeichnungen für Ingenieurbauten
EAB	Empfehlung des Arbeitskreises Baugruben 5. Auflage
EA-Pfähle	Empfehlung des Arbeitskreises „Pfähle“ 2. Auflage

1.2.2 Literatur

SchneiderBautabellen, 20. Auflage, Werner-Verlag 2012

1.2.3 Programme

InfoCAD Software für die Tragwerksplanung, Version 20.00, InfoGraph GmbH

1.2.4 Gutachten/Aktenvermerke

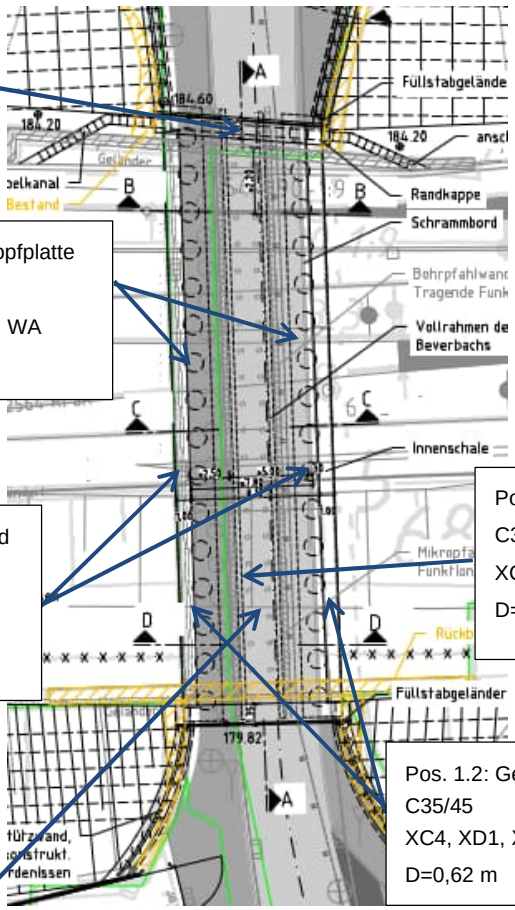
DB E&C GmbH Vor- und Entwurfsplanung Unterlagen, Stand 09.05.2022

IBES Baugrundinstitut GmbH: Baugrund- und Gründungsgutachten IBES-Projekt-Nr. 13.090.1 vom 15.01.2016 + ergänzender Mailverkehr

1.3 Geometrisches System / Positionsplan

Das in dieser Statik betrachtete Gewölbetragwerk wird im südlichen bis mittigen Abschnitt von 5 Gleisen und im nördlichen Drittel von einem Rad- und Fußweg überführt. In Abbildung 1 ist die Draufsicht des gesamten Abschnitts dargestellt:

Draufsicht



Pos. 1.4: Südportal
C35/45
XC4, XD3, XF4, WA
D=1,0 m, H= 15 m

Pos 1.5: Pfahlkopfplatte
C35/45
XC2, XD2, XF2, WA
D= 1,2 m

Pos. 1.3: Gewölbewand
C35/45
XC4, XD3, XF4, WA
D=1,0 m (unten)
D=0,85 m (oben)

Pos. 1.1: Gewölbescheitel
C35/45
XC4, XD1, XF2, WA
D=0,5 m

Pos. 1.2: Gewölbescheitel unten
C35/45
XC4, XD1, XF2, WA
D=0,62 m

Pos 1.6: Mittelplatte Boden
C35/45
XC2, XD2, XF2, WA
D= 0,5 m

Abbildung 1: Draufsicht

Abbildung 2 zeigt den Längsschnitt mit dem südlichen Gewölbedrittel, welcher maßgebend ist und daher für die Berechnung herangezogen wird.

Längsschnitt

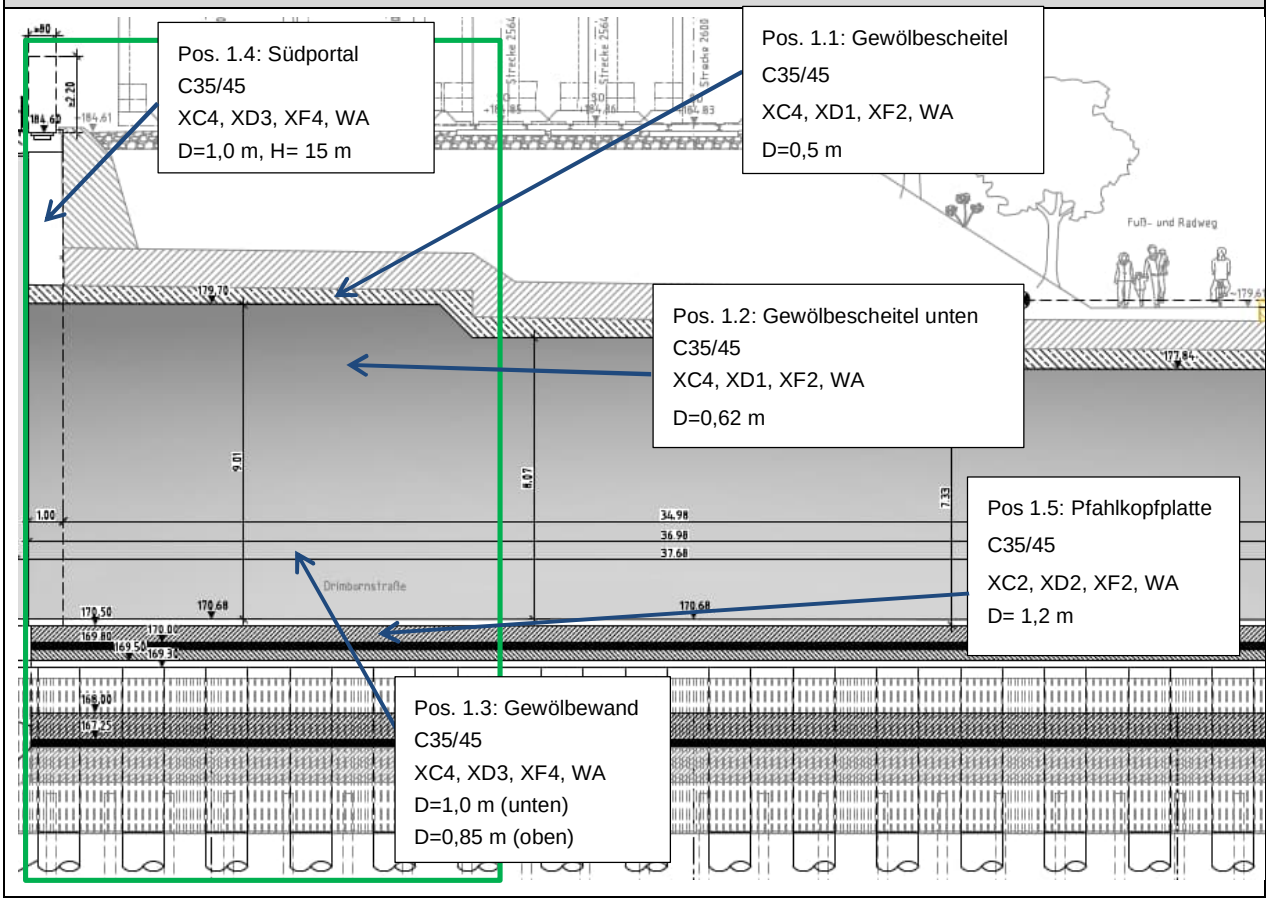


Abbildung 2: Längsschnitt

Abbildung 3 ist der Querschnitt des betrachteten Gewölbeabschnitts dargestellt:

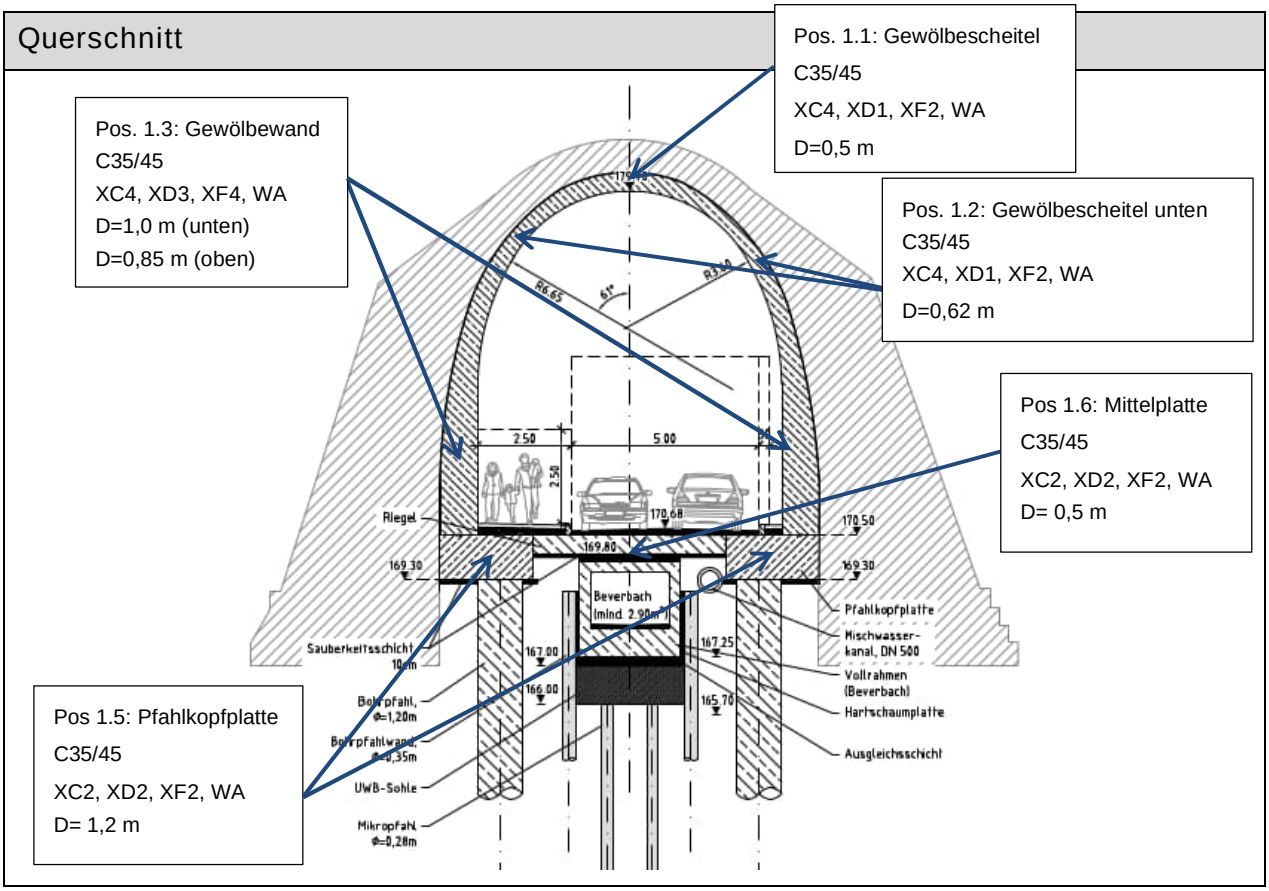


Abbildung 3: Querschnitt

Die Abmessungen der Bauteile sind den Planunterlagen zu entnehmen.

1.4 Materialkennwerte

1.4.1 Betonfestigkeitsklasse

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

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

XC1 bis XC4 (Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung),

XF1, XF3 (Frostangriff ohne Taumittel),

XA1 bis XA3 (Betonkorrosion durch chem. Angriff).

1.4.2 Betondruckfestigkeiten Gewölbe

Im vorliegenden Fall liegen die für die Mindestbetondruckfestigkeitsklasse maßgebenden Widerlagerwände im Sprühnebel- und Spritzwasserbereich der Straße, siehe Tabelle 2:

Expositionsklasse	Klasse	Beschreibung	Mindestfestig-keitsklasse
Bewehrungskorrosion, durch Karbonatisierung	XC4	wechselnd nass und trocken	C25/30
Bewehrungskorrosion, durch Chloride	XD3	wechselnd nass und trocken	C35/45
Frostangriff	XF4	hohe Wassersättigung, mit Taumittel	C30/37
Betonkorrosion, durch chemischen Angriff	-	-	-
Betonkorrosion, durch Verschleißbeanspr.	-	-	-
Alkali-Kieselsäure-Reaktion	WA	feucht und Alkalizufuhr von außen	-

Tabelle 2: Expositionsklassen Gewölbe

Mindestbetonfestigkeit nach Abschnitt 4.4.1.2 der DIN EN 1992-2: C20/25

Gewählte Betondruckfestigkeitsklasse: C35/45

1.4.3 Betondruckfestigkeiten Pfähle

Die Expositionsklasse der Pfähle ist in Tabelle 3 aufgelistet:

Expositionsklasse	Klasse	Beschreibung	Mindestfestig-keitsklasse
Bewehrungskorrosion, durch Karbonatisierung	XC2	Gründungsbauteile	C16/20

Tabelle 3: Expositionsklasse Pfähle

Gemäß ZTV-ING-Teil 2-3.1.3 darf für Bohrpfähle maximal eine Betonfestigkeitsklasse von C30/37 angenommen werden.

Maßgebend ist die Betondruckfestigkeitsklasse: C30/37

1.4.4 Eigenschaften der Baustoffe

Für das Gewölbe wird die Betonfestigkeitsklasse C35/45 gewählt, siehe Tabelle 4:

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

Tabelle 4: Betoneigenschaften Pfahlkopfplatte

Für die Pfähle wird die Betonfestigkeitsklasse C30/37 gewählt, siehe Tabelle 5:

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

Tabelle 5: Betoneigenschaften Pfähle

Die Eigenschaften des Betonstahls sind nachfolgender Tabelle 6 zu entnehmen.

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

Tabelle 6: Betonstahleigenschaften

1.4.5 Betondeckung

Es gilt das folgende Mindestmaß gem. DIN EN 1992-1-1 für die Gewölbedecke, siehe Tabelle 7:

Expositionsklasse	Klasse	Beschreibung	Mindestmaß c_{min}
Bewehrungskorrosion, durch Karbonatisierung	XC4	wechselnd nass und trocken	25 mm

Tabelle 7: Betondeckung Gewölbedecke

Maßgebende Betondeckung der Gewölbedecke:

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 15 = 40$ mm

Für die straßennahen Seiten der Gewölbewände, welche häufig durch chloridhaltiges Spritzwasser beansprucht werden gilt gemäß Tabelle 8:

Expositionsklasse	Klasse	Beschreibung	Mindestmaß c_{min}
Bewehrungskorrosion, durch Chloride ausgenommen Meerwasser	XD3	wechselnd nass und trocken	40 mm

Tabelle 8: Betondeckung Gewölbewände

Maßgebende Betondeckung der straßennahen Gewölbewänden:

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

Maßgebende Betondeckung des Fundaments:

Für erdberührte Flächen gilt nach DIN EN 1992-2 NA Tabelle 4.3.1DE für $c_{min,dur} = 50$ mm zuzüglich 5 mm Vorhaltemaß sodass sich $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 50 + 5 = 55$ mm ergibt.

Maßgebende Betondeckung des gesamten Gewölbes: $c_{nom} = 55$ mm

Maßgebende Betondeckung für Bohrpfähle:

Für die Bohrpfähle gilt nach DIN 1536 gemäß Tabelle 9:

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

Tabelle 9: Betondeckung Pfähle

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

1.5 Baugrundverhältnisse

1.5.1 Bodenarten und Schichtenfolge

Der angenommene Baugrundaufbau für die statischen Berechnungen liegen die Ergebnisse der Baugrunderkundung von IBES zugrunde. Eine Übersicht der Lage der Bohrkerne ist Abbildung 4 zu entnehmen:

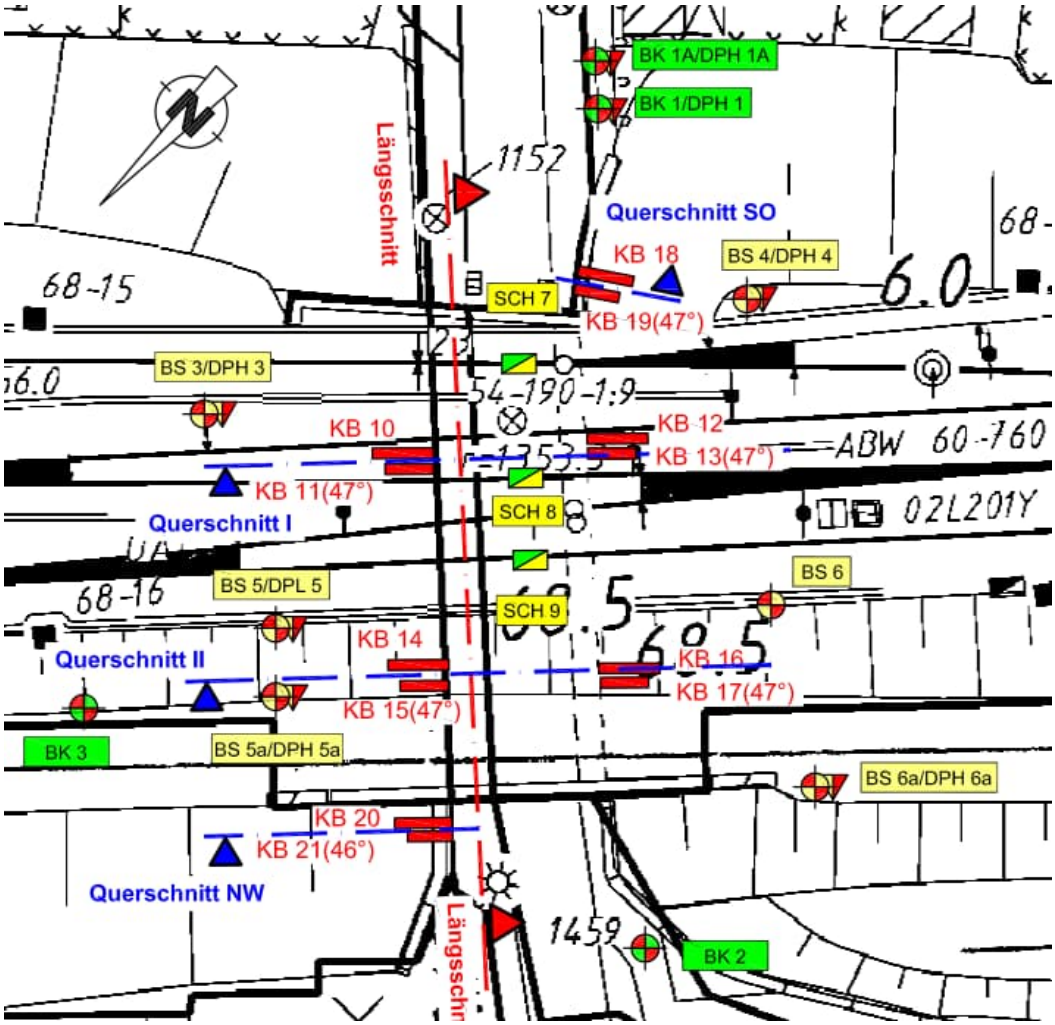


Abbildung 4: Lageplan mit Erkundungspunkten

In Abbildung 5 und Abbildung 6 werden die Ergebnisse der Bohrkerne BK1, BK2 und BK3 dargestellt, die für die Modellierung des Baugrunds verwendet werden.

1.5.1.1 Südseite

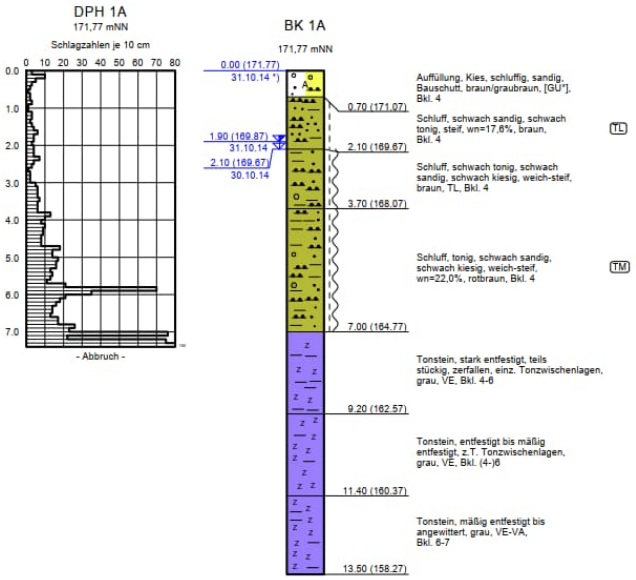


Abbildung 5: Bohrkern BK1

1.5.1.2 Nordseite

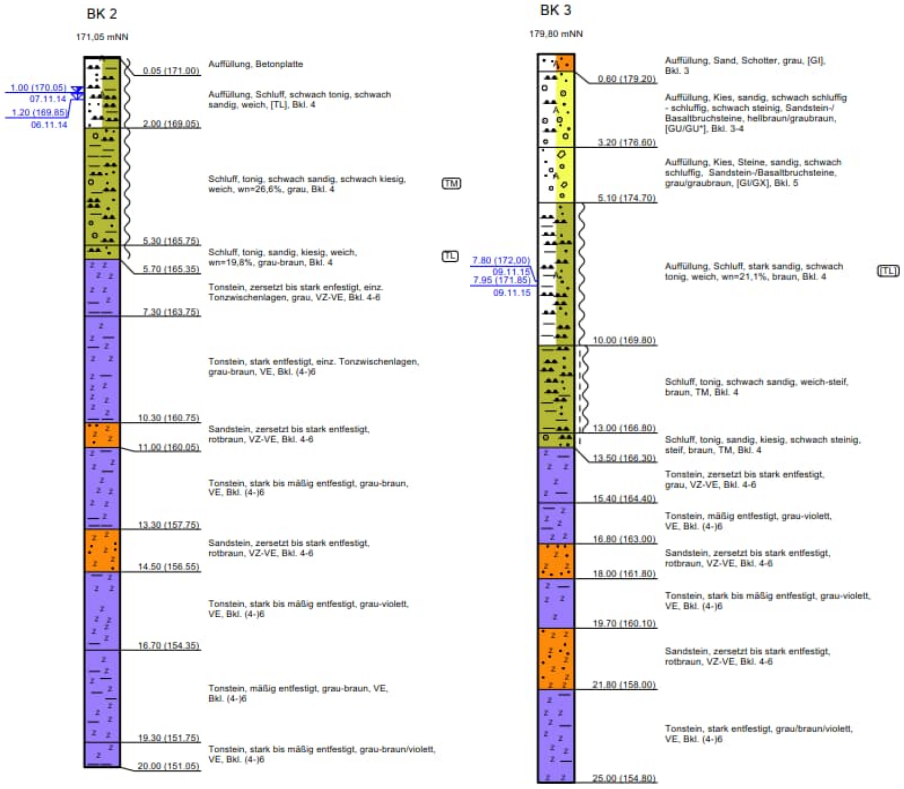


Abbildung 6: Bohrkerne BK2 und BK3

1.5.2 Baugrundaufbau gemäß Baugrundgutachten

In Tabelle 10 sind die charakteristischen Werte der geotechnischen Kenngrößen zusammengefasst:

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

γ (γ') Wichte (Wichte unter Auftrieb) — c_k' charakteristischer Wert für die Kohäsion
φ_k' charakteristischer Wert für den Reibungswinkel — $E_{s,k}$ charakteristischer Wert für die Steifeziffer
*) Nebenbestandteile, die bei der Vergabe der Kenngrößen unbedeutend sind, sind in dieser Spalte nicht mit aufgeführt.

Tabelle 10: Charakteristische Zahlenwerte ausgewählter geotechnischer Kenngrößen (IBES Baugrundgutachten)

1.5.3 Grundwasser gemäß Baugrundgutachten

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

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

1.5.4 Gründung

Aufgrund des hohen Grundwasserstands wird eine Tiefgründung mittels Bohrpfählen vorgesehen. Diese sind gemäß EA-Pfähle mindestens 2,5 m in ausreichend tragfähige Bodenschichten unterhalb ~ 165 mNN abzusetzen.

Für die Bemessung von Bohrpfählen - Einzelpfählen - können die in der nachfolgenden Tabelle 11 angegebenen charakteristischen Bruchwerte der Mantelreibung $q_{s,k}$ sowie charakteristischen Werte des setzungsabhängigen Spitzendrucks $q_{b,k}$ angesetzt werden.

Schicht-komplex	Schicht-UK [mNN]	Lagerungsdichte / Konsistenz / Verwitterungsgrad	Mantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m²]	Spitzenwiderstand $q_{b,k}$ [1)] [MN/m²]
(1)	167,0	locker-md. / weich bis stf.	0,01 [2)]	- [2)]
(2)	165,0	weich, weich-steif		
(3)	160,0	zersetzt bis stark entfestigt	0,08	1,2
	150,0	entfestigt bis mäßig entfestigt	0,15	2,0

1) bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_s bzw. $s/D_b = 0{,}10$ ($\sim s_g$).
2) Anforderungen an Baugrundfestigkeit und / oder Schichtmächtigkeit nicht erfüllt, daher kein Widerstand ansetzbar.

Tabelle 11: Charakteristische Werte für Mantelreibung und Spitzendruck bei Bohrpfählen (IBES Baugrundgutachten)

Da die angegebenen Werte des Spitzenwiderstands $q_{b,k}$ für eine bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D_b = 0{,}1$ gelten, wird gemäß EA-Pfähle eine bezogene Pfahlkopfsetzung von $s/D_b = 0{,}02$ nach Tabelle 12 abgeschätzt:

Bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_s bzw. s/D_b	Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ [kN/m²] bei einem mittleren Spitzenwiderstand q_c der Drucksonde [MN/m²]		
	7,5	15	25
0,02	550–800	1.050–1.400	1.750–2.300
0,03	700–1.050	1.350–1.800	2.250–2.950
0,10 ($\hat{=} s_g$)	1.600–2.300	3.000–4.000	4.000–5.300
Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden. Bei Bohrpfählen mit Fußverbreiterung sind die Werte auf 75 % abzumindern.			

Tabelle 12: Spannen der Erfahrungswerte für den charakteristischen Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ für Bohrpfähle in nichtbindigen Böden – EA Pfähle

Demnach wird auf der sicheren Seite bei $s/D_b = 0{,}02$ ein Spitzenwiderstand mit $q_{b,k} = 0{,}7$ MN/m² angenommen.

2 Darstellung und Beschreibung des statischen Systems

2.1 Gewölbe

Das bestehende Gewölbetragwerk der EÜ Drimbornstraße wird durch eine tragende Gewölbe-Innenschale ersetzt und hat eine Spannweite von 9,0 m (Achsmaß). Das Gewölbe schließt unter der Fahrbahn jeweils widerlagerseitig an eine 1,2 m dicke Pfahlkopfplatte an. Zwischen den Pfahlkopfplatten befindet sich eine Bodenplatte, die das System unter der Straße aussteift. Die Bodenplatte hat in der Mitte eine Stärke von 0,5 m. Am Eingang der EÜ schließt ein 9,0 m langes Portal an, welches jeweils ebenfalls durch eine Platten-Bohrpfahl-Gründung gehalten wird. Der in dieser Statik betrachtete Bereich auf der Südseite ist 14,0 m breit und hat im Gewölbe-Scheitel eine lichte Höhe von 9,8 m (Achsmaß), siehe Abbildung 7.

Die Widerlagerwand ist im unteren Bereich 1 m dick und verjüngt sich ab einer Höhe von 2,5 m auf 0,85 m. Der Bogen des Gewölbes ist im Übergangsbereich zwischen Scheitel und Widerlagerwand 0,62 m dick und im Scheitelbereich 0,5 m dick. An das Portal schließen Schrägflügel mittels Fuge an, welche in einer separaten Statik dimensioniert werden.

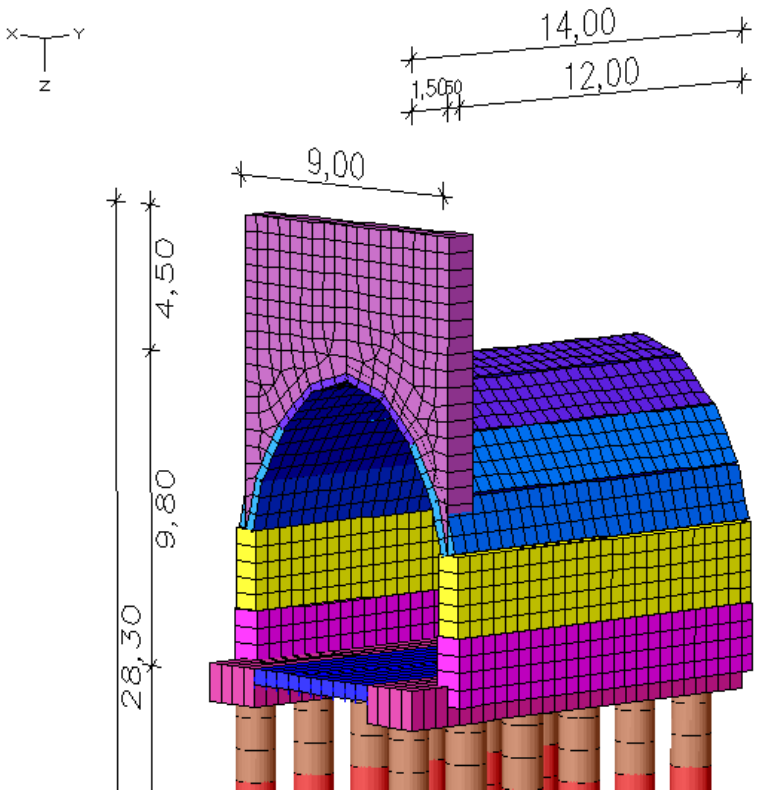


Abbildung 7: Übersicht des Gewölbetragwerks InfoCAD [m]

Die Nachweise erfolgen mittels EDV-Berechnung (Programm: InfoCAD). Das Gewölbetragwerk wird mit einem 3D Stab- und Schalenmodell abgebildet.

Globales Koordinatensystem:

x-Richtung: Horizontal - längs zur Gleisachse

y-Richtung: Horizontal - quer zur Gleisachse

z-Richtung: Vertikal

Kennwerte für die Bemessung des Gewölbes

Die Kennwerte, die der Bemessung zugrunde gelegt werden, sind in folgender Tabelle 13 aufgelistet:

Konstruktionsart	Ortbeton
Material	C 35/45
Stützwand-OK	184,2 mNN
Schotter-UK	184 mNN
Gewölbe-OK (Achsmaß)	179,7 mNN
Fundament-UK (Achsmaß)	169,9 mNN

Tabelle 13: Kennwerte des Gewölbes

2.2 Tiefgründung auf Bohrpfählen

2.2.1 Vorbemerkung

Das Gewölbetragwerk der EÜ Drimbornstraße wird auf Bohrpfählen gegründet. Im Rahmen der Entwurfsplanung wird die innere und äußere Standsicherheit der Bohrpfähle untersucht.

Lokales Koordinatensystem der Pfähle:

x-Richtung: In Stabachse

y-Richtung: Quer zur Gleisachse

z-Richtung: Parallel zur Gleisachse

2.2.2 Statisches System

Die Pfähle werden als räumlich gebettete Stäbe mit einem elastischen Fußauflager in Verlängerung der Stablängsachse abgebildet. Die Fahrbahnplatte wird anhand von Schalenelementen modelliert und biegesteif an die Pfahlköpfe angeschlossen. Auf der sicheren Seite wird die Bettung der Fahrbahnplatte in x-, y- und z-Richtung zu Null gesetzt, sodass der Lastabtrag vollständig über die Bohrpfähle erfolgt. Maße und Geometrie sind Abbildung 8 zu entnehmen:

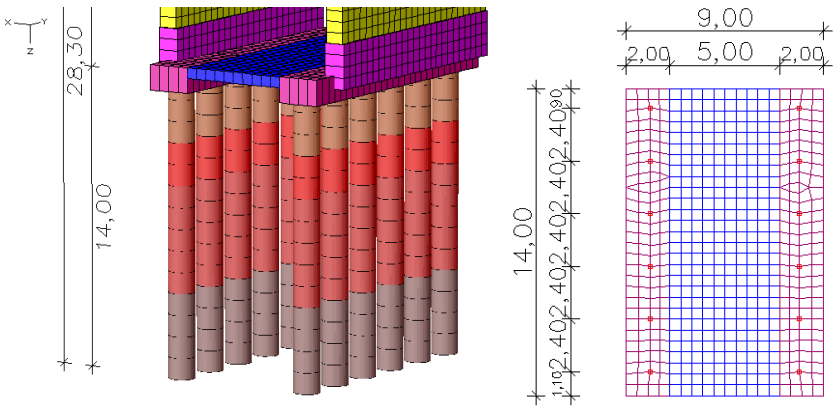


Abbildung 8: Tiefgründung, InfoCAD [m]

2.2.3 Kennwerte für die Bemessung der Pfahlgründung

Die Kennwerte der Pfahlgründung sind in Tabelle 14 zu erkennen:

Konstruktionsart	Ortbeton
Gründungsart	Tiefgründung
Material Bohrpfähle	C 30/37
Gesamtlänge	14,0 m
Pfahldurchmesser	D = 1,2 m
Rissweiten	Stahlbetonbauteile w_{cal} = 0,2mm bei 150 mm Stababstand

Tabelle 14: Kennwerte der Tiefgründung

Die Bodenkennwerte zur Bemessung der Tiefgründung sind Tabelle 15 zu entnehmen:

Schicht	Schicht-UK [mNN]	Schicht-dicke [mNN]	Mantel-reibung $q_{s,k}$ [MN/m²]	Spitzen-widerstand[1] $q_{b,k}$ [MN/m²]	E-Modul $E_{s,k}$ [MN/m²]	Bettung $k_{s,k} = E_{s,k}/D^2$ [kN/m³]
Schluff (2)	165	4,0	0,01	0	5,0	5,0
Tonstein (3.1)	160	5,0	0,08	1,2	10,0	10,0
Tonstein (3.2)	148	11,0	0,15	2,0	20,0	20,0

Tabelle 15: Schichtabhängige Bodenwiderstände für Pfähle

2.2.4 Lastabtrag der Horizontalkräfte

Für die Anwendung des „Stabwerkmodells mit gebetteten Pfählen“ wurden zunächst die seitlichen Bettungen im Sinne von Einzelpfählen bestimmt. Zur Berücksichtigung der Gruppenwirkung bei Belastung quer zur Achse kann die empirische Abminderung nach EA-Pfähle (2. Auflage) verwendet werden. Die folgende Abbildung 9 gibt einen Überblick über die Bestimmung der Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit von der Pfahlanordnung und der Lage des jeweils betrachten Pfahls innerhalb der Gruppe.

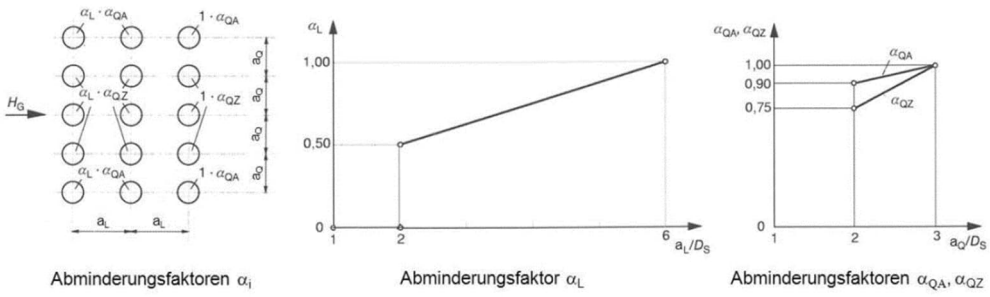


Abbildung 9: Abminderungsfaktoren der Pfahlbettung

[1] Bezogene Pfahlkopfsetzung s/D = 0,1
[2] Für D < 1 m gemäß EA-Baugrube und EA-Pfähle

Abminderungsfaktoren bei Krafteinleitung quer zur Gleisachse (Y), siehe Tabelle 16:

	Pfahlabstand a [m]	a/D	α
Längs a_L	2,4	2,0	0,5
Quer (außen) a_{QA}	6,85	5,71	1,0
Quer (innen) a_{QZ}	6,85	5,71	1,0

Tabelle 16: Abminderungsfaktoren der Bettung (Y) – Pfähle Gewölbe

Abminderungsfaktoren bei Krafteinleitung in Richtung der Gleisachse (Z), siehe Tabelle 17:

	Pfahlabstand a [m]	a/D	α
Längs a_L	6,85	5,71	0,93
Quer (außen) a_{QA}	2,4	2,0	0,9
Quer (innen) a_{QZ}	2,4	2,0	0,75

Tabelle 17: Abminderungsfaktoren der Bettung (Z) – Pfähle Gewölbe

Abminderung der Bettung

Auf der sicheren Seite wird für alle Pfähle die Bettung durch die Kombination innenliegender Pfähle mit $\alpha_L \cdot \alpha_{QZ}$ abgemindert, siehe Tabelle 18:

Bettung $k_{s,k}$ [kN/m³]	Bettung (Y) $k_{s,k,y} = k_{s,k} \cdot \alpha_{L,y} \cdot \alpha_{QZ,y}$ [kN/m³]	Bettung (Z) $k_{s,k,z} = k_{s,k} \cdot \alpha_{L,z} \cdot \alpha_{QZ,z}$ [kN/m³]
5,0	2,5	3,5
5,0	2,5	3,5
10,0	5,0	7,0
20,0	10,0	14,0

Tabelle 18: Bettung – Pfähle Gewölbe

Die Bettung steigt ab Pfahlkopf-OK auf den ersten 3 m linear an bis sie den vollen Wert der Schicht erreicht.

2.2.5 Lastabtrag der Vertikalkräfte

Der Lastabtrag über die Pfahlfußfeder richtet sich nach der Setzung des Pfahls, siehe Tabelle 11 und Tabelle 12:

Pfahlfußfeder						
s/D	s	q_{bk}	$R_{bk}= q_{bk} \cdot A_b$	$R_{sk}= q_{sk} \cdot A_s$	$R_{k,ges}$	$c = R_{k,ges}/s$
[-]	[cm]	[MN]	[MN]	[MN]	[MN]	[MN/m]
0,02	0,024	0,7	0,8	4,0	4,8	200,1
0,1	0,12	2,0	2,3	4,0	6,3	52,3

Tabelle 19: Federkraft

Gemäß Tabelle 19 wird für die Pfahlfußfeder eine Verschiebung von s = 2 cm angenommen und eine daraus folgende Federsteifigkeit von c = 200,1 MN/m angesetzt.

3 Einwirkungen und Einwirkungskombination

3.1 Ständige Einwirkungen

3.1.1 Eigengewicht des Bauwerks

Das Eigengewicht des Gewölbetragwerks wird programmintern ermittelt.

$\gamma_{StB,Gewölbe}$ = 25 kN/m³

Das Eigengewicht der Bohrpfähle wird zu Null gesetzt.

$\gamma_{StB,Bohrpfahl}$ = 0 kN/m³

3.1.2 Last aus Bestandsgewölbe

Vertikale Lasten, z-Richtung:

Dichte	ρ ≈ 2000 kg/m³
Höhe des Bestands in Querschnittsmitte	h_m = 1,2 m
Last in Querschnittsmitte	$g_{k,m}$ = 22,6 kN/m²
Höhe des Bestands am Querschnittsrand	h_R = 6,0 m
Last am Querschnittsrand	$g_{k,R}$ = 117,7 kN/m²

Annahme: Konstante Lastverteilung über Breite und linearer Verlauf über Querschnitt

Annahme: Last nur auf Gewölbe, Versatzmomente werden vernachlässigt.

3.1.1 Überschüttung

Wichte	γ = 2,50 m
Höhe des Bestands in Querschnittsmitte	h_m = 2,8 m
Last in Querschnittsmitte	$g_{k,m}$ = 55,0 kN/m²
Höhe des Bestands am Querschnittsrand	h_R = 4,8 m
Last am Querschnittsrand	$g_{k,R}$ = 95,0 kN/m²

Annahme: Konstante Lastverteilung über Breite und linearer Verlauf über Querschnitt

Annahme: Last nur auf Gewölbe, Versatzmomente werden vernachlässigt.

3.1.1 Fahrbahn

Lastansatz nach Ril 804.2101, Tab.2	v = 160 km/h
Für v ≤ 160 km/h	G_k = 55,0 kN/m
Lastverteilungsbreite aus Tab.2	b = 4,4 m
Fahrbahnlast an Schotter-UK	g_k = 12,5 kN/m²

Annahme: Lastausbreitung im Boden 60° und im Beton 45°

Ausbreitung über 5 Gleise an Schotter-UK	b = 19,0 m
Höhe der Überschüttung	$h_ü$ = 4,3 m
Theoretische Ausbreitung an Gewölbescheitelpunkt	$b_{Scheitel}$ = 24,3 m
Last auf Gewölbe in Querschnittsmitte	$g_{k,m}$ = 9,8 kN/m²

Annahme: Konstante Lastverteilung über Breite und linearer Verlauf über Querschnitt

Annahme: Last nur auf Gewölbe, Versatzmomente werden vernachlässigt.

3.1.2 Ständiger Erddruck

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

Maßgebend für den Erddruck sind die Bodenparameter von Auffüllung und Schluff:

Wichte	$g = 20$ kN/m³
Wichte unter Auftrieb	$g' = 11$ kN/m³
Reibungswinkel	$f_{k'} = 25{,}0$ °
Wandreibungswinkel	$d = 2/3\ f$
Aktiver Erddruckbeiwert	$k_{agh} = 0{,}3456$
Erdruhedruckbeiwert	$k_{0gh} = 0{,}5574$
Erhöhter aktiver Erddruckbeiwert mit 50%	$k_{a,erh} = 0{,}4615$
Berechnung des Erddrucks:	$e_{agh,erh} = k_{a,erh} \cdot (h \cdot \gamma' + q)$

Annahme: Die Erdlasten werden beidseitig auf die Widerlager angesetzt, damit sich keine unrealistisch hohen Verformungen des Systems einstellen. Dies wird in Wirklichkeit durch den mobilisierten Erddruck auf der gegenüberliegenden Seite verhindert.

3.1.2.1 Gewölbe

Fahrbahnlast an Schotter-UK 184 mNN:		$g_k = 12{,}5$ kN/m²
Gewölbe-Achse 179,7 mNN:	$h_1 = 4{,}3$ m	$e_{ah,1} = 45{,}5$ kN/m²
HGW 170,5 mNN:	$h_2 = 13{,}5$ m	$e_{ah,2} = 130{,}4$ kN/m²
HGW 170,5 mNN:	$h_3 = 13{,}5$ m	$e_{ah,3} = 74{,}3$ kN/m²
Fundament-Achse 169,9 mNN:	$h_4 = 14{,}1$ m	$e_{ah,4} = 77{,}3$ kN/m²

3.1.2.1 Portal

Fahrbahnlast an Schotter-UK 184 mNN:		$g_k = 12{,}5$ kN/m²
183,5 mNN:	$h_1 = 0$ m	$e_{ah,1} = 0$ kN/m²
174,0 mNN:	$h_2 = 9{,}5$ m	$e_{ah,2} = 93{,}5$ kN/m²

3.1.3 Fahrbahnlast-Straße

Asphaltdecke:	$\gamma = 24$ kN/m³
Dicke der Asphaltdecke:	$h = 12$ cm
Straßenaufbau gesamt	$g_k = 2{,}9$ kN/m²

3.2 Veränderliche Einwirkungen

3.2.1 Einwirkungen aus Zugverkehr (DIN EN 1991-2, Kap. 6)

Die nachfolgend aufgeführten Einzellastfälle der Einwirkungen aus Zugverkehr werden gemäß DIN EN 1991-2 in Lastgruppen eingeteilt. Die Tabelle 6.10 der DIN EN 1991-2 enthält eine Zusammenstellung der Lastgruppen, siehe Abbildung 10:

Anzahl der Gleise auf Bauwerk			Lastgruppen			Vertikalkräfte			Horizontalkräfte			Bemerkungen
			Verweis auf EN 1991-2			6.3.2/6.3.3	6.3.3	6.3.4	6.5.3	6.5.1	6.5.2	
1	2	≥ 3	Anzahl belastete Gleise	Last-gruppe[h]	belastetes Gleis	LM 71[a] SW/0[a,b] HSLM[f,g]	SW/2[a,c]	Unbe-ladener Zug	Anfahren, Bremsen[a]	Fliehkraft[a]	Seiten-stoß[a]	
			1	gr11	T_1	1			1[e]	0,5[e]	0,5[e]	Max. vertikal 1 mit max. längs
			1	gr12	T_1	1			0,5[e]	1[e]	1[e]	Max. vertikal 2 mit max. quer
			1	gr13	T_1	1[d]			1	0,5[e]	0,5[e]	Max. längs
			1	gr14	T_1	1[d]			0,5[e]	1	1	Max. quer
			1	gr15	T_1			1		1[e]	1[e]	Seitenstabilität mit „unbeladenem Zug"
			1	gr16	T_1		1		1[e]	0,5[e]	0,5[e]	SW/2 mit max. längs
			1	gr17	T_1		1		0,5[e]	1[e]	1[e]	SW/2 mit max. quer
			2	gr21	T_1 T_2	1 1			1[e] 1[e]	0,5[e] 0,5[e]	0,5[e] 0,5[e]	Max. vertikal 1 mit max. längs
			2	gr22	T_1 T_2	1 1			0,5[e] 0,5[e]	1[e] 1[e]	1[e] 1[e]	Max. vertikal 2 mit max. quer
			2	gr23	T_1 T_2	1[d] 1[d]			1 1	0,5[e] 0,5[e]	0,5[e] 0,5[e]	Max. längs
			2	gr24	T_1 T_2	1[d] 1[d]			0,5[e] 0,5[e]	1 1	1 1	Max. quer
			2	gr26	T_1 T_2	1	1		1[e] 1[e]	0,5[e] 0,5[e]	0,5[e] 0,5[e]	SW/2 mit max. längs
			2	gr27	T_1 T_2	1	1		0,5[e] 0,5[e]	1[e] 1[e]	1[e] 1[e]	SW/2 mit max. quer
			≥3	gr31	T_i	0,75			0,75[e]	0,75[e]	0,75[e]	zusätzlicher Lastfall

Dominierender Anteil der entsprechenden Einwirkung

Zu betrachten beim Bemessen eines eingleisigen Tragwerks (Lastgruppen 11-17)

Zu betrachten beim Bemessen eines zweigleisigen Tragwerks (Lastgruppen 11-27 außer 15). Jedes der beiden Gleise ist sowohl als T_1 (Gleis 1) oder T_2 (Gleis 2) zu betrachten.

Zu betrachten beim Bemessen eines drei- oder mehrgleisigen Tragwerks; (Lastgruppen 11 bis 31 außer 15. Irgendein Gleis ist als T_1 anzusetzen, irgendein anderes Gleis als T_2, alle anderen Gleise sind unbelastet. Zusätzlich ist Lastgruppe 31 als ein zusätzlicher Lastfall zu betrachten, bei dem alle ungünstigen Gleise T_i belastet sind.

a Alle relevanten Beiwerte (α, Φ, f, ...) sind zu berücksichtigen.

b SW/0 ist nur bei Durchlaufträgern zu berücksichtigen.

c SW/2 ist nur bei Vereinbarung für die Strecke zu berücksichtigen.

d Beiwert kann auf 0,5 im günstigen Fall vermindert werden, er kann nicht null sein.

e Im günstigsten Fall sind diese nicht-dominanten Werte zu null zu setzen.

f HSLM und Betriebszug falls erforderlich nach 6.4.4 and 6.4.6.1.1.

g Falls eine dynamische Berechnung nach 6.4.4 erforderlich ist, siehe auch 6.4.6.5(3) und 6.4.6.1.2.

h Siehe auch EN 1990 Anhang A2, Tabelle A2.3

Abbildung 10: Lastgruppen für Eisenbahnverkehr, DIN EN 1991-2, Kap. 6

3.2.1.1 Lastmodell LM 71 (DIN EN 1991-2 Kap. 6.3.2)

Der Aufbau des Lastmodells LM71 ist Abbildung 11 zu entnehmen:

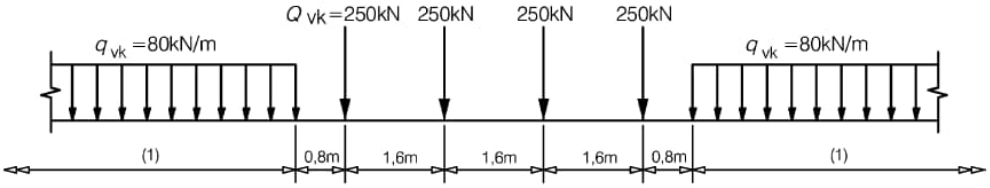


Abbildung 11: Lastmodell LM71, DIN EN 1991-2, Kap. 6.3.2

Lastklassifizierungsbeiwert (DIN EN 1991-2 Kap. 6.3.2 (2)) $\alpha = 1{,}21$

Dynamischer Beiwert (DIN EN 1991-2, Tabelle NA 6.2 Fall 5.5)

Maßgebende Länge = 2-fache lichte Weite jedes Einzelgewölbes: $L_\phi = 16{,}1$ m

Für sorgfältig instand gehaltene Gleise ergibt sich: $\phi_2 = 1{,}2$ –

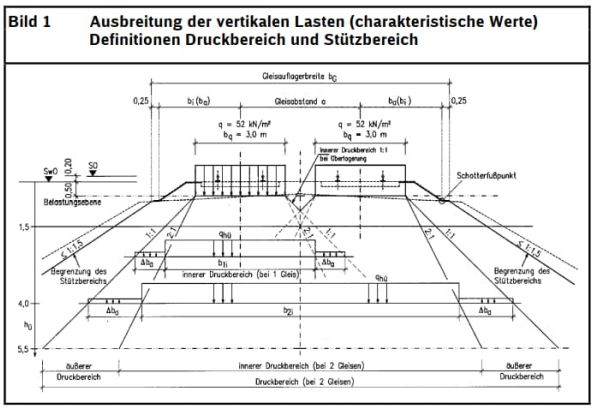
Bei Gewölbebrücken mit einer Überschüttung von > 1 m darf der dynamische Beiwert abgemindert werden.

Überschüttung: $h_ü = 3{,}9$ m

Reduzierter dynamischer Beiwert: $\phi = 1{,}0$ –

Mit dem dynamischen Beiwert sind die Ergebnisse aus den Vertikallasten der Lastbilder LM71 und SW/2 zu multiplizieren.

Die Lastabminderung durch Überschüttung wird gemäß Abbildung 12 vorgenommen:



Überschüttungshöhe $h_ü$ [m] (Tiefe unter SO)	Breite b_{1i}	Vertikalspannung [kN/m²]	
		$q_{1hü}$ für 52 kN/m²	$q_{1hü}$ für 26,7 kN/m²
Spalte 1	*Spalte 2*	*Spalte 3*	*Spalte 4*
1,5 (1,7)	4,0	48,0	24,6
2,5 (2,7)	5,0	39,0	16,0
4,0 (4,2)	6,5	26,0	12,4
5,5 (5,7)	8,0	19,0	10,0

Tabelle 1: Charakteristische Werte für gleichmäßig verteilten Bodenspannungen im inneren Druckbereich infolge Belastung nach LM 71 bei 1 Gleis

Abbildung 12: Verteilung der Belastung aus LM71 im Boden nach Ril 836

Annahme: Lastausbreitung im Boden nach Ril 836

Überschüttung ab Schwellen-OK bis Gewölbe-OK: $h_ü = 4{,}3$ m

Lastausbreitung an OK Gewölbe: $b_{1i} = 6{,}8$ m

Vertikalspannung für 52 kN/m²: $q_{1hü,Max} = 24{,}6$ kN/m²

Vertikalspannung für 52 kN/m² mit α: $q_{1hü,Max,\alpha} = 29{,}8$ kN/m²

Vertikalspannung für 26,7 kN/m²: $q_{1hü,Min} = 11{,}9$ kN/m²

Vertikalspannung für 26,7 kN/m² mit α: $q_{1hü,Min,\alpha} = 14{,}4$ kN/m²

Annahme: ca. 3 m neben dem Scheitel wird die Last abgemindert, da dort die Überschüttung höher ist.

Überschüttung ab Schwellen-OK bis 3 m seitlich der Gewölbe-OK: $h_{ü}$ = 6,2 m

Lastausbreitung an OK Gewölbe: b_{1i} = 8,7 m

Vertikalspannung für 52 kN/m²: $q_{1hü,Max}$ = 16 kN/m²

Vertikalspannung für 52 kN/m² mit α: $q_{1hü,Max,\alpha}$ = 19,3 kN/m²

Vertikalspannung für 26,7 kN/m²: $q_{1hü,Min}$ = 9 kN/m²

Vertikalspannung für 26,7 kN/m² mit α: $q_{1hü,Min,\alpha}$ = 10,8 kN/m²

Annahmen: Gleichlast über Querschnitt und Länge, Versatzmomente werden vernachlässigt.

Es werden 3 Lastfälle unterschieden, siehe Abbildung 13:

1. Es wirkt eine Überlast von 52 kN/m² an der Schotterunterkante über die gesamte Länge.
2. Der Einfluss der Überlast von 52 kN/m² an der Schotterunterkante reicht bis zur Querschnittsmitte. Auf der anderen Hälfte wirkt die Grundlast mit 26,7 kN/m².
3. Wie 2. nur spiegelverkehrt.

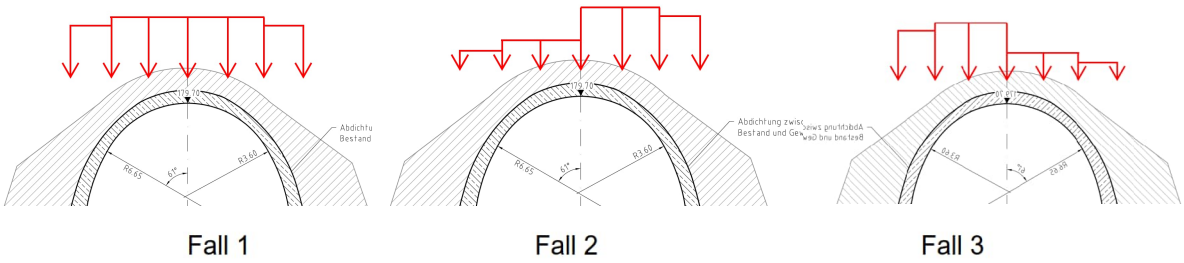


Abbildung 13: Verteilung des LM71

Veränderlicher Erddruck auf die Widerlager, x-Richtung:

Lastansatz nach dem vereinfachten Lastbild in der Ril. 836.2001, Kap 3.1(3) auf einer Breite von 3 m pro Gleis. Der Einfluss des veränderlichen Erddrucks wird pro Gleis angesetzt über die Breite:

Berechnung des Erddrucks: $e_{agh,erh} = k_{a,erh} \cdot q$

b_{1i} = 6,8 m

Grundlast auf Gewölbe-OK: q_{Min} = 11,9 kN/m²

Erddruck infolge Grundlast: $e_{ahq,Min}$ = 5,5 kN/m²

Überlast auf Gewölbescheitelhöhe: q_{Max} = 24,6 kN/m²

Erddruck infolge Überlast: $e_{ahq,Max}$ = 11,4 kN/m²

Annahme: Erddruck konstant über die Höhe.

Veränderlicher Erddruck auf die Stützwand, y-Richtung:

Lastansatz nach dem vereinfachten Lastbild in der Ril. 836.2001, Kap 7 Bild 2, siehe Abbildung 14:

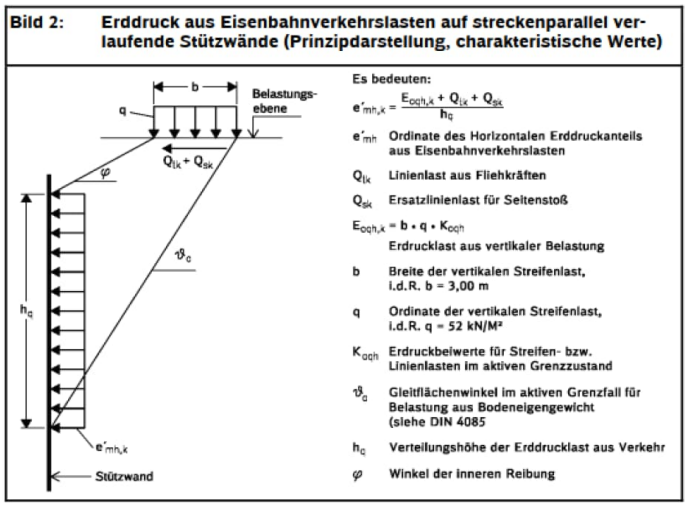


Abbildung 14: Lastansatz nach Ril. 836.2001, Kap 7 Bild 2

Nach Ril 836.2001:7(2) wird die Einwirkung aus dem Seitenstoß auf folgende Länge aufgeteilt:

$L = 2 \cdot 2{,}8 + 4 = 9{,}6$ m

Ersatzlinienlast für Seitenstoß: $Q_{sk} = 100/9{,}6 = 10{,}4$ kN/m

Durch den geraden Streckenabschnitt sind keine Fliehkräfte vorhanden. Die Fliehkräfte der Weiche werden vernachlässigt.

Breite $b = 3$ m

Aktiver Erddruckbeiwert $k_{agh} = 0{,}3456$ -

Gleitflächenwinkel im aktiven Grenzfall: $\theta_a = 57{,}5$ °

Erddrucklast aus vertikaler Belastung: $E_{aqh} = 54{,}0$ kN/m

<u>Belastung aus Gleis 1:</u>

Abstand Gleisachse zu Wand: $b_{G1} = 4$ m

Höhe des Einflusses ab Schotter-UK: $h_{G1,oben} = 1{,}2$ m

$h_{G1,unten} = 8{,}6$ m

Verteilungshöhe der Erddrucklast aus Verkehr: $h_{q1} = 7{,}4$ m

Erddruck auf Stützwand: $e'_{mhkG1} = 8{,}7$ kN/m²

<u>Belastung aus Gleis 2:</u>

Abstand Gleisachse zu Wand: $b_{G2} = 9{,}2$ m

Höhe des Einflusses ab Schotter-UK: $h_{G2,oben} = 3{,}6$ m

$h_{G2,unten} = 16{,}8$ m

Verteilungshöhe der Erddrucklast aus Verkehr: $h_{q2} = 13{,}2$ m

Erddruck auf Stützwand: $e'_{mhkG2} = 4{,}9$ kN/m²

Annahme: Erddruck konstant über die Höhe.

3.2.1.1 Lastmodell SW/0 (DIN EN 1991-2 Kap. 6.3.3)

Das Verkehrslastmodell SW/0 wird nicht angesetzt, da es sich nicht um einen Durchlaufträger handelt.

3.2.1.2 Lastmodell SW/2 (DIN EN 1991-2 Kap. 6.3.3)

Gemäß DIN EN 1991-2/NA, NDP zu 6.3.2 braucht das Lastmodell SW/2 nicht angesetzt werden, da der Beiwert α = 1,21 angesetzt wurde.

3.2.1.3 Seitenstoß (DIN EN 1991-2 Kap. 6.5.2)

Einzellast: Q_{sk} = 100,0 kN

Lastklassifizierungsbeiwert: α = 1,21

Lastverteilung in Längsrichtung: L_H = 4,0 m

Länge bezogen auf Gewölbekrümmung: L = 4,7 m

Lastausbreitung an Gewölbe-OK: b_{1i} = 6,8 m

<u>Horizontale Last, y-Richtung</u>

Seitenstoß horizontal: q_{sk} = 100 kN · 1,21 / 4,7 m / 6,8 m = 3,8 kN/m²

<u>Vertikale Last, z-Richtung</u>

Höhe des Lastangriffs (SO) bezogen auf die Überbauachse: h = 5,0 m

Versatzmoment: m_{sk} = 100 kN · 1,21 · 5,0 m = 605 kNm

Annahme: Lastausbreitung im Boden nach Ril 836

Widerstandsmoment W = (4,7 m · (6,8 m)²) / 6 = 36,2 m³

Spannung σ = (605 kNm / 36,2 m³) = 16,7 kN/m²

3.2.1.1 Lasten aus Anfahren und Bremsen (DIN EN 1991-2 Kap. 6.5.3)

Ausbreitungsfläche längs L_H = 6,1 m

Länge bezogen auf Gewölbekrümmung: L = 7,3 m

Lastklassifizierungsbeiwert α = 1,21

Annahme: Lastausbreitung im Boden nach Ril 836

Lastausbreitung an Gewölbe-OK: b_{1i} = 6,8 m

<u>Horizontale Last, x-Richtung</u>

Anfahrkraft Q_{lak} = 33 kN/m · 1,21 · 6,1 m = 246,6 kN < 1000 kN

Bremskraft LM71 Q_{lbk} = 20 kN/m · 1,21 · 6,1 m = 147,6 kN < 6000 kN

-> maßgebend Anfahrkraft (horizontal, vertikal aus Moment)

Abminderungsfaktor (Ril 804.3401, Tabelle 1) ξ = 0,5

Anfahrkraft (horizontal) Q_{lak} = 246,6 kN · 0,5 / (6,8 m · 6,1 m) = 3,0 kN/m²

<u>Moment, y-Achse</u>

Höhe des Lastangriffs bezogen auf die Überbauachse h = 5,0 m

Anfahrkraft (vertikal aus Moment) m_{lak} = 246,6 kN/6,1 m · 5,0 m = 202,1 kNm/m

Widerstandsmoment W = 6,1 m · (6,8 m)² / 6 = 47,0 m³

Spannung $\sigma = 202{,}1 \text{ kNm} / 47{,}0 \text{ m}^3 = 2{,}9 \text{ kN/m}^2$

3.2.2 Einwirkungen aus Temperatur (DIN EN 1991-1-5, 6.1)

3.2.2.1 Konstanter Temperaturanteil

Art des Brückenüberbaus		Typ = 3 (Betonkonstruktion)
Minimale Außenlufttemperatur		$T_{min} = -24$ °C
Maximale Außenlufttemperatur		$T_{max} = +37$ °C
Minimaler konstanter Temperaturanteil	T_{min} +8	$T_{e,min} = -16$ °C
Maximaler konstanter Temperaturanteil	T_{max}+2	$T_{e,max} = +39$ °C
Aufstelltemperatur		$T_0 = +10$ °C
Maximale positiver Temperaturänderung	$T_0 - T_{e,min}$	$\Delta T_{N,con} = 26$ °C
Minimale positive Temperaturänderung	$T_{e,max} - T_0$	$\Delta T_{N,exp} = 29$ °C

Zur Berücksichtigung des Steifigkeitsabfalls beim Übergang in Zustand II werden die Temperaturlastfälle mit einem Faktor von 0,6 angesetzt.

$\mathbf{\Delta} T_{N,con} = -15{,}6$ °C

$\mathbf{\Delta} T_{N,exp} = 17{,}4$ °C

3.2.2.2 Veränderlicher Temperaturanteil

Oberseite wärmer als Unterseite		$\Delta T_{M,heat} = +15$ °C
Beiwert Belagsdicke		$k_{sur} = 0{,}6$ -
Faktor 0,6 für Steifigkeitsabfall		
Temperaturdifferenz	$-15 \cdot 0{,}60 \cdot 0{,}6$	$\mathbf{\Delta} T_{M,pos} = 5{,}4$ °C
Unterseite wärmer als Oberseite		$\Delta T_{M,cool} = -8$ °C
Beiwert Belagsdicke		$k_{sur} = 1{,}0$
Faktor 0,6 für Steifigkeitsabfall im gerissenen Zustand		
Temperaturdifferenz	$-8 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}6$	$\mathbf{\Delta} T_{M,neg} = 4{,}8$ °C

3.2.2.3 Kombination der Temperatureinwirkungen

Bei der Überlagerung von Temperaturschwankungen und linearen Temperaturunterschieden dürfen folgende Kombinationen gemäß Tabelle 20 gebildet werden, siehe DIN EN 1991-1-5, 6.1.5:

Fall 1: $\Delta T_M + 0{,}35 \times \Delta T_N$

Fall 2: $0{,}75 \times \Delta T_M + \Delta T_N$

Kombination		$\Delta T_{N,con}$	$\Delta T_{N,exp}$	$\Delta T_{M,pos}$	$\Delta T_{M,neg}$
Oberseite wärmer als Unterseite	Fall1	0,35	-	1	-
		-	0,35	1	-
	Fall 2	1	-	0,75	-
		-	1	0,75	-
Oberseite kälter als Unterseite	Fall 1	0,35	-	-	1
		-	0,35	-	1
	Fall 2	1	-	-	0,75
		-	1	-	0,75

a) Konstanter Temperaturanteil, ΔT_u ;

b) Linear veränderlicher Temperaturanteil über die *z-z* Achse, ΔT_{MY} ;

c) Linear veränderlicher Temperaturanteil über die y-*y* Achse, ΔT_{MZ} ;

d) Nicht-linear veränderlicher Temperaturanteil ΔT_E. Dies führt zu einem System von Eigenspannung die im Gleichgewicht für das Bauteil keine äußere Beanspruchung erzeugt.

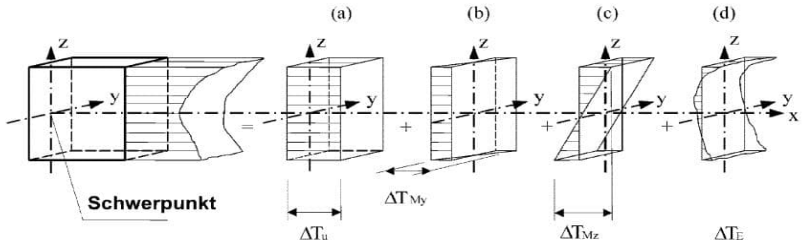


Tabelle 20: Kombination der Temperatureinwirkungen

3.2.4 Einwirkungen aus Wind (DIN EN 1991-1-4/NA, Anhang NA.N)

Die Einwirkungen aus Wind können bei dieser EÜ durch die hohe Überschüttung und die Gesamtbreite (> 30m) vernachlässigt werden.

3.2.1 Veränderliche Lasten aus Verkehr unter der EÜ

Das geforderte Lichtraumprofil ist Abbildung 15 zu entnehmen:

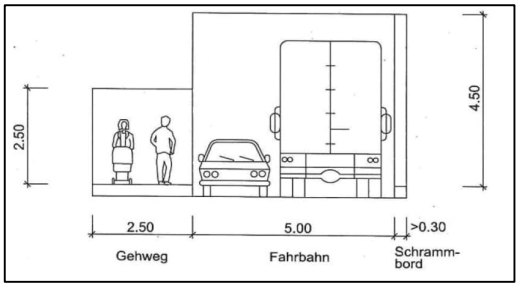


Abbildung 15: Lichtraumprofil der Drimbornstraße

Straßenverkehr

Annahme: Lastmodell 1 mit je 2,5m Fahrstreifen analog zu DIN EN 1991-2:4.3.2 mit NA

Fahrbahnbreite:	$w = 5$ m
Breite eines rechnerischen Fahrstreifens.	$w_1 = 3$ m
Anzahl rechnerischer Fahrstreifen:	$n_i = \text{Int}(5/3) = 1{,}0$ –
Breite der Restfläche:	$w_R = 2$ m
Flächenlast Fahrstreifen:	$\alpha_{q1} \cdot q_1 = 1{,}33 \cdot 9 = 12$ kN/m²
Flächenlast Restfläche:	$q_R = 3$ kN/m²
Doppelachslast je Reifen:	$\alpha_{Q1} \cdot Q_1 = 1{,}0 \cdot 300/2/0{,}4/0{,}4 = 937{,}5$ kN/m²

Gehweg

Nach DIN EN 1991-2:5.3.2.1

Gehwegbreite:	$L = 2{,}5$ m
Flächenlast:	$q_k = 5$ kN/m²

3.2.2 Verkehrslast auf Dienstwegen (DIN EN 1991-2, Kap. 6.3.7)

Verkehrslast Dienstweg:	$q_k = 5{,}0$ kN/m²
Breite des Dienstwegs	$b = 0{,}80$ m
Linienmoment	$q_{Rand,L} = 4{,}0$ kN/m

3.2.3 Außergewöhnliche Einwirkungen

3.2.3.1 Anprall

Nach DIN EN 1992-2 NA 6.110.2 (NA.107) nicht erforderlich, da L > 1,6 m und B > 0,9 m.

3.2.3.2 Erdbeben

Der Nachweis der Erdbebenbeanspruchung für Eisenbahnbrücken ist im Rahmen der Eisenbahnspezifischen Liste Technischer Baubestimmungen (EiTB-Ausgabe 2021/01) nicht geregelt. Bis zur bauaufsichtlichen Einführung der DIN EN 1998 (Eurocode 8) sind die Nachweise für Eisenbahnbrücken und sonstige Ingenieurbauwerke in der Erdbebenzone 1 bis 3 nach DIN 4149:2005-04 durchzuführen. Gebiete, die nicht den Erdbebenzonen 1 bis 3 zugeordnet sind, werden als Gebiete geringer Seismizität eingestuft, so dass für Bauwerke in diesen Gebieten kein Erdbebennachweis erforderlich ist.

Gemäß EiTB ist für Bauwerke im Zuge von Strecken des Fern- und Ballungsnetzes sowie von Strecken der Regionalnetze mit ≥ 30.000 Lt/d der Bedeutungsbeiwert zu 1,3 anzunehmen. Auf Strecken der Regionalnetze mit weniger als 30.000 Lt/d ist der Bedeutungsbeiwert 1,0 anzusetzen.

Der quasi-ständige Kombinationsbeiwert für Eisenbahnverkehr wird in Abstimmung mit dem Eisenbahnbundesamt zu $\psi_{2,1} = 0,3$ festgelegt.

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

- Erdbebenzone 2
- Geologische Untergrundklasse R
- Baugrundklasse B

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

Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung (DIN 4149:2005-04):

Bodenbeschleunigung: $a_g = 0,60$ m/s²

Vertikale Bodenbeschleunigung: $a_{g,z} = 0,7 \cdot 0,60 = 0,42$ m/s²

Horizontale Bodenbeschleunigung: $a_{g,x} = a_{g,y} = 0,60$ m/s²

Gemäß DIN4149:2005-0,4/6.2.4.1(3) dürfen die Horizontalkomponenten der Erdbebeneinwirkung folgendermaßen kombiniert werden:

a) $E_{Edx} + 0,3 \cdot E_{Edy}$

b) $0,3 \cdot E_{Edx} + E_{Edy}$

Bedeutungsbeiwert (EiTB Ausgabe 2021/01) $\gamma_1 = 1,30$ –

Verhaltensbeiwert horizontal: $q_h = 1,50$

Verhaltensbeiwert vertikal: $q_v = 1,00$

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

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

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

T_C = 0,25 -

T_D = 2,0 -

Erdbeschleunigung g = 9,81 m/s²

Berechnungsverfahren

Die Einwirkungen aus Erdbeben werden gemäß DIN 4149:2005-04 mit dem vereinfachten Antwortspektrenverfahren durchgeführt.

3.2.4 Ermüdung (DIN EN 1991-2, Kap. 6.9)

3.2.4.1 Eisenbahnverkehr

Für folgende Tragweise und Tragwerksteile kann im Allgemeinen der Ermüdungsnachweis für Eisenbahnverkehrslasten entfallen [5] NDP zu 6.8.1 (102):

Überschüttete Bogen- und Rahmentragwerke mit einer Mindestüberdeckung von 1,0 m bei Straßen- und 1,5 m bei Eisenbahnbrücken „Überschüttungshöhe Abstand zwischen OK Schwelle und OK Tragwerk. Bei Gleisen mit Überhöhung ist die Überschüttungshöhe unter dem tiefer liegenden Gleis zu messen.“

3.2.4.2 Straßenverkehr

Für die Drimbornstraße, welche innerorts liegt, wird die Verkehrskategorie 4 angenommen gemäß DIN-Fachbericht 101, Tab. 4.5:

Anzahl pro Jahr und pro LKW—Fahrstreifen: $N_{obs} = 0{,}05 \cdot 10^6$ –

Auf jedem zusätzlichen Fahrstreifen sind zusätzlich 10 % von N_{obs} zu berücksichtigen.

Für die Ermüdungsnachweise ist die Nutzungsdauer mit 100 Jahren anzunehmen.

Betonstahl

Die zulässigen Spannungsschwingbreiten unter häufigen zyklischen Einwirkungen dürfen gemäß Tabelle 21 (DIN EN 1992-1-1/NA), Zeile 1 folgenden Wert für gerade Stäbe nicht überschreiten.

Art der Bewehrung	N^*	Spannungsexponent		$\Delta\sigma_{Rsk}$ bei N^* Zyklen
		k_1	k_2	N/mm²
gerade und gebogene Stäbe [a]	10^6	5	9 [c]	175
geschweißte Stäbe und Betonstahlmatten [b]	10^6	4	5	85

[a] Für gebogene Stäbe mit $D < 25\phi$ ist $\Delta\sigma_{Rsk}$ mit dem Reduktionsfaktor $\zeta_1 = 0{,}35 + 0{,}026\ D / \phi$ zu multiplizieren. Für Stäbe $\phi > 28$ mm ist $\Delta\sigma_{Rsk} = 145$ N/mm² (gilt nur für hochduktile Betonstähle). Dabei ist D der Biegerollendurchmesser; ϕ der Stabdurchmesser.

[b] Sofern nicht andere Wöhlerlinien durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall festgelegt werden.

[c] In korrosiven Umgebungsbedingungen (XC2, XC3, XC4, XS, XD) sind weitere Überlegungen zur Wöhlerlinie anzustellen. Wenn keine genaueren Erkenntnisse vorliegen, ist für k_2 ein reduzierter Wert $5 \le k_2 < 9$ anzusetzen.

Tabelle 21: Parameter der Ermüdungsfestigkeitskurven (Wöhlerlinien) für Betonstahl

Bei Bauteilen unter ermüdungswirksamer Beanspruchung darf Betonstahl im Allgemeinen nicht geschweißt werden. In der Regel gilt deshalb:

Spannungsexponenten: $k_1 = 5; k_2 = 9$

Spannungsschwingbreite (gerade Bewehrung): $\Delta\sigma_{Rsk,s} = 175 \frac{MN}{m^2}$

Der Nachweis der Stahlzugfestigkeit für Ermüdung von gebogenen Stäben ist in Rahmenecken maßgebend. Um die zulässigen Spannungsschwingbreiten nicht so stark abmindern zu müssen, werden für die gebogenen Hauptzugeisen der Rahmenecken große Biegerollendurchmesser D ≥ 20 Ø gewählt.

Schrägstäbe und andere gebogene Stäbe: D/ ϕ = 20 -

Reduktionsfaktor: $\zeta_1 = 0{,}35 + 0{,}026\frac{D}{\phi} = 0{,}35 + 0{,}026 \cdot 20 = 0{,}87$ -

Spannungsschwingbreite (gebogen): $\boldsymbol{\zeta_1 \cdot \Delta\sigma_{Rsk,s} = 0{,}87 \cdot 175 \frac{MN}{m^2} = 152{,}3 \frac{MN}{m^2}}$

Für die Schubbewehrung wird die Annahme getroffen, dass D < 20 Ø gilt:

Haken, Winkelhaken, Schlaufen und Bügel: D/ ϕ = 4 -

Reduktionsfaktor: $\zeta_1 = 0{,}35 + 0{,}026\frac{D}{\phi} = 0{,}35 + 0{,}026 \cdot 4 = 0{,}454$ -

Spannungsschwingbreite (Schubb.): $\boldsymbol{\zeta_1 \cdot \Delta\sigma_{Rsk,b} = 0{,}454 \cdot 175 \frac{MN}{m^2} = 79{,}5 \frac{MN}{m^2}}$

<u>Beton</u>

Der Ermüdungsnachweis des Betons unter Druck erfolgt nach der DIN EN 1992-1, 6.8.7(1):

Zeitpunkt der ersten zyklischen Belastung: t_0 = 28 Tage

Beiwert für Zementtyp: s = 0,2 -

Beiwert für Betonalter: $\beta_{cc}(t) = e^{s\cdot\left[1-\sqrt{\frac{28}{t}}\right]} = e^{0{,}2\cdot\left[1-\sqrt{\frac{28}{28}}\right]} = 1{,}0$ -

Beiwert $k_1 = 1{,}0$ –

Betondruckfestigkeit: $f_{ck} = 35$ MN/m²

Bemessungswert der Betondruckfestigkeit: $f_{cd} = 0{,}85 \cdot 35$ MN/m²/1,5 = 19,8 MN/m²

Betonfestigkeit vor Beginn der zyklischen Belastung:

$$f_{cd,fat} = k_1 \cdot \beta_{cc}(t_0) \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 19{,}8\frac{MN}{m^2} \cdot \left(1 - \frac{35\frac{MN}{m^2}}{250}\right) = 17\ \frac{MN}{m^2}$$

<u>Schadenäquivalenzfaktoren</u>

Die Schadenäquivalenzfaktoren werden auf der sicheren Seite zu λ = 1,0 angenommen.

Schadenäquivalenzfaktor λ_s für Betonstahl (Längsbew.): λ_s =1,0 –

Schadenäquivalenzfaktor λ_b für Betonstahl (Schubbew.): λ_b =1,0 –

Schadenäquivalenzfaktor λ_c für Beton unter Druckbeanspruchung: λ_c =1,0 –

Gemäß DIN EN 1991-2/NA NDP 4.6.1 ist das Ermüdungslastmodell 3 (ELM 3) anzuwenden.

Da bei dem vorliegenden Bauwerk keine Fahrbahnübergangskonstruktion angeordnet wird, kann der Erhöhungsfaktor $\Delta\psi_{fat}$ zu 1,0 – gewählt werden. Das ELM 3 besteht aus vier Achsen mit je zwei

identischen Rädern. Die Achslasten betragen je 120 kN; die Aufstandsfläche jedes Rads ist ein Quadrat mit 0,40 m Seitenlänge, siehe Abbildung 16.

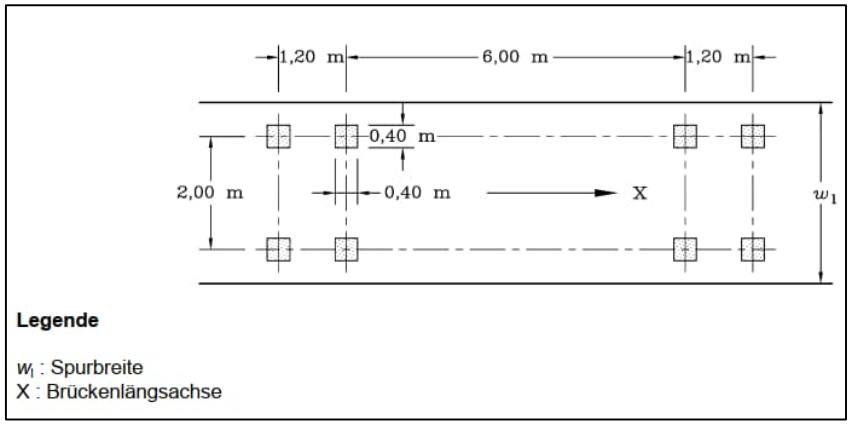


Abbildung 16: Ermüdungslastmodell 3

Doppelachslast je Reifen: Q_{ELM3} = 120/2/0,4/0,4 = 375 kN/m²

4 Grundlagen der Bemessung

4.1 Teilsicherheitsbeiwerte

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

γ	BS-P		BS-T		BS-A	
	ungünstig	günstig	ungünstig	günstig	ungünstig	günstig
Ständige Einwirkungen	1,35	1,0	1,35	1,0	1,0	1,0
Veränderliche Einwirkungen	1,5	0	1,5	0	1,0	0
Schienenverkehr	1,45	0	1,45/1,2	0	1,0	0
Temperatur	1,35	0	1,35	0	1,0	0

Tabelle 22:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe werden der DIN EN 191992-2 entnommen und folgendermaßen festgelegt:

γ	BS-P, Erdbeben	BS-A	Ermüdung
Beton	1,5	1,3	1,5
Betonstahl	1,15	1,0	1,15
Spitzendruck und Mantelreibung der Bohrpfähle	1,4	1,4	1,4

Tabelle 23:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination

4.2 Kombinationsbeiwerte

Die Kombinationsbeiwerte für Eisenbahnbrücken werden der DIN EN 1990-A2 Tabelle A2.3 entnommen und folgendermaßen festgelegt:

Kombinationsbeiwerte	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Eisenbahnlasten	0,8	0,8	0
veränd. Erddruck	0,8	0,8	0
Verkehr Randweg	0,8	0,5	0
Temperatur	0,6	0,6	0,5
LM1 Flächenlasst	0,4	0,4	0,2
LM1 Achslast	0,75	0,75	0,2

Tabelle 24: Kombinationsbeiwerte für Eisenbahnbrücken

4.3 Bemessungssituationen

4.3.1 Ständige und vorübergehende Bemessungssituation

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j}\, G_{k,j} \text{"+"} \gamma_P\, P \text{"+"} \gamma_{Q,1}\, Q_{k,1} \text{"+"} \sum_{i>1} \gamma_{Q,i}\, \psi_{0,i}\, Q_{k,i}$$

Die Teilsicherheitsbeiwerte für die ständige und vorübergehende Kombination werden der DIN EN 1990/NA/A1:2012-08, Tabelle NA.A2.1 entnommen und folgendermaßen festgelegt:

	γ	
	ungünstig	günstig
ständige Lasten	1,35	1
Eisenbahnlasten	1,45	0
veränd. Lasten	1,5	0
Temperatur	1,35	0

Tabelle 25:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination

Für die Bemessung nach der DIN EN 1992-2 werden folgende Kombinationen mit den zugehörigen Kombinationsbeiwerten der veränderlichen Lasten definiert:

Kombination	Eisenbahnlasten	veränd. Erddruck	Verkehr Randweg	Temperatur	LM1 Flächenlast	LM1 Achslast
1	1	0,8	0,8	0,6	0,4	0,75
2	0,8	1	0,8	0,6	0,4	0,75
3	0,8	0,8	1	0,6	0,4	0,75
4	0,8	0,8	0,8	1	0,4	0,75
5	0,8	0,8	0,8	0,6	1	0,75
6	0,8	0,8	0,8	0,6	0,4	1

Tabelle 26: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (Ständ. u. vorübergehende Situation)

4.3.2 Charakteristische Situation

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P_k \text{ "+" } Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i>1} \psi_{0,i}\, Q_{k,i}$$

Die Teilsicherheitsbeiwerte betragen 1. Für die Bemessung nach der DIN EN 1992-2 werden folgende Kombinationen mit den zugehörigen Kombinationsbeiwerten der veränderlichen Lasten definiert:

Kombination	Eisenbahnlasten	veränd. Erddruck	Verkehr Randweg	Temperatur	LM1 Flächenlast	LM1 Achslast
1	1	0,8	0,8	0,6	0,4	0,75
2	0,8	1	0,8	0,6	0,4	0,75
3	0,8	0,8	1	0,6	0,4	0,75
4	0,8	0,8	0,8	1	0,4	0,75
5	0,8	0,8	0,8	0,6	1	0,75
6	0,8	0,8	0,8	0,6	0,4	1

Tabelle 27: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (Charakteristische Situation)

4.3.3 Häufige Situation

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } \psi_{1,1}\, Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i>1} \psi_{2,i}\, Q_{k,i}$$

Die Teilsicherheitsbeiwerte betragen 1. Für die Bemessung nach der DIN EN 1992-2 werden folgende maßgebende Kombinationen mit den zugehörigen Kombinationsbeiwerten der veränderlichen Lasten definiert:

Kombination	Eisenbahnlasten	veränd. Erddruck	Verkehr Randweg	Temperatur	LM1 Flächenlast	LM1 Achslast
1	0,8	0	0	0,5	0	0
2	0	0	0	0,6	0	0

Tabelle 28: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (häufige Situation)

4.3.4 Quasi ständige Kombination

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i}\, Q_{k,i}$$

Die Teilsicherheitsbeiwerte betragen 1. Für die Bemessung nach der DIN EN 1992-2 werden folgende Kombinationen mit den zugehörigen Kombinationsbeiwerten der veränderlichen Lasten definiert:

Kombination	Eisenbahnlasten	veränd. Erddruck	Verkehr Randweg	Temperatur	LM1 Flächenlast	LM1 Achslast
1	0	0	0	0,5	0	0

Tabelle 29: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (Quasi ständige Kombination)

4.3.5 Außergewöhnliche Situation

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } A_d \text{ "+" } (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1})\, Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i}\, Q_{k,i}$$

Bei außergewöhnlichen Einwirkungen aus der Entgleisung eines Zuges auf einer Brücke sollte nach der DIN EN 1990, Kapitel A2.2.5 der Schienenverkehr auf den anderen Gleisen als begleitende Einwirkung mit zugehörigen Kombinationabeiwerten berücksichtigt werden.

Die Teilsicherheitsbeiwerte betragen 1. Für die Bemessung nach der DIN EN 1992-2 werden folgende Kombination mit den zugehörigen Kombinationsbeiwerten der veränderlichen Lasten definiert:

Kombination	Eisenbahnlasten	veränd. Erddruck	Verkehr Randweg	Temperatur	LM1 Flächenlast	LM1 Achslast
1	0,8	0	0	0,5	0	0

Tabelle 30: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (Außergewöhnliche Situation)

4.3.6 Erdbeben

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } A_{Ed} \text{ "+" } \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i}\, Q_{k,i}$$

Die Teilsicherheitsbeiwerte betragen 1. Der quasi-ständige Kombinationsbeiwert für Eisenbahnverkehr wird in Abstimmung mit dem Eisenbahnbundesamt zu $\psi_{2,1}$ = 0,3 festgelegt. Die übrigen Kombinationsbeiwerte für Erdbeben werden der DIN EN 1990-A2 Tabelle A2.5 bzw. A2.3 entnommen und folgendermaßen festgelegt:

Kombination	Eisenbahnlasten	veränd. Erddruck	Verkehr Randweg	Temperatur	LM1 Flächenlast	LM1 Achslast
1	0,3	0	0	0,5	0	0

Tabelle 31: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (Erdbeben)

4.3.7 Ermüdungskombination (DIN EN 1992-1-1)

Zur Berechnung der Schwingbreiten muss eine Unterteilung in nichtzyklische und zyklische ermüdungswirksame Einwirkungen (Anzahl und wiederholten Lasteinwirkungen) erfolgen.

Die Grundkombination der nicht zyklischen Einwirkung entspricht der häufigen Einwirkungskombination.

$$E_d = \sum G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Die zyklische Einwirkung muss mit der ungünstigen häufigen Einwirkungskombination kombiniert werden.

$$E_d = \left(\sum G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}\right) + Q_{fat}$$

Dabei ist Q_{fat} die maßgebende Ermüdungsbelastung (Verkehrslast LM71 ohne α mit ϕ). Bei der Programmeingabe von InfoGraph wird nur die zyklische Kombination als Summe der nichtzyklischen Einwirkungen und Q_{fat} eingegeben. Die Spannungsschwingbreite wird programmintern ermittelt.

Kombination	Eisenbahnlasten	veränd. Erddruck	Verkehr Randweg	Temperatur	LM1 Flächenlast	LM1 Achslast
1	0	0	0	0,6	0	0

Tabelle 32: Kombinationen für die Bemessung nach DIN EN 1992-2 (Ermüdung)

5 Nachweise am Gesamtsystem

5.1 Nachweise für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

5.1.1 Überprüfung des Resonanzrisikos

Nach RIL 804.3101 Abs. 3(2) (TM 1-2019-10046) darf auf eine dynamische Berechnung verzichtet werden, wenn für ein Tragwerk eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Bei S-Bahnen
- $V_{ö} \leq 90$ km/h ($V_{ö:}$ örtliche Geschwindigkeit)
- $V_{ö} \leq 120$ km/h, wenn gleichzeitig die Radsatzlasten $Q_{RSL} \leq 225$ kN und die Linienlast m‘ ≤ 80 kN/m sind
- Bei überschütteten Tragwerken mit Überschüttungshöhen $h_{ü} \geq 1{,}5$ m
- bei einfeldrigen Rahmentragwerken mit geringer Schiefe

Da es sich bei dem Bauwerk um ein überschüttetes Tragwerk mit Überschüttungshöhen $h_{ü} \geq 1{,}5$ m handelt, muss das Resonanzrisiko nicht überprüft werden.

5.1.2 Querverformung und Querschwingungen des Gewölbes

Die Querverformung und Querschwingungen des Überbaus sind nach DIN EN 1990, Abschnitt A.2.4.4.2.4 für den charakteristischen Wert von LM71 und erforderlichenfalls SW/0, multipliziert mit dem dynamischen Faktor und mit α, mit den Windlasten, Seitenstoß und Zentrifugalkräften nach EN 1991-2, Abschnitt 6 und den Einflüssen aus Temperaturunterschieden in Querrichtung der Brücke zu überprüfen.

Aufgrund der hohen Eigensteifigkeit einer überschütteten Stahlbetongewölbekonstruktion auf einer schwingungsunanfälligen Gründung wird der Nachweis der Querverformung und Querschwingung nicht geführt.

5.1.3 Nachweis der Verdrehung

Nach Ril 804.3101, 2, Tabelle 3 darf der gemessene Endtangentenwinkel ϕ am Widerlager infolge LM71 $\cdot \alpha \cdot \phi$ + Temperatur nicht größer als 6,5 mrad sein, siehe Abbildung 17 und Abbildung 18:

Verdrehung des Überbaus infolge LM71

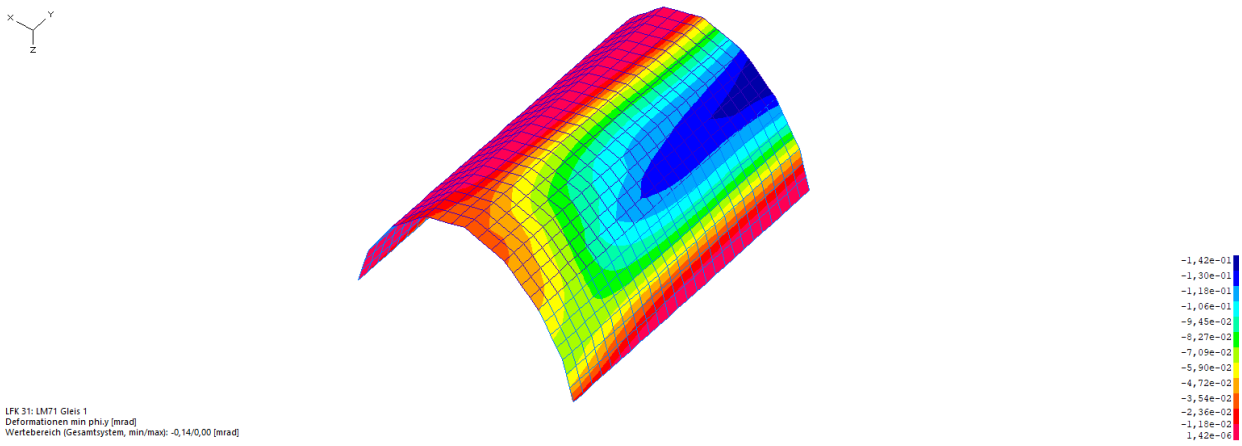


Abbildung 17: Verdrehung min ϕ_y in der Ausgabe Infograph, Lastgruppe LM71 mit α

Verdrehung des Überbaus infolge Temperatur

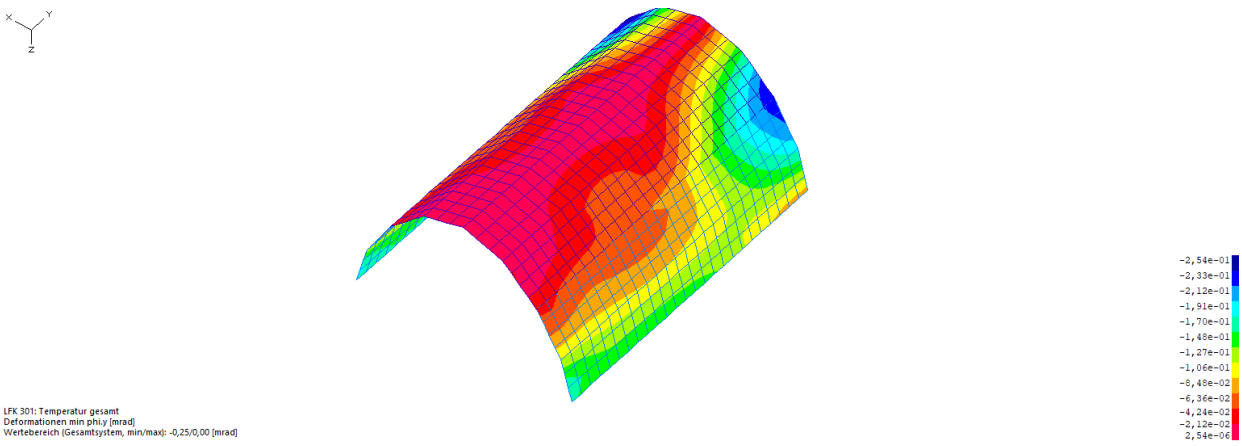


Abbildung 18: Verdrehung min ϕ_y in der Ausgabe Infograph, infolge Temperatur

Zulässige Verdrehung:	ϕ_{zul} = 6,5 mrad
Verdrehung infolge LM71:	$\phi_{y.LM71}$ = 0,14 mrad
Verdrehung infolge Temperatur:	$\phi_{y.T}$ = 0,25 mrad
Gesamtverdrehung:	$\phi_{y.Gesamt}$ = 0,39 mrad
Nachweis erfüllt:	$\phi_{y.Gesamt} \leq \phi_{zul}$

5.1.4 Vertikale Verformung des Gewölbes (Nachweis der Durchbiegung)

Die in Abbildung 19 dargestellte vertikale Verformung δ wird nach DIN EN 1990, Abschnitt A.2.4.4.2.3 mit dem Lastmodell 71, multipliziert mit dem Faktor Φ und mit dem Wert α = 1,0 nach DIN EN 1991-2, Abschnitt 6, bestimmt.

Stützweite der Brücke		L	= 9,0 m
Entwurfsgeschwindigkeit		v_e	= 160 km/h
Zulässiger Grenzwert	0,6 · 1000	δ / L	= 600
Zulässige Verformung	9000 mm / 600	max δ	= 15 mm

Vertikale Durchbiegung

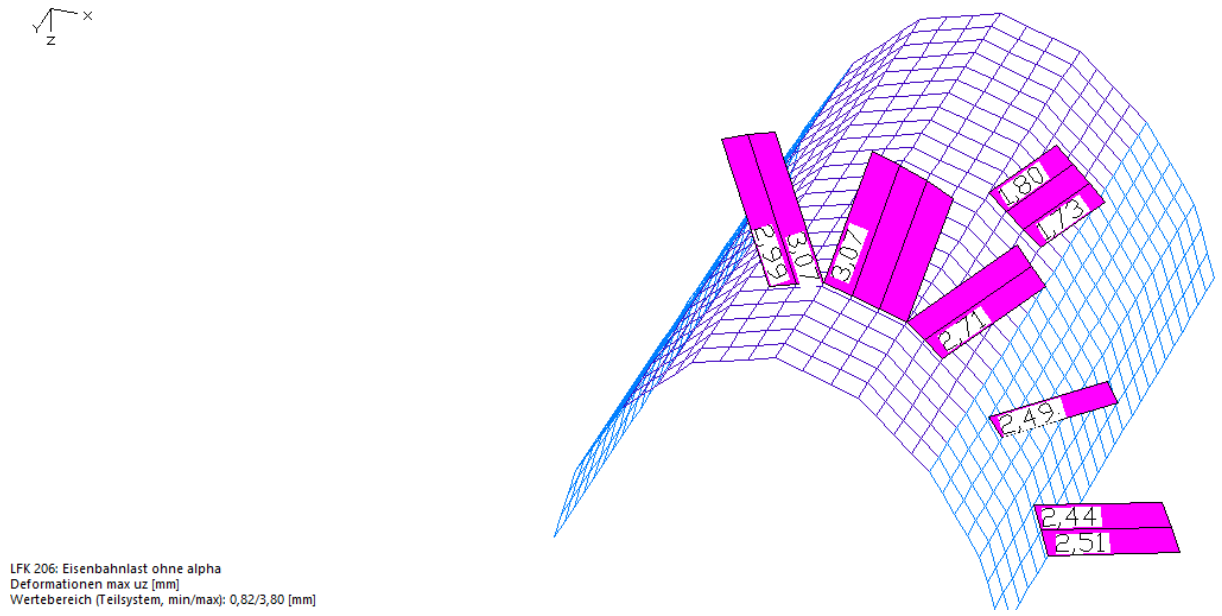


Abbildung 19: Verformungen max u_z in der Ausgabe Infograph, Lastgruppe Eisenbahnlasten

Abbildung 19 zeigt die max. vertikale Verschiebung über die zwei Gleisachsen.

Maximale vorhandene vertikale Durchbiegung vorh δ = 3,07 – 2,51 = 0,56 mm

Faktor zur Berücksichtigung der Verformungszunahme im Zustand II:

f = 4 [-]

vorh δ = 2,2 mm

Nachweis vorh **δ** < max **δ**

5.1.5 Maximale Durchbiegung für den Reisendenkomfort

Die in Abbildung 20 dargestellte vertikale Verformung δ wird mit dem Lastmodell 71, multipliziert mit dem Faktor Φ und mit dem Wert α = 1,0 nach EN1991-2, Abschnitt 6, bestimmt.

Stützweite der Brücke		L	= 9,0 m
Entwurfsgeschwindigkeit		v_e	= 160 km/h
Zulässiger Grenzwerte nach Bild A2.3		L / δ	= 900
Bei Einfeldträgern ist der angegebene Wert mit 0,7 zu multiplizieren			
		➔ L / δ · 0,7	= 630
Zulässige Verformung	9000 mm / 630	max δ	= 14,3 mm

Vertikale Durchbiegung

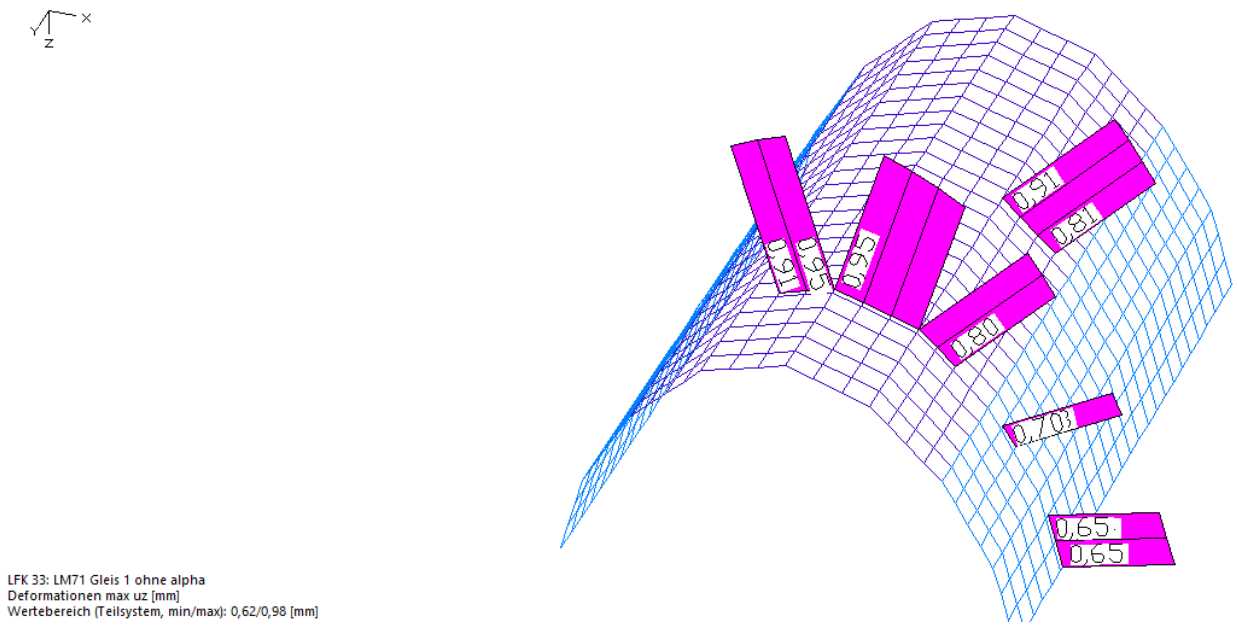


Abbildung 20: Verformungen max u_z in der Ausgabe Infograph, Lastgruppe LM71 Gleis 1 ohne α

Maximale vorhandene vertikale Durchbiegung — vorh δ =0,95 - 0,65 = 0,3 mm (Differenz zur Gesamtsetzung!)

Faktor zur Berücksichtigung der Verformungszunahme im Zustand II:

	f	= 4 [-]
	vorh δ	= 1,2 mm
Nachweis	vorh **δ**	< max **δ**

5.1.6 Nachweis der Betondruckfestigkeit

Die max. Ausnutzungsgrade der Betondruckspannungen in der Fahrbahnplatte sind Abbildung 21 zu entnehmen:

Betondruckspannungen

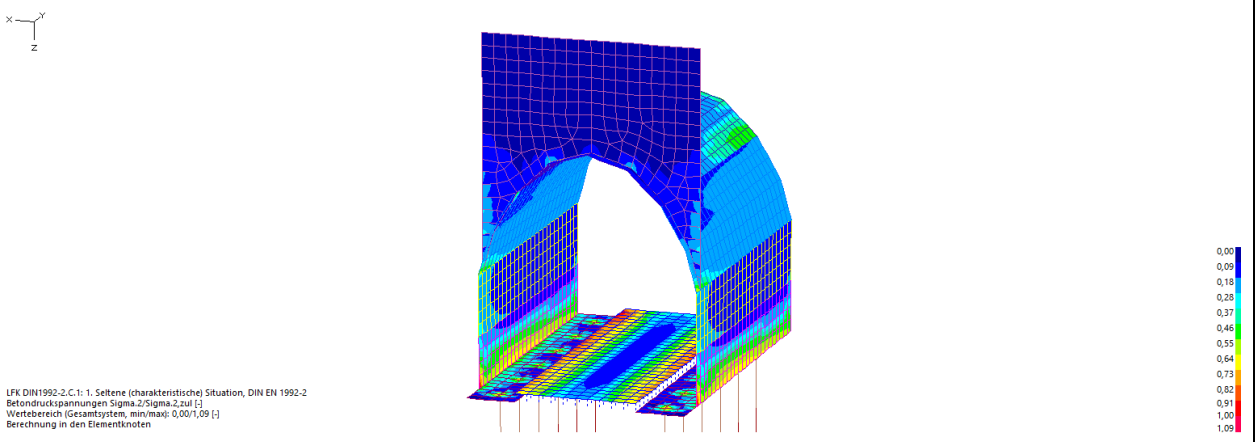


Abbildung 21: Verhältniswert der Betondruckspannungen $\sigma_{Max}/\sigma_{zul}$ InfoCAD

Die Betondruckspannungen unterschreiten im gesamten Tragwerk die zulässigen Betondruckspannungen von $\sigma_{zul} = 0{,}85 \cdot 35/1{,}5 = 19{,}8$ N/mm².

An den Schnittstellen zwischen Stab und Flächenlast kommt es vereinzelt zu Überschreitungen der Betondruckspannungen, welche auf die FE-Modellierung zurückzuführen sind. Diese Spannungsspitzen sind als nicht kritisch zu betrachten.

5.2 Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit erfolgen programmintern nach DIN EN 1992-1-2 (siehe Anlage 1 und 2: Druckliste InfoCAD). Das Gewölbe wird als annähernd unnachgiebig angenommen. Auf der sicheren Seite wurde der erhöhte aktive Erddruck angesetzt.

5.3 Durchstanzen

Unmittelbar neben den Bohrpfählen befinden sich innerhalb des Durchstanzkegels im Bereich von a = 2 · d = 2 · 1,135 m = 4,3 m aufgehende Wände. Da sich dadurch eine Entlastung durch die gegen Boden drückenden Lasten ergibt, ist kein Durchstanzen zu erwarten.

5.4 Benötigte Bewehrung

Die 1. Lage der Bewehrung befindet sich auf der Luftseite und die 2. Lage der Bewehrung befindet sich erdseitig.

Die erforderlichen Bewehrungsmengen können in die zugehörigen Querschnitte eingebaut werden. Die genauen Bewehrungsmengen sind dem InfoCAD-Ausdruck zu entnehmen.

5.4.1 Querkraftbewehrung der Bohrpfähle

Hinweis: Durch die vereinfachte Modellierung des Tragwerks mittels finiter Elemente, kommt es zu Singularitäten an den einspringenden Ecken. Bei einer Verfeinerung des FE-Netzes würden diese Spannungsspitzen entfallen. Da in den umliegenden Bereichen die zulässigen Spannungen weit unter dem Grenzwert liegen, sind diese Grenzwertüberschreitungen als nicht kritisch zu betrachten. Daher bilden auch die sehr hohen Bewehrungsmengen an den einspringenden Ecken nicht die tatsächlich benötigten Bewehrungsgrade ab.

Bei der Bemessung der Querkraftbewehrung kommt es zu Überschreitungen des Bemessungswiderstands der Querkraft an den Verbindungsknoten zwischen Bohrpfahl und Pfahlkopfplatte. Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit wird bei einer unmittelbaren Stützung im Abstand d = 1,135 m vom Auflagerrand geführt. Wie aus hervorgeht ist im Abstand d der Bemessungswiderstand der Betondruckstreben stets eingehalten.

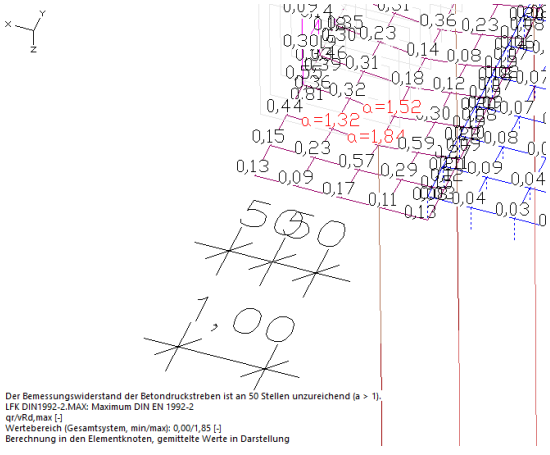


Abbildung 22: Bemessungswiderstand der Betondruckstreben q_r / $v_{Rd,max}$ [InfoCAD]

5.4.2 Verankerungslänge der Bohrpfähle

Die Verankerungslänge der Längsbewehrung wird gemäß DIN EN 1992-1-1 8.4 berechnet.

Bemessungswert der Verbundfestigkeit bei gutem Verbund und $\phi < 32$ mm:

$f_{bd} = 3{,}37$ N/mm²

Grundwert der Verankerungslänge: $l_{b,rqd} = (\phi / 4) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd})$

$l_{b,rqd} = 20 / 4 \cdot 435 / 3{,}37 = 645$ mm

Bemessungswert der Verankerungslänge: $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$

Beiwert der Verankerungsart für gerades Stabende: $\alpha_1 = 1{,}0$ –

Beiwert der Mindestbetondeckung: $\alpha_2 = 1{,}0$ –

Faktor bei nicht angeschweißter Querbewehrung: $\alpha_3 = 1{,}0$ –

Beiwert für angeschweißte Querstäbe: $\alpha_4 = 1{,}0$ –

Beiwert für Querdruck: $\alpha_5 = 1{,}0$ –

Bemessungswert der Verankerungslänge: $l_{bd} = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 645 = 645$ mm

Mindestmaß bei Druckstäben: $l_{b,min} \geq \max \{0{,}6 \cdot l_{b,rqd}; 10 \phi; 100 \text{ mm}\}$

$l_{b,min} \geq \max \{0{,}3 \cdot 645 \text{ mm} = 387 \text{ mm}; 10 \cdot 20 \text{ mm} = 200 \text{ mm}; 100 \text{ mm}\} = 387$ mm

Benötigte Verankerungslänge: $l_{bd} = 645$ mm

Vorhandene Verankerungslänge: $l_{vorh} = 1{,}2 \text{ m} – 0{,}055 \text{ m} = 1{,}145$ m

Nachweis erfüllt: $l_{bd} \leq l_{vorh}$

5.5 Nachweise der Pfahlgründung

5.5.1 Allgemeines

Die resultierenden Pfahlwiderstände sind Tabelle 33 zu entnehmen:

Widerstand der Mantelreibung	$R_{s,k,ges}$	4,0	MN
Widerstand des Spitzendrucks	$R_{b,k,ges}$	2,3	MN
Gesamt-Pfahlwiderstand	$R_{k,ges}$	6,3	MN
Gesamt-Pfahlwiderstand im GzT	$R_{d,ges}$	4,5	MN

Tabelle 33: Gesamt-Bodenwiderstände für Pfähle

Der für die Berechnung angenommene Pfahlquerschnitt ist in Abbildung 23 dargestellt:

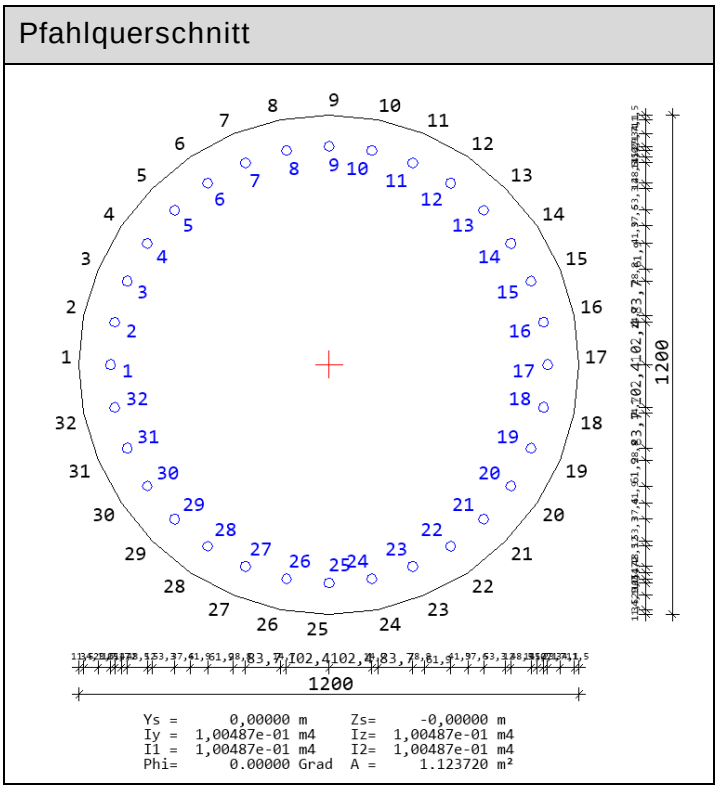


Abbildung 23: Querschnitt Bohrpfahl, InfoCAD

5.5.2 Innere Tragfähigkeit der Pfähle

Die Pfähle werden im Grenzzustand der Tragfähigkeit in der ständigen und vorübergehenden Kombination (‘Bruchbemessung‘) und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit mit einer Rissbreitenbeschränkung w_k = 0,2 mm (Stabdurchmesser 20 mm) in der häufigen Kombination nach DIN EN 1992-2, Tabelle 7.102DE nachgewiesen.

Nachfolgend wird der erforderliche Bewehrungsgrad aus der ‘Bruchbemessung‘ und dem Nachweis zur Beschränkung der Rissbreite ausgegeben, siehe Abbildung 24:

Längsbewehrung

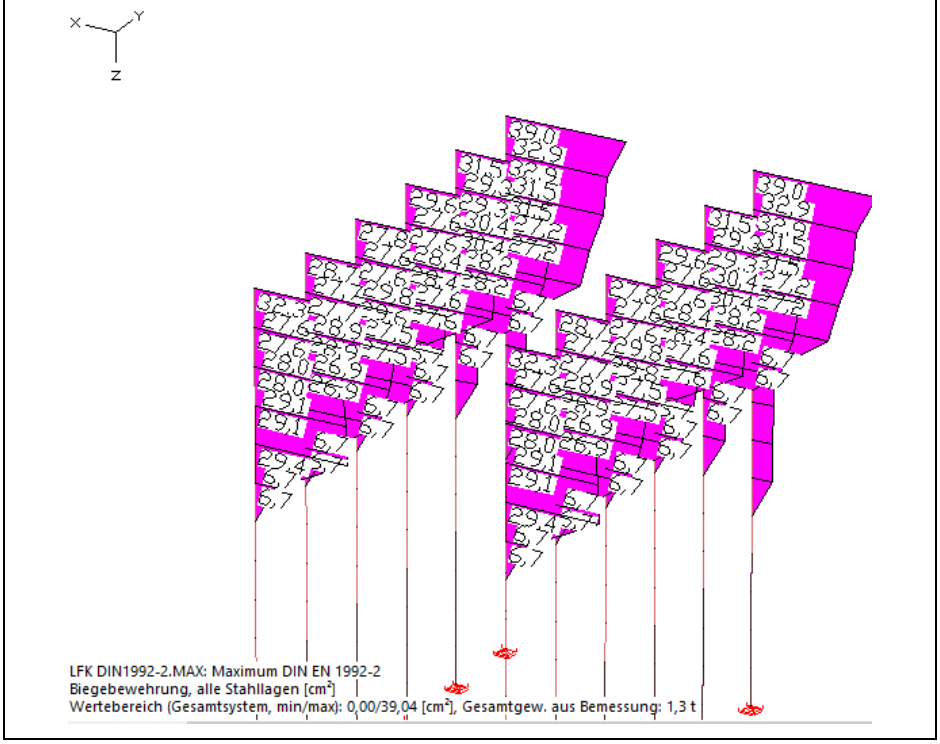


Abbildung 24: Erforderliche Längsbewehrung, InfoCAD

Erforderliche Längsbewehrung: $A_{s,erf}$ = 39,0 cm²

a_s = 39,0 / [π · (1,2 – 2 · 0,085)] = 12,1 cm²/m

Gewählt: Ø 20/20 $a_{s,vorh}$ = 15,7 cm²/m

Die erforderliche Schubbewehrung der Pfähle ist in Abbildung 25 dargestellt:

Schubbewehrung

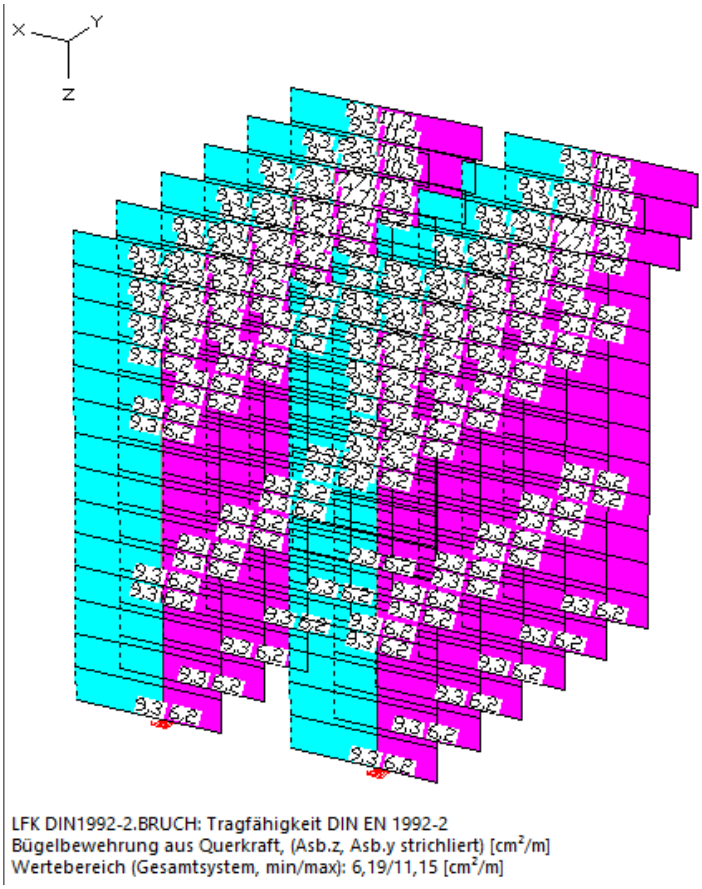


Abbildung 25: Erforderliche Schubbewehrung, InfoCAD

Erforderliche Schubbewehrung: $a_{s,erf}$ = 11,2 cm²/m

Gewählt: Wendelbewehrung Ø 10/12,5 $a_{s,vorh}$ = 12,6 cm²/m

5.5.3 Äußere Tragfähigkeit

Die Einleitung der Kräfte in den Baugrund erfolgt nach DIN 1054. Die Einwirkungen werden mit den Teilsicherheitsbeiwerten der Bemessungssituation BS-P im Grenzzustand des Versagens von Baugrund ermittelt.

Der Pfahlwiderstand $R_{z,d}$ = 4,5 MN wurde in Tabelle 33 ermittelt. Die maximalen Auflagerreaktionen sind in Abbildung 26 dargestellt:

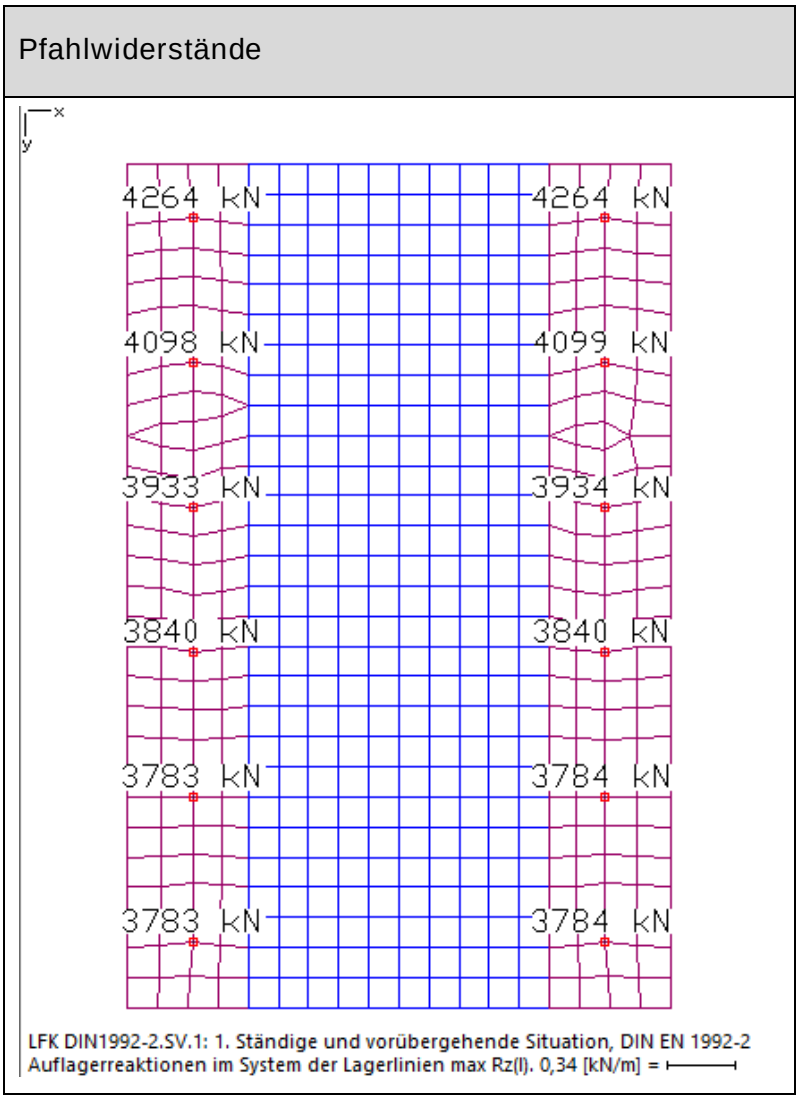


Abbildung 26: Auflagerreaktionen $R_{z,d,Max}$, InfoCAD

Nachweis erfüllt: $R_{z,d,Max}$ = 4,3 MN ≤ $R_{z,d,zul}$ = 4,5 MN

5.5.4 Nachweis des ausreichenden Bodenwiderstands

Zur Kontrolle müssen die seitlichen Bodenpressungen mit dem Erdwiderstand verglichen werden. Der Erdwiderstand wird aus den angegebenen Bodenkennwerten und einem passiven Wandreibungswinkel von $\delta = -2/3\ \phi$ berechnet. Die Erddruckbeiwerte ergeben sich nach DIN 4085 und DIN EN 1997-1 wie folgt:

Reibungswinkel für alle Schichten $\phi_k' = 25°$

Passiver Erddruckbeiwert: k_{pgh} = 3,5573

k_{pch} = 4,3297

Oberhalb von 160 mNN

Bodenwichte: γ ' = 11 kN/m³

Kohäsion: c = 2 kN/m²

Unterhalb von 160 mNN

Bodenwichte: γ ' = 12 kN/m³

Kohäsion: c = 10 kN/m²

Berechnung des Erdwiderstands: $e_{pgh} = (k_{pgh} \cdot h \cdot \gamma' + c \cdot k_{pch}) \cdot D$

Annahme: Erdwiderstand und Bettung werden erst ab Pfahl-OK angesetzt.

Die Bettungsreaktionen zeigt Abbildung 27:

Bettungsreaktionen

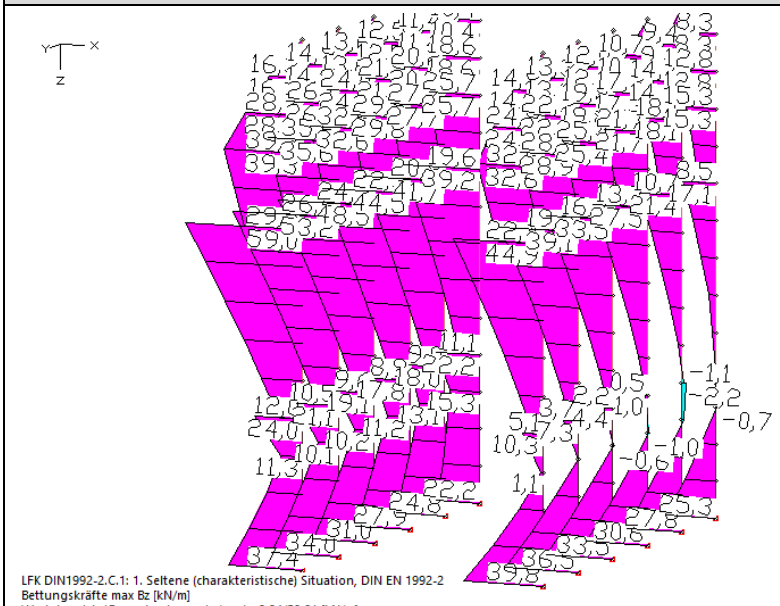


Abbildung 27: Bettungsreaktionen $B_{z,k,Max}$, InfoCAD

Oberhalb von 160 mNN

h_1 = 0 m	$E_{pgh,1}$ = 10,4 kN/m	$B_{z,k}$ = 0 kN/m
h_2 = 1 m	$E_{pgh,2}$ = 57,3 kN/m	$B_{z,k}$ = 16,3 kN/m
h_3 = 2 m	$E_{pgh,3}$ = 104,3 kN/m	$B_{z,k}$ = 28,7 kN/m
h_4 = 5 m	$E_{pgh,4}$ = 245,2 kN/m	$B_{z,k}$ = 29,0 kN/m

Unterhalb von 160 mNN

h_5 = 5 m	$E_{pgh,5}$ = 308,1 kN/m	$B_{z,k}$ = 59,0 kN/m
h_6 = 14,5 m	$E_{pgh,6}$ = 794,7 kN/m	$B_{z,k}$ = 39,8 kN/m

Gemäß EA Pfähle 6.3.2 muss nachgewiesen werden, dass entlang des Pfahlschaftes, besonders nahe der Geländeoberfläche, die charakteristische Normalspannung zwischen Pfahl und Boden den im ebenen Fall berechneten Wert der charakteristischen passiven Erdwiderstandsspannung nicht überschreitet.

Nachweis erfüllt: $E_{ph} > B_{z,k}$

Die Bettungskräfte in y-Richtung sind überall kleiner als in z-Richtung. $B_{y,k}$ ist dem InfoCAD-Ausdruck zu entnehmen.

Zudem muss gemäß EA Pfähle 6.3.2 nachgewiesen werden, dass der seitliche Bodenwiderstand BM nicht größer angesetzt worden ist als es der Bemessungswert des räumlichen Erdwiderstandes für den entsprechenden Teil der Einbindetiefe bis zum Drehpunkt (Verschiebungsnullpunkt) zulässt:

Integral des Erdwiderstandes E_{pgh} = 5877 kN

Integral der Bettungsreaktion $B_{y,k}$ = 542 kN

Das Integral der Bettungsreaktion ist kleiner als das Integral des Erdwiderstands.

5.5.5 Nachweis der horizontalen Verschiebung

Nachweis der horizontalen Verschiebung gemäß DIN 1054:2010-12, zu 7.7.3 A (3), womit die Voraussetzung zur Anwendung der Gl. (4-2) gegeben ist:

Die horizontalen Pfahlkopfverschiebungen sind Abbildung 28 zu entnehmen:

Pfahlkopfverschiebung

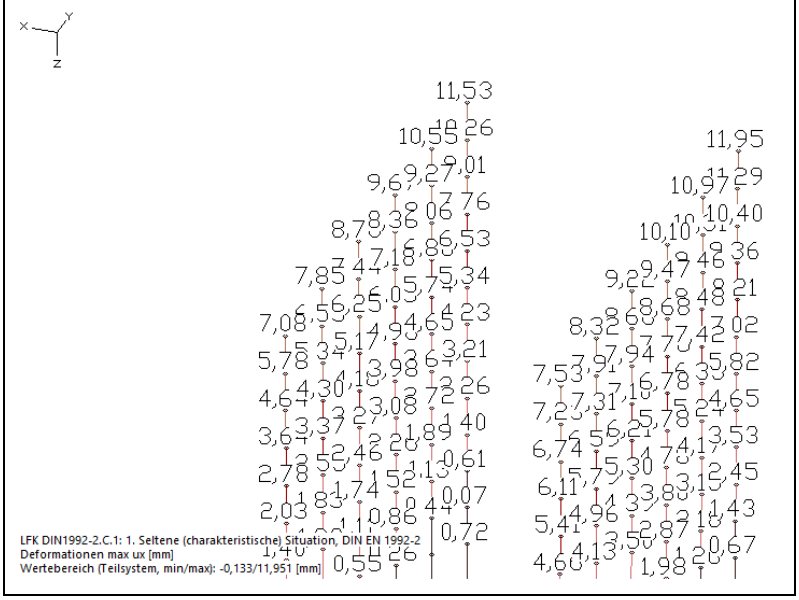


Abbildung 28: Verschiebungen $u_{x,k,Max}$, InfoCAD

Nachweis erfüllt: $u_{x,k}$ = 12,0 mm ≤ min { 0,03 · D = 0,03 · 1200 = 36 mm; 20 mm }

Die horizontalen Verschiebungen in y-Richtung unterschreiten die horizontalen Verschiebungen in x-Richtung und sind dem InfoCAD-Ausdruck zu entnehmen.

5.1 Nachweise im Erdbebenfall

5.1.1 Nachweis der Summe der effektiven modalen Massen

Gemäß DIN 4249:2005-04 6.2.3.1 (5) muss überprüft werden, ob für die berücksichtigten Schwingungsformen mindestens 90% der Gesamtmasse aktiviert wurden.

Die Summen der effektiven modalen Massen der ersten 15 Eigenformen sind Abbildung 29 zu entnehmen.

Effektive modale Massen

Effektive modale Massen (global)

Eigenform	Mx eff [t]	My eff [t]	Mz eff [t]
1	2597,204	0,000	0,000
2	0,000	2620,228	2,910
3	8,242	0,000	0,000
4	0,000	21,724	2387,728
5	0,000	99,897	236,831
6	118,726	0,000	0,000
7	16,601	0,000	0,000
8	0,000	1,979	105,887
9	2,142	0,000	0,000
10	0,000	0,006	0,056
11	0,000	0,235	5,265
12	0,913	0,000	0,000
13	0,022	0,000	0,000
14	0,000	0,008	4,410
15	0,010	0,000	0,000
Summe:	2743,861	2744,075	2743,086
Anteil der Gesamtmasse:	100 [%]	100 [%]	100 [%]

Abbildung 29: Effektive modale Massen Ausgabe Infograph – Erdbeben

Die Summe der effektiven modalen Massen beträgt in alle 3 Richtungen mehr als 90% der Gesamtmasse.

Somit kann gezeigt werden, dass die Summe der effektiven modalen Massen für alle Schwingungsformen gleich der Masse des Tragwerks ist.

5.2 Nachweis der Ermüdung für Straßenverkehr

5.2.1 Beton

Der Ermüdungsnachweis für Beton erfolgt programmintern nach der DIN EN 1992-1-1, 6.8.7.

In Abbildung 30 und Abbildung 31 sind die Ausnutzungsgrade in der Fahrbahnplatte bei einer Ermüdungsbeanspruchung für Beton unter Längsdruck in x- und y-Richtung dargestellt:

Ermüdung Beton unter Längsdruck x-Richtung

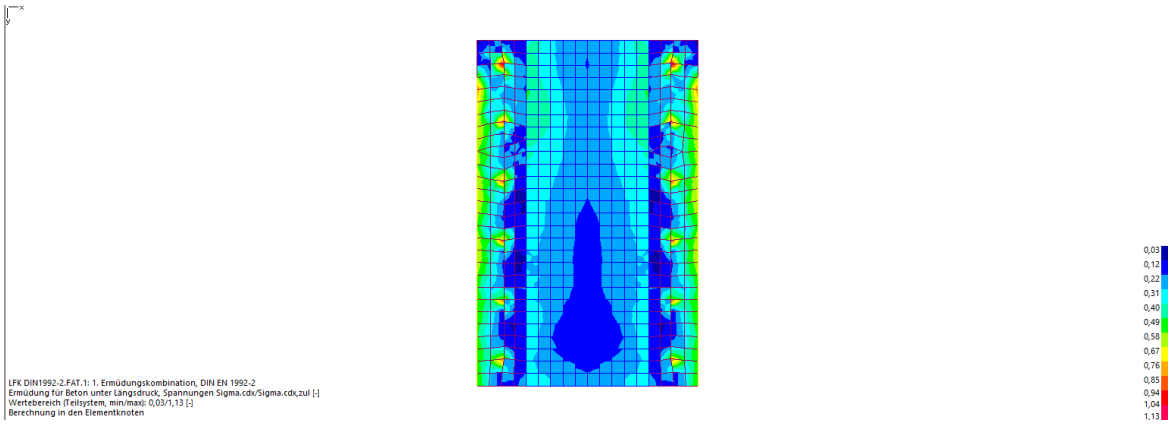


Abbildung 30: Ermüdung Beton σ_{cdx} / $\sigma_{cdx,zul}$, InfoCAD

Ermüdung Beton unter Längsdruck y-Richtung

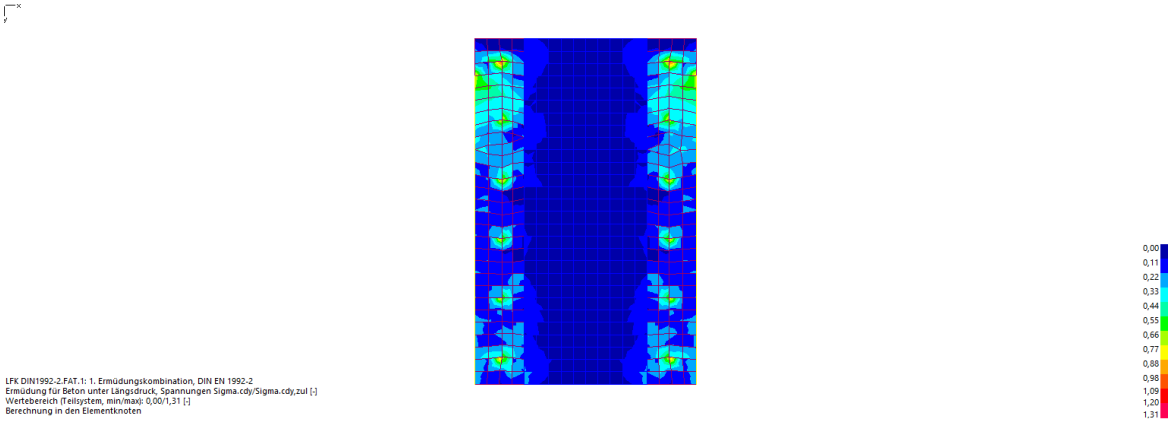


Abbildung 31: Ermüdung Beton σ_{cdy} / $\sigma_{cdy,zul}$, InfoCAD

Die Überschreitungen der zulässigen Spannungen in den Eckbereichen sind zu vernachlässigen, da aus Abbildung 32 hervorgeht, dass in den angrenzenden Knoten die Ausnutzung geringer ist.

Ermüdung Beton unter Längsdruck

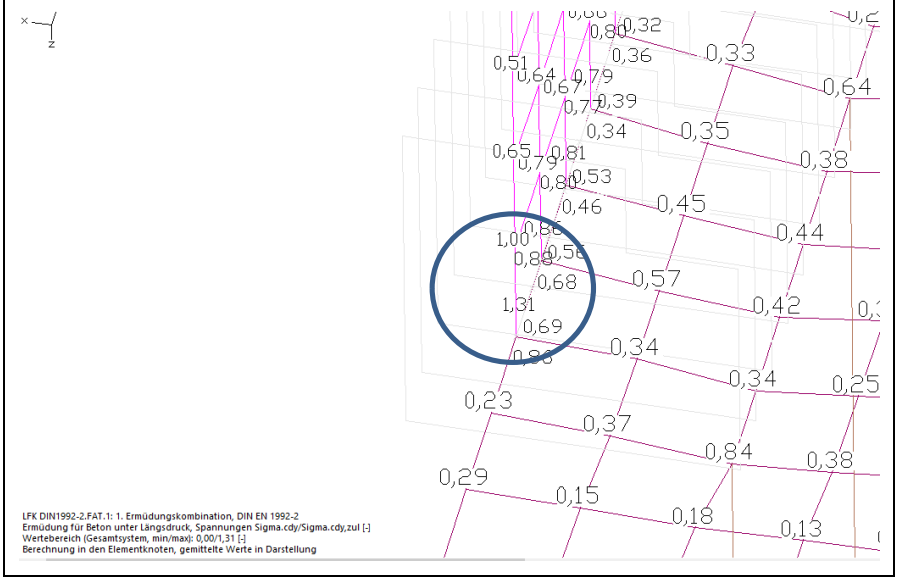


Abbildung 32: Ermüdung Beton, InfoCAD - Spannungsspitzen

5.2.2 Betonstahl

Der Ermüdungsnachweis für Betonstahl erfolgt programmintern nach der DIN EN 1992-1-1, 6.8.4.

In Abbildung 33 und Abbildung 34 sind die Ausnutzungsgrade bei einer Ermüdungsbeanspruchung in der Längsbewehrung für die x- und y-Richtung dargestellt:

Ermüdung Betonstahl Längsbewehrung x-Richtung

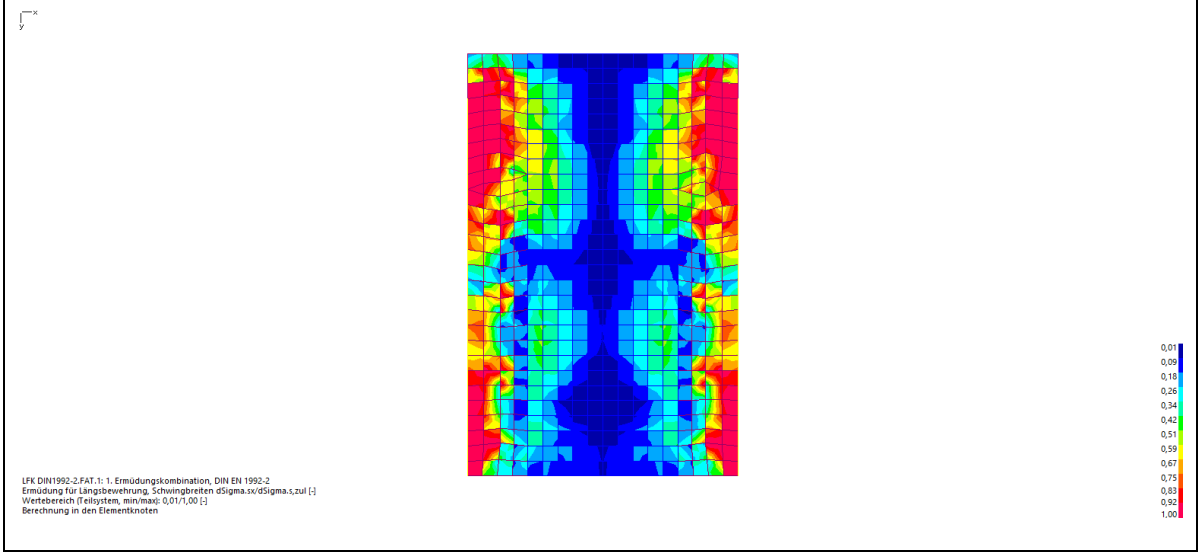


Abbildung 33: Ermüdung Betonstahl σ_{sdx} / $\sigma_{sdx,zul}$, InfoCAD

Ermüdung Betonstahl Längsbewehrung y-Richtung

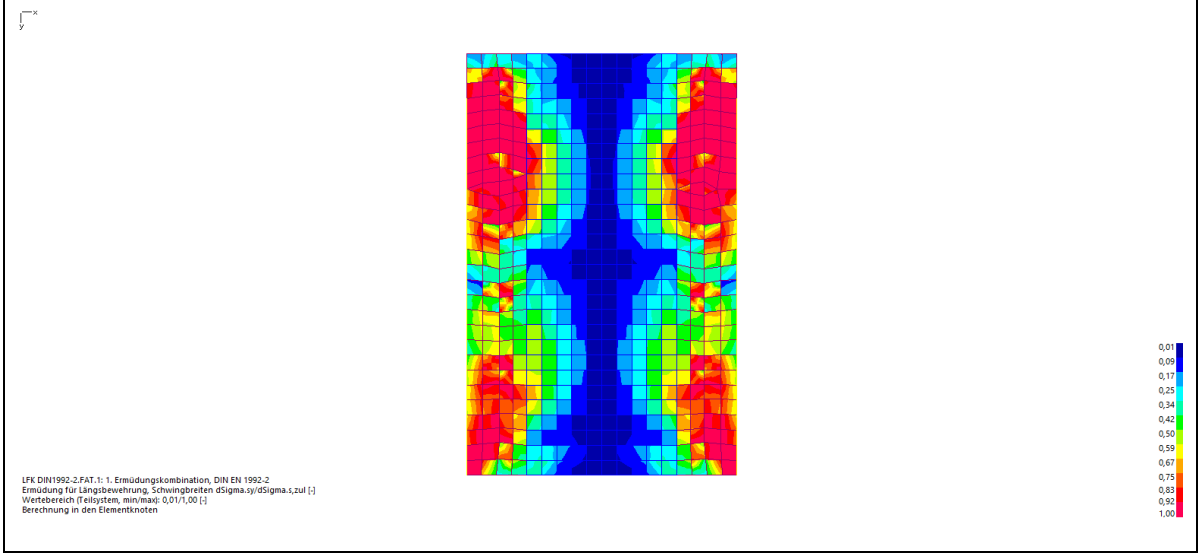


Abbildung 34: Ermüdung Betonstahl σ_{sdy} / $\sigma_{sdy,zul}$, InfoCAD

Der Nachweis der Ermüdung ist für die Längsbewehrung an allen Stellen erfüllt.

In Abbildung 35 ist die Ausnutzung des Betonstahls bei einer Ermüdungsbeanspruchung in der Fahrbahnplatte dargestellt.

Ermüdung Betonstahl Schubbewehrung

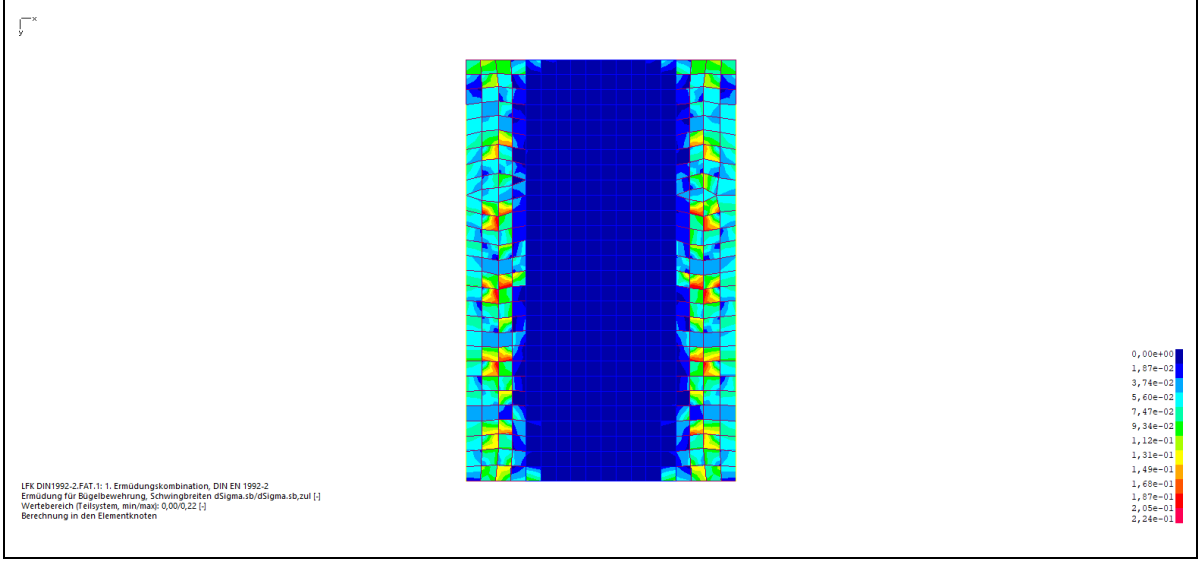


Abbildung 35: Ermüdung Betonstahl σ_{sb} / $\sigma_{sb,zul}$, InfoCAD

Der Nachweis der Ermüdung ist für die Schubbewehrung an allen Stellen erfüllt.

Die Ausführliche Ergebnisliste befindet sich im Anhang.

Anlage 1: InfoCAD-Druckliste

INHALT

Inhalt 1

1. System
Text 4

Eingabedaten
Querschnittswerte 5
Bemaßung_Gesamt 7
Bemaßung_Gesamt 8
Bemaßung_Gesamt 9
Querschnittsnummern 10

Querschnittspolygone
9 : Bohrpfahl - 1. Bodenschicht 10
10 : Bohrpfahl - 1. Bodenschicht 11
11 : Bohrpfahl - 1. Bodenschicht 12
13 : Bohrpfahl - 1. Bodenschicht 13
15 : Bohrpfahl - 1. Bodenschicht 14
16 : Bohrpfahl - 1. Bodenschicht 14
Materialkennwerte 15
Bettung 15
Stabbettung [MN/m³] 17
Festhaltungen 17
Lastfallbezeichnungen 18
Lastfallkombination 1, Erddruck LM71 Gleis 1 max 18
Lastfallkombination 2, Erddruck LM71 Gleis 1 min 19
Lastfallkombination 4, Erddruck LM1 Gleis 2 max 19
Lastfallkombination 5, Erddruck LM71 Gleis 2 min 19
Lastfallkombination 6, Ständige Lasten 19
Lastfallkombination 7, Temperatur 1 19
Lastfallkombination 8, Temperatur 2 19
Lastfallkombination 9, Temperatur 3 19
Lastfallkombination 10, Temperatur 4 20
Lastfallkombination 11, Temperatur 5 20
Lastfallkombination 12, Temperatur 6 20
Lastfallkombination 13, Temperatur 7 20
Lastfallkombination 14, Temperatur 8 20
Lastfallkombination 16, Erddruck LM71 Gleis 1 20
Lastfallkombination 17, Erddruck LM71 Gleis 2 20
Lastfallkombination 20, Seitenstoß G1 20
Lastfallkombination 21, Seitenstoß G2 21
Lastfallkombination 25, Anfahren/Bremsen G1 21
Lastfallkombination 26, Anfahren/Bremsen G2 21
Lastfallkombination 31, LM71 Gleis 1 21
Lastfallkombination 32, LM71 Gleis 2 21
Lastfallkombination 33, LM71 Gleis 1 ohne alpha 21
Lastfallkombination 100, LM71 + alpha + ständige Lasten 21
Lastfallkombination 101, Eisenbahnlast + alpha + ständige Lasten 22
Lastfallkombination 200, gr11 G1 22
Lastfallkombination 201, gr11 G2 22
Lastfallkombination 202, gr12 G1 22
Lastfallkombination 203, gr12 G2 22
Lastfallkombination 204, gr21 22
Lastfallkombination 205, gr 22 22

Lastfallkombination 206, Eisenbahnlast ohne alpha 23
Lastfallkombination 207, Eisenbahnlast mit alpha 23
Lastfallkombination 300, Eisenbahnlasten gesamt 23
Lastfallkombination 301, Temperatur gesamt 23
Lastfallkombination 302, Erddruck LM71 23
Lastfallkombination 303, LM1 Straße Flächenlast 23
Lastfallkombination 400, Erdbeben 1 24
Lastfallkombination 401, Erdbeben 2 24
Liste der Kombinationen 25
Lastsummen 26
Systemkenngrößen 30

2. Belastung
Text 31
1 : Eigenlast 32
11 : Bestand 33
12 : Überschüttung 34
13 : Fahrbahn Züge 35
14 : ständiger Erddruck Brücke 36
16 : ständiger Erddruck Stützwand 37
18 : Fahrbahn Straße 38
21 : LM71 G1 voll 39
22 : LM71 G1 re 40
23 : LM71 G1 li 41
24 : LM71 G2 voll 42
25 : LM71 G2 re 43
26 : LM71 G2 li 44
31 : Erddruck LM71 G1 max 45
32 : Erddruck LM71 G1 min 46
33 : Erddruck LM71 G1 max 47
34 : Erddruck LM71 G1 min 48
35 : Erddruck LM71 G2 max 49
36 : Erddruck LM71 G2 min 50
37 : Erddruck LM71 G2 min 51
38 : Erddruck LM71 G2 max 52
41 : Erddruck LM71 G1 Stützwand 53
42 : Erddruck LM71 G2 Stützwand 54
50 : Seitenstoß G1 voll 55
51 : Seitenstoß G1 halb 56
52 : Seitenstoß G1 halb 57
53 : Seitenstoß G2 voll 58
54 : Seitenstoß G2 halb 59
55 : Seitenstoß G2 halb 60
61 : LM Gehweg 61
64 : LM1 FL 1 .....

62
65 : LM1 FL 2 63
66 : LM1 Doppelachslast 1 64
67 : ELM3 65
70 : Anfahren/Bremsen G1 66
72 : Anfahren/Bremsen G2 67
81 : Temp. konst. + ... 68
82 : Temp. konst. - 69
83 : Temp. var. oben + ... 70
84 : Temp. var. unten + ... 71

Dynamik
Berechnungsvorgaben Dynamik 72
Punktmassen 73
Massen aus Lastfällen erzeugen 74
Knotenbeschleunigungen ..... -

Modale Zeitschrittintegration
Modale Dämpfung ..... -
Knotenbezogene Last-Zeit-Verläufe ..... -

Direkte Zeitschrittintegration
Rayleigh'sche Dämpfung ..... -
Viskose Einzeldämpfer ..... -
Knotenbezogene Last-Zeit-Verläufe ..... -

Stationärer Response
Erregerfrequenzbereich Response ..... -
Modale Dämpfung ..... -

90 : Randweg Besich. 75

3. Kombinationen
Text 76
Einwirkungen DIN EN 1992-2 Brückennachweise 77
Bemessungsvorgaben DIN EN 1992-2 81

4. Nachweise
Text 86

Verformung
Text 87
Deformationen uz max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2 88
Deformationen uy min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2 89
Deformationen ux max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2 90
Deformationen phi.y min; LFK K31, LM71 Gleis 1 91
Deformationen phi.y min; LFK K301, Temperatur gesamt 92
Deformationen uz max; LFK K206, Eisenbahnlast ohne alpha 93
Deformationen uz max; LFK K33, LM71 Gleis 1 ohne alpha 94
Deformationen uy min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2 95
Deformationen ux max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2 96

Bewehrung
Biegebewehrung as 1. Lage; Maximum DIN EN 1992-2 97
Biegebewehrung as 2. Lage; Maximum DIN EN 1992-2 98

Bügelbewehrung asb; Tragfähigkeit DIN EN 1992-2 99
Biegebewehrung As; Maximum DIN EN 1992-2 100
Bügelbewehrung Asb.y,z; Tragfähigkeit DIN EN 1992-2 101
Biegebewehrung As; Maximum DIN EN 1992-2 102
Asb.y,z; Tragfähigkeit DIN EN 1992-2 103

Betondruckspannungen
Sigma.2/Sigma.2,zul; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2 104

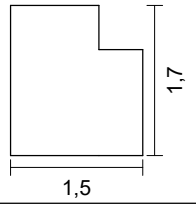
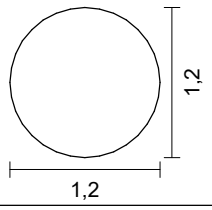
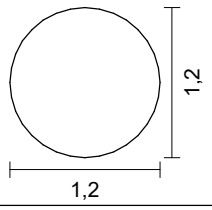
Bettungsreaktion
Bettungskräfte By max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2 105
Bettungskräfte By min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2 106
Bettungskräfte Bz max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2 107
Bettungskräfte Bz min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2 108

Auflagerreaktionen
Auflagerreaktionen Rz max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-2 109

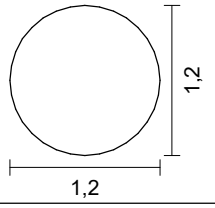
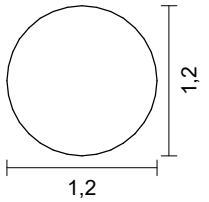
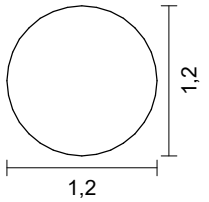
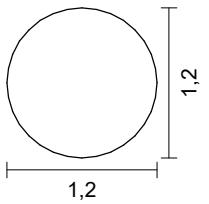
Ermüdung
Sigma.cdx/Sigma.cdx,zul; 1. Ermüdungskombination, DIN EN 1992-2 110
Sigma.cdy/Sigma.cdy,zul; 1. Ermüdungskombination, DIN EN 1992-2 111
dSigma.sx/dSigma.s,zul; 1. Ermüdungskombination, DIN EN 1992-2 112
dSigma.sy/dSigma.s,zul; 1. Ermüdungskombination, DIN EN 1992-2 113
dSigma.sb/dSigma.sb,zul; 1. Ermüdungskombination, DIN EN 1992-2 114

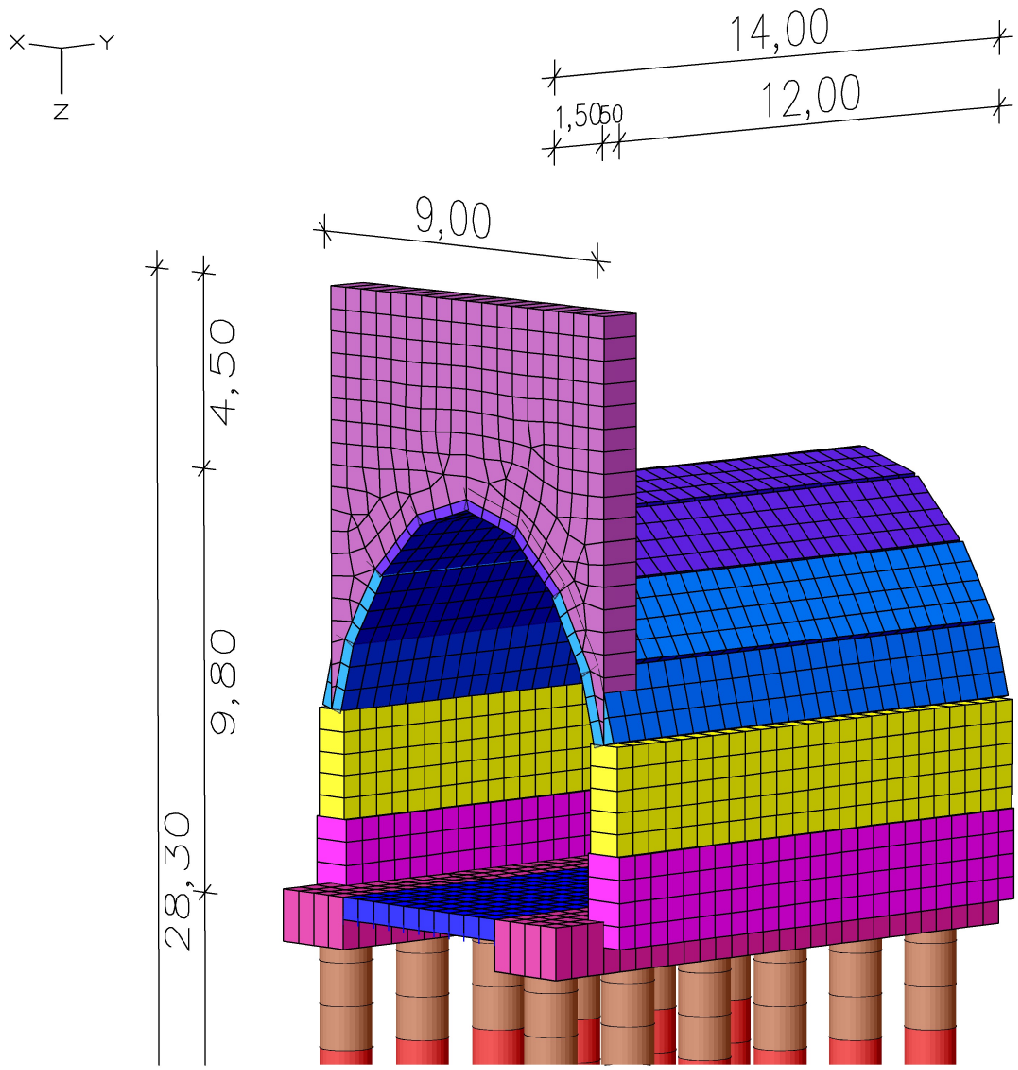
1. Systemeingaben des FE-Modells

Querschnittswerte

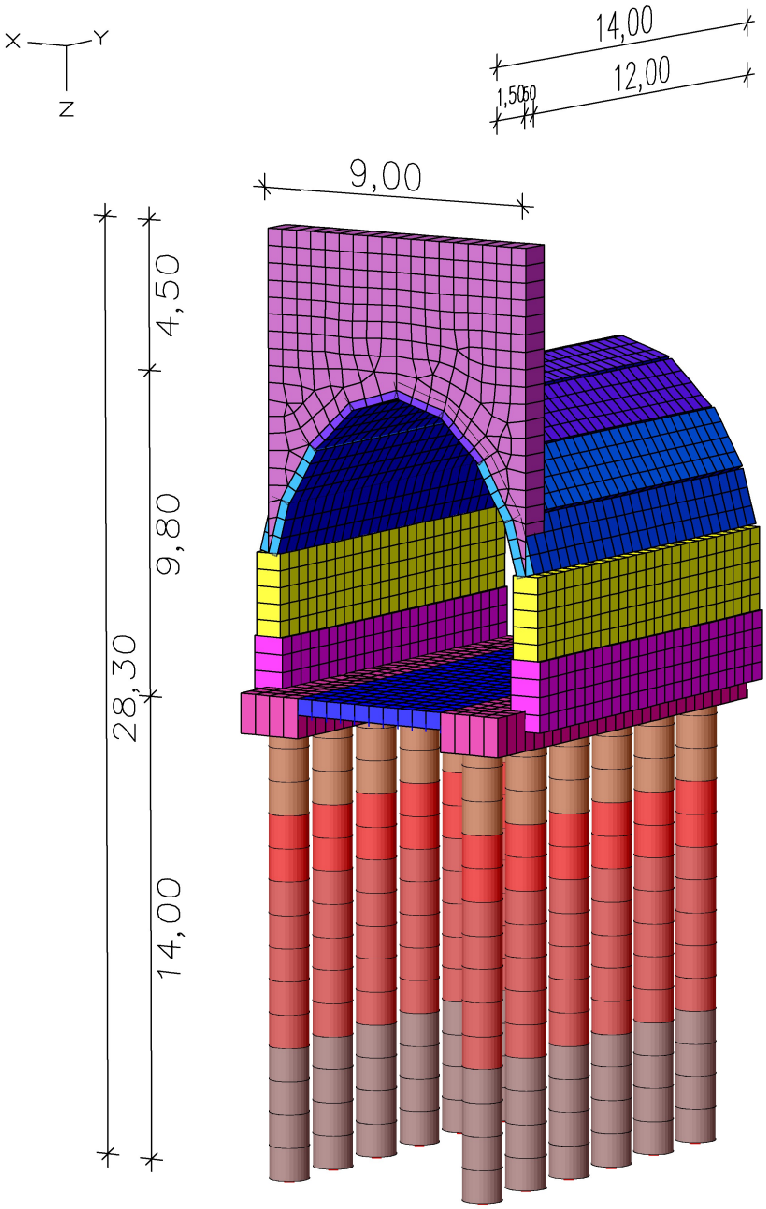
1	Fläche	Mittelplatte Elementdicke [m] dz = 0,5000 drillsteif Orthotropie dzy/dz = 1 E-Modul Platte/Scheibe = 1
4	Fläche	Bogen unten - 0,85m Elementdicke [m] dz = 0,8500 drillsteif Orthotropie dzy/dz = 1 E-Modul Platte/Scheibe = 1
5	Fläche	Bogen mittig Elementdicke [m] dz = 0,6200 drillsteif Orthotropie dzy/dz = 1 E-Modul Platte/Scheibe = 1
6	Fläche	Bogen oben Elementdicke [m] dz = 0,5000 drillsteif Orthotropie dzy/dz = 1 E-Modul Platte/Scheibe = 1
8	Polygon  	Bemessungsobjekt Schwerpunkt [m] ys = 0,196 zs = -0,185 Fläche [m²] A = 2,3000e+00 Trägheitsmomente [m4] Ix = 1,0000e-06 Iy = 5,0913e-01 I1 = 5,5485e-01 Iz = 4,0362e-01 I2 = 3,5790e-01 Hauptachsenwinkel [Grad] Phi = -28,804 Iyz = 8,3152e-02 Mittelung der Querkraft-Schubspannungen über die Qu.-breite
9	Polygon  	Bohrpfahl - Schluff 3m Schwerpunkt [m] ys = 0,000 zs = -0,000 Fläche [m²] A = 1,1237e+00 Trägheitsmomente [m4] Ix = 1,0000e-06 Iy = 1,0049e-01 I1 = 1,0049e-01 Iz = 1,0049e-01 I2 = 1,0049e-01 Hauptachsenwinkel [Grad] Phi = 0,000 Iyz = 0,0000e+00 Mittelung der Querkraft-Schubspannungen über die Qu.-breite
10	Polygon  	Bohrpfahl - Schluff Schwerpunkt [m] ys = 0,000 zs = -0,000 Fläche [m²] A = 1,1237e+00 Trägheitsmomente [m4] Ix = 1,0000e-06 Iy = 1,0049e-01 I1 = 1,0049e-01 Iz = 1,0049e-01 I2 = 1,0049e-01 Hauptachsenwinkel [Grad] Phi = 0,000 Iyz = 0,0000e+00 Mittelung der Querkraft-Schubspannungen über die Qu.-breite

Querschnittswerte

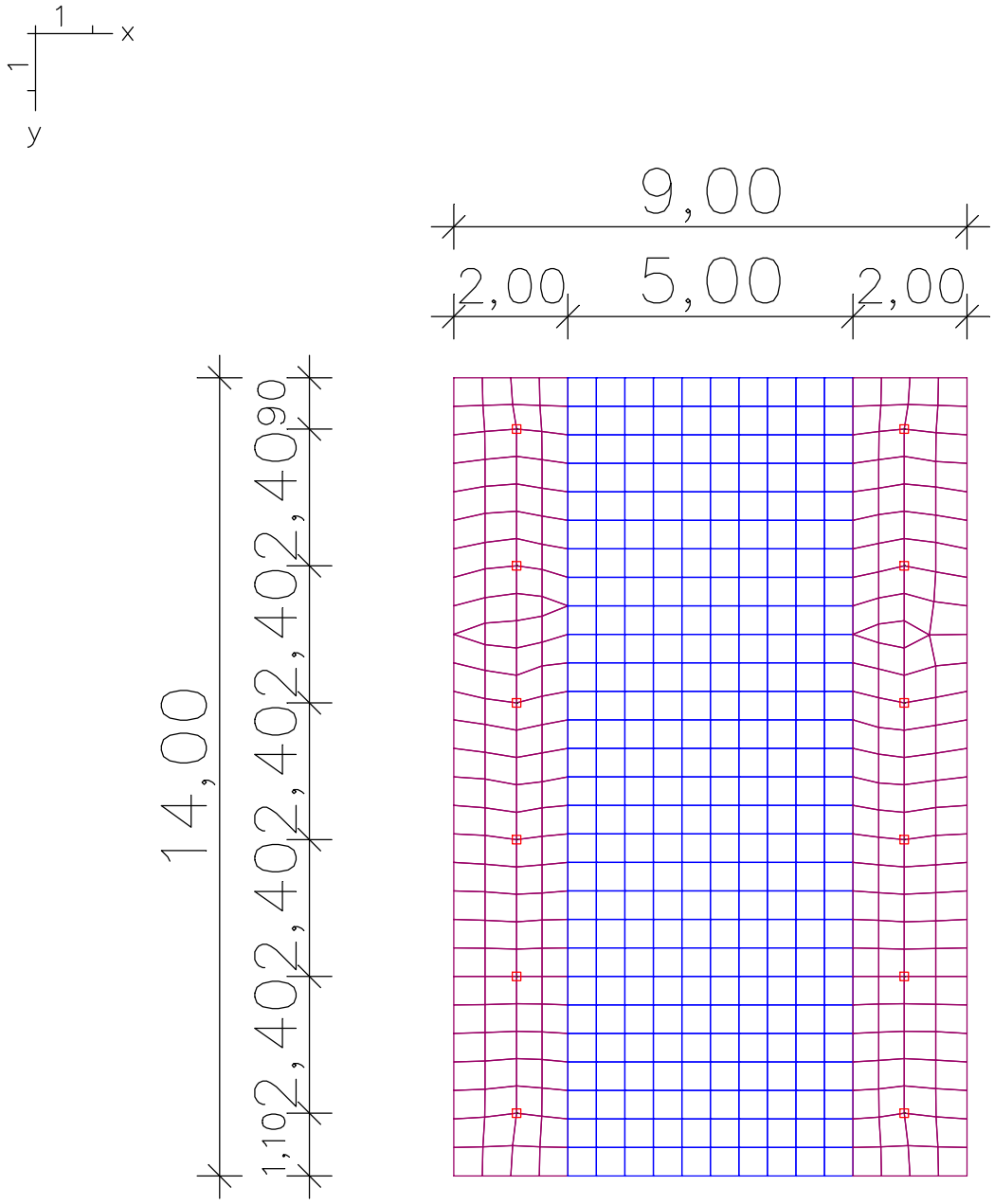
11	Polygon 	Bohrpfahl - Schluff 1m Schwerpunkt [m] ys = 0,000 zs = -0,000 Fläche [m²] A = 1,1237e+00 Trägheitsmomente [m4] Ix = 1,0000e-06 Iy = 1,0049e-01 I1 = 1,0049e-01 Iz = 1,0049e-01 I2 = 1,0049e-01 Hauptachsenwinkel [Grad] Phi = 0,000 Iyz = 0,0000e+00 Mittelung der Querkraft-Schubspannungen über die Qu.-breite
12	Fläche	Parallelstützwand Elementdicke [m] dz = 1,0000 drillsteif Orthotropie dzy/dz = 1 E-Modul Platte/Scheibe = 1
13	Polygon 	Bohrpfahl - Tonstein (3.2) Schwerpunkt [m] ys = 0,000 zs = -0,000 Fläche [m²] A = 1,1237e+00 Trägheitsmomente [m4] Ix = 1,0000e-06 Iy = 1,0049e-01 I1 = 1,0049e-01 Iz = 1,0049e-01 I2 = 1,0049e-01 Hauptachsenwinkel [Grad] Phi = 0,000 Iyz = 0,0000e+00 Mittelung der Querkraft-Schubspannungen über die Qu.-breite
15	Polygon 	Bohrpfahl - Schluff 2m Schwerpunkt [m] ys = 0,000 zs = -0,000 Fläche [m²] A = 1,1237e+00 Trägheitsmomente [m4] Ix = 1,0000e-06 Iy = 1,0049e-01 I1 = 1,0049e-01 Iz = 1,0049e-01 I2 = 1,0049e-01 Hauptachsenwinkel [Grad] Phi = 0,000 Iyz = 0,0000e+00 Mittelung der Querkraft-Schubspannungen über die Qu.-breite
16	Polygon 	Bohrpfahl - Tonstein (3.1) Schwerpunkt [m] ys = 0,000 zs = -0,000 Fläche [m²] A = 1,1237e+00 Trägheitsmomente [m4] Ix = 1,0000e-06 Iy = 1,0049e-01 I1 = 1,0049e-01 Iz = 1,0049e-01 I2 = 1,0049e-01 Hauptachsenwinkel [Grad] Phi = 0,000 Iyz = 0,0000e+00 Mittelung der Querkraft-Schubspannungen über die Qu.-breite
23	Fläche	Pfahlkopfplatte Ost Elementdicke [m] dz = 1,2000 drillsteif Orthotropie dzy/dz = 1 E-Modul Platte/Scheibe = 1
32	Fläche	Bogen unten Elementdicke [m] dz = 1,0000 drillsteif Orthotropie dzy/dz = 1 E-Modul Platte/Scheibe = 1



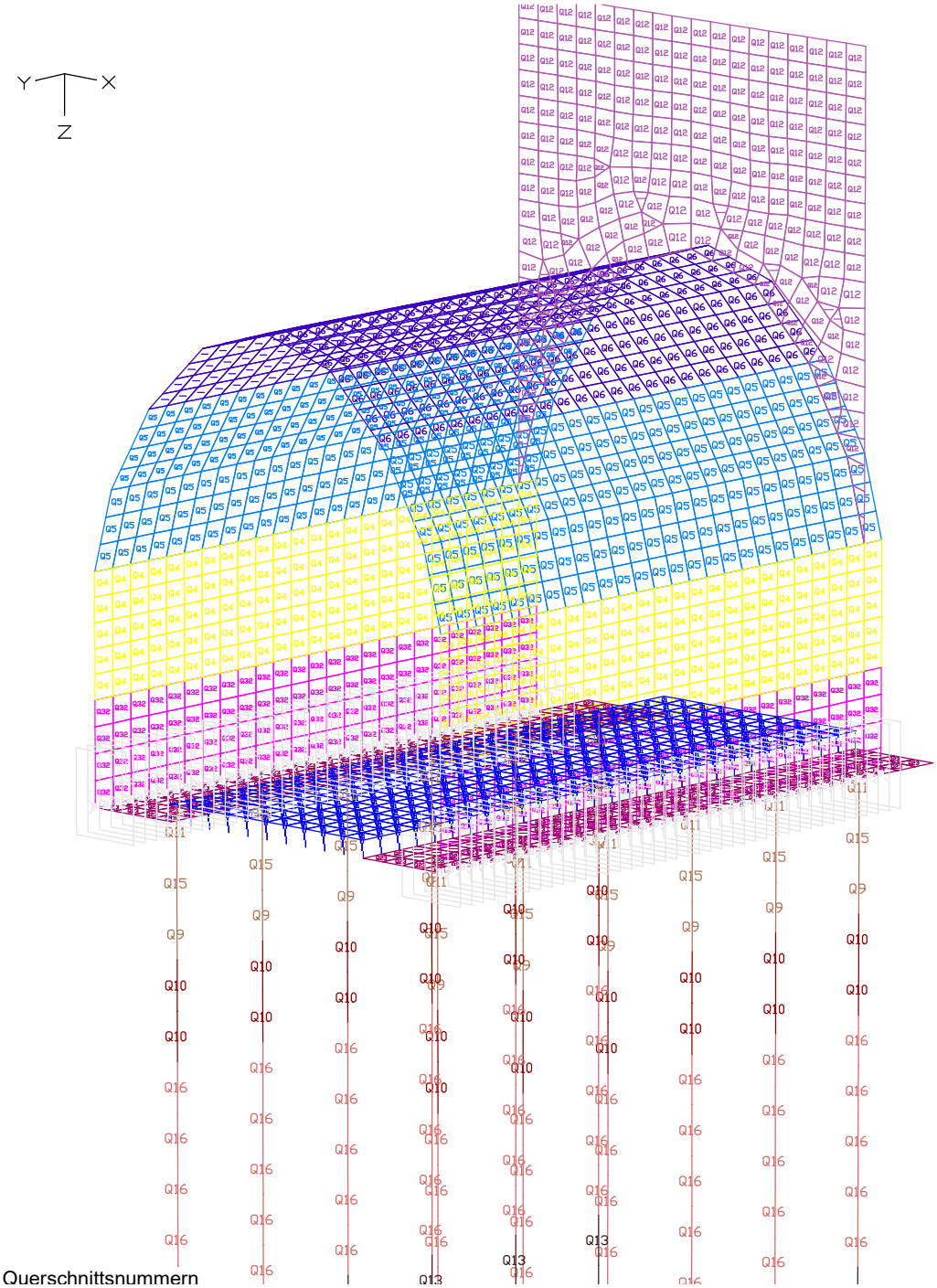
Bemaßung_Gesamt



Bemaßung_Gesamt



Bemaßung_Gesamt



Querschnittsnummern

Querschnittsnummern

Querschnittspolygon 9 - Bohrpfahl - Schluff 3m

	y [m]	z [m]
1	-0,600	-0,000

Querschnittspolygon 9 - Bohrpfahl - Schluff 3m

	y [m]	z [m]
2	-0,588	-0,117
3	-0,554	-0,230
4	-0,499	-0,333
5	-0,424	-0,424
6	-0,333	-0,499
7	-0,230	-0,554
8	-0,117	-0,588
9	0,000	-0,600
10	0,117	-0,588
11	0,230	-0,554
12	0,333	-0,499
13	0,424	-0,424
14	0,499	-0,333
15	0,554	-0,230
16	0,588	-0,117
17	0,600	-0,000
18	0,588	0,117
19	0,554	0,230
20	0,499	0,333
21	0,424	0,424
22	0,333	0,499
23	0,230	0,554
24	0,117	0,588
25	-0,000	0,600
26	-0,117	0,588
27	-0,230	0,554
28	-0,333	0,499
29	-0,424	0,424
30	-0,499	0,333
31	-0,554	0,230
32	-0,588	0,117

Querschnittspolygon 10 - Bohrpfahl - Schluff

	y [m]	z [m]
1	-0,600	-0,000
2	-0,588	-0,117
3	-0,554	-0,230
4	-0,499	-0,333
5	-0,424	-0,424
6	-0,333	-0,499
7	-0,230	-0,554
8	-0,117	-0,588
9	0,000	-0,600
10	0,117	-0,588
11	0,230	-0,554
12	0,333	-0,499
13	0,424	-0,424
14	0,499	-0,333
15	0,554	-0,230

Querschnittspolygon 10 - Bohrpfahl - Schluff

	y [m]	z [m]
16	0,588	-0,117
17	0,600	-0,000
18	0,588	0,117
19	0,554	0,230
20	0,499	0,333
21	0,424	0,424
22	0,333	0,499
23	0,230	0,554
24	0,117	0,588
25	-0,000	0,600
26	-0,117	0,588
27	-0,230	0,554
28	-0,333	0,499
29	-0,424	0,424
30	-0,499	0,333
31	-0,554	0,230
32	-0,588	0,117

Querschnittspolygon 11 - Bohrpfahl - Schluff 1m

	y [m]	z [m]
1	-0,600	-0,000
2	-0,588	-0,117
3	-0,554	-0,230
4	-0,499	-0,333
5	-0,424	-0,424
6	-0,333	-0,499
7	-0,230	-0,554
8	-0,117	-0,588
9	0,000	-0,600
10	0,117	-0,588
11	0,230	-0,554
12	0,333	-0,499
13	0,424	-0,424
14	0,499	-0,333
15	0,554	-0,230
16	0,588	-0,117
17	0,600	-0,000
18	0,588	0,117
19	0,554	0,230
20	0,499	0,333
21	0,424	0,424
22	0,333	0,499
23	0,230	0,554
24	0,117	0,588
25	-0,000	0,600
26	-0,117	0,588
27	-0,230	0,554
28	-0,333	0,499
29	-0,424	0,424

Querschnittspolygon 11 - Bohrpfahl - Schluff 1m

	y [m]	z [m]
30	-0,499	0,333
31	-0,554	0,230
32	-0,588	0,117

Querschnittspolygon 13 - Bohrpfahl - Tonstein (3.2)

	y [m]	z [m]
1	-0,600	-0,000
2	-0,588	-0,117
3	-0,554	-0,230
4	-0,499	-0,333
5	-0,424	-0,424
6	-0,333	-0,499
7	-0,230	-0,554
8	-0,117	-0,588
9	0,000	-0,600
10	0,117	-0,588
11	0,230	-0,554
12	0,333	-0,499
13	0,424	-0,424
14	0,499	-0,333
15	0,554	-0,230
16	0,588	-0,117
17	0,600	-0,000
18	0,588	0,117
19	0,554	0,230
20	0,499	0,333
21	0,424	0,424
22	0,333	0,499
23	0,230	0,554
24	0,117	0,588
25	-0,000	0,600
26	-0,117	0,588
27	-0,230	0,554
28	-0,333	0,499
29	-0,424	0,424
30	-0,499	0,333
31	-0,554	0,230
32	-0,588	0,117

Querschnittspolygon 15 - Bohrpfahl - Schluff 2m

	y [m]	z [m]
1	-0,600	-0,000
2	-0,588	-0,117
3	-0,554	-0,230
4	-0,499	-0,333
5	-0,424	-0,424

Querschnittspolygon 15 - Bohrpfahl - Schluff 2m

	y [m]	z [m]
6	-0,333	-0,499
7	-0,230	-0,554
8	-0,117	-0,588
9	0,000	-0,600
10	0,117	-0,588
11	0,230	-0,554
12	0,333	-0,499
13	0,424	-0,424
14	0,499	-0,333
15	0,554	-0,230
16	0,588	-0,117
17	0,600	-0,000
18	0,588	0,117
19	0,554	0,230
20	0,499	0,333
21	0,424	0,424
22	0,333	0,499
23	0,230	0,554
24	0,117	0,588
25	-0,000	0,600
26	-0,117	0,588
27	-0,230	0,554
28	-0,333	0,499
29	-0,424	0,424
30	-0,499	0,333
31	-0,554	0,230
32	-0,588	0,117

Querschnittspolygon 16 - Bohrpfahl - Tonstein (3.1)

	y [m]	z [m]
1	-0,600	-0,000
2	-0,588	-0,117
3	-0,554	-0,230
4	-0,499	-0,333
5	-0,424	-0,424
6	-0,333	-0,499
7	-0,230	-0,554
8	-0,117	-0,588
9	0,000	-0,600
10	0,117	-0,588
11	0,230	-0,554
12	0,333	-0,499
13	0,424	-0,424
14	0,499	-0,333
15	0,554	-0,230
16	0,588	-0,117
17	0,600	-0,000
18	0,588	0,117
19	0,554	0,230

Querschnittspolygon 16 - Bohrpfahl - Tonstein (3.1)

	y [m]	z [m]
20	0,499	0,333
21	0,424	0,424
22	0,333	0,499
23	0,230	0,554
24	0,117	0,588
25	-0,000	0,600
26	-0,117	0,588
27	-0,230	0,554
28	-0,333	0,499
29	-0,424	0,424
30	-0,499	0,333
31	-0,554	0,230
32	-0,588	0,117

Materialkennwerte

	Nr.	Art	E-Modul [MN/m²]	G-Modul [MN/m²]	Quer-dehnz.	alpha.t [1/K]	gamma [kN/m³]
1	1	C35/45-EN-D	34000	14200	0,20	1,00e-05	25,000
2	4	C35/45-EN-D	34000	14200	0,20	1,00e-05	25,000
3	5	C35/45-EN-D	34000	14200	0,20	1,00e-05	25,000
4	6	C35/45-EN-D	34000	14200	0,20	1,00e-05	25,000
5	8	C35/45-EN-D	34000	14200	0,20	1,00e-05	25,000
6	9	C30/37-EN-D	33000	13800	0,20	1,00e-05	0,000
7	10	C30/37-EN-D	33000	13800	0,20	1,00e-05	0,000
8	11	C30/37-EN-D	33000	13800	0,20	1,00e-05	0,000
9	12	C35/45-EN-D	34000	14200	0,20	1,00e-05	25,000
10	13	C30/37-EN-D	33000	13800	0,20	1,00e-05	0,000
11	15	C30/37-EN-D	33000	13800	0,20	1,00e-05	0,000
12	16	C30/37-EN-D	33000	13800	0,20	1,00e-05	0,000
13	23	C35/45-EN-D	34000	14200	0,20	1,00e-05	25,000
14	32	C35/45-EN-D	34000	14200	0,20	1,00e-05	25,000

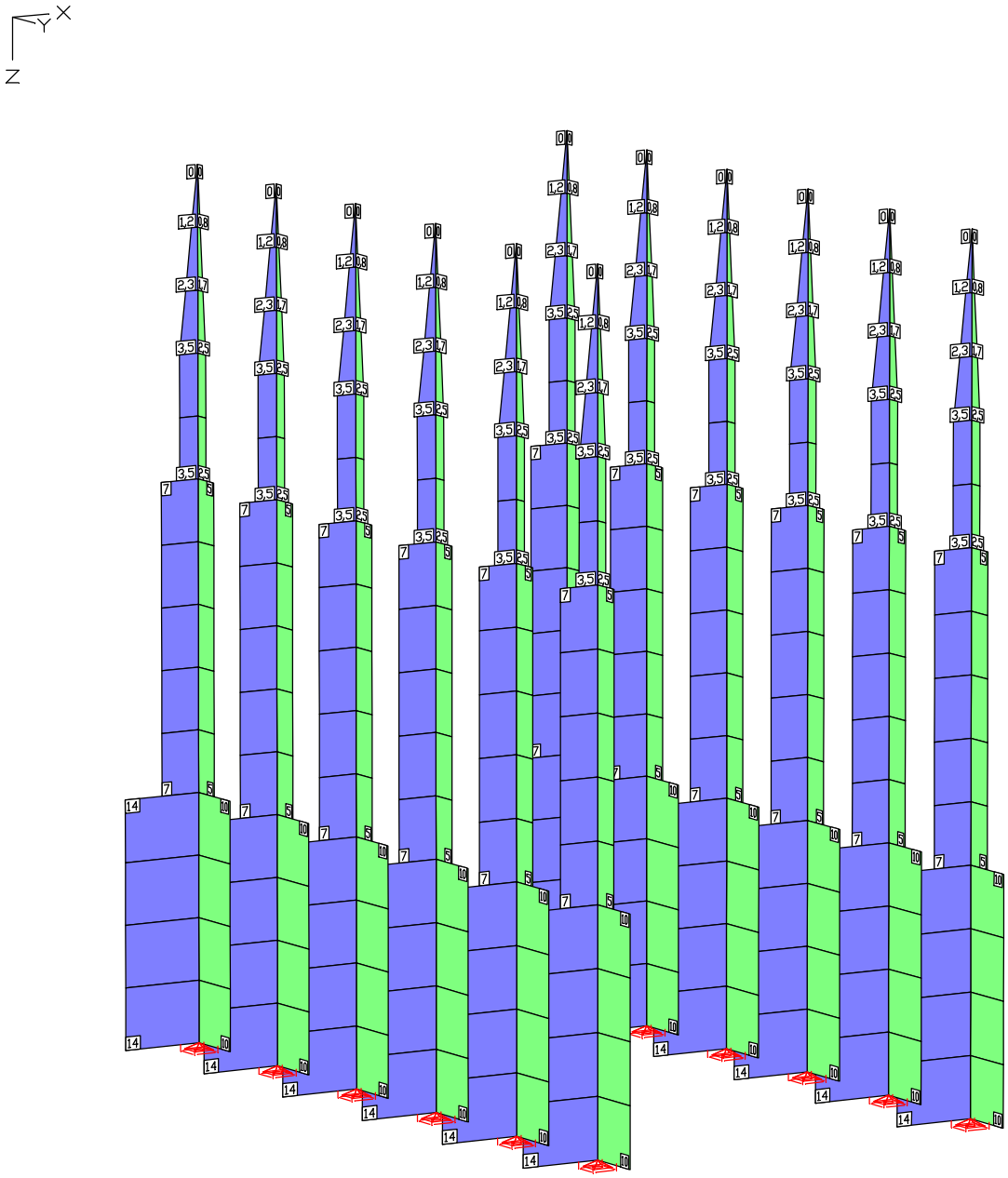
Bettung

	Nr.	Bettung am Anfang [MN/m³]			Bettung am Ende [MN/m³]			Bettungsbreite [m]		
		kbx	kby	kbz	kbx	kby	kbz	bx	by	bz
1	1	0	0	0						
2	4	0	0	0						
3	5	0	0	0						
4	6	0	0	0						
5	8	0	0	0	0	0	0	1,000	0,300	0,300
6	9	0	1,7	2,3	0	2,5	3,5	1,200	1,200	1,200
7	10	0	2,5	3,5	0	2,5	3,5	1,200	1,200	1,200
8	11	0	0	0	0	0,8	1,2	1,200	1,200	1,200
9	12	0	0	0						
10	13	0	10	14	0	10	14	1,200	1,200	1,200
11	15	0	0,8	1,2	0	1,7	2,3	1,200	1,200	1,200

Bettung

	Nr.	Bettung am Anfang [MN/m³]			Bettung am Ende [MN/m³]			Bettungsbreite [m]		
		kbx	kby	kbz	kbx	kby	kbz	bx	by	bz
12	16	0	5	7	0	5	7	1,200	1,200	1,200
13	23	0	0	0						
14	32	0	0	0						

Die Bettung wirkt in Richtung der Achsen des lokalen Element- bzw. Oberflächensystems.



Stabbettung [MN/m³]
Stabbettung [MN/m³]

Festhaltungen

	Knoten	Drehung des Lager-systems um Achse [°]			'F' = Fest, '-' = Frei oder Federsteifigkeit [MN/m] bzw. [MNm]						Zug-ausfall
		x	y	z	ux	uy	uz	phi.x	phi.y	phi.z	
1	37	0,0	0,0	0,0	-	-	200,10	-	-	-	L:x-y-z
2	1287	0,0	0,0	0,0	-	-	200,10	-	-	-	L:x-y-z
3	1301	0,0	0,0	0,0	-	-	200,10	-	-	-	L:x-y-z
4	2015	0,0	0,0	0,0	-	-	200,10	-	-	-	L:x-y-z
5	2029	0,0	0,0	0,0	-	-	200,10	-	-	-	L:x-y-z
6	2043	0,0	0,0	0,0	-	-	200,10	-	-	-	L:x-y-z
7	2057	0,0	0,0	0,0	-	-	200,10	-	-	-	L:x-y-z
8	2071	0,0	0,0	0,0	-	-	200,10	-	-	-	L:x-y-z
9	2085	0,0	0,0	0,0	-	-	200,10	-	-	-	L:x-y-z
10	2100	0,0	0,0	0,0	-	-	200,10	-	-	-	L:x-y-z
11	2114	0,0	0,0	0,0	-	-	200,10	-	-	-	L:x-y-z
12	2128	0,0	0,0	0,0	-	-	200,10	-	-	-	L:x-y-z

Lastfall-Bezeichnung

	Lastfall	Bezeichnungstext
1	1	Eigenlast
2	11	Bestand
3	12	Überschüttung
4	13	Fahrbahn Züge
5	14	ständiger Erddruck Brücke
6	16	ständiger Erddruck Stützwand
7	18	Fahrbahn Straße
8	21	LM71 G1 voll
9	22	LM71 G1 re
10	23	LM71 G1 li
11	24	LM71 G2 voll
12	25	LM71 G2 re
13	26	LM71 G2 li
14	31	Erddruck LM71 G1 max
15	32	Erddruck LM71 G1 min
16	33	Erddruck LM71 G1 max
17	34	Erddruck LM71 G1 min
18	35	Erddruck LM71 G2 max
19	36	Erddruck LM71 G2 min
20	37	Erddruck LM71 G2 min
21	38	Erddruck LM71 G2 max
22	41	Erddruck LM71 G1 Stützwand
23	42	Erddruck LM71 G2 Stützwand
24	50	Seitenstoß G1 voll
25	51	Seitenstoß G1 halb
26	52	Seitenstoß G1 halb
27	53	Seitenstoß G2 voll
28	54	Seitenstoß G2 halb
29	55	Seitenstoß G2 halb
30	61	LM Gehweg
31	64	LM1 FL 1
32	65	LM1 FL 2
33	66	LM1 Doppelachslast 1
34	67	ELM3
35	70	Anfahren/Bremsen G1
36	72	Anfahren/Bremsen G2
37	81	Temp. konst. +
38	82	Temp. konst. -
39	83	Temp. var. oben +
40	84	Temp. var. unten +
41	90	Randweg Besich.

Lastfallkombination 1, Erddruck LM71 Gleis 1 max

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
31	Erddruck LM71 G1 max	1,000
33	Erddruck LM71 G1 max	1,000
41	Erddruck LM71 G1 Stützwand	1,000

Lastfallkombination 2, Erddruck LM71 Gleis 1 min

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
32	Erddruck LM71 G1 min	1,000
34	Erddruck LM71 G1 min	1,000
41	Erddruck LM71 G1 Stützwand	1,000

Lastfallkombination 4, Erddruck LM1 Gleis 2 max

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
35	Erddruck LM71 G2 max	1,000
38	Erddruck LM71 G2 max	1,000
42	Erddruck LM71 G2 Stützwand	1,000

Lastfallkombination 5, Erddruck LM71 Gleis 2 min

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
36	Erddruck LM71 G2 min	1,000
37	Erddruck LM71 G2 min	1,000
42	Erddruck LM71 G2 Stützwand	1,000

Lastfallkombination 6, Ständige Lasten

Ständige Einwirkung		Faktor
1	Eigenlast	1,000
11	Bestand	1,000
12	Überschüttung	1,000
13	Fahrbahn Züge	1,000
14	ständiger Erddruck Brücke	1,000
16	ständiger Erddruck Stützwand	1,000
18	Fahrbahn Straße	1,000

Lastfallkombination 7, Temperatur 1

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
81	Temp. konst. +	0,350
83	Temp. var. oben +	1,000

Lastfallkombination 8, Temperatur 2

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
82	Temp. konst. -	0,350
83	Temp. var. oben +	1,000

Lastfallkombination 9, Temperatur 3

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
81	Temp. konst. +	1,000
83	Temp. var. oben +	0,750

Lastfallkombination 10, Temperatur 4

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
82	Temp. konst. -	1,000
83	Temp. var. oben +	0,750

Lastfallkombination 11, Temperatur 5

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
81	Temp. konst. +	0,350
84	Temp. var. unten +	1,000

Lastfallkombination 12, Temperatur 6

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
82	Temp. konst. -	0,350
84	Temp. var. unten +	1,000

Lastfallkombination 13, Temperatur 7

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
81	Temp. konst. +	1,000
84	Temp. var. unten +	0,750

Lastfallkombination 14, Temperatur 8

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
82	Temp. konst. -	1,000
84	Temp. var. unten +	0,750

Lastfallkombination 16, Erddruck LM71 Gleis 1

1. veränderliche exklusive Einwirkung		Faktor
K1	Erddruck LM71 Gleis 1 max	1,000
K2	Erddruck LM71 Gleis 1 min	1,000

Lastfallkombination 17, Erddruck LM71 Gleis 2

1. veränderliche exklusive Einwirkung		Faktor
K4	Erddruck LM1 Gleis 2 max	1,000
K5	Erddruck LM71 Gleis 2 min	1,000

Lastfallkombination 20, Seitenstoß G1

1. veränderliche exklusive Einwirkung		Faktor
50	Seitenstoß G1 voll	1,000
51	Seitenstoß G1 halb	1,000
52	Seitenstoß G1 halb	1,000

Lastfallkombination 21, Seitenstoß G2

1. veränderliche exklusive Einwirkung		Faktor
53	Seitenstoß G2 voll	1,000
54	Seitenstoß G2 halb	1,000
55	Seitenstoß G2 halb	1,000

Lastfallkombination 25, Anfahren/Bremsen G1

1. veränderliche exklusive Einwirkung		Faktor
70	Anfahren/Bremsen G1	1,000
70	Anfahren/Bremsen G1	-1,000

Lastfallkombination 26, Anfahren/Bremsen G2

1. veränderliche exklusive Einwirkung		Faktor
72	Anfahren/Bremsen G2	-1,000
72	Anfahren/Bremsen G2	1,000

Lastfallkombination 31, LM71 Gleis 1

1. veränderliche exklusive Einwirkung		Faktor
21	LM71 G1 voll	1,000
22	LM71 G1 re	1,000
23	LM71 G1 li	1,000

Lastfallkombination 32, LM71 Gleis 2

1. veränderliche exklusive Einwirkung		Faktor
24	LM71 G2 voll	1,000
25	LM71 G2 re	1,000
26	LM71 G2 li	1,000

Lastfallkombination 33, LM71 Gleis 1 ohne alpha

Ständige Einwirkung		Faktor
K31	LM71 Gleis 1	0,830

Lastfallkombination 100, LM71 + alpha + ständige Lasten

Ständige Einwirkung		Faktor
1	Eigenlast	1,000
11	Bestand	1,000
12	Überschüttung	1,000
13	Fahrbahn Züge	1,000
14	ständiger Erddruck Brücke	1,000
16	ständiger Erddruck Stützwand	1,000
18	Fahrbahn Straße	1,000

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
K31	LM71 Gleis 1	1,000
K32	LM71 Gleis 2	1,000

Lastfallkombination 101, Eisenbahnlast + alpha + ständige Lasten

Ständige Einwirkung		Faktor
1	Eigenlast	1,000
11	Bestand	1,000
12	Überschüttung	1,000
13	Fahrbahn Züge	1,000
14	ständiger Erddruck Brücke	1,000
16	ständiger Erddruck Stützwand	1,000
18	Fahrbahn Straße	1,000

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
K207	Eisenbahnlast mit alpha	1,000

Lastfallkombination 200, gr11 G1

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
K20	Seitenstoß G1	0,500
K25	Anfahren/Bremsen G1	1,000
K31	LM71 Gleis 1	1,000

Lastfallkombination 201, gr11 G2

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
K21	Seitenstoß G2	0,500
K26	Anfahren/Bremsen G2	1,000
K32	LM71 Gleis 2	1,000

Lastfallkombination 202, gr12 G1

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
K20	Seitenstoß G1	1,000
K25	Anfahren/Bremsen G1	0,500
K31	LM71 Gleis 1	1,000

Lastfallkombination 203, gr12 G2

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
K21	Seitenstoß G2	1,000
K26	Anfahren/Bremsen G2	0,500
K32	LM71 Gleis 2	1,000

Lastfallkombination 204, gr21

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
K200	gr11 G1	1,000
K201	gr11 G2	1,000

Lastfallkombination 205, gr 22

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
K202	gr12 G1	1,000
K203	gr12 G2	1,000

Lastfallkombination 206, Eisenbahnlast ohne alpha

1. veränderliche exklusive Einwirkung		Faktor
K200	gr11 G1	0,826
K201	gr11 G2	0,826
K202	gr12 G1	0,826
K203	gr12 G2	0,826
K204	gr21	0,826
K205	gr 22	0,826

Lastfallkombination 207, Eisenbahnlast mit alpha

1. veränderliche exklusive Einwirkung		Faktor
K200	gr11 G1	1,000
K201	gr11 G2	1,000
K202	gr12 G1	1,000
K203	gr12 G2	1,000
K204	gr21	1,000
K205	gr 22	1,000

Lastfallkombination 300, Eisenbahnlasten gesamt

1. veränderliche exklusive Einwirkung		Faktor
K206	Eisenbahnlast ohne alpha	1,000
K207	Eisenbahnlast mit alpha	1,000

Lastfallkombination 301, Temperatur gesamt

1. veränderliche exklusive Einwirkung		Faktor
K7	Temperatur 1	1,000
K8	Temperatur 2	1,000
K9	Temperatur 3	1,000
K10	Temperatur 4	1,000
K11	Temperatur 5	1,000
K12	Temperatur 6	1,000
K13	Temperatur 7	1,000
K14	Temperatur 8	1,000

Lastfallkombination 302, Erddruck LM71

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
K16	Erddruck LM71 Gleis 1	1,000
K17	Erddruck LM71 Gleis 2	1,000

Lastfallkombination 303, LM1 Straße Flächenlast

Veränderliche inklusive Einwirkung		Faktor
61	LM Gehweg	1,000
64	LM1 FL 1	1,000
65	LM1 FL 2	1,000

Lastfallkombination 400, Erdbeben 1

1. veränderliche exklusive Einwirkung	Faktor
Antwortspektrum überlagert (x)	-0,300
Antwortspektrum überlagert (x)	0,300

2. veränderliche exklusive Einwirkung	Faktor
Antwortspektrum überlagert (y)	-1,000
Antwortspektrum überlagert (y)	1,000

3. veränderliche exklusive Einwirkung	Faktor
Antwortspektrum überlagert (z)	1,000
Antwortspektrum überlagert (z)	-1,000

Lastfallkombination 401, Erdbeben 2

1. veränderliche exklusive Einwirkung	Faktor
Antwortspektrum überlagert (x)	-1,000
Antwortspektrum überlagert (x)	1,000

2. veränderliche exklusive Einwirkung	Faktor
Antwortspektrum überlagert (y)	0,300
Antwortspektrum überlagert (y)	-0,300

3. veränderliche exklusive Einwirkung	Faktor
Antwortspektrum überlagert (z)	-1,000
Antwortspektrum überlagert (z)	1,000

Liste der Kombinationen

Nr.	Bezeichnung
1	Erddruck LM71 Gleis 1 max
2	Erddruck LM71 Gleis 1 min
4	Erddruck LM1 Gleis 2 max
5	Erddruck LM71 Gleis 2 min
6	Ständige Lasten
7	Temperatur 1
8	Temperatur 2
9	Temperatur 3
10	Temperatur 4
11	Temperatur 5
12	Temperatur 6
13	Temperatur 7
14	Temperatur 8
16	Erddruck LM71 Gleis 1
17	Erddruck LM71 Gleis 2
20	Seitenstoß G1
21	Seitenstoß G2
25	Anfahren/Bremsen G1
26	Anfahren/Bremsen G2
31	LM71 Gleis 1
32	LM71 Gleis 2
33	LM71 Gleis 1 ohne alpha
100	LM71 + alpha + ständige Lasten
101	Eisenbahnlast + alpha + ständige Lasten
200	gr11 G1
201	gr11 G2
202	gr12 G1
203	gr12 G2
204	gr21
205	gr 22
206	Eisenbahnlast ohne alpha
207	Eisenbahnlast mit alpha
300	Eisenbahnlasten gesamt
301	Temperatur gesamt
302	Erddruck LM71
303	LM1 Straße Flächenlast
400	Erdbeben 1
401	Erdbeben 2

Summe der aufgebrachten Lasten und Auflagerreaktionen

LF.	Bezeichnung	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
1	Eigenlast	0,000	-0,000	9117,983
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	9117,983
	Bettungskräfte	-0,000	0,000	0,000
11	Bestand	0,000	-0,000	7576,200
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	7576,200
	Bettungskräfte	0,000	-0,000	0,000
12	Überschüttung	-0,000	-0,000	8100,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	8100,000
	Bettungskräfte	0,000	-0,000	0,000
13	Fahrbahn Züge	0,000	-0,000	1058,400
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	1058,400
	Bettungskräfte	0,000	-0,000	0,000
14	ständiger Erddruck Brücke	-0,000	-0,000	0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	0,000
	Bettungskräfte	-0,000	0,000	0,000
16	ständiger Erddruck Stützwand	0,000	-1640,496	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	-0,000
	Bettungskräfte	-0,000	-1640,496	-0,000
18	Fahrbahn Straße	0,000	0,000	324,800
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	324,800
	Bettungskräfte	-0,000	-0,000	0,000
21	LM71 G1 voll	0,000	-0,000	1616,700
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	1616,700
	Bettungskräfte	0,000	0,000	0,000
22	LM71 G1 re	0,000	-0,000	1213,494
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	1213,494
	Bettungskräfte	0,000	0,000	0,000
23	LM71 G1 li	0,000	-0,000	1213,494
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	1213,494
	Bettungskräfte	-0,000	0,000	0,000
24	LM71 G2 voll	-0,000	-0,000	1355,175
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	1355,175
	Bettungskräfte	0,000	-0,000	0,000
25	LM71 G2 re	-0,000	-0,000	1017,193
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	1017,193
	Bettungskräfte	0,000	-0,000	0,000
26	LM71 G2 li	0,000	-0,000	1017,193
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	1017,193
	Bettungskräfte	0,000	-0,000	0,000

Summe der aufgebrachten Lasten und Auflagerreaktionen

LF.	Bezeichnung	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
31	Erddruck LM71 G1 max	-759,696	0,000	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	0,000
	Bettungskräfte	-759,696	-0,000	0,000
32	Erddruck LM71 G1 min	-366,520	0,000	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	0,000
	Bettungskräfte	-366,520	-0,000	0,000
33	Erddruck LM71 G1 max	759,696	-0,000	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	-0,000
	Bettungskräfte	759,696	0,000	0,000
34	Erddruck LM71 G1 min	366,520	-0,000	0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	0,000
	Bettungskräfte	366,520	0,000	0,000
35	Erddruck LM71 G2 max	-636,804	-0,000	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	0,000
	Bettungskräfte	-636,804	-0,000	-0,000
36	Erddruck LM71 G2 min	-307,230	-0,000	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	-0,000
	Bettungskräfte	-307,230	-0,000	-0,000
37	Erddruck LM71 G2 min	307,230	-0,000	0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	-0,000
	Bettungskräfte	307,230	0,000	-0,000
38	Erddruck LM71 G2 max	636,804	-0,000	0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	-0,000
	Bettungskräfte	636,804	0,000	-0,000
41	Erddruck LM71 G1 Stützwand	-0,000	-375,427	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	0,000
	Bettungskräfte	-0,000	-375,427	-0,000
42	Erddruck LM71 G2 Stützwand	-0,000	-101,197	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	0,000
	Bettungskräfte	-0,000	-101,197	-0,000
50	Seitenstoß G1 voll	0,000	117,589	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	-0,000
	Bettungskräfte	0,000	117,589	0,000
51	Seitenstoß G1 halb	0,000	58,794	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	0,000
	Bettungskräfte	0,000	58,794	0,000
52	Seitenstoß G1 halb	0,000	58,794	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	-0,000
	Bettungskräfte	0,000	58,794	0,000

Summe der aufgebrachten Lasten und Auflagerreaktionen

LF.	Bezeichnung	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
53	Seitenstoß G2 voll	-0,000	92,391	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	0,000
	Bettungskräfte	0,000	92,391	0,000
54	Seitenstoß G2 halb	-0,000	46,195	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	-0,000
	Bettungskräfte	0,000	46,195	0,000
55	Seitenstoß G2 halb	0,000	46,195	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	-0,000
	Bettungskräfte	0,000	46,195	0,000
61	LM Gehweg	0,000	0,000	87,500
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	87,500
	Bettungskräfte	0,000	-0,000	0,000
64	LM1 FL 1	0,000	0,000	504,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	504,000
	Bettungskräfte	-0,000	-0,000	0,000
65	LM1 FL 2	0,000	0,000	105,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	105,000
	Bettungskräfte	-0,000	0,000	0,000
66	LM1 Doppelachslast 1	0,000	0,000	600,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	600,000
	Bettungskräfte	-0,000	-0,000	0,000
67	ELM3	0,000	-0,000	480,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	480,000
	Bettungskräfte	0,000	-0,000	0,000
70	Anfahren/Bremsen G1	154,096	-0,000	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	-0,000
	Bettungskräfte	154,096	0,000	0,000
72	Anfahren/Bremsen G2	121,076	-0,000	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	0,000
	Bettungskräfte	121,076	0,000	-0,000
81	Temp. konst. +	0,000	-0,000	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	0,000
	Bettungskräfte	0,000	-0,000	-0,000
82	Temp. konst. -	-0,000	0,000	0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	-0,000
	Bettungskräfte	-0,000	0,000	0,000
83	Temp. var. oben +	0,000	0,000	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	0,000
	Bettungskräfte	0,000	0,000	0,000

Summe der aufgebrachten Lasten und Auflagerreaktionen

LF.	Bezeichnung	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
84	Temp. var. unten +	-0,000	-0,000	-0,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	-0,000
	Bettungskräfte	-0,000	-0,000	-0,000
90	Randweg Besich.	0,000	0,000	36,000
	Auflagerreaktionen	0,000	0,000	36,000
	Bettungskräfte	-0,000	0,000	-0,000

Systemkenngrößen

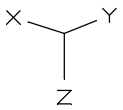
2117	Knoten		
2047	Elemente	168	Stabelemente
12	Festhaltungen	0	Plattenelemente
0	Koppelungen	0	Scheibenelemente
14	Materialkennwerte	1879	Schalenelemente
14	Querschnittswerte	0	Seilelemente
41	Lastfälle	0	Volumenelemente
38	LF-Kombinationen	0	Federelemente
0	Spannstränge		

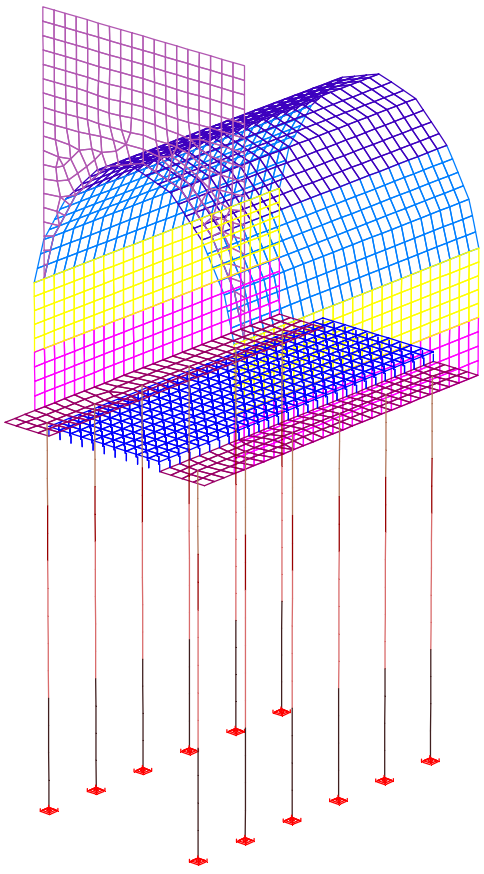
Berechnungsort der Flächenelemente: Knoten
2 Ergebnisorte in den Stäben

Gedrehte Koordinatensysteme
1499 Elementsysteme
0 Schnittkraftsysteme
0 Bewehrungssysteme

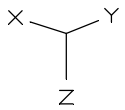
2. Belastung des Systems

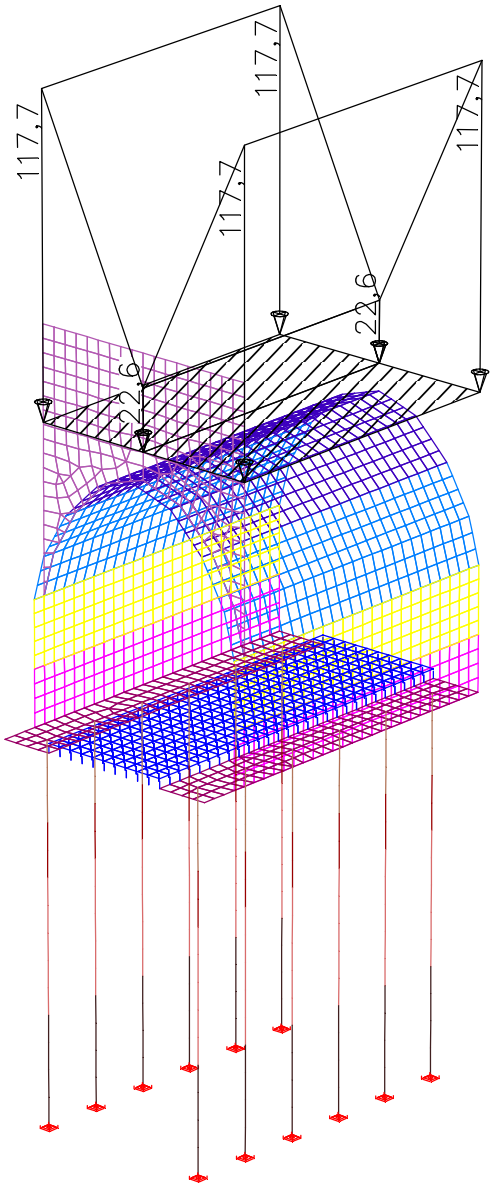
EIGENLAST



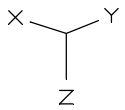


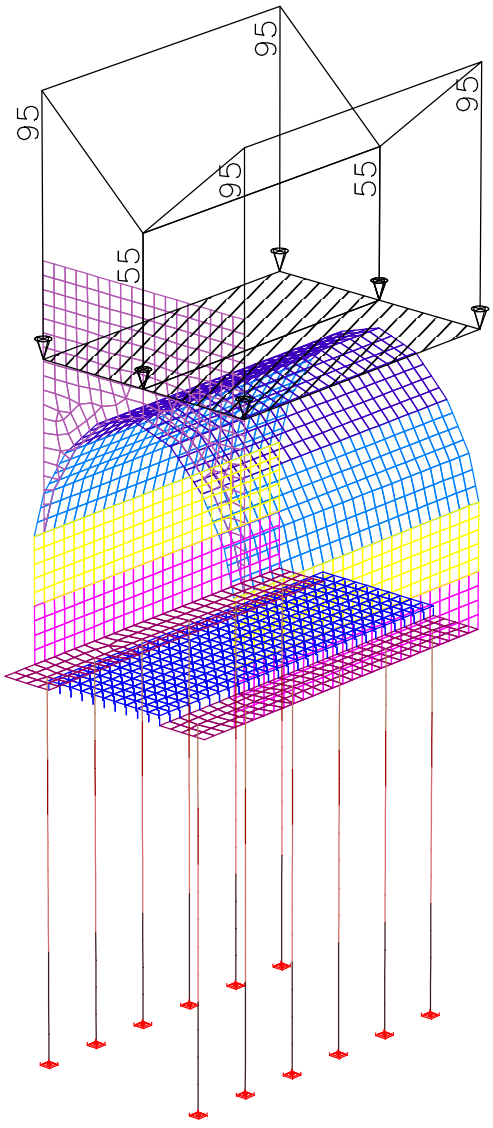
LF 1: Belastung, Eigenlast





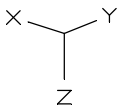
LF 11: Belastung, Bestand

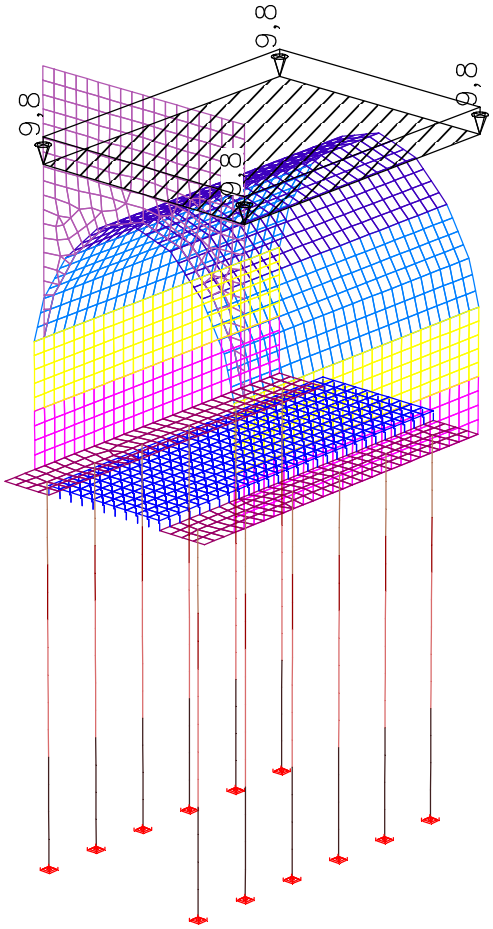




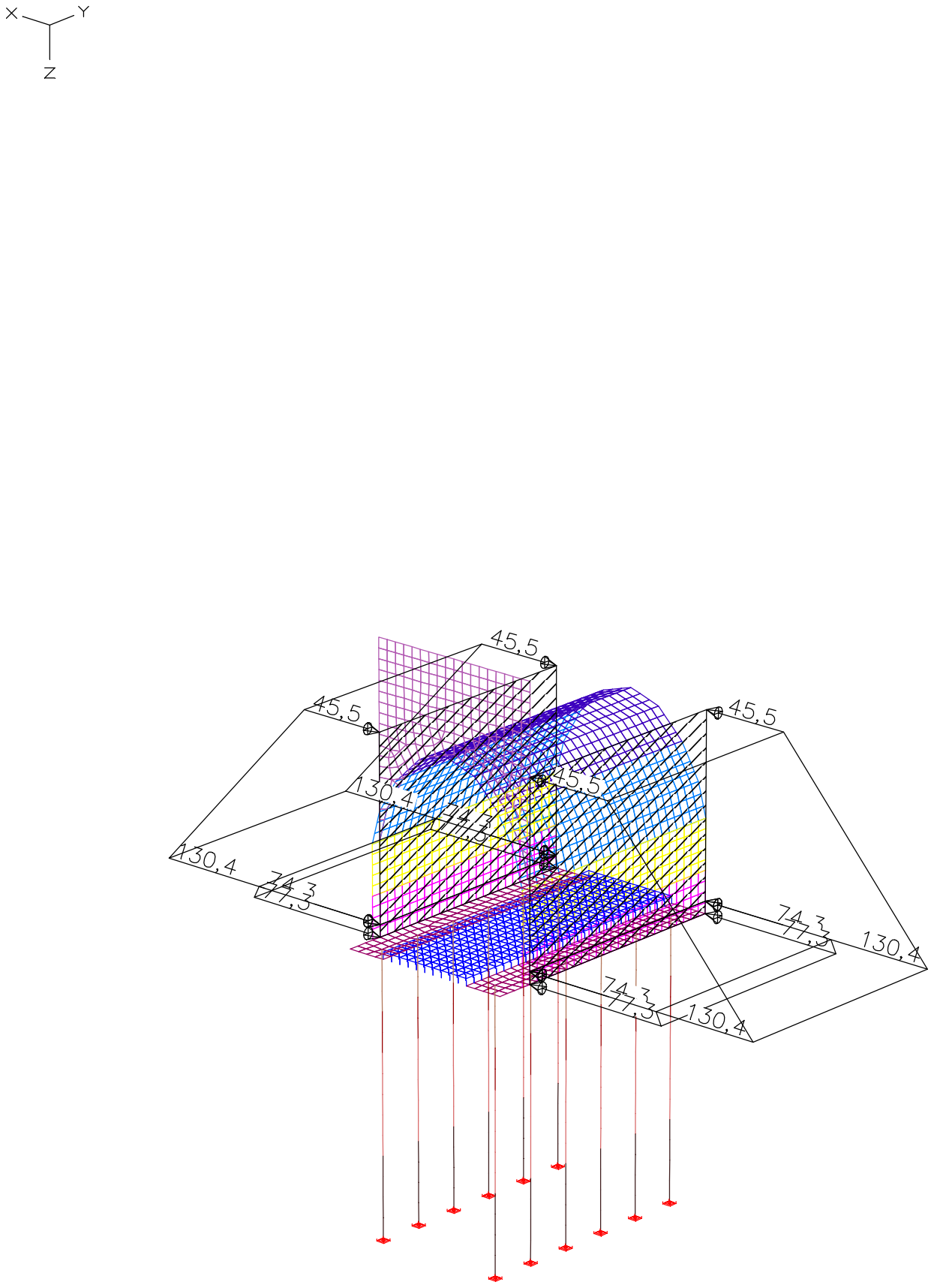
LF 12: Belastung, Überschüttung

T.016058338 - 12 : Überschüttung - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße



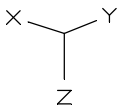


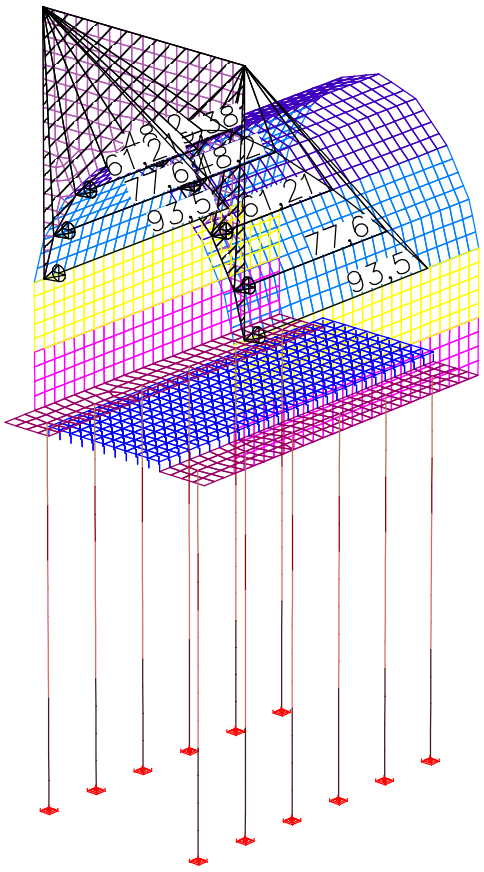
LF 13: Belastung, Fahrbahn Züge



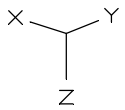
LF 14: Belastung, ständiger Erddruck Brücke

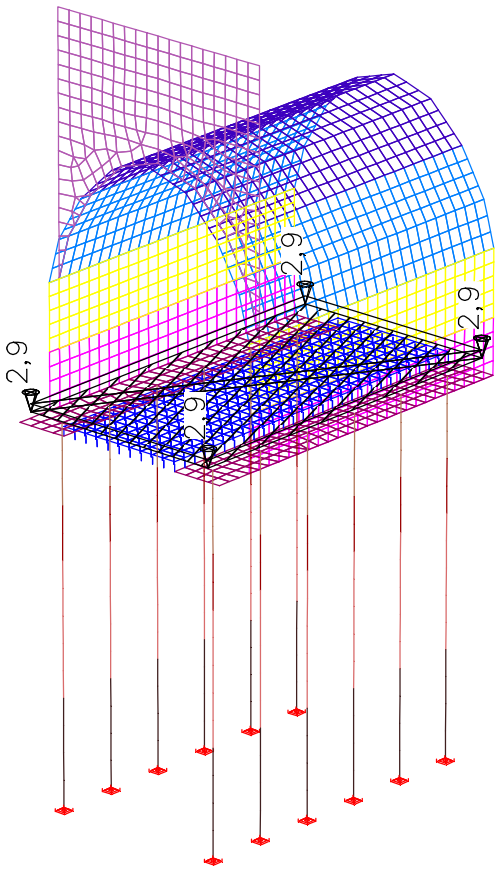
T.016058338 - 14 : ständiger Erddruck Brücke - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße





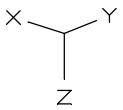
LF 16: Belastung, ständiger Erddruck Stützwand

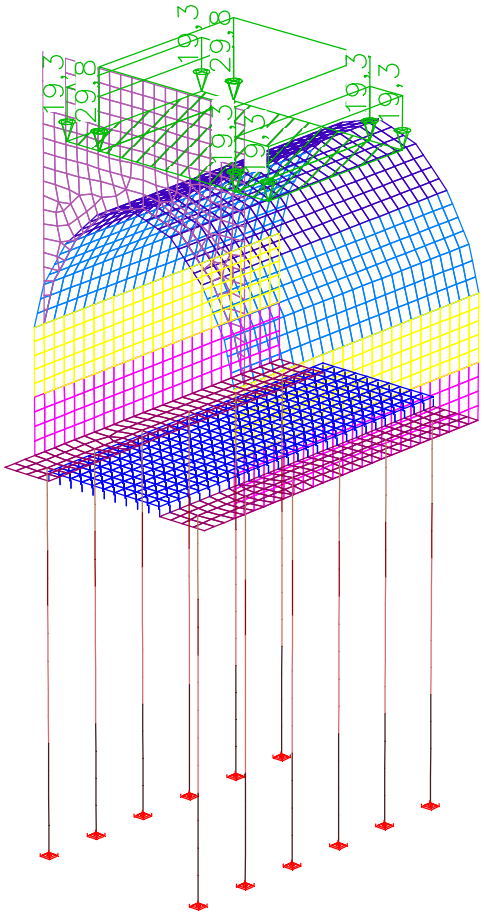




LF 18: Belastung, Fahrbahn Straße

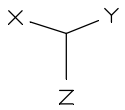
T.016058338 - 18 : Fahrbahn Straße - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße

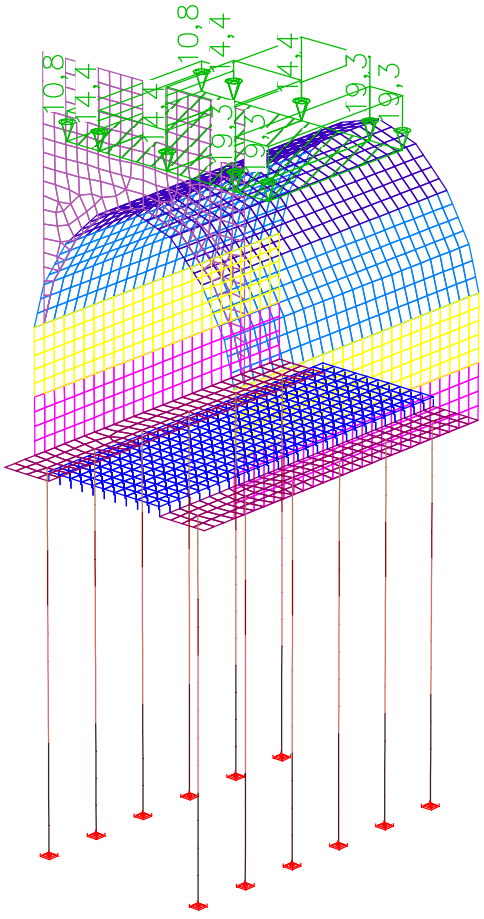




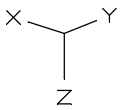
LF 21: Belastung, LM71 G1 voll

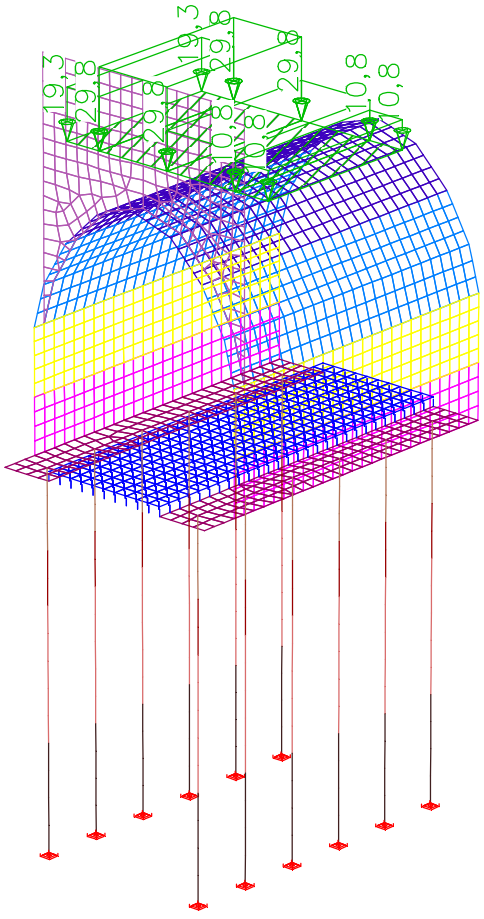
T.016058338 - 21 : LM71 G1 voll - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße



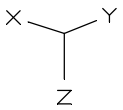


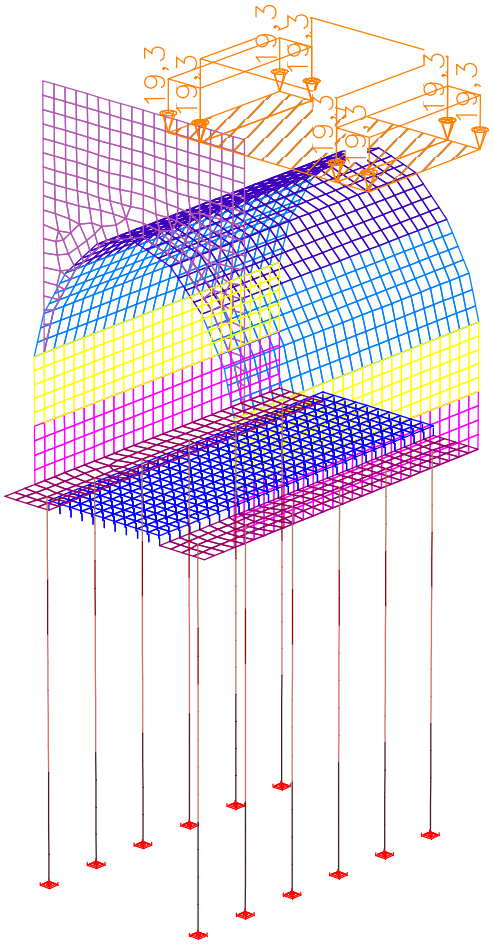
LF 22: Belastung, LM71 G1 re



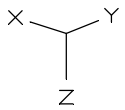


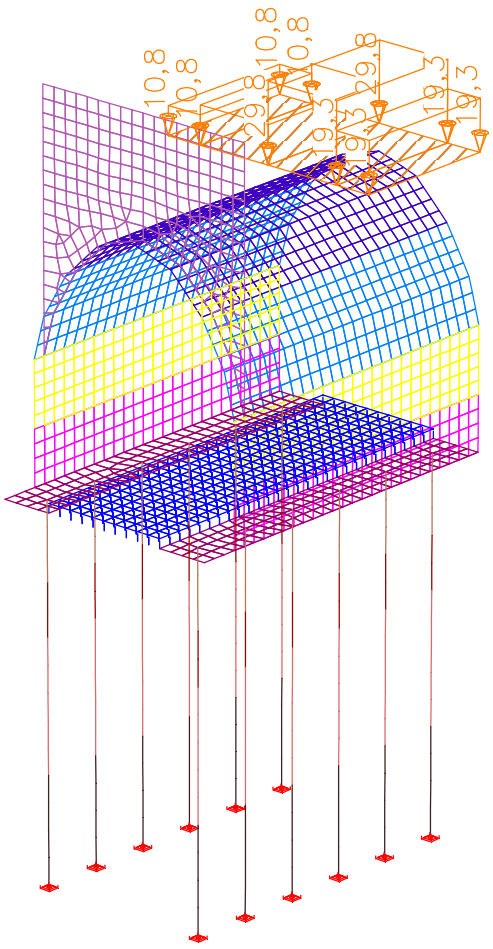
LF 23: Belastung, LM71 G1 li





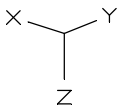
LF 24: Belastung, LM71 G2 voll

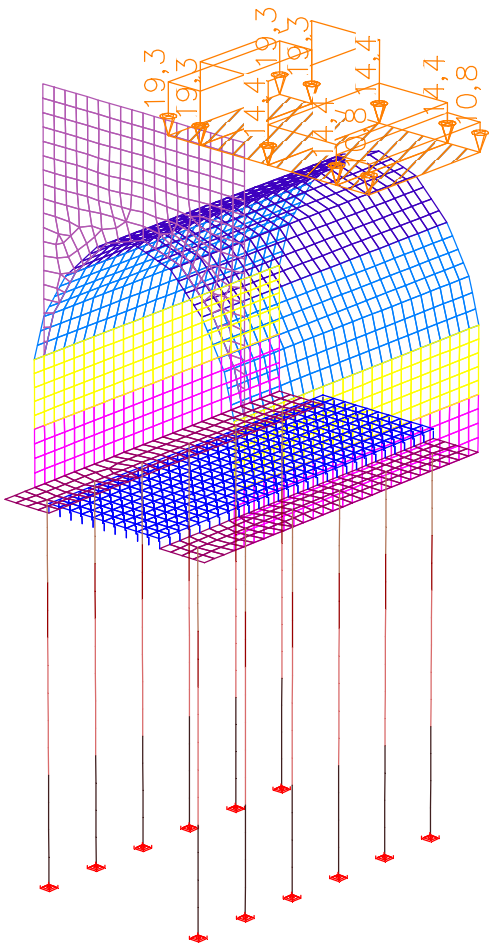




LF 25: Belastung, LM71 G2 re

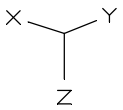
T.016058338 - 25 : LM71 G2 re - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße

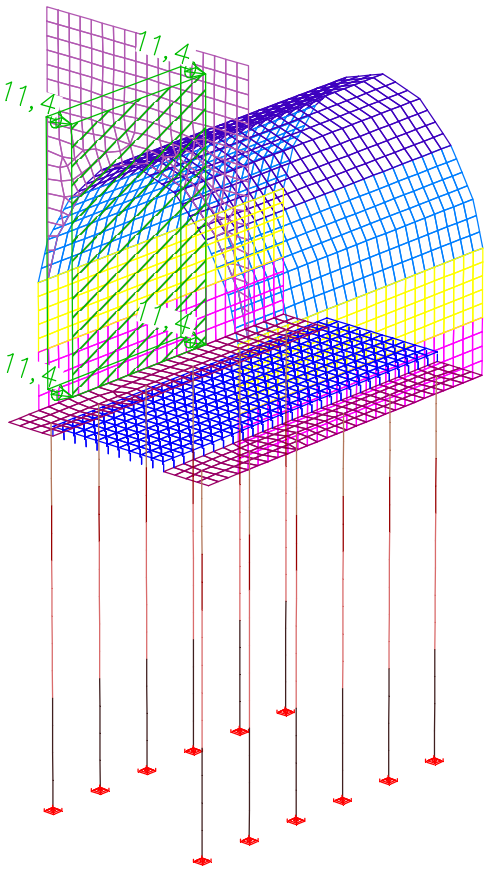




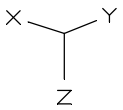
LF 26: Belastung, LM71 G2 li

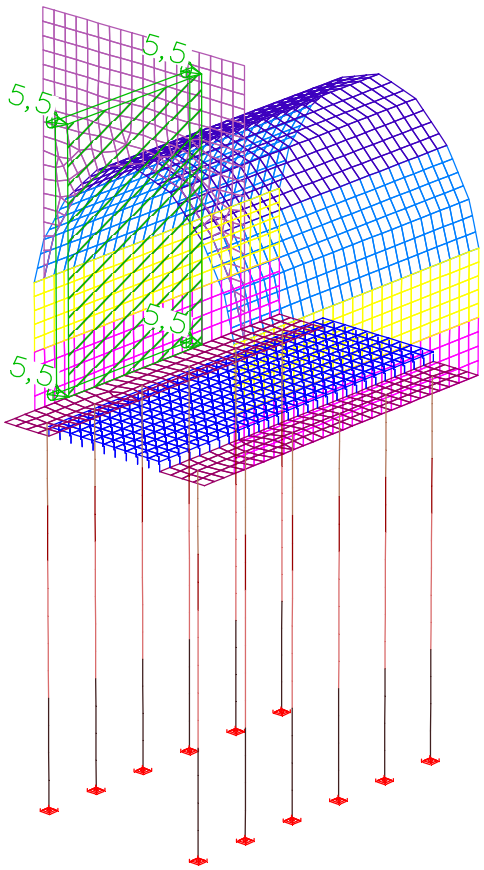
T.016058338 - 26 : LM71 G2 li - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße





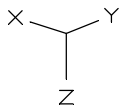
LF 31: Belastung, Erddruck LM71 G1 max

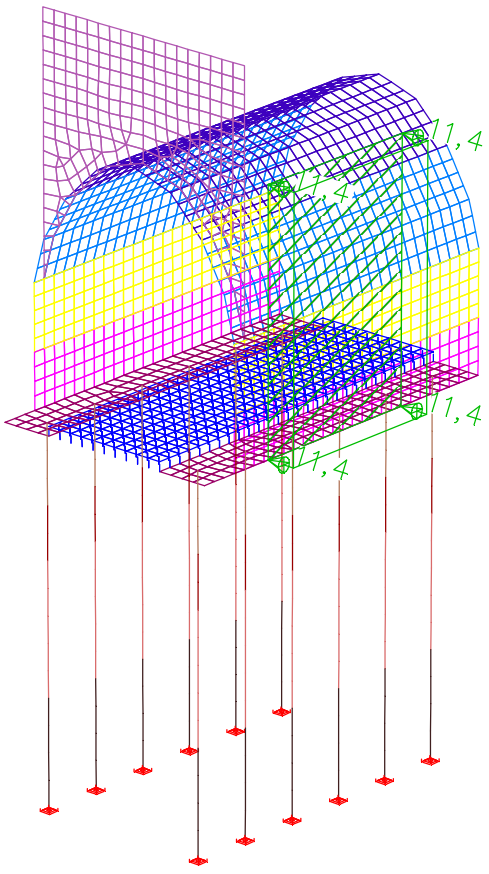




LF 32: Belastung, Erddruck LM71 G1 min

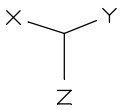
T.016058338 - 32 : Erddruck LM71 G1 min - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße

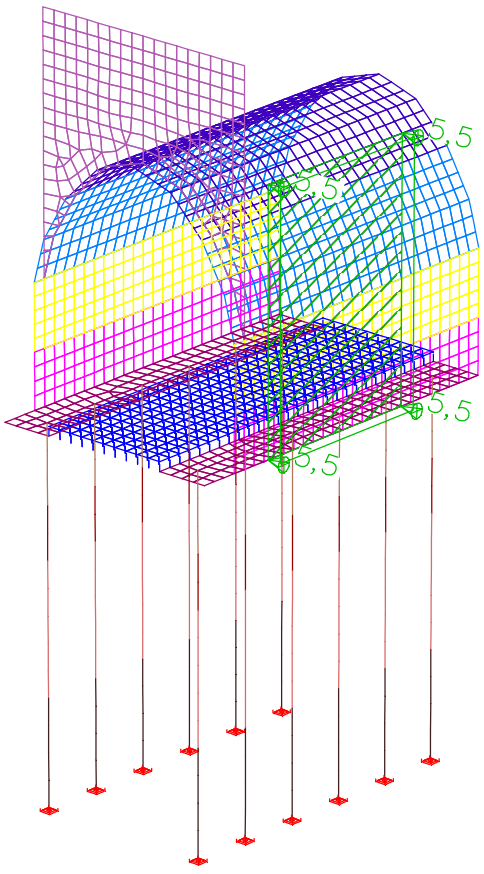




LF 33: Belastung, Erddruck LM71 G1 max

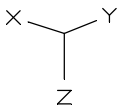
T.016058338 - 33 : Erddruck LM71 G1 max - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße

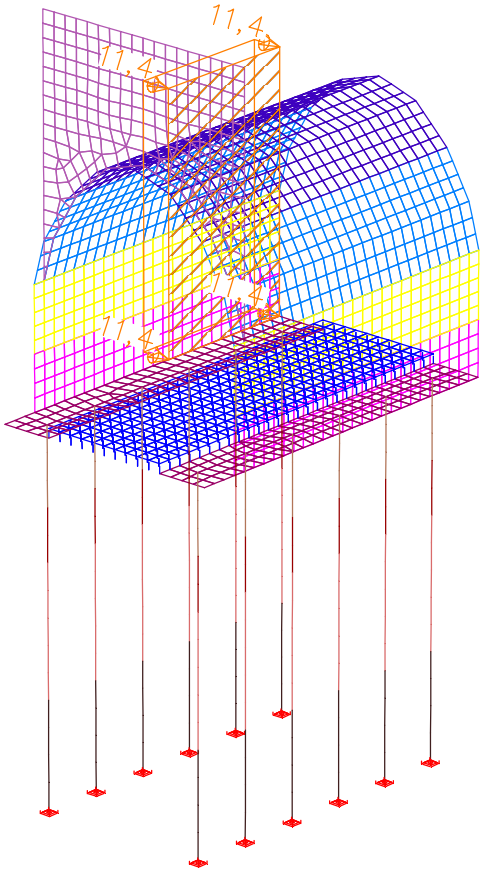




LF 34: Belastung, Erddruck LM71 G1 min

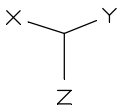
T.016058338 - 34 : Erddruck LM71 G1 min - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße

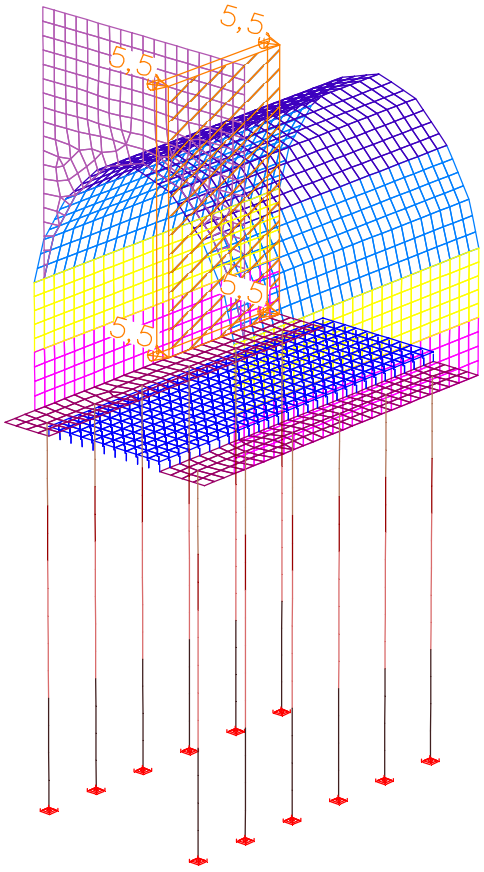




LF 35: Belastung, Erddruck LM71 G2 max

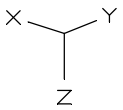
T.016058338 - 35 : Erddruck LM71 G2 max - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße

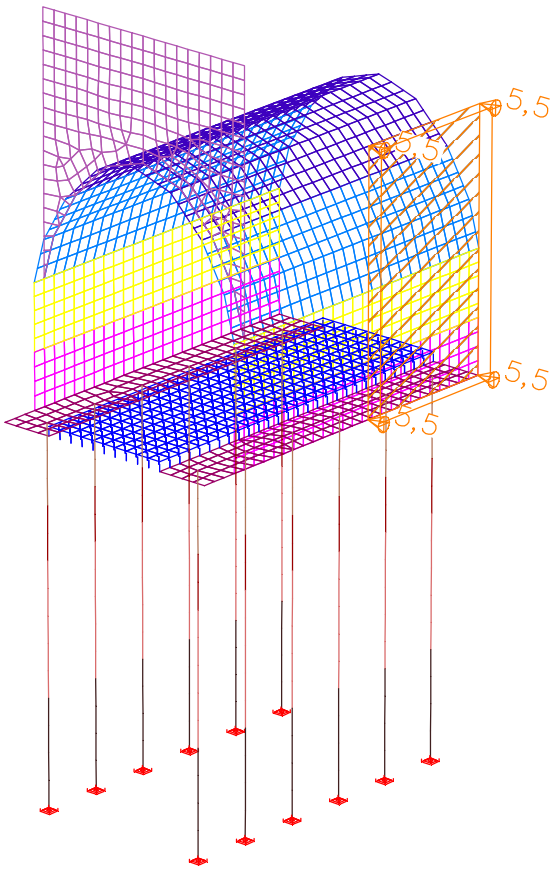




LF 36: Belastung, Erddruck LM71 G2 min

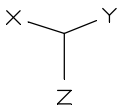
T.016058338 - 36 : Erddruck LM71 G2 min - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße

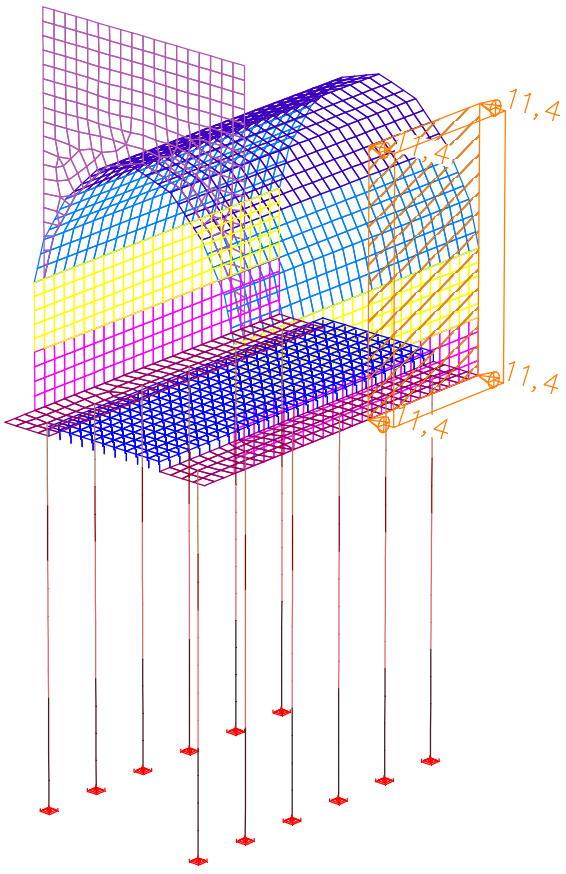




LF 37: Belastung, Erddruck LM71 G2 min

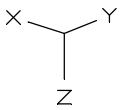
T.016058338 - 37 : Erddruck LM71 G2 min - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße

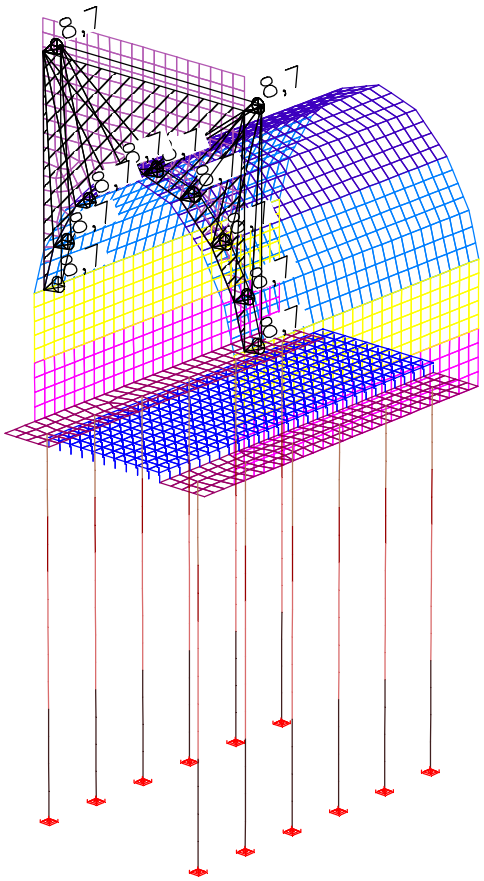




LF 38: Belastung, Erddruck LM71 G2 max

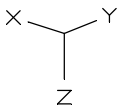
T.016058338 - 38 : Erddruck LM71 G2 max - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße

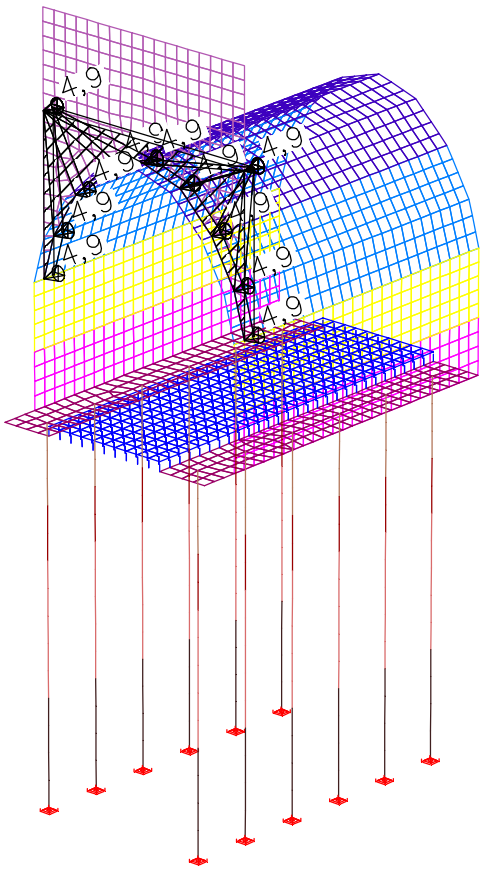




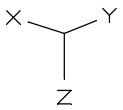
LF 41: Belastung, Erddruck LM71 G1 Stützwand

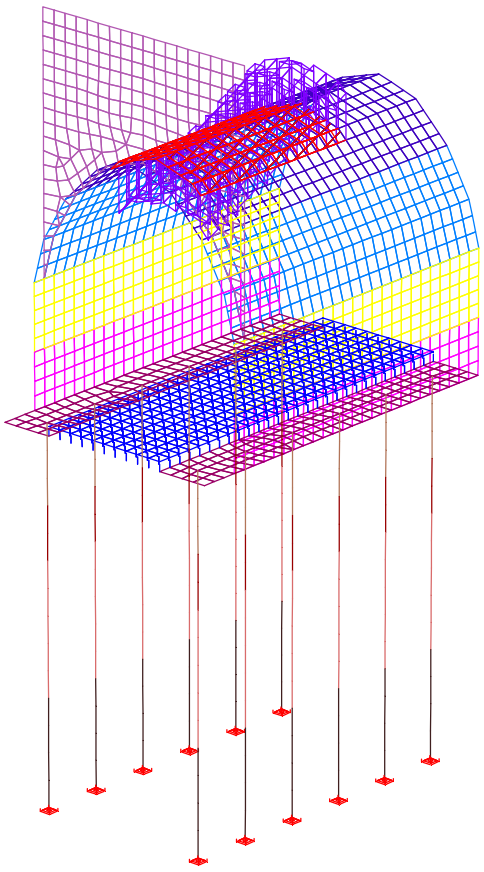
T.016058338 - 41 : Erddruck LM71 G1 Stützwand - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße



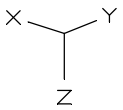


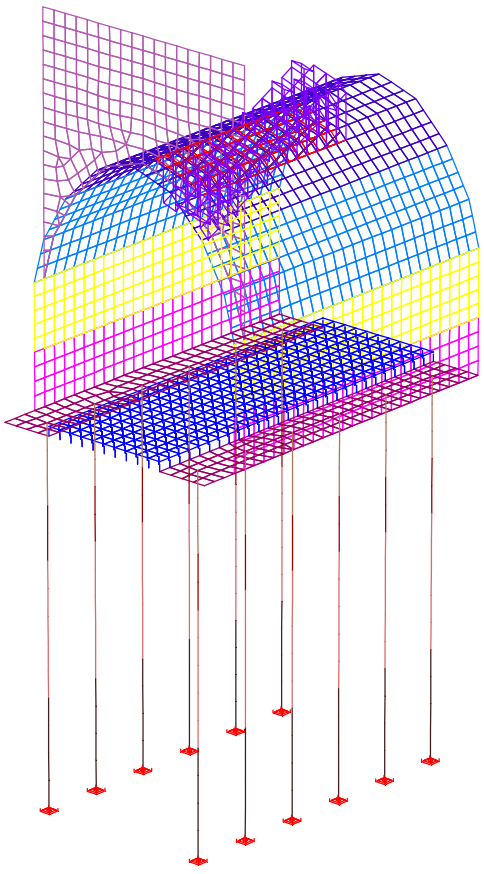
LF 42: Belastung, Erddruck LM71 G2 Stützwand



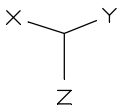


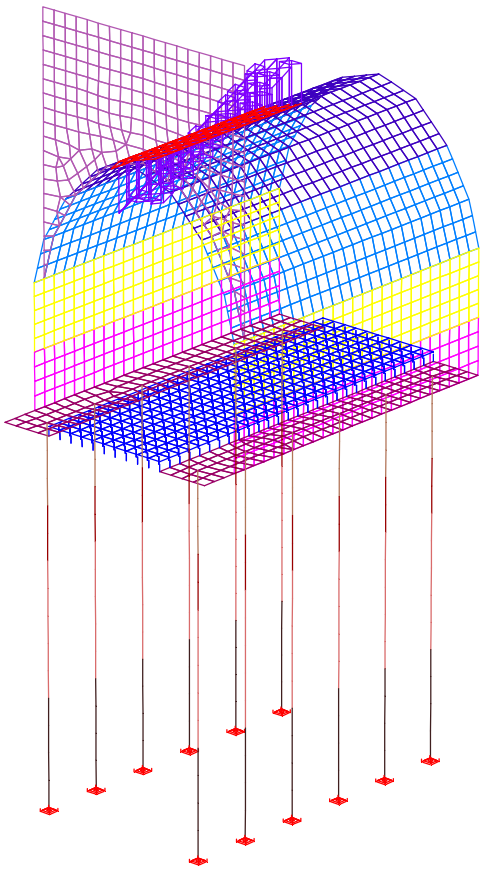
LF 50: Belastung, Seitenstoß G1 voll



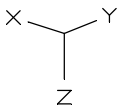


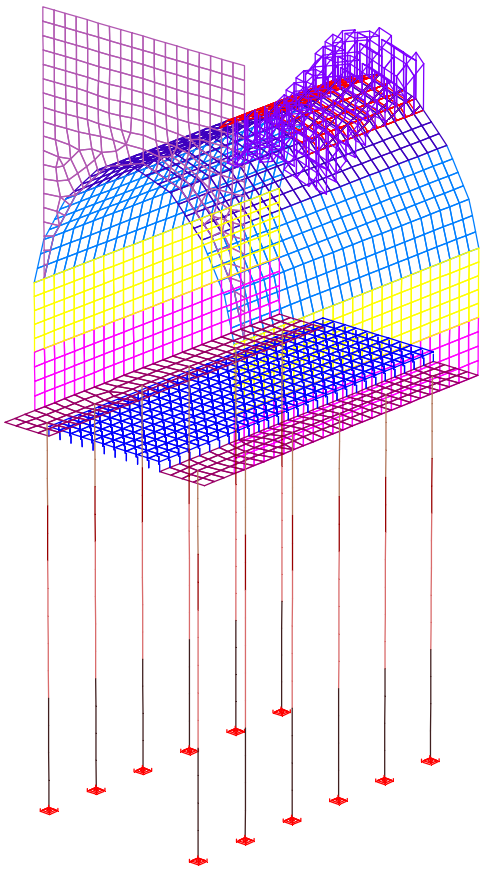
LF 51: Belastung, Seitenstoß G1 halb



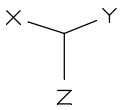


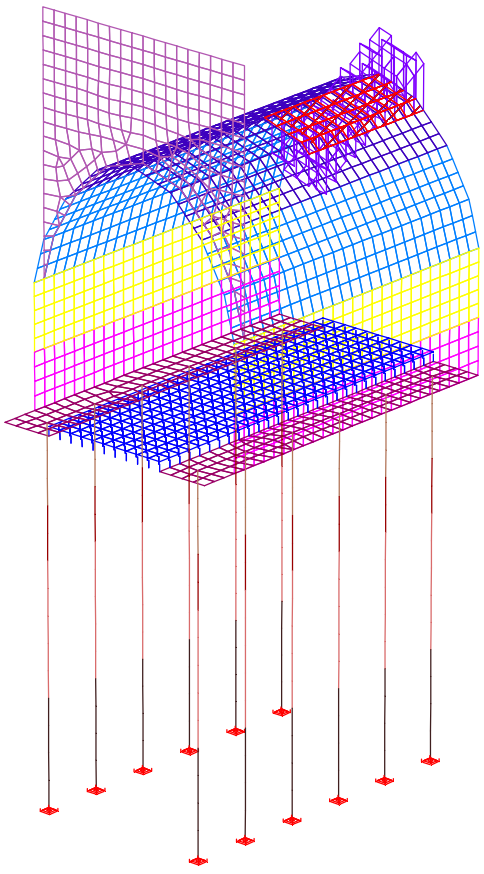
LF 52: Belastung, Seitenstoß G1 halb





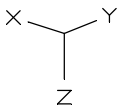
LF 53: Belastung, Seitenstoß G2 voll

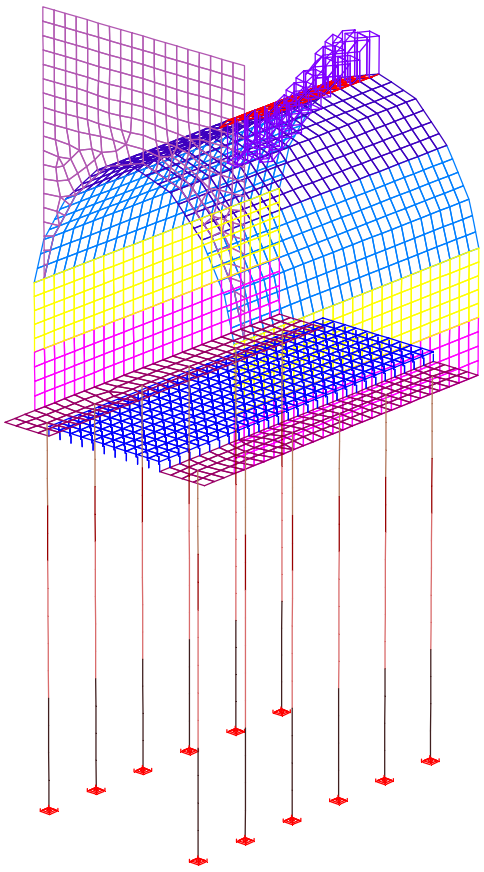




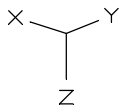
LF 54: Belastung, Seitenstoß G2 halb

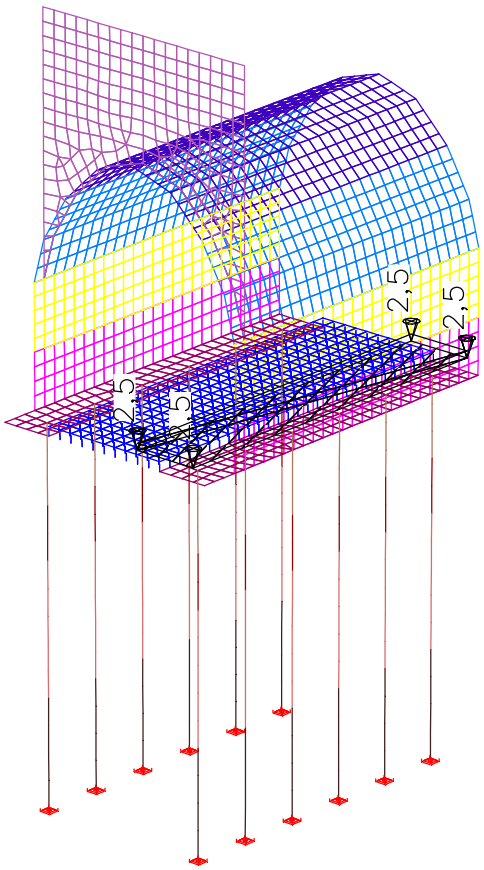
T.016058338 - 54 : Seitenstoß G2 halb - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße



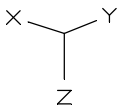


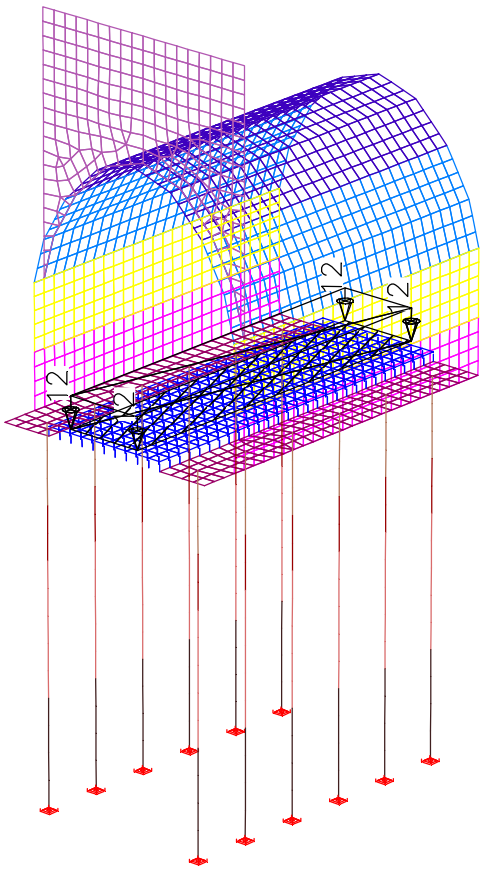
LF 55: Belastung, Seitenstoß G2 halb



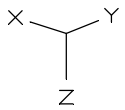


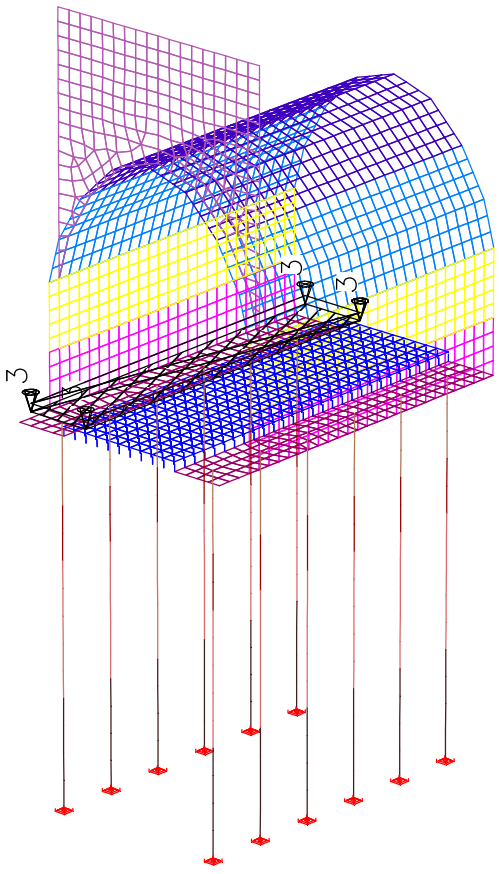
LF 61: Belastung, LM Gehweg



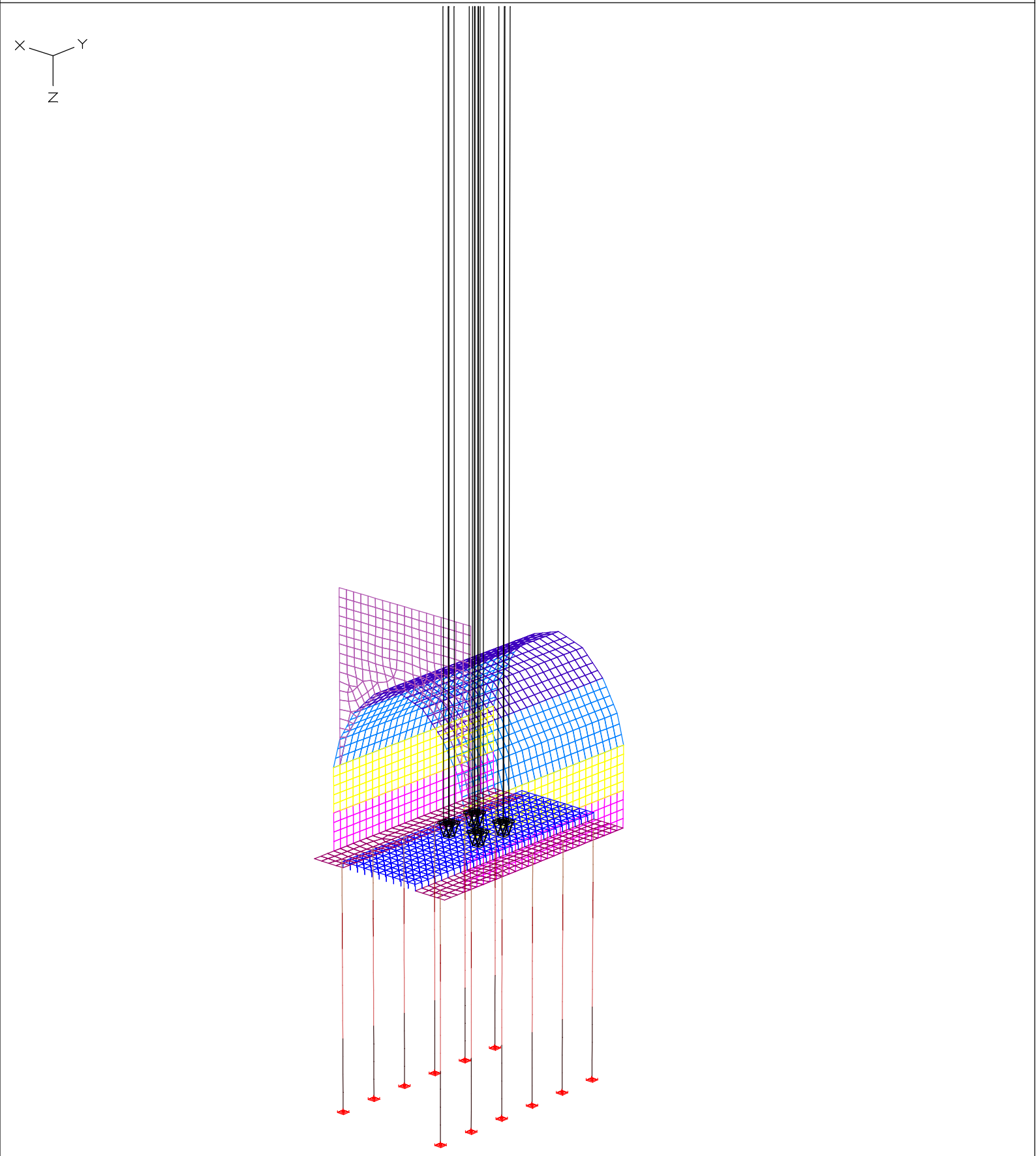


LF 64: Belastung, LM1 FL 1



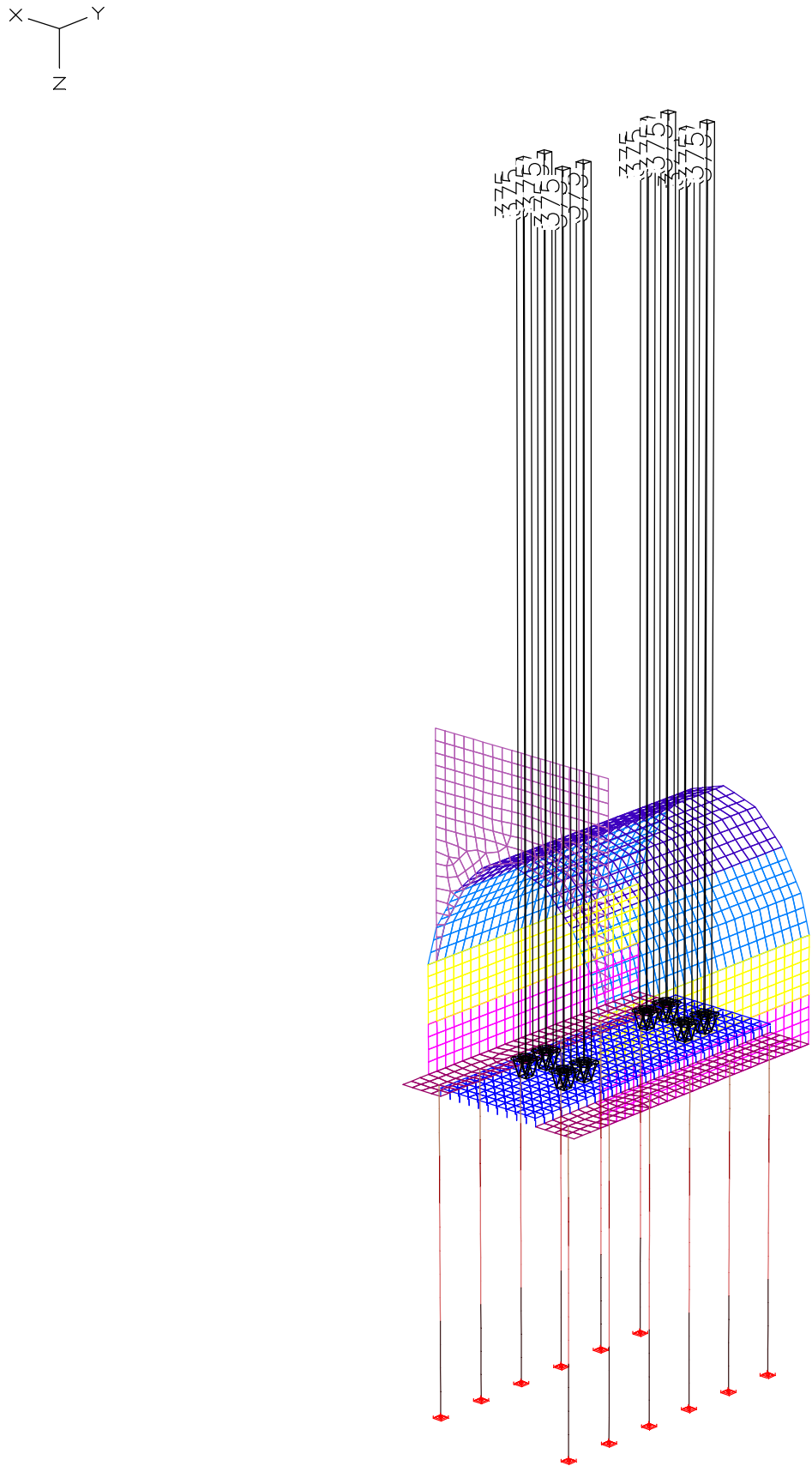


LF 65: Belastung, LM1 FL 2

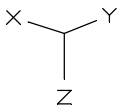


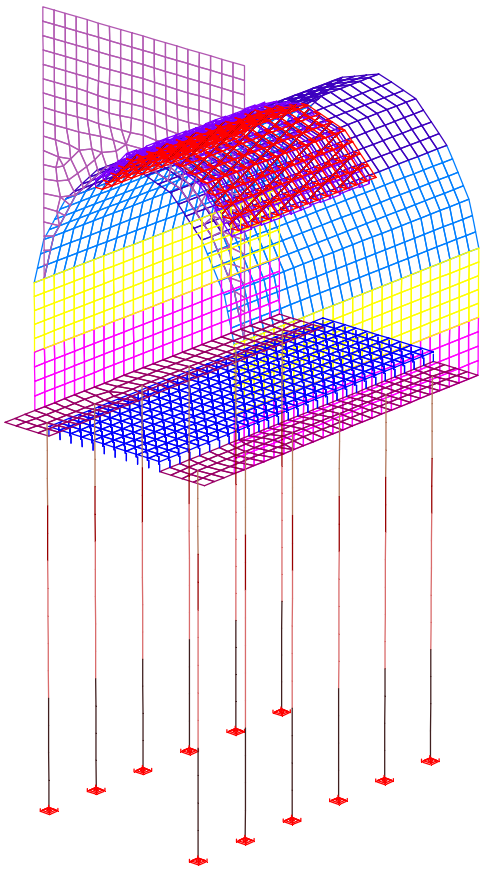
LF 66: Belastung, LM1 Doppelachslast 1

T.016058338 - 66 : LM1 Doppelachslast 1 - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße

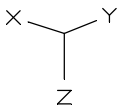


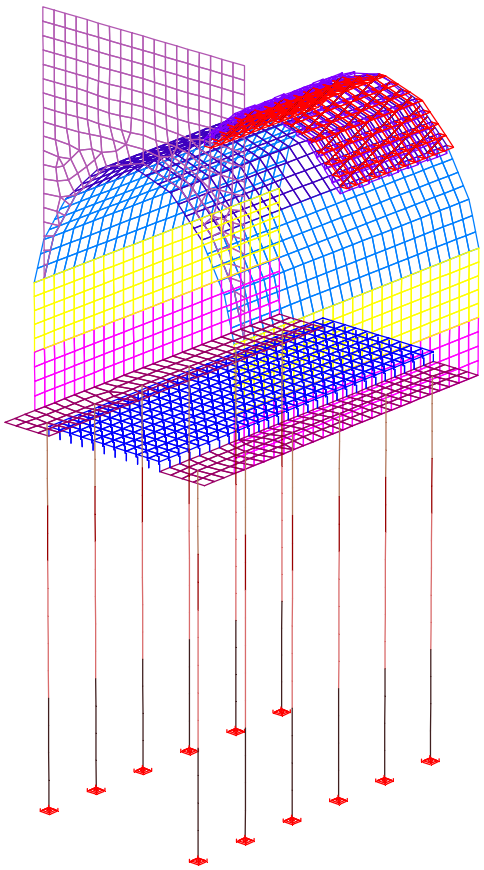
LF 67: Belastung, ELM3



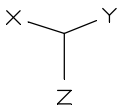


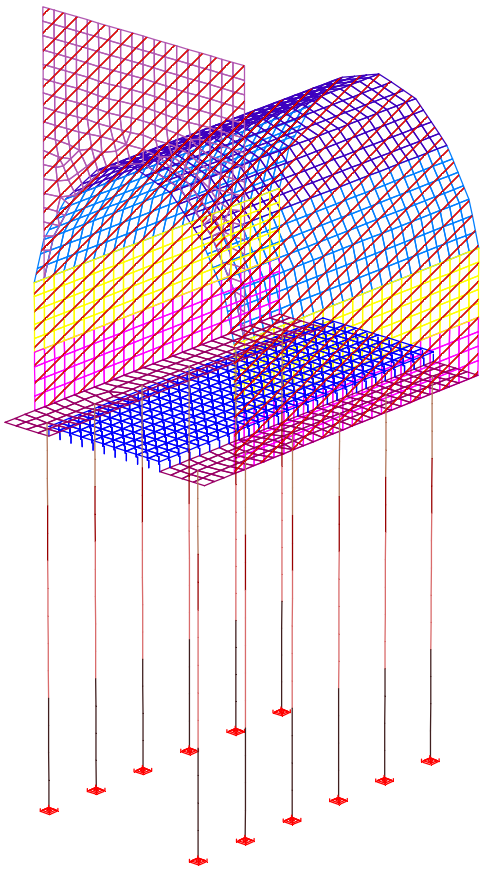
LF 70: Belastung, Anfahren/Bremsen G1



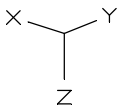


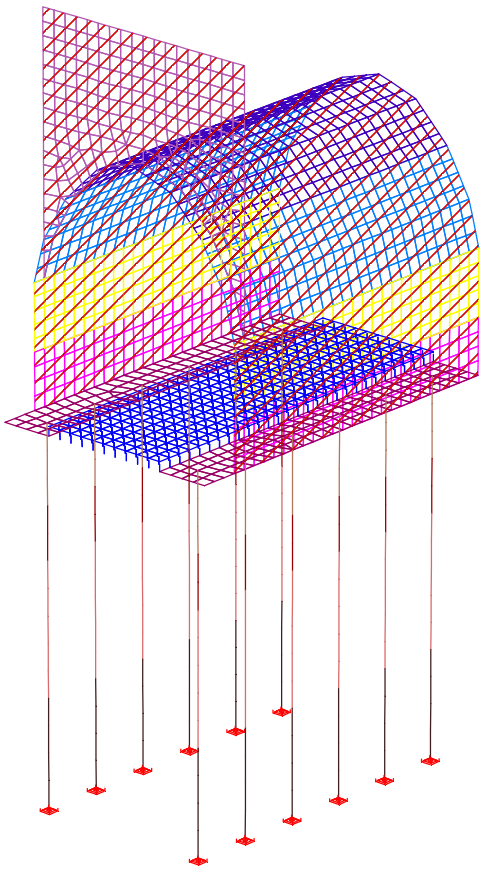
LF 72: Belastung, Anfahren/Bremsen G2



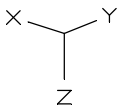


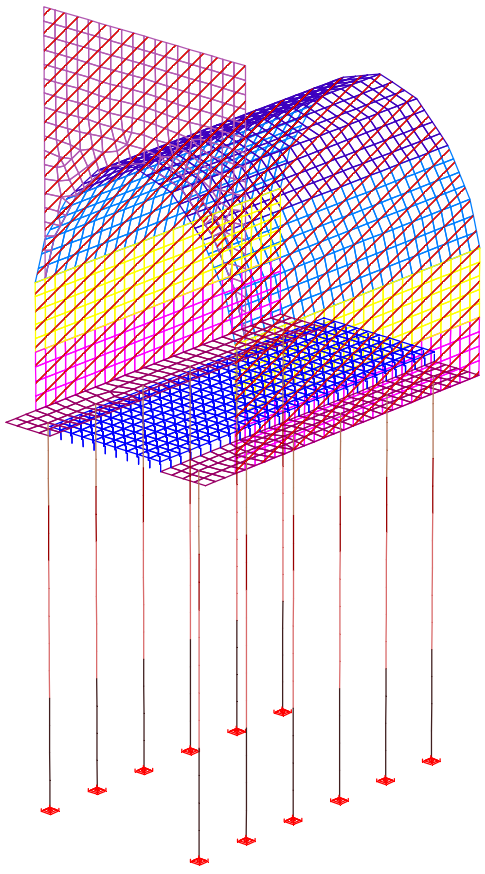
LF 81: Belastung, Temp. konst. +



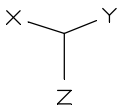


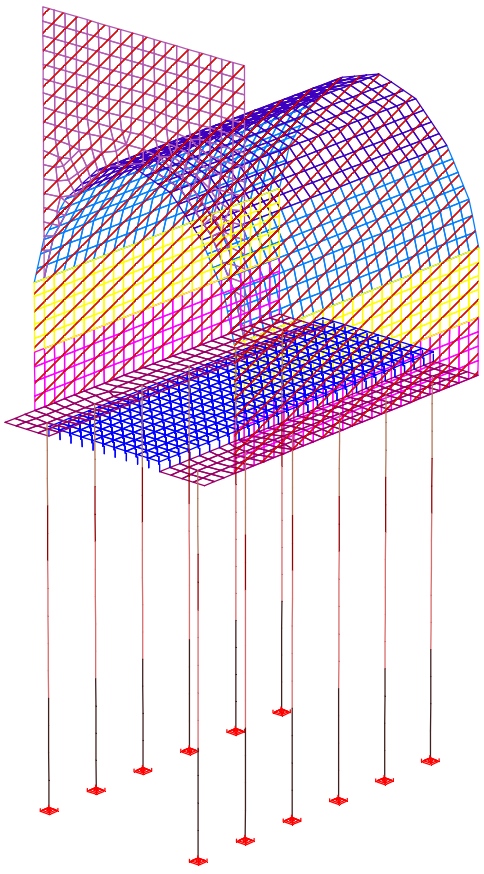
LF 82: Belastung, Temp. konst. -





LF 83: Belastung, Temp. var. oben +





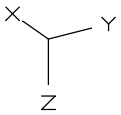
LF 84: Belastung, Temp. var. unten +

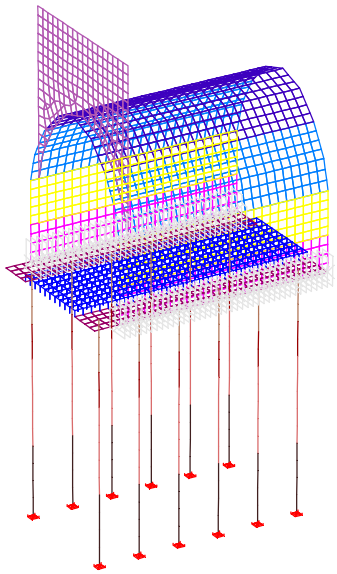
T.016058338 - 84 : Temp. var. unten + - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße

Berechnungsvorgaben Dynamik

Berechnungsmodus	Antwortspektrum DIN 4149:2005
Eigenwerte, Anzahl Max. Vektorraum Iterationsgenauigkeit	15 23 1 [%]
Wirkung der Massen In Richtung Um Achse	 X, Y, Z X, Y, Z
Bodenbeschleunigungen Komponenten getrennt aufbringen Bezugssystemwinkel alpha	ax = 0,6 ay = 0,6 az = 0,42 [m/s²] Ja 0 [°]
Beiwerte nach DIN 4149:2005 Untergrundverhältnisse Lehr'sches Dämpfungsmaß Bedeutungsbeiwert gamma I Verhaltensbeiwert q Kombinationsmethode Stat. Ersatzlasten speichern	 B-R 0,05 1,3 1,5 Standard Ja

Verfasser:	DB Engineering & Consulting GmbH	Projekt Nr. T.016058338
Bauwerk:	Gewölbetragwerk auf Bohrpfählen	Datum:

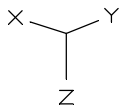


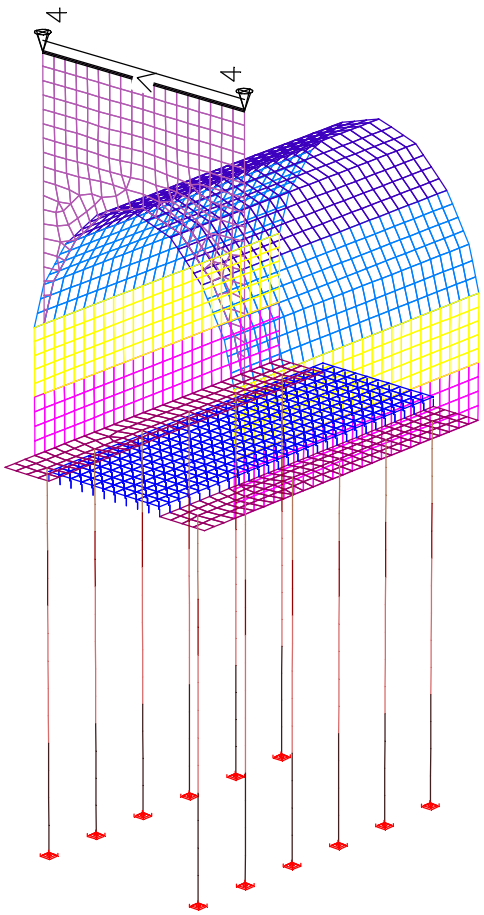


Bauteil:	Gewölbe_Süd_EÜ_Drimbornstraße.fem	Pos. Nr.	Archiv Nr.
Block:		Seite 74	
Vorgang:		M = 1: 390	

Massen aus Lastfällen erzeugen

Gewählte Lastfälle	Faktor
1 Eigenlast	1,000
11 Bestand	1,000
12 Überschüttung	1,000
13 Fahrbahn Züge	1,000
14 ständiger Erddruck Brücke	1,000
16 ständiger Erddruck Stützwand	1,000
18 Fahrbahn Straße	1,000
21 LM71 G1 voll	0,250
24 LM71 G2 voll	0,250





LF 90: Belastung, Randweg Besich.

T.016058338 - 90 : Randweg Besich. - M = 1:260
EÜ Drimbornstraße

3. Kombinationen und Bemessungsvorgaben nach DIN EN 1992-2

DIN EN 1992-2 Einwirkungen

G1 - Ständige Einwirkung

1	Eigenlast
11	Bestand
12	Überschüttung
13	Fahrbahn Züge
14	ständiger Erddruck Brücke
16	ständiger Erddruck Stützwand
18	Fahrbahn Straße

E - Erdbeben, 1. Variante, exklusiv

K400	Erdbeben 1
K401	Erdbeben 2

T - Temperatur, 1. Variante, inklusiv

K301	Temperatur gesamt

Q1 - Eisenbahnlasten, 1. Variante, inklusiv

K300	Eisenbahnlasten gesamt

Q2 - Erddruck, 1. Variante, inklusiv

K302	Erddruck LM71

Q3 - Straße Flächenlast, 1. Variante, inklusiv

K303	LM1 Straße Flächenlast

Q4 - Verkehr Randweg, 1. Variante, inklusiv

90	Randweg Besich.

Q6 - Straße Achslast, 1. Variante, inklusiv

66	LM1 Doppelachslast 1

Qfat - Zyklische Ermüdungseinwirkung, 1. Variante, inklusiv

67	ELM3

Ständige und vorübergehende Kombination, Situationen

Variante	Zustand	Einwirkungen
1)	End	G1 + QK

QK bedeutet veränderliche Einwirkungen entsprechend der Tabelle der Kombinationsbeiwerte.

Ständige und vorübergehende Kombination, Sicherheitsbeiwerte

Einwirkung	Gamma.sup	Gamma.inf
G1	1,35	1
T	1,35	0
Q1	1,45	0
Q2	1,5	0
Q3	1,5	0
Q4	1,5	0
Q6	1,5	0

Ständige und vorübergehende Kombination, Kombinationsbeiwerte

Variante	T	Q1	Q2	Q3	Q4	Q6
a)	1	0,8	0,8	0,4	0,8	0,75
b)	0,6	1	0,8	0,4	0,8	0,75
c)	0,6	0,8	1	0,4	0,8	0,75
d)	0,6	0,8	0,8	1	0,8	0,75
e)	0,6	0,8	0,8	0,4	1	0,75
g)	0,6	0,8	0,8	0,4	0,8	1

Erdbeben Kombination, Situationen

Variante	Zustand	Einwirkungen
1)	End	G1 + QK

QK bedeutet veränderliche Einwirkungen entsprechend der Tabelle der Kombinationsbeiwerte.

Erdbeben Kombination, Sicherheitsbeiwerte

Einwirkung	Gamma.sup	Gamma.inf
G1	1	1
E	1	0
T	1	0
Q1	1	0
Q2	1	0
Q3	1	0
Q4	1	0
Q6	1	0

Erdbeben Kombination, Kombinationsbeiwerte

Variante	T	Q1	Q2	Q3	Q4	Q6
a)	0,5	0,8	0	0	0	0

Charakteristische (seltene) Kombination, Situationen

Variante	Zustand	Einwirkungen
1)	End	G1 + QK

QK bedeutet veränderliche Einwirkungen entsprechend der Tabelle der Kombinationsbeiwerte.

Charakteristische (seltene) Kombination, Sicherheitsbeiwerte

Einwirkung	Gamma.sup	Gamma.inf
G1	1	1
T	1	0
Q1	1	0
Q2	1	0
Q3	1	0
Q4	1	0
Q6	1	0

Charakteristische (seltene) Kombination, Kombinationsbeiwerte

Variante	T	Q1	Q2	Q3	Q4	Q6
a)	1	0,8	0,8	0,4	0,8	0,75
b)	0,6	1	0,8	0,4	0,8	0,75
c)	0,6	0,8	1	0,4	0,8	0,75
d)	0,6	0,8	0,8	1	0,8	0,75
e)	0,6	0,8	0,8	0,4	1	0,75
g)	0,6	0,8	0,8	0,4	0,8	1

Häufige Kombination, Situationen

Variante	Zustand	Einwirkungen
1)	End	G1 + QK

QK bedeutet veränderliche Einwirkungen entsprechend der Tabelle der Kombinationsbeiwerte.

Häufige Kombination, Sicherheitsbeiwerte

Einwirkung	Gamma.sup	Gamma.inf
G1	1	1
T	1	0
Q1	1	0
Q2	1	0
Q3	1	0
Q4	1	0
Q6	1	0

Häufige Kombination, Kombinationsbeiwerte

Variante	T	Q1	Q2	Q3	Q4	Q6
a)	0,5	0,8	0	0	0	0
b)	0,6	0	0	0	0	0

Quasi-ständige Kombination, Situationen

Variante	Zustand	Einwirkungen
1)	End	G1 + QK

QK bedeutet veränderliche Einwirkungen entsprechend der Tabelle der Kombinationsbeiwerte.

Quasi-ständige Kombination, Sicherheitsbeiwerte

Einwirkung	Gamma.sup	Gamma.inf
G1	1	1
T	1	0
Q1	1	0
Q2	1	0
Q3	1	0
Q4	1	0
Q6	1	0

Quasi-ständige Kombination, Kombinationsbeiwerte

Variante	T	Q1	Q2	Q3	Q4	Q6
a)	0,5	0	0	0	0	0

Ermüdungskombination, Situationen

Variante	Zustand	Einwirkungen
1)	End	G1 + QK + Qfat

QK bedeutet veränderliche Einwirkungen entsprechend der Tabelle der Kombinationsbeiwerte.

Ermüdungskombination, Sicherheitsbeiwerte

Einwirkung	Gamma.sup	Gamma.inf
G1	1	1
T	1	0
Q1	1	0
Q2	1	0
Q3	1	0
Q4	1	0

Q6	1	0
Qfat	1	0

Ermüdungskombination, Kombinationsbeiwerte

Variante	T	Q1	Q2	Q3	Q4	Q6
a)	0,6	0	0	0	0	0

Bemessungsvorgaben DIN EN 1992-2

Qu.	Expos. klasse	Vorspannung des Bauteils	Bewehrung M	R	B	Q	T	S	Ermüdung B	Q	T	P	C	V	Ri. br.	De- ko.	Spannung C	H	B	P
1	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	x	x	.	.	x	.	x	.	x	.	.	.
4	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	x	x	.	.	x	.	x	.	x	.	.	.
5	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	x	x	.	.	x	.	x	.	x	.	.	.
6	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	x	x	.	.	x	.	x	.	x	.	.	.
8	XC4	Nicht vorgesp.	x	.	x	x	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	.	.	.	.	.	.	x	.	.	.	.	.
10	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	.	.	.	.	.	.	x	.	.	.	.	.
11	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	.	.	.	.	.	.	x	.	.	.	.	.
12	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	x	x	.	.	x	.	x	.	x	.	.	.
13	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	.	.	.	.	.	.	x	.	.	.	.	.
15	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	.	.	.	.	.	.	x	.	.	.	.	.
16	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	.	.	.	.	.	.	x	.	.	.	.	.
23	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	x	x	.	.	x	.	x	.	x	.	.	.
32	XC4	Nicht vorgesp.	x	x	x	x	.	.	x	x	.	.	x	.	x	.	x	.	.	.

(M) Mindestbewehrung zur Sicherstellung der Robustheit.
(R) Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite.
(B) Längsbewehrung aus Bemessung sowie im Ermüdungs- und Spannungsnachweis.
(Q) (Mindest-)Querkraftbewehrung aus Tragfähigkeit und Ermüdung.
(T) Torsionsbewehrung im Tragfähigkeits- und Ermüdungsnachweis.
(S) Nachweis der Schubfuge.
(P) Spannstahl im Ermüdungs- und Spannungsnachweis.
(C) Betondruckspannungen, Beton im Ermüdungsnachweis unter Längsdruck.
(V) Beton im Ermüdungsnachweis unter Querkraftbeanspruchung.
(H) Schiefe Hauptzugspannungen.

Vorgaben für den Nachweis der Längs- und Schubbewehrung

M,N Bemessungsmodus für Biegung und Längskraft:
(ST) Standard, (SY) Symmetrisch, (DG) Druckglied.
(*) Bem. ohne Berücksichtigung vorgegebener Bewehrungsverhältnisse.
fyk Stahlgüte der Bügel.
Theta Neigung der Betondruckstreben. Der eingegebene Wert für cot Theta wird programmseitig auf den Wertebereich nach Gl. (6.107aDE) begrenzt.
Pl. Balken werden wie Platten bemessen.
Asl Vorh. Biegezugbewehrung nach Bild 6.3, autom. Erhöhung bis Maximum.
rhow Faktor für Mindestbewehrungsgrad rho.w,min nach Gl. (9.5a/bDE).
as Faktor für Biegebewehrung von Platten in Querrichtung nach 9.3.1.1(2).
x,y Getrennter Querkraftnachweis für die Bewehrungsrichtungen x und y.
cvl Verlegemaß der Längsbewehrung zur Begrenzung des Hebelarms z.
Red. Reduktionsfaktor der Vorspannung zur Bestimmung der Zugzone für die Verteilung der Robustheitsbewehrung bei Flächenelementen.

Qu.	Beton	Roh-dichte [kg/m³]	Bem. M,N	fyk [MPa]	cot Theta	Bem. wie Pl.	Asl [cm²] Bild 6.3 vorh.	Asl [cm²] Bild 6.3 max	Faktor rhow	Faktor as	x,y Rtg	cvl [mm]	Red. Vor-spg.
1	C35/45-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	0,00	0,60	0,20	.	65	.
4	C35/45-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	0,00	0,60	0,20	.	65	.
5	C35/45-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	0,00	0,60	0,20	.	65	.
6	C35/45-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	0,00	0,60	0,20	.	65	.
8	C35/45-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	.	1,00	.	.	55	.
9	C30/37-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	.	1,00	.	.	75	.
10	C30/37-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	.	1,00	.	.	75	.
11	C30/37-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	.	1,00	.	.	75	.
12	C35/45-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	0,00	0,60	0,20	.	65	.
13	C30/37-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	.	1,00	.	.	75	.
15	C30/37-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	.	1,00	.	.	75	.
16	C30/37-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	.	1,00	.	.	75	.
23	C35/45-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	0,00	0,60	0,20	.	65	.
32	C35/45-EN-D	.	ST	500	1,00	.	0,00	0,00	0,60	0,20	.	65	.

Schubquerschnitte

bw.nom Rechnerische Querschnittsbreite bei Vorspannung nach 6.2.3(6).
h.nom Rechnerische Querschnittshöhe bei Vorspannung nach 6.2.3(6).
kb, kd Faktor zur Berechnung des inneren Hebelarms z aus der Nutzbreite bn bzw. der Nutzhöhe d.
z1, z2 Höhe und Breite des Kernquerschnitts für Torsion.
tef Wanddicke des Torsionskastens.
K. Kastenquerschnitt; Ermittlung der Tragfähigkeit nach Gl. (6.29).

Qu.	Breite [m] bw	bw.nom	Nutzbreite bn [m]	kb	Höhe [m] h	h.nom	Nutzhöhe d [m]	kd	Torsionsquerschn. [m] z1	z2	tef	K.
1	1,000	.	.	.	0,500	.	0,435	0,90	.	.	.	.
4	1,000	.	.	.	0,850	.	0,785	0,90	.	.	.	.
5	1,000	.	.	.	0,620	.	0,555	0,90	.	.	.	.
6	1,000	.	.	.	0,500	.	0,435	0,90	.	.	.	.
8	1,000	.	0,945	0,90	1,700	.	1,645	0,90	1,590	0,890	0,110	.
9	0,667	.	0,592	0,90	0,998	.	0,923	0,90	0,848	0,517	0,150	.
10	0,667	.	0,592	0,90	0,998	.	0,923	0,90	0,848	0,517	0,150	.
11	0,667	.	0,592	0,90	0,998	.	0,923	0,90	0,848	0,517	0,150	.
12	1,000	.	.	.	1,000	.	0,935	0,90	.	.	.	.
13	0,667	.	0,592	0,90	0,998	.	0,923	0,90	0,848	0,517	0,150	.

Schubquerschnitte

bw.nom Rechnerische Querschnittsbreite bei Vorspannung nach 6.2.3(6).
h.nom Rechnerische Querschnittshöhe bei Vorspannung nach 6.2.3(6).
kb, kd Faktor zur Berechnung des inneren Hebelarms z aus der Nutzbreite bn bzw. der Nutzhöhe d.
z1, z2 Höhe und Breite des Kernquerschnitts für Torsion.
tef Wanddicke des Torsionskastens.
K. Kastenquerschnitt; Ermittlung der Tragfähigkeit nach Gl. (6.29).

Qu.	Breite [m] bw	bw.nom	Nutzbreite bn [m]	kb	Höhe [m] h	h.nom	Nutzhöhe d [m]	kd	Torsionsquerschn. [m] z1	z2	tef	K.
15	0,667	.	0,592	0,90	0,998	.	0,923	0,90	0,848	0,517	0,150	.
16	0,667	.	0,592	0,90	0,998	.	0,923	0,90	0,848	0,517	0,150	.
23	1,000	.	.	.	1,200	.	1,135	0,90	.	.	.	.
32	1,000	.	.	.	1,000	.	0,935	0,90	.	.	.	.

Vorgaben für den Nachweis der Rissbreiten

ds Größter vorhandener Stabdurchmesser der Betonstahlbewehrung [mm].
max.s Größter vorhandener Stababstand der Betonstahlbewehrung [mm].
sr,max Oberer Grenzwert für den maximalen Rissabstand nach Gl. (7.11) [mm].
Xi1 Verbundbeiwert für Spannstahl bei Stabquerschnitten.
k Beiwert zur Berücksichtigung nichtlinear verteilter Zugspannungen.
kt Beiwert für die Dauer der Lasteinwirkung bei Berechnung der Rissbreite.
Fakt. Abminderungsfaktor für fctm nach Kap. 7.3.2 (As) bzw. 7.3.4 (wk).
P0 Abminderungsfaktor für den statisch best. Anteil der Vorspannung nach DIN EN 1992-2, Kap. 7.3.2 (NA.111).
Komb. Kombination für Nachweis der Mindestbewehrung (As) und Rissbreite (wk):
CK, HK, QK = Charakteristische, häufige, quasi-ständige Kombination,
ZZ, BO, BU = Zentrischer Zug, Biegezug oben, Biegezug unten,
NA = Einwirkungskombination nach DIN EN 1992-2/NA, Tabelle 7.101DE.
Methode Nachweismethode für Mindestbewehrung (kc) und Rissbreite (wk):
kc Berechnung des Beiwerts kc für Stege/Gurte nach Gl. (7.2/7.3).
auto = Gl. (7.2) für rechteckige, Gl. (7.3) für sonstige Querschnitte.
wk Berech. = Direkte Berechnung der Rissbreite nach Kap. 7.3.4,
Stabab. = Begrenzung der Stababstände nach Tab. 7.3N,
Ber.(M) = Direkte Berechnung für mittlere Stahldehnung innerh. Ac,eff,
Abs.(M) = Begr. der Stababstände für mittl. Stahldehnung innerh. Ac,eff.
RI Ringförmige Bestimmung von Ac,eff gemäß Wiese et al., Beton- und Stahlbetonbau 2004, Heft 4, S. 253 ff.
DB Bestimmung von As,min nach Gl. (NA.7.5.1) für dickere Bauteile.

Qu.	wmax [mm]	ds	max s	sr max	Beiwerte Xi1	k	kt	Fakt.fctm As	wk	Fakt. P0	Komb. As	wk	Methode kc	wk	RI	DB
1	0,20	20	.	.	.	0,50	0,4	0,75	1,00	.	ZZ	NA	auto	Berech.	.	.
4	0,20	20	.	.	.	0,50	0,4	0,75	1,00	.	ZZ	NA	auto	Berech.	.	x
5	0,20	20	.	.	.	0,61	0,4	0,75	1,00	.	ZZ	NA	auto	Berech.	.	.
6	0,20	20	.	.	.	0,70	0,4	0,75	1,00	.	ZZ	NA	auto	Berech.	.	.
9	0,20	20	.	.	.	1,00	0,4	1,00	1,00	.	NA	NA	auto	Berech.	.	.
10	0,20	20	.	.	.	1,00	0,4	1,00	1,00	.	NA	NA	auto	Berech.	.	.
11	0,20	20	.	.	.	1,00	0,4	1,00	1,00	.	NA	NA	auto	Berech.	.	.
12	0,20	20	.	.	.	0,50	0,4	0,75	1,00	.	ZZ	NA	auto	Berech.	.	x
13	0,20	20	.	.	.	1,00	0,4	1,00	1,00	.	NA	NA	auto	Berech.	.	.
15	0,20	20	.	.	.	1,00	0,4	1,00	1,00	.	NA	NA	auto	Berech.	.	.
16	0,20	20	.	.	.	1,00	0,4	1,00	1,00	.	NA	NA	auto	Berech.	.	.
23	0,20	20	.	.	.	0,50	0,4	0,75	1,00	.	ZZ	NA	auto	Berech.	.	x

Vorgaben für den Nachweis der Rissbreiten

ds Größter vorhandener Stabdurchmesser der Betonstahlbewehrung [mm].
max.s Größter vorhandener Stababstand der Betonstahlbewehrung [mm].
sr,max Oberer Grenzwert für den maximalen Rissabstand nach Gl. (7.11) [mm].
Xi1 Verbundbeiwert für Spannstahl bei Stabquerschnitten.
k Beiwert zur Berücksichtigung nichtlinear verteilter Zugspannungen.
kt Beiwert für die Dauer der Lasteinwirkung bei Berechnung der Rissbreite.
Fakt. Abminderungsfaktor für fctm nach Kap. 7.3.2 (As) bzw. 7.3.4 (wk).
P0 Abminderungsfaktor für den statisch best. Anteil der Vorspannung nach DIN EN 1992-2, Kap. 7.3.2 (NA.111).
Komb. Kombination für Nachweis der Mindestbewehrung (As) und Rissbreite (wk):
CK, HK, QK = Charakteristische, häufige, quasi-ständige Kombination,
ZZ, BO, BU = Zentrischer Zug, Biegezug oben, Biegezug unten,
NA = Einwirkungskombination nach DIN EN 1992-2/NA, Tabelle 7.101DE.
Methode Nachweismethode für Mindestbewehrung (kc) und Rissbreite (wk):
kc Berechnung des Beiwerts kc für Stege/Gurte nach Gl. (7.2/7.3).
auto = Gl. (7.2) für rechteckige, Gl. (7.3) für sonstige Querschnitte.
wk Berech. = Direkte Berechnung der Rissbreite nach Kap. 7.3.4,
Stabab. = Begrenzung der Stababstände nach Tab. 7.3N,
Ber.(M) = Direkte Berechnung für mittlere Stahldehnung innerh. Ac,eff,
Abs.(M) = Begr. der Stababstände für mittl. Stahldehnung innerh. Ac,eff.
RI Ringförmige Bestimmung von Ac,eff gemäß Wiese et al., Beton- und Stahlbetonbau 2004, Heft 4, S. 253 ff.
DB Bestimmung von As,min nach Gl. (NA.7.5.1) für dickere Bauteile.

Qu.	wmax [mm]	ds	max s	sr max	Beiwerte Xi1	k	kt	Fakt.fctm As	wk	Fakt. P0	Komb. As wk	Methode kc	wk	RI	DB
32	0,20	20	.	.	.	0,50	0,4	0,75	1,00	.	ZZ NA	auto	Berech.	.	x

Vorgaben für den Nachweis der Betonspannungen und Betonstahlspannungen

Av Fläche des Vollquerschnitts zur Ber. der Normalsp. aus Längskraft.
Sigma.c Betondruckspannung im Gebrauchszustand.
(CK),(QK) Charakteristische, Quasi-ständige Kombination.
(HK),(NA) Häufige Kombination, Kombination gemäß NA Tab. 7.101DE/7.102DE.

Qu.	Av [m²]	fck(t) [MN/m²]	zul.sigma.c(t) (CK, QK)	zul.sigma.c (CK)	zul.sigma.c (QK)	zul.sigma.s (CK)	Dekompr. K.	H-Zug Spann.	H-Zug L.druck
1	.	.	.	0,60 fck	.	.	.	.	.
4	.	.	.	0,60 fck	.	.	.	.	.
5	.	.	.	0,60 fck	.	.	.	.	.
6	.	.	.	0,60 fck	.	.	.	.	.
12	.	.	.	0,60 fck	.	.	.	.	.
23	.	.	.	0,60 fck	.	.	.	.	.
32	.	.	.	0,60 fck	.	.	.	.	.

Vorgaben für den Nachweis gegen Ermüdung

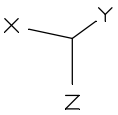
Die Betondruckspannungen werden nach Bild 3.2 berechnet.

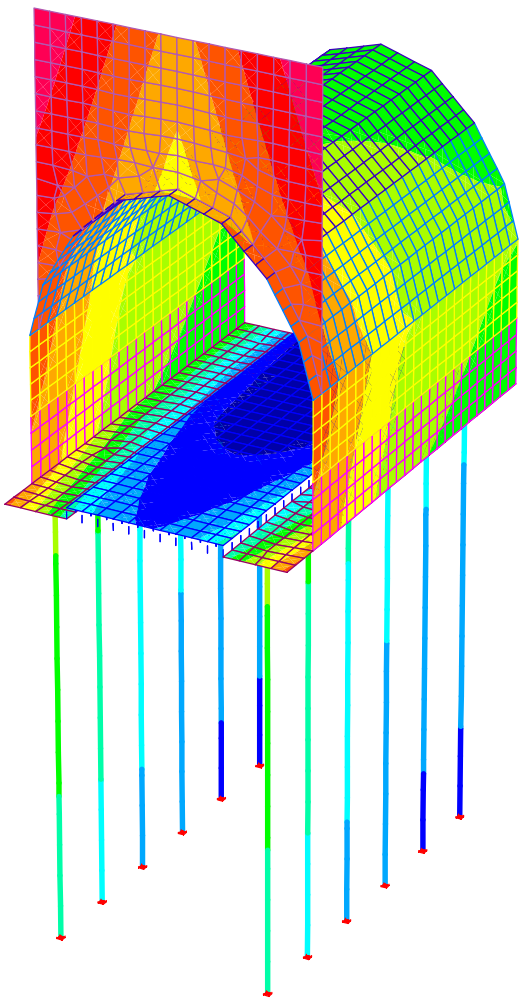
fcd,fat Betondruckfestigkeit vor Beginn der zyklischen Belastung.
dSigma.Rsk,s Zulässige charakt. Spannungsschwingbreite der Längsbewehrung.
dSigma.Rsk,b Zulässige charakt. Spannungsschwingbreite der Schubbewehrung.
dSigma.Rsk,p Zulässige charakt. Spannungsschwingbreite des Spannstahls.
Lambda.s,b,p Zug. Korrekturbeiwerte für schadensäquivalente Schwingbreite.
Lambda.c Korrekturbeiwert für schadensäquivalente Betonspannungen.
Eta Erhöhungsfaktor für Betonstahlspannung nach 6.8.2(2)P.
Nachw. SPCVQT Nachweis für (S) Längsbew., (P) Spannstahl, (C) Betonlängsdruck, (V) Betondruckstrebe, (Q) Querkraftbewehrung, (T) Torsionsbew.
(x) Nachweis über schadensäquivalente Schwingbreiten - Ermüdungskomb.
(+) Vereinfachter Nachweis nach 6.8.6(2) - häufige Kombination.
Faktor Qfat Faktor für Qfat zur Ber. der schadensäquivalenten Schwingbreite für Betonstahl und Spannstahl nach Anhang NA.NN.106.2(101)P.
k0 Abminderungsfaktor für den statisch best. Anteil der Vorspannung nach DIN EN 1992-2, Kap. 6.8.3(1)P.

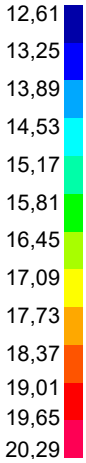
Qu.	Nachw. SPCVQT	fcd,fat [MN/m²]	dSigma.Rsk [MN/m²] s	b	p	Lambda s	b	p	c	Eta	Faktor Qfat	k0
1	x.x.x.	17,00	152,00	80,00	.	1,00	1,00	.	1,00	.	1,00	.
4	x.x.x.	17,00	152,00	80,00	.	1,00	1,00	.	1,00	.	1,00	.
5	x.x.x.	17,00	152,00	80,00	.	1,00	1,00	.	1,00	.	1,00	.
6	x.x.x.	17,00	152,00	80,00	.	1,00	1,00	.	1,00	.	1,00	.
12	x.x.x.	17,00	152,00	80,00	.	1,00	1,00	.	1,00	.	1,00	.
23	x.x.x.	17,00	152,00	80,00	.	1,00	1,00	.	1,00	.	1,00	.
32	x.x.x.	17,00	152,00	80,00	.	1,00	1,00	.	1,00	.	1,00	.

4. Nachweise

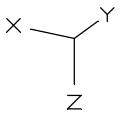
4.1 Verformung des Systems

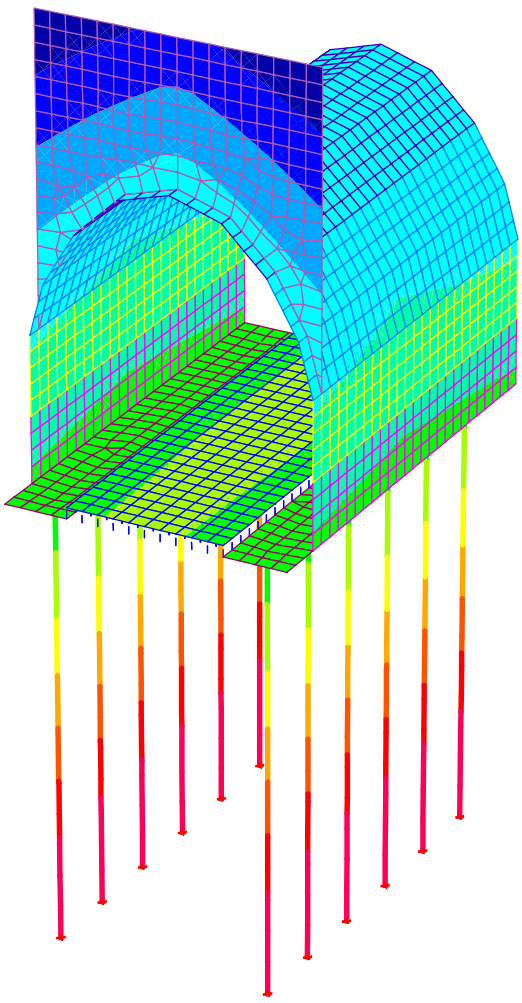


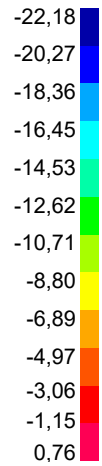




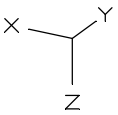
LFK DIN1992-2.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2
Deformationen max uz [mm]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 12,61/20,29 [mm]

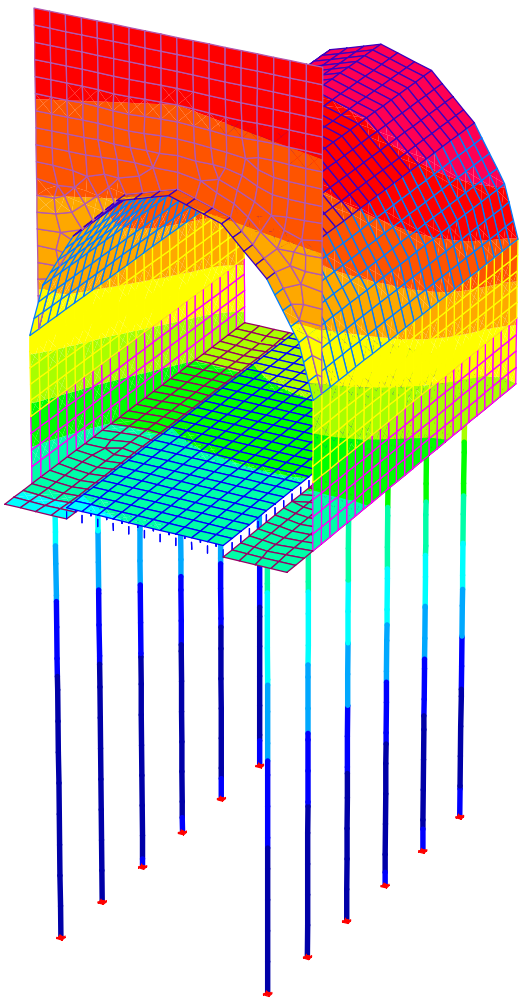


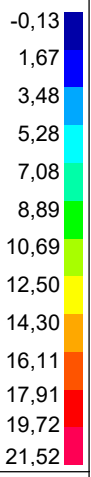




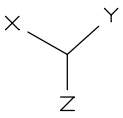
LFK DIN1992-2.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2
Deformationen min uy [mm]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -22,18/0,76 [mm]

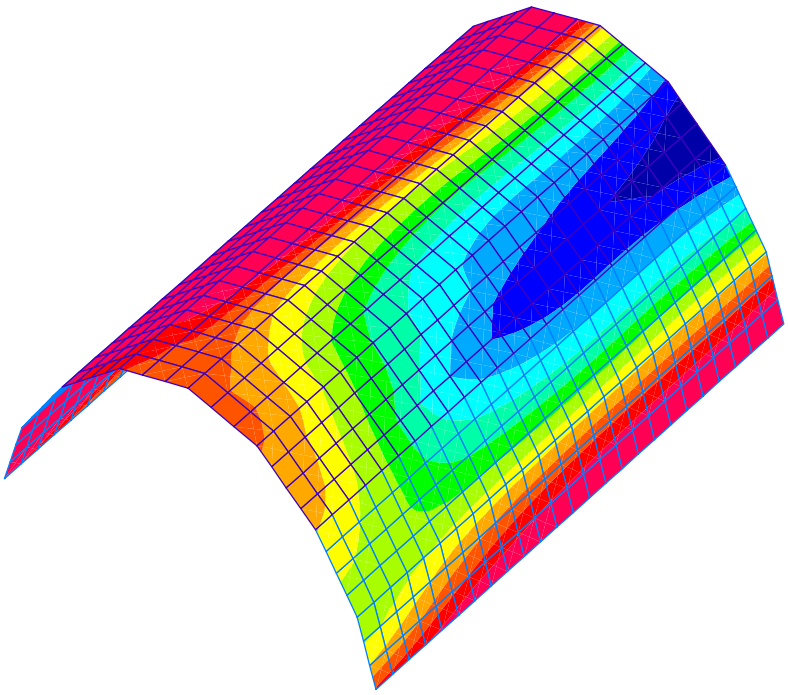


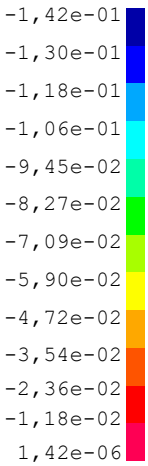




LFK DIN1992-2.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2
Deformationen max ux [mm]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -0,13/21,52 [mm]

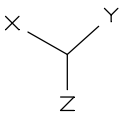


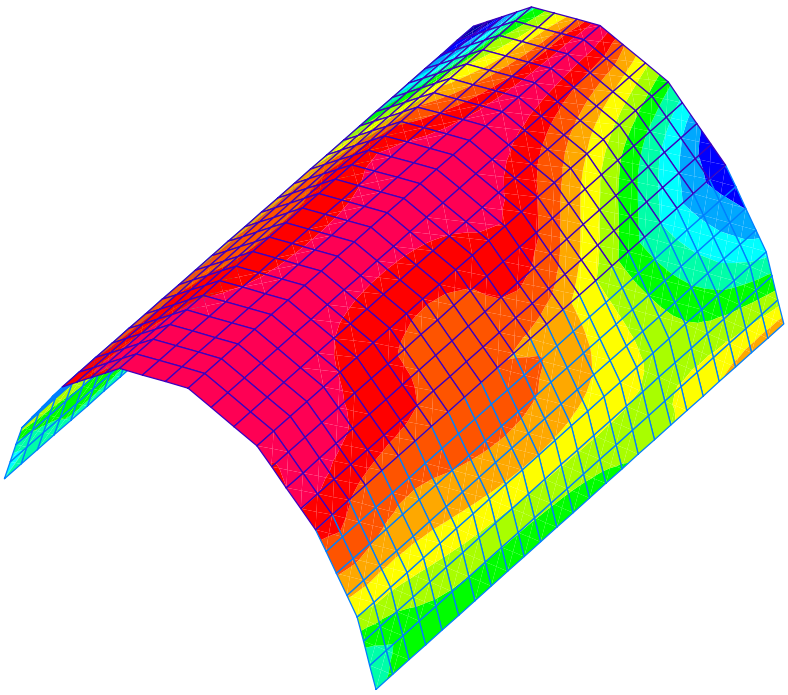


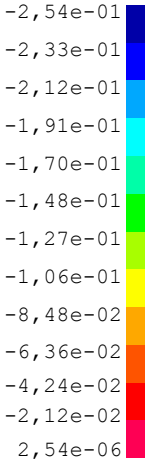


LFK 31: LM71 Gleis 1
Deformationen min phi.y [mrad]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -0,14/0,00 [mrad]

T.016058338 - Deformationen phi.y min; LFK K31, LM71 Gleis 1 - M = 1:145
EÜ Drimbornstraße

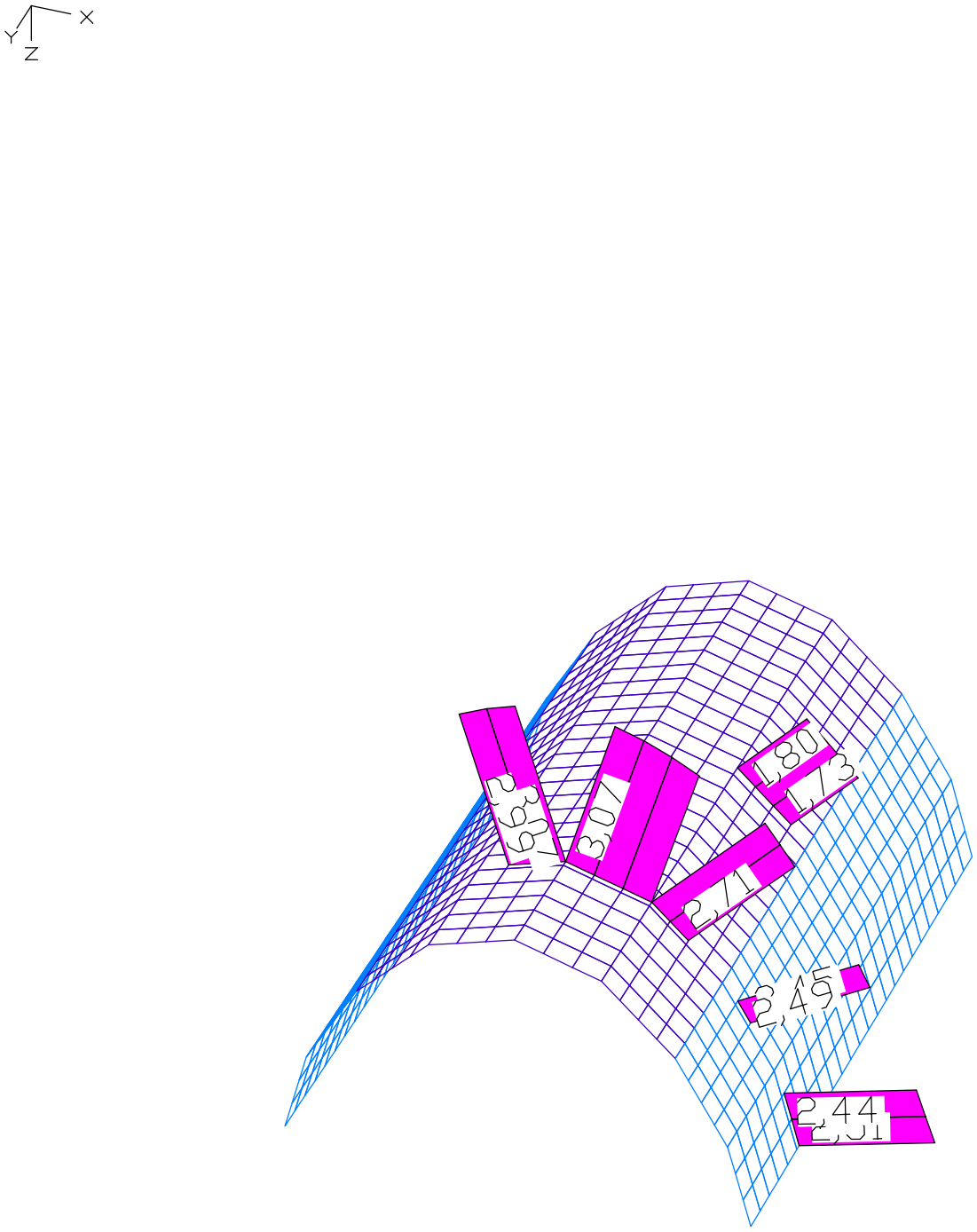




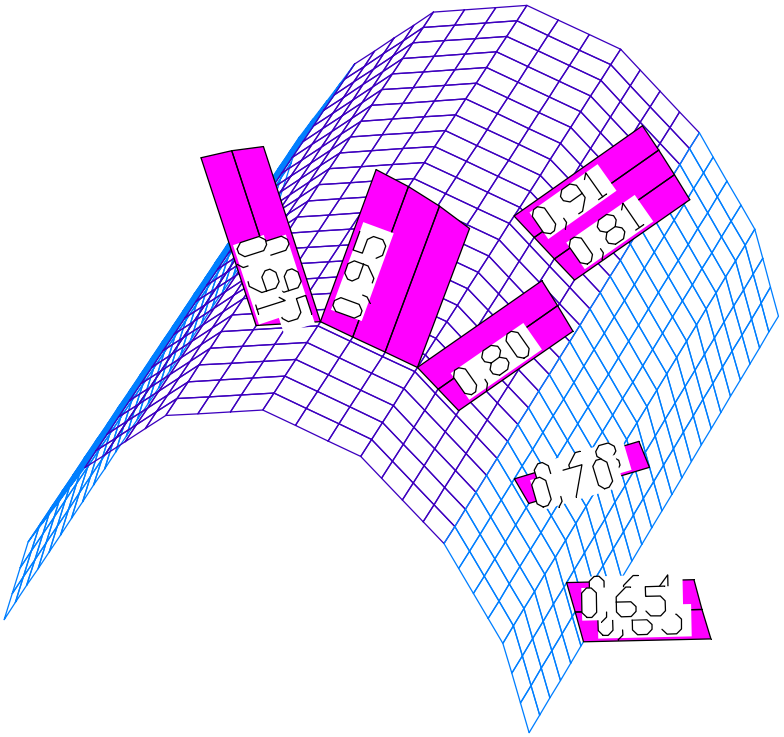


LFK 301: Temperatur gesamt
Deformationen min phi.y [mrad]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -0,25/0,00 [mrad]

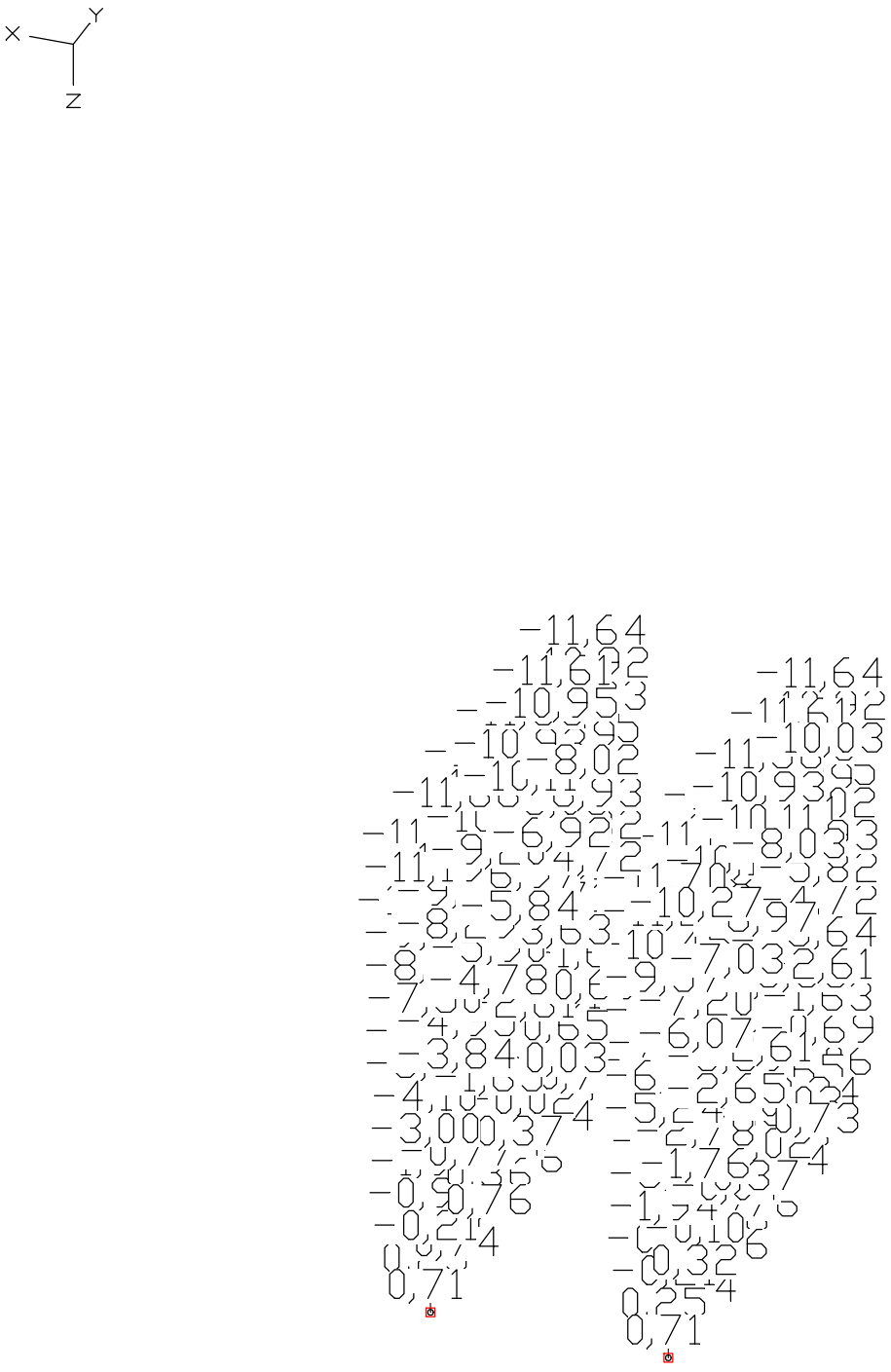
T.016058338 - Deformationen phi.y min; LFK K301, Temperatur gesamt - M = 1:145
EÜ Drimbornstraße



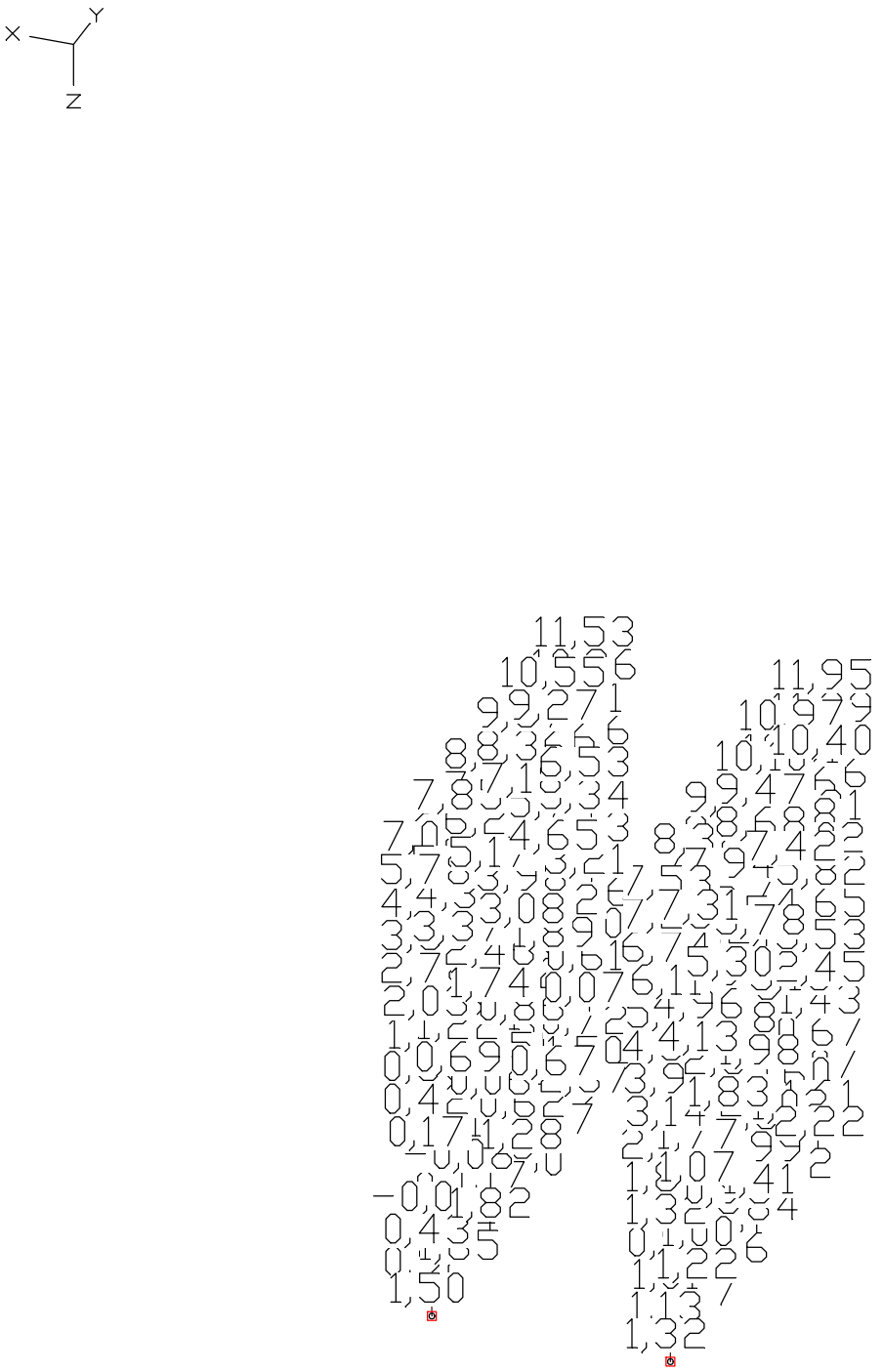
LFK 206: Eisenbahnlast ohne alpha
Deformationen max uz [mm]
Wertebereich (Teilsystem, min/max): 0,82/3,80 [mm]



LFK 33: LM71 Gleis 1 ohne alpha
Deformationen max uz [mm]
Wertebereich (Teilsystem, min/max): 0,62/0,98 [mm]

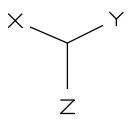


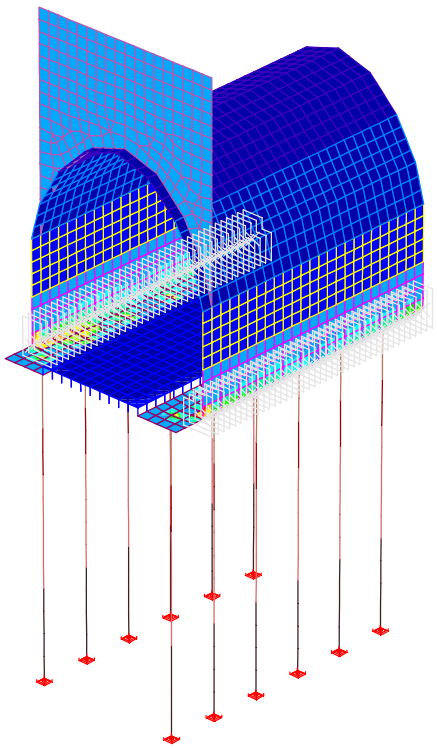
LFK DIN1992-2.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2
Deformationen min uy [mm]
Wertebereich (Teilsystem, min/max): -11,700/0,762 [mm]

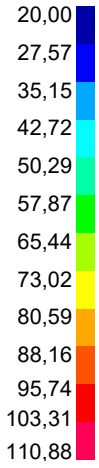


LFK DIN1992-2.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2
Deformationen max ux [mm]
Wertebereich (Teilsystem, min/max): -0,133/11,951 [mm]

Verfasser:	DB Engineering & Consulting GmbH	Projekt Nr. T.016058338
Bauwerk:	Gewölbetragwerk auf Bohrpfählen	Datum:



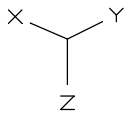


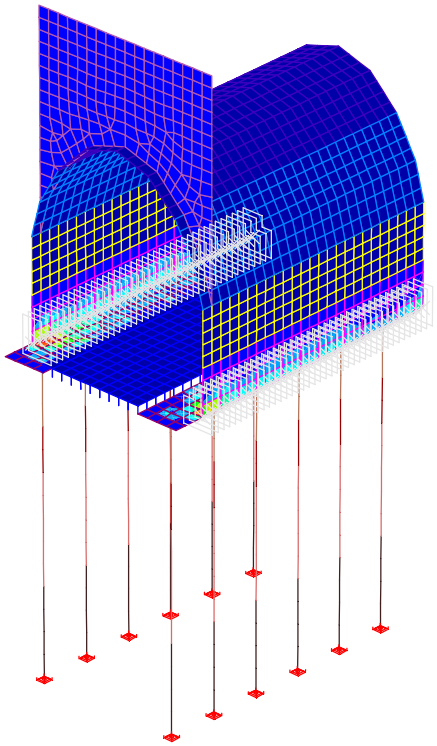


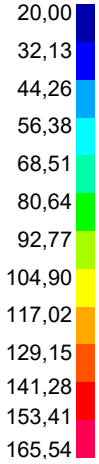
LFK DIN1992-2.MAX: Maximum DIN EN 1992-2
Biegebewehrung max (asx, asy), 1. Lage [cm²/m]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 20,00/110,88 [cm²/m]
Berechnung in den Elementknoten, Gesamtgew. aus Bemessung: 45,3 t

Bauteil:	Gewölbe_Süd_EÜ_Drimbornstraße.fem	Pos. Nr.	Archiv Nr.
Block:		Seite 98	
Vorgang:		M = 1: 290	

Verfasser:	DB Engineering & Consulting GmbH	Projekt Nr. T.016058338
Bauwerk:	Gewölbetragwerk auf Bohrpfählen	Datum:



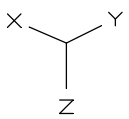


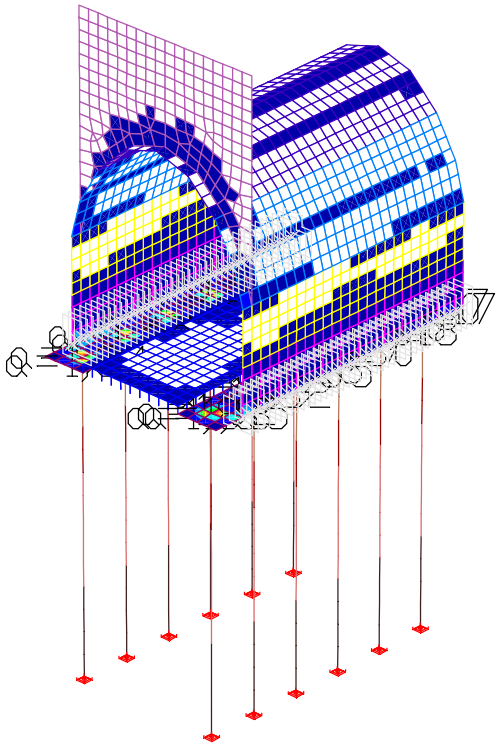


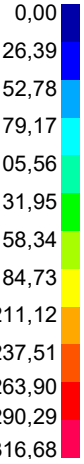
LFK DIN1992-2.MAX: Maximum DIN EN 1992-2
Biegebewehrung max (asx, asy), 2. Lage [cm²/m]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 20,00/165,53 [cm²/m]
Berechnung in den Elementknoten, Gesamtgew. aus Bemessung: 45,3 t

Bauteil:	Gewölbe_Süd_EÜ_Drimbornstraße.fem	Pos. Nr.	Archiv Nr.
Block:		Seite 99	
Vorgang:		M = 1: 290	

Verfasser:	DB Engineering & Consulting GmbH	Projekt Nr. T.016058338
Bauwerk:	Gewölbetragwerk auf Bohrpfählen	Datum:

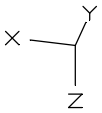


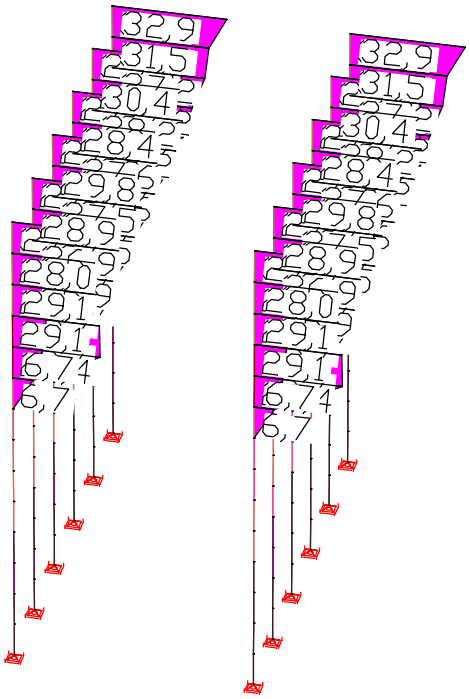




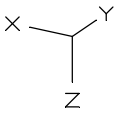
Der Bemessungswiderstand der Betondruckstreben ist an 50 Stellen unzureichend (a > 1).
LFK DIN1992-2.BRUCH: Tragfähigkeit DIN EN 1992-2
Bügelbewehrung aus Querkraft [cm²/m²]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 0,00/316,68 [cm²/m²]
Berechnung in den Elementknoten

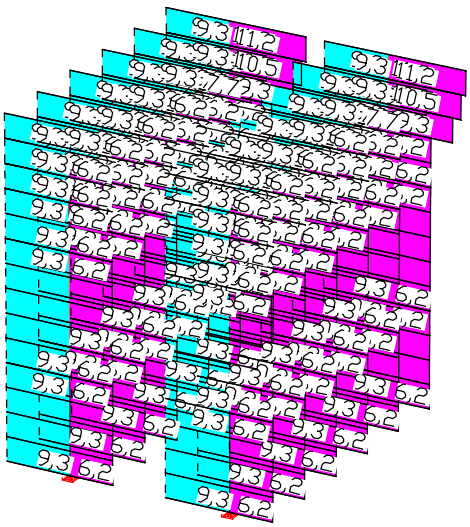
Bauteil:	Gewölbe_Süd_EÜ_Drimbornstraße.fem	Pos. Nr.	Archiv Nr.
Block:		Seite 100	
Vorgang:		M = 1: 290	



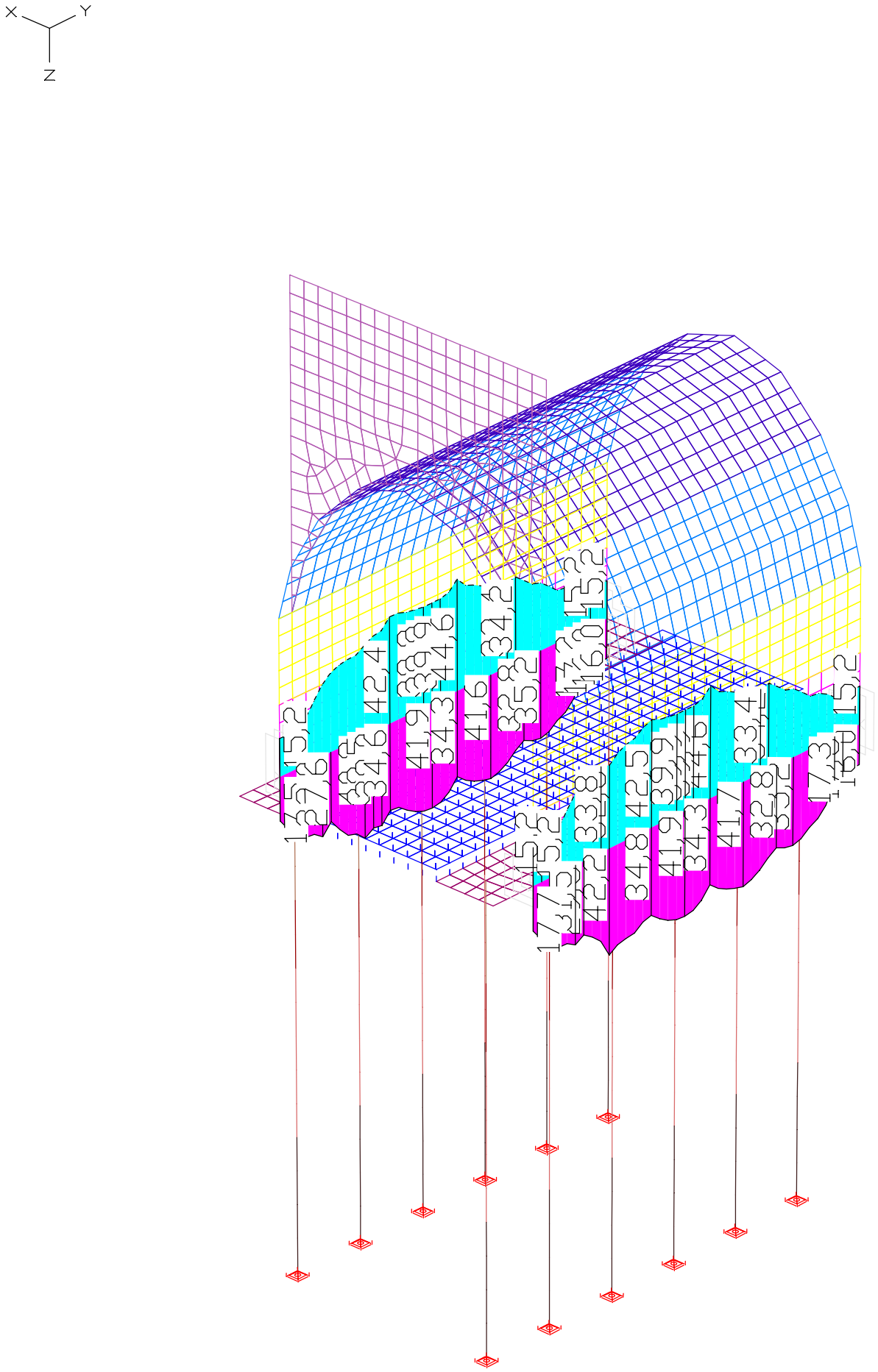


LFK DIN1992-2.MAX: Maximum DIN EN 1992-2
Biegebewehrung, alle Stahllagen [cm²]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 0,00/39,04 [cm²], Gesamtgew. aus Bemessung: 1,3 t

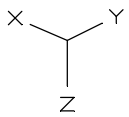


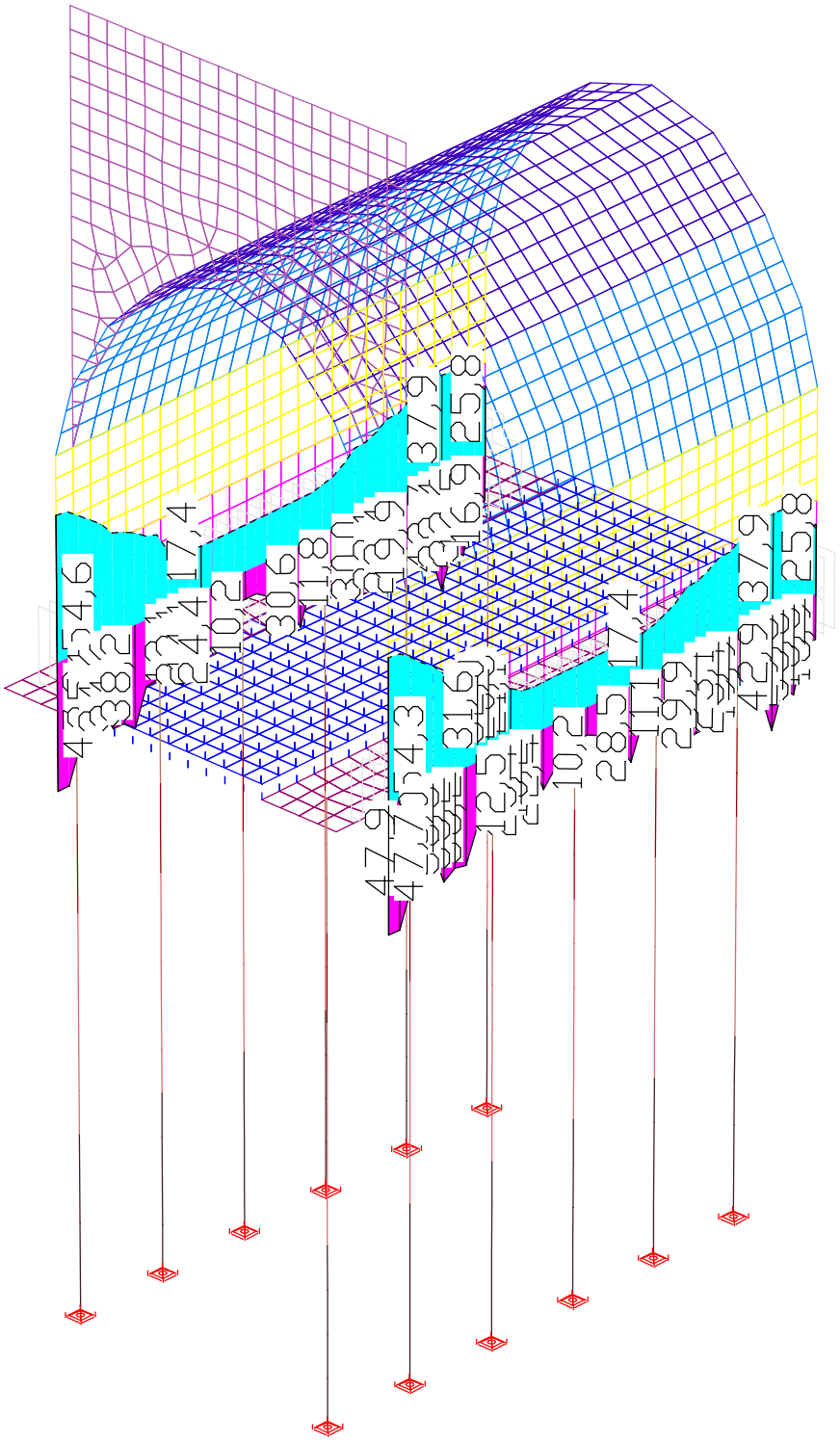


LFK DIN1992-2.BRUCH: Tragfähigkeit DIN EN 1992-2
Bügelbewehrung aus Querkraft, (Asb.z, Asb.y strichliert) [cm²/m]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 6,19/11,15 [cm²/m]

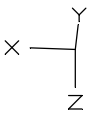


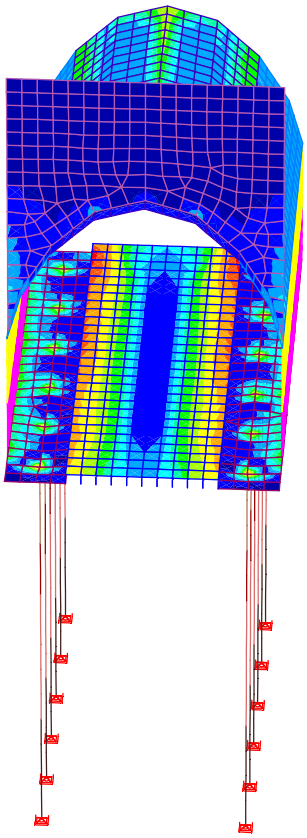
LFK DIN1992-2.MAX: Maximum DIN EN 1992-2
Biegebewehrung, Stahllagen z >= zs; z < zs (strichliert) Bemessungsobjekte [cm²]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 15,22/44,58 [cm²], Gesamtgew. aus Bemessung: 1,3 t





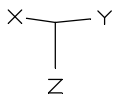
LFK DIN1992-2.BRUCH: Tragfähigkeit DIN EN 1992-2
Bügelbewehrung aus Querkraft, (Asb.z, Asb.y strichliert) Bemessungsobjekte [cm²/m]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 10,24/54,58 [cm²/m]

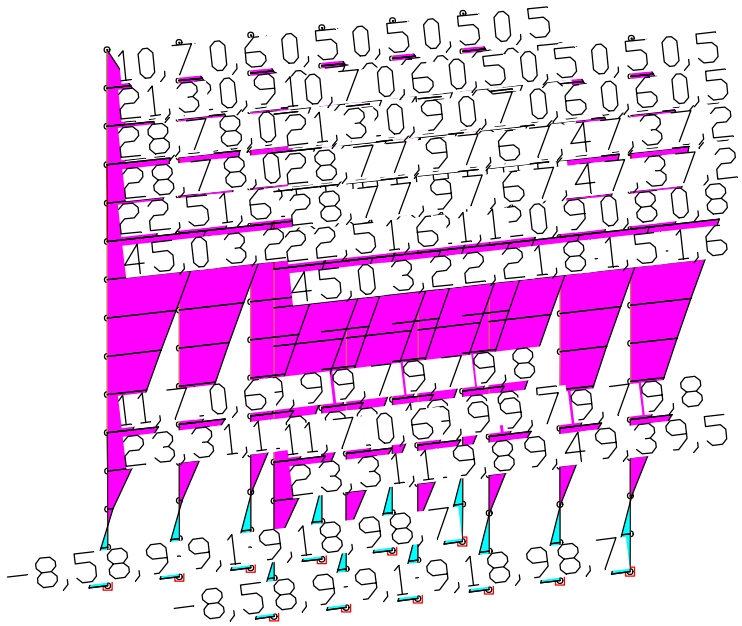




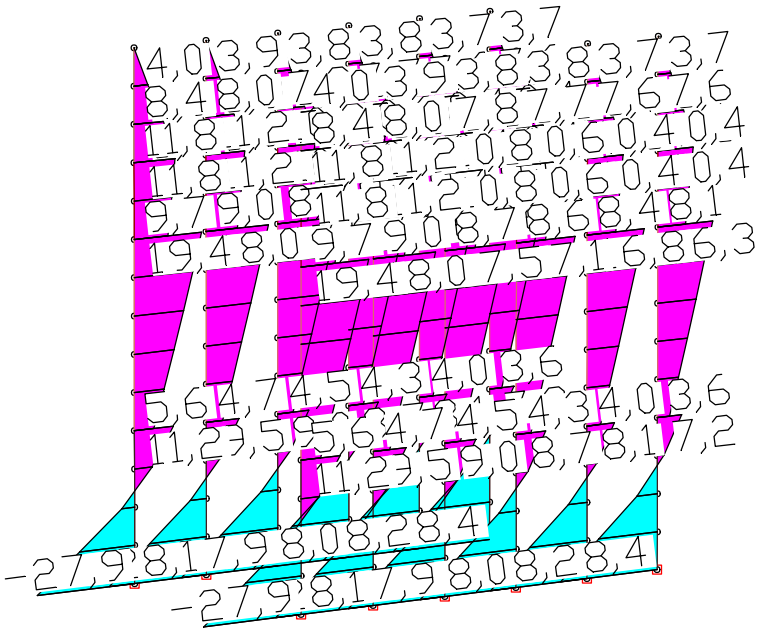


LFK DIN1992-2.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2
Betondruckspannungen Sigma.2/Sigma.2,zul [-]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 0,00/1,09 [-]
Berechnung in den Elementknoten

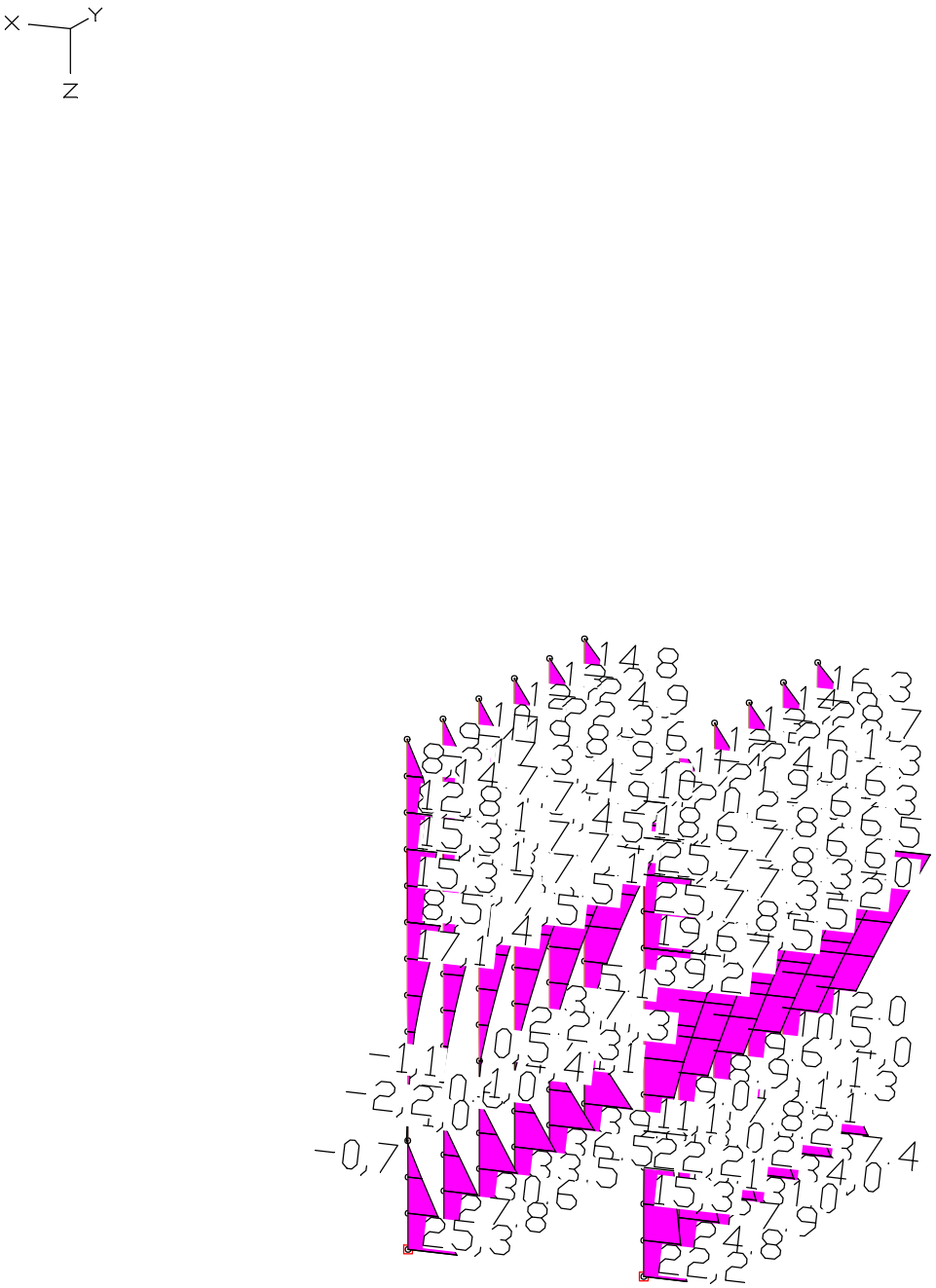




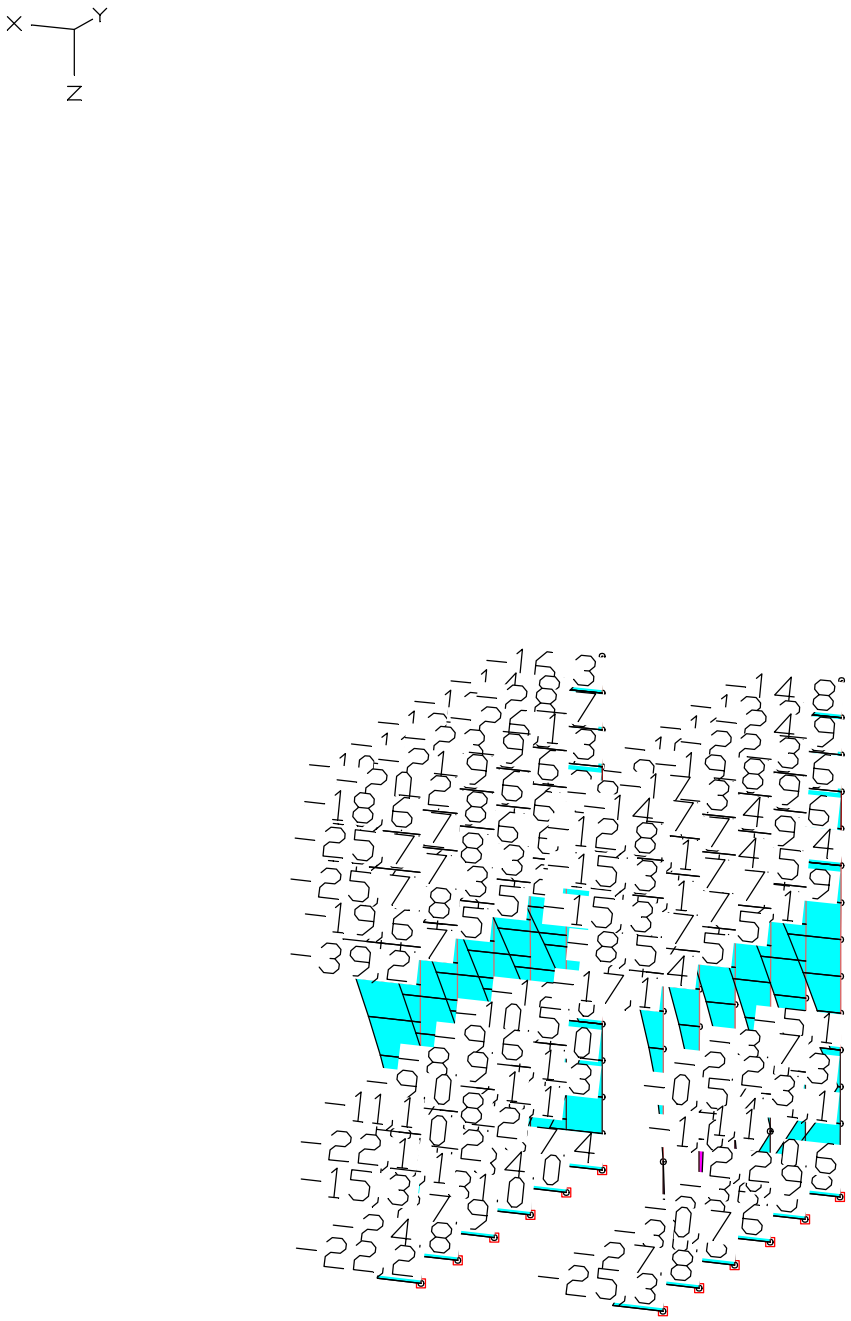
LFK DIN1992-2.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2
Bettungskräfte max By [kN/m]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -9,14/45,00 [kN/m]



LFK DIN1992-2.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2
Bettungskräfte min By [kN/m]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -28,39/19,42 [kN/m]

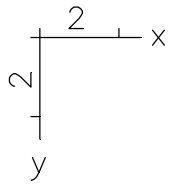


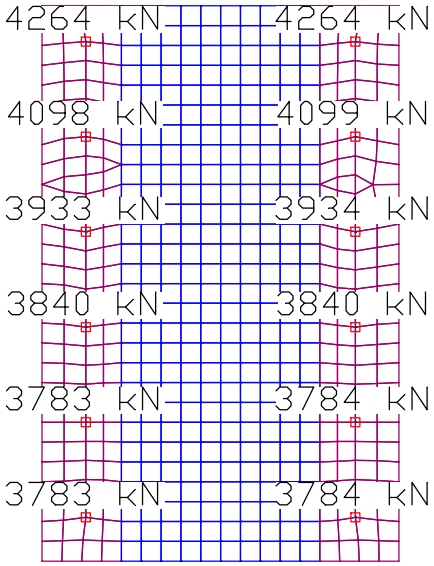
LFK DIN1992-2.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2
Bettungskräfte max Bz [kN/m]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -2,24/59,01 [kN/m]



LFK DIN1992-2.C.1: 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-2
Bettungskräfte min Bz [kN/m]
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -59,01/2,23 [kN/m]

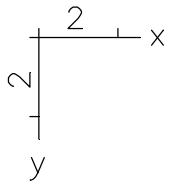
Verfasser:	DB Engineering & Consulting GmbH	Projekt Nr. T.016058338
Bauwerk:	Gewölbetragwerk auf Bohrpfählen	Datum:

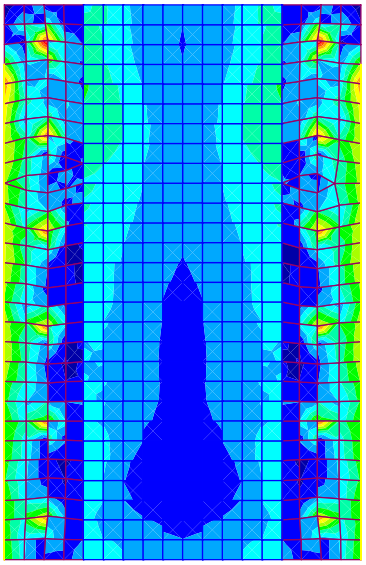


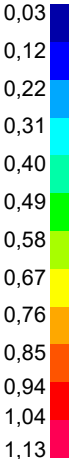


LFK DIN1992-2.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-2
Auflagerreaktionen im System der Lagerlinien max Rz(l). 0,58 [kN/m] =

Bauteil:	Gewölbe_Süd_EÜ_Drimbornstraße.fem	Pos. Nr.	Archiv Nr.
Block:		Seite 110	
Vorgang:		M = 1: 191	

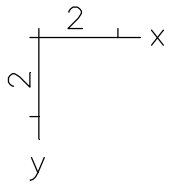


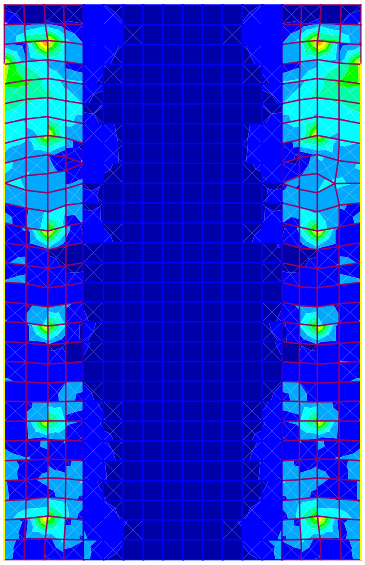


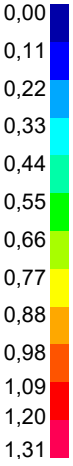


LFK DIN1992-2.FAT.1: 1. Ermüdungskombination, DIN EN 1992-2
Ermüdung für Beton unter Längsdruck, Spannungen Sigma.cdx/Sigma.cdx,zul [-]
Wertebereich (Teilsystem, min/max): 0,03/1,13 [-]
Berechnung in den Elementknoten

Verfasser:	DB Engineering & Consulting GmbH	Projekt Nr. T.016058338
Bauwerk:	Gewölbetragwerk auf Bohrpfählen	Datum:

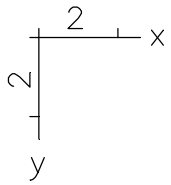


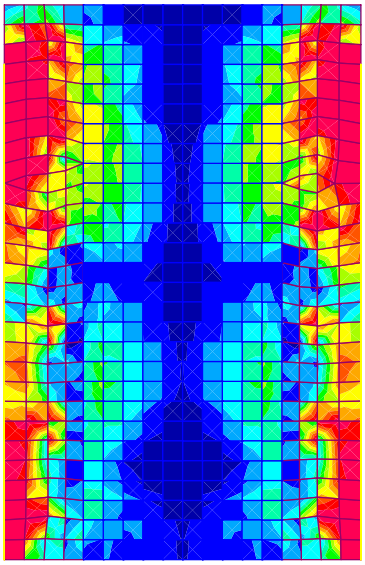


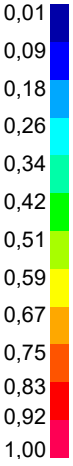


LFK DIN1992-2.FAT.1: 1. Ermüdungskombination, DIN EN 1992-2
Ermüdung für Beton unter Längsdruck, Spannungen Sigma.cdy/Sigma.cdy,zul [-]
Wertebereich (Teilsystem, min/max): 0,00/1,31 [-]
Berechnung in den Elementknoten

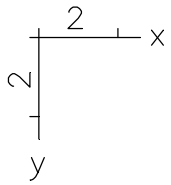
Bauteil:	Gewölbe_Süd_EÜ_Drimbornstraße.fem	Pos. Nr.	Archiv Nr.
Block:		Seite 112	
Vorgang:		M = 1: 191	

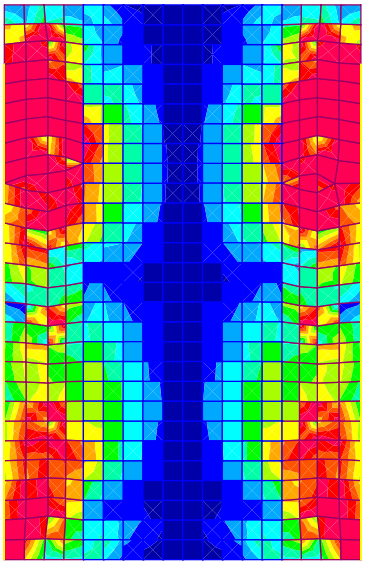


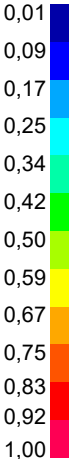




LFK DIN1992-2.FAT.1: 1. Ermüdungskombination, DIN EN 1992-2
Ermüdung für Längsbewehrung, Schwingbreiten dSigma.sx/dSigma.s,zul [-]
Wertebereich (Teilsystem, min/max): 0,01/1,00 [-]
Berechnung in den Elementknoten

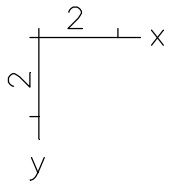


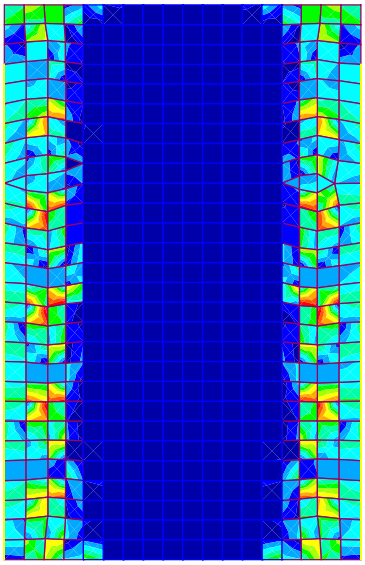


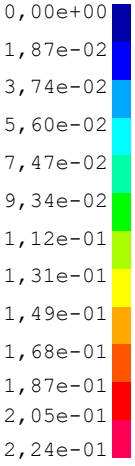


LFK DIN1992-2.FAT.1: 1. Ermüdungskombination, DIN EN 1992-2
Ermüdung für Längsbewehrung, Schwingbreiten dSigma.sy/dSigma.s,zul [-]
Wertebereich (Teilsystem, min/max): 0,01/1,00 [-]
Berechnung in den Elementknoten

Verfasser:	DB Engineering & Consulting GmbH	Projekt Nr. T.016058338
Bauwerk:	Gewölbetragwerk auf Bohrpfählen	Datum:







LFK DIN1992-2.FAT.1: 1. Ermüdungskombination, DIN EN 1992-2
Ermüdung für Bügelbewehrung, Schwingbreiten dSigma.sb/dSigma.sb,zul [-]
Wertebereich (Teilsystem, min/max): 0,00/0,22 [-]
Berechnung in den Elementknoten

Bauteil:	Gewölbe_Süd_EÜ_Drimbornstraße.fem	Pos. Nr.	Archiv Nr.
Block:		Seite 115	
Vorgang:		M = 1: 191	