



Projekt/progetto:

**UMFAHRUNG VAHRN**  
**BAUARBEITEN OHNE ANSCHLUSS BRIXEN NORD**  
**CIRCONVALLAZIONE VARNA**  
**OPERE CIVILI SENZA COLLEGAMENTO BRESSANONE NORD**

**AUSFÜHRUNGSPROJEKT - PROGETTO ESECUTIVO**

2	01.10.2018	Lizenznummer/ Estremi licenza d'uso	T. Ungerer	G. Fischnaller	G. Fischnaller
1	10.08.2018	Materialkennwerte/ Parametri materiali	T. Ungerer	G. Fischnaller	G. Fischnaller
0	22.01.2016	erste Ausgabe / prima edizione	M. Böhm	O.Pape	R.Feldbacher
Rev.	Datum/data	Ausgabe, Änderung/edizione, aggiornamento	erstellt/elaborato	geprüft/esaminato	freigegeben/approv.

Auftraggeber:

**AUTONOME PROVINZ BOZEN**  
**Abteilung Tiefbau**  
**Amt für Straßenbau Nord/Ost**

Committente:

**PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO**  
**Ripartizione infrastrutture**  
**Ufficio tecnico strade nord/est**

Dokumenttitel:

**UMFAHRUNG VAHRN**  
**KASTENQUERSCHNITTE**  
**STATISCHE BERECHNUNG**

Titolo del documento:

**GALERIA VARNA**  
**SEZIONE TIPO SCATOLARE**  
**CALCOLI STATICI**



CONSULTING  
ENGINEERS



PLANUNGSGRUPPE

ILF - EUT

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

c/o EUT Engineering GmbH  
Dantestraße 134, 39042 Brixen

Tel. +39 0472 272400  
E-mail: info@eut.bz.it

c/o EUT Engineering srl  
Via Dante 134, 39042 Bressanone



Dokument/documento:

BV-S-724

Einlage Nr./allegato n.:

**7-4**

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>ALLGEMEINES</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>QUERSCHNITT</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>BAUGRUND</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>STATISCHES SYSTEM</b>	<b>8</b>
<b>4.1</b>	<b>Herkunft und Charakteristik der Berechnungsmethode</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>BELASTUNGEN</b>	<b>9</b>
<b>5.1</b>	<b>Eigengewicht</b>	<b>9</b>
<b>5.2</b>	<b>Erdlast</b>	<b>9</b>
<b>5.3</b>	<b>Wasserdruck</b>	<b>11</b>
<b>5.4</b>	<b>Ständige Auflasten im Tunnel</b>	<b>11</b>
<b>5.5</b>	<b>Verkehrslasten auf der Tunneldecke</b>	<b>11</b>
<b>5.5.1</b>	Verkehrslasten auf erdüberschütteten Bereichen und Böschungen	11
<b>5.5.2</b>	Verkehrslasten Bereich Straßenquerung Schalderer Straße 4+125	11
<b>5.6</b>	<b>Schnee</b>	<b>12</b>
<b>5.7</b>	<b>Verkehrslasten im Tunnel</b>	<b>12</b>
<b>5.8</b>	<b>Temperatur</b>	<b>12</b>
<b>5.9</b>	<b>Erdbeben</b>	<b>12</b>
<b>5.10</b>	<b>Brand</b>	<b>21</b>
<b>5.11</b>	<b>Sonstige Lasten</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>BAUSTOFFE</b>	<b>22</b>
<b>6.1</b>	<b>Beton</b>	<b>22</b>
<b>6.2</b>	<b>Betonstahl</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>BEMESSUNG</b>	<b>22</b>
<b>7.1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>22</b>
<b>7.2</b>	<b>Rechenabschnitte</b>	<b>23</b>
<b>7.2.1</b>	Typ K1	23
<b>7.2.2</b>	Typ K2	23
<b>7.2.3</b>	Typ K3	24

<b>7.3</b>	<b>Beschränkung der Rissbreiten und Mindestbewehrung</b>	<b>25</b>
<b>7.4</b>	<b>Biegebemessung</b>	<b>26</b>
<b>7.5</b>	<b>Querkraftbewehrung</b>	<b>26</b>
<b>7.6</b>	<b>Nachweis der Standsicherheit</b>	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>AUSFÜHRUNGSHINWEISE</b>	<b>28</b>
<b>8.1</b>	<b>Grundwasser</b>	<b>28</b>
<b>8.2</b>	<b>Abdichtung</b>	<b>28</b>
<b>8.3</b>	<b>Hinterfüllung</b>	<b>29</b>
<b>8.4</b>	<b>Bestandsmauern</b>	<b>29</b>
<b>8.5</b>	<b>Betontechnologie</b>	<b>29</b>
<b>8.6</b>	<b>Herstellungsreihenfolge der offenen Bauweise</b>	<b>29</b>
<b>9</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>30</b>

## 1 ALLGEMEINES

Im Zuge der Umfahrung Vahrn wird von km 3,8 + 00,00 bis km 4,3 + 90,00 die SS12 in einem Tunnel in Offener Bauweise und Deckelbauweise geführt. Der 590 m lange Tunnel hat die Bezeichnung Tunnel Vahrn und ist in insgesamt 50 Blöcke mit je ca. 12m Blocklänge unterteilt. Er liegt sehr nahe an der Autobahn A22, die auf einem geschütteten Damm verläuft und unterquert die Gemeinde Vahrn am westlichen Ortsrand. Der Fuß der Dammböschung kommt im Endzustand auf weite Strecken auf dem Tunnel zu liegen, zum Teil stehen seitlich neben dem Tunnel hohe, die Autobahn stützende Mauern und Durchlässe.

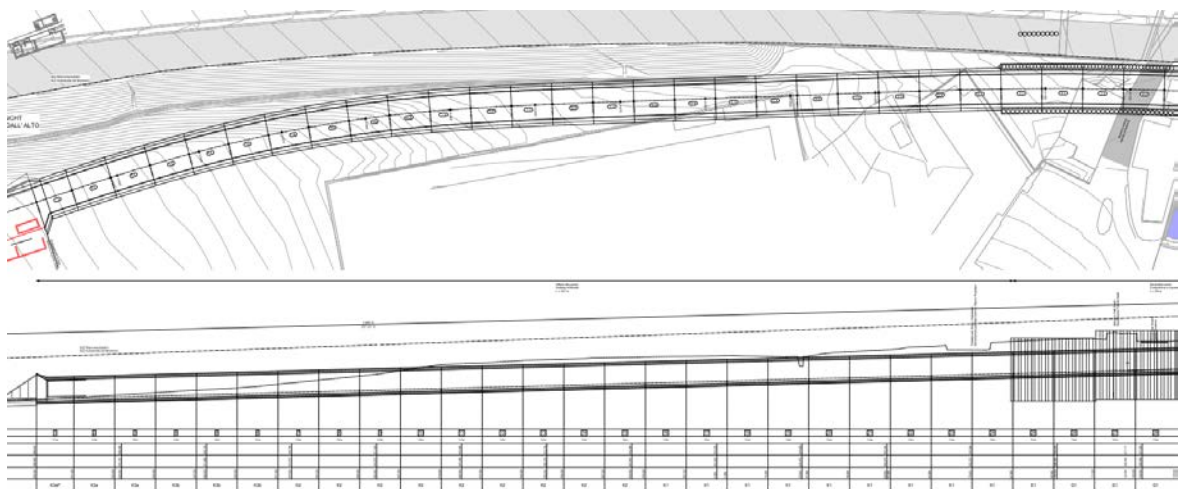
Abhängig vom Abstand zur Autobahn und von den Autobahnbauwerken werden unterschiedlich angepasste Konstruktionen gewählt.

So weit möglich, wird der Tunnel als geschlossener Stahlbetonkasten ausgeführt. Voraussetzung ist, dass die Autobahn mit einer getrennten Verbauwand bauzeitig gesichert werden kann. In den Bereichen in denen der Tunnel mit der westseitigen Wand zu nahe an die Autobahn heranrückt, wird das Bauwerk in Deckelbauweise hergestellt. Dies trifft zu auf die Bereiche Block 25 – Block 32 und Block 36 bis Block 38.

Bei km 4,1 + 12,50 wird der Tunnel von der Schalderer Straße überquert. Bei km 4,1 + 15,00 wird der Tunnel vom Schalderer Bach überquert.

Für eine mögliche spätere Verbreiterung der Autobahn A22 ist bei der Bemessung der Tunnelquerschnitte des Tunnel Vahrn folgendes zu berücksichtigen: Verbreiterung des Standstreifens von derzeit 2,50m auf 3,50m + ev. künftigen Standstreifen von 3,50m. Somit wird eine Verbreiterung der Dammkrone um 4,50m berücksichtigt.

In der vorliegenden statischen Berechnung wird der in Form eines geschlossenen Kastenquerschnitts hergestellte Tunnel behandelt. Die Verbauwand und der Bereich mit Deckelbauweise wird in einem getrennten Dokument untersucht.





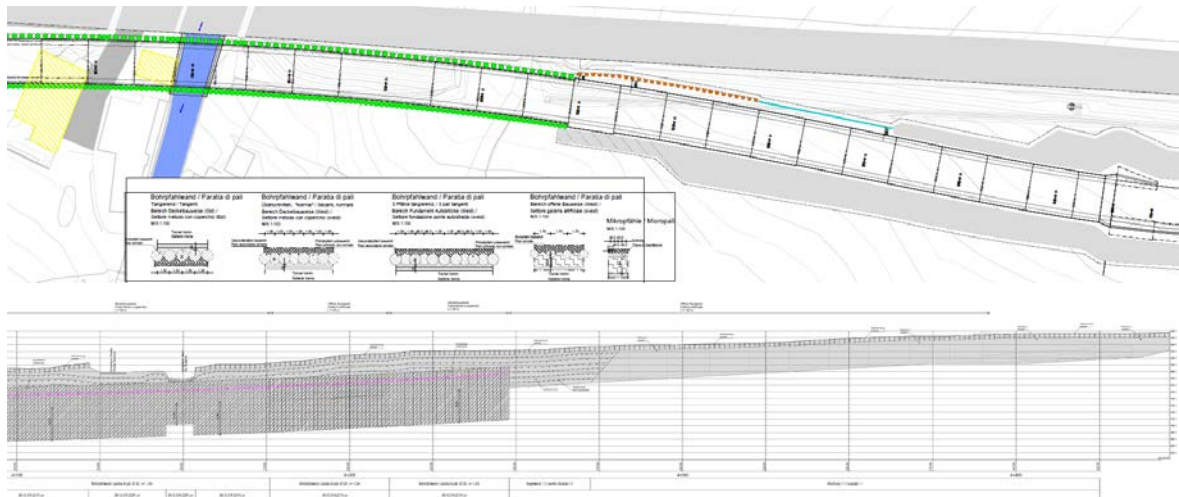


Abbildung 1: Lageplan und Längsschnitt Tunnel Vahrn

## 2 QUERSCHNITT

Der Querschnitt ist ein geschlossener rechteckiger Rahmen. Die geschlossene Bodenplatte wird wegen dem anstehenden Grundwasser und dem günstigeren Tragverhalten bei einseitiger Belastung gewählt.

Der Fahrbahn - Lichtraumquerschnitt beträgt 8,50m x 5,0m. Der lichte Tunnelquerschnitt ist definiert durch eine lichte Höhe von 6,0 m und einer lichte Weite von 10,50 m. Die maximale Querneigung der Straße beträgt 5,0 %. Der Tunnel wird mit horizontaler Deckenunterkante hergestellt. Die Decke erhält oben ein Dachprofil mit 1,5 % Querneigung. Die Bodenplatte ist zur Tragschichtentwässerung in der Mitte oberflächlich 1,5 % geneigt. In der Bodenplatte werden Entwässerungsleitungen geführt. Dazu wird die Bodenplatte lokal nach unten auf mindestens 1,20 m verstärkt.

Die Regelblocklänge beträgt 12,0 m.

Die Blockfugen werden als Pressfugen ausgeführt und mit einem Dehnfugenband abgedichtet. Die Fugenflanken werden mittels Trapezleisten profiliert.

Die Fugen des Portalblocks zum anschließenden Tunnelblock werden als Bewegungsfugen mit Fugeneinlage und Dehnfugenbändern ausgebildet.

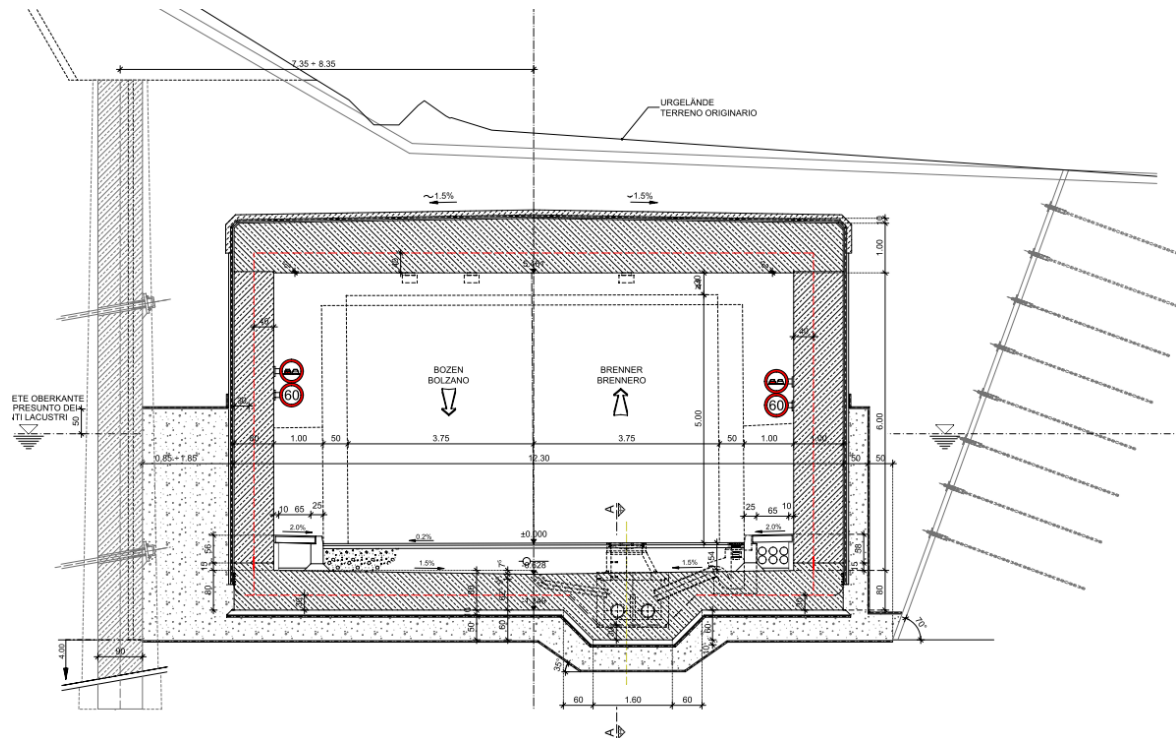


Abbildung 2: typischer Kastenquerschnitt in offener Bauweise

Je nach statischer Beanspruchung und Baugrundverhältnissen werden die einzelnen Tunnelblöcke zu folgenden Querschnittstypen gruppiert:

K1: Block 15 – 24; 33 - 35; 39

Decke d=140cm; Bodenplatte d= 120 cm; Wände d=80 bis 140 cm

K2: Block 9 - 15; 40 – 43

Decke d=100cm; Bodenplatte d= 80cm; Wände d=80 bis 100 cm

K3: Block; 1 – 8; 44 – 50

Decke d=80cm; Bodenplatte d= 80 cm; Wände d=80 bzw. 70 (LSW) cm

Die Lage der untersuchten Querschnittstypen richtet sich nach der ungünstigsten Einschüttungssituation des Tunnelquerschnitts bezogen auf den Autobahndamm für welche sich die maximalen Beanspruchungen ergeben. Alle Tunnelblöcke eines Typs werden einheitlich im Hinblick auf Bauteilabmessungen und Bewehrung ausgeführt.

### 3 BAUGRUND

Zum Baugrund liegt der Geologisch – Geotechnische Bericht BV-U-601 vom 29.02.2008 zugrunde. Es stehen folgende Böden an:

a) Anschüttung

b) Murschutt

c) Übergangsfazies

d) Seesedimente

	AUFSCHÜTTUNG RIPORTO
	MUR-/ SCHWEMMKEGELABLAGERUNGEN DEBRIS FLOW / DEPOSITI DI CONO ALLUVIONALE
	ÜBERGANGSFAZIES (MURSCHUTT-SEESSEDIMENTE) ZONA DI PASSAGGIO (DEBRIS FLOW-DEPOSITI LACUSTRI)
	SEESSEDIMENTE DEPOSITI LACUSTRI

Der Übergangsfazies ist gering durchlässig und wirkt für Hangwasser als Stauer. Damit ist mit einem Hangwasserzudrang von Seite des Autobahndammes zu rechnen. Die Bodenkennwerte sind:

#### Charakteristische Bodenkennwerte

Fazies			Aufschüttung	Murschutt	Übergangsfazies	Seesedimente
Bodenart			steinige Kiese	sandig steinige Kiese	schluffige Sande stark veränderlich	Schluffe
Bodenart ÖN B4401			X,G,s	G,S,u bis G,s,u	S,u* bis S,u*,t	U,t'
Lagerung			mitteldicht	mitteldicht bis dicht	mitteldicht	steif bis halbfest (örtlich weich)
Wichte, feucht	$\gamma_f$	kN/m <sup>3</sup>	22,0	22,0	21,0	20,0
Wichte unter Auftrieb	$\gamma'$	kN/m <sup>3</sup>	13,0	13,0	12,0	10,0
Reibungswinkel, dräniert	$\phi'$	Grad	35,0	35,0	30,0	27,0
Kohäsion, dräniert	$c'$	kN/m <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0	10,0
Kohäsion, undräniert	$c_u$	kN/m <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0	30,0
Steifemodul	$E_{smin}$	MN/m <sup>2</sup>	50	70	30	30
	$E_{smax}$		80	100	60	60

#### Konstruktionsabhängige Kennwerte

Ortbetonpfähle						
Pfahlmantelreibung	$\tau_{mgrenz}$	MN/m <sup>2</sup>	0,12	0,12	0,03	0,03
Spitzendruck bei Pfahlkopfsetzung s/D= 0,02	$\sigma_{sgrenz}$	MN/m <sup>2</sup>	1,50	1,50	0,30	0,30
Vorspannanker						
Vorspannanker Grenzkraft *)	$T_{grenz}$	KN/m	170,00	170,00	100,00	120,00 **)

\*\*) Werte im Schluff mit Nachverpressen

\*) Haftstrecke ca. 8-10 m und Durchmesser der Ankerbohrung 150mm

Abbildung 3: Bodenkennwerte aus BV-U-601

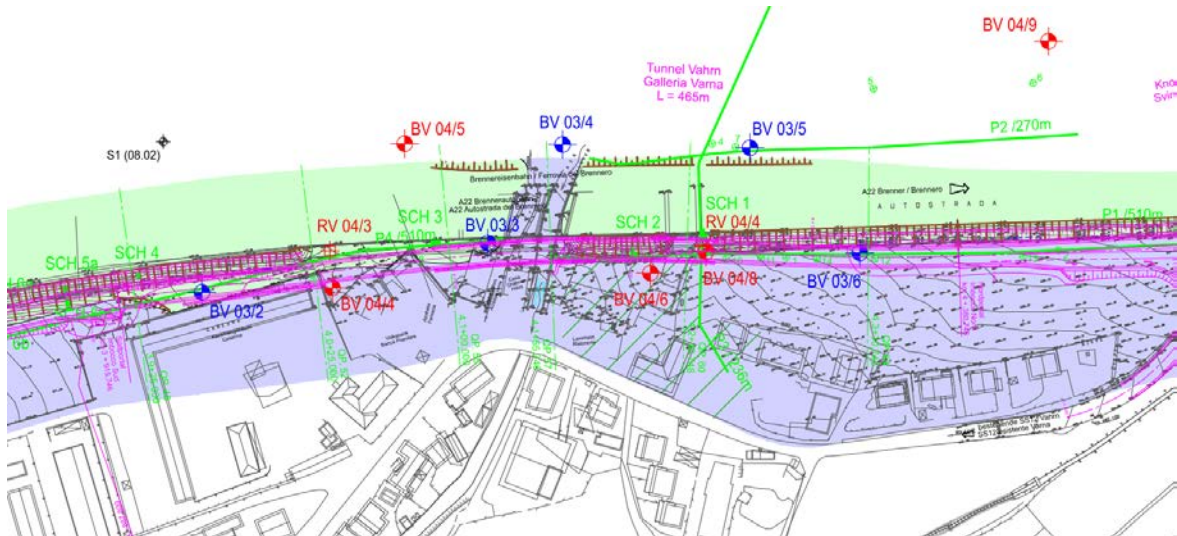


Abbildung 4: Auszug Lageplan mit Bodenaufschlüssen aus BV-U-603

Gemäß der Lage der Gradiente der Fahrbahn und dem geologischen Längsschnitt wird das Bauwerk in Folgenden Bodenschichten gegründet.

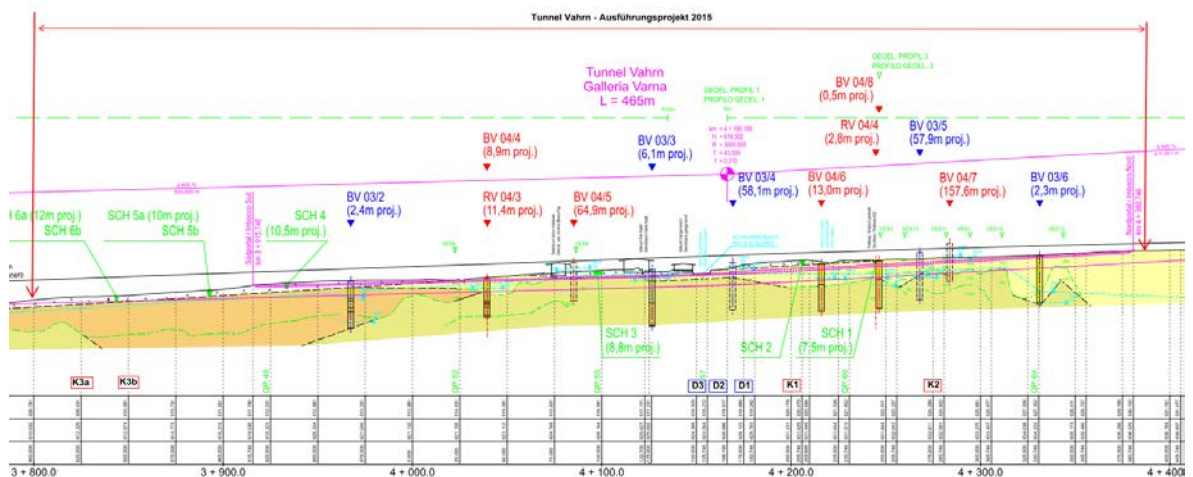


Abbildung 5: Auszug aus Geologischen Längsschnitt aus BV-U-604 - Gesamtübersicht

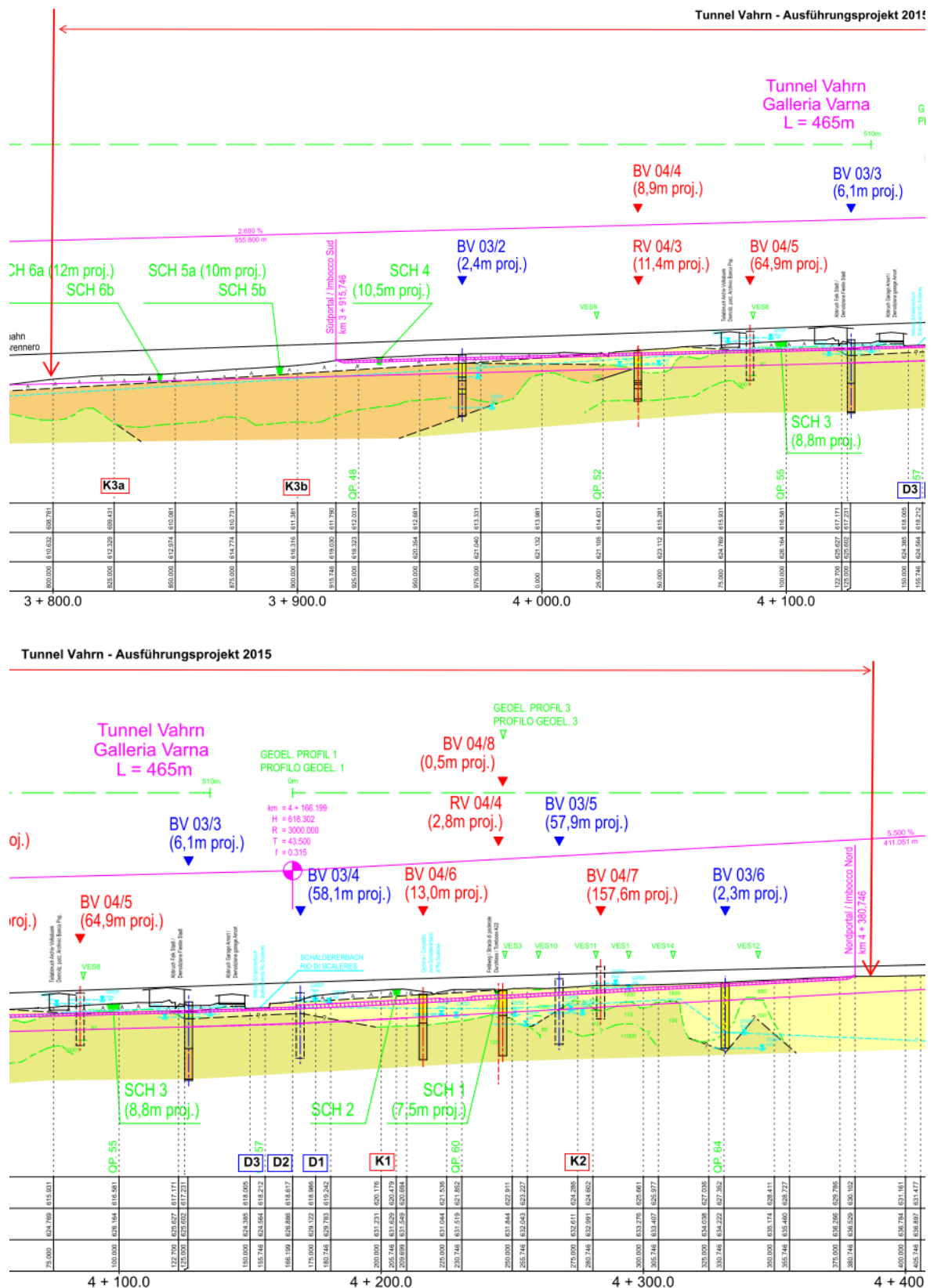


Abbildung 6: Auszug aus Geologischen Längsschnitt aus BV-U-604 – Teilübersicht Süd und Nord

**K1:** Gründung im Murschutt; Tunnelwände liegen im Bereich Murschutt und Aufschüttung; Es wird ein maximaler Grundwasserstand von ca. 4,5m über UK Sohle berücksichtigt

**K2:** Gründung im Übergangsbereich Murschutt zu Übergangsfazies; Tunnelwände liegen im Bereich des Murschutt; Es wird ein maximaler Grundwasserstand von ca. 3,0m über UK Sohle berücksichtigt

**K3a und K3b:** Gründung im Übergangsfazies; Tunnelwände liegen im Bereich der Aufschüttung bzw. Murschutt. Kein Grundwasser im Bereich der Tunnelsohle.

**D1 bis D3:** Gründung im Bereich der Seesedimente; Tunnelwände liegen im Bereich der Seesedimente bzw. im Bereich Murschutt. Es wird ein maximaler Grundwasserstand von ca. 6,5m über UK Sohle berücksichtigt



## 4 STATISCHES SYSTEM

Die Berechnung erfolgt am ebenen Rahmen. Der Rahmen wird an der Bodenplatte elastisch gebettet angenommen. Die Bettung erfolgt vertikal wie horizontal. Ohne weiteren Nachweis wird für die vorkonsolidierten Sedimente ein vertikaler Bettungsmodul von  $50 \text{ MN/m}^3$  angesetzt, horizontal  $25 \text{ MN/m}^3$ . Auf Grund der Wirkung des Wasserdrucks (Auftrieb) auf die Sohlplatte hat die Wahl des Bettungsmoduls eine geringe Bedeutung. Die Wände werden nicht gebettet.

Da die Bodenpressungen unter Einschüttung größer als die Auftriebslast sind, braucht keine Zugausschaltung der Bettung berücksichtigt werden.

### 4.1 Herkunft und Charakteristik der Berechnungsmethode

#### Durchgeführte Analysen:

Tragwerksanalysen:

Statisch linear: ja

Statisch nicht linear: nein

#### Verwendete Software:

INFOGRAPH v.15.1.a, Lizenz Nr. 74551-B, Kundennummer 240745

Hersteller / Vertrieb INFOGRAPH GmbH, Aachen (Deutschland)

DIE Baustatik v.184, Lizenz Nr. 29535

Hersteller / Vertrieb DIE CAD und Statik Software GmbH, Oberhausen (Deutschland)

#### Zuverlässigkeit der verwendeten Berechnungsmethoden

Ein aufmerksames Studium der Softwaredokumentation hat die Verlässlichkeit und Geeignetheit der verwendeten Programme im gegenständlichen Fall gezeigt. Die von den Herstellern gelieferte Softwaredokumentation enthält ausreichende Informationen zu den theoretischen Grundlagen und den verwendeten Berechnungslogarithmen, zu den Anwendungsbereichen und zu nachvollziehbaren Fallbeispielen. Die Zuverlässigkeit der Berechnungsmethoden wurde über eine aussagekräftige Anzahl von Probebemessungen mit Vergleich von bereits realisierten technischen Lösungen überprüft.

## Validierung der Berechnungsmethoden

Aufgrund der Einfachheit der tragenden Bauteile und der durchgeführten Kontrollen war die Nachberechnung mit alternativen Berechnungsprogrammen nicht erforderlich. Die wesentlichen Berechnungsschnitte wurden per Hand verifiziert.

## 5 BELASTUNGEN

### 5.1 Eigengewicht

Die Eigenlast wird mit  $\gamma_{\text{Beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$  berücksichtigt.

### 5.2 Erdlast

Die Erdlasten werden mit der endgültigen Einschütthöhe eingegeben. Dabei wird eine mögliche Verbreiterung der Autobahnböschung um 4,5 m berücksichtigt. Die Wichte des Einschüttmaterials wird mit  $\gamma_{\text{Erde}} = 22 \text{ kN/m}^3$  angesetzt.

Die Belastungen sind teilweise stark einseitig. Somit ist eine Verschiebung talseitig zu erwarten. Die Berechnungen zeigen, dass die Verschiebungen gering sind. Daher ist es nicht gerechtfertigt die treibenden Erdlasten abzumindern. Dies wird auch deswegen nicht angesetzt, da die Autobahn keine Verformungen erfahren soll und sowohl im Bauzustand als auch im Endzustand ein steifer Ausbau zu planen ist. Daher stellt sich auf der Widerstandsseite auch kein erhöhter Erddruck ein. Es wird deswegen durchgehend mit dem Erdruchedruck gerechnet. Variationen entstehen durch die unterschiedlichen Einschüttungen. Es zeigt sich auch, dass die stark einseitigen Erdlasten maßgebend sind.

Erddruckwirkungen mit geringen Seitendruckbeiwerten bewirken größere Feldmomente in der Decke, die konstruktiv abgedeckt werden. Gleichzeitig bewirkt eine geringere Überschüttung der Decke eine größere Beanspruchung der autobahnseitigen Tunnelwand. Da die Berechnungstypen mehrere Blöcke abdecken sollen und außerdem eine mögliche Verbreiterung des Autobahndamms berücksichtigt werden muss, werden für sowohl für die Überschüttung der Decke als auch für den Erddruck auf der Autobahnseite folgende schematisch dargestellte Grenzzustände berücksichtigt:

1) Maximales Feldmoment in Tunneldecke:

maximale Aufschüttung; reduzierter Erddruck auf der Autobahnseite

2) Maximales Feldmoment autobahnseitige Tunnelwand:

minimale Aufschüttung auf Tunneldecke; maximaler Erddruck auf Autobahnseite

3) Maximales Rahmeneckemoment



Maximale Erdüberschüttung; maximaler Erddruck auf der Autobahnseite

Als Mindestüberschüttung wird grundsätzlich eine Einschüttung von 1,0m berücksichtigt.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist weiterhin auch nicht klar, ob eine mögliche Verbreiterung des Autobahndammes durch eine verbreiterte Dammschüttung realisiert wird, oder ob Stützwände etc. zur Ausführung kommen werden und wie nachgiebig diese in horizontaler Richtung sind. Durch die o.g. Variationen des Erddrucks und der Aufschüttung soll diesem Umstand Rechnung getragen werden um den erforderlichen flexiblen Handlungsspielraum für die spätere Überbauung in der Planung des Tunnels sicherzustellen.

Eine Abminderung des Erddruckes zwischen Verbauwand und Tunnel wird nicht angesetzt. Diese Erddruckreduktion ist zwar unmittelbar nach Verfüllen des Bauwerks wirksam. Auf die Lebensdauer des Bauwerks kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass diese Verhältnisse aufrecht bleiben. Es wird sich der zuvor beschriebene Erddruck einstellen. Da die Lebensdauer des Tunnels mehr als 50 Jahre betragen muss, ist ein wahrscheinlicher sicherer Erddruck zu wählen.

Zur Ermittlung der Erddruckbeiwerte werden nachfolgende Parameter berücksichtigt (Aufschüttung und Murschutt):

$$\varphi = 35^\circ$$

$$c = 0$$

$$\delta = 0^\circ \text{ bzw. } -\varphi/2$$

$$\beta = 0; \text{ bzw. } 25^\circ \text{ im Bereich Autobahndamm}$$

$\beta = 0$ ; Es ergeben sich somit die nachfolgenden Erddruckbeiwerte:

$$\text{aktiver Erddruck} \quad k_{ah} = 0,271$$

$$\text{Erdruchedruck} \quad k_o = 0,426$$

$$\text{passiver Erddruck} \quad k_{ph} = 7,016 \quad (\delta = -\varphi/2)$$

$\beta = 25$ ; Es ergeben sich somit die nachfolgenden Erddruckbeiwerte:

$$\text{aktiver Erddruck} \quad k_{ah} = 0,38$$

$$\text{Erdruchedruck} \quad k_o = 0,62$$

$$\text{passiver Erddruck} \quad k_{ph} = 16,8 \quad (\delta = -\varphi/2)$$

Die Lasteingabe der Erddrucklasten erfolgt für den Erdruchdruck welcher als oberer Grenzwert des betrachteten Erddrucks berücksichtigt wird.

Als unterer Grenzwert des Erddrucks wird ein um 25% erhöhter aktiver Erddruck berücksichtigt.

Es ergibt sich ein pauschaler Umrechnungsfaktor für den auf den um 25% erhöhten aktiven Erddruck ( $\varphi = 35^\circ$ ;  $\delta = 0^\circ$ ;  $\beta = 0$ ) bezogen auf den Erdruchdruck von:

$$(0,271 + (0,25 \cdot (0,426 - 0,271))) / 0,426 = 0,72$$

### 5.3 Wasserdruck

Der Wasserspiegel wird in entsprechend geotechnischen Bericht angenommen. Die Wirkung des Wasserdruckes wird in den Erddruckansätzen berücksichtigt. Ebenso wird der Auftrieb angesetzt.

### 5.4 Ständige Auflasten im Tunnel

Ständige Auflasten im Tunnel (Fahrbahn etc.) wirken günstig und werden vernachlässigt.

### 5.5 Verkehrslasten auf der Tunneldecke

#### 5.5.1 Verkehrslasten auf erdüberschütteten Bereichen und Böschungen

Auf den Böschungen wird eine Verkehrslast von 5 kN/m<sup>2</sup> angesetzt. Auf ebenen Flächen wird eine Nutzlast von 16,7 kN/m<sup>2</sup> berücksichtigt um eine spätere Befahrbarkeit zu berücksichtigen. Auf der Autobahn beträgt die Nutzlast 33,3 kN/m<sup>2</sup>. Damit sind auch eventuelle Lärmschutzeinrichtungen abgedeckt.

#### 5.5.2 Verkehrslasten Bereich Straßenquerung Schalderer Straße 4+125

Im Bereich der Querung der Schalderer Straße über den Tunnel (Block 28 = Typ D1) wird das Lastmodell LM1 verwendet. Berücksichtigt wird dabei ein 3 m breiter Fahrstreifen mit einer Verkehrslast von 2x300 kN-Doppelachse (Tandem-System TS) und gleichzeitig wirkenden 9 kN/m<sup>2</sup> und ein weiterer Fahrstreifen mit Verkehrslast 2x200 kN-Doppelachse und 2,5 kN/m<sup>2</sup>.

Die vertikalen Lastausbreitungswinkel werden mit 30° in der mit mindestens 1,00 m berücksichtigten Einschüttung und 45° in der im Mittel 1,40 m starken Decke angesetzt.

Für die Ermittlung der vertikalen Verkehrsbelastung als Flächenlast auf der Tunneldecke ergibt sich in Höhe der Deckenachse für die Doppelachsen mit einem Radabstand von 2 m und einem Achsabstand von 1,20 m somit eine Belastungsbreite von 4,8 m ( $\approx 2,4 + 2 \times (1,0 \times \tan 30^\circ + 1,40/2)$ ) auf einer Belastungslänge von 4,0 m ( $\approx 1,6 + 2 \times (1,0 \times \tan 30^\circ + 1,40/2)$ ).

Die verteilte Belastung ermittelt sich aus den Doppelachsen zu  $26,0 \text{ kN/m}^2$  ( $\approx 2 \times (300+200) / 2 \times (4,8 \times 4,0)$ ) und für die gleichmäßig verteilte Last ohne Berücksichtigung einer Lastausbreitung maximal  $9,0 \text{ kN/m}^2$

Die Belastung ( $35 \text{ kN/m}^2$ ) aus dem Verkehr ist somit geringer als die für den maßgebenden Bemessungsblock (Typ D1) berücksichtigte Erdauflast von bis zu 9m Überschüttungshöhe ( $9 \times 22 = 198 \text{ kN/m}^2$ )

## 5.6 Schnee

Die Provinz Bozen bzw. das Gemeindegebiet von Vahrn liegt lt. EN 1991-1-3:2003 in der Schneelastzone 4,5. Die Schneeregellast beträgt somit  $2,0 \text{ kN/m}^2$ . Da die anzusetzende Verkehrslast deutlich über der Schneelast liegt und ein gleichzeitiges Auftreten von Schnee und Verkehrslast auszuschließen ist, wird die Schneelast nicht weiter berücksichtigt

## 5.7 Verkehrslasten im Tunnel

Als Verkehrslast im Tunnel wird eine Tandemlast mit  $2 \times 300 \text{ kN}$  Achsen aufgebracht. Die Lastverteilung im Fahrbahnaufbau und in der Sohlplatte wird berücksichtigt. Da die Lasten auf die Sohlplatte wirken, wird der dynamische Beiwert  $\gamma = 1,0$  gesetzt.

Es wird eine mittlere Straßenaufbauhöhe von  $60 \text{ cm}$  mit Lastausbreitung von  $45^\circ$  bis zur Querschnittsachse angesetzt. Der Radabstand beträgt  $2,0 \text{ m}$ ; Radaufstandsfläche  $40 \times 40 \text{ cm}$ ; Achsabstand  $1,20 \text{ m}$ ; somit wird eine Achse für den berechneten  $1,0 \text{ m}$  – Streifen berücksichtigt.

Für  $80 \text{ cm}$  Bodenplatte gilt:

Somit Flächenlast:

$$300 \text{ kN} / (2,0 + 0,4 + 2 \times (0,4 + 0,6)) = 57,7 \text{ kN/m}$$

## 5.8 Temperatur

Zur Berücksichtigung von Temperaturänderungen wird eine gleichmäßige Temperaturänderung von  $\pm 10^\circ \text{ C}$  über die Decke und Wände angesetzt. Eine Abminderung für Zwang erfolgt nicht.

## 5.9 Erdbeben

Der Lastfall Erdbeben ist für eingeschüttete Bauwerke von untergeordneter Bedeutung, da er mit den Sicherheiten für außergewöhnliche Lastfälle in die Dimensionierung eingeht. Es wird im Nachfolgenden untersucht, ob die Einwirkungen aus Erdbeben bemessungsrelevant sind:

Nach DDP (Decrete del Presidente Della Provincia) Nr. 33 vom 21.07.2009 werden die Gemeinden der Provinz Bozen als **Zone 4** klassifiziert.

Für den Projektstandort gelten folgende Parameter:

<b>Ort</b>	<b>Vahrn</b>
	Lat.: 46.741 / Lon. 11.633
<b>Erdbebenzone</b>	Zone 4 –(NTC 2008 / DDP 33)
<b>Bauwerksklasse</b>	II (Cu = 1,0)
<b>Auslegungsdauer <math>V_R = V_N * C_u</math></b>	$V_N = 100$ Jahre
<b>Überschreitungswahrscheinlichkeit <math>P_{VR}</math></b>	10 % (SLV)
<b>Referenz Wiederkehrperiode <math>T_R</math></b>	949 Jahre
	$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$
<b><math>a_g</math></b>	0,58 m/s (0,060g)
<b><math>F_0</math></b>	2,673
<b><math>T_c^*</math></b>	0,386
<b>Bodenklasse</b>	C (NTC Tabella 3.2.II)
<b>Topografieklasse</b>	T 3
<b><math>S_s</math></b>	1,50
<b><math>S_T =</math></b>	1,20
<b>Bodenfaktor <math>S = S_s * S_T</math></b>	1,80
<b><math>C_c =</math></b>	1,44
<b><math>T_B(S) = T_c^* / 3</math></b>	0,13
<b><math>T_c(S) = C_c * T_c^*</math></b>	0,56
<b><math>T_D(S) = 4,0 * a_g / g + 1,6</math></b>	1,62
<b>Unterer Grenzwert des Spektrums <math>\beta</math></b>	<b><math>\beta = 0,20</math></b>


Via	<input type="text"/>	n°	<input type="text"/>
Comune	vahrn	Cap	<input type="text"/>
Provincia	<input type="text"/>	<input type="button" value="Cerca"/>	

<b>WGS84 (°)</b>	
Latitudine	<input type="text"/>
Longitudine	<input type="text"/>
<input type="button" value="Cerca"/>	

Isole	-- Seleziona --
-------	-----------------

(1)* Coordinate WGS84 (°)	
Latitudine	46.732185
Longitudine	11.649724

(1)* Coordinate ED50 (°)	
Latitudine	46,733064
Longitudine	11,650750

Classe dell'edificio

**II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...**

**Qu = 1**

Vita nominale (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

100

Interpolazione

Media ponderata

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> ' [s]
Operatività (SLO)	60	0,024	2,462	0,195
Danno (SLD)	101	0,030	2,448	0,218
Salvaguardia vita (SLV)	949	0,060	2,673	0,386
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0,072	2,774	0,414
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

### CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

- ☒ Muri di sostegno ☐ Paratie
- ☐ Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

**Ss \***  
Amplificazione stratigrafica

**Cc \***  
Coeff. funz categoria

**St \***  
Amplificazione topografica

SLO	SLD	SLV	SLC
<input type="text" value="1,50"/>	<input type="text" value="1,50"/>	<input type="text" value="1,50"/>	<input type="text" value="1,50"/>
<input type="text" value="1,80"/>	<input type="text" value="1,73"/>	<input type="text" value="1,44"/>	<input type="text" value="1,40"/>
<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>

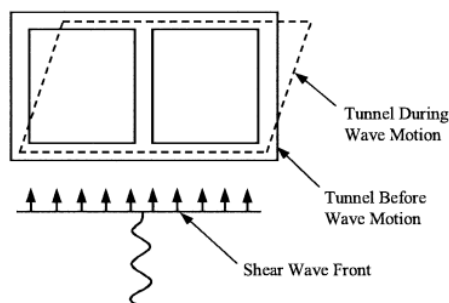
☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,008	0,010	0,019	0,023
kv	0,004	0,005	0,010	0,012
Amax [m/s²]	0,420	0,525	1,056	1,268
Beta	0,180	0,180	0,180	0,180

Die im nachfolgenden beschriebene Vorgehensweise gilt für alle Tunnelquerschnitte. Es wird der Einfluss der eingprägten Zwangsschnittgrößen aus den Erdbebeneinwirkungen ermittelt und bewertet, ob diese bemessungsrelevant sind.

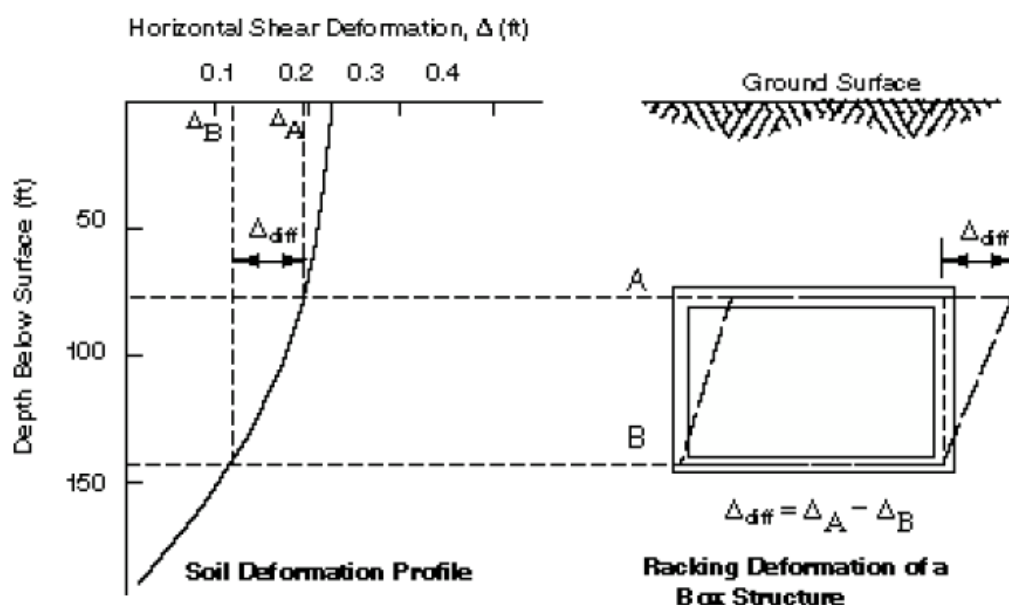
Die Vorgehensweise basiert auf folgenden Grundlagen:

- [1] ETH Zürich – 15. Dec. 2011 Colloquium on seismic design of tunnels
- [2] Seismic design of Tunnels – A simple state fo the art design approach; Wang; June 1993
- [3] Taschenbuch für den Tunnelbau 2009 - Tunnelbauwerke unter Erdbebenbeanspruchung; Christos Vrettos
- [4] Tunneling and Underground Space Technology; Seismic design and analysis of underground structure



Unter Erdbebenbeanspruchung kommt es zu einer seitlichen Verformung des Tunnelquerschnitts, wobei Relativverformungen zwischen Decke und Sohle auftreten können. Die Verformungen/ Verschiebungen und die resultierenden Zwangsschnittgrößen sind ähnlich denen unter einseitiger horizontaler Verformung.

Dabei wird angenommen, dass die Größe der Verformungen/ Verschiebungen des Tunnels denen des umgebenden Bodens entsprechen. Die Steifigkeit des Bauwerks gegen Querverformung wird dabei vernachlässigt.



Dem vorangegangenen Bild kann eine typische Verformungsverteilung über die Tiefe entnommen werden. Dabei werden die gegenübergestellten Verformungen am Bauwerk verursacht.

Für einen tiefliegenden Tunnel in homogenem Baugrund oder Fels kann die maximale Baugrundverzerrung/ Freifeldscherdehnung nach der Formel

$$\gamma_{\max} = V_{s0}/C_s$$

berechnet werden, mit

$V_s$ :

$C_s$ : effektive Scherwellengeschwindigkeit

Dabei lässt sich die effektive Scherwellengeschwindigkeit aus Schubmodul  $G$  und Rohwichte  $\rho$  ableiten:

$$C_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Daraus lässt sich die horizontale Freifeldverformung des Bodens

$$\Delta_{ff} = \gamma_{\max} \cdot H$$

berechnen.  $H$  ist hierbei die Höhe des Tunneltragwerks. Je nach Steifigkeitsverhältnis zwischen Tunnel und umliegendem Boden ist  $\Delta_{ff}$  kleiner oder größer als  $\Delta_{Tunnel}$ .

$$R = \frac{\Delta_{Tunnel}}{\Delta_{ff}}$$

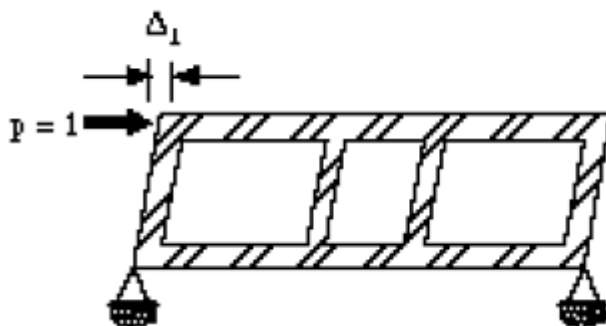
Für das Bauwerk ist das Verhältnis zwischen Baugrund- und Bauwerkssteifigkeiten  $F$  zu ermitteln:

$G$ : Schubmodul des Bodens

$B$ : Breite des Bauwerks

$H$ : Höhe des Tragwerks

$k_t = 1/D$ : Kehrwert der Horizontalverformung  $D_l$  bei Ansatz der Einheitslast  $\bar{P} = 1 \text{ MN}$



Für den einzelligen Querschnitt kann das o.a. Verhältnis

$$s = \frac{G}{24} \left( \frac{H^2 B}{EI_w} + \frac{B^2 H}{EI_R} \right)$$

mit

$I_w$ : Flächenträgheitsmoment Tunnelwand

$I_R$ : Flächenträgheitsmoment Deckel und Sohle

berechnet werden.

Der Faktor R wird für tiefliegende Tunnel (d.h. Überdeckung  $h_0 \geq H$  in Anlehnung an Wang 1993, S. 119) nach der Formel

$$R = \frac{4(1-\nu)}{1 + k_t \frac{(3-4\nu)}{k_s}}$$

unter Berücksichtigung der folgenden Werte ermittelt:

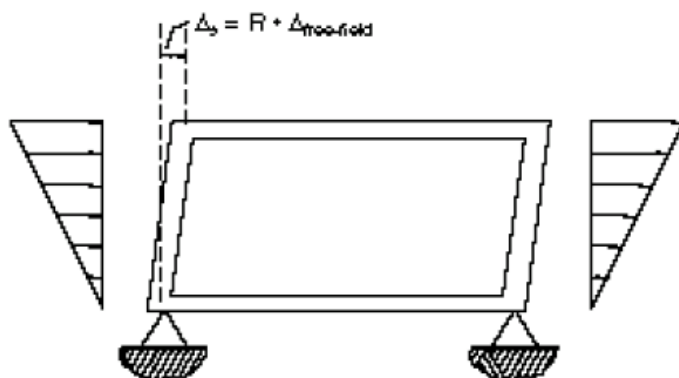
$\nu$ : Poissonzahl des umgebenden Bodens

$k_s = \frac{G}{H}$ : generalisierte Steifigkeit des Bodens; es ist der tiefenabhängige Schubmodul des Baugrundes zu berücksichtigen.

Für oberflächennahe Tunnel mit  $h_0 = H$  wird der Beiwert R um 20% erhöht.

Für geschlossene Rahmenquerschnitte wird eine differentielle Verformung zwischen Decke und Sohle in Größe von  $\Delta_{\text{Tunnel}} = R \cdot \Delta_{\text{ff}}$  zur Ermittlung der Zwangsschnittgrößen aufgebracht.

Für die Ermittlung der Zwangsschnittgrößen wird eine dreiecksförmige Last von der Größe p aufgebracht; p ist dabei so zu wählen, dass die maximalen horizontalen Verformungen  $f = \Delta_{\text{Tunnel}} = R \cdot \Delta_{\text{ff}}$  entsprechen.

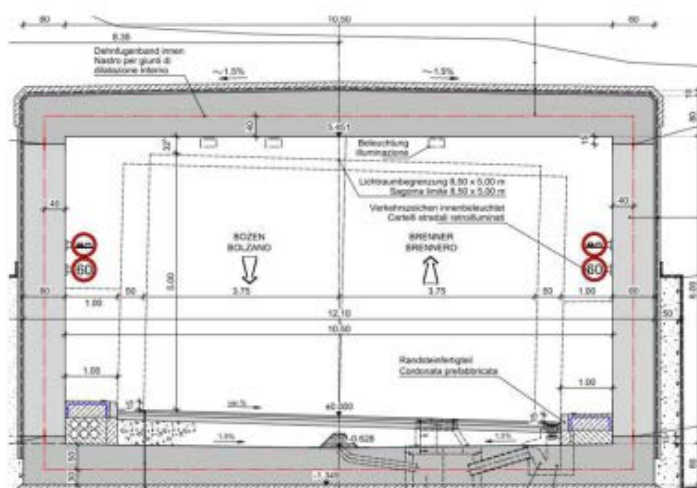


#### Berechnung:

Die Berechnung erfolgt repräsentativ für den Querschnitt K3 (Querschnitt mit geringster Steifigkeit und somit größter Verformung) und gilt für alle anderen Querschnitte analog.



H = 7,60 m  
B = 12,10 m


$$s = \frac{G}{24} \left( \frac{H^2 B}{EI_w} + \frac{B^2 H}{EI_R} \right) = 0,6806 < 1$$



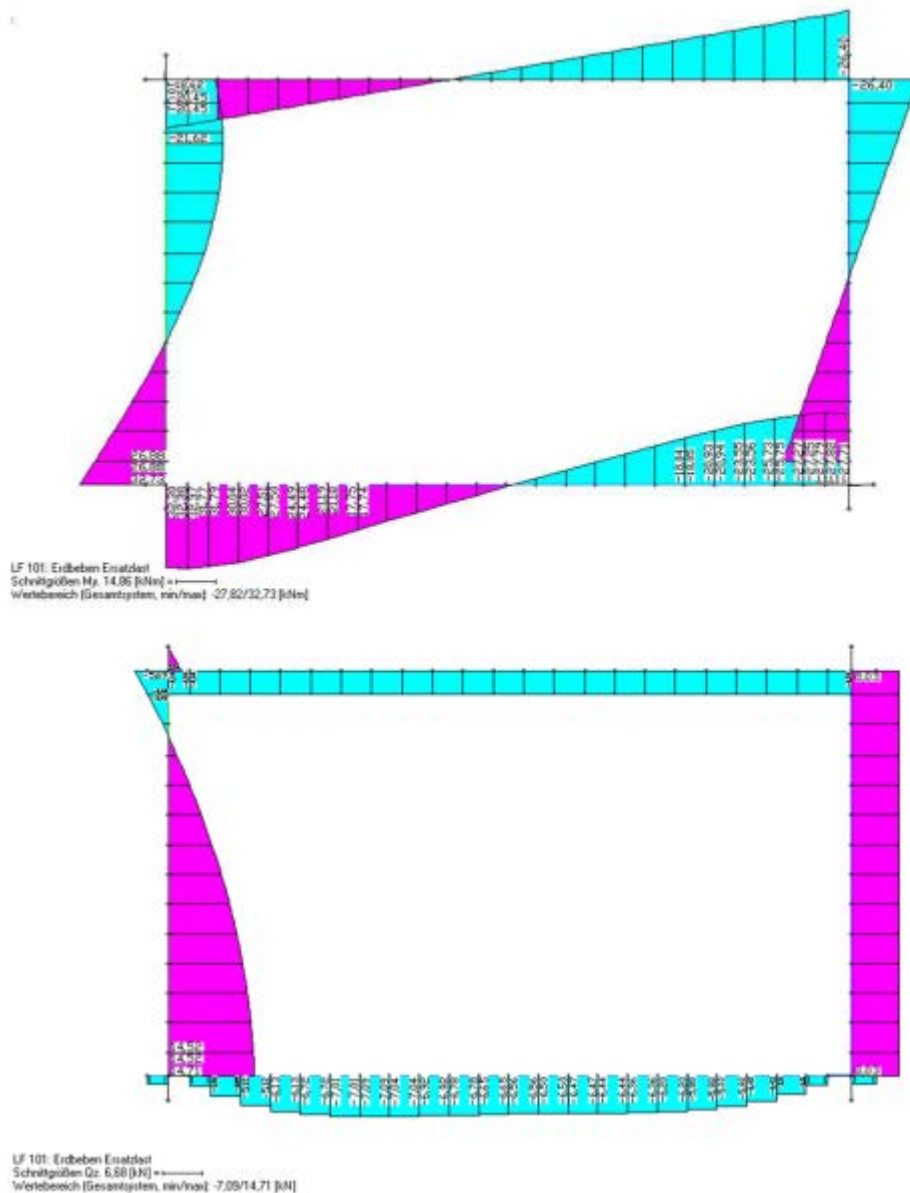
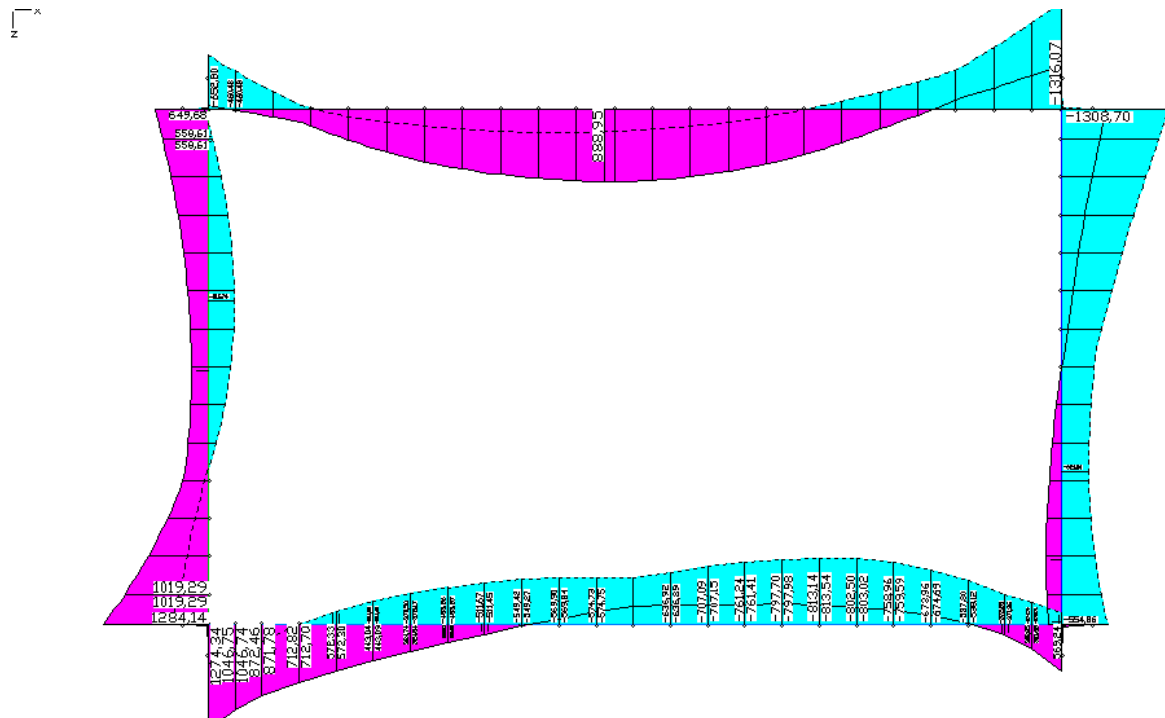


Abbildung 7 Ermittlung Zwangsschnittgrößen aus Erdbeben

### Vergleich:

Maximale Bemessungs – Rahmeneckmoment in der Ständigen- und vorübergehende Einwirkungskombination:



LFK DIN1992.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1  
Schnittgrößen min,max My: 597,44 [kNm] =+-----  
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -1316,07/1284,14 [kNm]

Abbildung 8 Biegemoment My;S/V Kombination

#### Vergleich: Eckmoment rechte obere Rahmenecke:

Zwangsmoment aus Erdbeben:

$$M_y^{\max} = 26,4 \text{ kNm}$$

Bemessungsmoment S/V Kombination:

$$M_{y,d} = 1308,7 \text{ kNm}$$

Der Anteil des Zwangsmoments am Gesamtbemessungsmoment beträgt somit ca. 2%  
Die Erdbebenkombination wird mit einem Teilsicherheitsbeiwert von  $\gamma_f = 1,0$  überlagert  
während die Ständige und Vorübergehende Kombination die Teilsicherheitsbeiwerte  
 $\gamma_f = 1,35$  bzw.  $1,50$  berücksichtigt werden.

➔ **Die Schnittgrößen aus Erdbeben sind durch die Bemessung mit der Ständigen und Vorübergehenden Einwirkungskombination abgedeckt. Ein gesonderter Nachweis der Erdbebenkombination ist nicht erforderlich.**

## 5.10 Brand

Der Lastfall Brand wird nicht angesetzt. Es sind konstruktive Maßnahmen vorgesehen.

## 5.11 Sonstige Lasten

Sonstige Lasten, wie z. B. Kriechen, Schwinden, Anpralllasten sowie Lasten aus Wartung und Unterhalt werden aufgrund des konservativen Ansatzes der Hauptlasten nicht angesetzt. Sie schließen sich außerdem zum Teil mit den angesetzten Lasten aus.

## 6 BAUSTOFFE

### 6.1 Beton

Wände C30/37 XC3/XD1/XF2/XA1

Beton Decke C30/37 XC3/XD1/XF2/XA1

Beton Sohle C30/37 XC2

Hinweis: Die angegebenen Betonmindestdruckfestigkeiten ergeben sich aus den Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und den zugehörigen Expositionsklassen die für das Projekt spezifiziert sind und können über den statisch erforderlichen Betongüte liegen.

Es ist Beton mit geringer Wärmeentwicklung durch Hydratation mit langsam erhärtenden Zementen zu verwenden. Die Betontechnologie ist auf die Anforderungen an die Rissbreitenbeschränkung anzupassen.

### 6.2 Betonstahl

B 450C

$f_{y, \text{nom}}$	450 N/mm <sup>2</sup>
$f_{t, \text{nom}}$	540 N/mm <sup>2</sup>

$$f_{y, \text{nom}} = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t, \text{nom}} = 540 \text{ N/mm}^2$$

## 7 BEMESSUNG

### 7.1 Allgemeines

Die Bemessung erfolgt nach EC 2.

Die Sicherheiten bei der Einwirkung sind:

Ständige Lasten 1,35

Verkehrslasten 1,50

Auf der Widerstandsseite werden verwendet:

Beton 1,50

Betonstahl 1,15

## 7.2 Rechenabschnitte

### 7.2.1 Typ K1

Der Querschnitt Typ K1 gilt in den Bereichen nördlich und südlich der Blöcke mit Deckelbauweise. Dies sind die Tunnelabschnitte in denen der Tunnel sehr nahe an der Autobahn verläuft und der Damm weitgehend auf der Tunneldecke zu liegen kommt bzw. eine Stützwand parallel zur Autobahn verläuft.

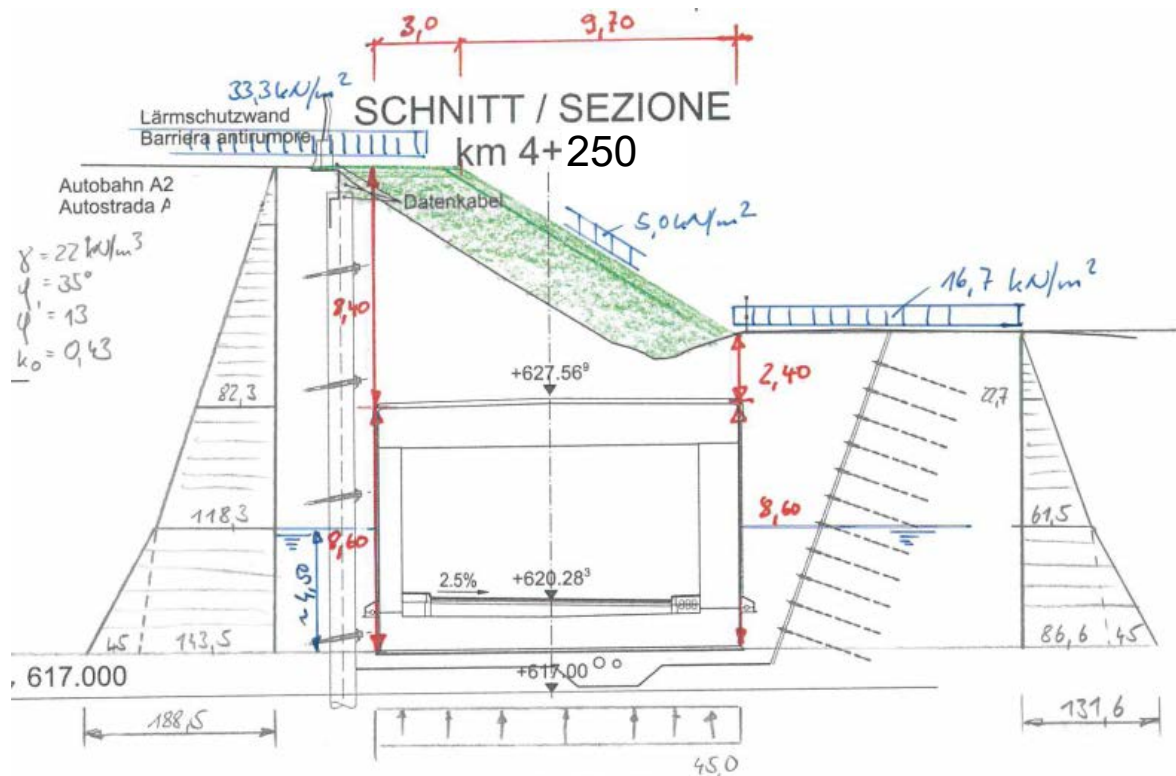


Abbildung 9 Skizze: System und Belastung Typ K1

### 7.2.2 Typ K2

Dies sind die Tunnelabschnitte bei denen sich die Autobahnböschung teilweise auf der Tunneldecke liegt.

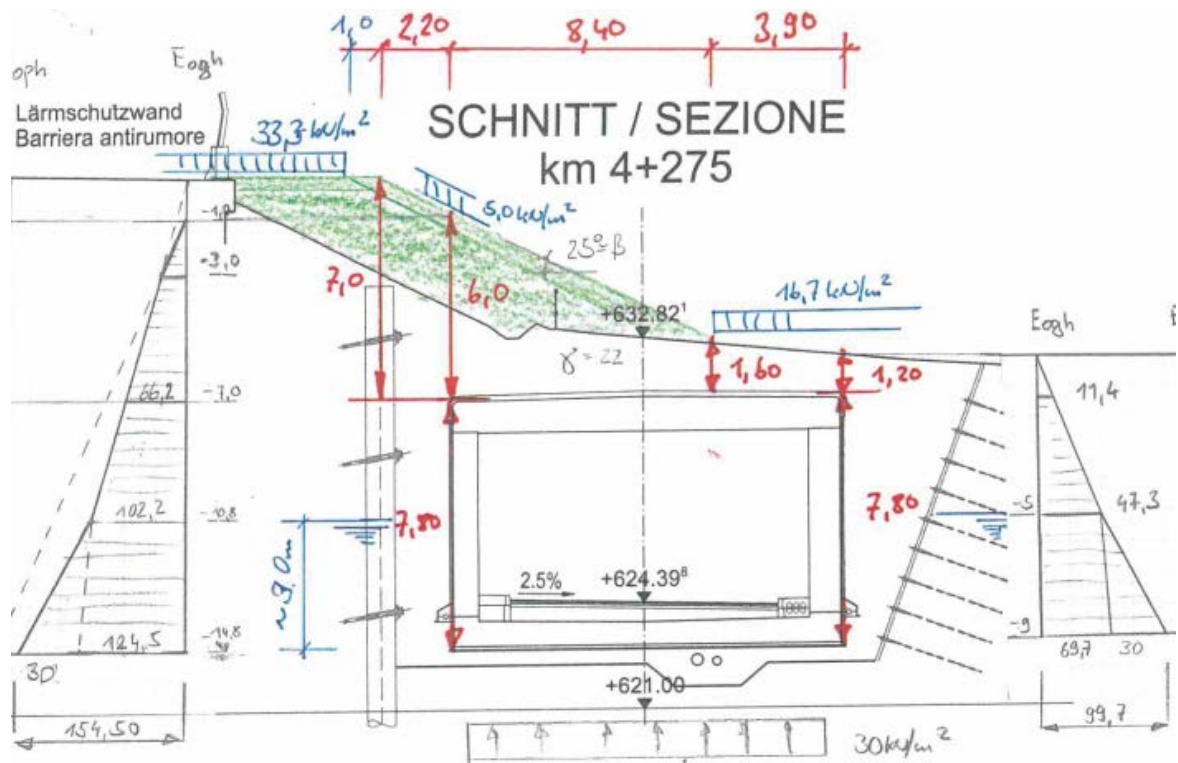


Abbildung 10 Skizze: System und Belastung Typ K2

### 7.2.3 Typ K3

Die Typen K3a und K3b unterscheiden sich durch Anordnung einer Lärmschutzverkleidung der Wände im Anschluss an die Portalbereiche. Decke und Bodenplatte sind 0,80 m dick, wobei durch das oberflächliche Gefälle diese Dicke variiert. Die Wände erhalten in den portalnahen Blöcken eine Lärmschutzverkleidung. Hier beträgt die Wandstärke 0,70 m (K3a). In den übrigen Blöcken ist die Wandstärke 0,80 m (K3b).

Die Querschnitte K3 befinden sich in den portalnahen Tunnelblöcken in denen der Tunnel immer weiter von der Autobahn abrückt und sich der Fußpunkt der Dammböschung noch westlich der Tunneldecke befindet.



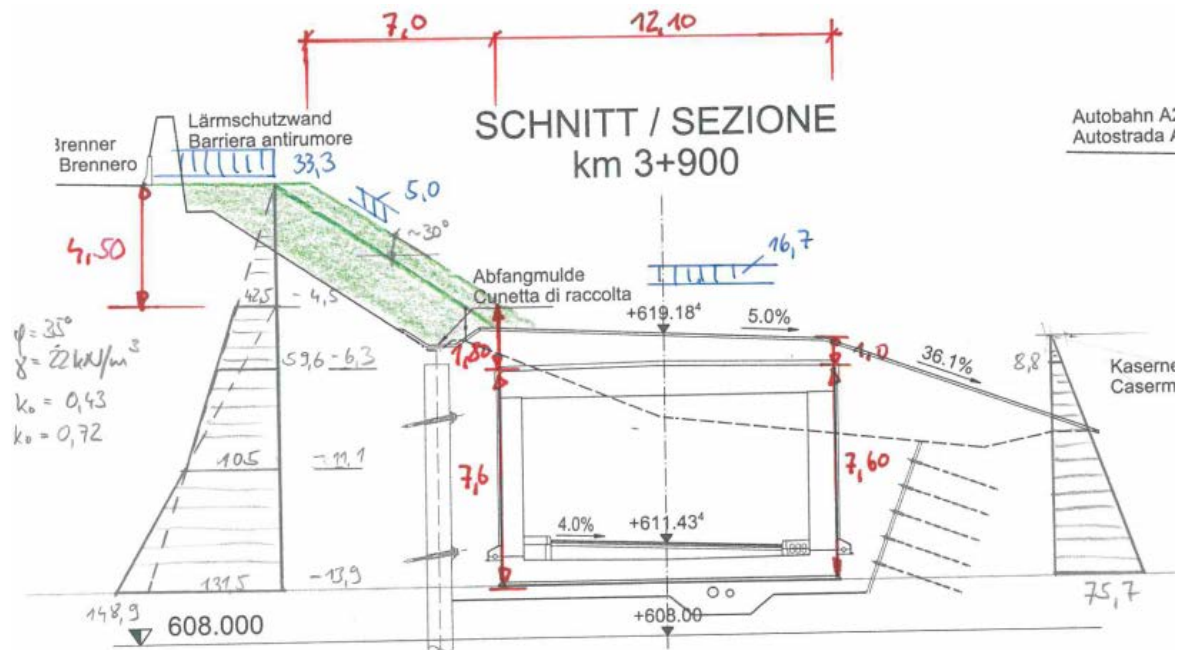


Abbildung 11 Skizze: System und Belastung Typ K3

### 7.3 Beschränkung der Rissbreiten und Mindestbewehrung

Der Nachweis der Beschränkung der Rissbreiten erfolgt für  $w_2 = 0,3 \text{ mm}$  für die quasi ständige Einwirkungskombination.

#### 4.1.2.2.4.5 Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella Tab. 4.1.IV sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

Tabella 4.1.IV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

$w_1, w_2, w_3$  sono definiti al § 4.1.2.2.4.1, il valore di calcolo  $w_d$ , è definito al § 4.1.2.2.4.6.

Abbildung 12: Auszug aus NTC 02-2008 – cap 04; Tabella 4.1.1V

Außerdem werden zwangsbehinderte Bauteile für Zwang aus abfließender Hydratationswärme bewehrt. Dies sind die Tunnelaußenwände deren Zwangsverkürzung in Längsrichtung durch die Sohlplatte behindert wird und die Tunneldecke deren Zwangsverkürzung durch die Wände behindert wird. Die Sohlplatte wird auf einer ca. 50 cm dicken Filterkiessschicht mit Geotextil betoniert wodurch nur eine vernachlässigbare Zwangsbeanspruchung zu erwarten ist.



Bauteildicke	Beton	Erf as [cm²/m] je Seite	Bereich
D=70 cm	C25/30	13,0 cm²/m längs	Min. 2,0m über Beonierfuge
D=80 cm	C25/30	14,9 cm²/m längs	Min. 2,0m über Beonierfuge
D=100 cm	C25/30	18,5 cm²/m längs	Min. 2,0m über Beonierfuge
D=120 cm	C25/30	20,2 cm²/m längs	Min. 2,0m über Beonierfuge
D=140 cm	C25/30	21,9 cm²/m längs	Min. 2,0m über Beonierfuge

Es wird ein Bewehrungsnetz < 150/150 mm vorgesehen. Die Mindestbewehrung von Ø14/15 wird an keiner Stelle unterschritten.

die Längsbewehrung ist sowohl oben (außen) als auch unten (innen) in der ersten Lage in Tunnellängsrichtung anzuordnen.

#### 7.4 Biegebemessung

Die Stahlbetonbemessung erfolgt für die maßgebenden Einwirkungskombinationen mit Hilfe des EDV Bemessungsprogramms Infograph.

Siehe Zusammenstellung in der EDV - Ausgabe

#### 7.5 Querkraftbewehrung

Querkraftbewehrung ist gemäß den Ergebnissen der Statischen Berechnung in den Querschnittsteilen einzulegen, in denen die Betonquerkrafttragfähigkeit überschritten wird.

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0,12 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + 0,12 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,ct} = \text{Max} ( V_{Rd,ct} ; V_{Rd,ct,min} )$$

Typ K1:

Bauteildicke	Bauteil	Beton	Vorh. as Biegezugbewehrung im Anschnitt	N <sub>ED</sub> ; S/V- Kombination [kN]	V <sub>Rd,ct</sub> [kN]
D=80 cm	Wand	C25/30	55 cm²/m	<b>1650 kN</b>	<b>472 kN</b>
D=140 cm	Wand	C25/30	45 cm²/m	<b>1550 kN</b>	<b>550 kN</b>

D=120 cm	Sohle	C25/30	45 cm <sup>2</sup> /m	<b>550 kN</b>	<b>405 kN</b>
D=140 cm	Decke	C25/30	55 cm <sup>2</sup> /m	<b>550 kN</b>	<b>462 kN</b>

Typ K2:

Bauteildicke	Bauteil	Beton	Vorh. as Biegezugbewehrung im Anschnitt	N <sub>ED</sub> ; S/V- Kombination [kN]	V <sub>Rd,ct</sub> [kN]
D=80 cm	Wand	C25/30	35 cm <sup>2</sup> /m	<b>950 kN</b>	<b>355 kN</b>
D=100 cm	Wand	C25/30	35 cm <sup>2</sup> /m	<b>850 kN</b>	<b>315 kN</b>
D=80 cm	Sohle	C25/30	35 cm <sup>2</sup> /m	<b>400 kN</b>	<b>317 kN</b>
D=100 cm	Decke	C25/30	30 cm <sup>2</sup> /m	<b>400 kN</b>	<b>317 kN</b>

Typ K3:

Bauteildicke	Bauteil	Beton	Vorh. as Biegezugbewehrung im Anschnitt	N <sub>ED</sub> ; S/V- Kombination [kN]	V <sub>Rd,ct</sub> [kN]
D=70 cm	Wand	C25/30	35 cm <sup>2</sup> /m	<b>600 kN</b>	<b>300 kN</b>
D=80 cm	Wand	C25/30	45 cm <sup>2</sup> /m	<b>700 kN</b>	<b>350 kN</b>
D=80 cm	Sohle	C25/30	50 cm <sup>2</sup> /m	<b>350 kN</b>	<b>322 kN</b>
D=80 cm	Decke	C25/30	45 cm <sup>2</sup> /m	<b>350 kN</b>	<b>312 kN</b>

## 7.6 Nachweis der Standsicherheit

Nachfolgend die Zusammenstellung der charakteristischen Bettungskräfte der Sohlplatte aus der Berechnung am Gesamtsystem:

Typ	min $\sigma_z$ [kN/m <sup>2</sup> ]	max $\sigma_z$ [kN/m <sup>2</sup> ]	max $\sigma_x$ [kN/m <sup>2</sup> ]
K1	162	460	51
K2	80	400	44

K3	95	410	43
----	----	-----	----

Die gegebenen Bettungskräfte können ohne weiteren Nachweis vom anstehenden Boden sicher aufgenommen werden.

#### Auftriebssicherheit:

Nachweis der Auftriebssicherheit mit  $\gamma_{Q;dst} = 1,50$  und  $\gamma_{G;stb}=0,90$  für je einen 1,0m Streifen der Bemessungsblocktypen:

Auftriebssicherheit								
Typ	k. GW ü So	Breite	A = V <sub>dst</sub>	G <sub>0</sub>	G <sub>1 min</sub>	G <sub>stb</sub>	V <sub>dst,d</sub> / G <sub>stb,d</sub>	Nachweis
	[m]		[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
K1	4,5	12,7	571,5	1298,0	279,4	1577,4	0,49	OK
K2	3,0	12,3	369,0	904,0	270,6	1174,6	0,42	OK
K3	0,5	12,1	60,5	768,0	266,2	1034,2	0,08	OK

## 8 AUSFÜHRUNGSHINWEISE

### 8.1 Grundwasser

Von km 4,000 bis km 4,310 ist davon auszugeben, dass sich der Tunnelquerschnitt bis ca. zur Hälfte im Grundwasser (Hangwasser) befindet. Um eine stauende Wirkung des Tunnels für das von Westen ansickernde Wasser zu verhindern, werden Sickerstreifen unter der Betonsohle und seitlich an den Wänden angeordnet. Die dauerhafte Durchlässigkeit der Sickerstreifen ist sicher zu stellen.

In der Bauphase ist der Grundwasserspiegel so tief abzusenken, dass die Grundbruchgefahr durch Auftrieb nicht gegeben ist (ca. 4 bis 6 m unter Aushubsohle).

### 8.2 Abdichtung

Wände und Decke erhalten eine Regenschirmabdichtung. Der Anschluss oberhalb der Bodenplatte ist insbesondere in den Bereichen mit hoch stehendem Grundwasser dicht auszubilden.

Die Sohle wird als wasserdichte Betonkonstruktion ausgebildet. Die Fugenbänder sind sorgfältig auszuführen um ein Eindringen von Wasser zu verhindern.

### 8.3 Hinterfüllung

Der talseitige Erdwiderstand ist wesentlich für die Tragfähigkeit des Bauwerks. Die Verfüllung hat so zu erfolgen, dass bis zum Erreichen der Tunneldecke talseitig immer höher als Autobahnseitig verfüllt sein muss. Der talseitige Verdichtungsgrad mit  $E_{VR} \geq 20 \text{ MN/m}^3$  ist nachzuweisen.

Im Zuge der Hinterfüllung des Bauwerks werden die Temporäranker für den Bohrpfahlverbau entspannt. Ein begleitendes Messprogramm für die Verformungen an der Autobahn ist durchzuführen.

### 8.4 Bestandsmauern

Vor Beginn der Bauarbeiten ist durch Suchschlitze die Lage der autobahnseitigen Stützmauern zu verifizieren. Die örtliche Bauaufsicht ist dazu beizuziehen.

Die Übereinstimmung der Voraussetzungen dieser Berechnungen mit den angetroffenen Verhältnissen ist vor Inangriffnahme der Arbeiten an den Verbauwänden durch den Projektanten zu prüfen.

### 8.5 Betontechnologie

Den massigen Betonquerschnitten ist durch eine entsprechende Betontechnologie und Betonnachbehandlung während der Ausführung Rechnung zu tragen. Es sind Betone mit geringer Wärmeentwicklung und L-Zementen zu verwenden.

### 8.6 Herstellungsreihenfolge der offenen Bauweise

In der statischen Berechnung wurde von folgender Herstellungsreihenfolge ausgegangen:

- Aushub Baugrube inklusive Sicherungsmaßnahmen
- Herstellung Bodenplatte
- Herstellung der Wände
- Herstellung der Decke unter Berücksichtigung der Überhöhung
- Herstellung der Abdichtung
- Lageweise Symmetrisches Verfüllung

Somit kann die Bemessung am „Einguss-system“ für den Endzustand erfolgen

## **9      ERGEBNISSE**

Die Ergebnisse der Berechnungen können dem Anhang entnommen werden.



Projekt/progetto:

**UMFAHRUNG VAHRN**  
**BAUARBEITEN OHNE ANSCHLUSS BRIXEN NORD**  
**CIRCONVALLAZIONE VARNA**  
**OPERE CIVILI SENZA COLLEGAMENTO BRESSANONE NORD**

**AUSFÜHRUNGSPROJEKT - PROGETTO ESECUTIVO**

1	10.08.2018	Materialkennwerte/ Parametri materiali	T. Ungerer	G. Fischnaller	G. Fischnaller
0	22.01.2016	erste Ausgabe / prima edizione	M. Böhm	O.Pape	R.Feldbacher
Rev.	Datum/data	Ausgabe, Änderung/edizione, aggiornamento	erstellt/elaborato	geprüft/esaminato	freigegeben/approv.

Auftraggeber:

**AUTONOME PROVINZ BOZEN**  
**Abteilung Tiefbau**  
**Amt für Straßenbau Nord/Ost**

Committente:

**PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO**  
**Ripartizione infrastrutture**  
**Ufficio tecnico strade nord/est**

Dokumenttitel:

**UMFAHRUNG VAHRN**  
**KASTENQUERSCHNITTE**  
**STATISCHE BERECHNUNG**

Titolo del documento:

**GALERIA VARNA**  
**SEZIONE TIPO SCATOLARE**  
**CALCOLI STATICI**



CONSULTING  
ENGINEERS



PLANUNGSGRUPPE

ILF - EUT

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

c/o EUT Engineering GmbH  
Dantestraße 134, 39042 Brixen

Tel. +39 0472 272400  
E-mail: info@eut.bz.it

c/o EUT Engineering srl  
Via Dante 134, 39042 Bressanone

Dokument/documento:

BV-S-724

Einlage Nr./allegato n.:

**7-4**

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>SEZIONE TRASVERSALE</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>TERRENO DI FONDAZIONE</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>SISTEMA STATICO</b>	<b>8</b>
<b>4.1</b>	<b>Origine e caratteristiche dei metodi di calcolo</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>CARICHI</b>	<b>9</b>
<b>5.1</b>	<b>Peso proprio</b>	<b>9</b>
<b>5.2</b>	<b>Spinte delle terre</b>	<b>9</b>
<b>5.3</b>	<b>Pressione d'acqua</b>	<b>11</b>
<b>5.4</b>	<b>Carichi permanenti in galleria</b>	<b>11</b>
<b>5.5</b>	<b>Carichi mobili sulla galleria</b>	<b>11</b>
<b>5.5.1</b>	Carichi mobili sulle zone con riporti di terra e scarpate	11
<b>5.5.2</b>	Carichi mobili zona intersezione con la strada Scaleres a km 4+125	11
<b>5.6</b>	<b>Carico neve</b>	<b>12</b>
<b>5.7</b>	<b>Carichi mobili in galleria</b>	<b>12</b>
<b>5.8</b>	<b>Temperatura</b>	<b>12</b>
<b>5.9</b>	<b>Sisma</b>	<b>12</b>
<b>5.10</b>	<b>Incendio</b>	<b>23</b>
<b>5.11</b>	<b>Altri carichi</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>MATERIALI DI COSTRUZIONE</b>	<b>23</b>
<b>6.1</b>	<b>Calcestruzzo</b>	<b>23</b>
<b>6.2</b>	<b>Acciaio d'armatura</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>DIMENSIONAMENTO</b>	<b>24</b>
<b>7.1</b>	<b>Generalità</b>	<b>24</b>
<b>7.2</b>	<b>Sezioni di calcolo</b>	<b>24</b>
<b>7.2.1</b>	Tipo K1	24
<b>7.2.2</b>	Tipo K2	25
<b>7.2.3</b>	Tipo K3	26

7.3	Armatura per lo stato limite di fessurazione e armatura minima	26
7.4	Dimensionamento a flessione	27
7.5	Armatura a taglio	28
7.6	Verifica della stabilità	29
8	INDICAZIONI ESECUTIVE	29
8.1	Acqua di falda	29
8.2	Impermeabilizzazione	30
8.3	Rinterro a tergo	30
8.4	Muri esistenti	30
8.5	Tecnologia del cemento armato	31
8.6	Fasi realizzative della galleria artificiale	31
9	RISULTATI	31



## 1 GENERALITÀ

Nell'ambito della realizzazione della circonvallazione di Varna SS12, è prevista l'esecuzione in galleria dal km 3,8+00,00 al km 4,3+90,00, realizzata a cielo aperto e con il metodo "cut and cover". La galleria, lunga 590 m, prende il nome di Galleria Varna ed è suddivisa in 50 conci di 12m di lunghezza. L'opera è ubicata in posizione adiacente all'Autostrada A22, il cui tracciato corre a monte di un rilevato e sottopassa il comune di Varna al suo lato est. Allo stato finale, ampi tratti del piede del rilevato vengono a trovarsi sopra la galleria; in alcuni punti, accanto alla galleria, sono presenti cunicoli di passaggio ed alti muri laterali a sostegno della struttura autostradale.

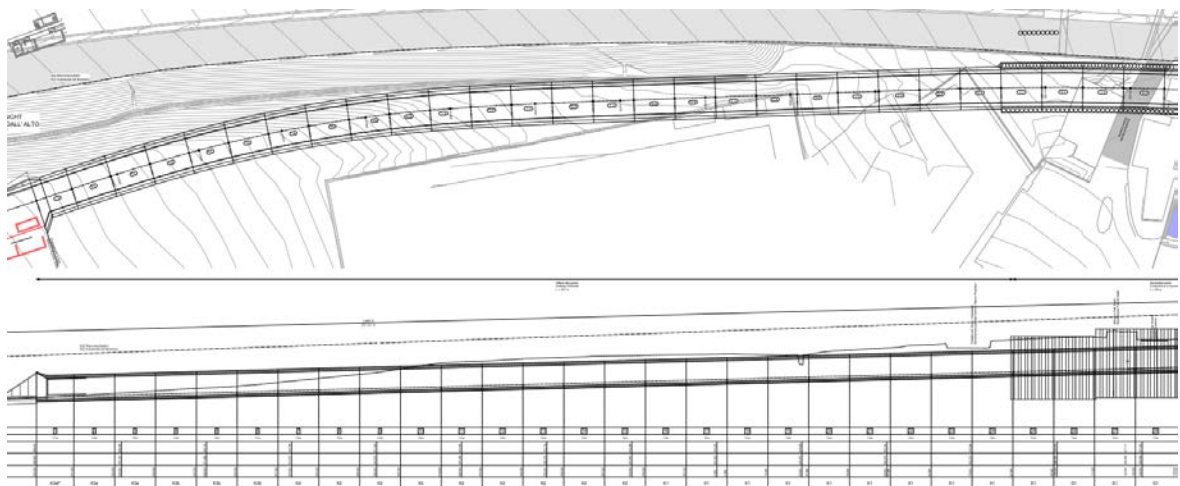
La scelta delle opere avviene in base alla distanza dall'autostrada ed ai manufatti autostradali.

Per quanto possibile, la galleria viene realizzata a sezione scatolare chiusa in calcestruzzo armato; detta esecuzione è legata alla possibilità di realizzare, durante l'esecuzione dei lavori, una parete di contenimento separata, come misura di sicurezza per la struttura autostradale. Nelle zone in cui la galleria si avvicina con il suo muro lato ovest troppo all'autostrada, si sceglie il metodo "cut and cover". Questo riguarda i conci 25- 32 e i conci 36- 38.

Al km 4,1+12,50 la strada Scaleres passa sopra la galleria e al km 4,1+15,00 la galleria passa sotto il Rio Scaleres.

Per un possibile ampliamento futuro dell'autotrada A22 si considera nel dimensionamento i seguenti carichi: allargamento della corsia di sosta da 2,50m a 3,50m e una nuova corsia di sosta di 3,50m. Si considera quindi un allargamento del rilevato autostradale di 4,50m.

Nel presente dimensionamento si tratta la galleria realizzata a sezione scatolare chiusa. La parete di contenimento e la galleria costruita con il metodo "cut and cover" sono oggetto di documenti separati e non costituiscono pertanto parte della presente relazione.



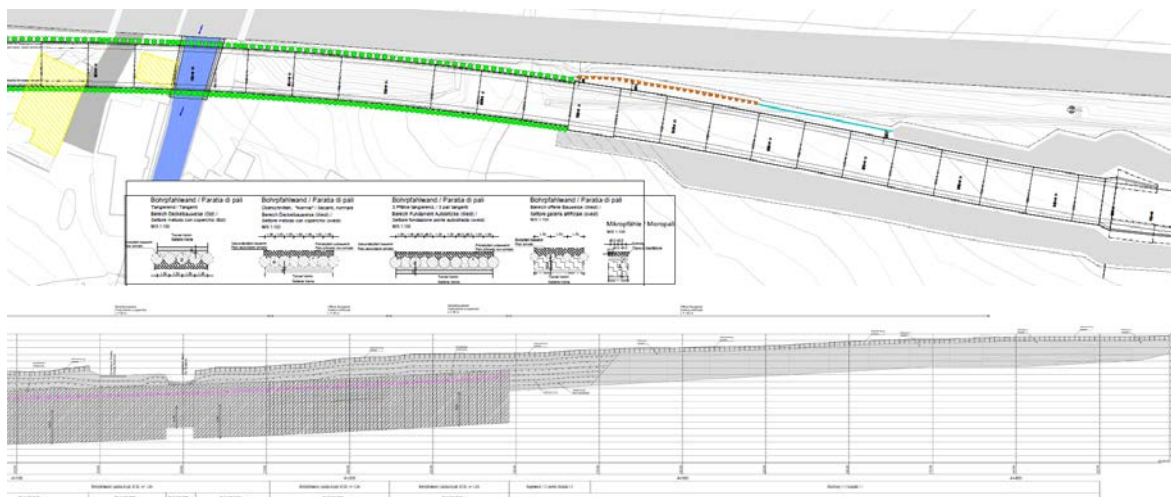


Figura 1: Planimetria e sezione longitudinale Galleria Varna

## 2 SEZIONE TRASVERSALE

Il contorno della sezione trasversale scatolare è un rettangolo chiuso. La piastra di fondazione chiusa viene scelta in seguito alla falda acquifera affiorante ed in virtù del comportamento portante più conveniente nel caso di carico unilaterale.

La sezione trasversale libera della galleria è caratterizzata da altezza libera di 5,45 m e larghezza libera di 10,50 m. La pendenza trasversale massima della strada è 5,0 %. La galleria viene realizzata con soletta di copertura orizzontale e piastra di fondazione. Il tetto a completamento della soletta di copertura presenta inclinazione trasversale pari a 1,5 %. La superficie della piastra di fondazione presenta, al centro, un'inclinazione pari a 1,5%; questo per permettere il drenaggio dello strato portante. Sulla piastra di fondazione, vengono realizzate condotte drenanti; a tale scopo, punti localizzati nella parte inferiore della piastra di fondazione vengono eseguiti con spessore minimo di 1,20m.

La lunghezza standard dei singoli blocchi è pari a 12,0 m.

I giunti tra i singoli conci/blocchi vengono eseguiti come giunti di costruzione. Lateralmente vanno eseguite delle smussature con profili trapezoidali.

I giunti del concio di imbocco contro l'adiacente concio della galleria vengono eseguiti come giunti di dilatazione e sigillati con inserti e nastri waterstop.

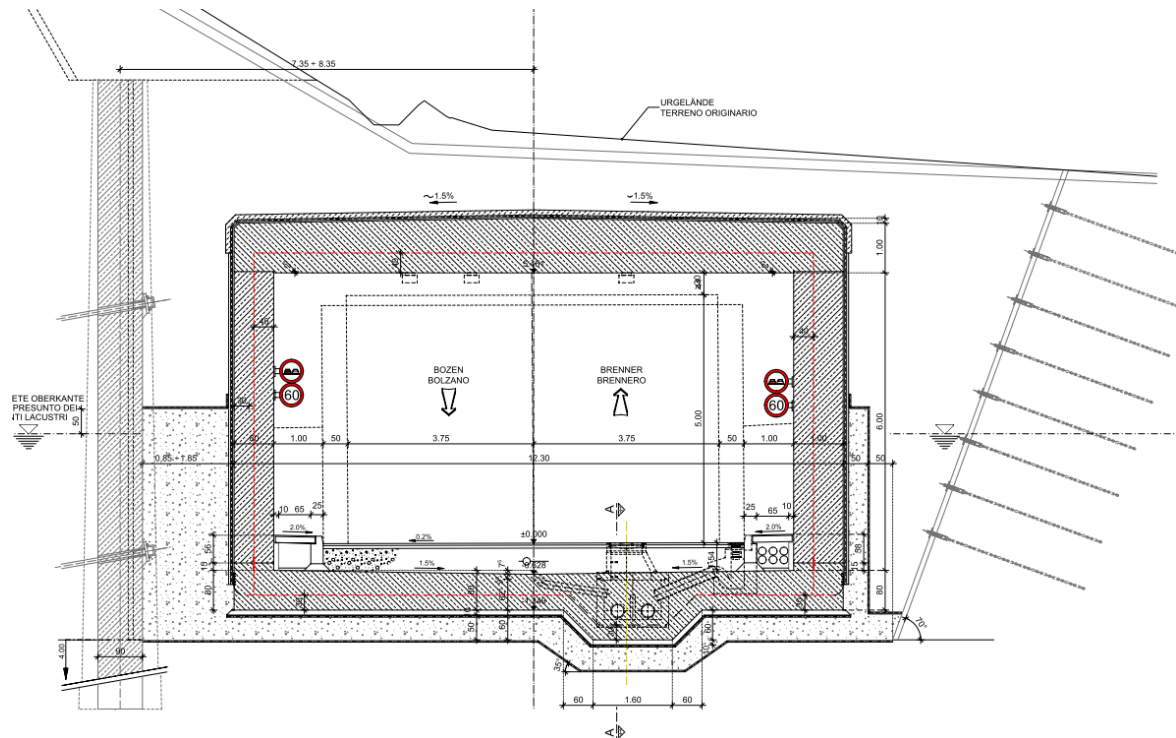


Figura 2: Sezione tipo scatolare, costruzione all'aperto

A seconda delle sollecitazioni statiche e delle caratteristiche del terreno, i conci della galleria sono stati raggruppati nelle seguenti sezioni tipo:

K1: Conci 15 – 24; 33 - 35; 39

Soletta d=140cm; platea di fondo d= 120 cm; pareti d=80 bis 140 cm

K2: Conci 9 - 15; 40 – 43

Soletta d=100cm; platea di fondo d= 80cm; pareti d=80 bis 100 cm

K3: Conci 1 – 8; 44 – 50

Soletta d=80cm; platea di fondo d= 80 cm; pareti d=80 bzw. 70 (LSW) cm

La posizione delle sezioni tipo analizzate riguardano le situazioni di rinterro più sfavorevoli rispetto al rilevato autostradale, con i carichi più elevati. I conci, a seconda del tipo di sezione, verranno dimensionati e armati uniformemente.

### 3 TERRENO DI FONDAZIONE

Per quanto riguarda il terreno di fondazione si fa riferimento alla relazione geotecnica BV-U-601 del 29.02.2008. Sussistono i seguenti terreni:

a) riporto



AUFSCHÜTTUNG  
RIPORTO

b) depositi di debris



MUR-/ SCHWEMMKEGELABLAGERUNGEN  
DEBRIS FLOW / DEPOSITI DI CONO ALLUVIONALE

c) zona di passaggio



ÜBERGANGSFAZIES (MURSCHUTT-SEESSEDIMENTE)  
ZONA DI PASSAGGIO (DEBRIS FLOW-DEPOSITI LACUSTRI)

d) sedimenti lacustri



SEESSEDIMENTE  
DEPOSITI LACUSTRI

La zona di passaggio tra debris flow e sedimenti lacustri è poco permeabile e trattiene l'acqua di falda. Per questo si prevedono delle venute d'acqua dal rilevato autostradale. I parametri del terreno sono:

Fazies			Aufschüttung	Murschutt	Übergangsfazie	Seesedimente
Bodenart			steinige Kiese	sandig steinige Kiese	schluffige Sande stark veränderlich	Schluffe
Bodenart ÖN B4401			X,G,s	G,S,u bis G,s,u	S,u* bis S,u*,t	U,t'
Lagerung			mitteldicht	mitteldicht bis dicht	mitteldicht	steif bis halbfest
Wichte, feucht	$\gamma_f$	kN/m <sup>3</sup>	22,0	22,0	21,0	20,0
Wichte unter Auftrieb	$\gamma'$	kN/m <sup>3</sup>	13,0	13,0	12,0	10,0
Reibungswinkel, dräniert	$\phi'$	Grad	35,0	35,0	30,0	27,0
Kohäsion, dräniert	$c'$	kN/m <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0	10,0
Kohäsion, undräniert	$c_u$	kN/m <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0	30,0
Steifemodul	$E_{smin}$	MN/m <sup>2</sup>	50	70	30	30
	$E_{smax}$		80	10	60	60

0

#### Konstruktionsabhängige Kennwerte

Ortbetonpfähle						
Pfahlmantelreibung	$\tau_{mgrenz}$	MN/m <sup>2</sup>	0,12	0,12	0,03	0,03
Spitzendruck bei Pfahlkopfsetzung s/D= 0,02	$\sigma_{sgrenz}$	MN/m <sup>2</sup>	1,50	1,50	0,30	0,30
Vorspannanker						
Vorspannanker Grenzkraft *)	$T_{grenz}$	KN/m	170,00	170,00	100,00	120,00 **)

\*\*) Werte im Schluff mit Nachverpressen

\*) Haftstrecke ca. 8-10 m und Durchmesser der Ankerbohrung 150mm

Figura 3: Parametri del terreno da BV-U-601

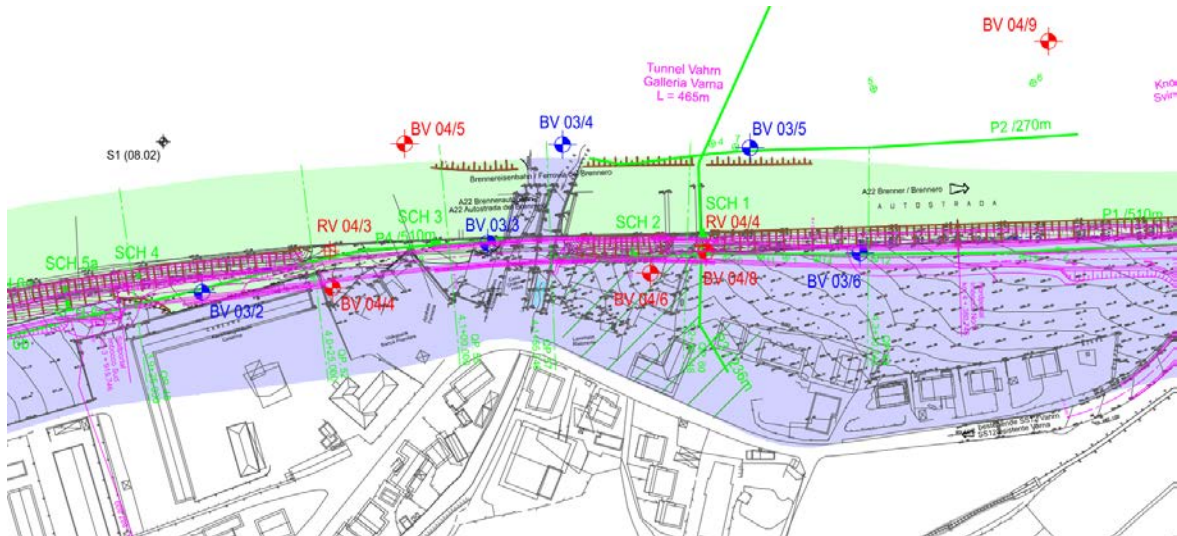


Figura 4: Estratto dalla planimetria con affioramenti del terreno da BV-U-603

Secondo l'andamento della livelletta stradale e la sezione geologica l'opera verrà fondata sui seguenti terreni.

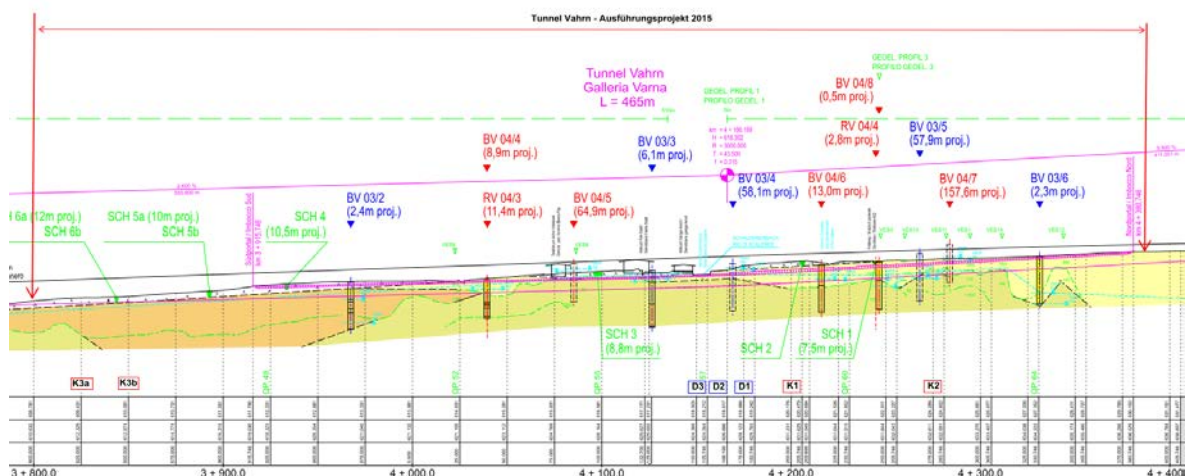
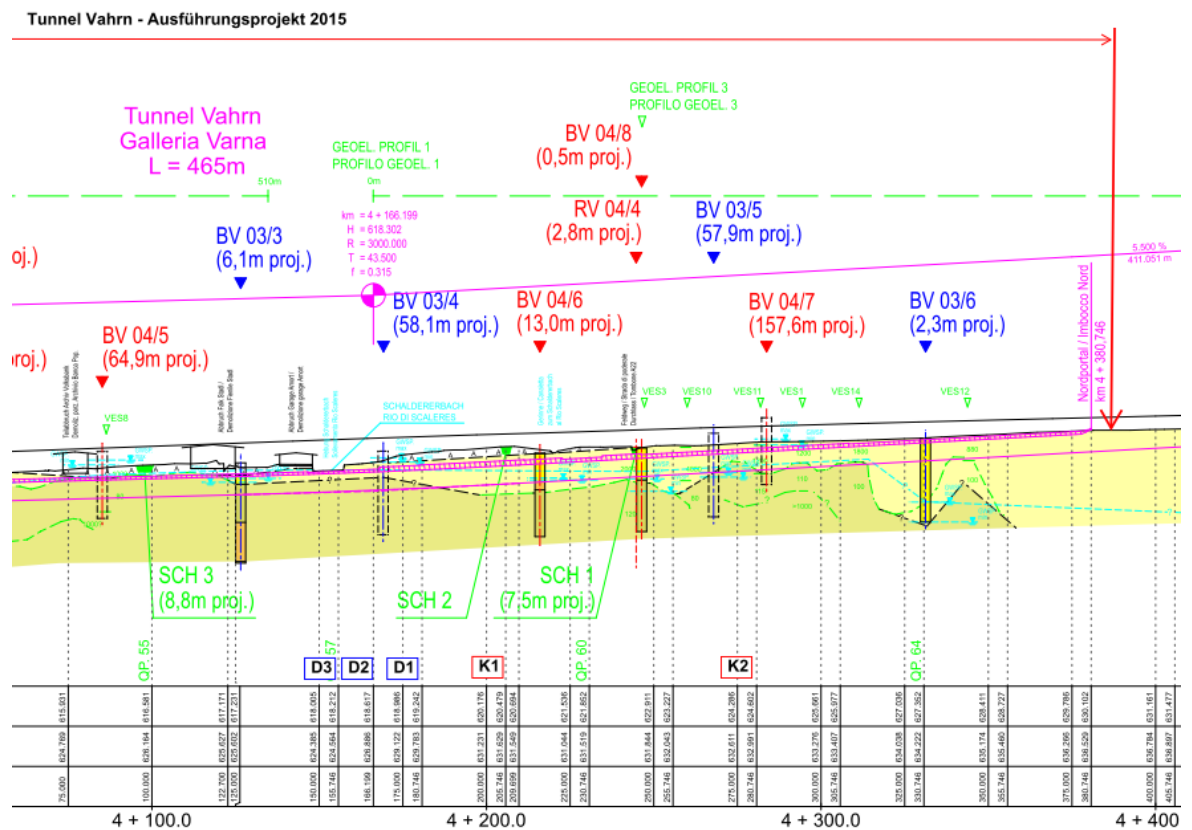


Figura 5: Estrazione dal profilo geologico longitudinale dal doc. BV-U-604 – Corografia generale





P:\PROJECT\900\024 UMF. VAHRN\PLANUNG\AUSFÜHRUNGSPROJEKT 2018 VALIDIERUNG\02 STAT BERICHT\1396 VAHRN MAPPE 7 DOCX PDF\7-4 BV-S-724 IT.DOC

**K1:** Fondazione su debris; le pareti della galleria sono nella zona del debris flow e nella zona di riporto; viene considerato un massimo livello della falda di ca. 4,5m sopra la quota inferiore della fondazione.

**K2:** Fondazione tra debris e zona di passaggio; le pareti della galleria sono nella zona del debris flow; viene considerato un massimo livello della falda di ca. 3,0m sopra la quota inferiore della fondazione.

**K3a und K3b:** Fondazione nella zona di passaggio; le pareti della galleria sono nella zona di riporto ovvero nel debris flow; nessuna falda nella zona della fondazione.

**D1 bis D3:** Fondazione nella zona dei sedimenti lacustri; le pareti della galleria sono nella zona dei sedimenti lacustri ovvero nel debris flow; viene considerato un massimo livello della falda di ca. 6,5m sopra la quota inferiore della fondazione.

## 4 SISTEMA STATICO

Nel modello di calcolo, la struttura viene assunta bi-dimensionale. La struttura viene assunta solidale alla piastra di fondazione su suolo elastico, sia sul piano verticale che sul piano orizzontale. Senza ulteriore verifica, per i sedimenti sottoposti a consolidamento preliminare, viene applicato un modulo di reazione verticale di 50 MN/m<sup>3</sup> ed orizzontale di 25 MN/m<sup>3</sup>. L'azione della pressione d'acqua (spinta idrostatica) sulla platea rende la scelta del modulo di reazione poco significativa. Le pareti non vengono assunte su suolo elastico.

In considerazione del fatto che, in condizioni di rinterro, le spinte esercitate dal terreno superano la spinta idrostatica, non occorre considerare il caso di esclusione del contenimento al tiro.

### 4.1 Origine e caratteristiche dei metodi di calcolo

#### Tipo di analisi svolta:

Analisi strutturali:

Statica lineare: si

Statica non lineare no

#### Software usata:

INFOGRAPH v.15.1.a, licenza n. 74551-B, codice cliente 240745

Hersteller / Vertrieb INFOGRAPH GmbH, Aachen (Germania)

DIE Baustatik v.184, licenza n. 29535

Produttore / distributore DIE CAD und Statik Software GmbH, Oberhausen (Germania)

#### Affidabilità dei metodi di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità e l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene un esauriente descrizione delle base teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impegno, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione. È stata verificata l'affidabilità del metodo di calcolo attraverso un numero



indicativo di casi di prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche e soluzioni realizzate.

## Validazione del metodo di calcolo

Sulla base della semplicità delle struttura e del controllo puntuale non si è reso necessario di eseguire i calcoli nuovamente e diverso da quello originario mediante un programma di calcolo diverso da quello usato originariamente. Le sezioni di calcolo sono state verificate con delle semplici verifiche a mano.

## 5 CARICHI

### 5.1 Peso proprio

Il peso proprio viene assunto considerando  $\gamma_{\text{calcestruzzo}} = 25 \text{ kN/m}^3$ .

### 5.2 Spinte delle terre

Le spinte delle terre vengono determinate per l'altezza finale del rinterro. Si tiene anche conto di un possibile allargamento pari a 4,5 m della scarpata autostradale. Il peso del materiale di rinterro viene considerato assumendo  $\gamma_B = 22 \text{ kN/m}^3$ .

I carichi in parte sono notevolmente unilaterali; ciò rende possibile il verificarsi di uno spostamento lato valle. I calcoli mostrano che gli spostamenti sono di lieve entità, tanto da non giustificare una riduzione delle spinte destabilizzanti delle terre, cosa che pertanto non viene effettuata, anche per evitare deformazioni della struttura autostradale e poiché occorre progettare una struttura di potenziamento rigida, sia in fase di costruzione che allo stato finale. Una spinta aumentata delle terre è da escludere anche per la resistenza; per detto motivo, nel calcolo viene assunta una condizione di spinta a riposo. Altresì rilevante è il ruolo delle forti spinte unilaterali delle terre.

Le azioni delle spinte delle terre con bassi coefficienti di spinta laterale determinano momenti flettenti in campata maggiori, affrontati attraverso determinate scelte di costruzione.

Un riempimento minore causa allo stesso tempo una sollecitazione maggiore della parete lato autostrada. Visto che i calcoli devono essere rappresentativi per più blocchi e deve essere considerato un possibile allargamento del rilevato autostradale, si considerano sia per il riempimento del solaio sia per la spinta del terreno laterale lato autostrada i seguenti stati limite:

- 1) Momento in campata del solaio massimo:

riempimento massimo, spinta del terreno laterale ridotta lato autostrada

2) Momento massimo parete della galleria lato autostrada:

riempimento sopra il solaio della galleria minimo, spinta del terreno laterale massima lato autostrada.

3) Momento massimo nell'angolo superiore del telaio

riempimento massimo, spinta del terreno massima lato autostrada

Per il riempimento si considera uno spessore di materiale minimo di 1m.

Allo stato attuale non ci sono certezze su futuri allargamenti del rilevato autostradale, ovvero se saranno eseguiti attraverso un ampliamento del rilevato o attraverso muri di sostegno e sulla rigidità di quest' ultime in direzione orizzontale. Le ipotesi e i casi sopra spiegati tengono conto di queste insicurezze e lasciano ampie possibilità di intervento per futuri ampliamenti.

Una riduzione della spinta delle terre tra la parete di contenimento e la galleria non viene applicata. Detta riduzione è certamente efficace immediatamente dopo il ritombamento dell'opera. In una prospettiva a lungo termine, tuttavia, non è possibile dare per scontata l'invariabilità di detti comportamenti e la spinta delle terre, precedentemente descritta, sarà attiva. Per garantire una vita della galleria superiore a 50 anni, occorre scegliere una spinta delle terre più probabile.

Per la determinazione dei coefficienti di spinta delle terre si tiene conto dei seguenti parametri (riporto e debris):

$$\varphi = 35^\circ$$

$$c = 0$$

$$\delta = 0^\circ \text{ ovvero } -\varphi/2$$

$$\beta = 0; \text{ ovvero } 25^\circ \text{ nella zona della scarpata autostradale}$$

$\beta = 0$ ; risultano i seguenti coefficienti di spinta delle terre:

$$\text{spinta attiva} \quad k_{ah} = 0,271$$

$$\text{spinta a riposo} \quad k_o = 0,426$$

$$\text{spinta passiva} \quad k_{ph} = 7,016 \quad (\delta = -\varphi/2)$$

$\beta = 25$ ; risultano i seguenti coefficienti di spinta delle terre:

$$\text{spinta attiva} \quad k_{ah} = 0,38$$

$$\text{spinta a riposo} \quad k_o = 0,62$$

spinta passiva  $k_{ph} = 16,8 (\delta = -\varphi/2)$

Il carico terreno viene definito attraverso la spinta a riposo, che rappresenta il limite superiore della spinta considerata.

Come limite inferiore del carico terreno viene considerato la spinta attiva aumentata del 25%.

Il rapporto fra la spinta attiva ( $\varphi = 35^\circ$ ;  $\delta = 0^\circ$ ;  $\beta = 0$ ) aumentata del 25% e la spinta a riposo è di:

$$(0,271 + (0,25 \cdot (0,426 - 0,271))) / 0,426 = 0,72$$

### 5.3 Pressione d'acqua

Il livello dell'acqua viene assunto in conformità alla relazione geotecnica. L'azione esercitata dalla pressione dell'acqua viene considerata nelle applicazioni delle spinte delle terre. La spinta idrostatica è parimenti applicata.

### 5.4 Carichi permanenti in galleria

L'azione dei carichi permanenti in galleria (pista di scorrimento, ecc.) è vantaggiosa; questi vengono pertanto trascurati.

### 5.5 Carichi mobili sulla galleria

#### 5.5.1 Carichi mobili sulle zone con riporti di terra e scarpate

Sopra le scarpate scoscese, viene applicato un carico mobile di 5 kN/m<sup>2</sup>. Sopra le superfici piane, si considera un carico di 16,7 kN/m<sup>2</sup>. Sopra l'autostrada, il carico utile è pari a 33,3 kN/m<sup>2</sup>. In questo modo, viene soddisfatto anche il carico dovuto ad eventuali strutture di protezione contro il rumore.

#### 5.5.2 Carichi mobili zona intersezione con la strada Scaleres a km 4+125

Nella zona dell'intersezione con la strada Scaleres si considera il modello di carico LM1 sopra la galleria (concio 28 = tipo D1). Si considera una corsia larga 3m con un carico da assi in tandem 2 x 300 kN. Contemporaneamente agisce un carico distribuito di 9kN/m<sup>2</sup>. Inoltre si considera una corsia con carico mobile 2x200kN e 2,5kN/m<sup>2</sup>.

Viene considerata la distribuzione dei carichi nel corpo stradale di spessore 1,00m con 30° e nella platea di spessore 1,40m con 45°.

Per calcolare il carico mobile distribuito in asse della soletta della copertura si considera il carico tandem con distanza tra le ruote 2m ed interasse 1,20m e quindi una larghezza di 4,80m ( $\approx 2,4 + 2 \times (1,0 \times \tan 30^\circ + 1,40/2)$ ) su una lunghezza di 4,00 m ( $\approx 1,6 + 2 \times (1,0 \times \tan 30^\circ + 1,40/2)$ ).

Il carico distribuito viene determinato da assi tandem di 26,0kN/m<sup>2</sup> ( $\approx 2 \times (300+200) / 2 \times (4,8 \times 4,0)$ ) e per il carico distribuito senza considerare la distribuzione dei carichi di max. 9,0 kN/m<sup>2</sup>.

Il carico totale all'intersezione con la strada è quindi di 35,0kN/m<sup>2</sup> da traffico, e quindi inferiore al carico del rinterro di 9m ( $9 \times 22 = 198$  kN/m<sup>2</sup>) considerato per il blocco determinante per il dimensionamento (tipo D1).

## 5.6 Carico neve

La Provincia di Bolzano e precisamente il territorio comunale di Varna, si trova, in conformità all'Eurocodice 1 (EN 1991-1-3:2003) in zona 4,5. La condizione di carico tipo è, pertanto, pari a 2,0 kN/m<sup>2</sup>. Poiché il carico mobile da applicare è chiaramente superiore al carico neve ed essendo possibile escludere la concomitanza del carico neve con il carico mobile, il carico neve non viene considerato.

## 5.7 Carichi mobili in galleria

Il carico mobile in galleria è definito da assi in tandem 2 x 300 kN. Viene considerata la distribuzione dei carichi nel corpo stradale e nella platea. Agendo i carichi sulla platea, viene applicato il coefficiente dinamico  $\gamma = 1,0$ .

Per il corpo stradale viene considerato uno spessore medio di 60 cm con angolo di diffusione del carico pari a 45° fino all'asse della sezione trasversale. Distanza ruote pari a 2,0m; area di appoggio ruota pari a 40\*40 cm; distanza assi 1,20 m; quindi verrà considerata un asse per la fascia di 1 m calcolata.

Per la platea di 80cm vale quindi:

Carico uniformemente distribuito:

$$300 \text{ kN} / (2,0 + 0,4 + 2 \times (0,4 + 0,6)) = 57,7 \text{ kN/m}$$

## 5.8 Temperatura

Le variazioni di temperatura vengono considerate applicando una variazione uniforme di temperatura di +/- 10 ° C sopra la soletta di copertura e le pareti. Non avviene una riduzione a causa delle reazioni vincolari.

## 5.9 Sisma

Per le opere interrate, l'azione sismica riveste un'importanza secondaria, poiché rientra nel dimensionamento assieme ai fattori di sicurezza per carichi eccezionali. Di seguito viene verificata la rilevanza dell'azione sismica per il dimensionamento:

Secondo il DPP (Decreto del Presidente Della Provincia) n° 33 del 21.07.2009, i comuni della Provincia Autonoma di Bolzano sono classificati in **zona 4**.

Per il sito del progetto valgono i seguenti parametri:

<b>Luogo</b>	<b>Vahrn</b>
	Lat.: 46.741 / Lon. 11.633
<b>Zona sismica</b>	Zona 4 –(NTC 2008 / DPP 33)
<b>Classe</b>	II (Cu = 1,0)
<b>Vita utile <math>V_R = V_N * C_u</math></b>	$V_N = 100$ anni
<b>Probabilità di superamento <math>P_{VR}</math></b>	10 % (SLV)
<b>Periodo di ritorno <math>T_R</math></b> $T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})}$	949 anni
<b><math>a_g</math></b>	0,58 m/s (0,060g)
<b><math>F_0</math></b>	2,673
<b><math>T_c^*</math></b>	0,386
<b>Categoria di sottosuolo</b>	C (NTC Tabella 3.2.II)
<b>Categoria topografica</b>	T 3
<b><math>S_s</math></b>	1,50
<b><math>S_T =</math></b>	1,20
<b><math>S = S_s * S_T</math></b>	1,80
<b><math>C_c =</math></b>	<b>1,44</b>
<b><math>T_B(S) = *T_c^* / 3</math></b>	<b>0,13</b>
<b><math>T_c(S) = C_c * T_c^*</math></b>	<b>0,56</b>
<b><math>T_D(S) = 4,0 * a_g / g + 1,6</math></b>	<b>1,62</b>
<b><math>\beta</math></b>	<b><math>\beta = 0,20</math></b>


Via	<input type="text"/>	n°	<input type="text"/>
Comune	vahrn	Cap	<input type="text"/>
Provincia	<input type="text"/>	<input type="button" value="Cerca"/>	

<b>WGS84 (°)</b>	
Latitudine	<input type="text"/>
Longitudine	<input type="text"/>
<input type="button" value="Cerca"/>	

Isole	-- Seleziona --
-------	-----------------

(1)* Coordinate WGS84 (°)	
Latitudine	46.732185
Longitudine	11.649724

(1)* Coordinate ED50 (°)	
Latitudine	46,733064
Longitudine	11,650750

Classe dell'edificio

**II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...**

**cu = 1**

Vita nominale (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

100

Interpolazione

Media ponderata

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> ' [s]
Operatività (SLO)	60	0,024	2,462	0,195
Danno (SLD)	101	0,030	2,448	0,218
Salvaguardia vita (SLV)	949	0,060	2,673	0,386
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0,072	2,774	0,414
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

### CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

- ☒ Muri di sostegno
- ☐ Stabilità dei pendii e fondazioni
- ☐ Paratie

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

**Ss \***  
Amplificazione stratigrafica

**Cc \***  
Coeff. funz categoria

**St \***  
Amplificazione topografica

SLO	SLD	SLV	SLC
<input type="text" value="1,50"/>	<input type="text" value="1,50"/>	<input type="text" value="1,50"/>	<input type="text" value="1,50"/>
<input type="text" value="1,80"/>	<input type="text" value="1,73"/>	<input type="text" value="1,44"/>	<input type="text" value="1,40"/>
<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>

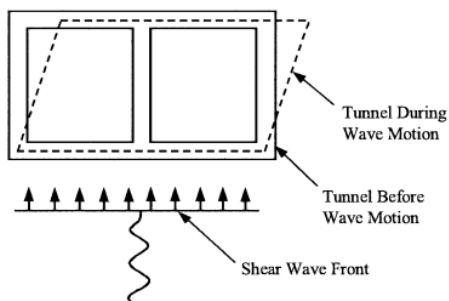
☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,008	0,010	0,019	0,023
kv	0,004	0,005	0,010	0,012
Amax [m/s²]	0,420	0,525	1,056	1,268
Beta	0,180	0,180	0,180	0,180

Il procedimento descritto di seguito vale per tutte le sezioni della galleria. Si determina l'influenza di tutte le azioni interne da azione di sisma e si valuta se queste sono determinanti ai fini del dimensionamento.

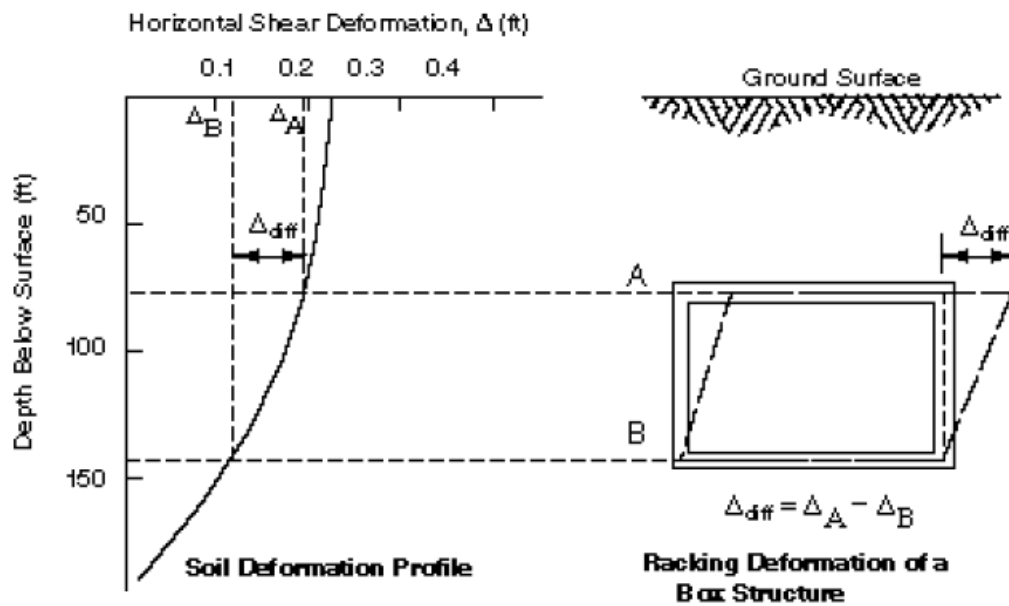
Il metodo di calcolo scelto si basa sui seguenti documenti:

- [1] ETH Zürich – 15. Dec. 2011 Colloquium on seismic design of tunnels
- [2] Seismic design of Tunnels – A simple state of the art design approach; Wang; June 1993
- [3] Taschenbuch für den Tunnelbau 2009 - Tunnelbauwerke unter Erdbebenbeanspruchung; Christos Vrettos
- [4] Tunneling and Underground Space Technology; Seismic design and analysis of underground structure



L'azione sisma causa una deformazione laterale della sezione della galleria, e quindi esiste la possibilità di spostamenti relativi tra soletta e platea di fondazione. Gli spostamenti e le azioni interne risultanti assomigliano a quelle di una deformazione orizzontale unilaterale.

Si assume che l'entità delle deformazioni della galleria corrisponda a quelle del terreno circostante. La rigidità dell'opera contro la deformazione laterale viene trascurata.



Questa grafica dimostra l'andamento tipico delle deformazioni sull'altezza della sezione. Queste causano la deformazione dell'opera raffigurata a destra.

Per una galleria profonda in terreno omogeneo la deformazione massima del terreno può essere determinata con la seguente formula:

$$\gamma_{\max} = V_{s0}/C_s$$

con:

$V_s$ :

$C_s$ : velocità onde

La velocità  $C_s$  effettiva può essere dedotta con il modulo di taglio  $G$  e il peso specifico  $\rho$ :

$$C_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

E quindi si deduce la deformazione libera del terreno:

$$\Delta_{ff} = \gamma_{\max} \cdot H$$

$H$  è l'altezza della galleria. In base alla differenza nelle rigidezze tra galleria e terreno circostante  $\Delta_{ff}$  è minore o maggiore di  $\Delta_{galleria}$ .

$$R = \frac{\Delta_{Tunnel}}{\Delta_{ff}}$$

Per l'opera si calcola il rapporto tra rigidezza del terreno e dell'opera  $F$ :

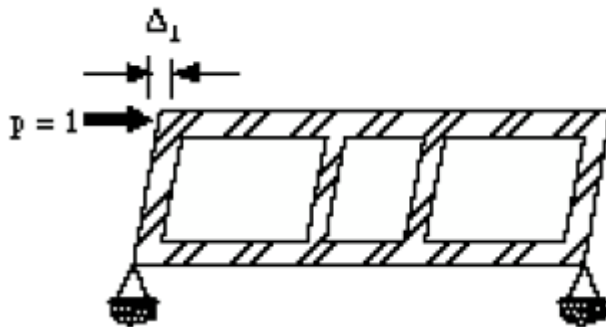
$G$ : modulo di taglio

$B$ : larghezza dell'opera

$H$ : altezza della struttura



$k_t = 1/D$ : Rapporto inverso della deformazione orizzontale DI per un carico unitario  
 $\bar{p} = 1 \text{ MN}$



Per la sezione a luce unica il sopradetto rapporto è

$$s = \frac{G}{24} \left( \frac{H^2 B}{EI_w} + \frac{B^2 H}{EI_R} \right)$$

con

$I_w$ : Momento d'inerzia parete

$I_R$ : Momento d'inerzia soletta di copertura e platea di fondazione

Il fattore R per le gallerie profonde (sovrapposizione  $h_0 \geq H$  secondo Wang 1993, pag. 119) secondo la formula

$$R = \frac{4(1-\nu)}{1 + k_t \frac{(3-4\nu)}{k_s}}$$

viene calcolato considerando i seguenti valori:

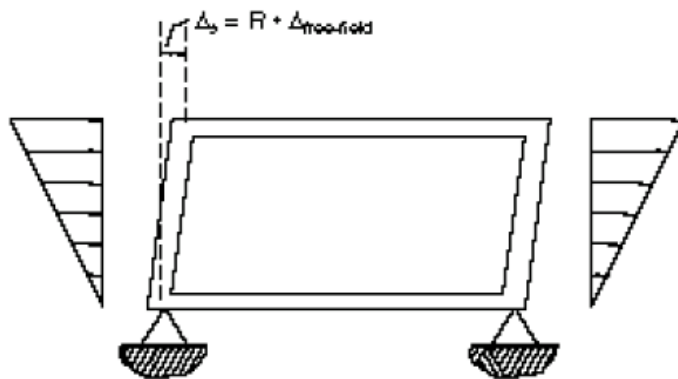
$\nu$ : modulo Poisson per il terreno circostante

$k_s = \frac{G}{H}$ : rigidezza generalizzata del terreno, deve essere considerato il modulo di taglio del terreno dipendente dalla profondità.

Per gallerie superficiali con  $h_0 = H$  si aumenta il fattore R del 20%.

Per sezioni di calcolo chiuse si considera una deformazione differenziale tra soletta e platea di fondazione di  $\Delta_{\text{Tunnel}} = R \cdot \Delta_{\text{ff}}$  per il calcolo delle azioni interne.

Per il calcolo delle azioni interne si applica un carico triangolare dell'entità p, che deve essere definito in modo tale da essere corrispondente alle deformazioni orizzontali massime  $f = \Delta_{\text{Tunnel}} = R \cdot \Delta_{\text{ff}}$ .



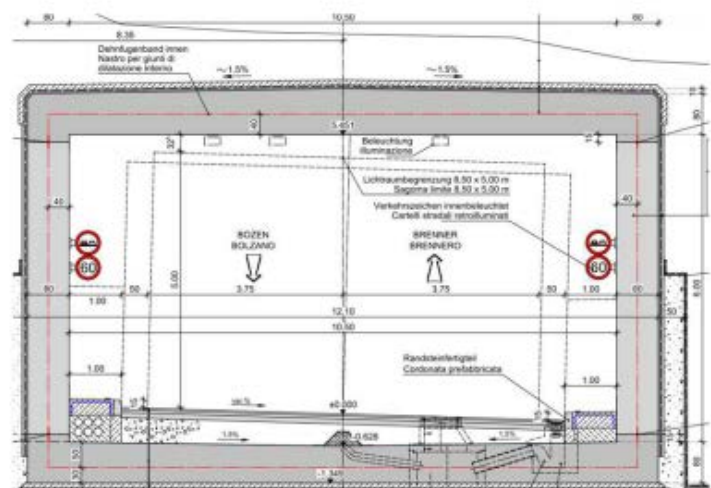
### Calcolo:

Il calcolo avviene in modo rappresentativo per la sezione K3 (sezione con minore rigidità e quindi maggiore deformazione) e vale per tutte le altre sezioni.

### Erdbebenbemessung

Bauwerksabmessungen Typ K3

H = 7,60 m  
B = 12,10 m



### Eingabewerte

#### Erdbebenparameter

(PGA) Peak ground acceleration  
(PGV) Peak ground Velocity  
Scherwellengeschwindigkeit  
Bodenklasse

As = 0,108 g  
Vs = 0,108 m/s  
Cs = 270 m/s  
C

ag = 0,06 g

#### Bodenkennwerte

Steifemodul Boden	$E_m =$	50 MN/m <sup>2</sup>
Poisson's Zahl Boden	$\nu_m =$	0,25 -
Bodenwichte	$\rho_m =$	2200 kg/m <sup>3</sup>

#### Bauwerkskennwerte

E-Modul Beton	$E_c =$	33000 MN/m <sup>2</sup>
Poisson Zahl Beton	$\nu_c =$	0,2 -
Mittlere Dicke der Wände	$t_w =$	0,8 m
Dicke der Bodenplatte	$t_b =$	0,8 m
Dicke der Sohlplatte	$t_i =$	0,8 m
Trägheitsmoment Wände	$I_w =$	0,0427 m <sup>4</sup> /m
Trägheitsmoment Bodenplatte	$I_b =$	0,0427 m <sup>4</sup> /m
Trägheitsmoment Sohlplatte	$I_i =$	0,0427 m <sup>4</sup> /m

Verhältniss Steifigkeit  
Boden und Bauwerk  $s = \frac{G}{24} \left( \frac{H^2 B}{EI_w} + \frac{B^2 H}{EI_R} \right) = 0,6806 < 1$

#### Ergebnisse

Verformung des Bodens  
max. Freifeld Schubverzerrung  $\gamma_{max} = \frac{V_{s,0}}{C_s} = 0,0004 -$

Schubmodul Boden  $G_m = 20 \text{ MN/m}^2$

horizontale Freifeld  
Bodenverzerrung  $\Delta_H = \gamma_{max} \cdot H = 3,0 \text{ mm}$

Verhältnis:

Verformung Tunnel /  
Freifeldverformung  $R = \frac{\Delta_{Tunnel}}{\Delta_{ff}} = \frac{4(1-\nu)}{1 + k_t \frac{(3-4\nu)}{k_s}} = 0,16770186$   
 $k_s = \frac{G_m}{H} = 2,6315789$

max. Verformung Tunnel  $\Delta_{diff} = R \cdot \Delta_{ff} = 0,5 \text{ mm}$

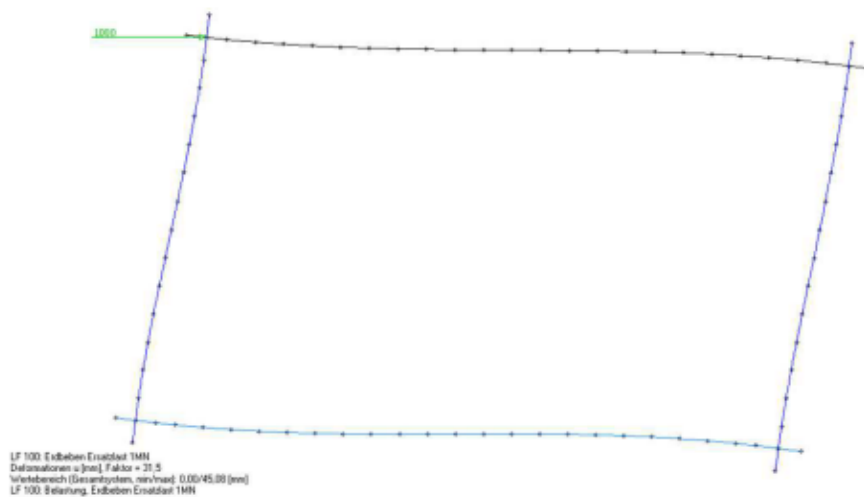
Der Wert  $\Delta_{diff}$  wird für oberflächennahe Tunnel mit einem Faktor  $f_{inc} = 1,2$  erhöht

max. Verformung oberflächennaher Tunnel  $0,6 \text{ mm}$

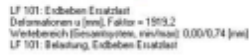
#### Zwangsschnittgrößen / Ersatzlast

Verformung unter Einheitslast 1MN  $D = 0,045 \text{ m}$

$kt = 1/D = 22,222222$



Es wird eine dreiecksförmige Ersatzlast berücksichtigt, die die gleicher Verformung erzeugt



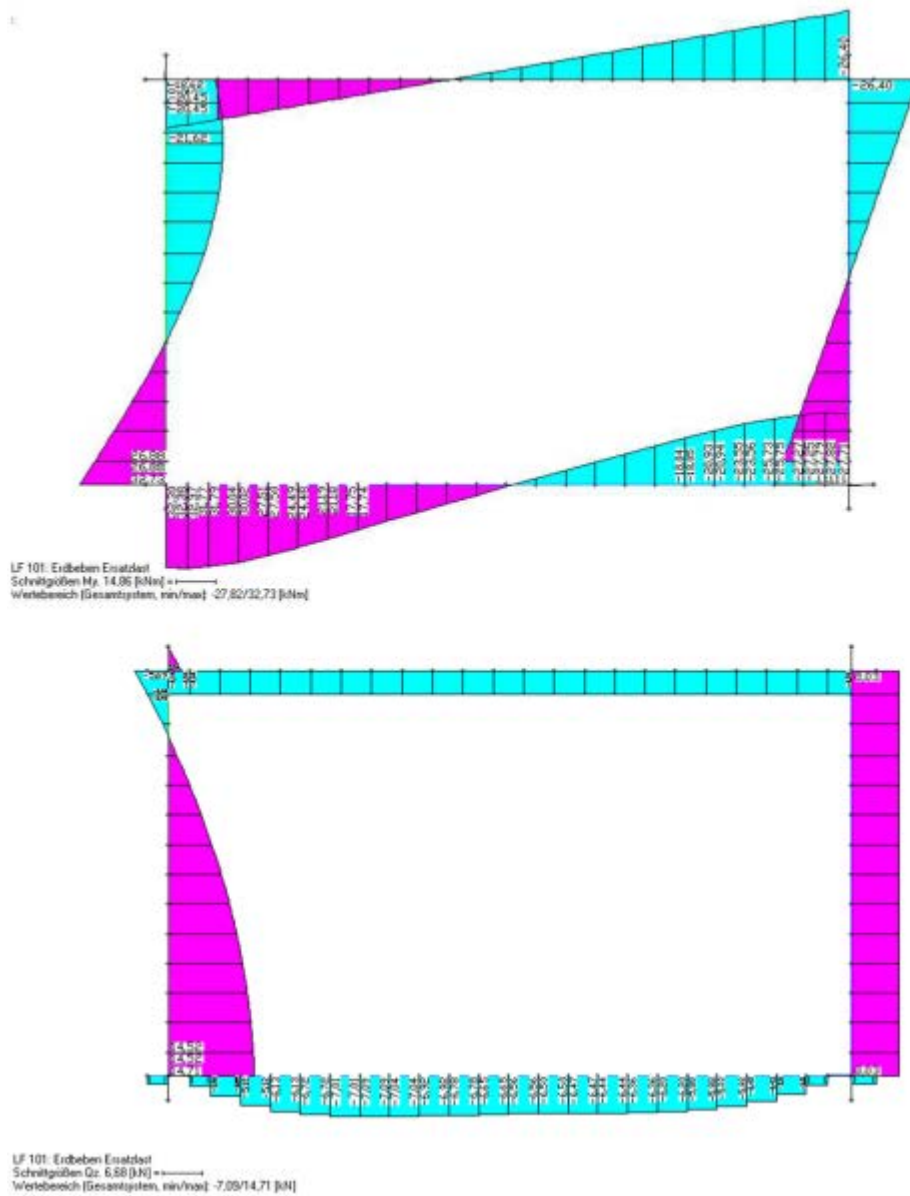
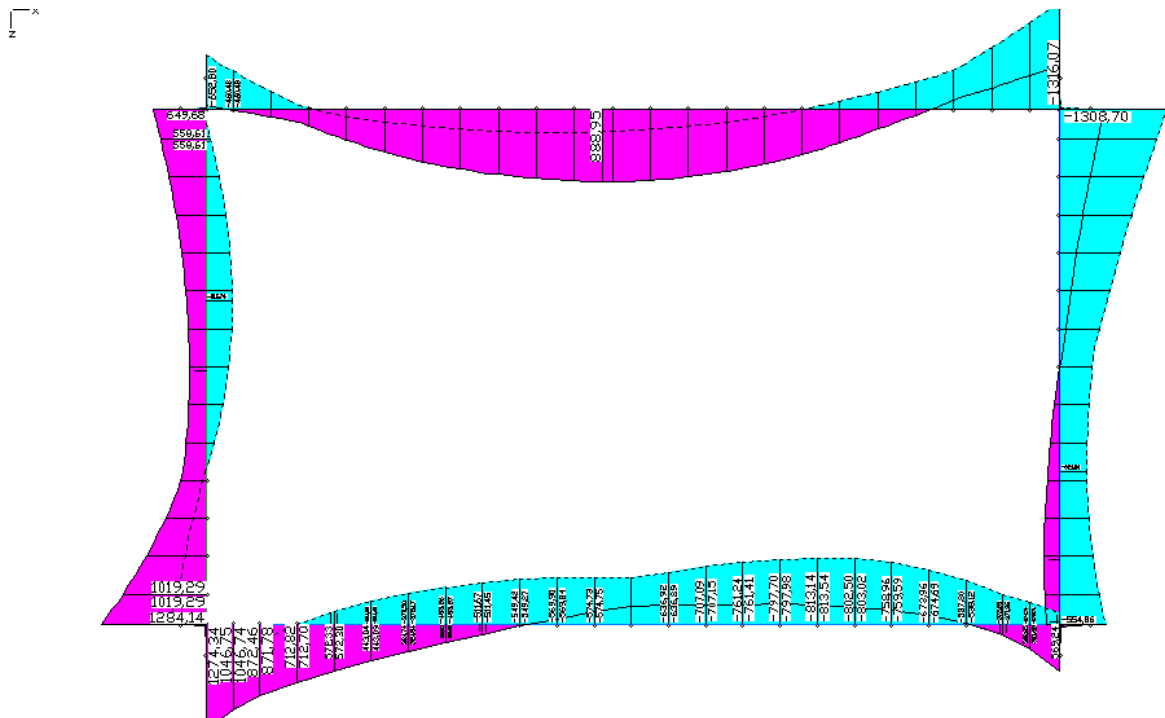


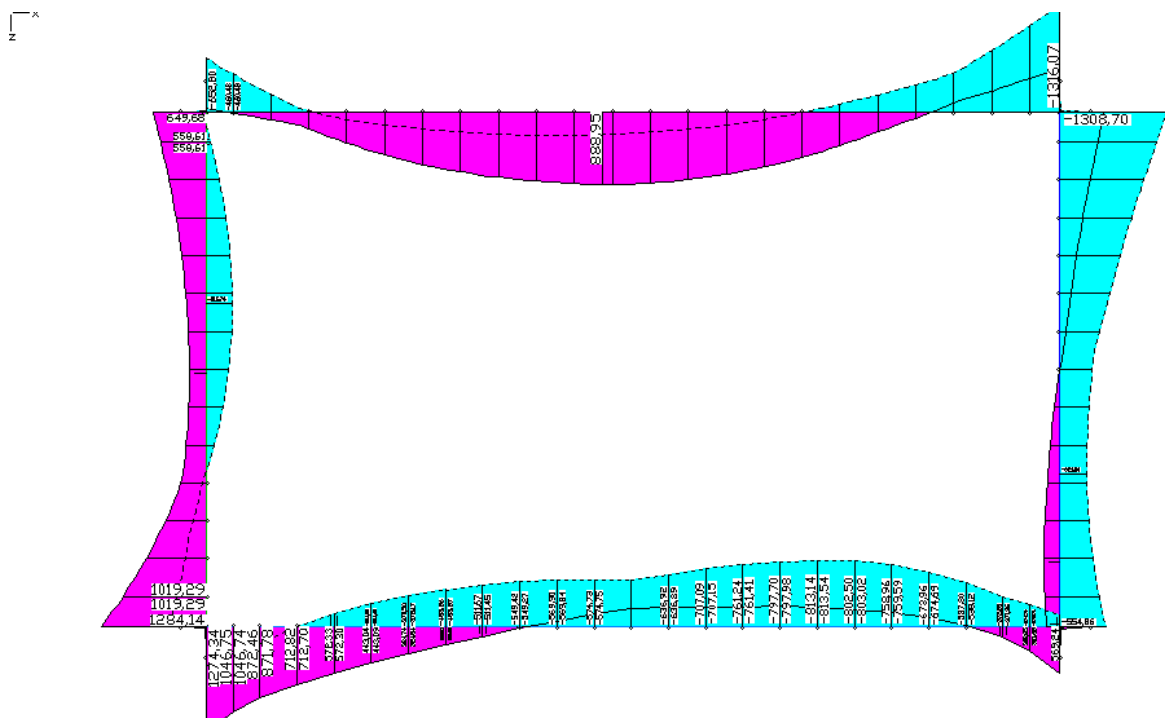
Figura 7 Determinazione azioni interne da sisma

### Confronto

Momenti massimi di calcolo per la combinazione di carico fondamentale



LFK DIN1992.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1  
Schnittgrößen min,max My: 597,44 [kNm] =+-----  
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -1316,07/1284,14 [kNm]



LFK DIN1992.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1  
Schnittgrößen min,max My: 597,44 [kNm] =+-----  
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -1316,07/1284,14 [kNm]

Figura 8 Momenti flettenti My;S/V combinazione fondamentale

### Confronto: Momento angolo superiore destro

Momento da sisma:

$My^{max} = 26,4 \text{ kNm}$

Momento di calcolo combinazione fondamentale:

$My,d = 1308,7 \text{ kNm}$

Il contributo del momento da sisma sul momento di dimensionamento è quindi di ca. 2%. La combinazione sismica viene combinata con un coefficiente parziale di  $\gamma_f = 1,0$ , mentre la combinazione fondamentale considera i coefficienti parziali  $\gamma_f = 1,35$  ovvero 1,50.

➔ **Il dimensionamento con la combinazione fondamentale è esauriente anche per le azioni interne da sisma. Una verifica separata con la combinazione sismica non è necessaria.**

## 5.10 Incendio

L'azione di carico incendio non viene applicata. Sono previste apposite misure di costruzione.

## 5.11 Altri carichi

Altri carichi come p.e. ritiro, scorrimento, urto e manutenzione non vanno considerate, viste le ipotesi conservative fatte per gli altri carichi. Inoltre queste spesso si escludono con gli altri carichi.

# 6 MATERIALI DI COSTRUZIONE

## 6.1 Calcestruzzo

Calcestruzzo in elevazione C30/37 XC3/XD1/XF2/XA1

Calcestruzzo soletta di copertura: C30/37 XC3/XD1/XF2/XA1

Calcestruzzo platea C30/37 XC2

Avviso: Le resistenze minime del calcestruzzo sono dovuti allo stato limite di esercizio e le conseguenti classi d'esposizione, che sono state definite per il progetto. Possono quindi essere superiori alle resistenze staticamente necessarie.

Si utilizza un calcestruzzo a basso calore d'idratazione con cementi che induriscono lentamente. La tecnologia di getto è da adattare ai requisiti della limitazione della fessurazione.

## 6.2 Acciaio d'armatura

B 450C

$f_{y \text{ nom}}$	450 N/mm <sup>2</sup>
$f_{t \text{ nom}}$	540 N/mm <sup>2</sup>

$$f_{y,nom} = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,nom} = 540 \text{ N/mm}^2$$

## 7 DIMENSIONAMENTO

### 7.1 Generalità

Il dimensionamento avviene secondo EC 2.

Die Sicherheiten bei der Einwirkung sind:

Carichi permanenti 1,35

Carichi mobili 1,50

I fattori di sicurezza dei materiali impiegati sono:

Calcestruzzo 1,50

Acciaio per c.a 1,15

### 7.2 Sezioni di calcolo

#### 7.2.1 Tipo K1

La sezione tipo K1 vale nelle zone a nord e a sud dei conci/blocchi con il metodo "cut and cover". Queste sono zone della galleria nella quale la galleria passa molto vicino all'autostrada e il rilevato viene ad essere posizionato in gran parte sulla soletta della galleria ovvero dove c'è un muro di sostegno a fianco dell'autostrada.



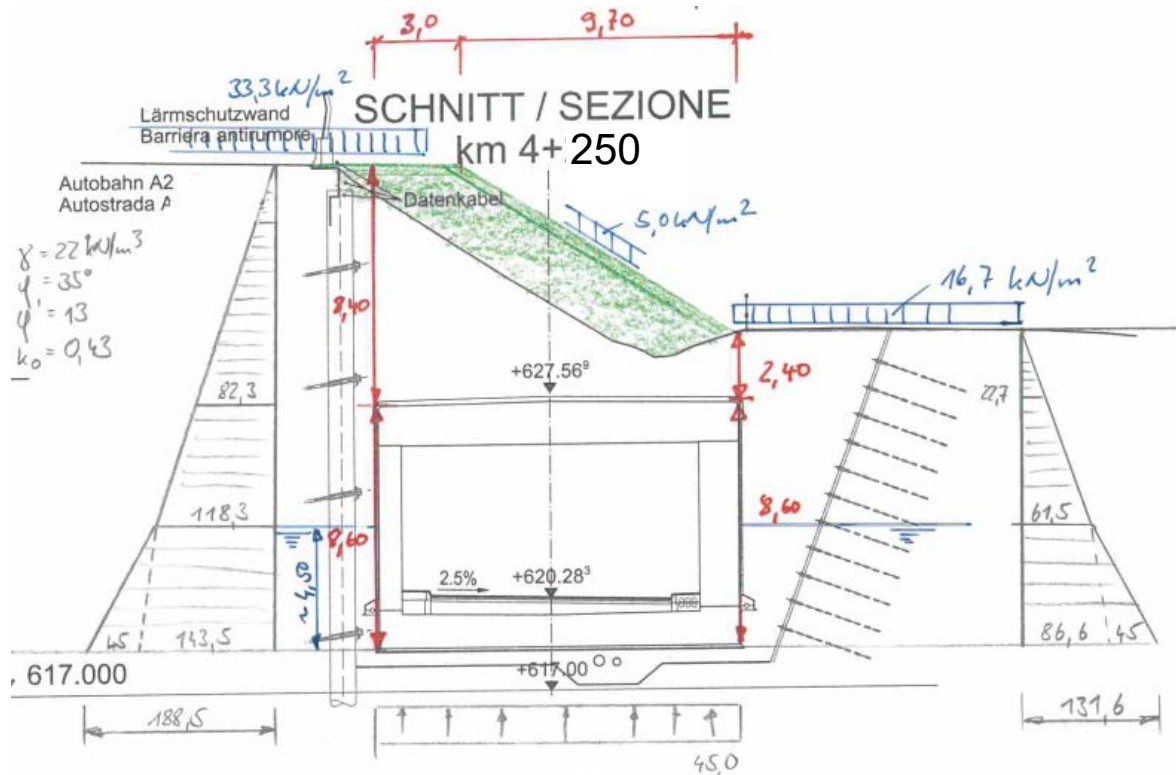
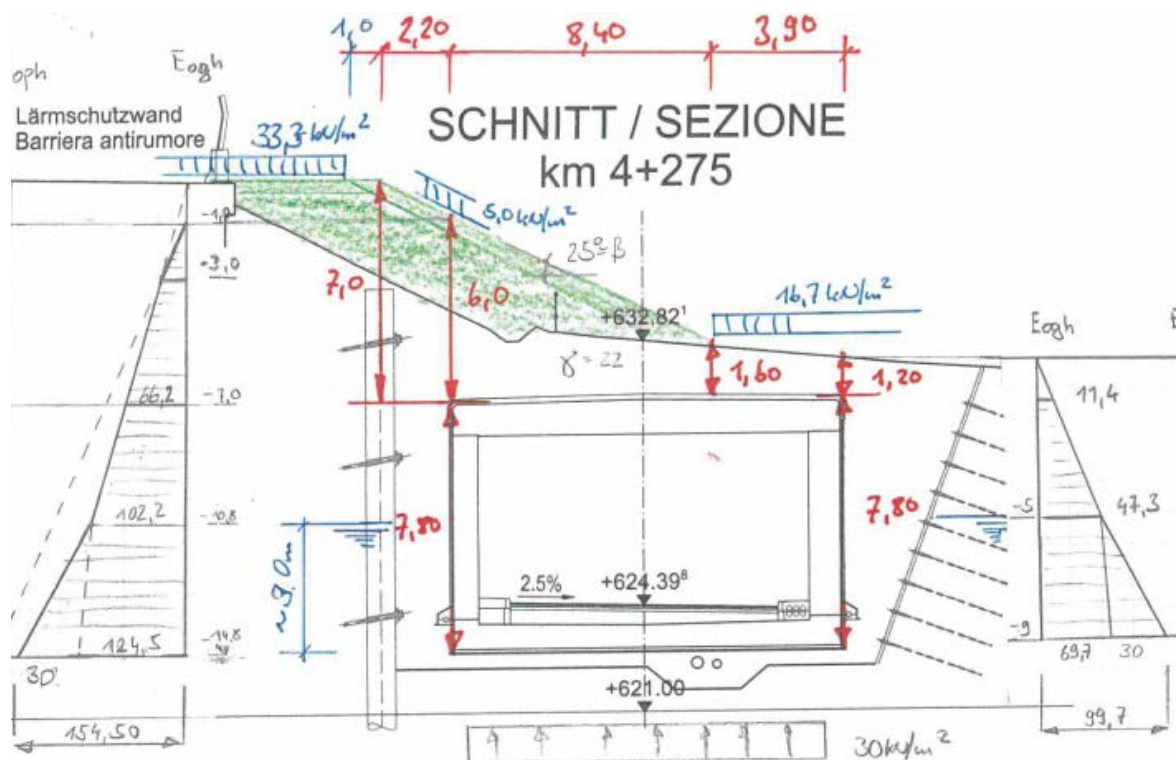


Figura 9 schema: sistema e carico tipo K1

## 7.2.2 Tipo K2

Questi sono i tratti di galleria, sulle solette dei quali in parte grava la scarpata autostradale.



### 7.2.3 Tipo K3

Nei conci adiacenti agli imbocchi le pareti verranno dotati di un rivestimento con pannelli fonoassorbenti. In questi casi lo spessore del muro è pari a 0,70 m (K3a). Negli altri blocchi/conci le pareti hanno uno spessore di 0,80 m (K3b).

Le sezioni K3 riguardano i conci/blocchi vicino agli imbocchi, dove la galleria inizia ad allontanarsi sempre di più dall'autostrada e dove il piede della scarpata autostradale appoggia ancora sul lato ovest della soletta.

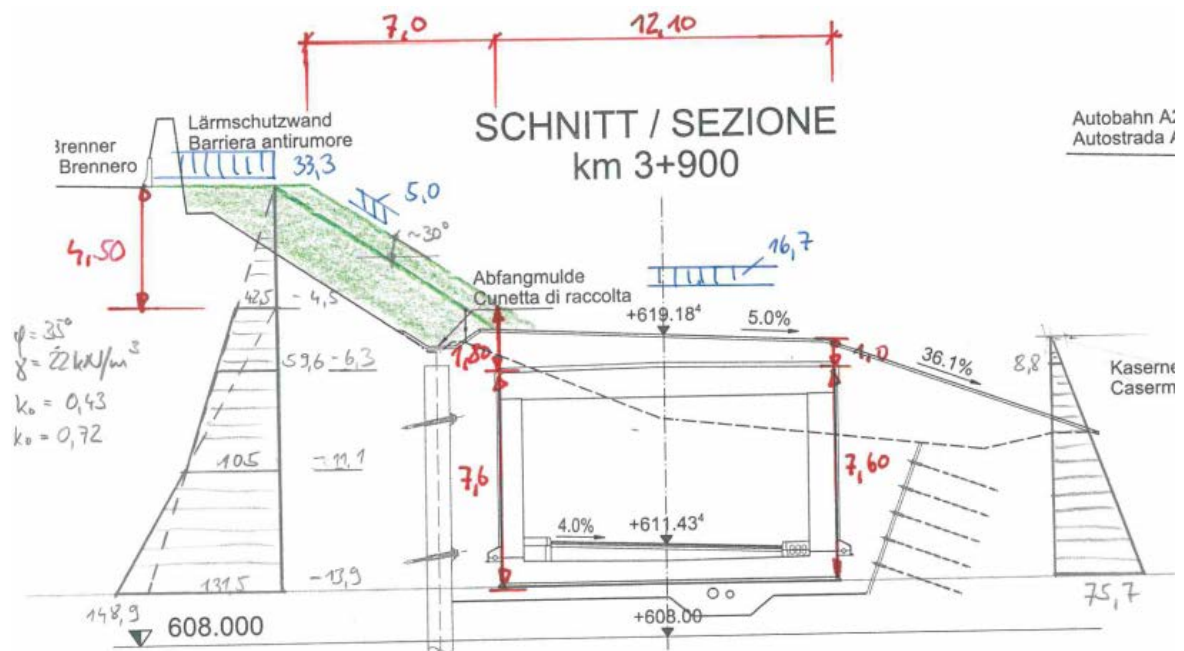


Figura 11 schema: sistema e carico tipo K3

### 7.3 Armatura per lo stato limite di fessurazione e armatura minima

La verifica allo stato limite di fessurazione viene condotta per un'apertura delle fessure ammissibile di  $w_2 = 0,3\text{mm}$  per la combinazione quasi permanente.

#### 4.1.2.2.4.5 Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella Tab. 4.1.IV sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

**Tabella 4.1.IV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione**

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
<b>a</b>	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
<b>b</b>	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
<b>c</b>	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

$w_1, w_2, w_3$  sono definiti al § 4.1.2.2.4.1, il valore di calcolo  $w_d$ , è definito al § 4.1.2.2.4.6.

Figura 12: NTC 02-2008 – cap 04; tabella 4.1.IV

Inoltre si prevede l'armatura per azioni interne imposte dovute al calore d'idratazione per elementi confinati. Questi elementi sono le pareti esterne della galleria delimitate in direzione longitudinale dalla platea di fondazione e la soletta di copertura delimitata dalle pareti. La platea di fondazione posa su uno strato con spessore di ca. 50 cm di ghiaia con geotessile, per cui le reazioni vincolari saranno trascurabili.

spessore elemento	cls	as [cm <sup>2</sup> /m] per lato	zona
D=70 cm	C25/30	13,0 cm <sup>2</sup> /m longit.	min. 2,0m sopra giunto ripresa
D=80 cm	C25/30	14,9 cm <sup>2</sup> /m longit.	min. 2,0m sopra giunto ripresa
D=100 cm	C25/30	18,5 cm <sup>2</sup> /m longit.	min. 2,0m sopra giunto ripresa
D=120 cm	C25/30	20,2 cm <sup>2</sup> /m longit.	min. 2,0m sopra giunto ripresa
D=140 cm	C25/30	21,9 cm <sup>2</sup> /m longit.	min. 2,0m sopra giunto ripresa

Si prevede una rete elettrosaldata  $< 150/150$ mm. L'armatura minima non è mai inferiore a  $\varnothing 14/15$ . L'armatura longitudinale deve essere disposta sia sopra (esterno) che sotto (interno) in prima maglia.

## 7.4 Dimensionamento a flessione

Il dimensionamento delle sezioni in c.a. viene eseguito per le combinazioni di carico determinanti con il programma di calcolo Infograph. Vedi i risultati stampati in allegato.

## 7.5 Armatura a taglio

L'armatura a taglio deve essere disposta secondo i risultati del calcolo statico in quelle sezioni, le quali non soddisfano la verifica a taglio.

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0,12 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + 0,12 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,ct} = \text{Max} ( V_{Rd,ct} ; V_{Rd,ct,min} )$$

Tipo K1:

spessore elemento	elemento	cls	As presente Armatura flessione	N <sub>ED</sub> ; S/V- combinazione [kN]	V <sub>Rd,ct</sub> [kN]
D=80 cm	parete	C25/30	55 cm <sup>2</sup> /m	1650 kN	472 kN
D=140 cm	parete	C25/30	45 cm <sup>2</sup> /m	1550 kN	550 kN
D=120 cm	platea	C25/30	45 cm <sup>2</sup> /m	550 kN	405 kN
D=140 cm	soletta	C25/30	55 cm <sup>2</sup> /m	550 kN	462 kN

Tipo K2:

spessore elemento	elemento	cls	As presente Armatura flessione	N <sub>ED</sub> ; S/V- combinazione [kN]	V <sub>Rd,ct</sub> [kN]
D=80 cm	parete	C25/30	35 cm <sup>2</sup> /m	950 kN	355 kN
D=100 cm	parete	C25/30	35 cm <sup>2</sup> /m	850 kN	315 kN
D=80 cm	platea	C25/30	35 cm <sup>2</sup> /m	400 kN	317 kN
D=100 cm	soletta	C25/30	30 cm <sup>2</sup> /m	400 kN	317 kN

Typ K3:

spessore elemento	elemento	cls	As presente Armatura flessione	N <sub>ED</sub> ; S/V- combinazione [kN]	V <sub>Rd,ct</sub> [kN]
D=70 cm	parete	C25/30	35 cm <sup>2</sup> /m	600 kN	300 kN

D=80 cm	parete	C25/30	45 cm <sup>2</sup> /m	<b>700 kN</b>	<b>350 kN</b>
D=80 cm	platea	C25/30	50 cm <sup>2</sup> /m	<b>350 kN</b>	<b>322 kN</b>
D=80 cm	soletta	C25/30	45 cm <sup>2</sup> /m	<b>350 kN</b>	<b>312 kN</b>

## 7.6 Verifica della stabilità

Di seguito il riassunto delle reazioni di appoggio della platea di fondazione dal calcolo del sistema globale:

tipo	min $\sigma_z$ [kN/m <sup>2</sup> ]	max $\sigma_z$ [kN/m <sup>2</sup> ]	max $\sigma_x$ [kN/m <sup>2</sup> ]
K1	162	460	51
K2	80	400	44
K3	95	410	43

Le reazioni di appoggio possono essere assorbite dal sottofondo senza ulteriore verifica.

### Verifica per sollevamento:

Verifica di sollevamento con  $\gamma_{Q;dst} = 1,50$  e  $\gamma_{G;stb}=0,90$  per una fascia di 1,0m rispettivamente le sezioni tipo di dimensionamento:

Auftriebssicherheit								
Typ	k. GW ü Sc	Breite	A = V <sub>dst</sub>	G0	G1 min	G <sub>stb</sub>	V <sub>dst,d</sub> / G <sub>stb,d</sub>	Nachweis
	[m]		[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
K1	4,5	12,7	571,5	1298,0	279,4	1577,4	0,49	OK
K2	3,0	12,3	369,0	904,0	270,6	1174,6	0,42	OK
K3	0,5	12,1	60,5	768,0	266,2	1034,2	0,08	OK

## 8 INDICAZIONI ESECUTIVE

### 8.1 Acqua di falda

La sezione della galleria tra il km 4,000 e il km 4,310 è da considerare posta per metà a livello della falda (acqua di pendio). Per evitare che la galleria provochi un accumulo dell'acqua d'infiltrazione da ovest, sotto la platea in cls e lateralmente, sulle pareti,

vengono realizzate strisce di drenaggio. La permeabilità permanente di suddette strisce deve essere garantita.

In corso d'opera, il livello della falda deve essere abbassato quanto necessario ad evitare il pericolo di rottura per spinta idrostatica (da 4 a 6 m circa sotto il fondo dello scavo).

## 8.2 Impermeabilizzazione

Pareti e soletta di copertura vengono resi impermeabili a mezzo di un tipo di impermeabilizzazione "ad ombrello". Particolare attenzione è da porre all'impermeabilizzazione del giunto al disopra della piastra di fondazione, nelle zone con livello di falda elevato.

La platea viene realizzata in cemento e resistente all'acqua. Le guarnizioni a tenuta di acqua (water stop) devono essere eseguite con cura, per impedire l'ingresso di acqua.

## 8.3 Rinterro a tergo

La resistenza esercitata dalla terra sul versante a valle è essenziale ai fini della capacità portante dell'opera. Il ritombamento deve essere eseguito in modo da essere, sul versante verso valle, sempre più alto rispetto al lato verso l'autostrada. Il grado di compattazione lato valle con  $EVR \geq 20 \text{ MN/m}^3$  è da sottoporre a verifica.

Nell'ambito dell'esecuzione del rinterro a tergo dell'opera, la tensione degli ancoraggi temporanei per la posa dei pali trivellati viene allentata. È necessario eseguire contemporaneamente un programma di misura, per monitorare eventuali deformazioni nel corpo autostradale.

## 8.4 Muri esistenti

Prima di avviare i lavori, occorre verificare tramite pozzetti esplorativi l'ubicazione dei muri di sostegno sul lato dell'autostrada, da accompagnare ad un programma di supervisione in situ durante i lavori.

La rispondenza di quanto posto alla base dei calcoli con i comportamenti riscontrati deve essere sottoposto a valutazione da parte dei progettisti, prima di procedere con i lavori sulle pareti di contenimento.

## **8.5      Tecnologia del cemento armato**

A fronte delle sezioni massicce di calcestruzzo, dovranno essere adottate delle adeguate tecnologie del cemento ed eseguito un corretto post-trattamento del calcestruzzo gettato in opera. Sono da utilizzare cementi a idratazione rallentata e cementi L.

## **8.6      Fasi realizzative della galleria artificiale**

Nella relazione statica ci si è basati sulle seguenti fasi realizzative:

- Scavo e consolidamento delle pareti di scavo
- Realizzazione platea di fondazione
- Realizzazione delle pareti
- Realizzazione della soletta con adeguata controfreccia
- Impermeabilizzazione
- Ritombamento simmetrico a strati

Di conseguenza il dimensionamento verrà eseguito considerando l'opera finita come sistema di un unico getto.

## **9          RISULTATI**

I risultati del dimensionamento sono riportati in allegato.

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

## INHALT

Inhalt .....	(1)
Stabwerksberechnung .....	(1)
DIN EN 1992-1-1 Bemessung .....	(8)
Liste der Kombinationen .....	(13)
LF 1: Belastung, Eigenlast .....	(13)
LF 2: Belastung, Erdauflast_max .....	(14)
LF 3: Belastung, Erdauflast_min .....	(14)
LF 4: Belastung, Verkehr auf Decke .....	(15)
LF 5: Belastung, Erddruck Links (max) .....	(15)
LF 6: Belastung, Erddruck links (min) .....	(16)
LF 7: Belastung, Erddruck rechts .....	(16)
LF 8: Belastung, Erddruck aus Verkehr links .....	(17)
LF 9: Belastung, Erddruck aus Verkehr rechts .....	(17)
LF 10: Belastung, Auftrieb Sohle .....	(18)
LF 11: Belastung, Temperatur +10K .....	(18)
LF 12: Belastung, Temperatur -10K .....	(19)
LF 13: Belastung, LM 1 links .....	(19)
LF 14: Belastung, LM1 rechts .....	(20)
Deformationen uz min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(20)
Deformationen uz max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(21)
Schnittgrößen My min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment .....	(21)
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment .....	(22)
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment .....	(22)
Schnittgrößen My min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment .....	(23)
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment .....	(23)
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment .....	(24)
Schnittgrößen My min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment .....	(24)
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment .....	(25)
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment .....	(25)
Schnittgrößen My min, max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(26)
Schnittgrößen Nx min, max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(27)
Schnittgrößen Qz min, max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(28)
Bodenpressungen Sigma.x min, max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1 ..	(29)
Bodenpressungen Sigma.z min, max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1 ..	(29)
Biegebewehrung As; Maximum DIN EN 1992-1-1 .....	(30)
Bügelbewehrung Asb.z; Tragfähigkeit DIN EN 1992-1-1 .....	(31)
Schnittgrößen Qz min, max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(32)

## Ebene Stabwerke

### Materialkennwerte

Nr.	Material-Art	E-Modul [MN/m <sup>2</sup> ]	alpha.t [1/K]	gamma [kN/m <sup>3</sup> ]	kbx [MN/m <sup>3</sup> ]	kbz [MN/m <sup>3</sup> ]	bx [m]	bz
1	C25/30-EN-D	31000	1,000e-05	25,000	0	0	1,00	1,00
2	C25/30-EN-D	31000	1,000e-05	25,000	0	0	1,00	1,00
3	C25/30-EN-D	31000	1,000e-05	25,000	0	0	1,00	1,00
4	C25/30-EN-D	31000	1,000e-05	25,000	25	50	1,00	1,00

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (1)	
Job:	I 396	M = 1:	



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

### Kriech- und Schwindbeiwerte

Material	phi.t	rho	epsilon.s
1	0,000	0,800	0,00E-05
2	0,000	0,800	0,00E-05
3	0,000	0,800	0,00E-05
4	0,000	0,800	0,00E-05

### Querschnittswerte

Nr.	1 Polygon
	A = 1,400e+00 [m²], Iy = 2,287e-01 [m4]
Nr.	2 Polygon
	A = 8,000e-01 [m²], Iy = 4,267e-02 [m4]
Nr.	3 Polygon
	A = 1,400e+00 [m²], Iy = 2,287e-01 [m4]
Nr.	4 Polygon
	A = 1,200e+00 [m²], Iy = 1,440e-01 [m4]

### Systemkenngrößen

Knoten	83
Elemente	83
Unbekannte	249
Bandbreite	0
Steifigkeitsmatrix	9,7 KB
Massenmatrix	9,7 KB

### Lastfall-Übersicht

Lf-Nr.	Bezeichnung
1	Eigenlast
2	Erdauflast_max
3	Erdauflast min
4	Verkehr auf Decke
5	Erddruck Links (max)
6	Erddruck links (min)
7	Erddruck rechts
8	Erddruck aus Verkehr links
9	Erddruck aus Verkehr rechts
10	Auftrieb Sohle
11	Temperatur +10K
12	Temperatur -10K
13	LM 1 links
14	LM1 rechts

### Lastdaten Lastfall 1 (Eigenlast)

EG : Eigengewicht für alle Stäbe

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (2)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 1

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	1298,50
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-0,00	0,00	1298,50
Summe :	0,00	0,00	0,00

### Lastdaten Lastfall 2 (Erdaufblast\_max)

LG : Linienlast (global)

Stab	px	pz
von bis	[kN/m]	
1 3	0,00	184,80
21 23	0,00	184,80

TGX : Trapezlast (global) Lastgeometrie über x-Koordinate

Stab	Abstand von	Lastlänge	px.a	px.e	pz.a	pz.e
von bis	Stabanfang [m]	[m]	[kN/m]			
5 5	0,00	0,70	0,00	0,00	62,11	52,80
40 40	0,00	0,50	0,00	0,00	78,08	71,42
39 39	0,00	0,50	0,00	0,00	84,73	78,08
38 38	0,00	0,50	0,00	0,00	91,38	84,73
37 37	0,00	0,50	0,00	0,00	98,03	91,38
36 36	0,00	0,50	0,00	0,00	104,68	98,03
34 34	0,00	0,50	0,00	0,00	117,98	111,33
33 33	0,00	0,50	0,00	0,00	124,64	117,98
32 32	0,00	0,50	0,00	0,00	131,29	124,64
31 31	0,00	0,50	0,00	0,00	137,94	131,29
29 29	0,00	0,50	0,00	0,00	151,24	144,59
28 28	0,00	0,50	0,00	0,00	157,89	151,24
27 27	0,00	0,50	0,00	0,00	164,55	157,89
26 26	0,00	0,50	0,00	0,00	171,20	164,55
25 25	0,00	0,50	0,00	0,00	177,85	171,20
4 4	0,00	0,70	0,00	0,00	71,42	62,11
35 35	0,00	0,50	0,00	0,00	111,33	104,68
30 30	0,00	0,50	0,00	0,00	144,59	137,94
24 24	-0,00	0,50	0,00	0,00	184,50	177,85

### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 2

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	1692,07
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	1692,07
Summe :	-0,00	0,00	0,00

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (3)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

#### Lastdaten Lastfall 3 (Erdauflast min)

LG : Linienlast (global)  
 Stab                      px                      pz  
 von      bis                      [kN/m]  
           1            5            0,00       22,00  
           21          40           0,00       22,00

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 3

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	279,40
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	279,40
Summe :	-0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 4 (Verkehr auf Decke)

LG : Linienlast (global)  
 Stab                      px                      pz  
 von      bis                      [kN/m]  
           1            3            0,00       33,00  
           21          22           0,00       33,00  
           4            5            0,00       5,00  
           23          40           0,00       5,00

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 4

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	127,90
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	127,90
Summe :	-0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 5 (Erddruck Links (max))

TGZ : Trapezlast (global) Lastgeometrie über z-Koordinate

Stab	Abstand von	Lastlänge	px.a	px.e	pz.a	pz.e
von      bis	Stabanfang [m]	[m]			[kN/m]	
10      10	0,00	0,60	178,47	188,50	0,00	0,00
70      70	0,00	0,50	160,09	168,44	0,00	0,00
69      69	0,00	0,50	151,73	160,09	0,00	0,00
68      68	0,00	0,50	143,37	151,73	0,00	0,00
66      66	0,00	0,50	126,66	135,01	0,00	0,00
65      65	-0,00	0,50	118,30	126,66	0,00	0,00
9       9	0,00	0,60	168,44	178,47	0,00	0,00
67      67	0,00	0,50	135,01	143,37	0,00	0,00
63      63	0,00	0,50	110,12	114,21	0,00	0,00
62      62	0,00	0,50	106,03	110,12	0,00	0,00

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (4)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahn	Date: 07.12.2015

#### Lastdaten Lastfall 5 (Erddruck Links (max))

TGZ : Trapezlast (global) Lastgeometrie über z-Koordinate

Stab von	bis	Abstand von Stabanfang [m]	Lastlänge [m]	px.a	px.e	pz.a	pz.e
						[kN/m]	
61	61	0,00	0,50	101,94	106,03	0,00	0,00
7	7	0,00	0,70	88,03	93,75	0,00	0,00
8	8	0,00	0,50	93,75	97,85	0,00	0,00
60	60	0,00	0,50	97,85	101,94	0,00	0,00
6	6	-0,00	0,70	82,30	88,03	0,00	0,00
64	64	0,00	0,50	114,21	118,30	0,00	0,00

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 5

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	1085,60	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	1085,60	0,00	-0,00
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 6 (Erddruck links (min))

SUP : Superposition von Ergebnissen

Lastfall 5 bis 5 Wichtungsfaktor 0,700

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 6

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	759,92	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	759,92	0,00	-0,00
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 7 (Erddruck rechts)

TGZ : Trapezlast (global) Lastgeometrie über z-Koordinate

Stab von	bis	Abstand von Stabanfang [m]	Lastlänge [m]	px.a	px.e	pz.a	pz.e
						[kN/m]	
15	15	0,00	0,60	-121,59	-131,60	0,00	0,00
81	81	0,00	0,50	-103,23	-111,57	0,00	0,00
80	80	0,00	0,50	-94,88	-103,23	0,00	0,00
79	79	0,00	0,50	-86,54	-94,88	0,00	0,00
77	77	0,00	0,50	-69,85	-78,19	0,00	0,00
76	76	-0,00	0,50	-61,50	-69,85	0,00	0,00
14	14	0,00	0,60	-111,57	-121,59	0,00	0,00
78	78	0,00	0,50	-78,19	-86,54	0,00	0,00
74	74	0,00	0,50	-52,68	-57,09	0,00	0,00
73	73	0,00	0,50	-48,27	-52,68	0,00	0,00
72	72	0,00	0,50	-43,86	-48,27	0,00	0,00

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (5)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahn	Date: 07.12.2015

#### Lastdaten Lastfall 7 (Erddruck rechts)

TGZ : Trapezlast (global) Lastgeometrie über z-Koordinate

Stab	Abstand von	Lastlänge	px.a	px.e	pz.a	pz.e
von	bis	Stabanfang [m]	[m]		[kN/m]	
13	13	0,00	0,50	-35,05	-39,45	0,00
12	12	0,00	0,70	-28,87	-35,05	0,00
71	71	0,00	0,50	-39,45	-43,86	0,00
11	11	-0,00	0,70	-22,70	-28,87	0,00
75	75	0,00	0,50	-57,09	-61,50	0,00

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 7

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	-590,75	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-590,75	0,00	0,00
Summe :	0,00	0,00	-0,00

#### Lastdaten Lastfall 8 (Erddruck aus Verkehr links)

LG : Linienlast (global)

Stab	px	pz
von	bis	[kN/m]
6	10	14,30
60	70	14,30

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 8

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	122,98	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	122,98	0,00	0,00
Summe :	0,00	0,00	-0,00

#### Lastdaten Lastfall 9 (Erddruck aus Verkehr rechts)

LG : Linienlast (global)

Stab	px	pz
von	bis	[kN/m]
11	15	-7,30
71	81	-7,30

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 9

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	-62,78	0,00	0,00

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (6)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 9

	Rx [kN]	Ry	Rz
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-62,78	0,00	-0,00
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 10 (Auftrieb Sohle)

LG : Linienlast (global)			
Stab	px	pz	
von bis	[kN/m]		
16 20	0,00	-45,00	
41 59	0,00	-45,00	
82 83	0,00	-45,00	

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 10

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	-571,50
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	-571,50
Summe :	-0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 11 (Temperatur +10K)

TEMP: Temperatur			
Stab	tm	tu-to	
von bis	[K]		
1 83	10,00	0,00	

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 11

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	0,00
Summe :	-0,00	0,00	-0,00

#### Lastdaten Lastfall 12 (Temperatur -10K)

TEMP: Temperatur			
Stab	tm	tu-to	
von bis	[K]		
1 83	-10,00	0,00	

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (7)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 12

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-0,00	0,00	-0,00
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 13 (LM 1 links)

LG : Linienlast (global)			
Stab	px	pz	
von bis	[kN/m]		
16 17	0,00	57,70	
19 19	0,00	57,70	
41 49	0,00	57,70	

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 13

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	326,01
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	326,01
Summe :	-0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 14 (LM1 rechts)

LG : Linienlast (global)			
Stab	px	pz	
von bis	[kN/m]		
18 18	0,00	57,70	
20 20	0,00	57,70	
50 59	0,00	57,70	

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 14

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	343,32
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-0,00	0,00	343,32
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Bemessung nach DIN EN 1992-1-1:2011 mit NA:2013-04

Die Nachweise gelten für Bauwerke aus Stahlbeton und Spannbeton mit und ohne Verbund. Die Einwirkungen werden nach DIN EN 1990, Gl. (6.10), mit den

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (8)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten gemäß NA:2012 kombiniert.

**Alle Nachweise erfolgen für die Extremwerte der Einwirkungen.**

### Bemessungsvorgaben

Qu.	Expos. klasse	Vorspannung des Bauteils	Bewehrung M R B Q T	Ermüd. S P C	Riss- br.	De- komp.	Spannungen Druck S P
1	XC3	Nicht vorgesp.	x . x x .	. . . .	.	.	. . .
2	XC4	Nicht vorgesp.	x . x x .	. . . .	.	.	. . .
3	XC4	Nicht vorgesp.	x . x x .	. . . .	.	.	. . .
4	XC1	Nicht vorgesp.	x . x x .	. . . .	.	.	. . .

- (M) Mindestbewehrung zur Sicherstellung der Robustheit.  
(R) Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite.  
(B) Längsbewehrung aus Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.  
(Q) (Mindest-)Querkraftbewehrung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.  
(T) Torsionsbewehrung aus Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.  
(S) Betonstahl im Spannungs- und Ermüdungsnachweis.  
(P) Spannstahl im Spannungs- und Ermüdungsnachweis.  
(C) Beton im Ermüdungsnachweis.

### Vorgaben für den Nachweis der Längs- und Schubbewehrung

- M,N Bemessungsmodus für Biegung und Längskraft:  
(ST) Standard, (SY) Symmetrisch, (DG) Druckglied.  
fyk Stahlgüte der Bügel.  
Theta Neigung der Betondruckstreben. Der eingegebene Wert für cot Theta wird programmseitig auf den Wertebereich nach Gl. (NA.6.7a) begrenzt.  
Pl. Balken werden wie Platten bemessen.  
Asl Vorh. Biegezugbewehrung nach Bild 6.3, autom. Erhöhung bis Maximum.  
rho\_w Faktor für Mindestbewehrungsgrad rho\_w,min nach Gl. (9.5a/bDE).  
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. max	Fak. rho_w	Nw. x,y	cvl [mm]	Red. Vor- spg.
1	C25/30-EN-D	.	ST	450	1,00	.	0,00	.	1,00	80	.
2	C25/30-EN-D	.	ST	450	1,00	.	0,00	.	1,00	80	.
3	C25/30-EN-D	.	ST	450	1,00	.	0,00	.	1,00	80	.
4	C25/30-EN-D	.	ST	450	1,00	.	0,00	.	1,00	80	.

### Schubquerschnitte

kb, kd Faktor zur Berechnung des inneren Hebelarms z aus der Nutzbreite bn bzw. der Nutzhöhe d.

Qu.	Breite [m] bw	Nutzbreite bn [m]	kb	Höhe [m] h	Nutzhöhe d [m]	Torsionsquerschn. [m] kd	z1	z2	tef	K.
1	1,000	.	.	.	1,320	0,90	.	.	.	.
2	1,000	.	.	.	0,720	0,90	.	.	.	.
3	1,000	.	.	.	1,320	0,90	.	.	.	.
4	1,000	.	.	.	1,120	0,90	.	.	.	.

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (9)	
Job:	I 396	M = 1:	



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

### Spannungsberechnung für Stäbe

Beim Nachweis der Robustheitsbewehrung erfolgt die Spannungsberechnung am Bruttoquerschnitt.

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe im Grenzzustand der Tragfähigkeit

	Beton (gamma.c)	Betonstahl (gamma.s)	Spannstahl (gamma.s)
Ständige und vorübergehende Komb., Erdbeben	1,50	1,15	1,15
Außergewöhnliche Kombination	1,30	1,00	1,00
Nachweis gegen Ermüdung	1,50	1,15	1,15

### Querschnittsgeometrie und Betonstahl für Stäbe

Qu.	Pkt.	Beton		Betonstahl		y [m]	z [m]	d1 [m]	As [cm²]
		y [m]	z [m]	Es, fyk [MN/m²]					
1	1	0,000	0,000	200000	450	0,500	0,080	0,080	0,00
	2	1,000	0,000	200000	450	0,500	1,320	0,080	0,00
	3	1,000	1,400						
	4	0,000	1,400						
2	1	0,000	0,000	200000	450	0,500	0,080	0,080	0,00
	2	1,000	0,000	200000	450	0,500	0,720	0,080	0,00
	3	1,000	0,800						
	4	0,000	0,800						
3	1	0,000	0,000	200000	450	0,500	0,080	0,080	0,00
	2	1,000	0,000	200000	450	0,500	1,320	0,080	0,00
	3	1,000	1,400						
	4	0,000	1,400						
4	1	0,000	0,000	200000	450	0,500	0,080	0,080	0,00
	2	1,000	0,000	200000	450	0,500	1,120	0,080	0,00
	3	1,000	1,200						
	4	0,000	1,200						

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (10)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm: InfoGraph GmbH, Aachen		Projekt Nr. I 396
Version: Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH		Image.No.
Project: Tunnel Vahrn		Date: 07.12.2015
<p><b>DIN EN 1992-1-1 Einwirkungen</b></p> <p><b>Standard Bemessungsgruppe</b></p> <p><b>G - Eigenlast</b></p> <p>Gamma.sup / gamma.inf = 1,35 / 1</p> <p>Lastfälle</p> <p>-----</p> <p>1      Eigenlast</p> <p><b>GE - Erddruck</b></p> <p>Gamma.sup / gamma.inf = 1,35 / 1</p> <p>Lastfälle</p> <p>-----</p> <p>K4      Erddruck überlagert</p> <p><b>QN - Nutzlast, Verkehrslast</b></p> <p>Gamma.sup / gamma.inf = 1,5 / 0</p> <p>Kombinationsbeiwerte psi für: Hochbauten</p> <p>Nutzlasten - Kategorie A: Wohngebäude</p> <p>Psi.0 / Psi.1 / Psi.2 = 0,7 / 0,5 / 0,3</p> <p>Lastfälle 1. Variante, inklusiv</p> <p>-----</p> <p>4      Verkehr auf Decke</p> <p>8      Erddruck aus Verkehr links</p> <p>9      Erddruck aus Verkehr rechts</p> <p>13     LM 1 links</p> <p>14     LM1 rechts</p> <p><b>QT - Temperatureinwirkung</b></p> <p>Gamma.sup / gamma.inf = 1,35 / 0</p> <p>Kombinationsbeiwerte psi für: Hochbauten</p> <p>Temperatureinwirkungen (ohne Brand)</p> <p>Psi.0 / Psi.1 / Psi.2 = 0,6 / 0,5 / 0</p> <p>Lastfälle 1. Variante, exklusiv</p> <p>-----</p> <p>11     Temperatur +10K</p> <p>12     Temperatur -10K</p>		
Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.
Station:	Typ K1	Page (11)
Job:	I 396	M = 1:
		Register No.

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015
<p><b>1. Ständige und vorübergehende Situation</b></p> <p>Endzustand</p> <p>G - Eigenlast  GE - Erddruck  QN - Nutzlast, Verkehrslast  QT - Temperatureinwirkung</p> <p><b>1. Seltene (charakteristische) Situation</b></p> <p>Endzustand</p> <p>G - Eigenlast  GE - Erddruck  QN - Nutzlast, Verkehrslast</p> <p><b>1. Häufige Situation</b></p> <p>Endzustand</p> <p>G - Eigenlast  GE - Erddruck  QN - Nutzlast, Verkehrslast</p> <p><b>1. Quasi-ständige Situation</b></p> <p>Endzustand</p> <p>G - Eigenlast  GE - Erddruck  QN - Nutzlast, Verkehrslast</p>		
Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.
Station:	Typ K1	Page (12)
Job:	I 396	M = 1:
		Register No.

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

## NACHWEISE FÜR STÄBE

### Nachweis der Längsbewehrung

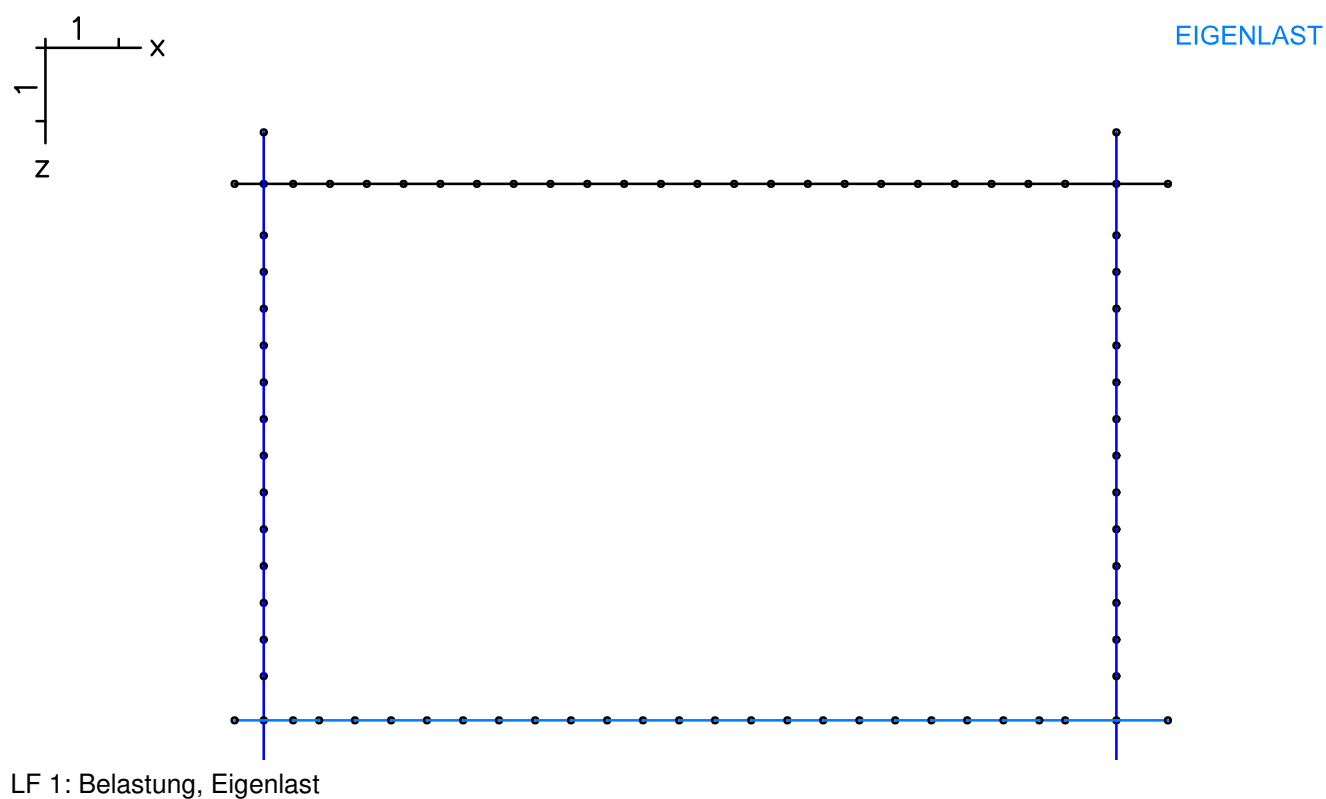
Es wurden keine Überschreitungen der zulässigen Grenzwerte festgestellt.

### Nachweis der Schubbewehrung

Es wurden keine Überschreitungen der zulässigen Grenzwerte festgestellt.

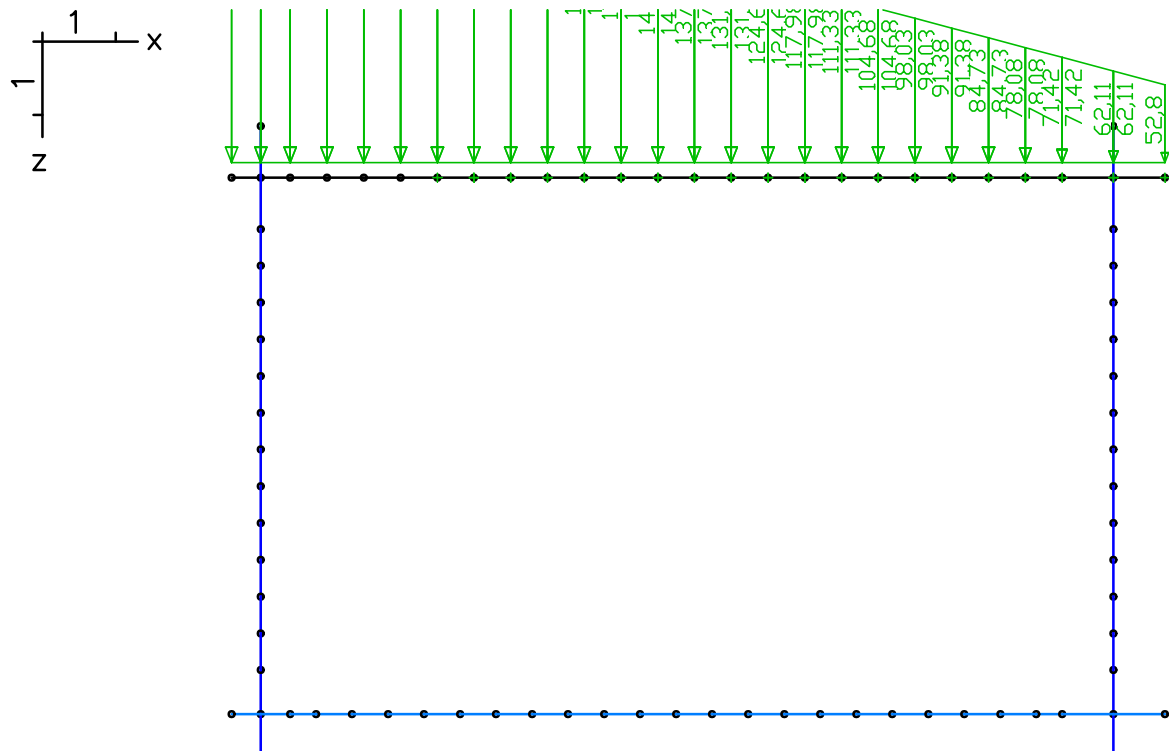
### Liste der Kombinationen

Nr.	Bezeichnung
1	Erddruck Fall 1) max Feldmoment
2	Erddruck Fall 2) max Wandmoment
3	Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment
4	Erddruck überlagert

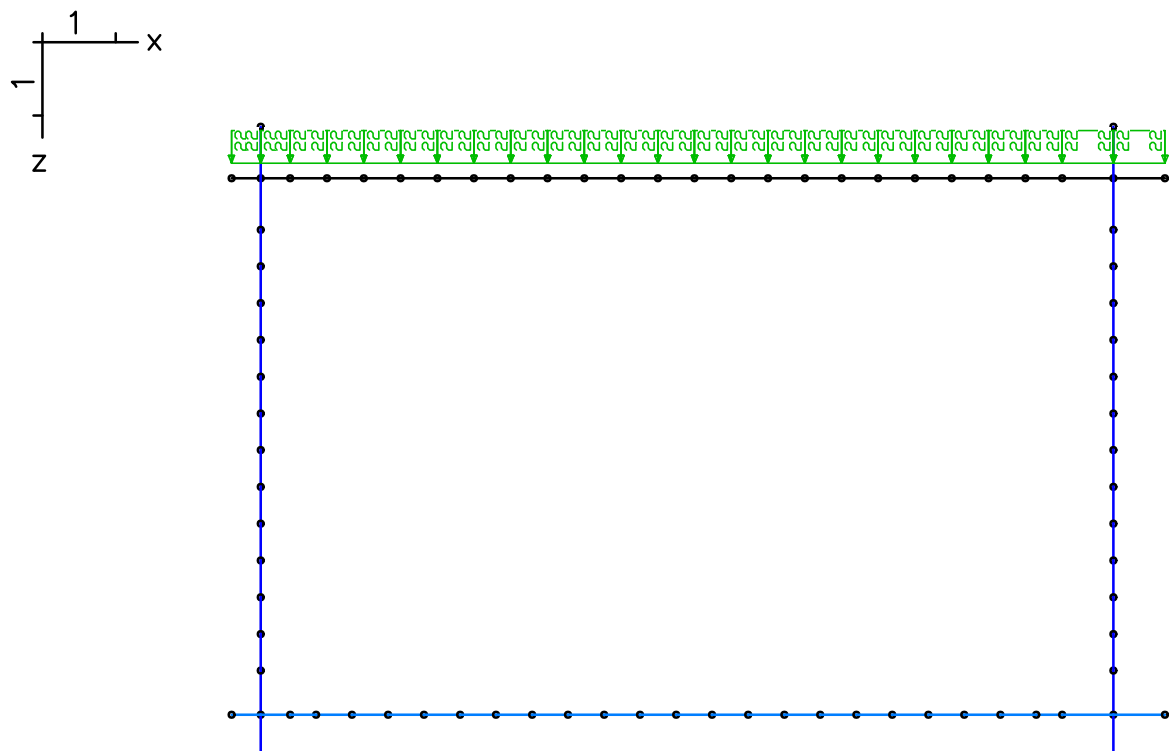


Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (13)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



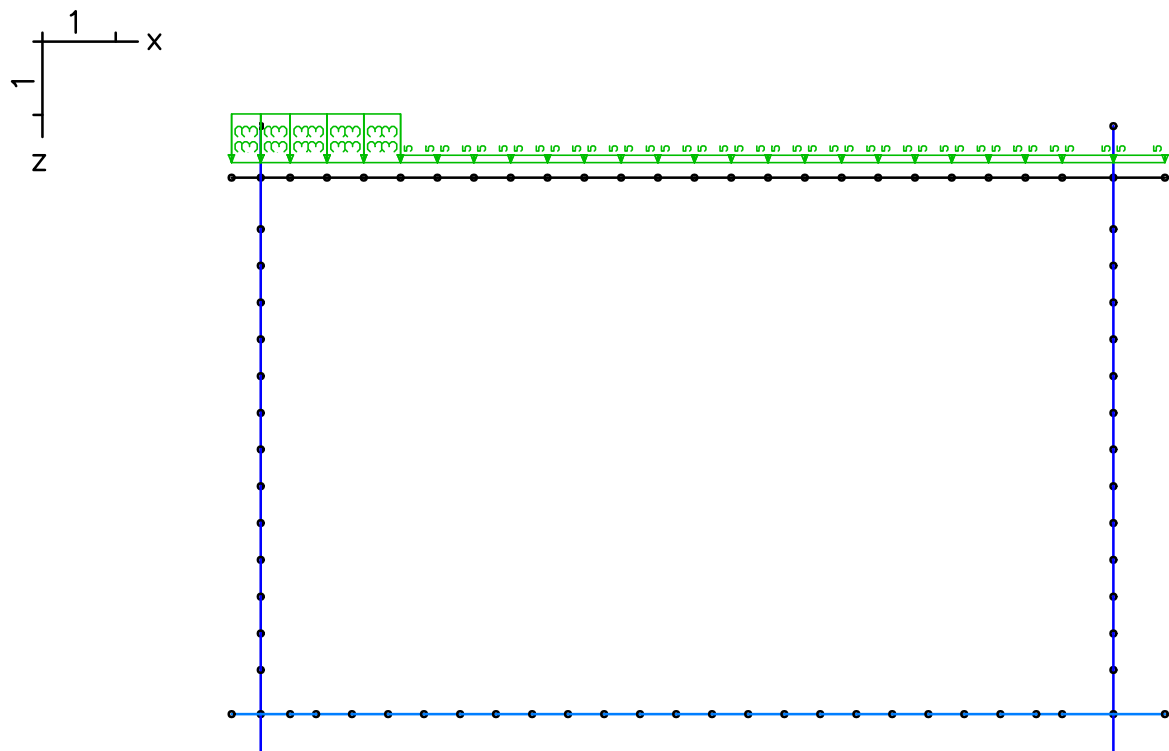
LF 2: Belastung, Erdauflast\_max



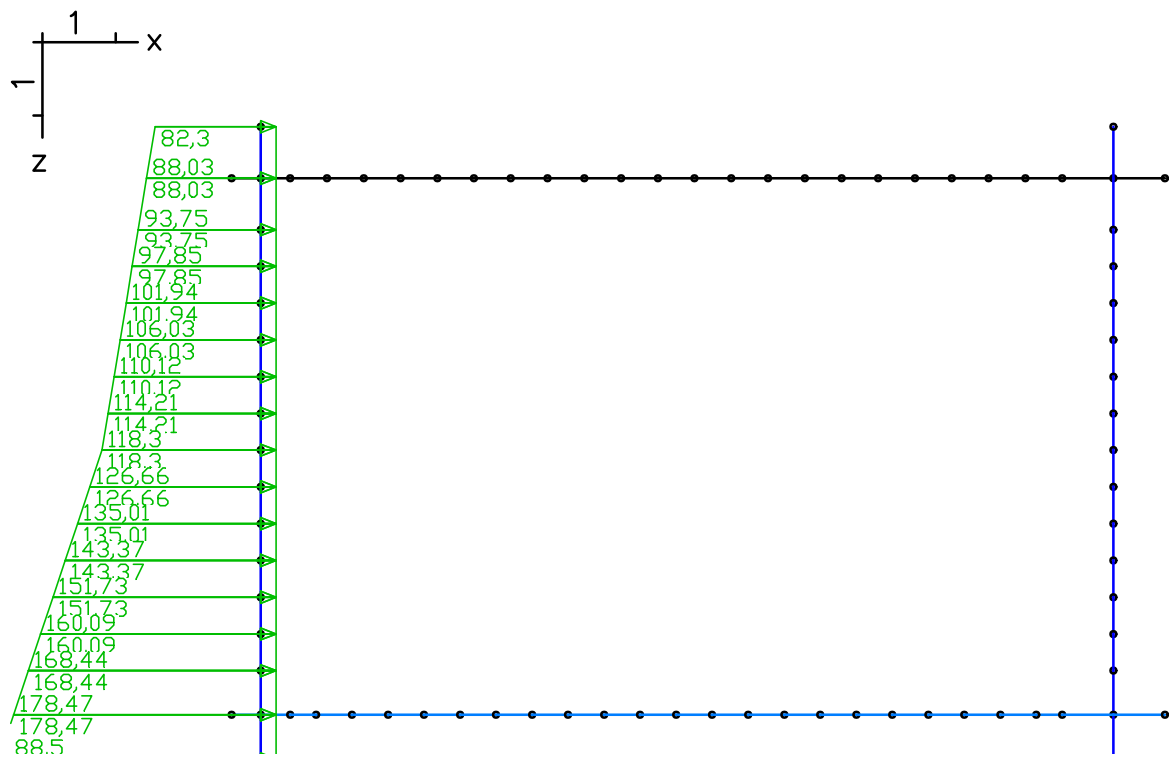
LF 3: Belastung, Erdauflast min

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (14)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



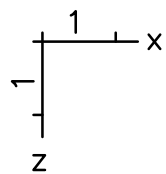
LF 4: Belastung, Verkehr auf Decke



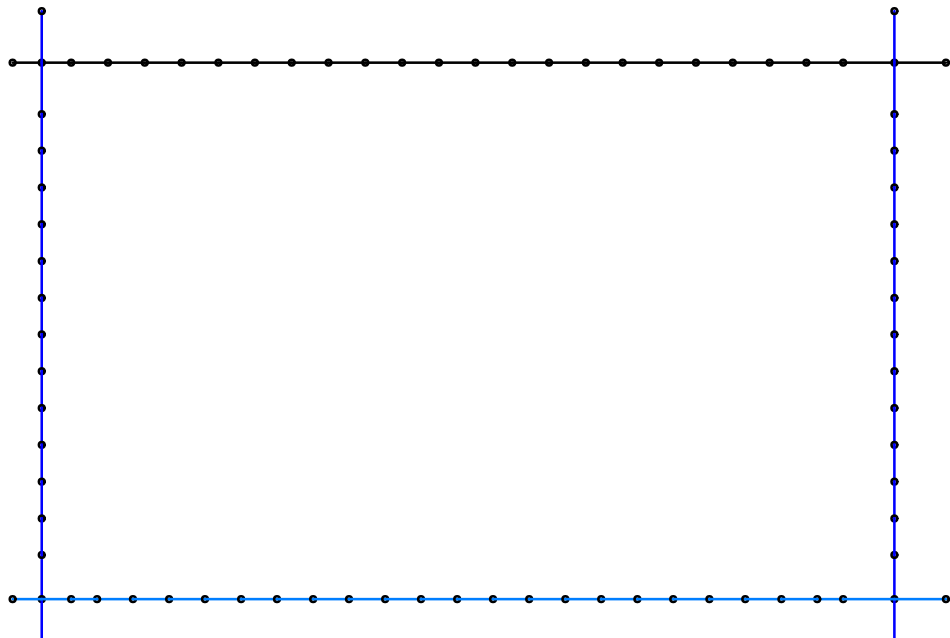
LF 5: Belastung, Erddruck Links (max)

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (15)	
Job:	I 396	M = 1:	

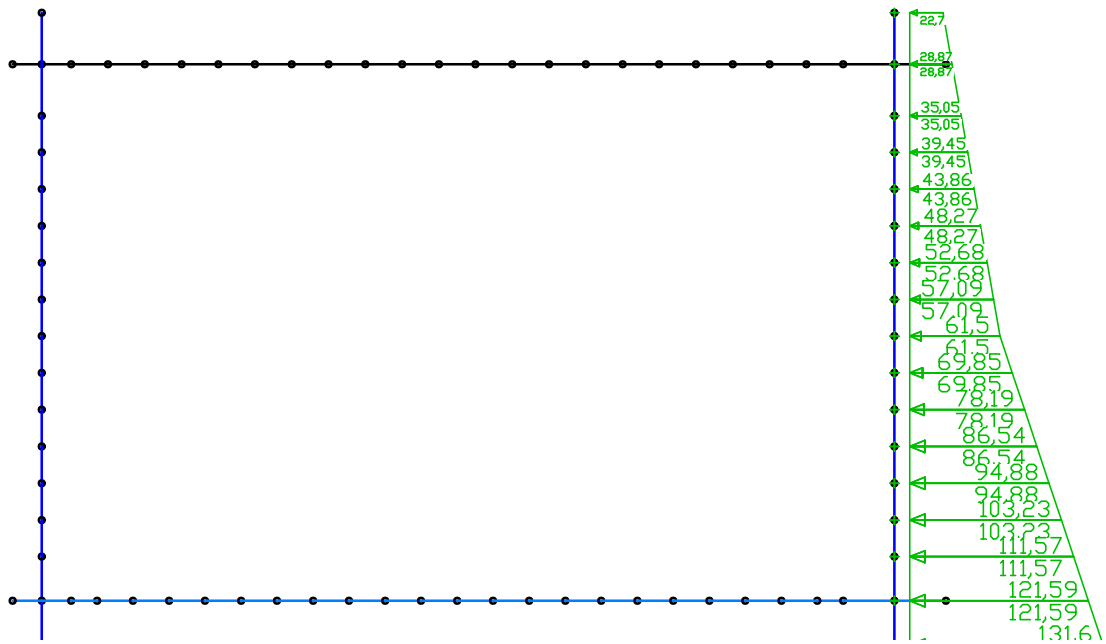
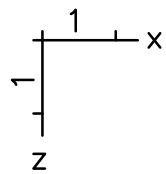
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



SUP:(5-5)\*0,7



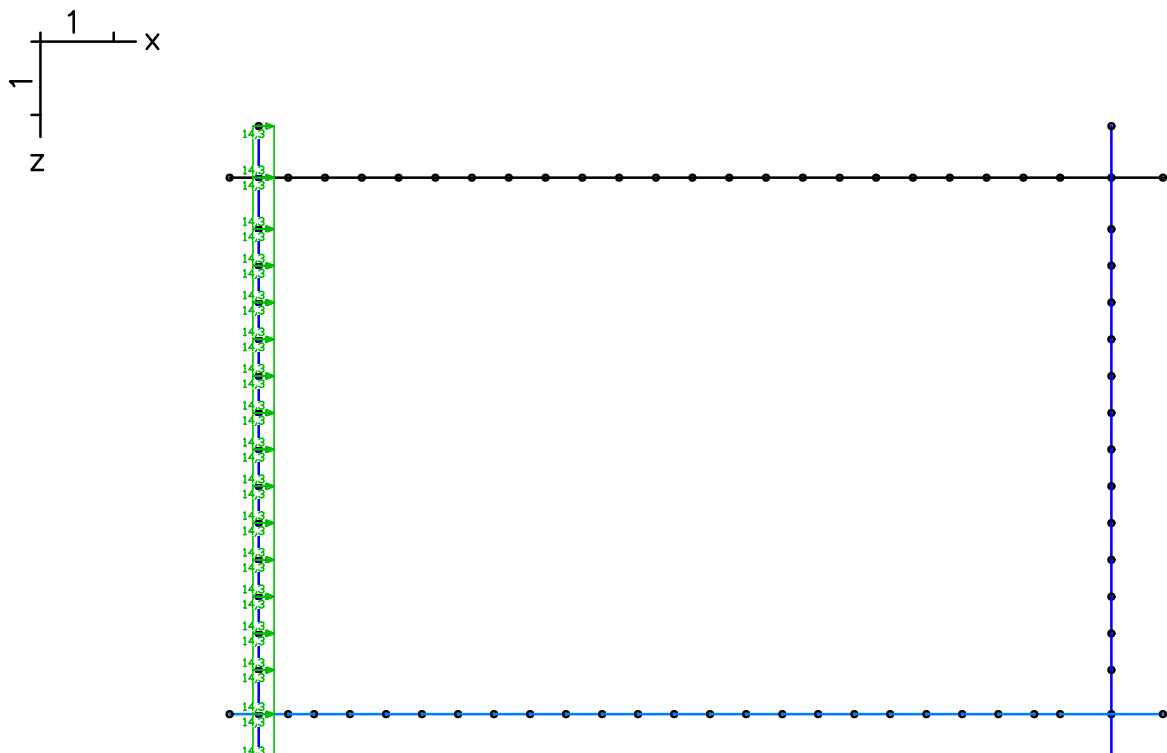
LF 6: Belastung, Erddruck links (min)



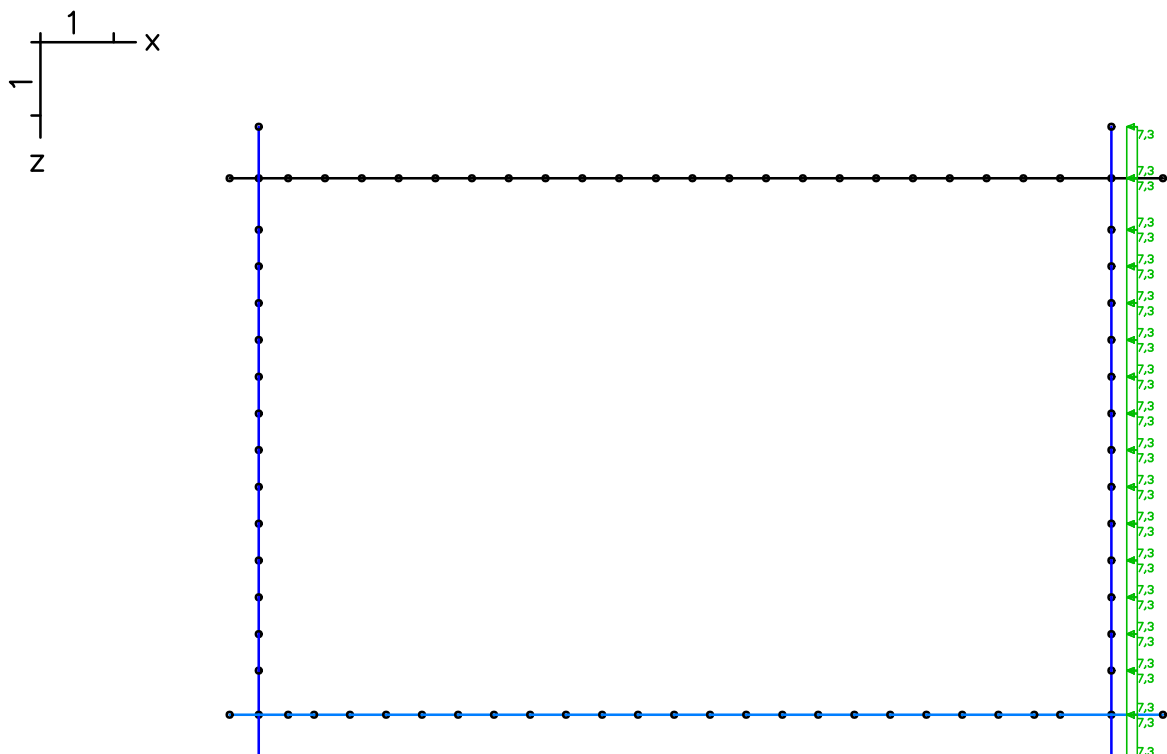
LF 7: Belastung, Erddruck rechts

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (16)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



LF 8: Belastung, Erddruck aus Verkehr links

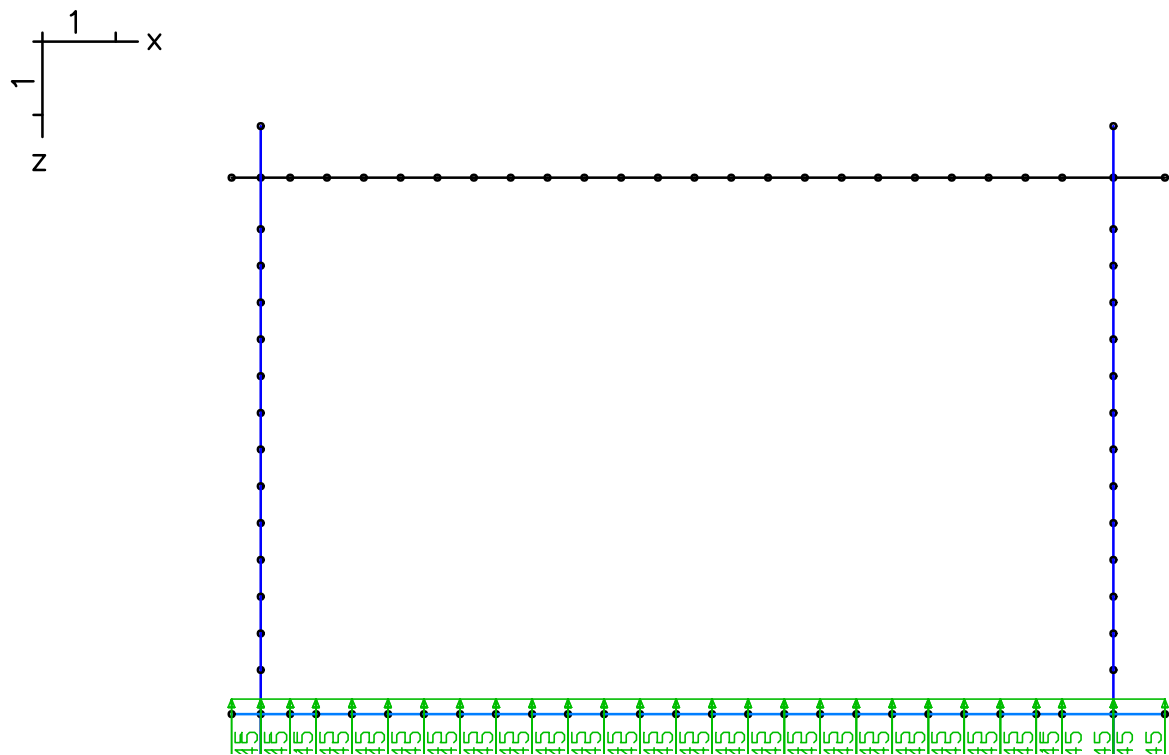


LF 9: Belastung, Erddruck aus Verkehr rechts

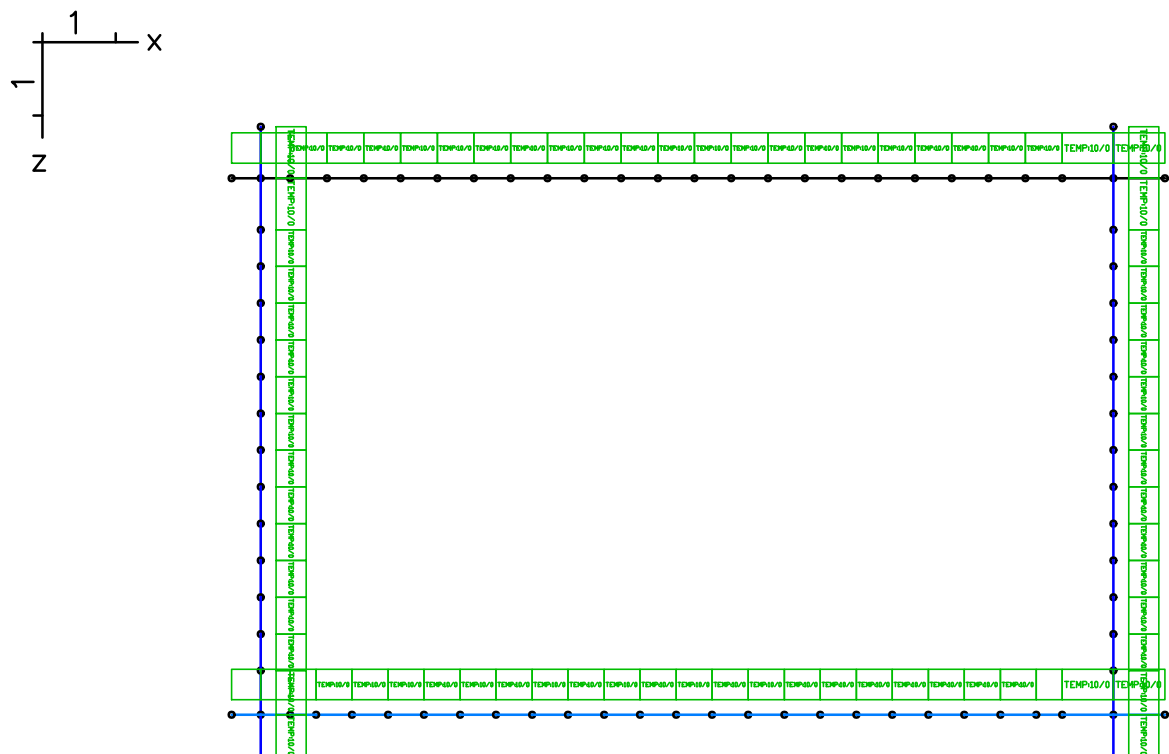
Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (17)	
Job:	I 396	M = 1:	



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



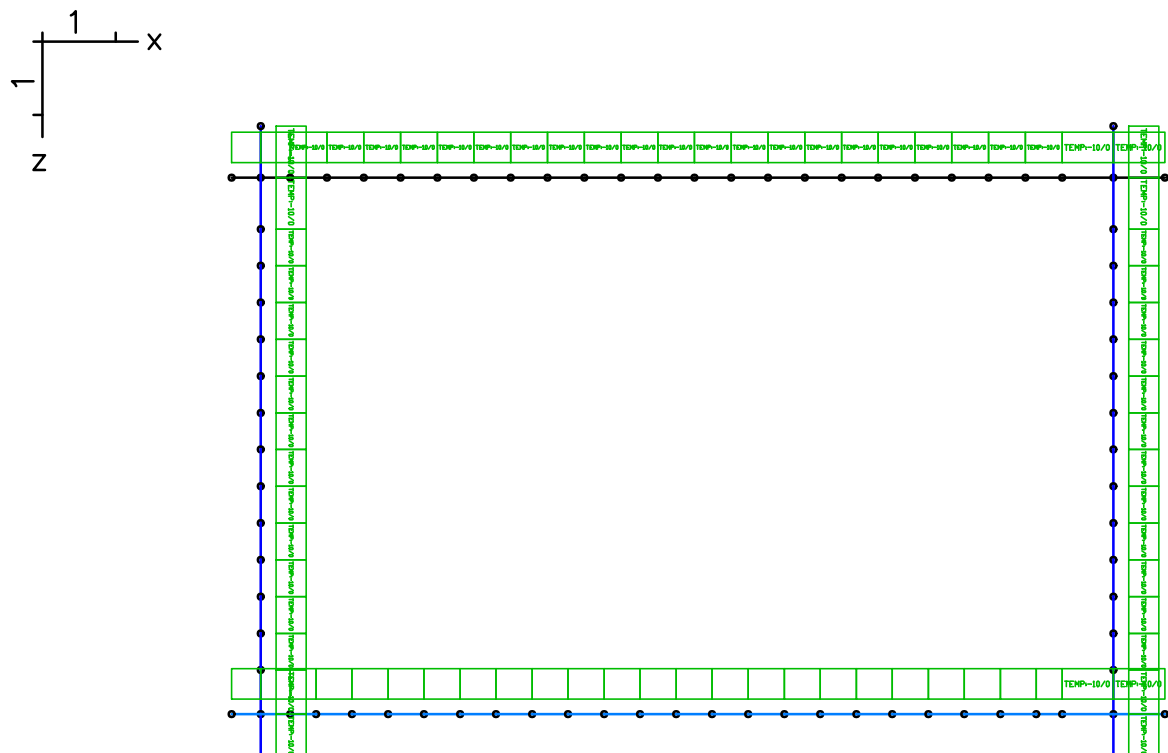
LF 10: Belastung, Auftrieb Sohle



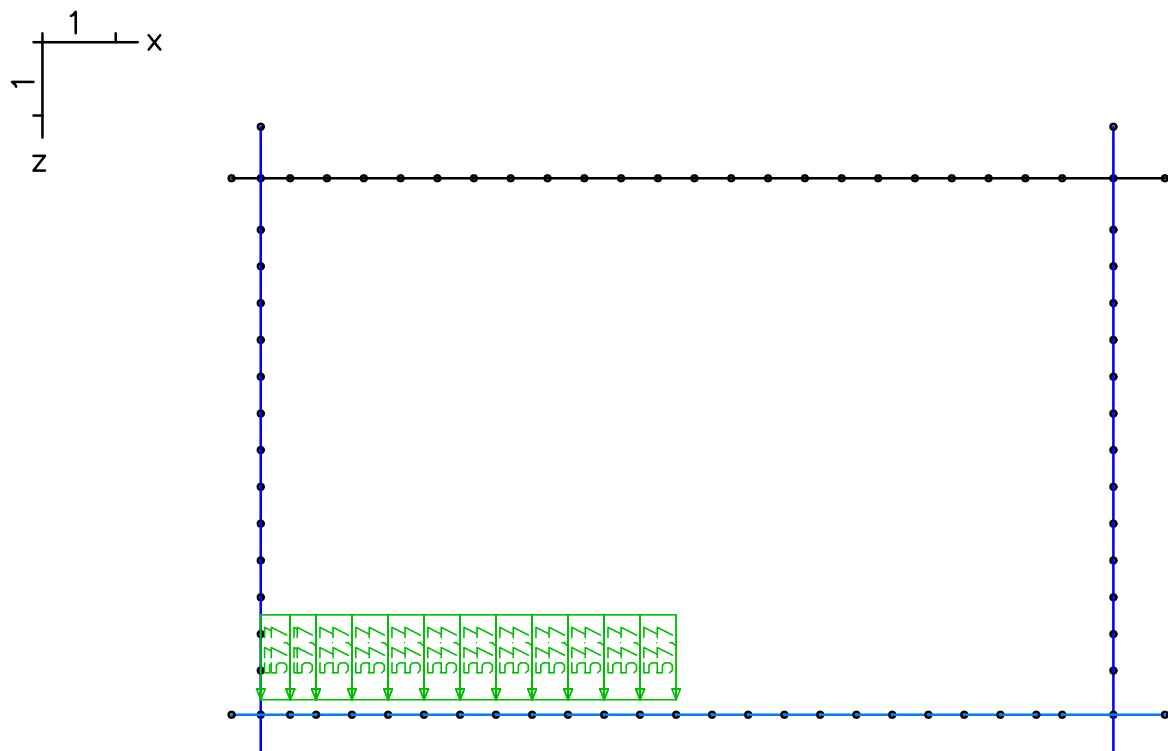
LF 11: Belastung, Temperatur +10K

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (18)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



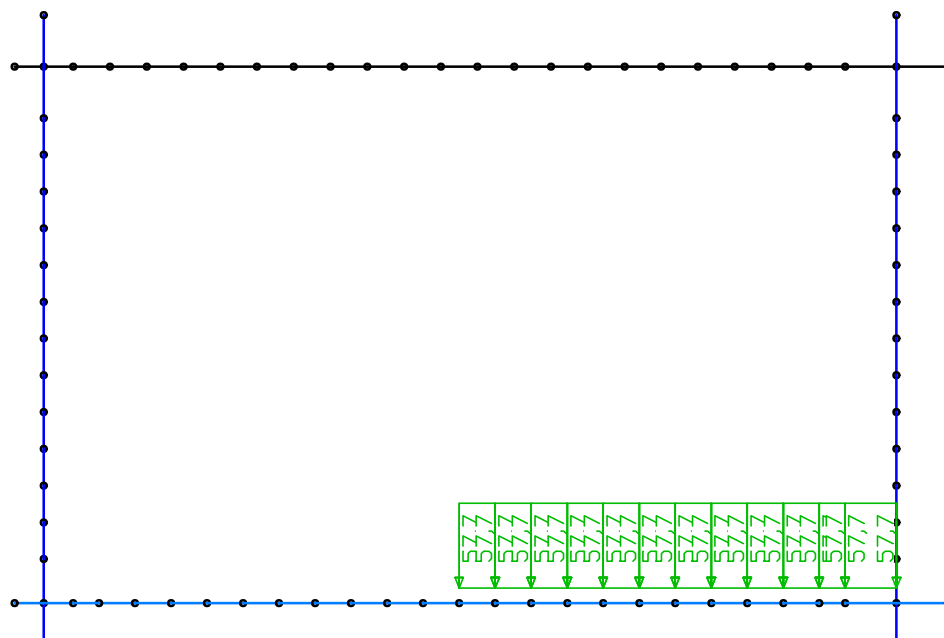
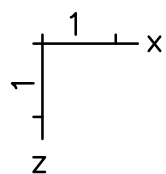
LF 12: Belastung, Temperatur -10K



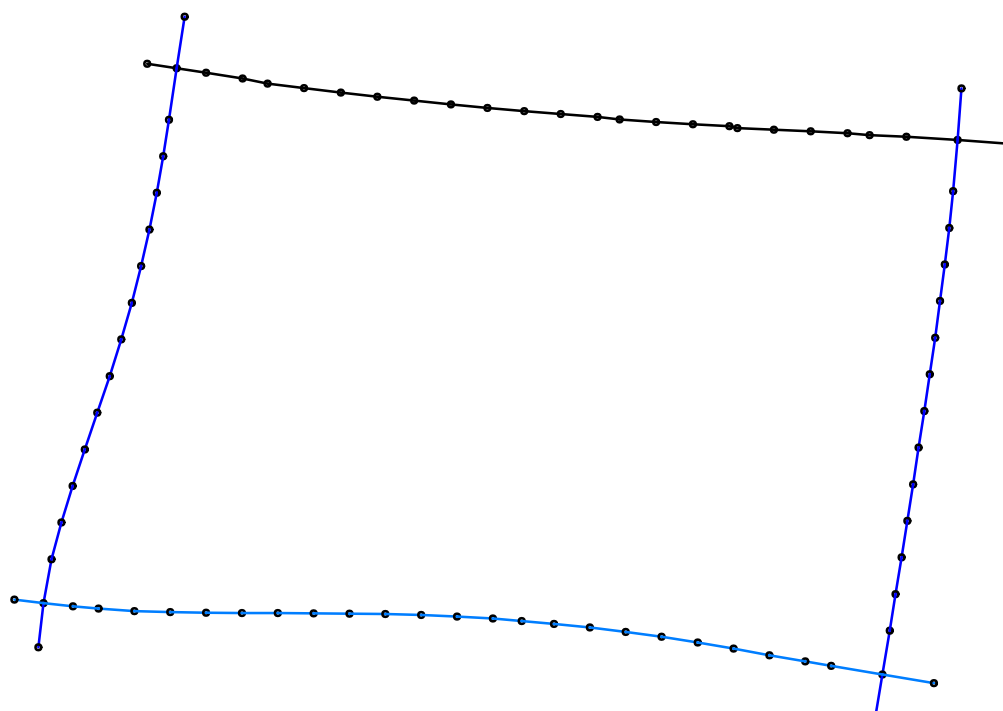
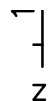
LF 13: Belastung, LM 1 links

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (19)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



LF 14: Belastung, LM1 rechts

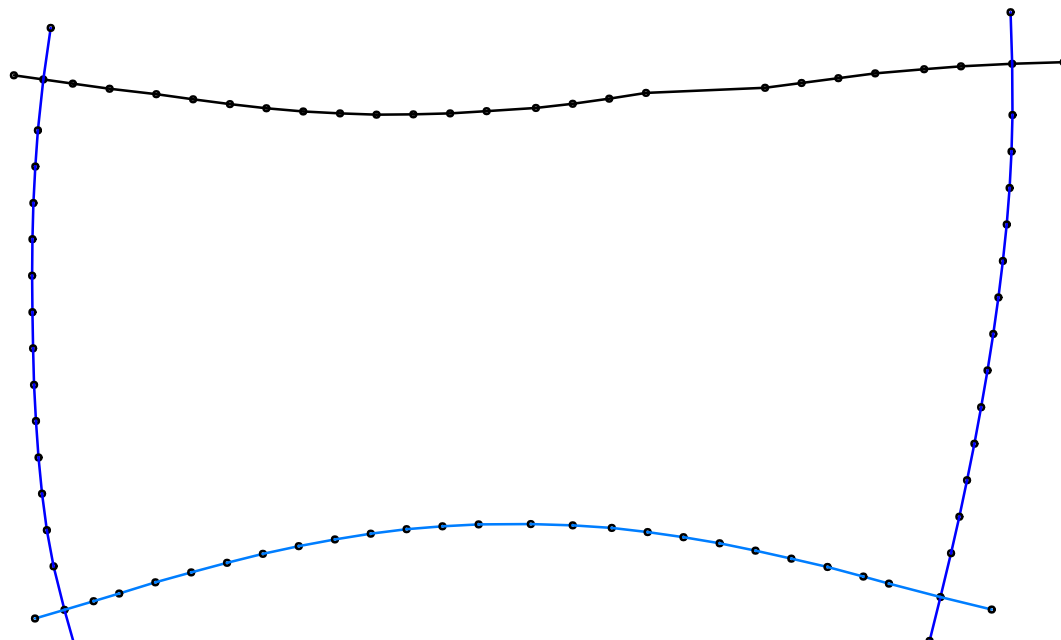


Deformationen uz min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (20)	
Job:	I 396	M = 1:	

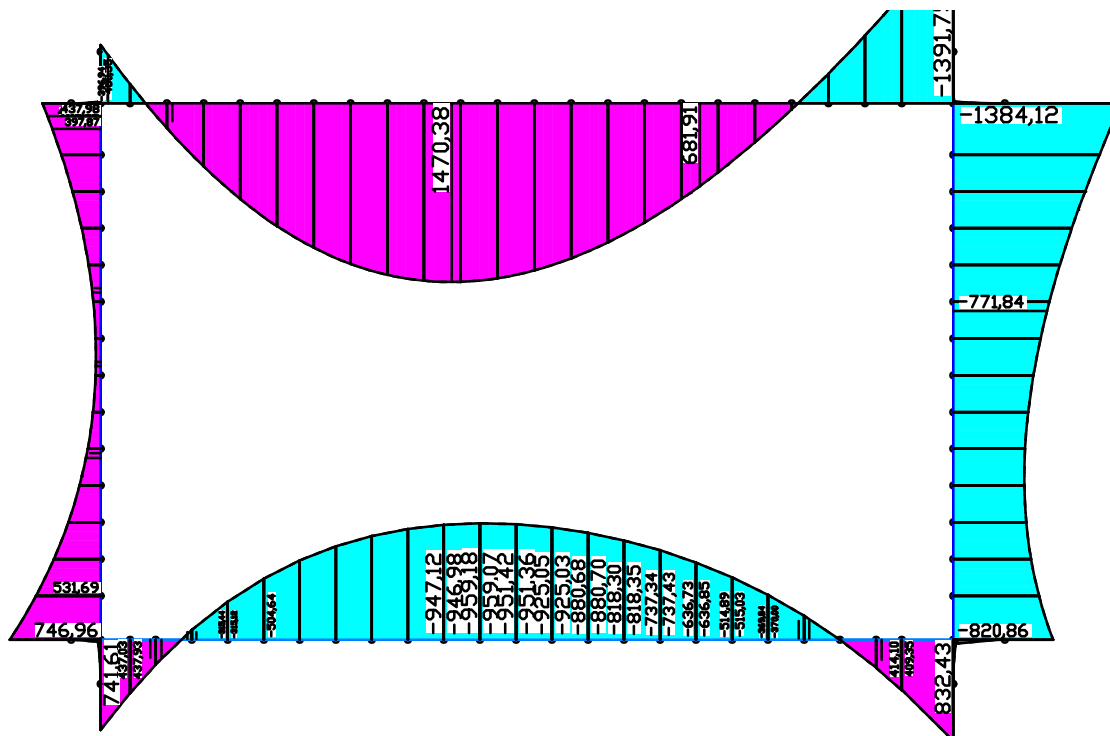
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

Z



Deformationen uz max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1

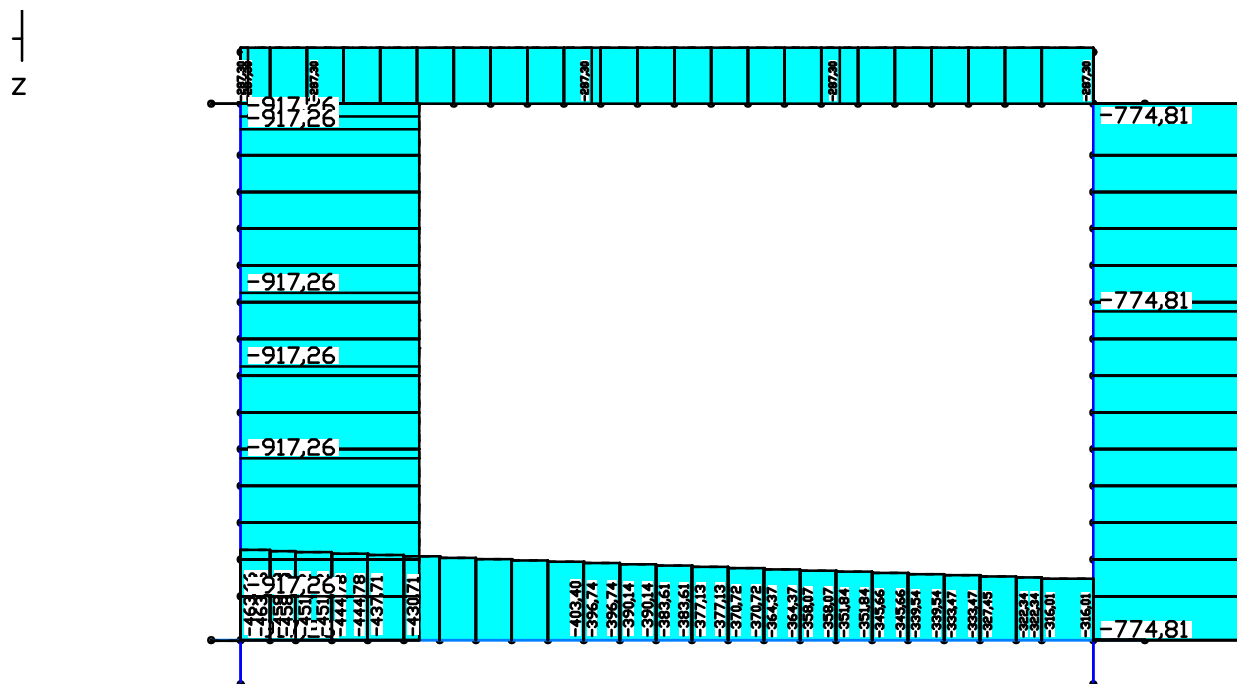
Z



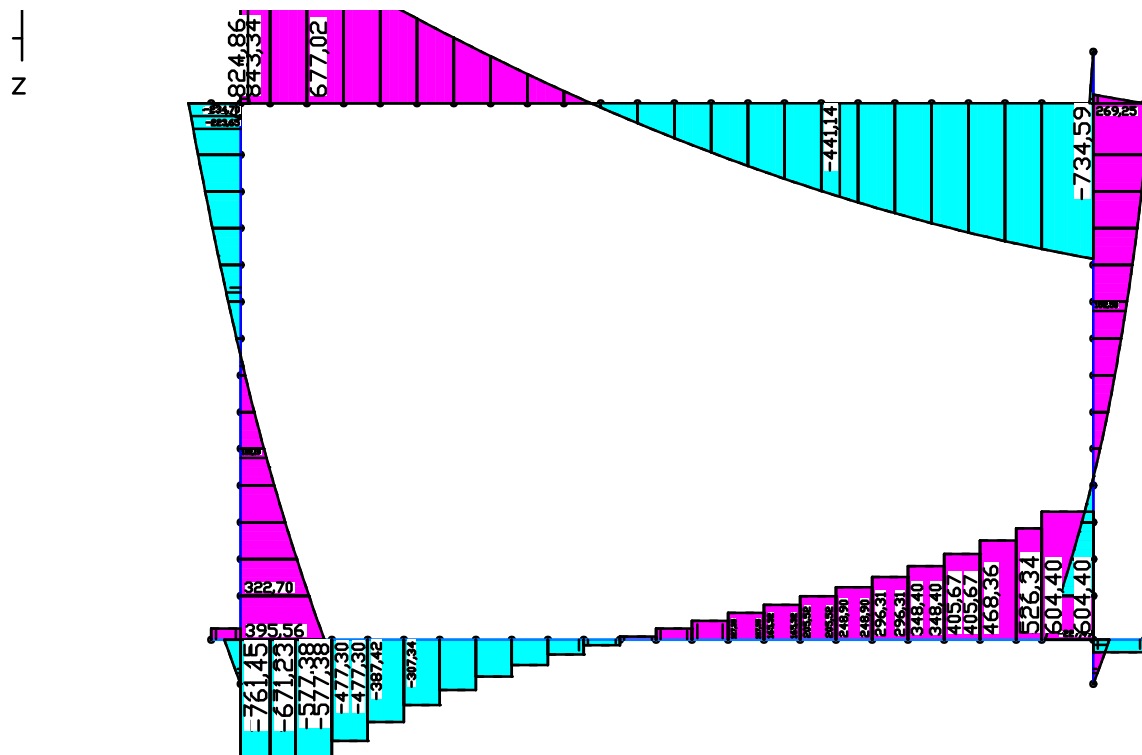
Schnittgrößen My min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (21)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



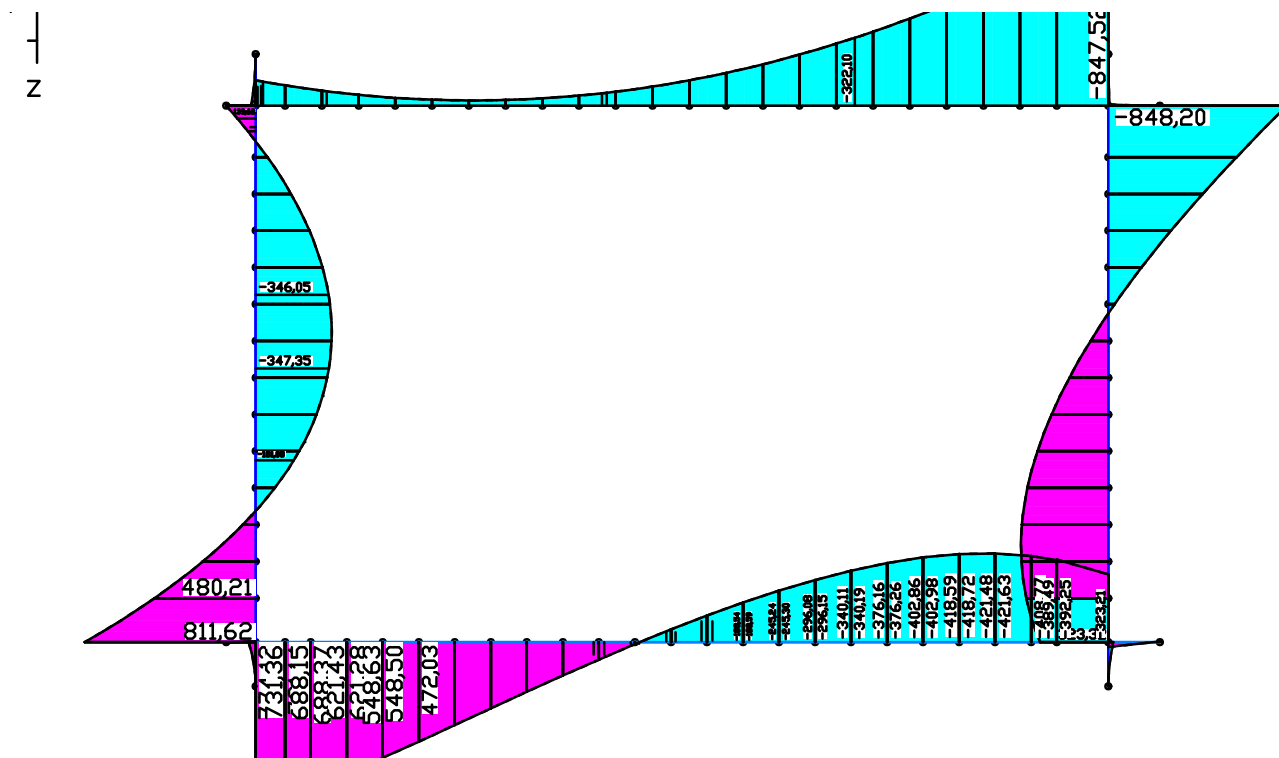
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment



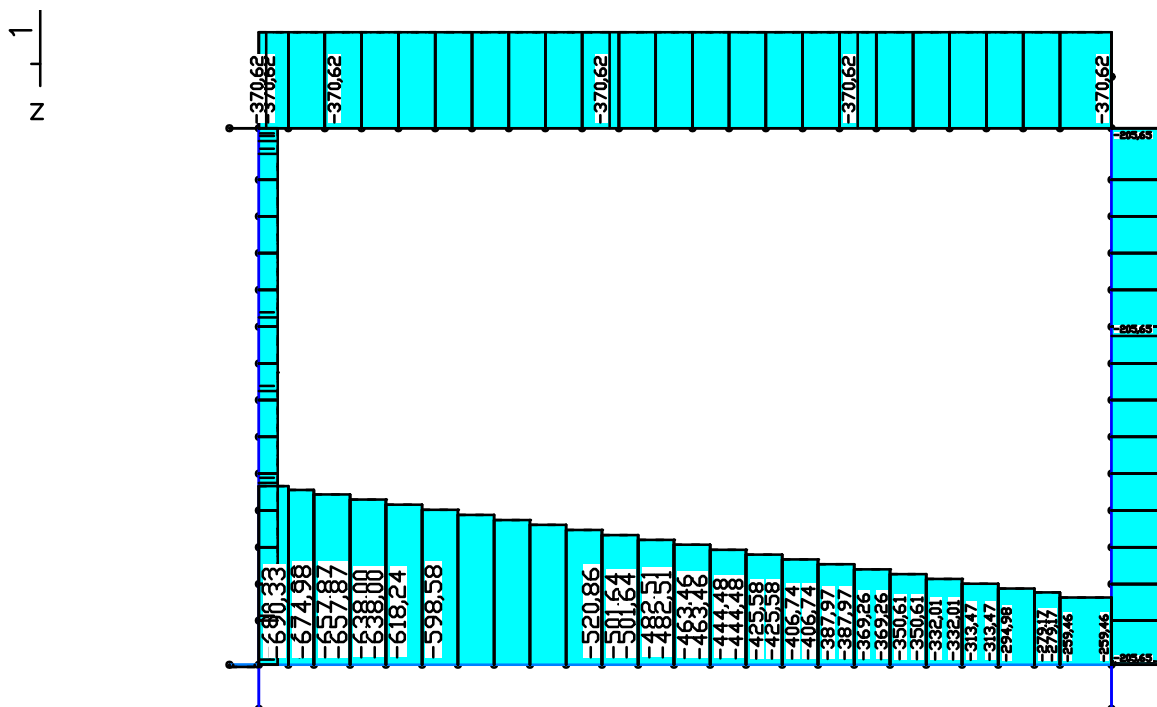
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (22)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



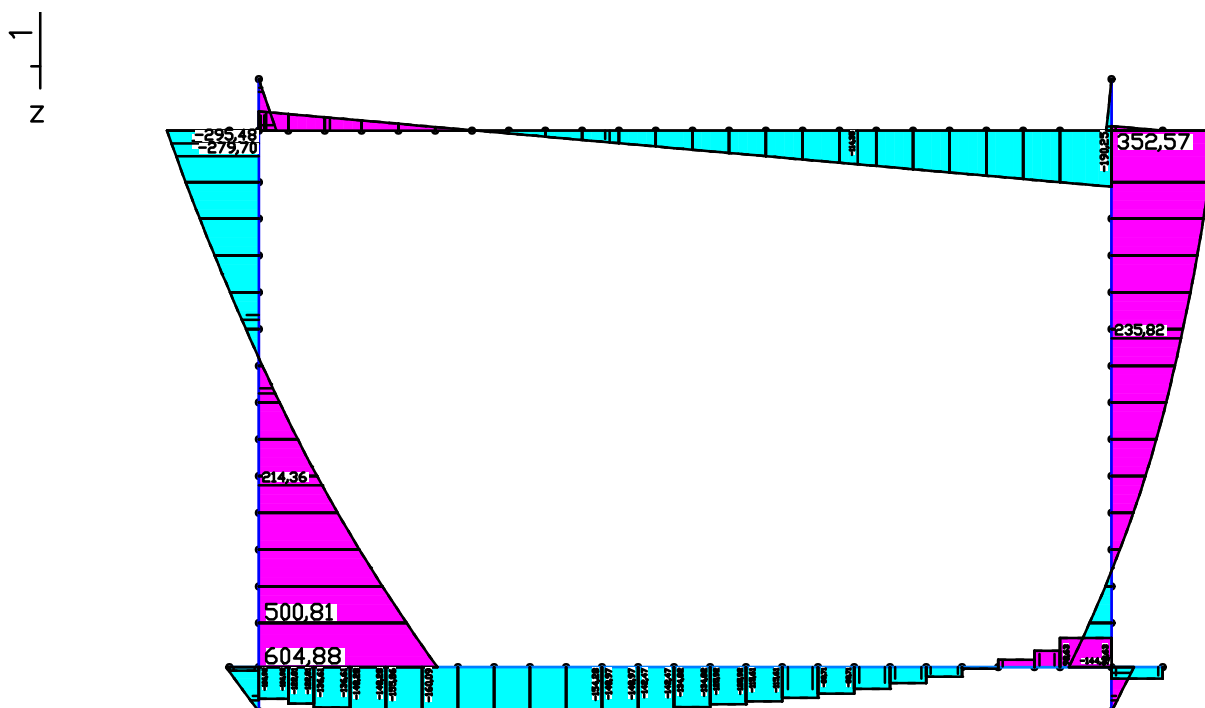
Schnittgrößen My min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment



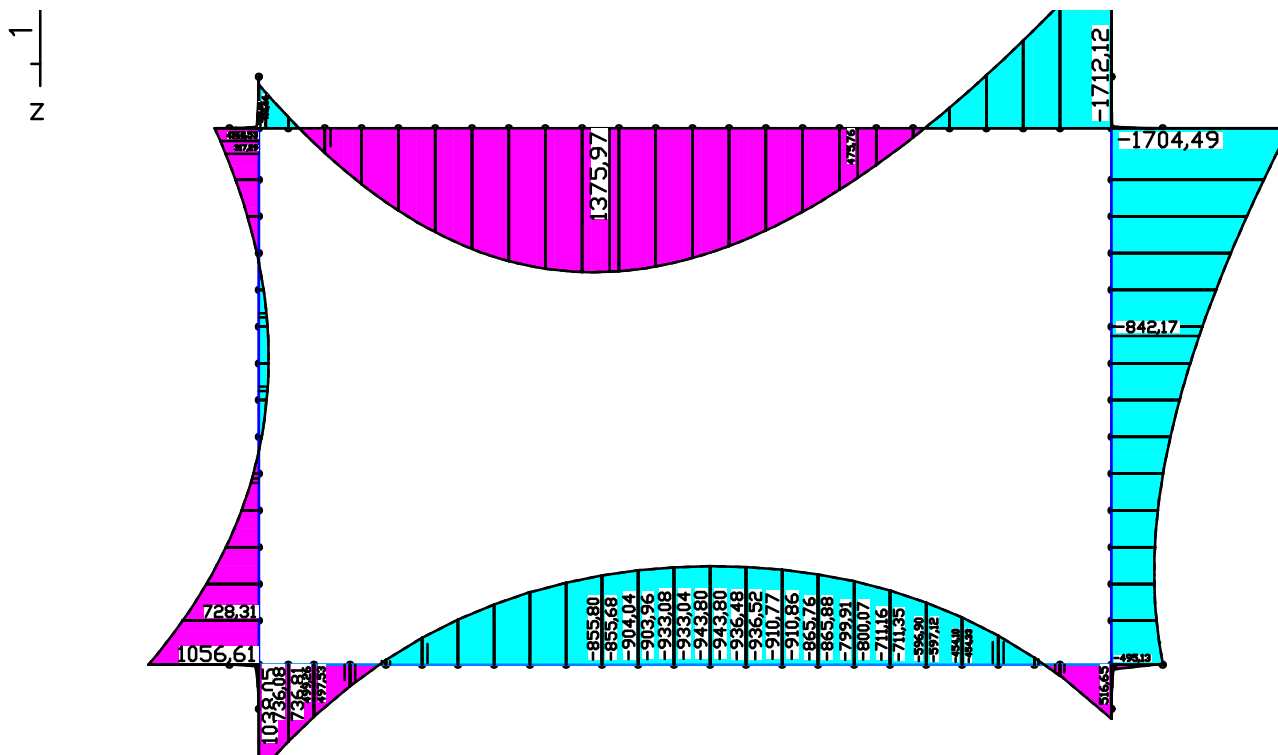
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (23)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



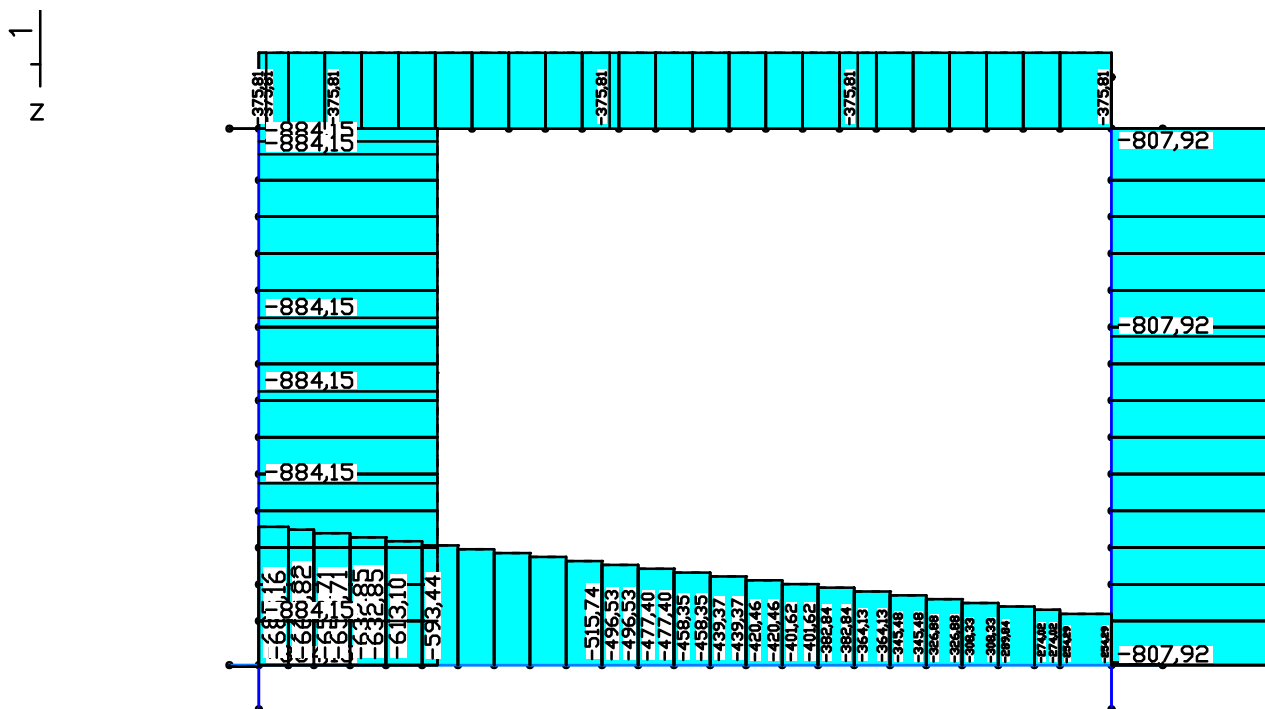
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment



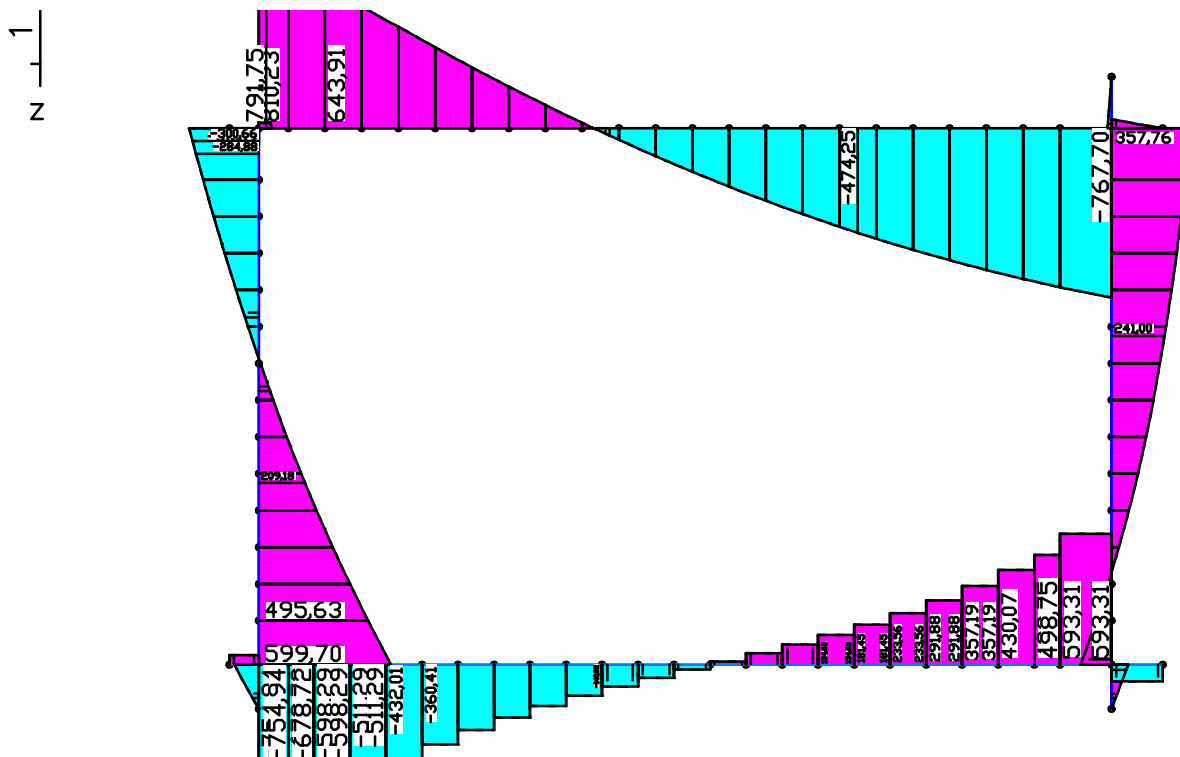
Schnittgrößen  $M_{y \min, \max}$ ; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (24)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



Schnittgrößen Nx min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment



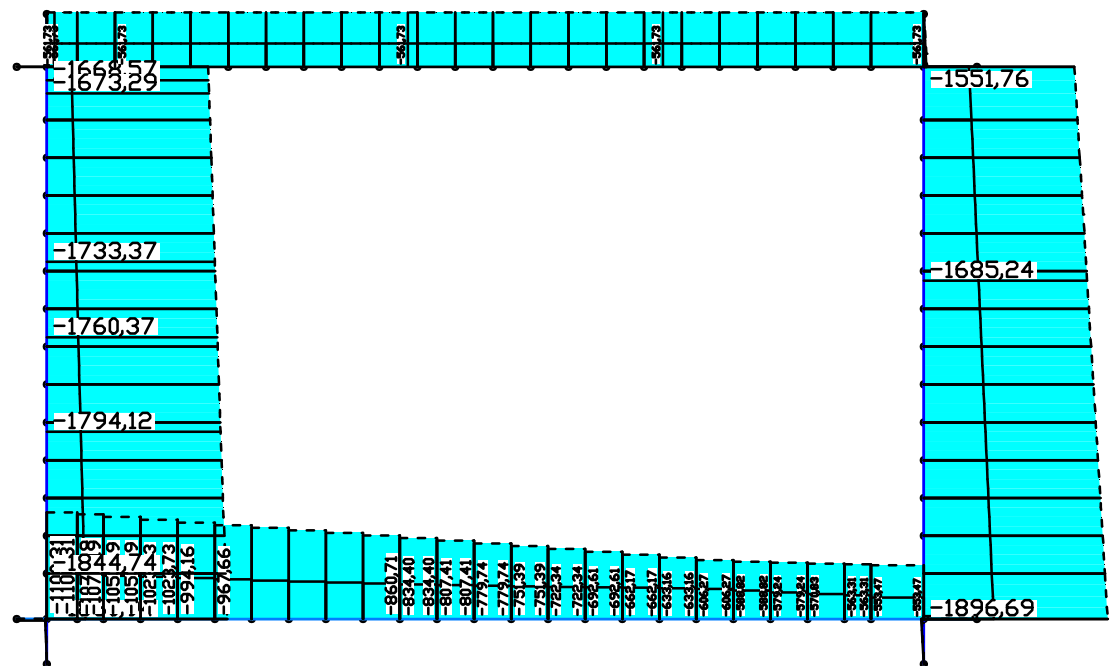
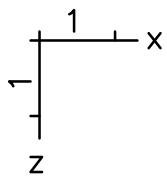
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (25)	
Job:	I 396	M = 1:	





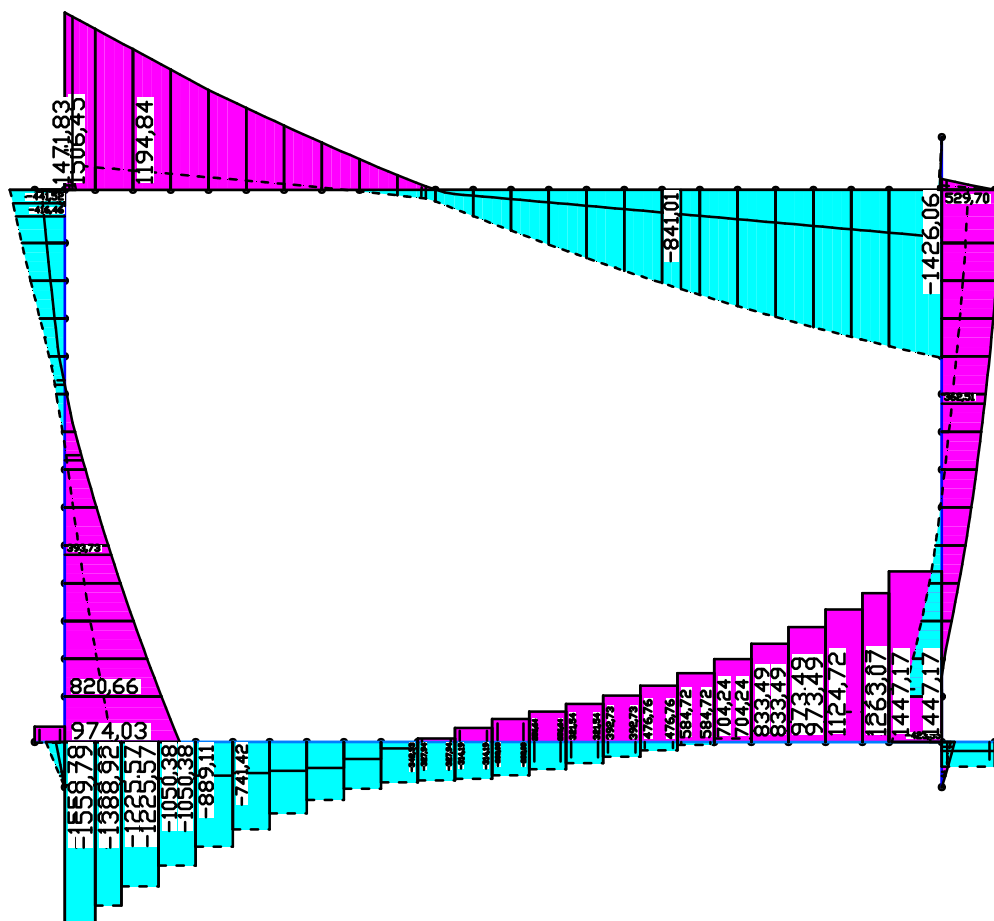
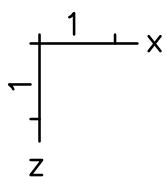
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



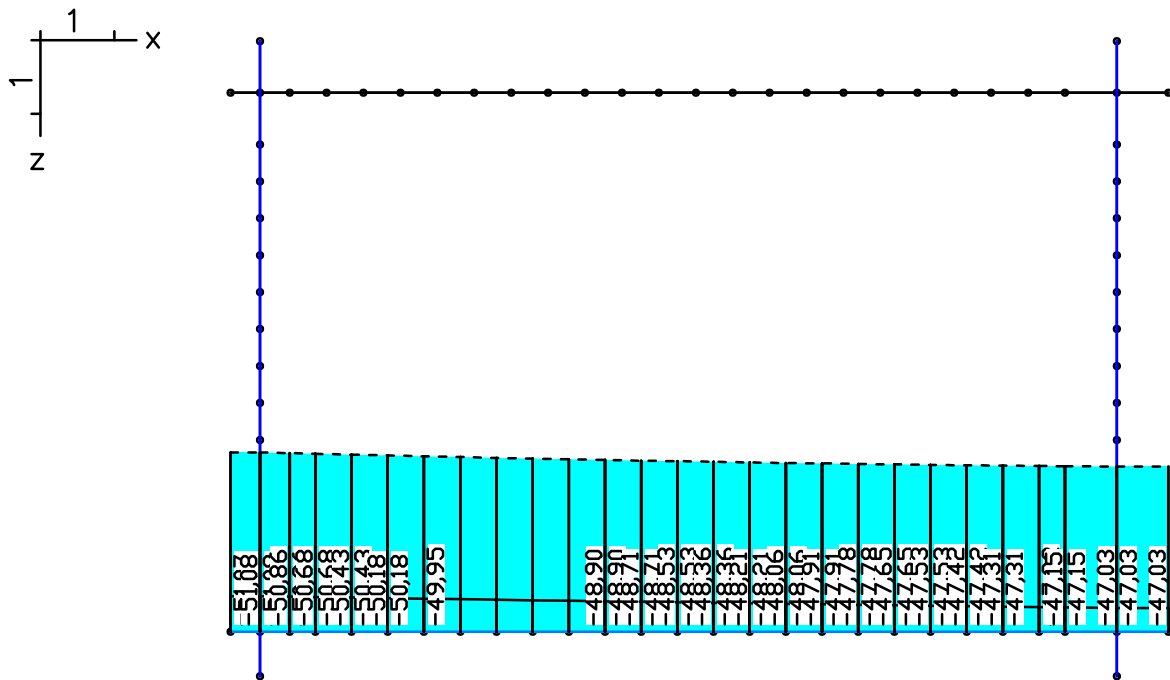
LFK DIN1992.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1  
Schnittgrößen min,max Nx. 780,24 [kN] =   
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -1896,69/28,35 [kN]

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (27)	
Job:	I 396	M = 1: 100	

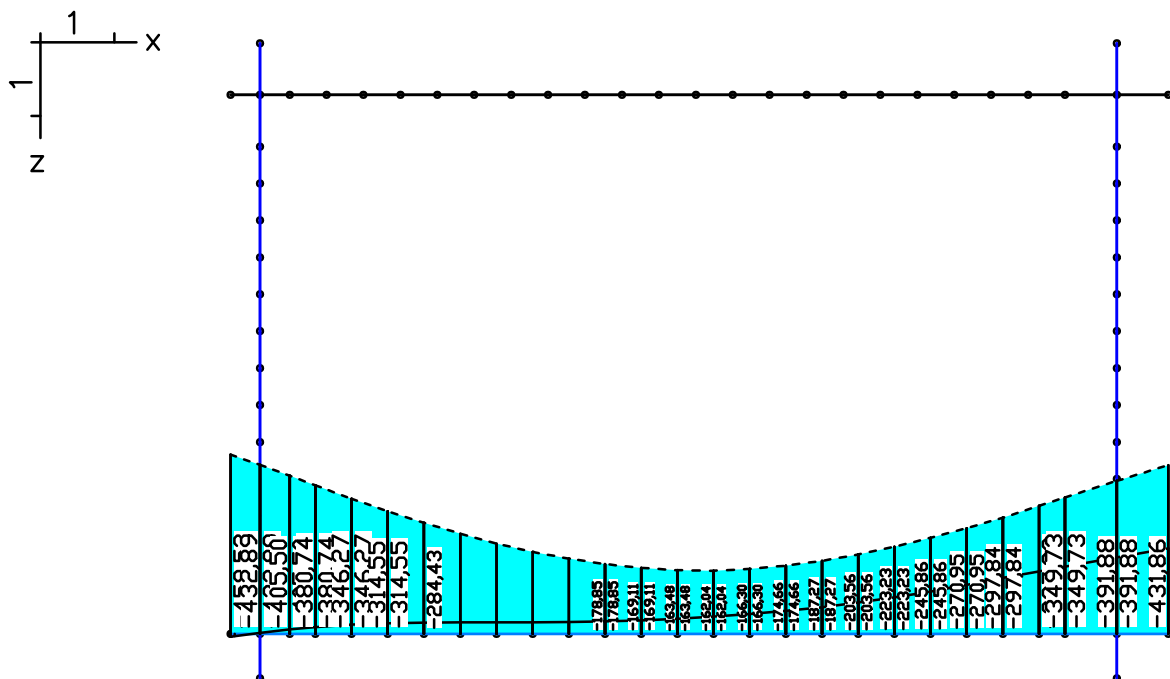
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



Bodenpressungen Sigma.x min, max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1



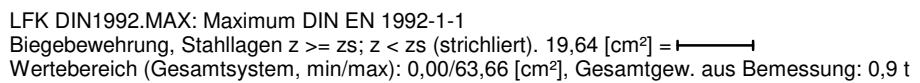
Bodenpressungen Sigma.z min, max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (29)	
Job:	I 396	M = 1:	

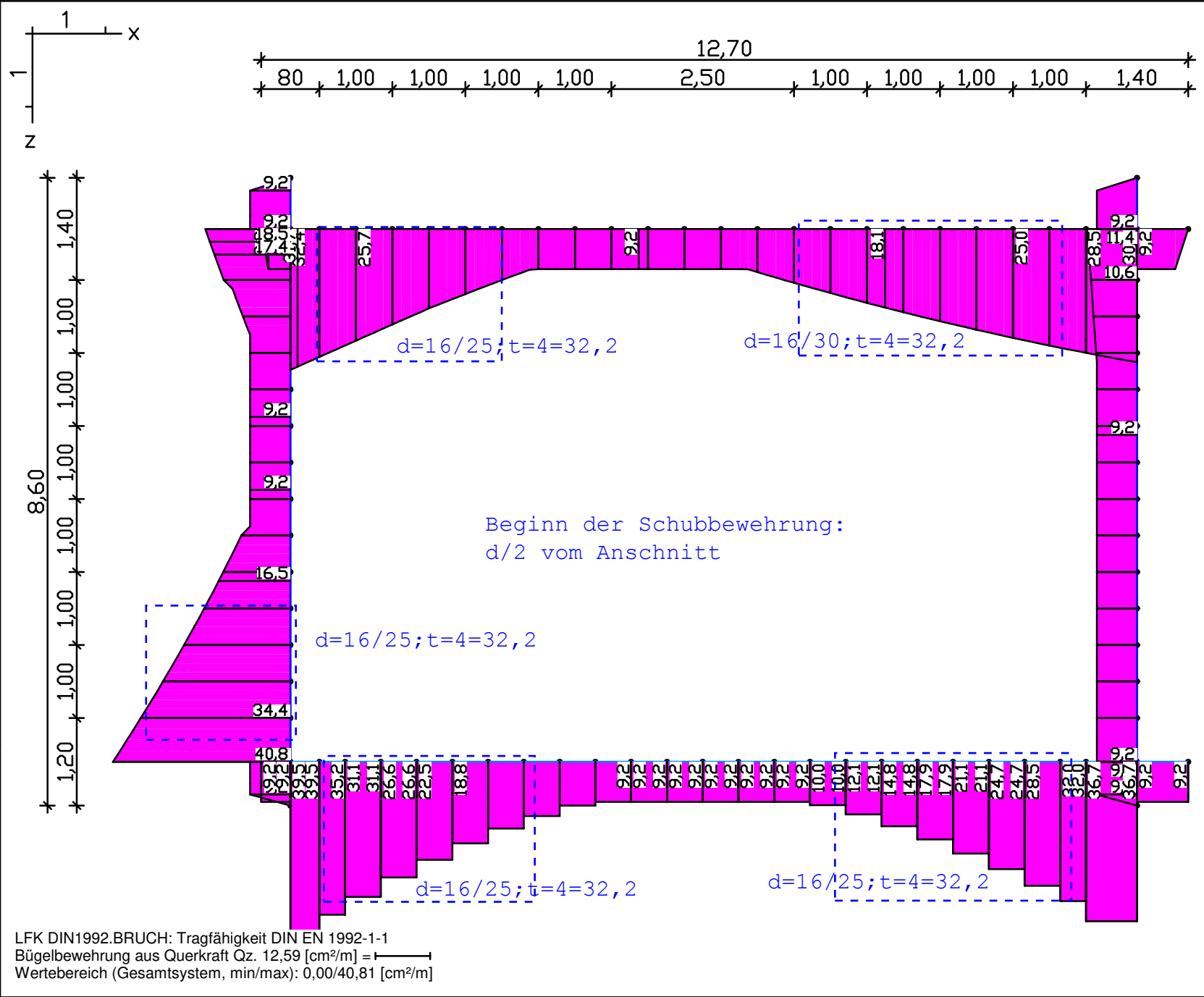
Projekt Nr. 1396

Image.No.

Date: 07.12.2015



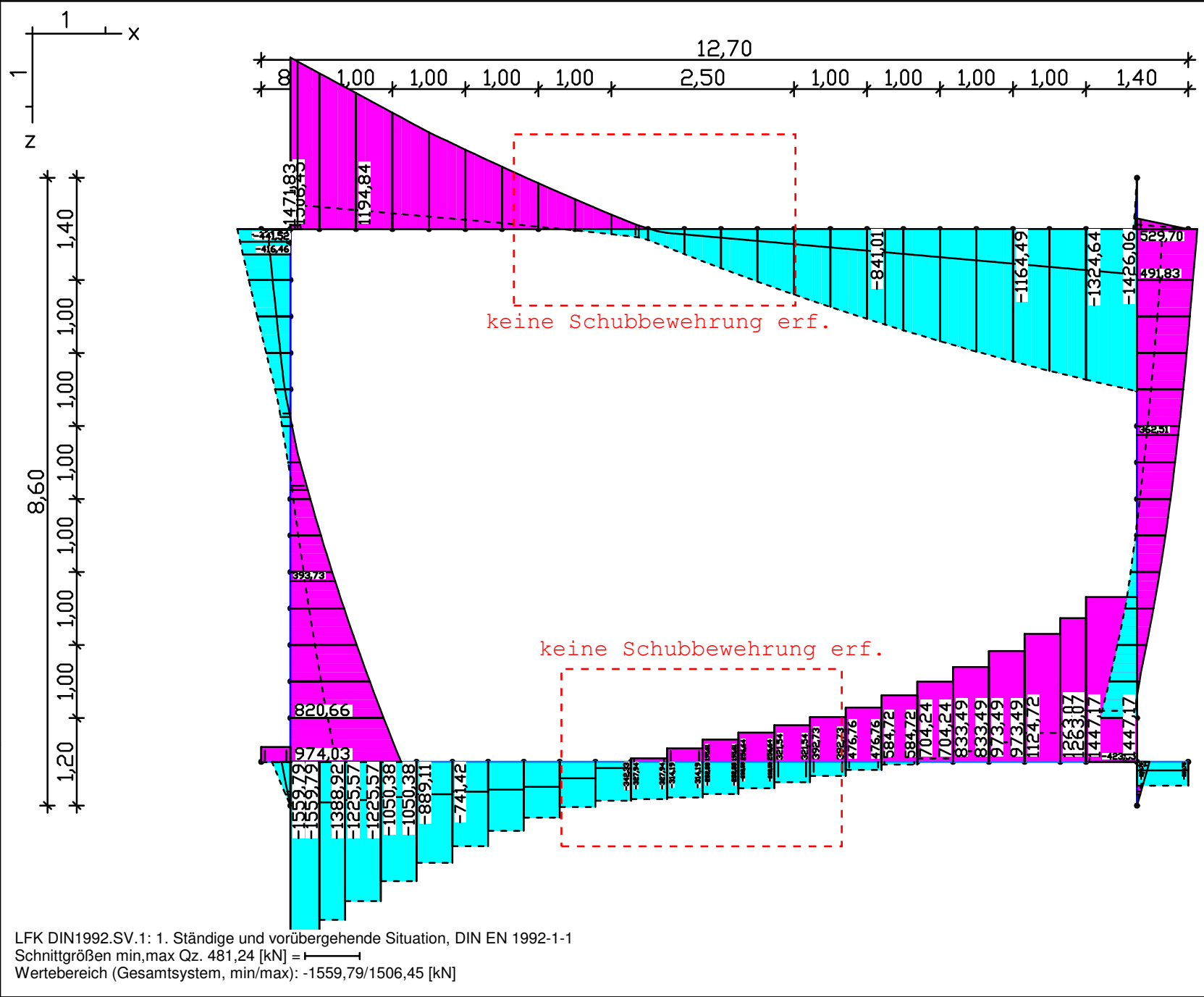
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen		Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH		Image.No.
Project:	Tunnel Vahn		Date: 07.12.2015



Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (31)	
Job:	I 396	M = 1:75	

LFK DIN1992.BRUCH: Tragfähigkeit DIN EN 1992-1-1  
Bügelbewehrung aus Querkraft Qz. 12,59 [cm²/m] =   
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 0,00/40,81 [cm²/m]

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen		Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH		Image.No.
Project:	Tunnel Vahn		Date: 07.12.2015



Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K1	Page (32)	
Job:	I 396	M = 1:75	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

## INHALT

Inhalt .....	(1)
Stabwerksberechnung .....	(1)
DIN EN 1992-1-1 Bemessung .....	(8)
Liste der Kombinationen .....	(13)
LF 1: Belastung, Eigenlast .....	(13)
LF 2: Belastung, Erdauflast_max .....	(14)
LF 3: Belastung, Erdauflast_min .....	(14)
LF 4: Belastung, Verkehr auf Decke .....	(15)
LF 5: Belastung, Erddruck Links (max) .....	(15)
LF 6: Belastung, Erddruck links (min) .....	(16)
LF 7: Belastung, Erddruck rechts .....	(16)
LF 8: Belastung, Erddruck aus Verkehr links .....	(17)
LF 9: Belastung, Erddruck aus Verkehr rechts .....	(17)
LF 10: Belastung, Auftrieb Sohle .....	(18)
LF 11: Belastung, Temperatur +10K .....	(18)
LF 12: Belastung, Temperatur -10K .....	(19)
LF 13: Belastung, LM 1 links .....	(19)
LF 14: Belastung, LM1 rechts .....	(20)
Deformationen uz min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(20)
Deformationen uz max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(21)
Schnittgrößen My min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment .....	(21)
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment .....	(22)
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment .....	(22)
Schnittgrößen My min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment .....	(23)
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment .....	(23)
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment .....	(24)
Schnittgrößen My min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment .....	(24)
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment .....	(25)
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment .....	(25)
Schnittgrößen My min, max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(26)
Schnittgrößen Nx min, max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(27)
Schnittgrößen Qz min, max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(28)
Bodenpressungen Sigma.x min, max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1 ..	(29)
Bodenpressungen Sigma.z min, max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1 ..	(29)
Biegebewehrung As; Maximum DIN EN 1992-1-1 .....	(30)
Bügelbewehrung Asb.z; Tragfähigkeit DIN EN 1992-1-1 .....	(31)
Schnittgrößen Qz min, max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(32)

## Ebene Stabwerke

### Materialkennwerte

Nr.	Material-Art	E-Modul [MN/m <sup>2</sup> ]	alpha.t [1/K]	gamma [kN/m <sup>3</sup> ]	kbx [MN/m <sup>3</sup> ]	kbz [MN/m <sup>3</sup> ]	bx [m]	bz [m]
1	C25/30-EN-D	31000	1,000e-05	25,000	0	0	1,00	1,00
2	C25/30-EN-D	31000	1,000e-05	25,000	0	0	1,00	1,00
3	C25/30-EN-D	31000	1,000e-05	25,000	0	0	1,00	1,00
4	C25/30-EN-D	31000	1,000e-05	25,000	25	50	1,00	1,00

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (1)	
Job:	I 396	M = 1:	



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

### Kriech- und Schwindbeiwerte

Material	phi.t	rho	epsilon.s
1	0,000	0,800	0,00E-05
2	0,000	0,800	0,00E-05
3	0,000	0,800	0,00E-05
4	0,000	0,800	0,00E-05

### Querschnittswerte

Nr.	1 Polygon
	A = 1,000e+00 [m²], Iy = 8,333e-02 [m4]
Nr.	2 Polygon
	A = 8,000e-01 [m²], Iy = 4,267e-02 [m4]
Nr.	3 Polygon
	A = 1,000e+00 [m²], Iy = 8,333e-02 [m4]
Nr.	4 Polygon
	A = 8,000e-01 [m²], Iy = 4,267e-02 [m4]

### Systemkenngrößen

Knoten	83
Elemente	83
Unbekannte	249
Bandbreite	0
Steifigkeitsmatrix	9,7 KB
Massenmatrix	9,7 KB

### Lastfall-Übersicht

Lf-Nr.	Bezeichnung
1	Eigenlast
2	Erdauflast_max
3	Erdauflast min
4	Verkehr auf Decke
5	Erddruck Links (max)
6	Erddruck links (min)
7	Erddruck rechts
8	Erddruck aus Verkehr links
9	Erddruck aus Verkehr rechts
10	Auftrieb Sohle
11	Temperatur +10K
12	Temperatur -10K
13	LM 1 links
14	LM1 rechts

### Lastdaten Lastfall 1 (Eigenlast)

EG : Eigengewicht für alle Stäbe

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (2)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 1

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	904,50
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	904,50
Summe :	-0,00	0,00	0,00

### Lastdaten Lastfall 2 (Erdauflast\_max)

TGX : Trapezlast (global) Lastgeometrie über x-Koordinate

Stab	Abstand von	Lastlänge	px.a	px.e	pz.a	pz.e
von bis	Stabanfang [m]	[m]			[kN/m]	
34	34	0,00	0,50	0,00	0,00	41,03
32	32	0,00	0,50	0,00	0,00	52,69
31	31	0,00	0,50	0,00	0,00	58,53
30	30	0,00	0,50	0,00	0,00	64,36
29	29	0,00	0,50	0,00	0,00	70,19
28	28	0,00	0,50	0,00	0,00	76,02
26	26	0,00	0,50	0,00	0,00	87,68
25	25	0,00	0,50	0,00	0,00	93,51
24	24	0,00	0,50	0,00	0,00	99,34
23	23	0,00	0,50	0,00	0,00	105,18
22	22	0,00	0,50	0,00	0,00	111,01
3	3	0,00	0,50	0,00	0,00	122,67
2	2	0,00	0,40	0,00	0,00	127,33
1	1	-0,00	0,40	0,00	0,00	132,00
33	33	0,00	0,50	0,00	0,00	46,86
27	27	0,00	0,50	0,00	0,00	81,85
21	21	0,00	0,50	0,00	0,00	116,84

LG : Linienlast (global)

Stab	px	pz
von bis	[kN/m]	
4	5	0,00 35,20
35	40	0,00 35,20

### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 2

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	834,68
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	834,68
Summe :	-0,00	0,00	0,00

### Lastdaten Lastfall 3 (Erdauflast min)

LG : Linienlast (global)

Stab	px	pz
von bis	[kN/m]	
1	5	0,00 22,00
21	40	0,00 22,00

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (3)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 3

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	270,60
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-0,00	0,00	270,60
Summe :	0,00	0,00	0,00

### Lastdaten Lastfall 4 (Verkehr auf Decke)

LG : Linienlast (global)			
Stab	px	pz	
von bis	[kN/m]		
1 3	0,00	5,00	
21 34	0,00	5,00	
4 5	0,00	16,70	
35 40	0,00	16,70	

### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 4

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	108,30
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-0,00	0,00	108,30
Summe :	0,00	0,00	0,00

### Lastdaten Lastfall 5 (Erddruck Links (max))

TGZ : Trapezlast (global) Lastgeometrie über z-Koordinate							
Stab	Abstand von	Lastlänge	px.a	px.e	pz.a	pz.e	
von bis	Stabanfang [m]	[m]	[kN/m]				
63 63	0,00	0,50	93,20	97,70	0,00	0,00	
62 62	0,00	0,50	88,70	93,20	0,00	0,00	
61 61	0,00	0,50	84,20	88,70	0,00	0,00	
8 8	0,00	0,50	75,20	79,70	0,00	0,00	
7 7	0,00	0,50	70,70	75,20	0,00	0,00	
6 6	-0,00	0,50	66,20	70,70	0,00	0,00	
64 64	0,00	0,50	97,70	102,20	0,00	0,00	
60 60	0,00	0,50	79,70	84,20	0,00	0,00	
70 70	0,00	0,50	136,61	143,49	0,00	0,00	
69 69	0,00	0,50	129,73	136,61	0,00	0,00	
9 9	0,00	0,40	143,49	148,99	0,00	0,00	
67 67	0,00	0,50	115,96	122,84	0,00	0,00	
66 66	0,00	0,50	109,08	115,96	0,00	0,00	
65 65	-0,00	0,50	102,20	109,08	0,00	0,00	
10 10	0,00	0,40	148,99	154,50	0,00	0,00	
68 68	0,00	0,50	122,84	129,73	0,00	0,00	

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (4)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahn	Date: 07.12.2015

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 5

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	824,53	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	824,53	0,00	0,00
Summe :	0,00	0,00	-0,00

#### Lastdaten Lastfall 6 (Erddruck links (min))

SUP : Superposition von Ergebnissen  
Lastfall 5 bis 5 Wichtungsfaktor 0,700

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 6

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	577,17	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	577,17	0,00	0,00
Summe :	0,00	0,00	-0,00

#### Lastdaten Lastfall 7 (Erddruck rechts)

TGZ : Trapezlast (global) Lastgeometrie über z-Koordinate								
Stab		Abstand von	Lastlänge	px.a	px.e	pz.a	pz.e	
von	bis	Stabanfang [m]	[m]	[kN/m]				
75	75	0,00	0,50	-42,81	-47,30	0,00	0,00	
74	74	0,00	0,50	-38,33	-42,81	0,00	0,00	
73	73	0,00	0,50	-33,84	-38,33	0,00	0,00	
71	71	0,00	0,50	-24,86	-29,35	0,00	0,00	
13	13	0,00	0,50	-20,38	-24,86	0,00	0,00	
12	12	0,00	0,50	-15,89	-20,38	0,00	0,00	
72	72	0,00	0,50	-29,35	-33,84	0,00	0,00	
11	11	-0,00	0,50	-11,40	-15,89	0,00	0,00	
81	81	0,00	0,50	-81,77	-88,67	0,00	0,00	
15	15	0,00	0,40	-94,18	-99,70	0,00	0,00	
14	14	0,00	0,40	-88,67	-94,18	0,00	0,00	
79	79	0,00	0,50	-67,98	-74,88	0,00	0,00	
78	78	0,00	0,50	-61,09	-67,98	0,00	0,00	
77	77	0,00	0,50	-54,19	-61,09	0,00	0,00	
80	80	0,00	0,50	-74,88	-81,77	0,00	0,00	
76	76	-0,00	0,50	-47,30	-54,19	0,00	0,00	

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 7

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	-396,70	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (5)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 7

	Rx [kN]	Ry	Rz
Bettungskräfte :	-396,70	0,00	-0,00
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 8 (Erddruck aus Verkehr links)

LG : Linienlast (global)			
Stab	px	pz	
von bis	[kN/m]		
6 10	14,30	0,00	
60 70	14,30	0,00	

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 8

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	111,54	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	111,54	0,00	0,00
Summe :	0,00	0,00	-0,00

#### Lastdaten Lastfall 9 (Erddruck aus Verkehr rechts)

LG : Linienlast (global)			
Stab	px	pz	
von bis	[kN/m]		
11 15	-7,30	0,00	
71 81	-7,30	0,00	

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 9

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	-56,94	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-56,94	0,00	-0,00
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 10 (Auftrieb Sohle)

LG : Linienlast (global)			
Stab	px	pz	
von bis	[kN/m]		
16 20	0,00	-30,00	
41 59	0,00	-30,00	
82 83	0,00	-30,00	

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (6)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 10

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	-369,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	-369,00
Summe :	-0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 11 (Temperatur +10K)

TEMP: Temperatur  
 Stab                      tm              tu-to  
 von      bis              [K]  
       1        83      10,00      0,00

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 11

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-0,00	0,00	0,00
Summe :	0,00	0,00	-0,00

#### Lastdaten Lastfall 12 (Temperatur -10K)

TEMP: Temperatur  
 Stab                      tm              tu-to  
 von      bis              [K]  
       1        83     -10,00      0,00

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 12

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	-0,00
Summe :	-0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 13 (LM 1 links)

LG : Linienlast (global)  
 Stab                      px              pz  
 von      bis              [kN/m]  
       16      17      0,00      57,70  
       19      19      0,00      57,70  
       41      49      0,00      57,70

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (7)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 13

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	326,01
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-0,00	0,00	326,01
Summe :	0,00	0,00	0,00

### Lastdaten Lastfall 14 (LM1 rechts)

LG : Linienlast (global)				
Stab		px		pz
von	bis			[kN/m]
18	18	0,00		57,70
20	20	0,00		57,70
50	59	0,00		57,70

### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 14

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	331,77
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-0,00	0,00	331,77
Summe :	0,00	0,00	0,00

### Bemessung nach DIN EN 1992-1-1:2011 mit NA:2013-04

Die Nachweise gelten für Bauwerke aus Stahlbeton und Spannbeton mit und ohne Verbund. Die Einwirkungen werden nach DIN EN 1990, Gl. (6.10), mit den Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten gemäß NA:2012 kombiniert.

**Alle Nachweise erfolgen für die Extremwerte der Einwirkungen.**

### Bemessungsvorgaben

Qu.	Expos. klasse	Vorspannung des Bauteils	Bewehrung M R B Q T	Ermüd. S P C	Riss-br.	De-komp.	Spannungen Druck S P
1	XC3	Nicht vorgesp.	x . x x .	. . .	.	.	. . .
2	XC4	Nicht vorgesp.	x . x x .	. . .	.	.	. . .
3	XC4	Nicht vorgesp.	x . x x .	. . .	.	.	. . .
4	XC1	Nicht vorgesp.	x . x x .	. . .	.	.	. . .

(M) Mindestbewehrung zur Sicherstellung der Robustheit.

(R) Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite.

(B) Längsbewehrung aus Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.

(Q) (Mindest-)Querkraftbewehrung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.

(T) Torsionsbewehrung aus Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.

(S) Betonstahl im Spannungs- und Ermüdungsnachweis.

(P) Spannstahl im Spannungs- und Ermüdungsnachweis.

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (8)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

(C) Beton im Ermüdungsnachweis.

### Vorgaben für den Nachweis der Längs- und Schubbewehrung

M,N Bemessungsmodus für Biegung und Längskraft:  
(ST) Standard, (SY) Symmetrisch, (DG) Druckglied.  
fyk Stahlgüte der Bügel.  
Theta Neigung der Betondruckstreben. Der eingegebene Wert für cot Theta wird programmseitig auf den Wertebereich nach Gl. (NA.6.7a) begrenzt.  
Pl. Balken werden wie Platten bemessen.  
Asl Vorh. Biegezugbewehrung nach Bild 6.3, autom. Erhöhung bis Maximum.  
rhov Faktor für Mindestbewehrungsgrad  $\rho_{w,min}$  nach Gl. (9.5a/bDE).  
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. max	Fak. rhov	Nw. x,y	cvl [mm]	Red. Vor- spg.
1 C25/30-EN-D	.	ST	450	1,00	.	0,00	1,00	.	80	.
2 C25/30-EN-D	.	ST	450	1,00	.	0,00	1,00	.	80	.
3 C25/30-EN-D	.	ST	450	1,00	.	0,00	1,00	.	80	.
4 C25/30-EN-D	.	ST	450	1,00	.	0,00	1,00	.	80	.

### Schubquerschnitte

kb, kd Faktor zur Berechnung des inneren Hebelarms z aus der Nutzbreite bn bzw. der Nutzhöhe d.

Qu.	Breite [m] bw	Nutzbreite bn [m]	kb	Höhe [m] h	Nutzhöhe d [m]	kd	Torsionsquerschn. [m] z1 z2 tef	K.
1	1,000	.	.	.	0,920	0,90	.	.
2	1,000	.	.	.	0,720	0,90	.	.
3	1,000	.	.	.	0,920	0,90	.	.
4	1,000	.	.	.	0,720	0,90	.	.

### Spannungsberechnung für Stäbe

Beim Nachweis der Robustheitsbewehrung erfolgt die Spannungsberechnung am Bruttoquerschnitt.

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe im Grenzzustand der Tragfähigkeit

	Beton (gamma.c)	Betonstahl (gamma.s)	Spannstahl (gamma.s)
Ständige und vorübergehende Komb., Erdbeben	1,50	1,15	1,15
Außergewöhnliche Kombination	1,30	1,00	1,00
Nachweis gegen Ermüdung	1,50	1,15	1,15

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (9)	
Job:	I 396	M = 1:	



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

#### Querschnittsgeometrie und Betonstahl für Stäbe

Qu.	Pkt.	Beton		Betonstahl		y [m]	z [m]	d1 [m]	As [cm²]
		y [m]	z [m]	Es, fyk [MN/m²]					
1	1	0,000	0,000	200000	500	0,500	0,080	0,080	0,00
	2	1,000	0,000	200000	500	0,500	0,920	0,080	0,00
	3	1,000	1,000						
	4	0,000	1,000						
2	1	0,000	0,000	200000	500	0,500	0,080	0,080	0,00
	2	1,000	0,000	200000	500	0,500	0,720	0,080	0,00
	3	1,000	0,800						
	4	0,000	0,800						
3	1	0,000	0,000	200000	500	0,500	0,080	0,080	0,00
	2	1,000	0,000	200000	500	0,500	0,920	0,080	0,00
	3	1,000	1,000						
	4	0,000	1,000						
4	1	0,000	0,000	200000	500	0,500	0,080	0,080	0,00
	2	1,000	0,000	200000	500	0,500	0,720	0,080	0,00
	3	1,000	0,800						
	4	0,000	0,800						

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (10)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm: InfoGraph GmbH, Aachen		Projekt Nr. I 396
Version: Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH		Image.No.
Project: Tunnel Vahrn		Date: 07.12.2015
<p><b>DIN EN 1992-1-1 Einwirkungen</b></p> <p><b>Standard Bemessungsgruppe</b></p> <p><b>G - Eigenlast</b></p> <p>Gamma.sup / gamma.inf = 1,35 / 1</p> <p>Lastfälle</p> <p>-----</p> <p>1      Eigenlast</p> <p><b>GE - Erddruck</b></p> <p>Gamma.sup / gamma.inf = 1,35 / 1</p> <p>Lastfälle</p> <p>-----</p> <p>K4      Erddruck überlagert</p> <p><b>QN - Nutzlast, Verkehrslast</b></p> <p>Gamma.sup / gamma.inf = 1,5 / 0</p> <p>Kombinationsbeiwerte psi für: Hochbauten</p> <p>Nutzlasten - Kategorie A: Wohngebäude</p> <p>Psi.0 / Psi.1 / Psi.2 = 0,7 / 0,5 / 0,3</p> <p>Lastfälle 1. Variante, inklusiv</p> <p>-----</p> <p>4      Verkehr auf Decke</p> <p>8      Erddruck aus Verkehr links</p> <p>9      Erddruck aus Verkehr rechts</p> <p>13     LM 1 links</p> <p>14     LM1 rechts</p> <p><b>QT - Temperatureinwirkung</b></p> <p>Gamma.sup / gamma.inf = 1,35 / 0</p> <p>Kombinationsbeiwerte psi für: Hochbauten</p> <p>Temperatureinwirkungen (ohne Brand)</p> <p>Psi.0 / Psi.1 / Psi.2 = 0,6 / 0,5 / 0</p> <p>Lastfälle 1. Variante, exklusiv</p> <p>-----</p> <p>11     Temperatur +10K</p> <p>12     Temperatur -10K</p>		
Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.
Station:	Typ K2	Page (11)
Job:	I 396	M = 1:
		Register No.

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015
<b>1. Ständige und vorübergehende Situation</b>		
Endzustand		
G - Eigenlast GE - Erddruck QN - Nutzlast, Verkehrslast QT - Temperatureinwirkung		
<b>1. Seltene (charakteristische) Situation</b>		
Endzustand		
G - Eigenlast GE - Erddruck QN - Nutzlast, Verkehrslast		
<b>1. Häufige Situation</b>		
Endzustand		
G - Eigenlast GE - Erddruck QN - Nutzlast, Verkehrslast		
<b>1. Quasi-ständige Situation</b>		
Endzustand		
G - Eigenlast GE - Erddruck QN - Nutzlast, Verkehrslast		
Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.
Station:	Typ K2	Page (12)
Job:	I 396	M = 1:
		Register No.

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

## NACHWEISE FÜR STÄBE

### Nachweis der Längsbewehrung

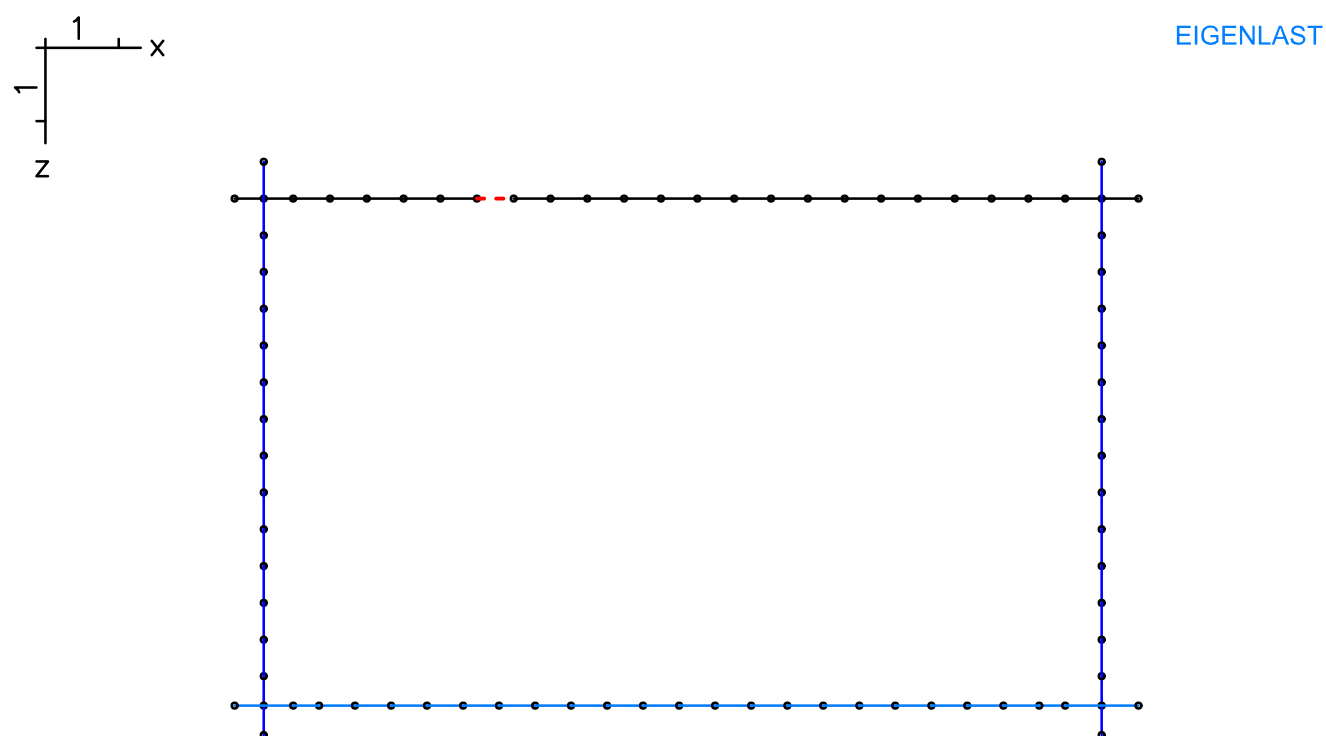
Es wurden keine Überschreitungen der zulässigen Grenzwerte festgestellt.

### Nachweis der Schubbewehrung

Es wurden keine Überschreitungen der zulässigen Grenzwerte festgestellt.

### Liste der Kombinationen

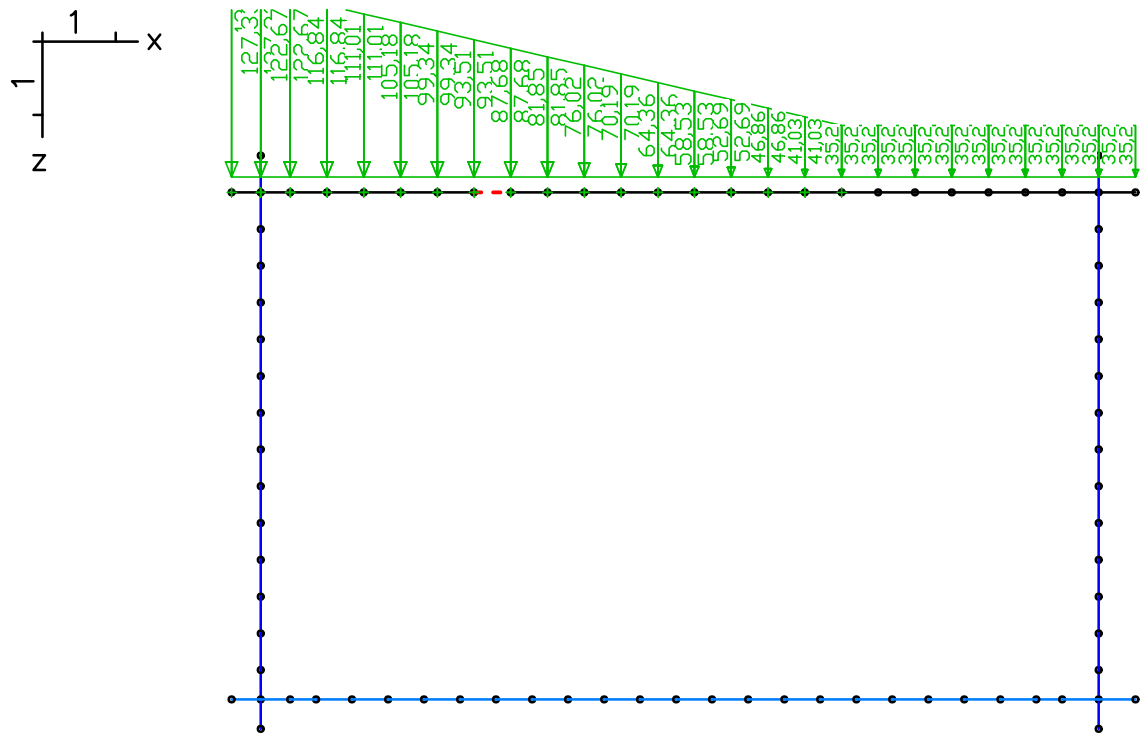
Nr.	Bezeichnung
1	Erddruck Fall 1) max Feldmoment
2	Erddruck Fall 2) max Wandmoment
3	Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment
4	Erddruck überlagert



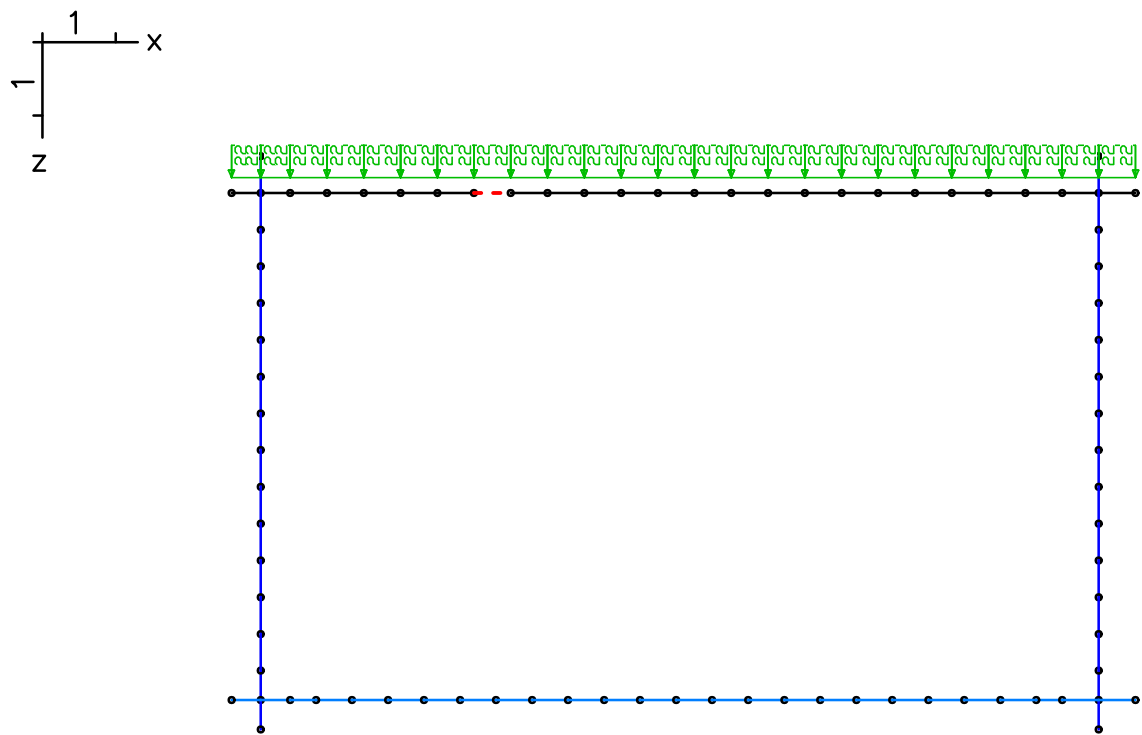
LF 1: Belastung, Eigenlast

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (13)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



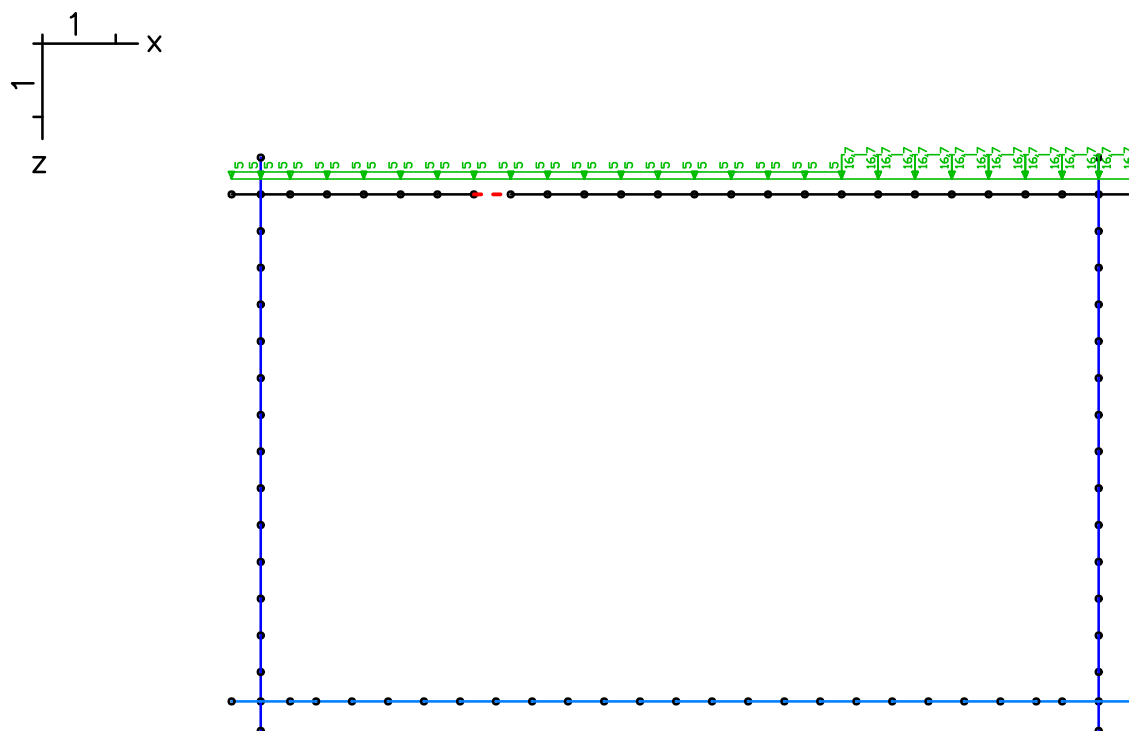
LF 2: Belastung, Erdauflast\_max



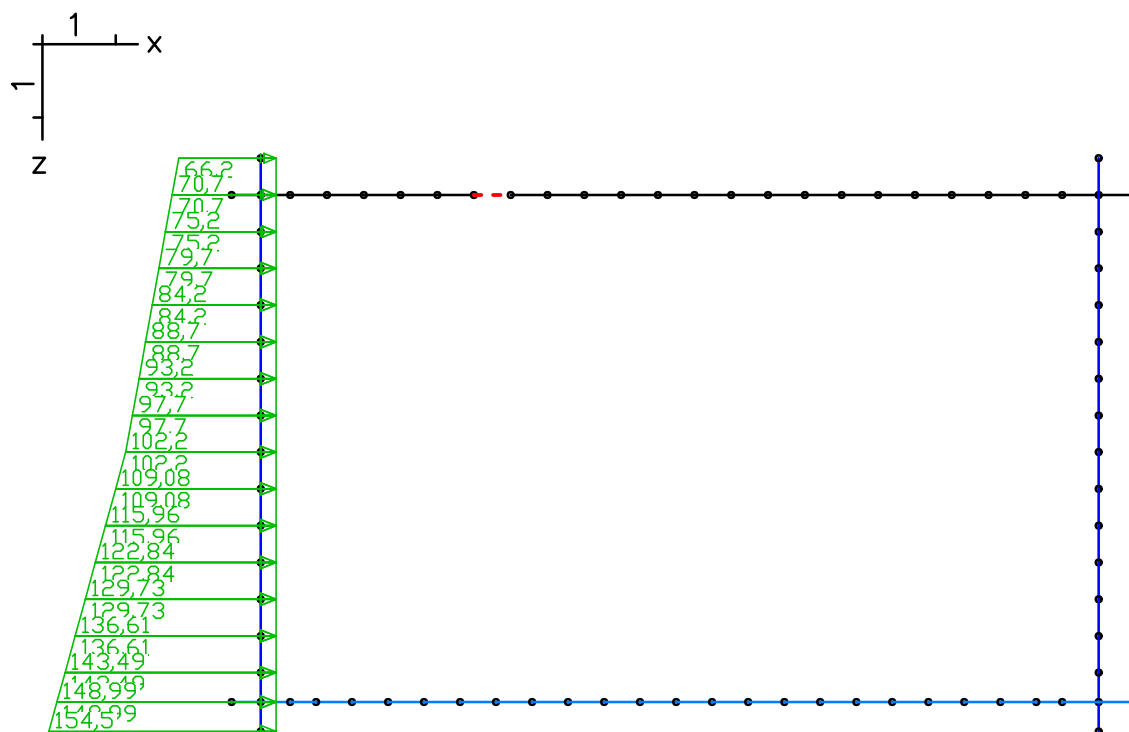
LF 3: Belastung, Erdauflast min

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (14)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



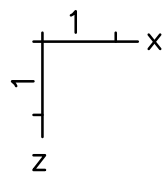
LF 4: Belastung, Verkehr auf Decke



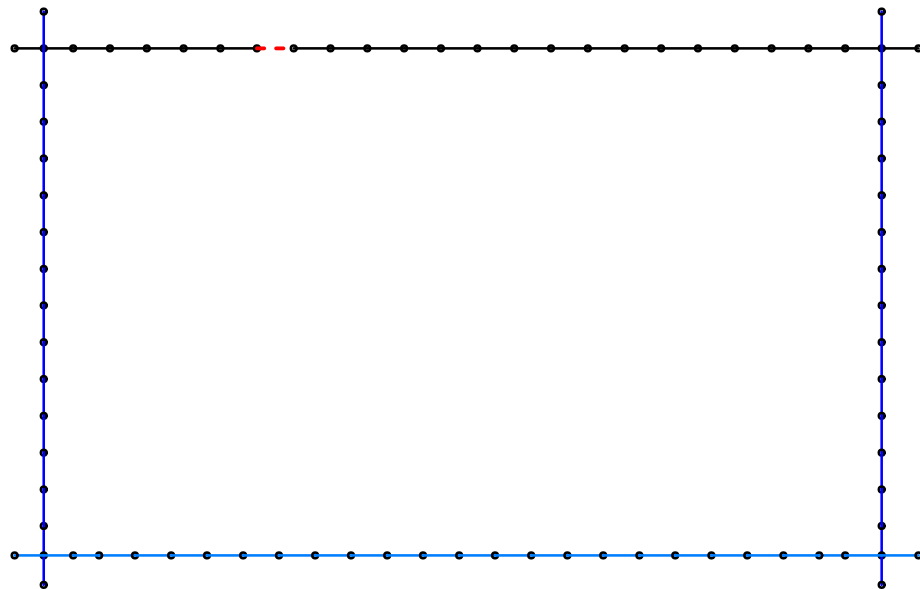
LF 5: Belastung, Erddruck Links (max)

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (15)	
Job:	I 396	M = 1:	

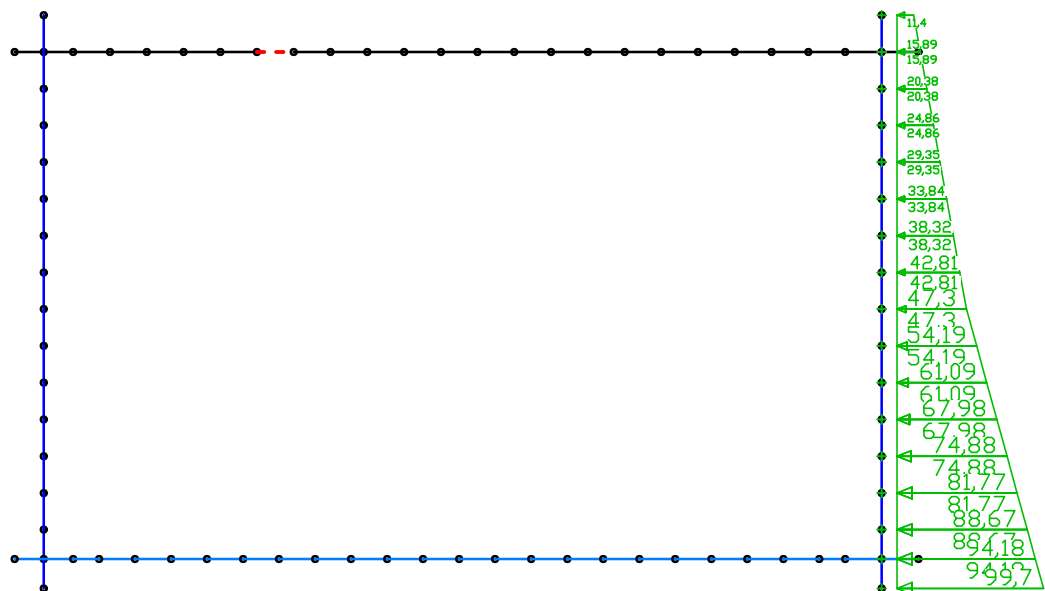
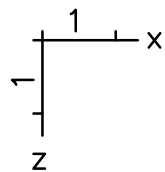
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



SUP:(5-5)\*0,7



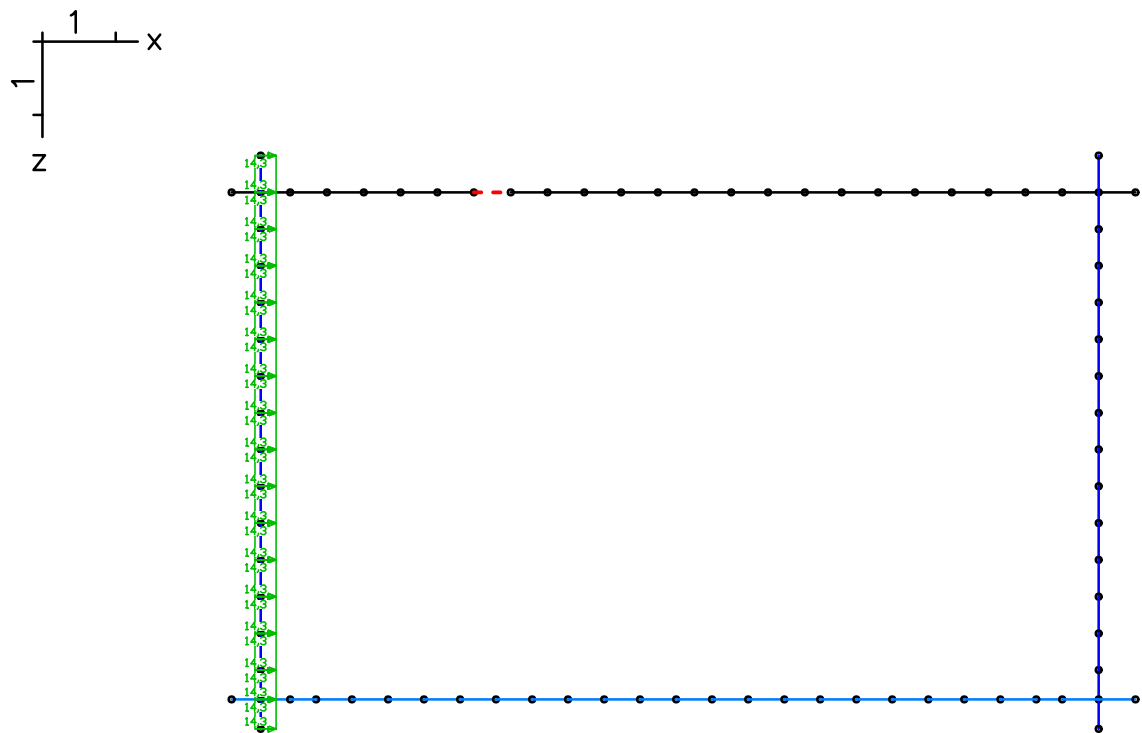
LF 6: Belastung, Erddruck links (min)



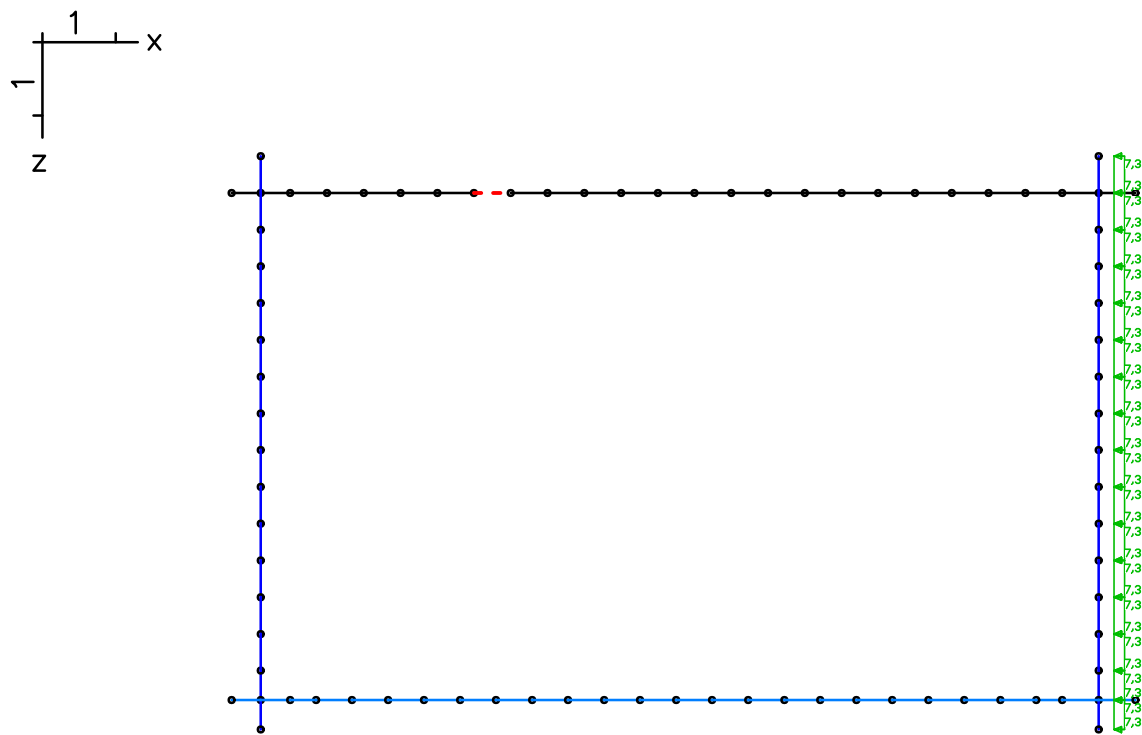
LF 7: Belastung, Erddruck rechts

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (16)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



LF 8: Belastung, Erddruck aus Verkehr links

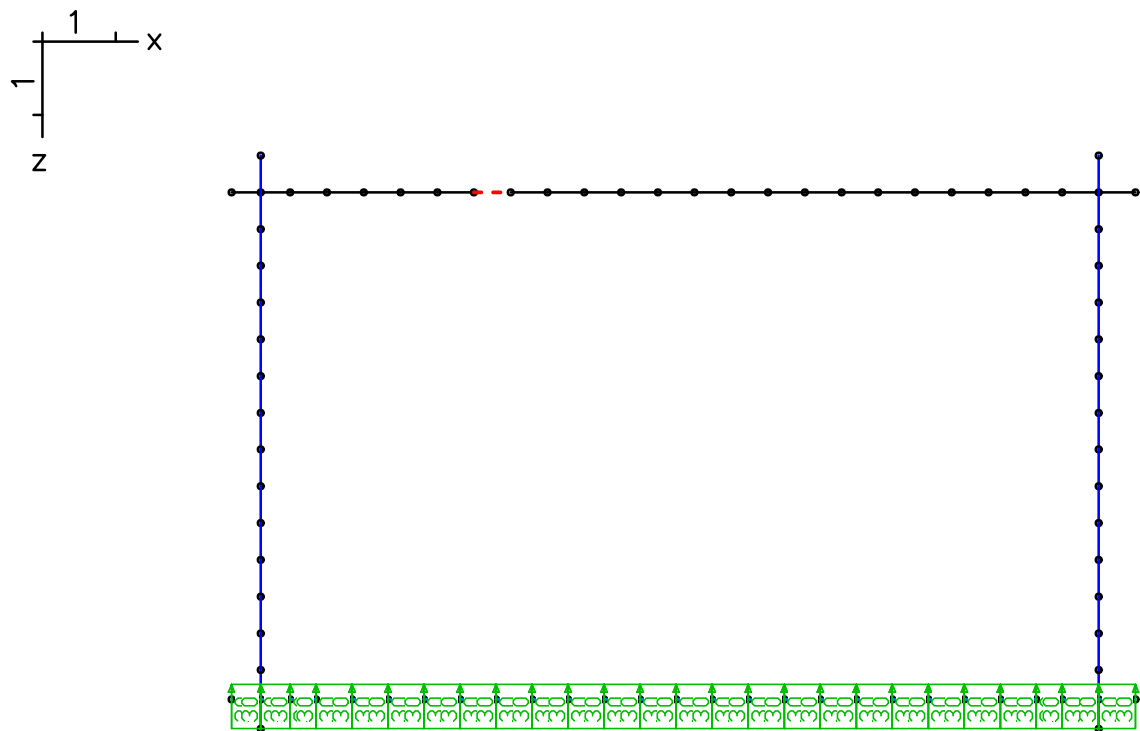


LF 9: Belastung, Erddruck aus Verkehr rechts

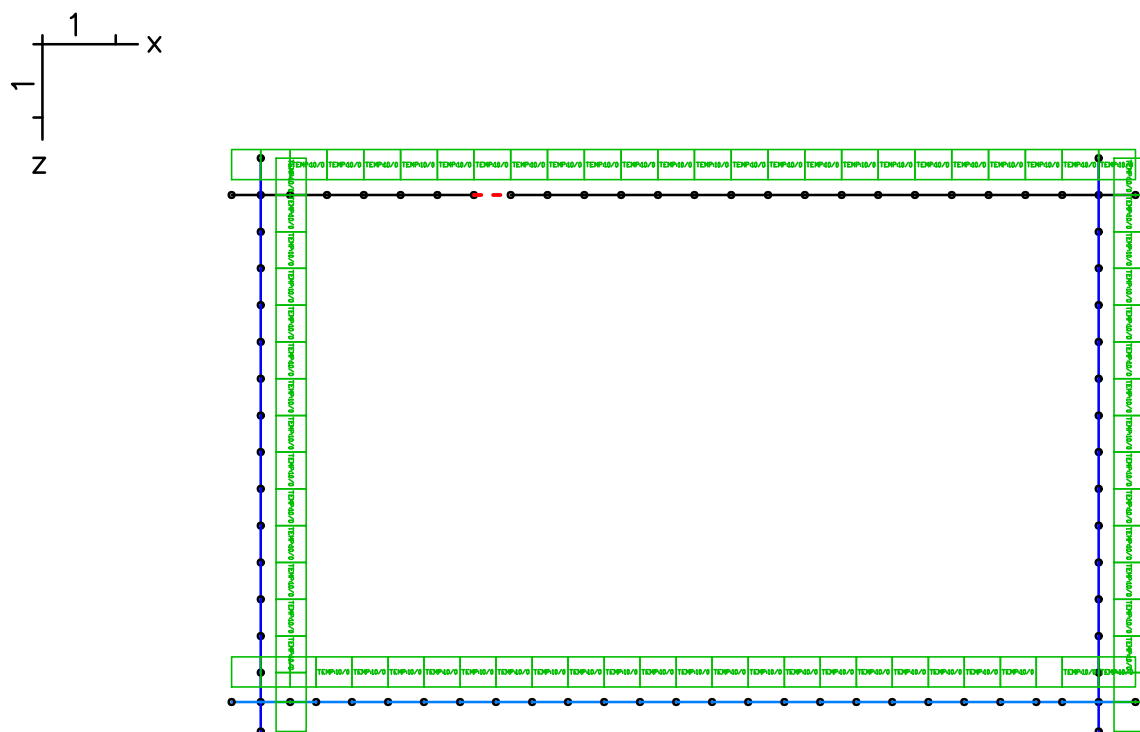
Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (17)	
Job:	I 396	M = 1:	



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



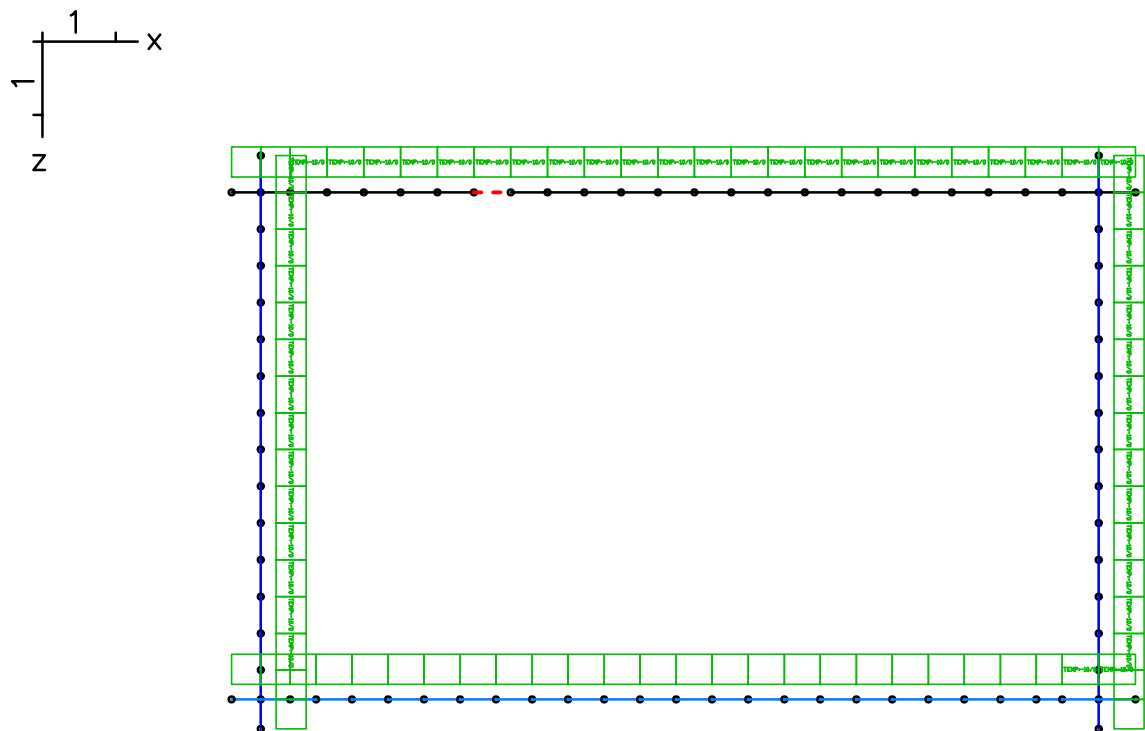
LF 10: Belastung, Auftrieb Sohle



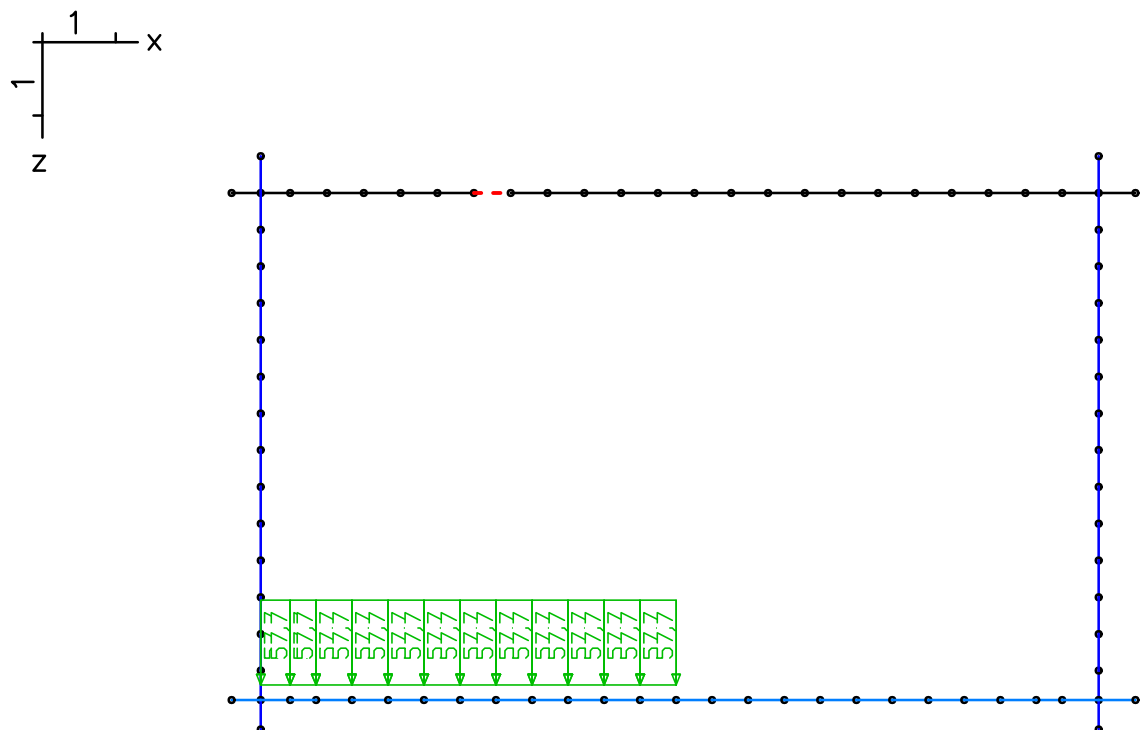
LF 11: Belastung, Temperatur +10K

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (18)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



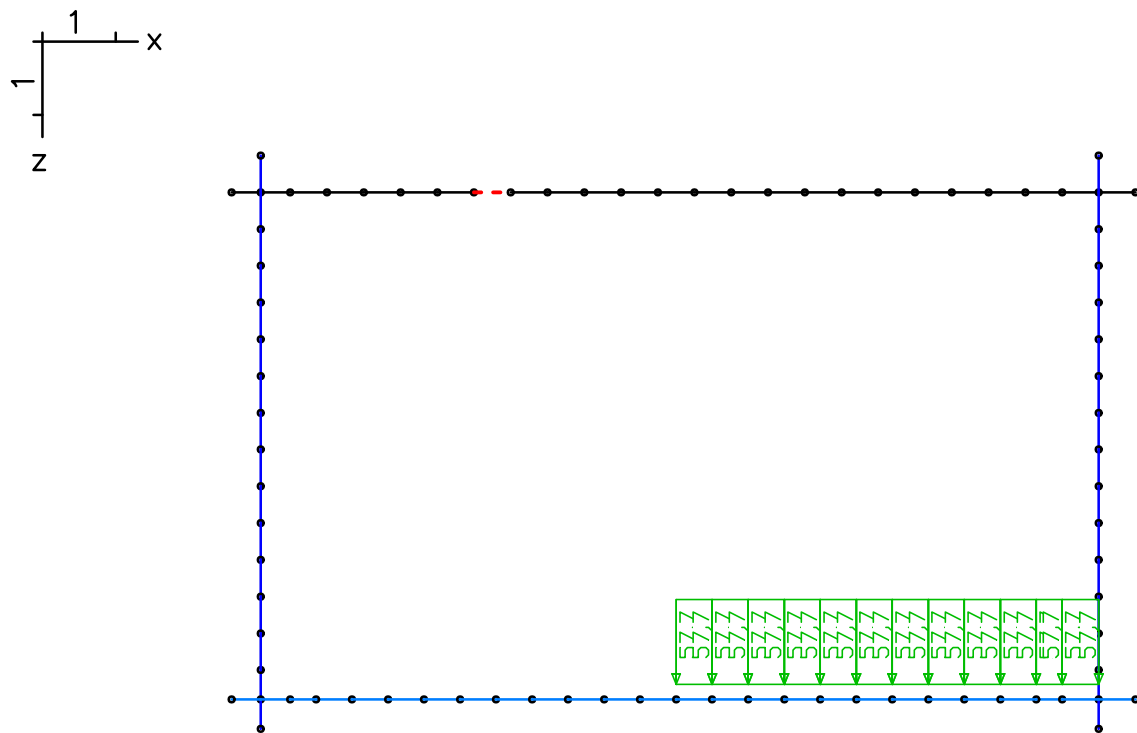
LF 12: Belastung, Temperatur -10K



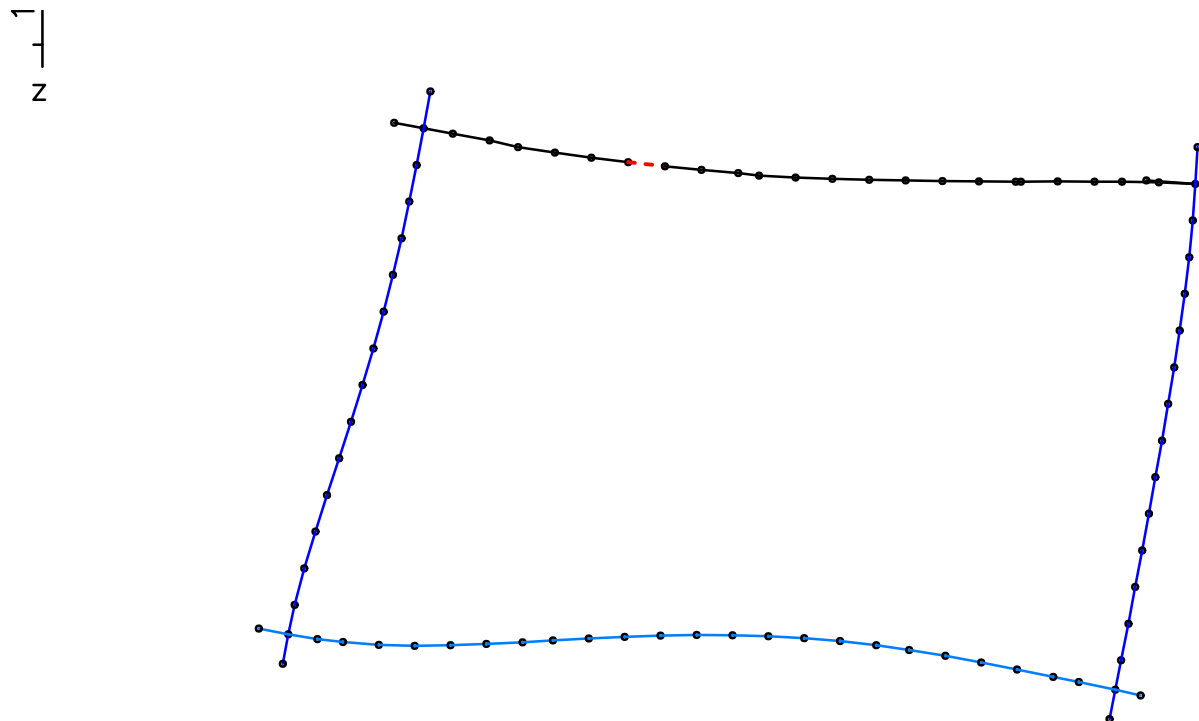
LF 13: Belastung, LM 1 links

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (19)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



LF 14: Belastung, LM1 rechts

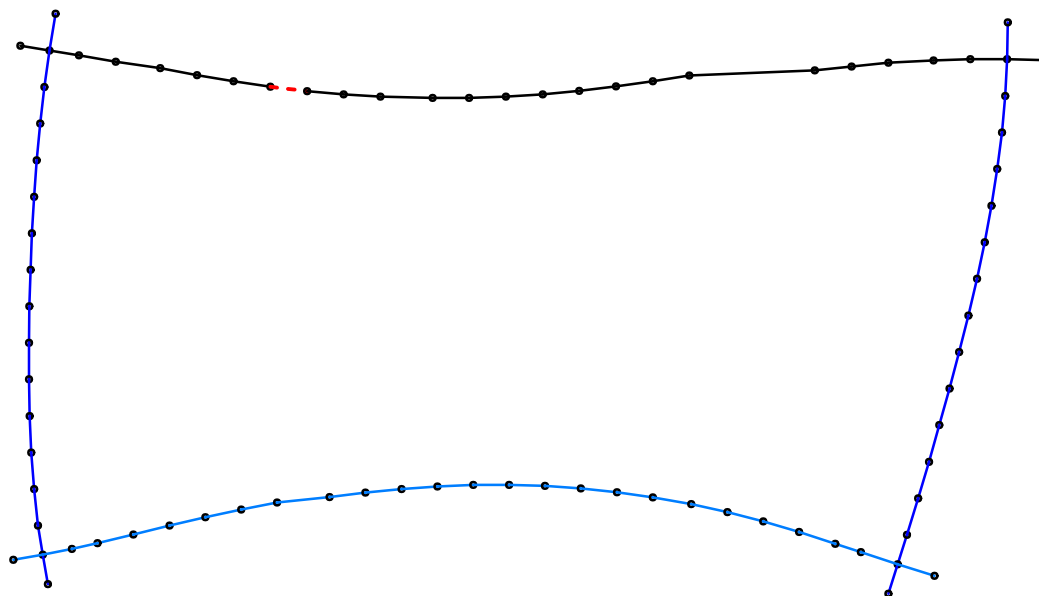


Deformationen uz min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (20)	
Job:	I 396	M = 1:	

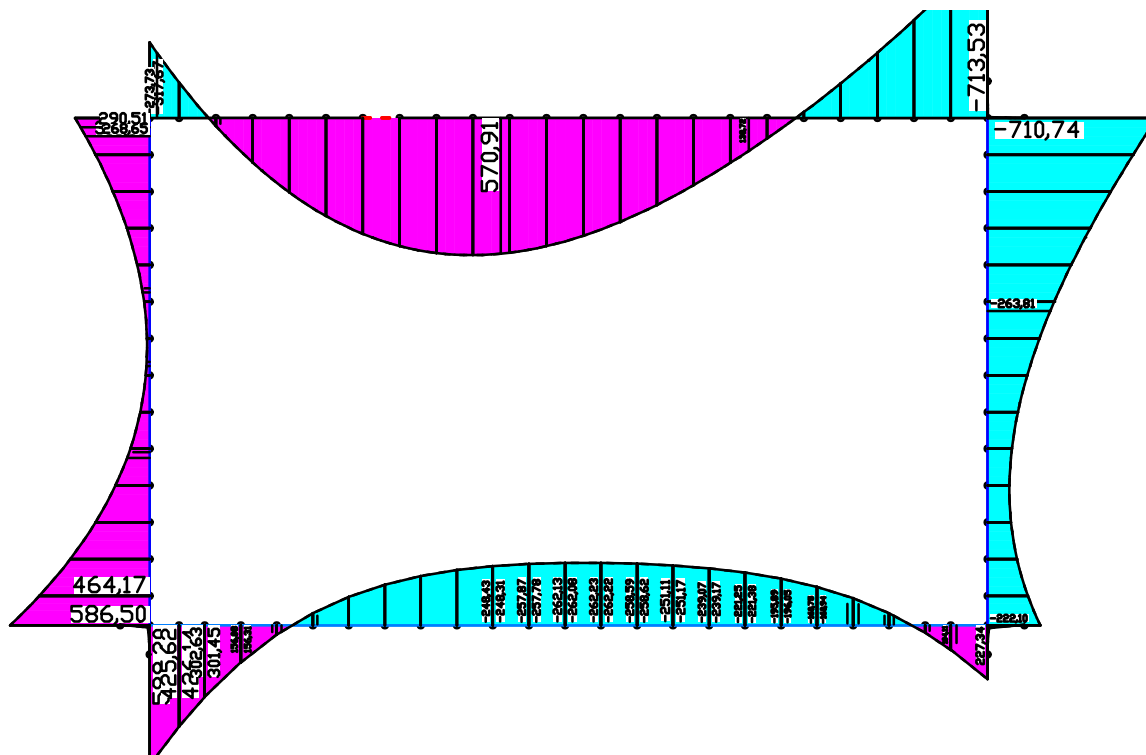
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

Z



Deformationen uz max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1

Z



Schnittgrößen My min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (21)	
Job:	I 396	M = 1:	

Date: 07.12.2015

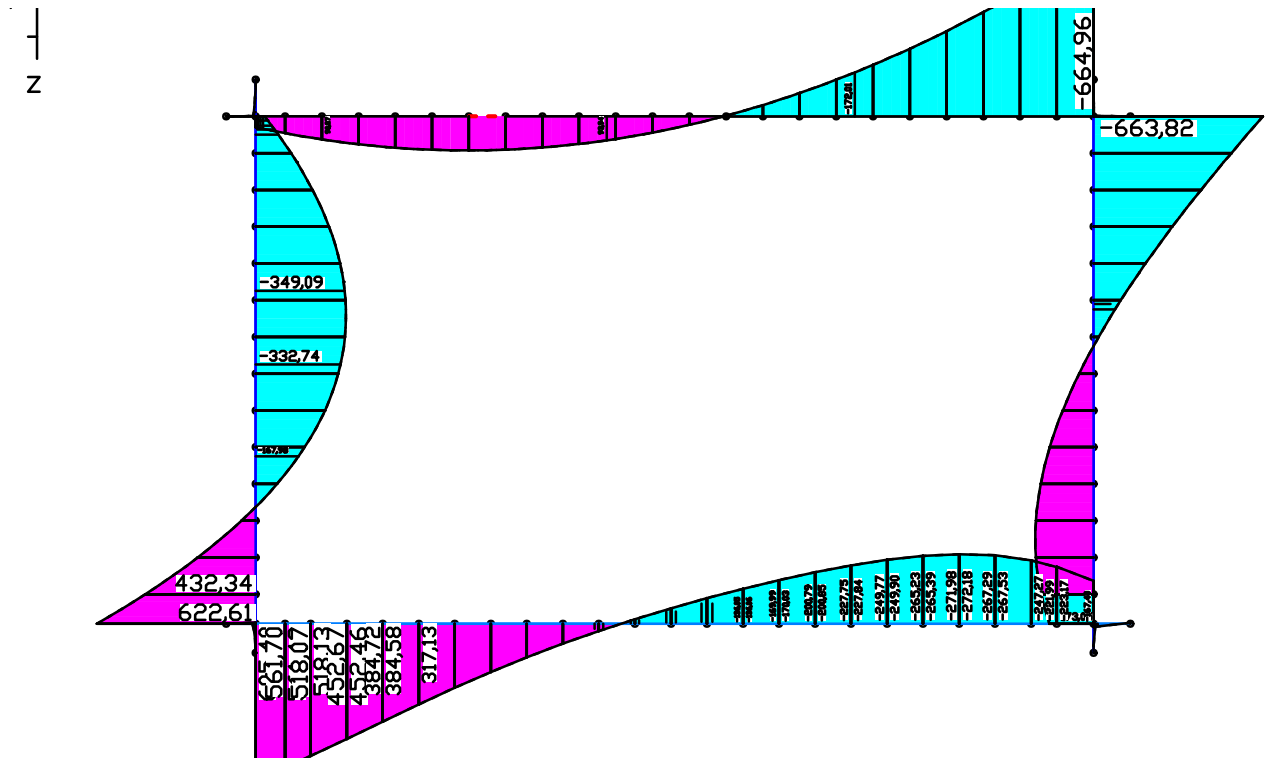
Schnittgrößen  $N_x$  min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment



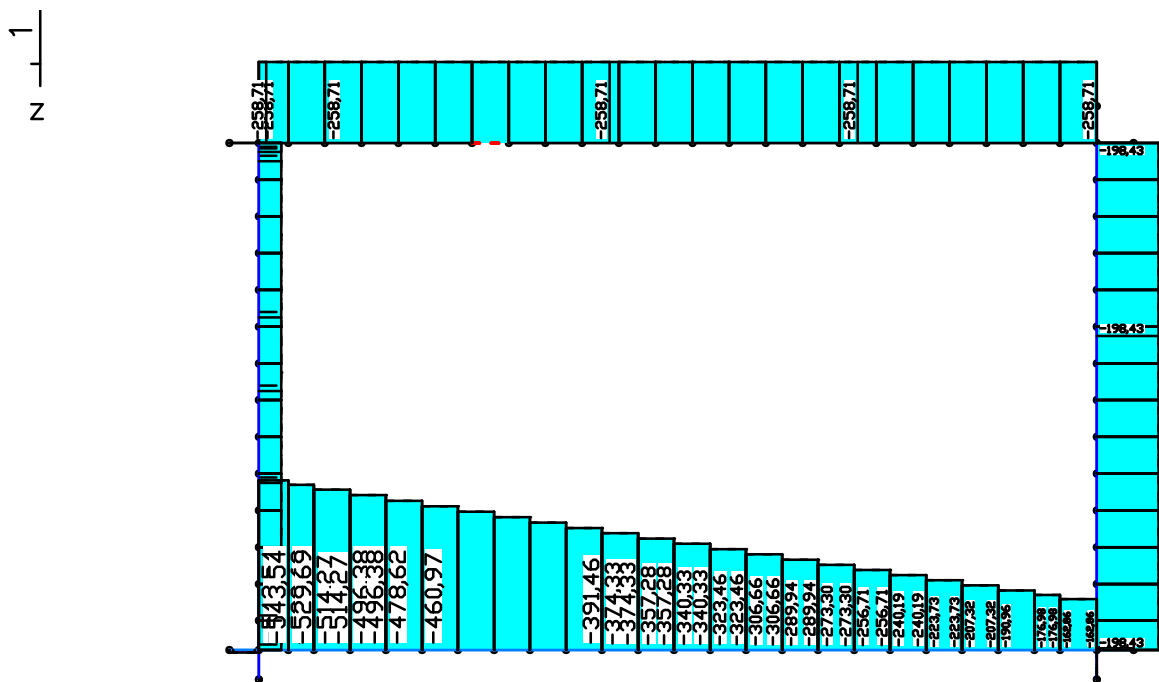
Schnittgrößen  $Q_z$  min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment

M = 1:

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



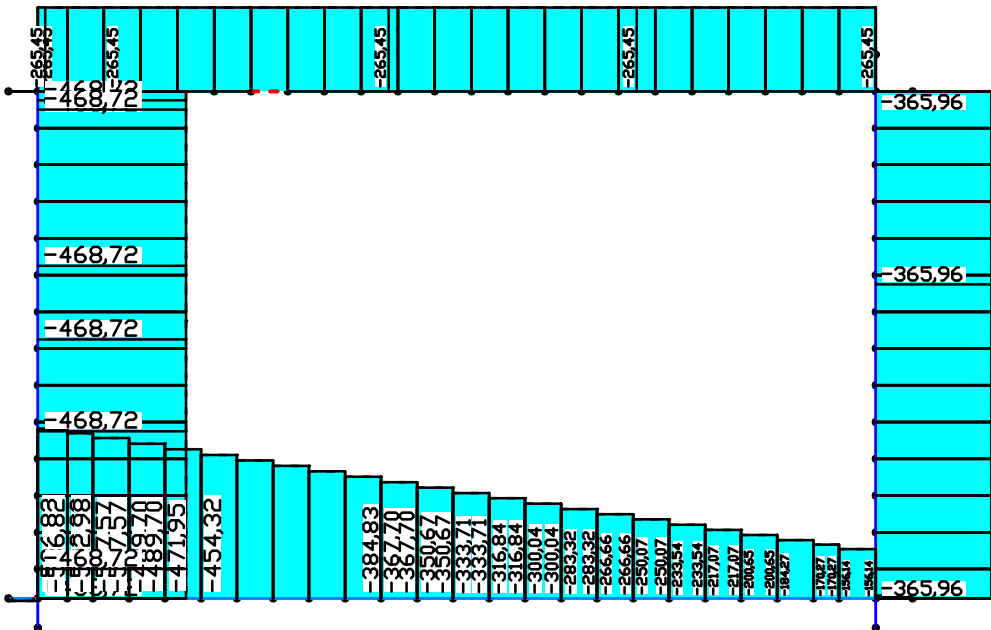
Schnittgrößen My min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment



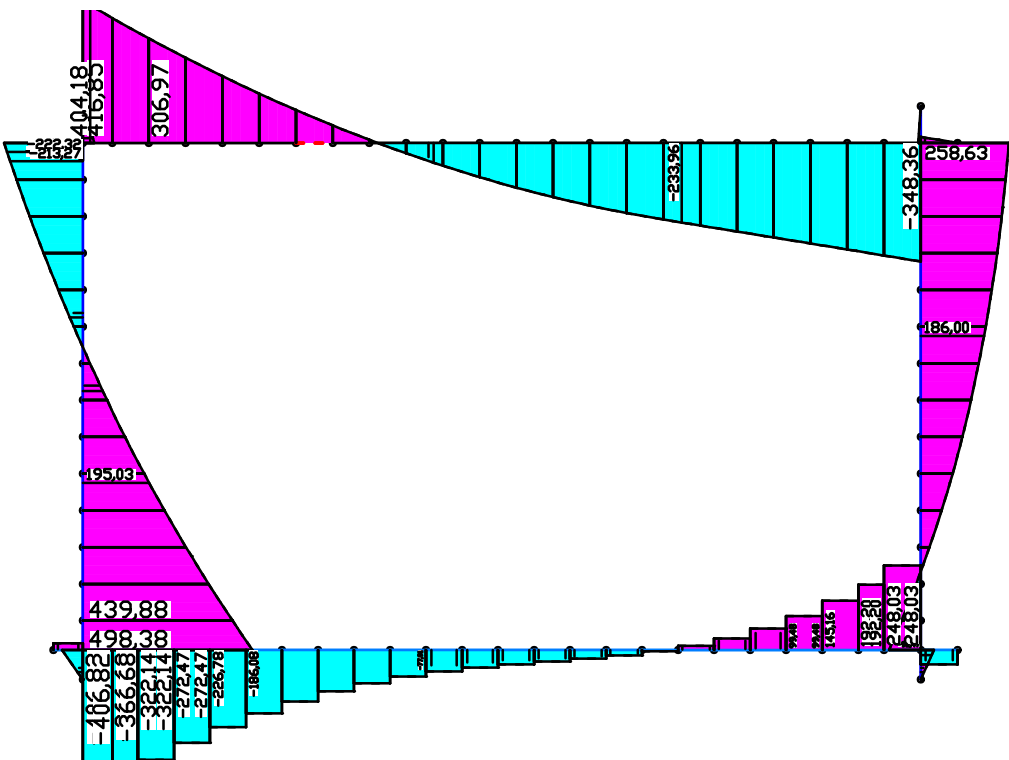
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (23)	
Job:	I 396	M = 1:	



Date: 07.12.2015

Schnittgrößen  $N_x$  min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment

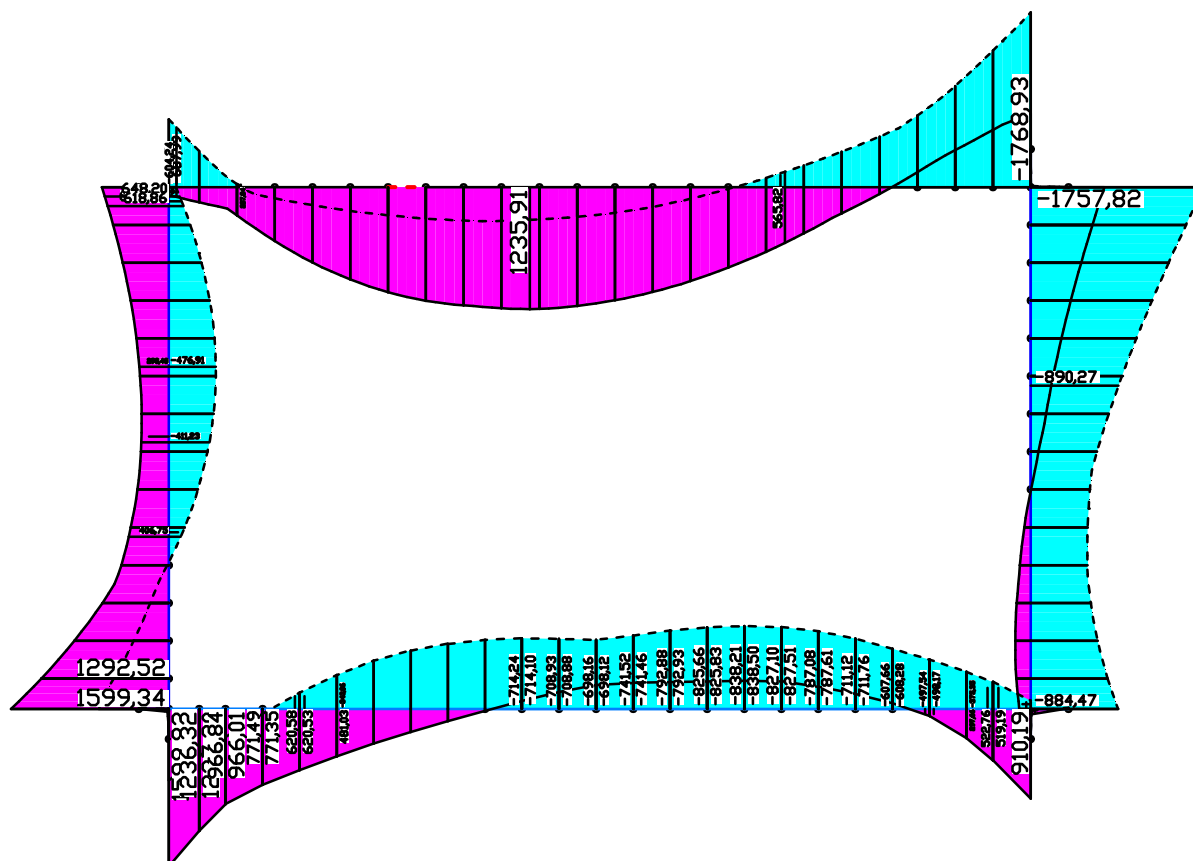
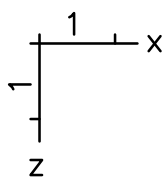


Schnittgrößen Qz min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment

M = 1:



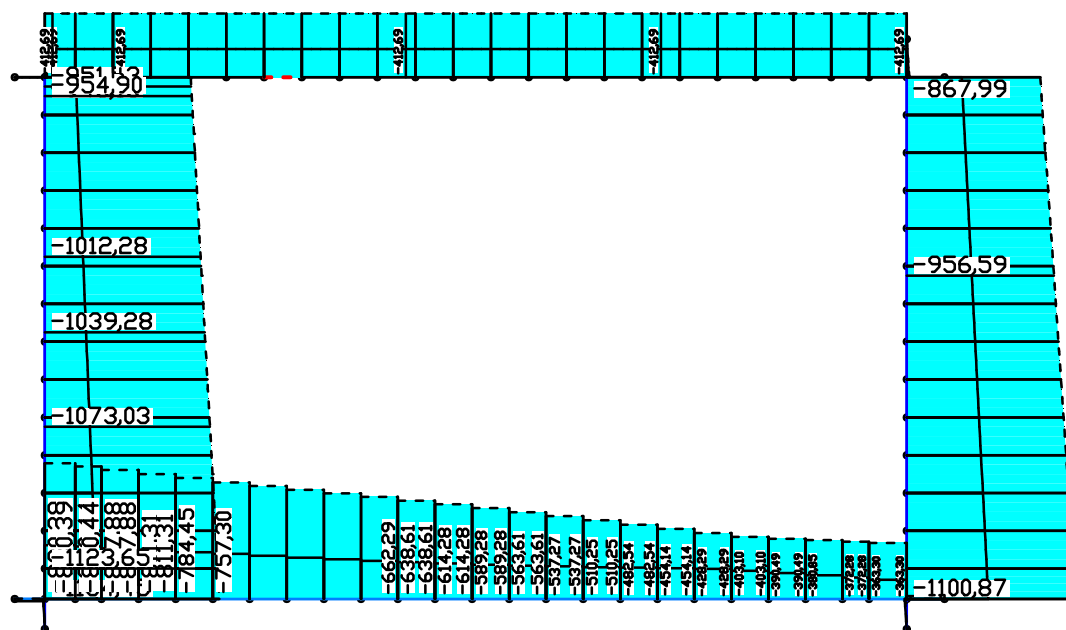
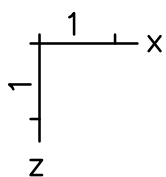
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015




LFK DIN1992.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1  
Schnittgrößen min,max My. 766,32 [kNm] =   
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -1768,93/1599,34 [kNm]

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (26)	
Job:	I 396	M = 1: 100	

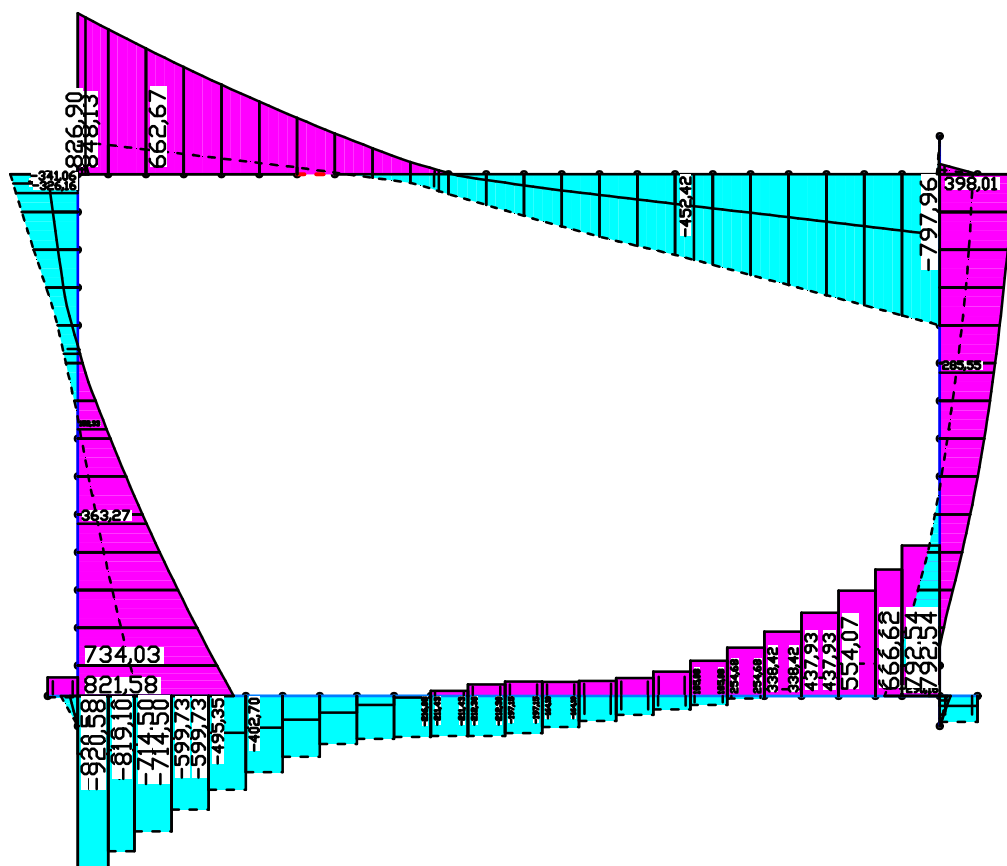
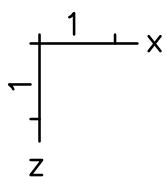
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



LFK DIN1992.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1  
Schnittgrößen min,max Nx. 491,46 [kN] =   
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -1134,45/16,03 [kN]

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (27)	
Job:	I 396	M = 1: 100	

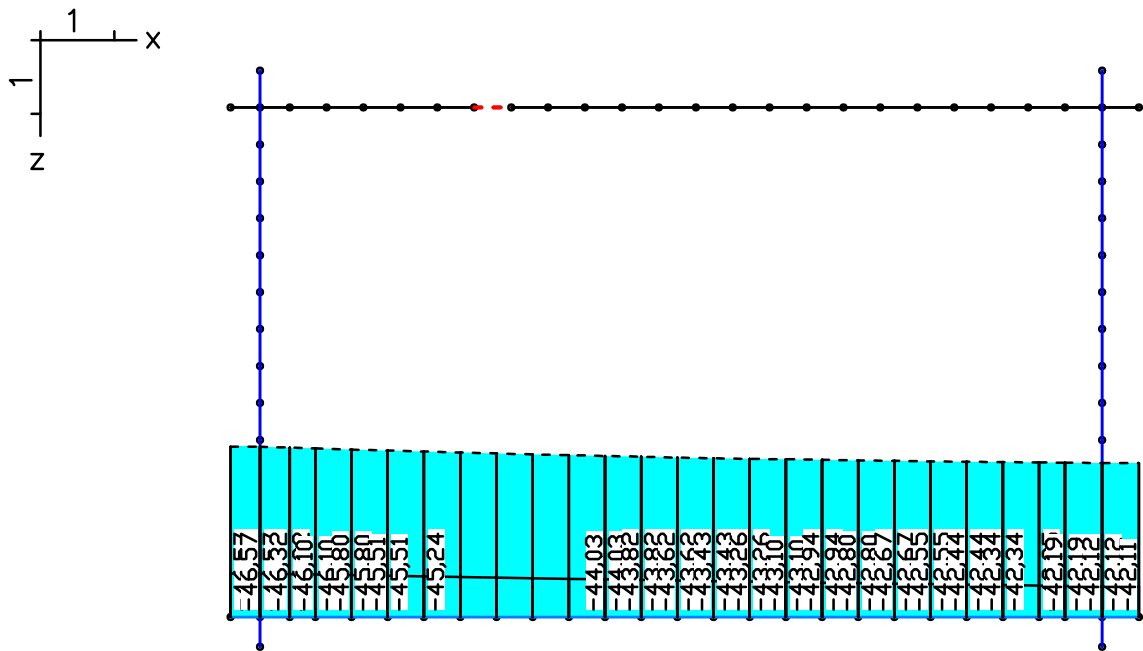
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



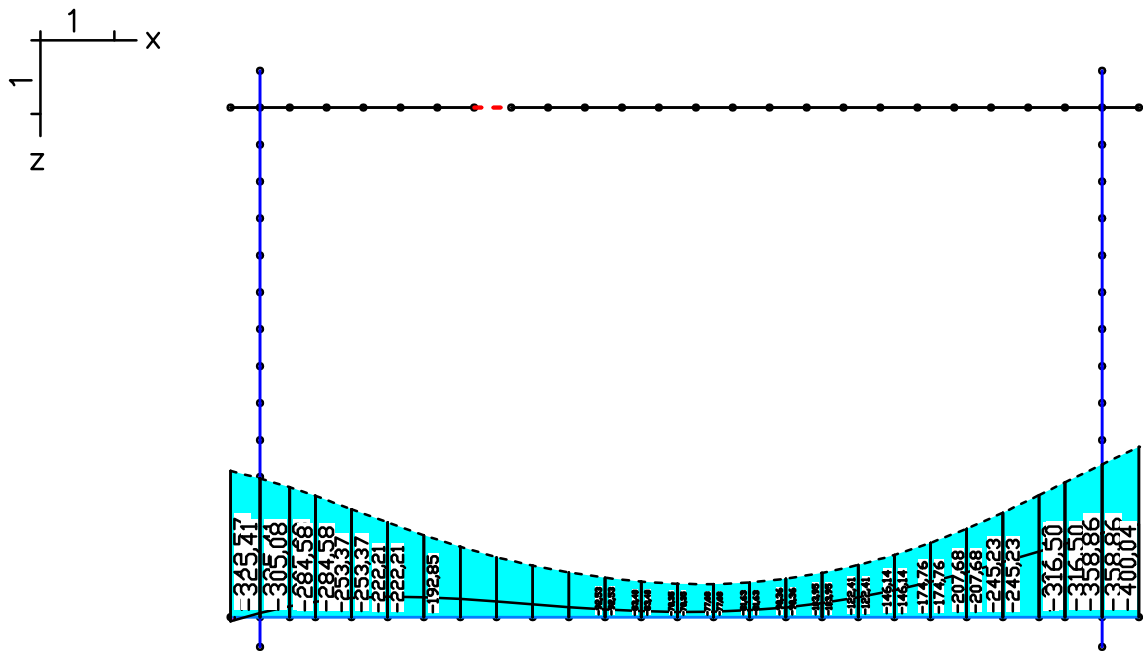
LFK DIN1992.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1  
Schnittgrößen min,max Qz. 398,80 [kN] =   
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -920,58/848,13 [kN]

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (28)	
Job:	I 396	M = 1: 100	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahn	Date: 07.12.2015



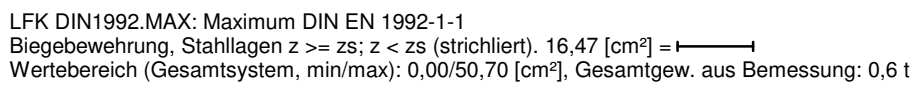
Bodenpressungen Sigma.x min, max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1



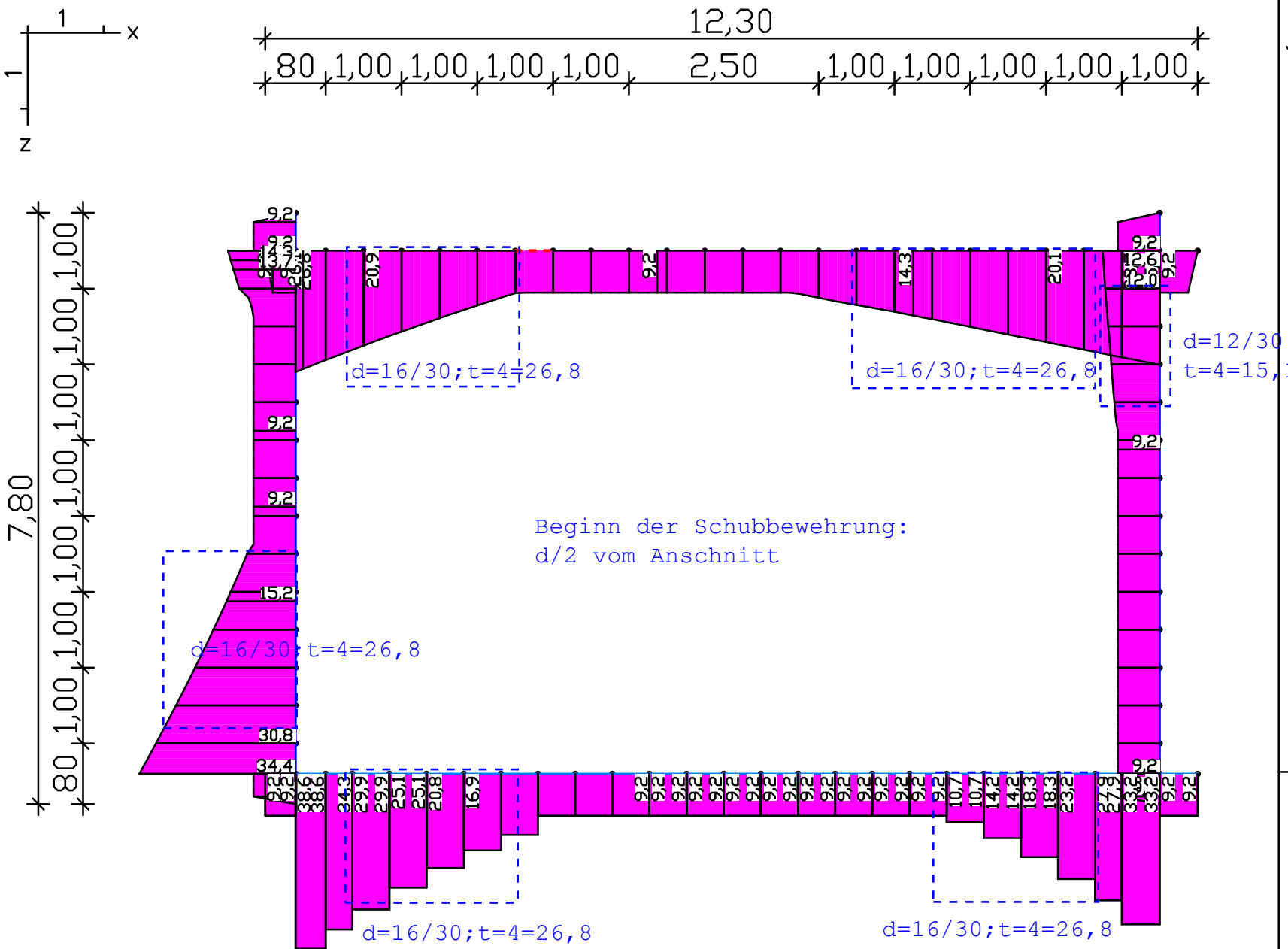
Projekt Nr. 1396


Image.No.

Date: 07.12.2015

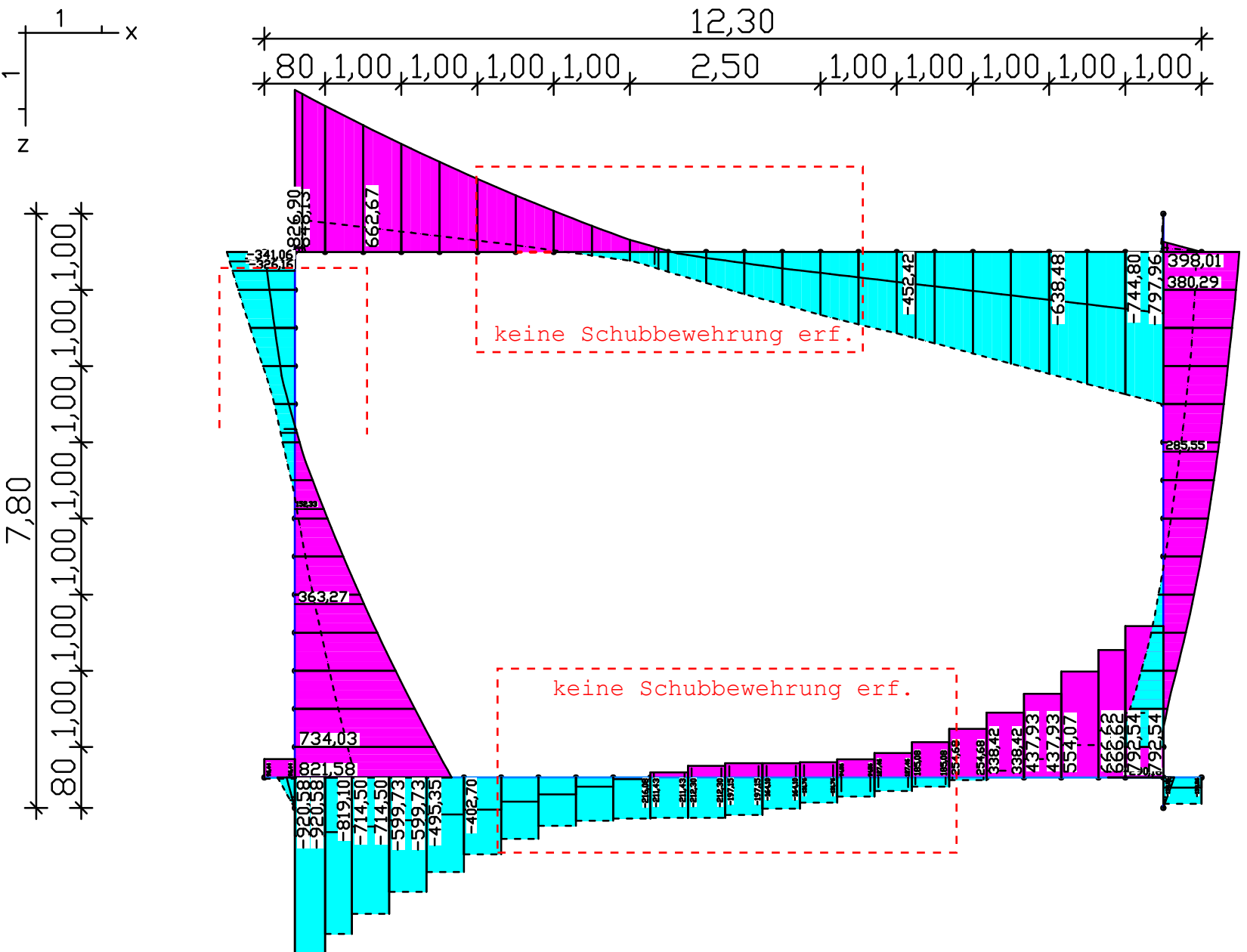



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. 1 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahn	Date: 07.12.2015



LFK DIN1992.BRUCH: Tragfähigkeit DIN EN 1992-1-1  
Bügelbewehrung aus Querkraft Qz. 12,53 [cm<sup>2</sup>/m] =   
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 0,00/38,57 [cm<sup>2</sup>/m]

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K2	Page (31)	
Job:	I 396	M = 1:75	



LFK DIN1992.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1  
Schnittgrößen min,max Qz. 299,10 [kN] =   
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -920,58/848,13 [kN]

Content: Kastenbauweise

Pos. Nr.

Register No.

Station:

Typ k2

Page (32)

Job:

1396

M = 1:75

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

## INHALT

Inhalt .....	(1)
Stabwerksberechnung .....	(1)
DIN EN 1992-1-1 Bemessung .....	(8)
Liste der Kombinationen .....	(13)
LF 1: Belastung, Eigenlast .....	(13)
LF 2: Belastung, Erdauflast_max .....	(14)
LF 3: Belastung, Erdauflast_min .....	(14)
LF 4: Belastung, Verkehr auf Decke .....	(15)
LF 5: Belastung, Erddruck Links (max) .....	(15)
LF 6: Belastung, Erddruck links (min) .....	(16)
LF 7: Belastung, Erddruck rechts .....	(16)
LF 8: Belastung, Erddruck aus Verkehr links .....	(17)
LF 9: Belastung, Erddruck aus Verkehr rechts .....	(17)
LF 10: Belastung, Auftrieb Sohle .....	(18)
LF 11: Belastung, Temperatur +10K .....	(18)
LF 12: Belastung, Temperatur -10K .....	(19)
LF 13: Belastung, LM 1 links .....	(19)
LF 14: Belastung, LM1 rechts .....	(20)
Deformationen uz min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(20)
Deformationen uz max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(21)
Schnittgrößen My min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment .....	(21)
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment .....	(22)
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment .....	(22)
Schnittgrößen My min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment .....	(23)
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment .....	(23)
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment .....	(24)
Schnittgrößen My min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment .....	(24)
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment .....	(25)
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment .....	(25)
Schnittgrößen My min, max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(26)
Schnittgrößen Nx min, max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(27)
Schnittgrößen Qz min, max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(28)
Bodenpressungen Sigma.x min, max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1 ..	(29)
Bodenpressungen Sigma.z min, max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1 ..	(29)
Biegebewehrung As; Maximum DIN EN 1992-1-1 .....	(30)
Bügelbewehrung Asb.z; Tragfähigkeit DIN EN 1992-1-1 .....	(31)
Schnittgrößen Qz min, max; 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1 .....	(32)

## Ebene Stabwerke

### Materialkennwerte

Nr.	Material-Art	E-Modul [MN/m <sup>2</sup> ]	alpha.t [1/K]	gamma [kN/m <sup>3</sup> ]	kbx [MN/m <sup>3</sup> ]	kbz [MN/m <sup>3</sup> ]	bx [m]	bz [m]
1	C25/30-EN-D	31000	1,000e-05	25,000	0	0	1,00	1,00
2	C25/30-EN-D	31000	1,000e-05	25,000	0	0	1,00	1,00
3	C25/30-EN-D	31000	1,000e-05	25,000	0	0	1,00	1,00
4	C25/30-EN-D	31000	1,000e-05	25,000	25	50	1,00	1,00

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (1)	
Job:	I 396	M = 1:	



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

### Kriech- und Schwindbeiwerte

Material	phi.t	rho	epsilon.s
1	0,000	0,800	0,00E-05
2	0,000	0,800	0,00E-05
3	0,000	0,800	0,00E-05
4	0,000	0,800	0,00E-05

### Querschnittswerte

Nr.	1 Polygon
	A = 8,000e-01 [m²], Iy = 4,267e-02 [m4]
Nr.	2 Polygon
	A = 7,000e-01 [m²], Iy = 2,858e-02 [m4]
Nr.	3 Polygon
	A = 8,000e-01 [m²], Iy = 4,267e-02 [m4]
Nr.	4 Polygon
	A = 8,000e-01 [m²], Iy = 4,267e-02 [m4]

### Systemkenngrößen

Knoten	83
Elemente	83
Unbekannte	249
Bandbreite	0
Steifigkeitsmatrix	9,7 KB
Massenmatrix	9,7 KB

### Lastfall-Übersicht

Lf-Nr.	Bezeichnung
1	Eigenlast
2	Erdauflast_max
3	Erdauflast min
4	Verkehr auf Decke
5	Erddruck Links (max)
6	Erddruck links (min)
7	Erddruck rechts
8	Erddruck aus Verkehr links
9	Erddruck aus Verkehr rechts
10	Auftrieb Sohle
11	Temperatur +10K
12	Temperatur -10K
13	LM 1 links
14	LM1 rechts

### Lastdaten Lastfall 1 (Eigenlast)

EG : Eigengewicht für alle Stäbe

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (2)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 1

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	767,25
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	767,25
Summe :	-0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 2 (Erdauflast\_max)

LG : Linienlast (global)			
Stab	px	pz	
von bis	[kN/m]		
1 5	0,00	39,60	
21 40	0,00	39,60	

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 2

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	475,20
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	475,20
Summe :	-0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 3 (Erdauflast min)

LG : Linienlast (global)			
Stab	px	pz	
von bis	[kN/m]		
1 5	0,00	22,00	
21 40	0,00	22,00	

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 3

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	264,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	264,00
Summe :	-0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 4 (Verkehr auf Decke)

LG : Linienlast (global)			
Stab	px	pz	
von bis	[kN/m]		
1 5	0,00	16,70	

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (3)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahn	Date: 07.12.2015

#### Lastdaten Lastfall 4 (Verkehr auf Decke)

LG : Linienlast (global)  
 Stab von bis px pz  
 [kN/m]  
 21 40 0,00 16,70

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 4

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	200,40
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-0,00	0,00	200,40
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 5 (Erddruck Links (max))

TGZ : Trapezlast (global) Lastgeometrie über z-Koordinate  
 Stab von bis Abstand von Stabanfang [m] Lastlänge [m] px.a px.e pz.a pz.e  
 [kN/m]

66	66	0,00	0,50	98,49	105,00	0,00	0,00
65	65	0,00	0,50	91,98	98,49	0,00	0,00
63	63	0,00	0,50	78,96	85,47	0,00	0,00
62	62	0,00	0,50	72,45	78,96	0,00	0,00
61	61	0,00	0,50	65,94	72,45	0,00	0,00
8	8	0,00	0,50	52,92	59,43	0,00	0,00
7	7	0,00	0,40	47,71	52,92	0,00	0,00
6	6	-0,00	0,40	42,50	47,71	0,00	0,00
60	60	0,00	0,50	59,43	65,94	0,00	0,00
64	64	0,00	0,50	85,47	91,98	0,00	0,00
10	10	0,00	0,40	142,63	148,90	0,00	0,00
70	70	0,00	0,50	128,52	136,36	0,00	0,00
69	69	0,00	0,50	120,68	128,52	0,00	0,00
68	68	0,00	0,50	112,84	120,68	0,00	0,00
9	9	0,00	0,40	136,36	142,63	0,00	0,00
67	67	-0,00	0,50	105,00	112,84	0,00	0,00

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 5

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	709,46	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	709,46	0,00	-0,00
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 6 (Erddruck links (min))

SUP : Superposition von Ergebnissen  
 Lastfall 5 bis 5 Wichtungsfaktor 0,700

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (4)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 6

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	496,62	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	496,62	0,00	-0,00
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 7 (Erddruck rechts)

TGZ : Trapezlast (global) Lastgeometrie über z-Koordinate

Stab	Abstand von	Lastlänge	px.a	px.e	pz.a	pz.e
von bis	Stabanfang [m]	[m]		[kN/m]		
15 15	0,00	0,40	-72,18	-75,70	0,00	0,00
81 81	0,00	0,50	-64,26	-68,66	0,00	0,00
80 80	0,00	0,50	-59,86	-64,26	0,00	0,00
79 79	0,00	0,50	-55,45	-59,86	0,00	0,00
77 77	0,00	0,50	-46,65	-51,05	0,00	0,00
76 76	0,00	0,50	-42,25	-46,65	0,00	0,00
74 74	0,00	0,50	-33,45	-37,85	0,00	0,00
73 73	0,00	0,50	-29,05	-33,45	0,00	0,00
72 72	0,00	0,50	-24,64	-29,05	0,00	0,00
13 13	0,00	0,50	-15,84	-20,24	0,00	0,00
12 12	0,00	0,40	-12,32	-15,84	0,00	0,00
11 11	-0,00	0,40	-8,80	-12,32	0,00	0,00
14 14	0,00	0,40	-68,66	-72,18	0,00	0,00
78 78	0,00	0,50	-51,05	-55,45	0,00	0,00
71 71	0,00	0,50	-20,24	-24,64	0,00	0,00
75 75	0,00	0,50	-37,85	-42,25	0,00	0,00

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 7

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	-321,10	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-321,10	0,00	-0,00
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 8 (Erddruck aus Verkehr links)

LG : Linienlast (global)

Stab	px	pz
von bis	[kN/m]	
6 10	14,30	0,00
60 70	14,30	0,00

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (5)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 8

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	108,68	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	108,68	0,00	-0,00
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 9 (Erddruck aus Verkehr rechts)

LG : Linienlast (global)			
Stab	px	pz	
von bis	[kN/m]		
11 15	-7,30	0,00	
71 81	-7,30	0,00	

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 9

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	-55,48	0,00	0,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-55,48	0,00	-0,00
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Lastdaten Lastfall 10 (Auftrieb Sohle)

LG : Linienlast (global)			
Stab	px	pz	
von bis	[kN/m]		
16 20	0,00	-5,00	
41 59	0,00	-5,00	
82 83	0,00	-5,00	

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 10

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	-60,00
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	0,00	0,00	-60,00
Summe :	-0,00	0,00	0,00

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (6)	
Job:	I 396	M = 1:	



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

#### Lastdaten Lastfall 14 (LM1 rechts)

LG : Linienlast (global)  
 Stab von bis px pz  
 [kN/m]  
 18 18 0,00 57,70  
 20 20 0,00 57,70  
 50 59 0,00 57,70

#### Globale Gleichgewichtskontrolle Lastfall 14

	Rx [kN]	Ry	Rz
Belastung :	0,00	0,00	326,01
Auflagerkräfte :	0,00	0,00	0,00
Bettungskräfte :	-0,00	0,00	326,01
Summe :	0,00	0,00	0,00

#### Bemessung nach DIN EN 1992-1-1:2011 mit NA:2013-04

Die Nachweise gelten für Bauwerke aus Stahlbeton und Spannbeton mit und ohne Verbund. Die Einwirkungen werden nach DIN EN 1990, Gl. (6.10), mit den Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten gemäß NA:2012 kombiniert.

**Alle Nachweise erfolgen für die Extremwerte der Einwirkungen.**

#### Bemessungsvorgaben

Qu.	Expos. klasse	Vorspannung des Bauteils	Bewehrung M R B Q T	Ermüd. S P C	Riss- br.	De- komp.	Spannungen Druck S P
1	XC3	Nicht vorgesp.	x . x x .	. . .	.	.	. . .
2	XC4	Nicht vorgesp.	x . x x .	. . .	.	.	. . .
3	XC4	Nicht vorgesp.	x . x x .	. . .	.	.	. . .
4	XC1	Nicht vorgesp.	x . x x .	. . .	.	.	. . .

- (M) Mindestbewehrung zur Sicherstellung der Robustheit.  
 (R) Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite.  
 (B) Längsbewehrung aus Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.  
 (Q) (Mindest-)Querkraftbewehrung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.  
 (T) Torsionsbewehrung aus Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.  
 (S) Betonstahl im Spannungs- und Ermüdungsnachweis.  
 (P) Spannstahl im Spannungs- und Ermüdungsnachweis.  
 (C) Beton im Ermüdungsnachweis.

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (8)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

### Vorgaben für den Nachweis der Längs- und Schubbewehrung

M,N Bemessungsmodus für Biegung und Längskraft:  
(ST) Standard, (SY) Symmetrisch, (DG) Druckglied.  
fyk Stahlgüte der Bügel.  
Theta Neigung der Betondruckstreben. Der eingegebene Wert für cot Theta wird programmseitig auf den Wertebereich nach Gl. (NA.6.7a) begrenzt.  
Pl. Balken werden wie Platten bemessen.  
Asl Vorh. Biegezugbewehrung nach Bild 6.3, autom. Erhöhung bis Maximum.  
rho.w Faktor für Mindestbewehrungsgrad rho.w,min nach Gl. (9.5a/bDE).  
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. max	Fak. rho.w	Nw. x,y	cvl [mm]	Red. Vor- spg.
1	C25/30-EN-D	.	ST	450	1,00	.	0,00	1,00	.	80	.
2	C25/30-EN-D	.	ST	450	1,00	.	0,00	1,00	.	80	.
3	C25/30-EN-D	.	ST	450	1,00	.	0,00	1,00	.	80	.
4	C25/30-EN-D	.	ST	450	1,00	.	0,00	1,00	.	80	.

### Schubquerschnitte

kb, kd Faktor zur Berechnung des inneren Hebelarms z aus der Nutzbreite bn bzw. der Nutzhöhe d.

Qu.	Breite [m] bw	Nutzbreite bn [m]	Höhe [m] h	Nutzhöhe d [m]	Torsionsquerschn. [m] z1 z2 tef
1	1,000	.	.	0,720	0,90
2	1,000	.	.	0,620	0,90
3	1,000	.	.	0,720	0,90
4	1,000	.	.	0,720	0,90

### Spannungsberechnung für Stäbe

Beim Nachweis der Robustheitsbewehrung erfolgt die Spannungsberechnung am Bruttoquerschnitt.

### Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe im Grenzzustand der Tragfähigkeit

	Beton (gamma.c)	Betonstahl (gamma.s)	Spannstahl (gamma.s)
Ständige und vorübergehende Komb., Erdbeben	1,50	1,15	1,15
Außergewöhnliche Kombination	1,30	1,00	1,00
Nachweis gegen Ermüdung	1,50	1,15	1,15

### Querschnittsgeometrie und Betonstahl für Stäbe

Qu.	Pkt.	Beton y [m]	Betonstahl z [m]	Es, fyk [MN/m²]	y [m]	z [m]	d1 [m]	As [cm²]
1	1	0,000	0,000	200000	450	0,500	0,080	0,00
	2	1,000	0,000	200000	450	0,500	0,720	0,080

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (9)	
Job:	I 396	M = 1:	



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

#### Querschnittsgeometrie und Betonstahl für Stäbe

Qu.	Pkt.	Beton		Betonstahl					
		y [m]	z [m]	Es, fyk [MN/m <sup>2</sup> ]		y [m]	z [m]	d1 [m]	As [cm <sup>2</sup> ]
	3	1,000	0,800						
	4	0,000	0,800						
2	1	0,000	0,000	200000	450	0,500	0,080	0,080	0,00
	2	1,000	0,000	200000	450	0,500	0,620	0,080	0,00
	3	1,000	0,700						
	4	0,000	0,700						
3	1	0,000	0,000	200000	450	0,500	0,080	0,080	0,00
	2	1,000	0,000	200000	450	0,500	0,720	0,080	0,00
	3	1,000	0,800						
	4	0,000	0,800						
4	1	0,000	0,000	200000	450	0,500	0,080	0,080	0,00
	2	1,000	0,000	200000	450	0,500	0,720	0,080	0,00
	3	1,000	0,800						
	4	0,000	0,800						

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (10)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm: InfoGraph GmbH, Aachen		Projekt Nr. I 396
Version: Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH		Image.No.
Project: Tunnel Vahrn		Date: 07.12.2015
<p><b>DIN EN 1992-1-1 Einwirkungen</b></p> <p><b>Standard Bemessungsgruppe</b></p> <p><b>G - Eigenlast</b></p> <p>Gamma.sup / gamma.inf = 1,35 / 1</p> <p>Lastfälle</p> <p>-----</p> <p>1      Eigenlast</p> <p><b>GE - Erddruck</b></p> <p>Gamma.sup / gamma.inf = 1,35 / 1</p> <p>Lastfälle</p> <p>-----</p> <p>K4      Erddruck überlagert</p> <p><b>QN - Nutzlast, Verkehrslast</b></p> <p>Gamma.sup / gamma.inf = 1,5 / 0</p> <p>Kombinationsbeiwerte psi für: Hochbauten</p> <p>Nutzlasten - Kategorie A: Wohngebäude</p> <p>Psi.0 / Psi.1 / Psi.2 = 0,7 / 0,5 / 0,3</p> <p>Lastfälle 1. Variante, inklusiv</p> <p>-----</p> <p>4      Verkehr auf Decke</p> <p>8      Erddruck aus Verkehr links</p> <p>9      Erddruck aus Verkehr rechts</p> <p>13     LM 1 links</p> <p>14     LM1 rechts</p> <p><b>QT - Temperatureinwirkung</b></p> <p>Gamma.sup / gamma.inf = 1,35 / 0</p> <p>Kombinationsbeiwerte psi für: Hochbauten</p> <p>Temperatureinwirkungen (ohne Brand)</p> <p>Psi.0 / Psi.1 / Psi.2 = 0,6 / 0,5 / 0</p> <p>Lastfälle 1. Variante, exklusiv</p> <p>-----</p> <p>11     Temperatur +10K</p> <p>12     Temperatur -10K</p>		
Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.
Station:	Typ K3	Page (11)
Job:	I 396	M = 1:
		Register No.

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

**1. Ständige und vorübergehende Situation**

Endzustand

G - Eigenlast  
GE - Erddruck  
QN - Nutzlast, Verkehrslast  
QT - Temperatureinwirkung

**1. Seltene (charakteristische) Situation**

Endzustand

G - Eigenlast  
GE - Erddruck  
QN - Nutzlast, Verkehrslast

**1. Häufige Situation**

Endzustand

G - Eigenlast  
GE - Erddruck  
QN - Nutzlast, Verkehrslast

**1. Quasi-ständige Situation**

Endzustand

G - Eigenlast  
GE - Erddruck  
QN - Nutzlast, Verkehrslast

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

## NACHWEISE FÜR STÄBE

### Nachweis der Längsbewehrung

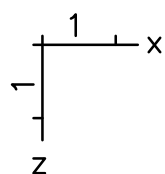
Es wurden keine Überschreitungen der zulässigen Grenzwerte festgestellt.

### Nachweis der Schubbewehrung

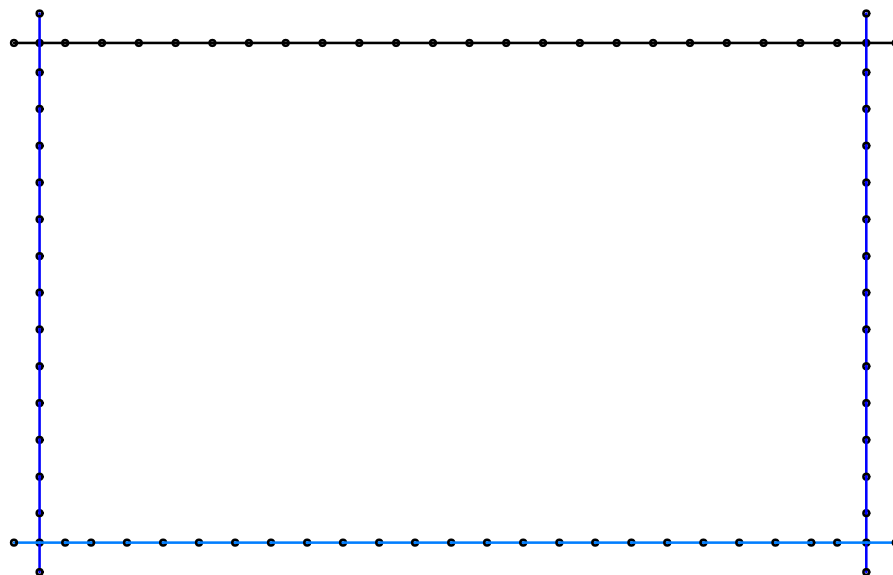
Es wurden keine Überschreitungen der zulässigen Grenzwerte festgestellt.

### Liste der Kombinationen

Nr.	Bezeichnung
1	Erddruck Fall 1) max Feldmoment
2	Erddruck Fall 2) max Wandmoment
3	Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment
4	Erddruck überlagert



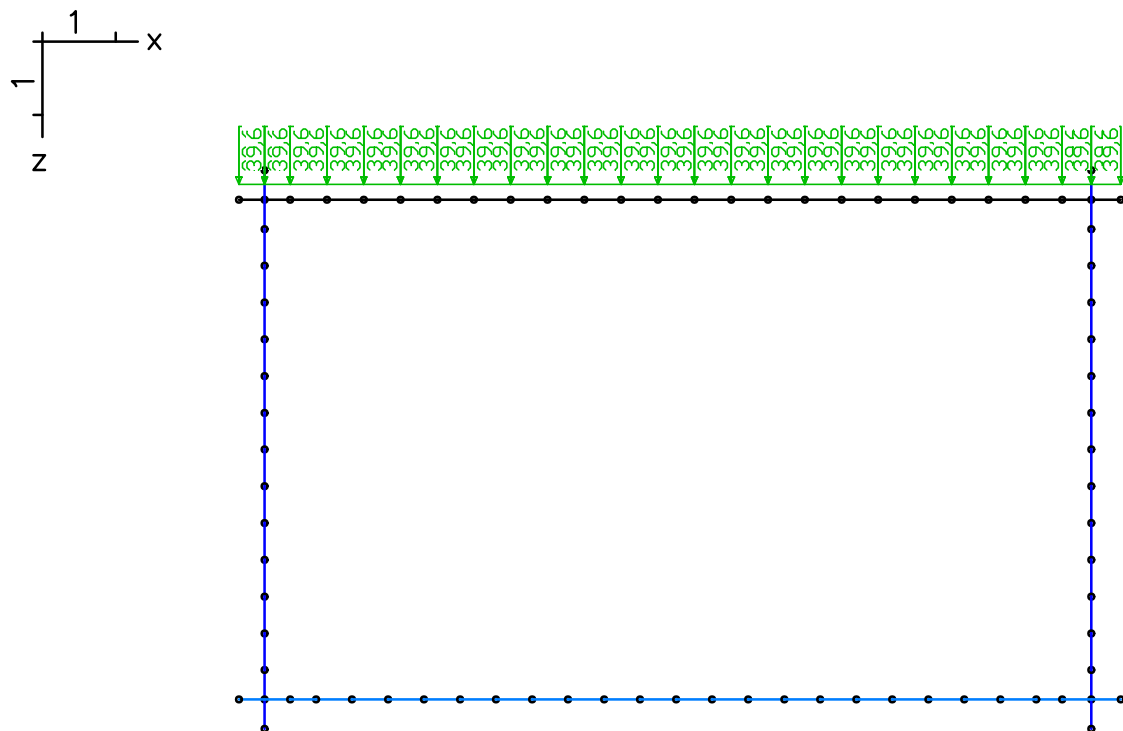
EIGENLAST



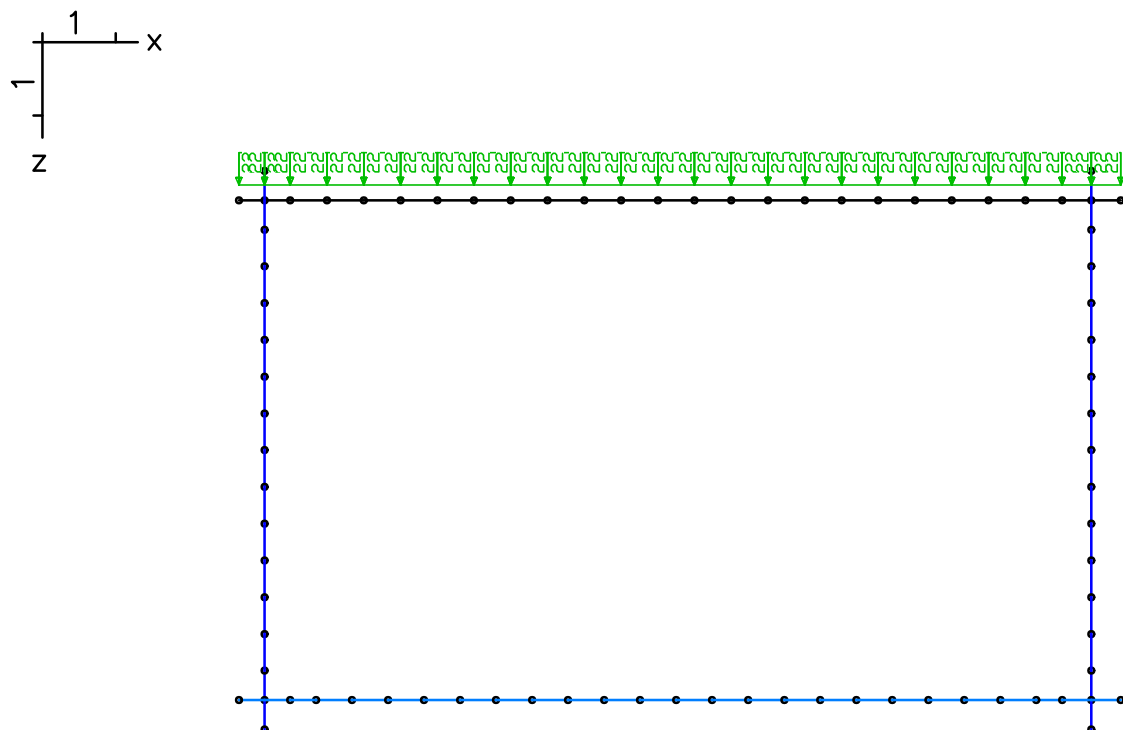
LF 1: Belastung, Eigenlast

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (13)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



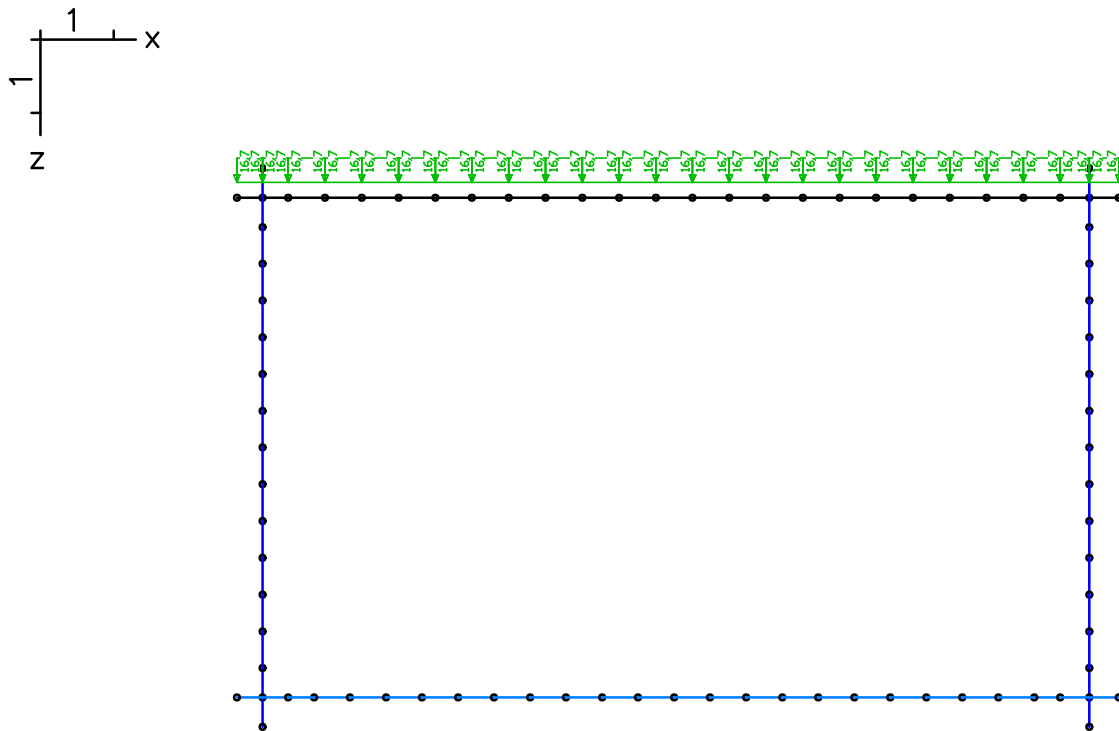
LF 2: Belastung, Erdauflast\_max



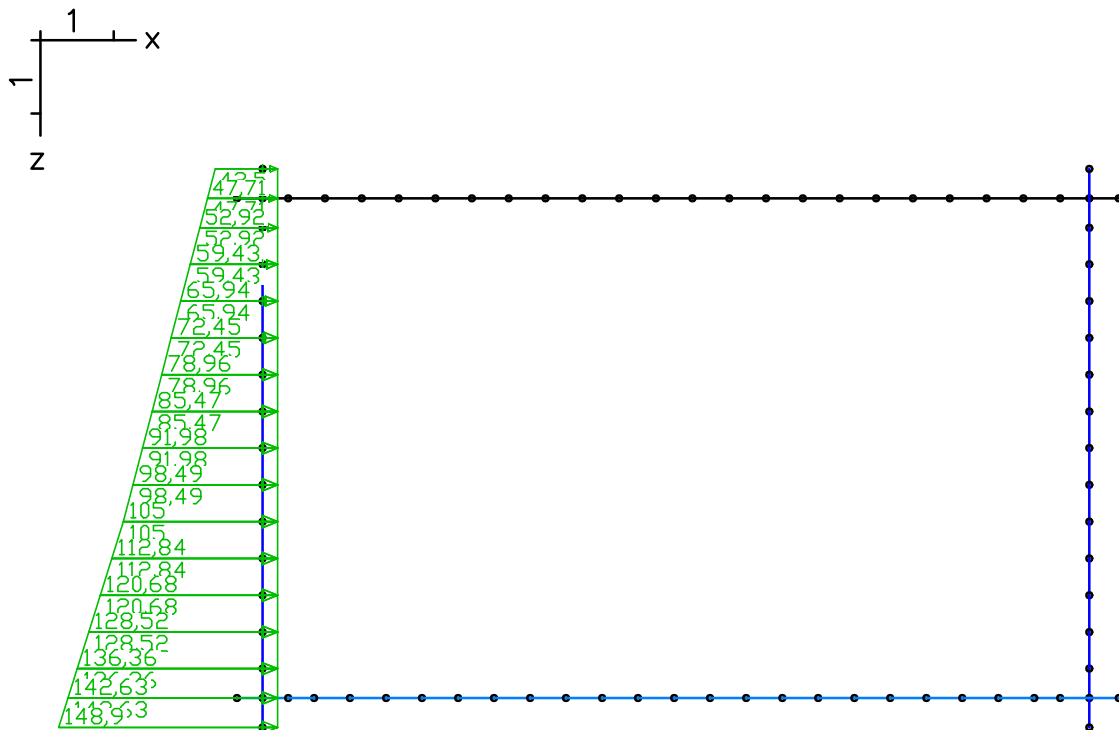
LF 3: Belastung, Erdauflast min

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (14)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



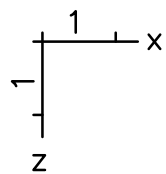
LF 4: Belastung, Verkehr auf Decke



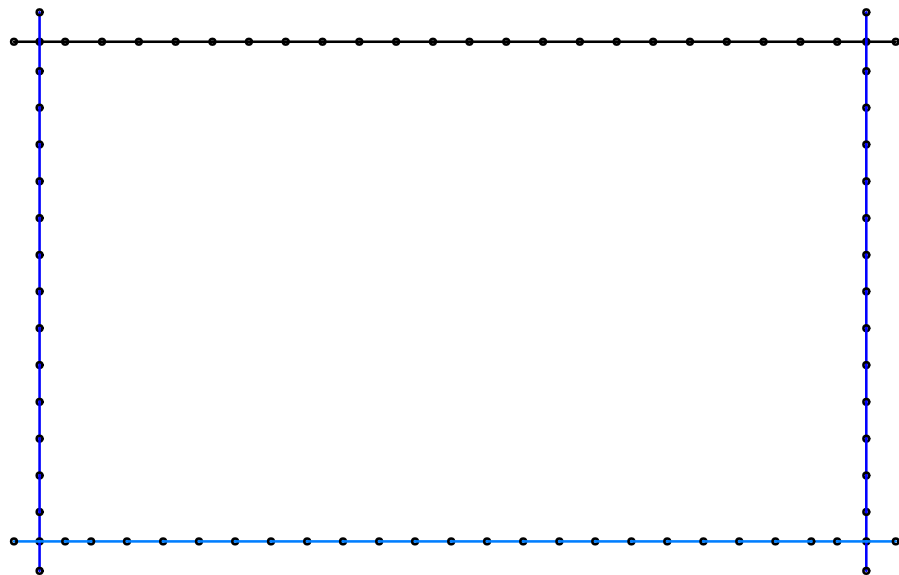
LF 5: Belastung, Erddruck Links (max)

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (15)	
Job:	I 396	M = 1:	

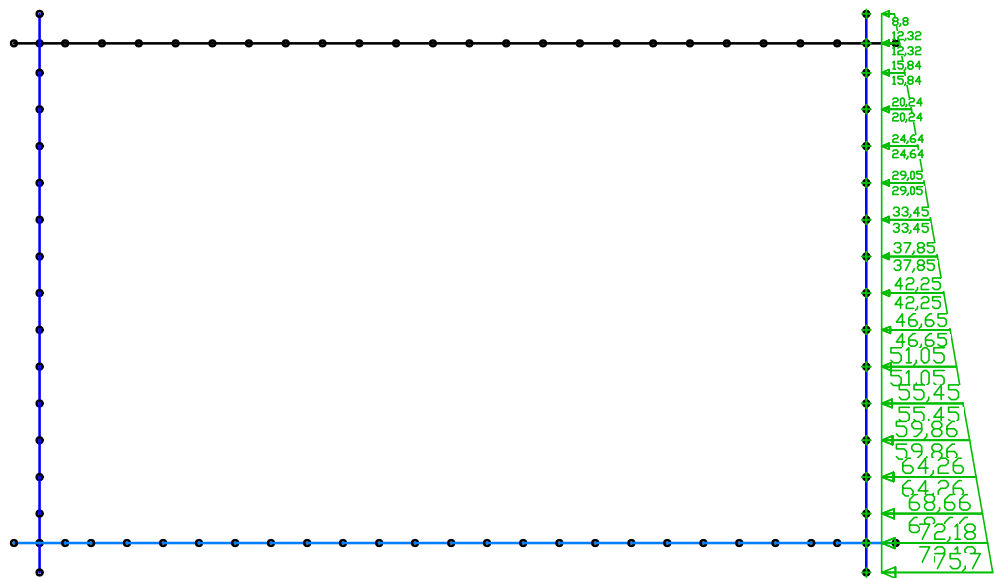
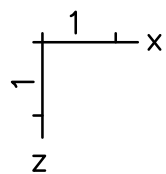
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



SUP:(5-5)\*0,7



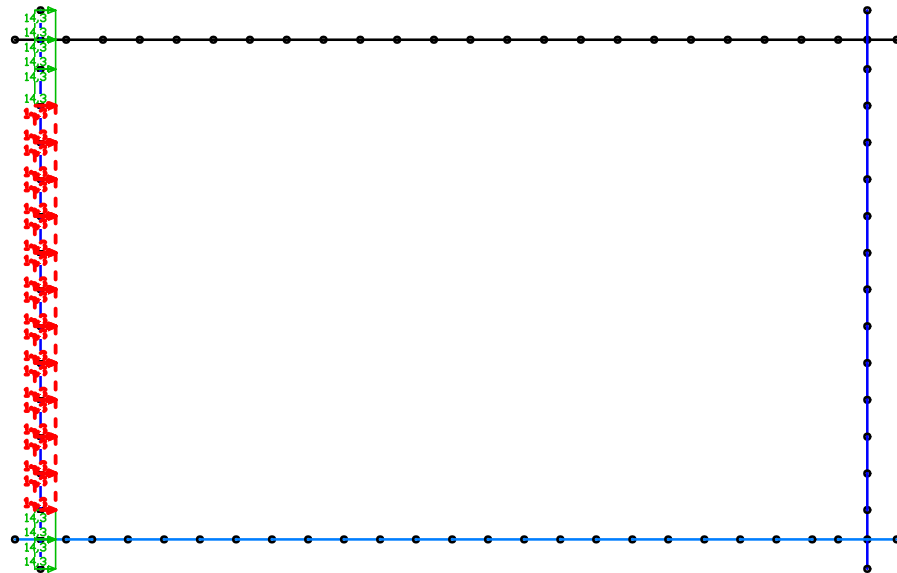
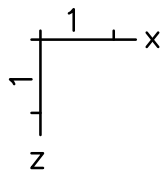
LF 6: Belastung, Erddruck links (min)



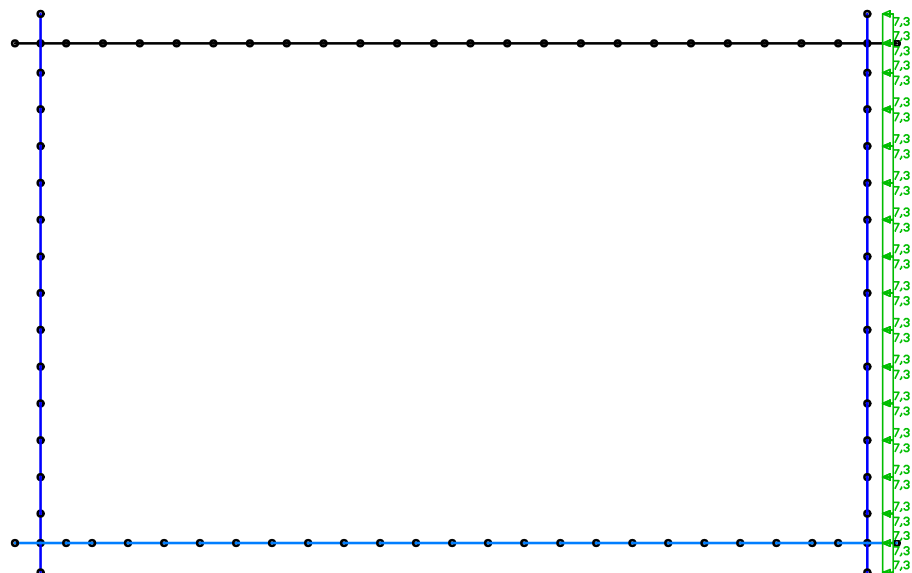
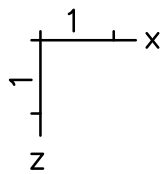
LF 7: Belastung, Erddruck rechts

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (16)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



LF 8: Belastung, Erddruck aus Verkehr links

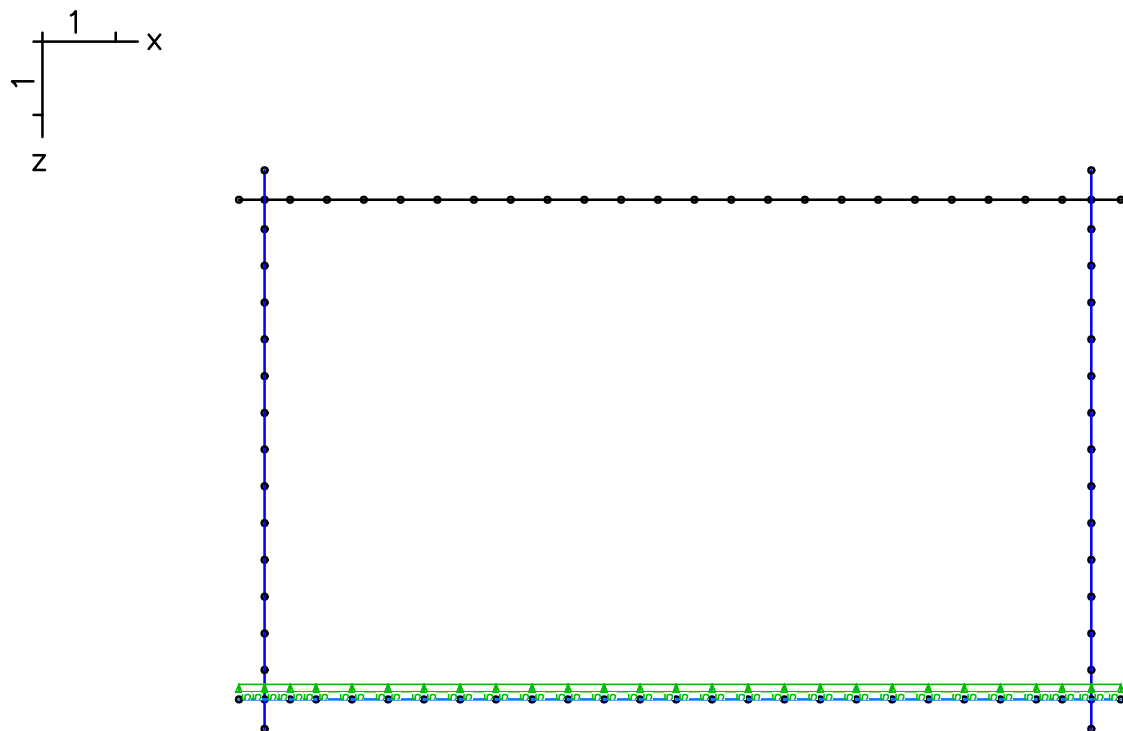


LF 9: Belastung, Erddruck aus Verkehr rechts

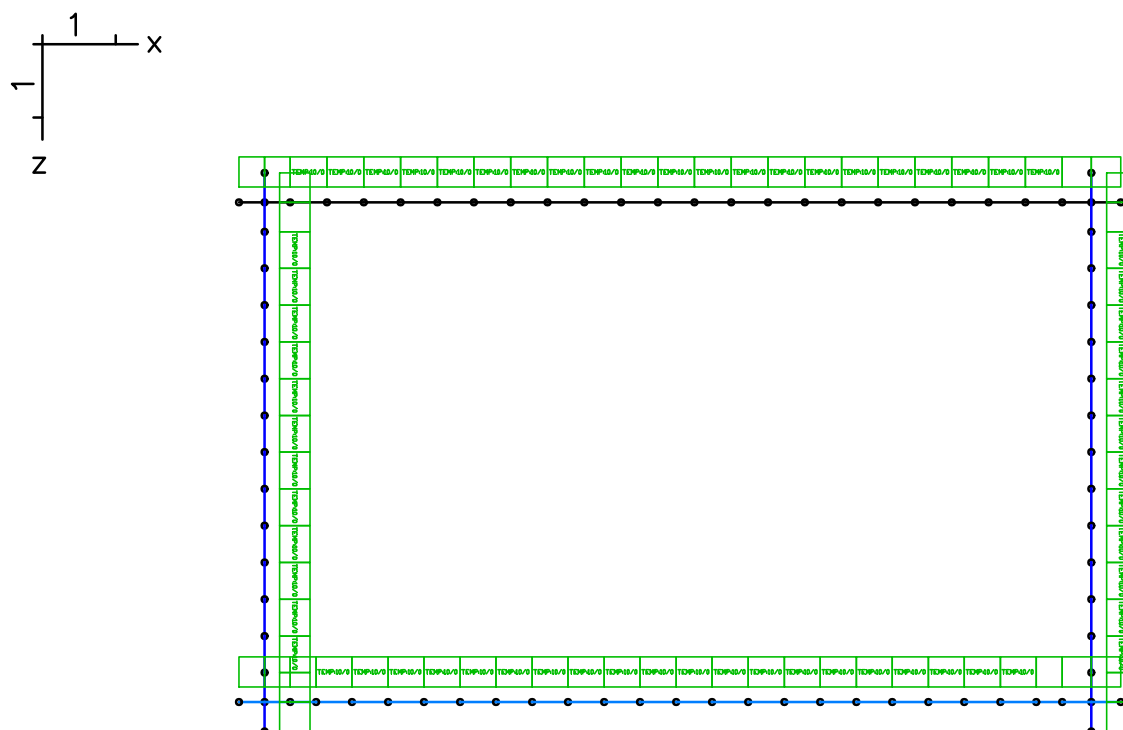
Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (17)	
Job:	I 396	M = 1:	



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



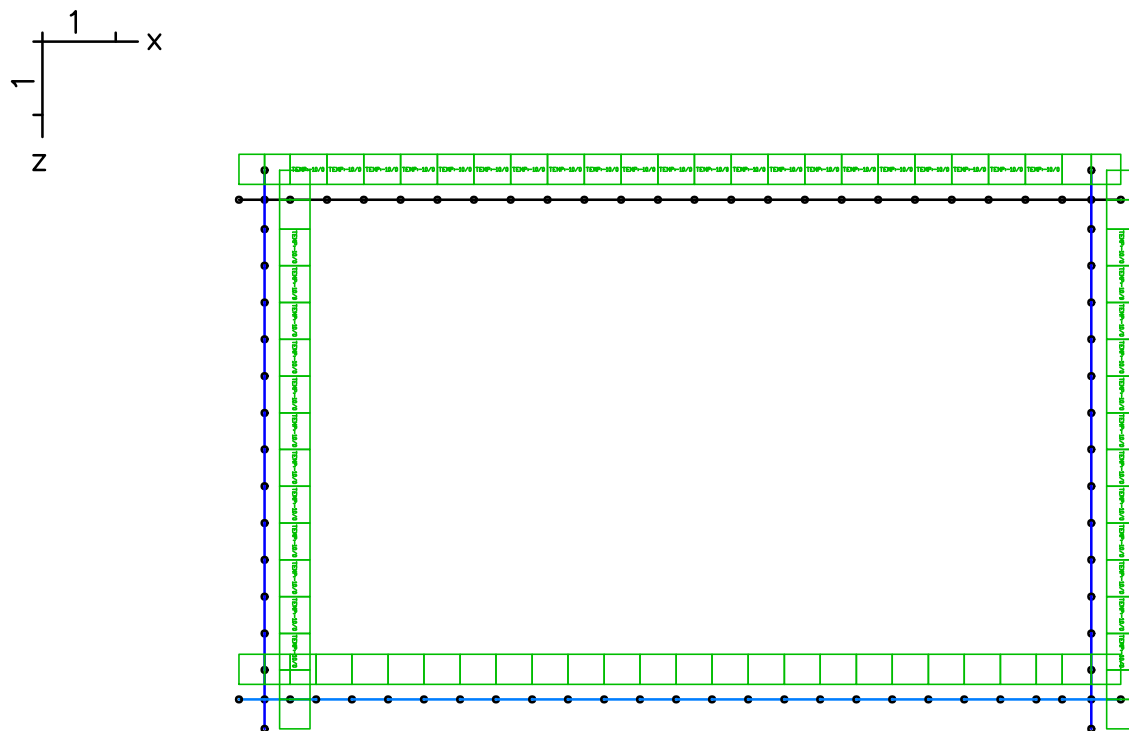
LF 10: Belastung, Auftrieb Sohle



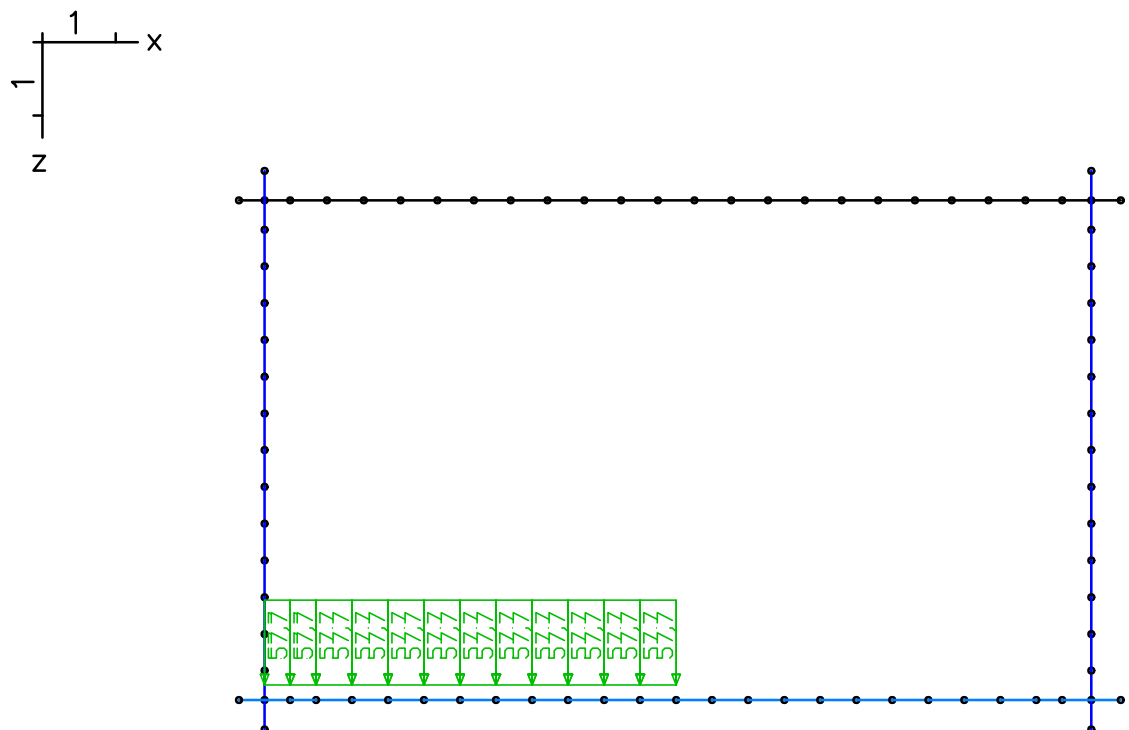
LF 11: Belastung, Temperatur +10K

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (18)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



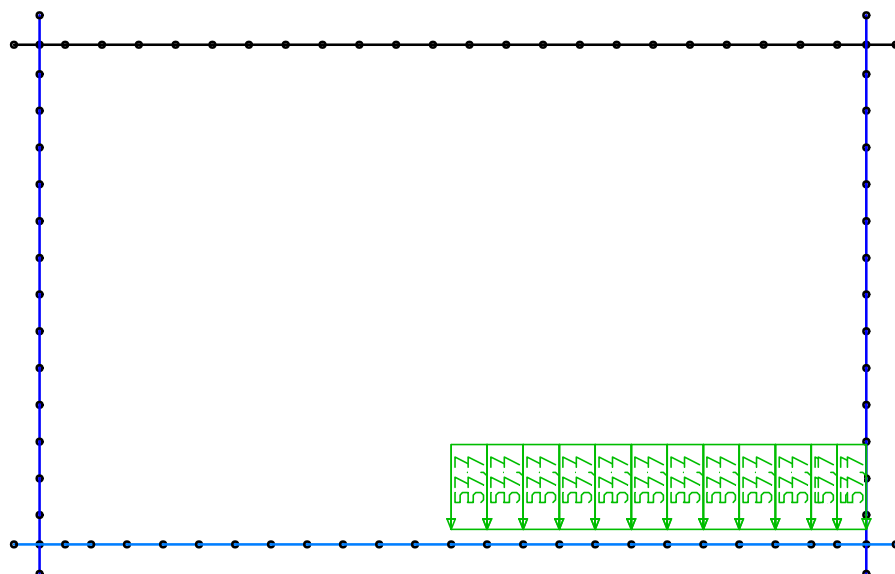
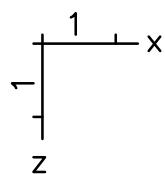
LF 12: Belastung, Temperatur -10K



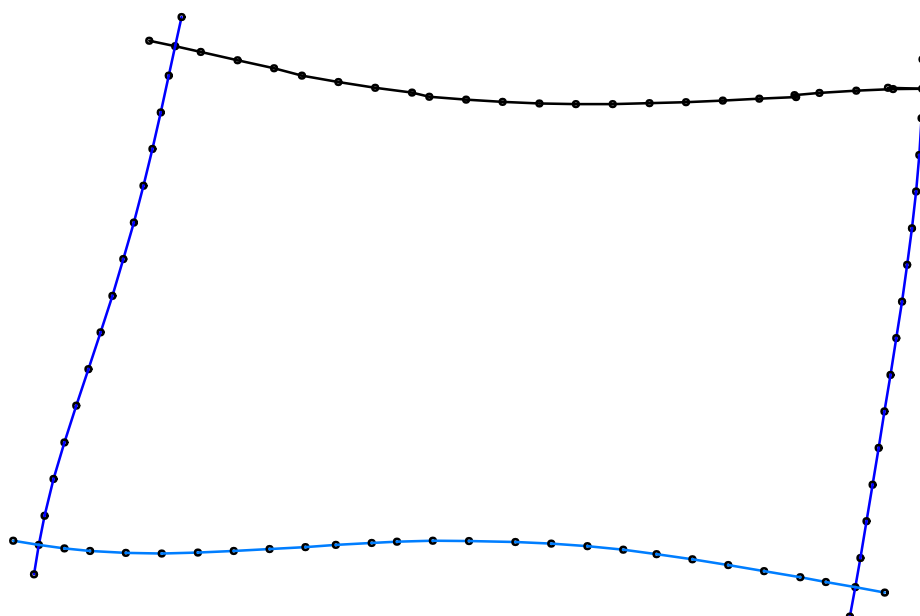
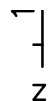
LF 13: Belastung, LM 1 links

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (19)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



LF 14: Belastung, LM1 rechts

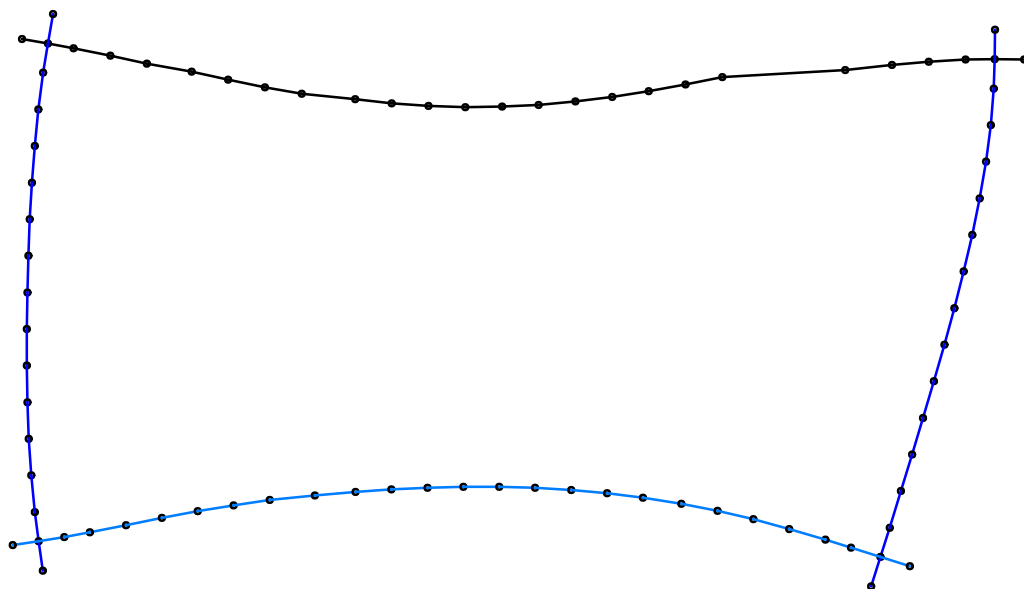


Deformationen uz min; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (20)	
Job:	I 396	M = 1:	

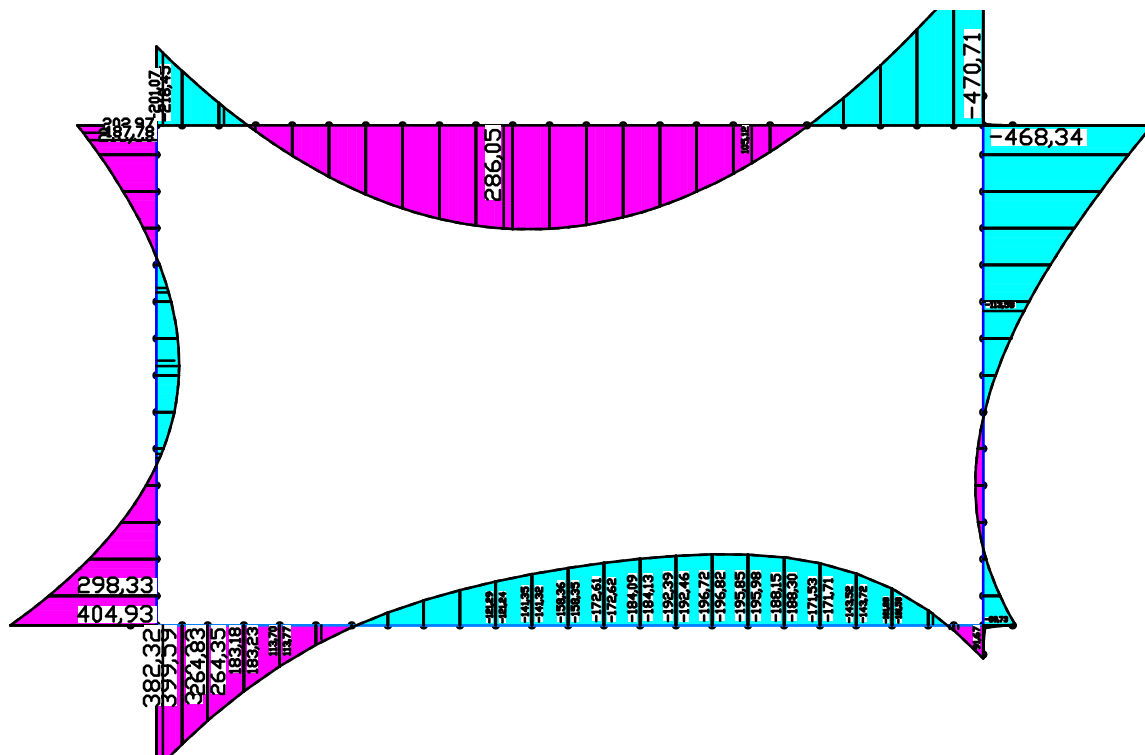
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

Z



Deformationen uz max; 1. Seltene (charakteristische) Situation, DIN EN 1992-1-1

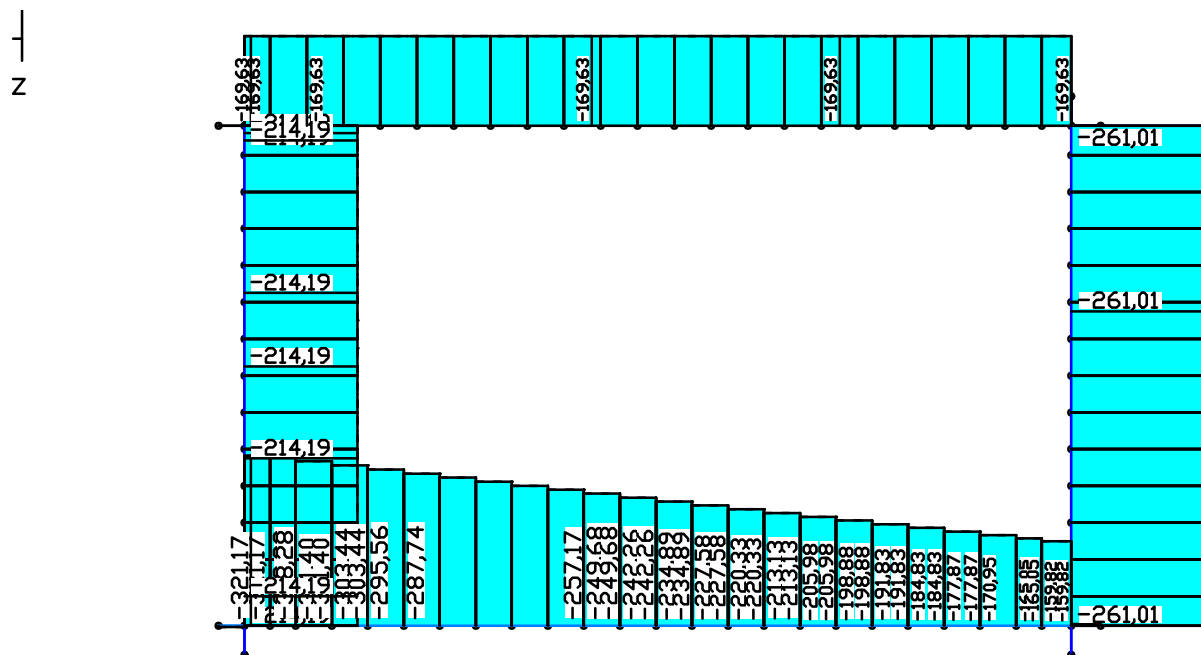
Z



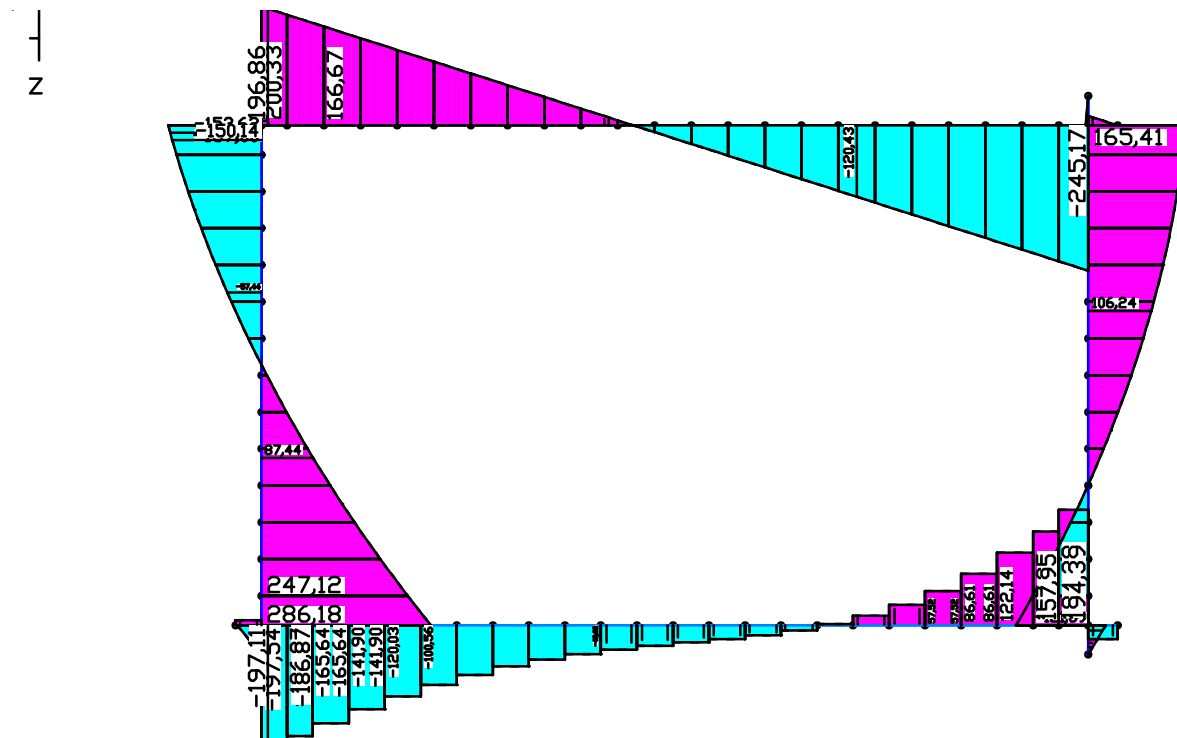
Schnittgrößen My min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (21)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



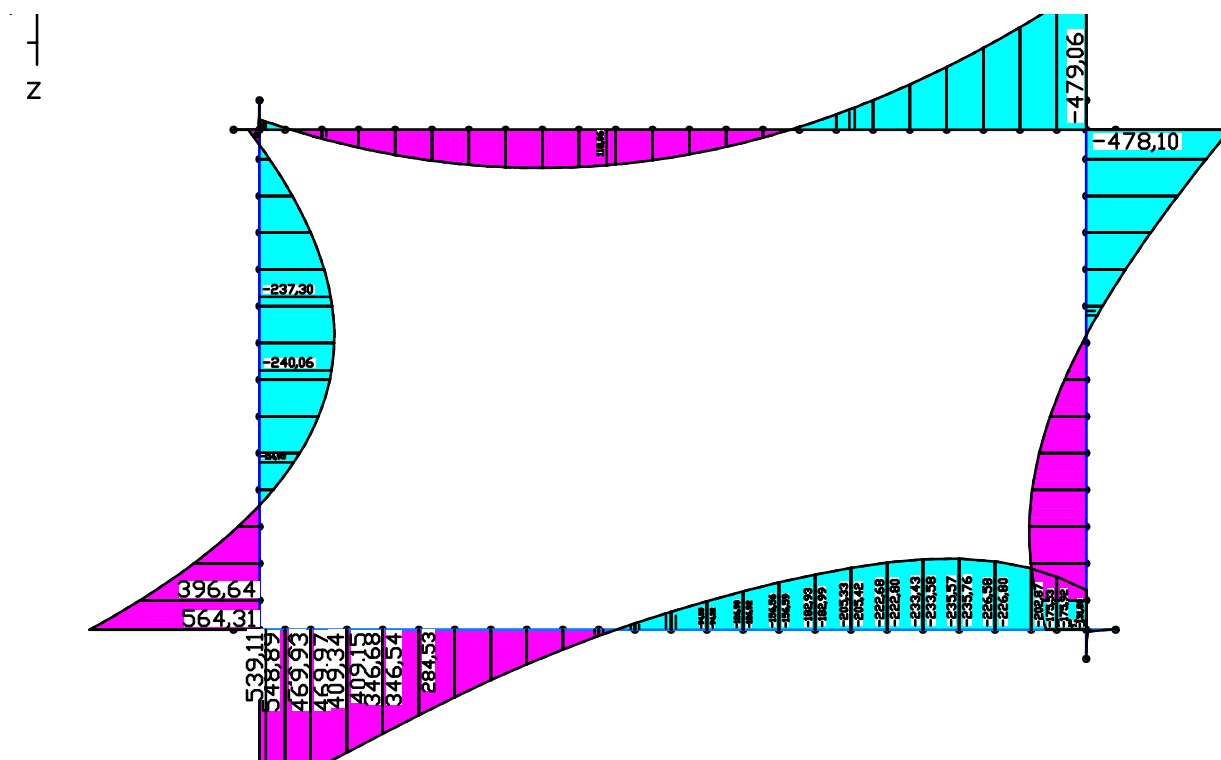
Schnittgrößen Nx min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment



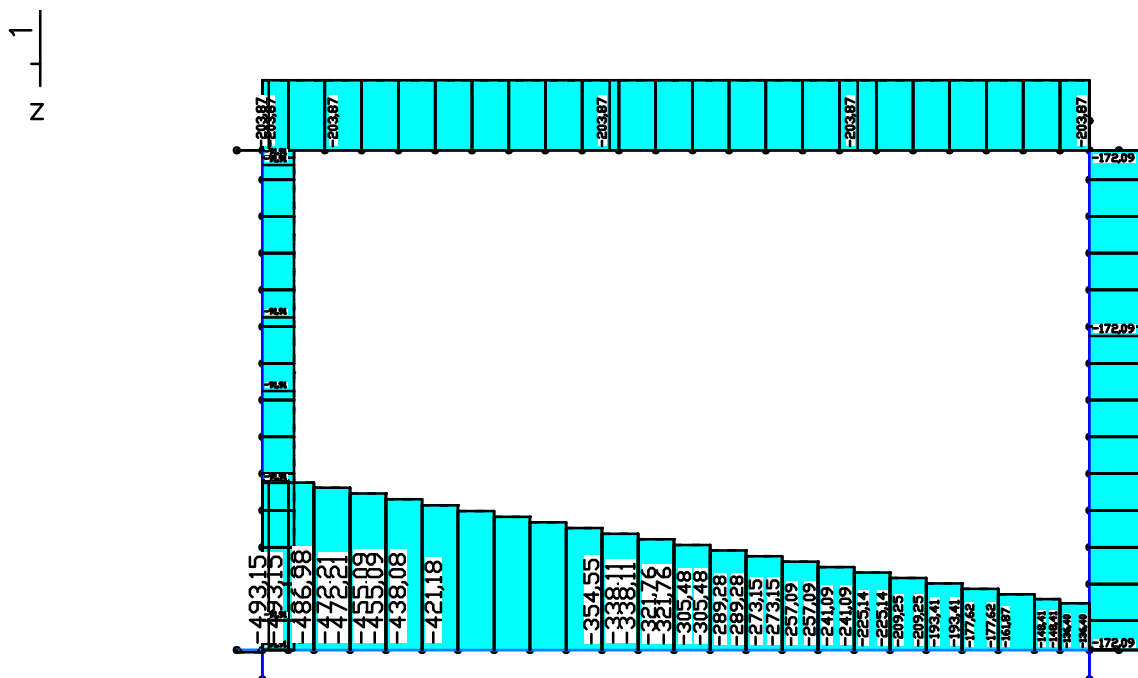
Schnittgrößen Qz min, max; LFK K1, Erddruck Fall 1) max Feldmoment

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (22)	
Job:	I 396	M = 1:	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



Schnittgrößen My min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment

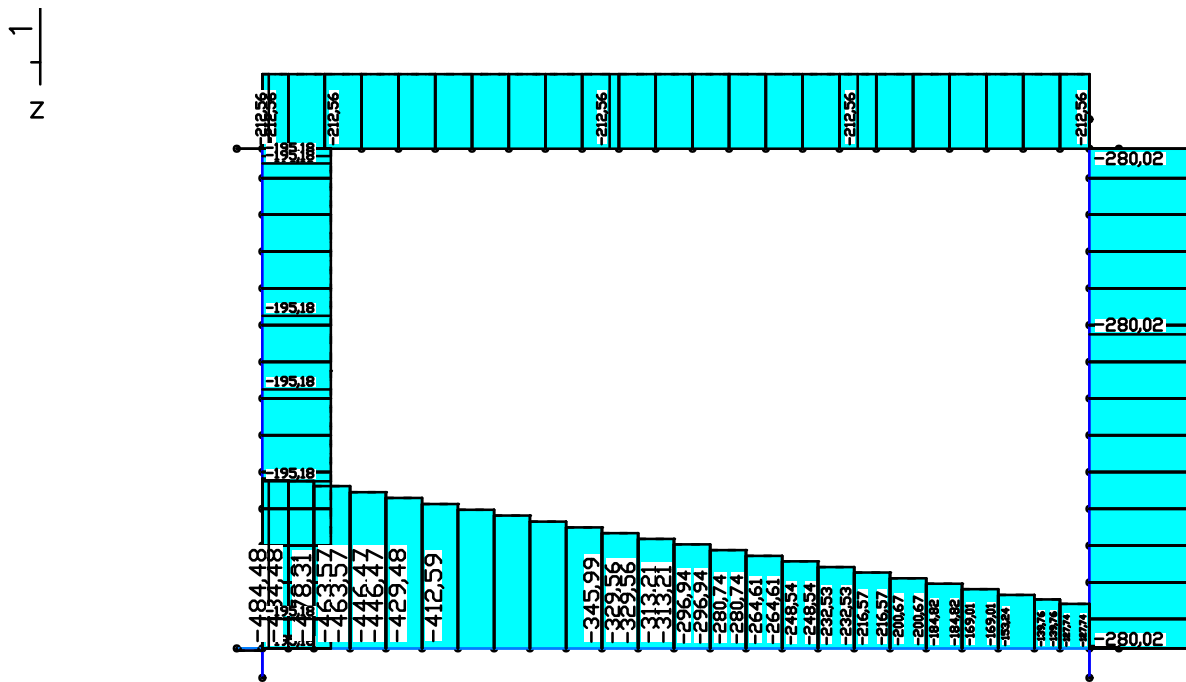


Schnittgrößen Nx min, max; LFK K2, Erddruck Fall 2) max Wandmoment

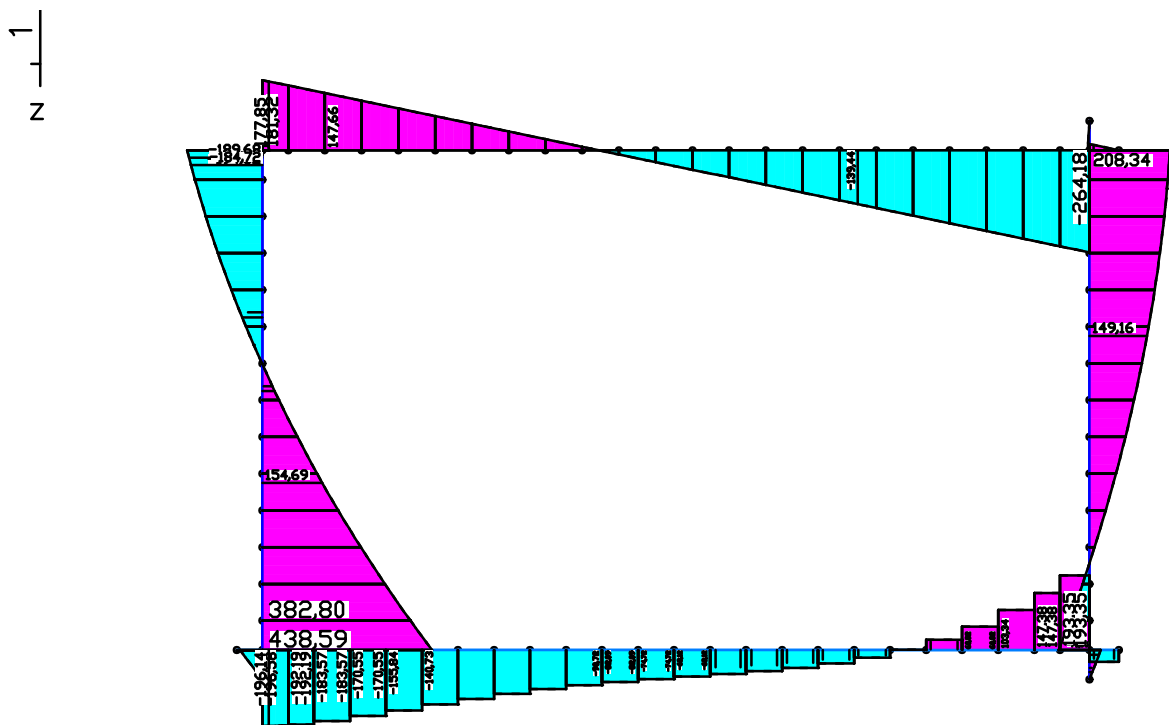
Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (23)	
Job:	I 396	M = 1:	



Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



Schnittgrößen Nx min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment

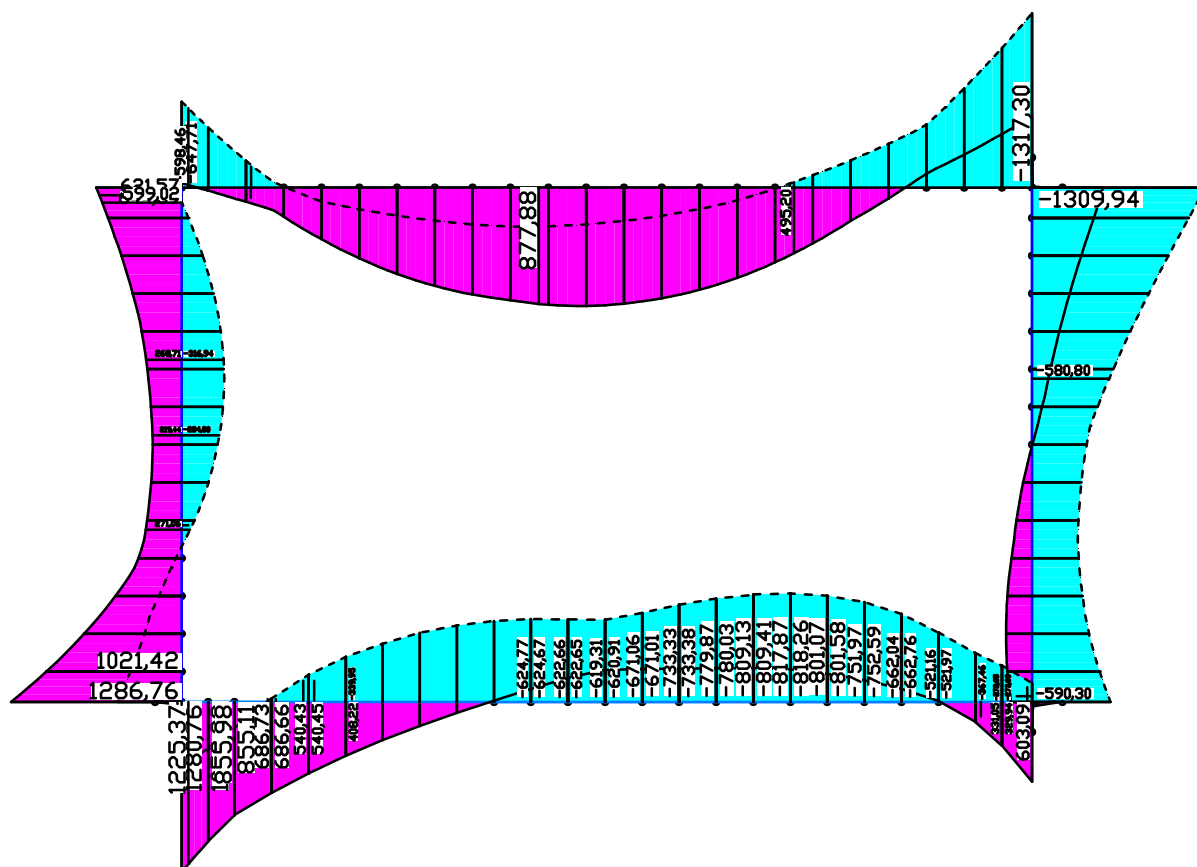
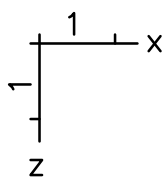



Schnittgrößen Qz min, max; LFK K3, Erddruck Fall 3) max Rahmeneckmoment

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (25)	
Job:	I 396	M = 1:	



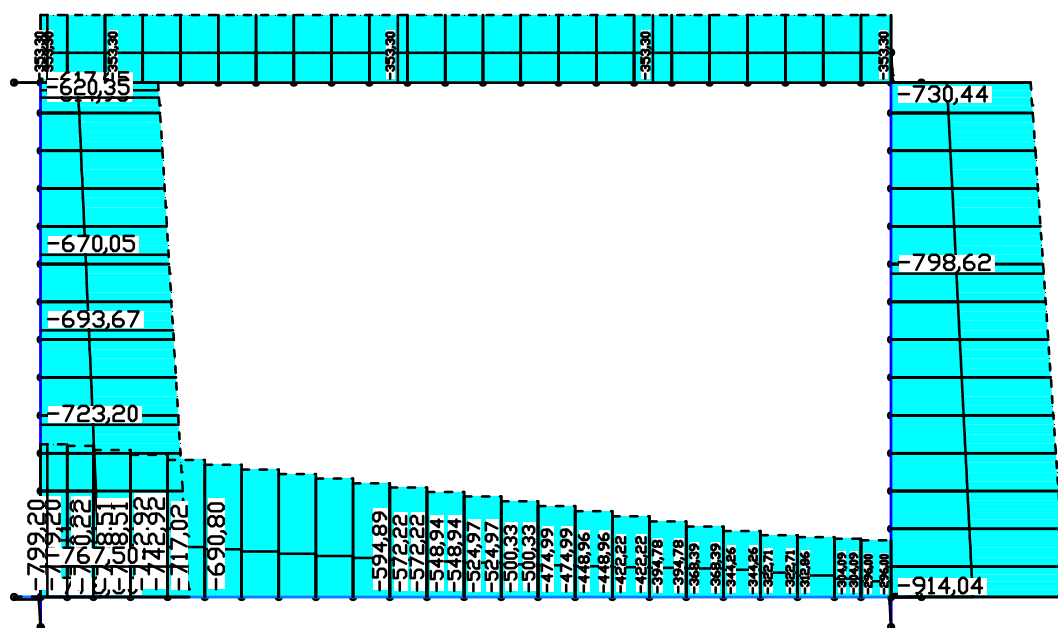
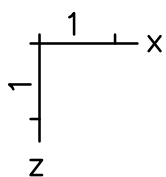
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015




LFK DIN1992.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1  
Schnittgrößen min,max My. 570,67 [kNm] =   
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -1317,30/1286,76 [kNm]

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (26)	
Job:	I 396	M = 1: 100	

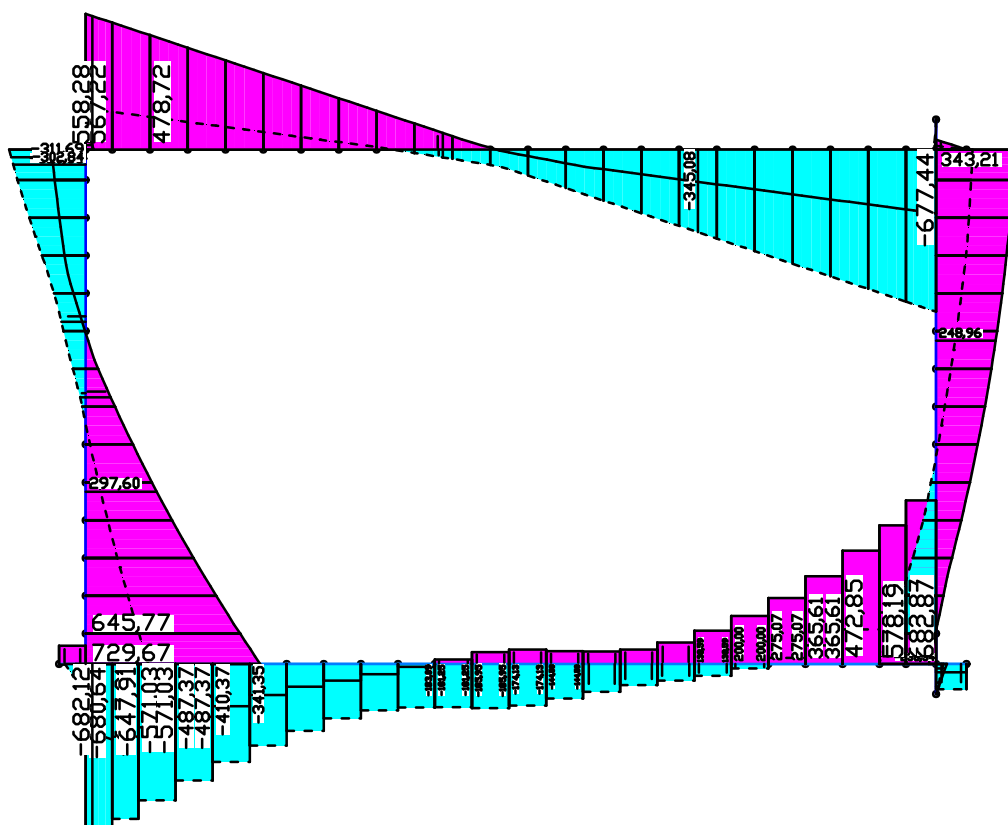
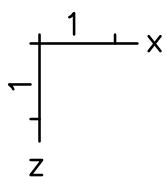
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015



LFK DIN1992.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1  
Schnittgrößen min,max Nx. 395,97 [kN] =   
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -914,04/13,70 [kN]

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (27)	
Job:	I 396	M = 1: 100	

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen	Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH	Image.No.
Project:	Tunnel Vahrn	Date: 07.12.2015

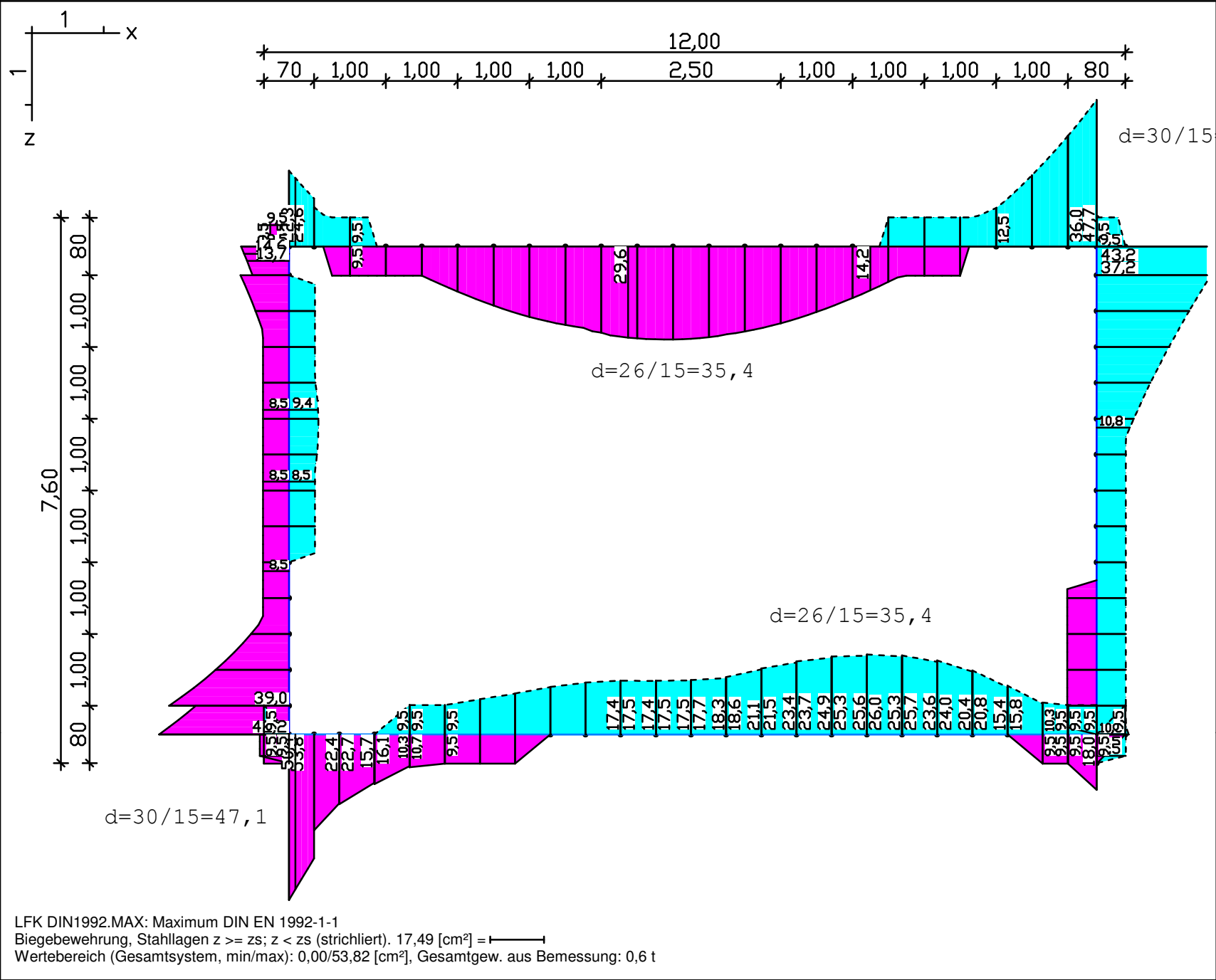


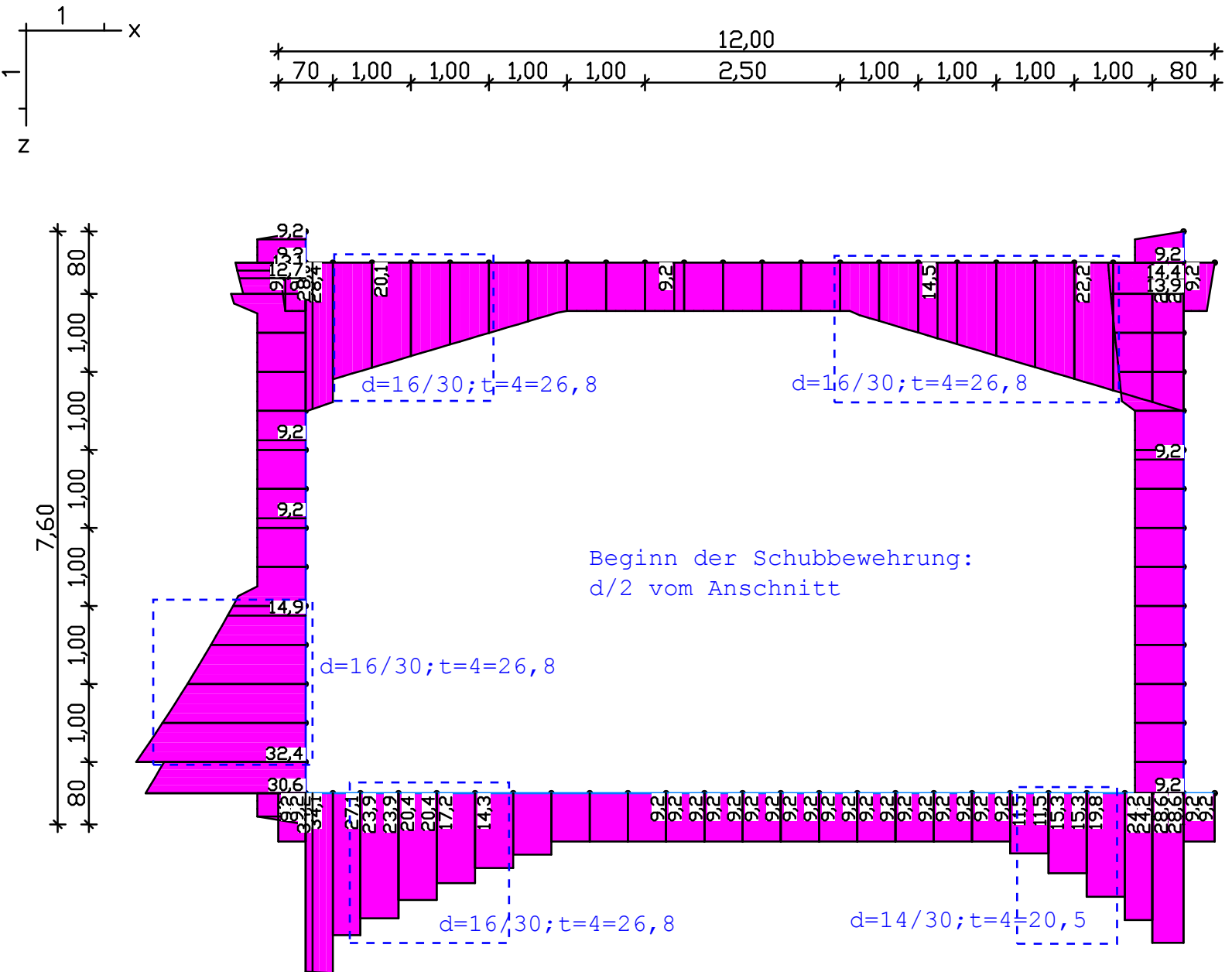
LFK DIN1992.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1  
Schnittgrößen min,max Qz. 316,10 [kN] =   
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -686,55/729,67 [kN]


Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (28)	
Job:	I 396	M = 1: 100	



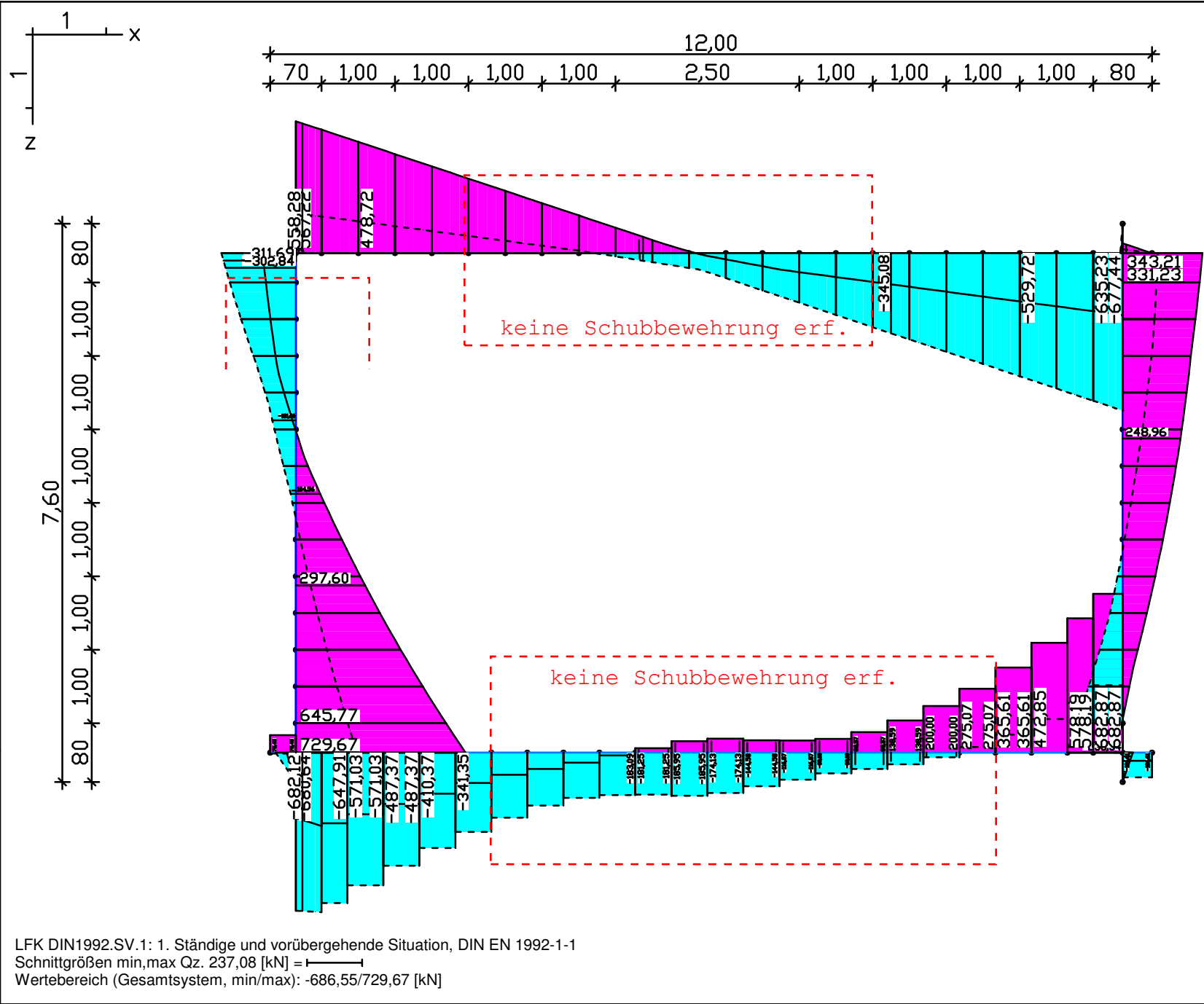
Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen		Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH		Image.No.
Project:	Tunnel Vahn	Date:	07.12.2015





LFK DIN1992.BRUCH: Tragfähigkeit DIN EN 1992-1-1  
Bügelbewehrung aus Querkraft Qz. 11,18 [cm<sup>2</sup>/m] =   
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): 0,00/34,40 [cm<sup>2</sup>/m]

Programm:	InfoGraph GmbH, Aachen		Projekt Nr. I 396
Version:	Ebene Stabwerke 15.00 x64 (c) InfoGraph GmbH		Image.No.
Project:	Tunnel Vahn		Date: 07.12.2015



LFK DIN1992.SV.1: 1. Ständige und vorübergehende Situation, DIN EN 1992-1-1  
Schnittgrößen min,max Qz. 237,08 [kN] =   
Wertebereich (Gesamtsystem, min/max): -686,55/729,67 [kN]

Content:	Kastenbauweise	Pos. Nr.	Register No.
Station:	Typ K3	Page (32)	
Job:	I 396	M = 1:75	