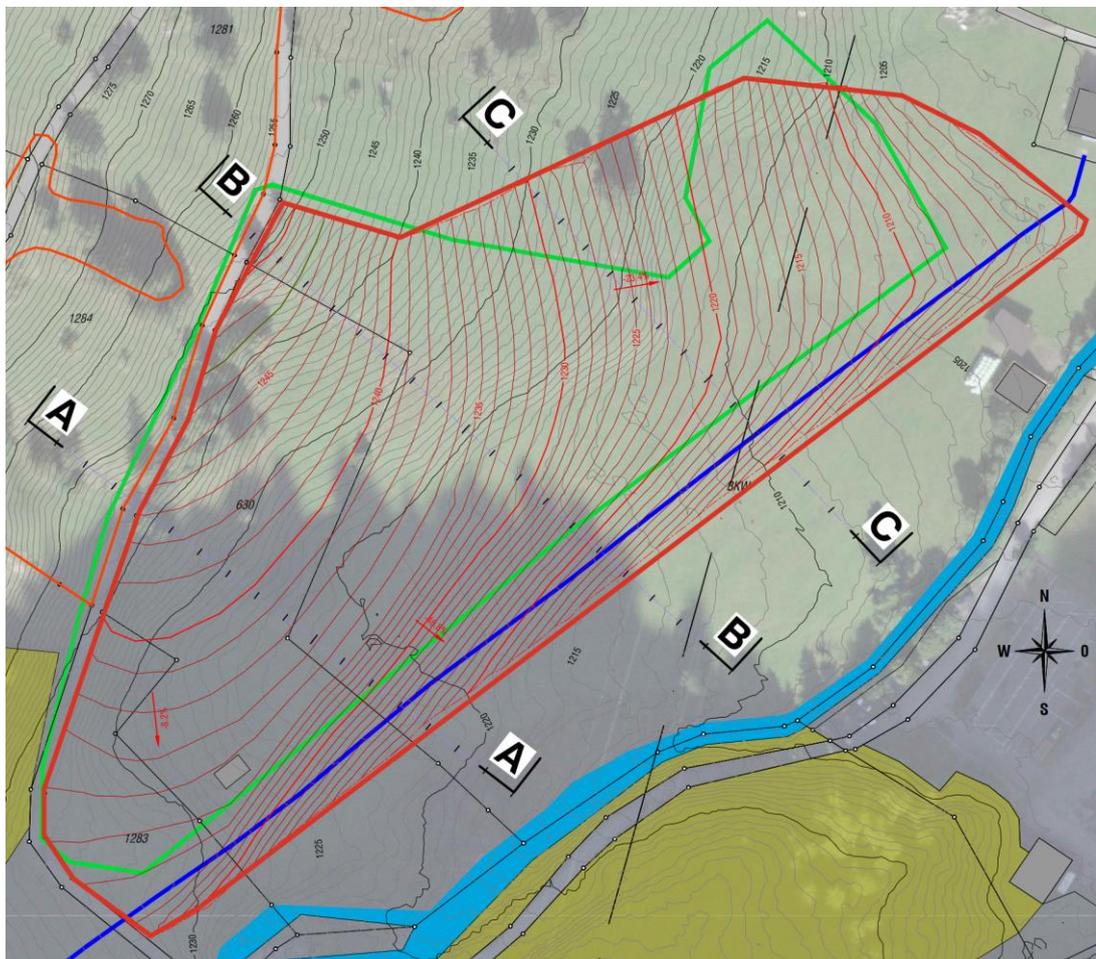


## Gemeinde Kandersteg, Geschiebedeponie

## Rohrstatik Druckleitung Kander Alp AG

24. März 2025 / 1-02





## Impressum

<i>Auftraggeber/-in</i>	Gemeinde Kandersteg
<i>Projektleiter/-in</i>	Christian Bischofberger
<i>Berichtsverfasser/-in</i>	Christian Bischofberger
<i>Projektnummer</i>	65.0546
<i>Dokument</i>	250324_Rohrstatik Druckleitung Kraftwerke Kander Alp AG.docx

## Änderungsverzeichnis

<i>Version</i>	<i>Datum</i>	<i>Verfasser/-in</i>	<i>Bemerkungen</i>
1-01	04.12.2024	c.bischofberger@bs-ing.ch	Entwurf
1-02	24.03.2025	c.bischofberger@bs-ing.ch	Ergänzung Nutzen Druckverteiplatten



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1	Gegenstand	4
1.2	Abgrenzung	4
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Spezifikationen der Rohranlage</b>	<b>4</b>
3.1	Rohr	4
3.2	Einbaubedingungen (SIA 190:2019)	5
3.3	Einwirkungen	5
3.4	Innendruck	5
3.4.1	Minimaler und maximaler Druck	5
<b>4</b>	<b>Nachweise und Resultate</b>	<b>6</b>
4.1	Vorgehen	6
4.2	Lastkombinationen	6
4.3	Verformungsnachweis	6
4.4	Resultate Tragsicherheit	7
4.5	Gebrauchstauglichkeit	7
4.5.1	Integration Vakuum	8
4.5.2	Berechnung gesamte Ausnützung des Querschnittes für Lastfall Strasse + Vakuum	9
4.5.3	Berechnung gesamte Ausnützung des Querschnittes für Lastfall Flächenlast + Vakuum	10
<b>5</b>	<b>Fazit und Empfehlungen</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Einsatz von Lastverteilplatten</b>	<b>11</b>
	<b>Anhänge</b>	<b>12</b>
A	Nachweis SIA 190 Guss_Baupiste_maxDruck	12
B	Nachweis SIA 190 Guss_Baupiste_Vakuum	12
C	Nachweis SIA 190 Guss_Auflast_maxDruck	12
D	Nachweis SIA 190 Guss_Auflast_Vakuum	12



# 1 Einleitung

## 1.1 Gegenstand

Die Gemeinde Kandersteg plant eine Deponie für Geschiebe von Murgängen auf dem Talboden der Eggenschwand zu erstellen. In der dafür vorgesehenen Fläche liegt die Druckleitung der Kraftwerke Kander Alp AG. Diese aus duktilen Gussrohren mit Steckmuffen erstellte Leitung leitet Wasser aus dem Alpbach zum Turbinenhaus.

Die Überschüttung der Leitung mit Erd- und Gesteinsmaterial führt zu einer höheren statischen Belastung der Rohrleitung. Im Rahmen des vorliegenden Auftrags wurde überprüft, in welchem Masse eine zusätzliche Überschüttung der Rohrleitung möglich ist, ohne deren Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit zu gefährden.

## 1.2 Abgrenzung

Mögliche, durch die Überschüttung entstehende Deformationen des Baugrunds wurden im Rahmen des vorliegenden Auftrags nicht untersucht.

# 2 Grundlagen

Für die statischen Berechnungen standen folgende Grundlagen zur Verfügung:

- Übersichtskarte 1:1000 Druckleitung wie gebaut, WKW Alpbach, KW Kander Alp, 17.08.2009
- Situation 1:500 Druckl. Etappe 1 wie gebaut, WKW Alpbach, KW Kander Alp, 17.08.2009
- Ausschnitt Längenprofil Etappe 1 ab Alpstrasse bis Maschinenhaus
- Leistungsverzeichnis, Lieferant TMH Buderus FZM BLS
- Normalprofil Graben Druckleitung
- Einzelne Diagramme auf Excel aus einer Druckstossanalyse
- Projektskizze Situation 1:1000 Deponie Eggenschwand, CYCAD AG, 8.5.2024
- Projektskizze Profile 1:1000 Deponie Eggenschwand, CYCAD AG, 8.5.2024
- Bericht Baugrunduntersuchung Deponie Eggenschwand, Kellerhals+Haefeli, 24.11.2024

# 3 Spezifikationen der Rohranlage

## 3.1 Rohr

Material	Duktilguss	-
Nenndurchmesser / $d_a$	DN600 / 635	mm
Wanddickenklasse	K13	EN 545:2007
Wanddicke $e$	13 mm (?)	Angabe fehlt
Korrosionszuschlag	(?)	unbekannt
E-Modul $E$	170'000	N/mm <sup>2</sup>
Grenzwert der Spannung $\sigma_{RBz}$ (0.2% Dehngrenze)	300	N/mm <sup>2</sup>
Schubsicherung	Ja (?)	innenliegend
Querdehnzahl	0.3	-



Die Werte, welche mit einem in Klammer gesetztes Fragezeichen (?) ergänzt wurden, sind Annahmen, welche aus den erhaltenen Unterlagen nicht entnommen werden konnten.

Gemäss Devis wurden innenliegende Schubsicherungen ausgeschrieben. Es wird davon ausgegangen, dass die gesamte eingebaute Leitung im betrachteten Perimeter schubgesichert ist.

Von der Wandstärke wird 1 mm als Korrosionszuschlag abgezogen. Die Berechnungen erfolgen daher mit einer Wandstärke von 12 mm.

### 3.2 Einbaubedingungen (SIA 190:2019)

- Verlegeprofil: U-Profil 1b
- Normal verdichtbares Erdmaterial

### 3.3 Einwirkungen

- Folgende Einwirkungen wurden berücksichtigt:
- Eigengewicht Stahlrohr
- Eigengewicht Wasser
- Erdauflast (Grabenauffüllung)
- Flächenlast (Deponiekörper)
- Strassenverkehr (Baupiste)
- Innendruck (Druckstoss)

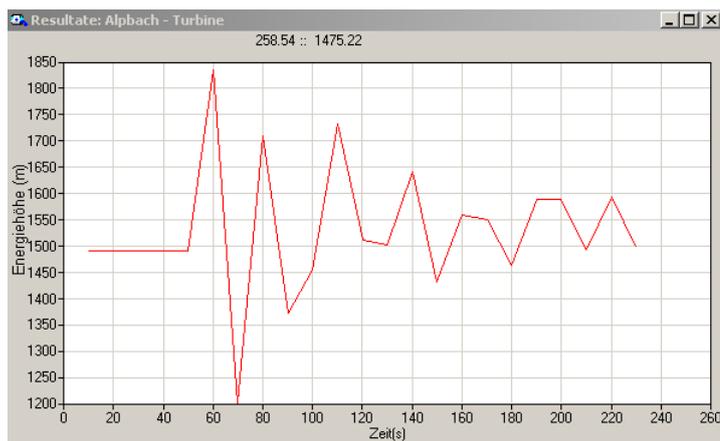
Es wird angenommen, dass für die Erstellung des Deponiekörpers eine Baupiste notwendig ist, welche die Rohrleitung an einer bestimmten Stelle überquert wird. Dieser Strassenverkehr wurde im Rahmen der Rohrstatik für eine normale Nutzung gemäss SIA 261 angenommen. Andere Nutzungen können später bei fortgeschrittener Planung in die Berechnungen einfließen.

Der Deponiekörper wird als Flächenlast für Fundamente gemäss SIA 190 in Berechnung genommen. Die Nachweise wurden für eine Überdeckungshöhe von 15 Meter bei einer Auflastdichte von 22 kN/m<sup>3</sup> durchgeführt. Bei Lastfall 3 (vgl. Abschnitt 4.2) musste die Auflast auf eine Überdeckungshöhe von 5.5 reduziert werden, damit der Nachweis Gebrauchstauglichkeit erfüllt werden kann (vgl. Abschnitt 4.5).

### 3.4 Innendruck

#### 3.4.1 Minimaler und maximaler Druck

Die Turbine liegt auf ca. 1200 m über Meer. Aus dem folgenden Diagramm kann vermutet werden, dass sich bei plötzlichem Schliessen der Turbine der Druck zuerst stark erhöht um dann in einen Unterdruck abzufallen. Dabei steigt die Energiehöhe zuerst auf ca. 1840 hoch und danach hinunter auf 1200 m ü.M. ab, auf Höhe Terrain.



Wird davon ausgegangen, dass die Energiehöhe der Druckhöhe entspricht, entspricht der maximale Druck einer Druckhöhe von 640 m (62.5 bar respektive 6250 kN/m<sup>2</sup>). Der kleinste Druck wird als mit dem Dampfdruck von Wasser reduzierten Vakuum, -0.9 bar in Rechnung gestellt.

## 4 Nachweise und Resultate

### 4.1 Vorgehen

Die Nachweise Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit erfolgen gemäss Norm SIA 190:2019. Aufgrund der gebetteten Lagerung, der nur leicht geneigten Lage der Rohrleitung und der Verbindung der Rohrschüsse mittels längsbeweglichen Muffen wurden keine Längsspannungen berücksichtigt.

### 4.2 Lastkombinationen

Die Lastkombinationen 1 und 2 enthalten noch keinen Deponiekörper, hier wird die Rohrleitung infolge Baupiste zusätzlich belastet.

Die Lastkombinationen 3 und 3 beinhalten einen falls massgebend maximal zulässigen Deponiekörper. Es wird angenommen, dass auf diesem Deponiekörper verkehrende Fahrzeuge keinen signifikanten Einfluss haben auf die Rohrleitung.

<b>Einwirkung / Lastkombination</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Eigengewicht Stahlrohr	X	X	X	X
Eigengewicht Wasser	X		X	X
Erdauflast bis OK best. Terrain	X	X	X	X
Flächenlast (Deponiekörper)			X	X
Strassenverkehr (Baupiste)	X	X		
Innendruck max	X		X	
Innendruck min		X		x

### 4.3 Verformungsnachweis

Aufgrund der Systemsteifigkeit SF von 0.45 entfällt die Notwendigkeit eines Verformungsnachweises.



#### 4.4 Resultate Tragsicherheit

Der Nachweis Tragsicherheit erfolgt für ständige und gelegentlich wirkende Lasten, nach SIA 190. Bei allen Lastkombinationen ist die Tragsicherheit nicht massgebend. Vergleiche dazu Anhang 1 -4, Seite 8, 2. Tragfähigkeitsnachweis.

#### 4.5 Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis Gebrauchstauglichkeit begrenzt die Möglichkeit einer zusätzlichen Aufschüttung, dies in Kombination mit dem maximalen Druck infolge eines Druckstosses. Bei einem Überdruck von 62.5 bar beträgt die maximal zulässige Überschüttung 5.5 Meter. Dabei wird eine Auflast von 5.5 m x 22 kN/m<sup>3</sup> = 121 kN/m<sup>2</sup> erzeugt (vgl. Anhang 3, Seite 3 Flächenlast).

Im Folgenden wird der Spannungsnachweis für den massgebenden Fall wiedergegeben (vgl. dazu Anhang C, Seite 10):

#### Spannungsnachweis beim Gussrohr

Grenzwert der Spannung beim Gussrohr

300.00 N/mm<sup>2</sup>

Spannungen in N/mm <sup>2</sup>	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
infolge Normalkraft	-212.22	-211.19	-210.15	-211.21	-212.27
infolge Moment aussen	85.09	4.46	-77.31	3.73	86.24
infolge Moment innen	-85.09	-4.46	77.31	-3.73	-86.24

Randspannungen in N/mm <sup>2</sup>	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Spannungen aussen	-127.13	-206.73	-287.47	-207.47	-126.04
Spannungen innen	-297.30	-215.66	-132.84	-214.94	-298.51

Spannungsnachweis OK/ Nicht OK	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Spannungen aussen	OK	OK	OK	OK	OK
Spannungen innen	OK	OK	OK	OK	OK

Druck = positiv

Zug = negativ

#### Hinweis:

Diese Nachweise machen keine Aussagen über:

- die Tragfähigkeit und das Setzungsverhalten des Untergrundes
- das Verhalten des Rohres in Längsrichtung



#### 4.5.1 Integration Vakuum

Mit der Norm SIA 190:2019 können keine negativen Drücke berücksichtigt werden. Die gesamte Ausnützung der Wandstärke berechnet sich aus der Summe der Ausnützung SIA 190 + Beulen, wie im Folgenden beschrieben:

Ausnützung  $\mu$  gemäss SIA 190:

$\mu_{(SIA\ 190)}$  = Quotient zwischen berechneter Spannung und Bemessungswert der Beanspruchung aus allen vertikalen Einwirkungen.

Ausnützung  $\mu$  infolge Beulen:

$\mu_{(Beulen)}$  = Quotient zwischen vorhandenem Luftdruck (Vakuum) und kritischem Beuldruck

Dabei wird der kritische Beuldruck durch einen Sicherheitsbeiwert von 2 dividiert:

$$p_{crit,zul} = \frac{p_{crit}}{2} = \frac{2 * E}{2(1 - \nu^2)} * \left(\frac{t}{d_a}\right)^3$$

Mit:

Aussendurchmesser	Da (m)	0.635
Wanddicke	t (mm)	12.0
	t (m)	0.012
E-Modul	E (MPa)	170'000
	D/t (-)	53
Querdehnzahl	$\nu$ (-)	0.300
<b>Kritischer Beuldruck</b>	<b>p<sub>cr</sub> (MPa)</b>	<b>2.522</b>
Sicherheitsfaktor	SF	2
<b>Kritischer Beuldruck/SF</b>	MPa	1.26
	bar	12.6
Unterdruck	bar	0.9
<b>Ausnutzung "Unterdruck"</b>	$\eta$	<b>0.07</b>



#### 4.5.2 Berechnung gesamte Ausnützung des Querschnittes für Lastfall Strasse + Vakuum

<b>Resultate Berechnung nach SIA 190 (vgl. Anhang 1)</b>	<b>Scheitel</b>	<b>Seite oben</b>	<b>horizontal</b>	<b>Seite unten</b>	<b>Sohle</b>
	<b>0°</b>	<b>45°</b>	<b>90°</b>	<b>135°</b>	<b>180°</b>
<b>Spannungen in N/mm<sup>2</sup></b>					
infolge Normalkraft	1.65	2.49	3.34	2.50	1.66
infolge Moment aussen	65.55	0.11	-65.71	-0.11	65.88
infolge Moment innen	-65.55	-0.11	65.71	0.11	-65.88
<b>Randspannungen in N/mm<sup>2</sup></b>					
Spannungen aussen	67.20	2.60	-62.37	2.39	67.54
Spannungen innen	-63.90	2.37	69.06	2.62	-64.22
<b>Zulässige Spannungen</b>					
Spannungen aussen	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Spannungen innen	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
<b>Betrag der effektiven Spannung</b>					
Spannungen aussen	67.20	2.60	62.37	2.39	67.54
Spannungen innen	63.90	2.37	69.06	2.62	64.22
<b>Ausnützung Spannungen nach SIA 190, Anhang 1</b>					
Spannungen aussen $\eta$ (SIA 190)	0.22	0.01	0.21	0.01	0.23
Spannungen innen	0.21	0.01	0.23	0.01	0.21
<b>Ausnützung zulässiger Beuldruck bei Vakuum (vgl. oben)</b>					
Spannungen aussen $\eta$ (Vakuum)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Spannungen innen	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
<b>Gesamte Ausnützung (Erdüberdeckung, Auflast, Vakuum)</b>					
Spannungen aussen	<b>0.30</b>	0.08	0.28	0.08	<b>0.30</b>
Spannungen innen	0.28	0.08	<b>0.30</b>	0.08	0.29

Die gesamte Ausnützung im vorliegenden Lastfall ist nicht massgebend.



#### 4.5.3 Berechnung gesamte Ausnützung des Querschnittes für Lastfall Flächenlast + Vakuum

<b>Resultate Berechnung nach SIA 190 (vgl. Anhang 1)</b>	<b>Scheitel</b>	<b>Seite oben</b>	<b>horizontal</b>	<b>Seite unten</b>	<b>Sohle</b>
	<b>0°</b>	<b>45°</b>	<b>90°</b>	<b>135°</b>	<b>180°</b>
<b>Spannungen in N/mm<sup>2</sup></b>					
infolge Normalkraft	4.70	7.07	9.44	7.08	4.71
infolge Moment aussen	184.34	0.11	-184.50	-0.11	184.66
infolge Moment innen	-184.34	-0.11	184.50	0.11	-184.66
<b>Randspannungen in N/mm<sup>2</sup></b>					
Spannungen aussen	189.04	7.18	-175.06	6.97	189.37
Spannungen innen	-179.63	6.95	193.94	7.20	-179.95
<b>Zulässige Spannungen</b>					
Spannungen aussen	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Spannungen innen	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
<b>Betrag der effektiven Spannung</b>					
Spannungen aussen	189.04	7.18	175.06	6.97	189.37
Spannungen innen	179.63	6.95	193.94	7.20	179.95
<b>Ausnützung Spannungen nach SIA 190, Anhang 1</b>					
Spannungen aussen $\eta$ (SIA 190)	0.63	0.02	0.58	0.02	0.63
Spannungen innen	0.60	0.02	0.65	0.02	0.60
<b>Ausnützung zulässiger Beuldruck bei Vakuum (vgl. oben)</b>					
Spannungen aussen $\eta$ (Vakuum)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Spannungen innen	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
<b>Gesamte Ausnützung (Erdüberdeckung, Auflast, Vakuum)</b>					
Spannungen aussen	<b>0.70</b>	0.10	0.65	0.09	<b>0.70</b>
Spannungen innen	0.67	0.09	<b>0.72</b>	0.10	0.67

Die gesamte Ausnützung im vorliegenden Lastfall ist nicht massgebend.



## 5 Fazit und Empfehlungen

In Bezug zur Rohrleitung ist die Gebrauchstauglichkeit im vorliegenden Fall massgebend, dies in der Kombination vom maximalen hydrostatischen Überdruck und der Flächenlast in Form des Deponiekörpers.

Die maximal zulässige Überdeckung beträgt **5.5 m**.

Für die vorliegenden Berechnungen wurden Annahmen zu den Bodenkennwerten getroffen. Es wurden keine Stabilitäts- und Setzungsberechnungen durchgeführt. Die Leitung liegt in der Böschung und nahe am Böschungsfusspunkt der Aufschüttung. Horizontal rechtwinklig zur Rohrachse verlaufende Verschiebungen infolge Instabilitäten der Aufschüttung und Untergrund müssen unbedingt vermieden werden. Grundsätzlich ist daher die Lage des Deponiekörperrandes entlang der Rohrleitung ungünstig.

Weitereichende Untersuchungen sind notwendig, damit genauere Aussagen zu den Auswirkungen einer Überschüttung auf die Duktileitung gemacht werden können:

- Ermittlung genauer, aktueller Bodenkennwerten
- Aktualisierung der Rohrstatik
- Stabilitäts- und Setzungsberechnungen
- Ermittlung der Auslenkung in den Muffen, Vergleich mit den zulässigen Auslenkungen gemäss Herstellerangaben, zulässige Auflast ggf. anpassen.

Die Kunststoffrohre sind gemäss verfügbarem Querprofil nicht einbetoniert. Anhand von den Produktangaben ist zu prüfen, ob diese einbetoniert werden müssen.

## 6 Einsatz von Lastverteilplatten

Mit Lastverteilplatten, welche mit einer gewissen Erdüberdeckung auf die Rohrleitung gelegt werden, können höhere Punktlasten ins Erdreich abgeleitet werden. Anders als bei z.B. einem Kranfundament nimmt die Bodenpressung im vorliegenden Fall nicht ab, sondern wird neben der Druckleitung sogar erhöht. D.h. die Druckleitung wird anstelle vertikal horizontal stärker belastet.

Druckverteilplatten haben aus diesem Grund eine geringe lastverteilende Wirkung bei grossflächigen Auflasten. Mögliche alternative Lösungen wären:

- a) Die Leitung einzubetonieren, oder
- b) Einen Betonrahmen oder -kanal als Schutzkonstruktion vorzusehen.

In beiden Fällen verbleibt aber die Setzungsproblematik. Insbesondere bei Massnahme b) ist mit erheblichen Kosten zu rechnen. Bei Massnahme a) muss die Funktionstüchtigkeit der Gelenke in den Muffen sichergestellt werden.



# Anhänge

- A Nachweis SIA 190 Guss\_Baupiste\_maxDruck
- B Nachweis SIA 190 Guss\_Baupiste\_Vakuum
- C Nachweis SIA 190 Guss\_Auflast\_maxDruck
- D Nachweis SIA 190 Guss\_Auflast\_Vakuum

<b>Projekt</b>		
<b>Kundenname:</b>		Einwohnergemeinde Kandersteg
<b>Projekt:</b>		65.0546 Rohrstatik Druckleitung Kraftwerke Kander Alp AG
<b>Abschnitt:</b>		Deponiegebiet Eggenschwand
<b>Nummer:</b>		
<b>Sachbearbeiter:</b>		C. Bischofberger
<b>Datum:</b>		29.11.2024
<b>Bemerkungen:</b>		Anhang 1 Lastkombination Strassenlasten (Baupiste) + maximaler Druck (Druckstoss)

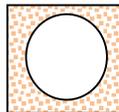
## Eingabe der Daten

### Gussrohr

Produkt		Buderus, DN600, K13	
Nennwert	DN	600	
Aussendurchmesser	$d_a$	635	mm
Wanddicke	$e$	12	mm
Grenzwert der Spannung im Gussrohr	$\sigma_{RBrz}$	300	N/mm <sup>2</sup>
Spezifisches Gewicht Rohr	$\gamma_R$	70.3	kN/m <sup>3</sup>
E-Modul Rohr	$E_R$	170000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson'sche Querdehnung	$\nu$	0.3	
Stützfaktor (Beulen)	$k$	1	

### Graben und Lagerungsbedingungen

#### Profil



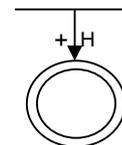
Profil  
Lockergestein

Lagerung	U1a/V1a	U1b/V1b
Lastausbreitungswinkel unten $\alpha_{\text{unten}}$	30°	90°
Lasteinleitung in den Boden	konzentriert konform SIA-190 Profil 1	ausgebreitet

Normalverlegeprofil mit Drop Down Menu U/V **1b**

#### Graben

Höhe Erdmaterial über Rohrscheitel	H	1.00	m
Grabenbreite an der Sohle	B	1.4	m
Böschungsneigung in Grad	$\beta$	90	°



#### Hüllmaterial und Untergrund

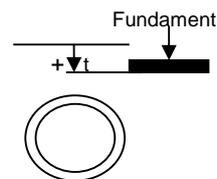
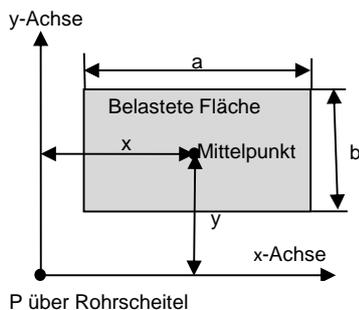
Qualität Untergrund (SIA 190 Art. 5.323): Bettung		1: normal standfest	
Bettungsstärke individuell (wird evtl. übersteuert)	$a$	0.1	m
Feuchtraumgewicht des Baugrundes	$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
Raumgewicht unter Auftrieb	$\gamma'$	11	kN/m <sup>3</sup>
Senkrechter Verformungsmodul des Bodens	$E_b$	3	N/mm <sup>2</sup>
Winkel der inneren Reibung in Grad	$\phi$	30	°
Erddruckbeiwert	$K$	0.5	-
Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2$ (Art Baugrund)	$C_2$	0.7	-

#### Konzentrationsfaktor $\lambda_{\text{min}}$ bei weichem Verhalten der Rohre

Lastminderung mit Drop Down Menu	1: nein
Auswahl Wandreibungswinkel $\delta$ mit Drop Down Menu gemäss Tabelle 8	1: Verdichtung gegen Boden ohne Nachweis

# Einwirkungen

## Flächenlast = Fundamentlasten



Auswahl mit Drop Down Menu

Flächenlast

Tiefe unter OK Terrain

Länge belastete Fläche in x-Richtung

Breite belastete Fläche in y-Richtung

Abstand Punkt P vom Mittelpunkt in x-Richtung

Abstand Punkt P vom Mittelpunkt in y-Richtung

t  
a  
b  
x  
y

1: Flächenlast	0	kN/m <sup>2</sup>
	0	m
	0	m
	0	m
	0	m
	0	m

## Verkehrslasten

Auswahl mit Drop Down Menu

### Strassenverkehr

Dynamischer Beiwert (Drop down Menu)

α-Wert normaler Strassenverkehr

α-Wert von untergeordneter Strasse ist programmiert

ψ  
α

B1: Strassenverkehr		
1: mit Stosszuschlag	0.9	
	0.65	

Strassenverkehr



Strassenrand



Standard α = 0.9 SIA 261

### Eisenbahn

α-Wert

α-Wert von schmalspur ist programmiert

α

	1.33	
	1.0	

Standard α = 1.33 SIA 261

## Wasser

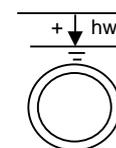
### Grundwasser

Auswahl mit Drop Down Menu

Grundwasserspiegel ab OK Terrain

h<sub>w</sub>

0: kein Grundwasser	3	m
---------------------	---	---



### Druckleitung

Auswahl mit Drop Down Menu

Überdruck Δp über Mitte Rohrwand im Scheitel

Δp

2: Überdruck über Scheitel	6250	kN/m <sup>2</sup>
----------------------------	------	-------------------

# Ergebnisse

## Projektdaten

Kundenname	Einwohnergemeinde Kandersteg
Projekt	65.0546 Rohrstatik Druckleitung Kraftwerke Kander Alp AG
Abschnitt	Deponiegebiet Eggenschwand
Nummer	
Sachbearbeiter	C. Bischofberger
Datum	29.11.2024
Bemerkung	Anhang 1 Lastkombination Strassenlasten (Baupiste) + maximaler Druck (Druckstoss)

## System Übersicht

### Rohrwerte Gussrohr

Produkt		Buderus, DN600, K13	
Rohrtyp	DN	600	mm

### Querschnittswerte Gussrohr

Grenzwert der Spannung im Gussrohr	$\sigma_{RBrz}$	300	N/mm <sup>2</sup>
Spezifisches Gewicht Rohr	$\gamma_R$	70.3	kN/m <sup>3</sup>
E-Modul Rohr	$E_R$	170000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson'sche Querdehnung	$\nu$	0.3	-
Stützfaktor (Beulen)	$k$	1	-

### Geometrie Gussrohr

Radius	$r$	0.3115	m
Wandstärke	$e$	0.012	m
Dicke Ersatzrohr	$a$	0.16	m
Durchmesser innen	$d_i$	0.611	m
Durchmesser aussen	$d_a$	0.635	m
Querschnittsfläche	$A$	0.0120	m <sup>2</sup>
Widerstandsmoment	$W$	0.000024	m <sup>3</sup>

SIA 190 Art. 5.3.2.3 massg.

<b>Profil</b>	U/V	1b	
---------------	-----	----	--

<b>Systemsteifigkeit</b>	SF	0.4500	steif
--------------------------	----	--------	-------

### Überdeckungshöhe

Überdeckungshöhe	$H$	1	m
OK Terrain - OK Rohrsohle		1.623	m

### Bodenkennwerte

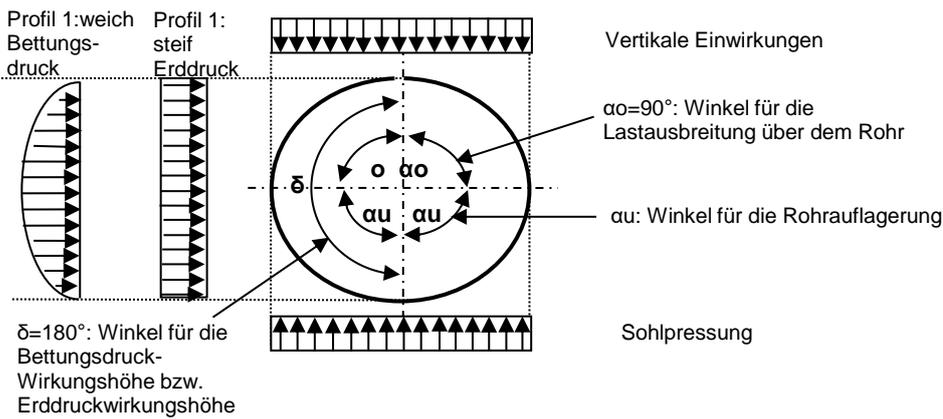
Feuchtraumgewicht des Baugrundes	$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
Raumgewicht unter Auftrieb	$\gamma'$	11	kN/m <sup>3</sup>
Verformungsmodul des Bodens	$E_b$	3	N/mm <sup>2</sup>
Winkel der inneren Reibung in Grad	$\phi$	30	°
Erddruckbeiwert	$K$	0.5	-
Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2$	$C_2$	0.7	-

**Lastfälle**

Flächenlast	ja	q	0	kN/m <sup>2</sup>
Strassenverkehr	ψ	1.20	alpha	0.9
Grundwasser	nein			
Druckleitung	Überdruck			

Lagerungstyp	Profil	1b	rad	Grad
Lastausbreitungswinkel über dem Rohr	$\alpha_{\text{oben}}$		1.5708	90
Lastausbreitungswinkel unten	$\alpha_{\text{unten}}$		1.5708	90
Winkel für die Bettungsdruck- bzw. Erddruck-Wirkungshöhe	$\delta$		3.1415	180

**Lastausbreitungswinkel**



**Weitere Kenngrößen in Abhängigkeit des Profils**

**steifes Rohr**

Setzungs-Durchbiegungsziffer	0.70
Ausladungsziffer C3	1.00
C1= C2 C3	0.700
Konzentrationsfaktor $\lambda_{\text{max}}$	1.628

**Lastvergrößerung**

Lastvergrößerungsfaktor f	f	1.0000
---------------------------	---	--------

**Rohrkrümmung**

aussen	$\alpha_{ka}$	1.0000
innen	$\alpha_{ki}$	1.0000

**Erd- oder Bettungsdruckbeiwerte**

steifes Rohr	
K	0.5000
KRad	0.5000

## Einwirkungen

### Vertikale Einwirkungen

#### Eigengewicht Rohr

Laufmetergewicht Rohr	g		0.84	kN/m <sup>2</sup>
Rohrgewicht	G	$2 \pi r g$	1.651	kN/m
Auftrieb bei Grundwasser	F <sub>A</sub>		0.00	kN/m
Zusatzgewicht bei vollem Rohr	G <sub>w</sub>	$\gamma_w \pi 1/4 d_i^2$	2.93	kN/m

#### Erdaufasten

Effektive Erdaufast ab OK Terrain bis Rohrscheitel	q <sub>s Erde</sub>	$\sigma_{vErde} \lambda f$	32.56	kN/m <sup>2</sup>
--	---------------------	----------------------------	-------	-------------------

#### Flächenlast

Auflast	q	0	kN/m <sup>2</sup>
Tiefe unter OK Terrain	t	0	m
Länge belastete Fläche x-Richtung	a	0	m
Breite belastete Fläche y-Richtung	b	0	m
Abstand P vom Mittelpunkt	x	0	m
Abstand P vom Mittelpunkt	y	0	m
Spannung auf Niveau Rohrscheitel	$\sigma = \sigma f$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

Langzeitlasten auf Rohrscheitel	q <sub>s1</sub>	32.56	kN/m <sup>2</sup>
---------------------------------	-----------------	-------	-------------------

#### Verkehrslasten

Art der Verkehrslast	B1: Strassenverkehr
Alpha-Wert:	0.9
Dynamischer Beiwert	1.20

#### Strassenverkehrslast

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p v R$	48.96	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslast - Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p v T$	45.86	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslast	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2</sub>	$\alpha \psi f p v G$	94.82	kN/m <sup>2</sup>

#### Strassenverkehrslast Strassenrand

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p v R$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslast - Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p v T$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslast	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2</sub>	$\alpha \psi f p v G$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

#### Untergeordnete Strasse

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p v R$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslast - Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p v T$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslast	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2</sub>	$\alpha \psi f p v G$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

**Eisenbahnlasten**

<b>ingleisig</b>	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p v B$	0.00	$\text{kN/m}^2$
<b>mehrgleisig</b>	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p v B$	0.00	$\text{kN/m}^2$
<b>schmalspur</b>	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p v B$	0.00	$\text{kN/m}^2$

**Übersicht vertikale Lasten**

<b>Langzeitlasten auf Rohrscheitel</b>	$q_{s1}$		32.56	$\text{kN/m}^2$
<b>Kurzzeitlasten auf Rohrscheitel</b>	$q_{s2}$		94.82	$\text{kN/m}^2$

**Überlagerung vertikale Einwirkungen**

Alle Vertikallasten auf dem Scheitel	$q_{ser}$	$q_{s2} + q_{s1}$	127.38	$\text{kN/m}^2$
Für Tragsicherheit: totale Vertikallast auf Rohrscheitel (Lastfaktoren gem. SIA 260 Tab 1)	$q_{ds}$	$1,5q_{s2} + 1,35q_{s1}$	186.19	$\text{kN/m}^2$

**Horizontale Einwirkungen**

Erddruck	$q_h$	$K(q_{s1} + q_{s2} T + \sigma) + K R q_{s2} R$	63.69	$\text{kN/m}^2$
----------	-------	--	-------	-----------------

**Spezielle Einwirkungen****Wasser****Grundwasser**

Grundwasser ja/nein		nein		
Wasserspiegel ab OK Terrain	$h_w$	0		m
WSp. über Mitte Rohrwand oben	$\Delta h$	0		m
Wasserdruck Mitte Rohrwand oben	$w_s$	0		$\text{kN/m}^2$
Wasserdruck Mitte Rohrachse seitlich.	$p_{wa}$	0.00		$\text{kN/m}^2$
Bemessungswert Wasserdruck seitlich.	$p_{wd}$	0		$\text{kN/m}^2$

**Druckleitung**

Volles Rohr ja/nein		Überdruck		
Wasserüberdruck innen über Rohrscheitel	$\Delta p_{wi}$	6250		$\text{kN/m}^2$

## Nachweise

### 1. Verformungsnachweis

>>>> entfällt bei steifen Rohren			

--	--	--	--	--	--

### 2. Tragfähigkeitsnachweis

<b>Scheitelbruchlast</b>			
Bemessungswert vertikale Einwirkungen	$q_{ds}$	186.19	$\text{kN/m}^2$
Aussendurchmesser $d_a$	$d_a$	0.64	$\text{kN/m}^2$
Bemessungswert als Linienlast	$q_{ds}^* = q_{ds} d_a$	118.23	$\text{kN/m}^2$
Scheiteldruckfestigkeit	$q_{Br}$	557.30	$\text{kN/m}^2$
Tragfähigkeit	$q^{\circ} ds \leq Z_E$ $q_{Br}/1.2$	696.62	$\text{kN/m}$

Nachweis	$q^{\circ} ds$	118.23	$q^{\circ} ds \leq Z_E$ $q_{Br}/1.2$	696.62	<b>erfüllt</b>
----------	----------------	--------	---	--------	----------------

### 3. Auftriebsstabilität

Erdauflast plus Spickel (ohne $\lambda_{max}$ )	$G+G'$	13.57	$\text{kN/m}$
leeres Rohr	$G_R$	1.65	$\text{kN/m}$
Total		15.22	$\text{kN/m}$
Total stabilisierend, abgemindert	$0.9(G+G'+G_R)$	13.69	$\text{kN/m}$

Auftriebskraft	$F_A$	0.00	$\text{kN/m}$
Vergrösserte Auftriebskraft	$1.05 F_A$	0.00	$\text{kN/m}$

Ist die Stabilität erfüllt?		0.00	$1.05 F_A <$ $0.9(G+G'+G_R)$	13.69	<b>erfüllt</b>
-----------------------------	--	------	---------------------------------	-------	----------------

## 4. Gebrauchstauglichkeitsnachweis beim Gussrohr

## Schnittkräfte

Normalkräfte in kN/m	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Rohreigengewicht mit Linienlagerung	-0.13	0.05	0.41	0.53	0.13
Gleichm. verteilte Auflast $q_{ser}$ mit Linienl.	-4.21	16.86	39.68	31.03	4.21
Sohlpressung infolge Linienlagerung	4.45	3.15	0.00	-11.84	-4.45
Erddruck auf volle Höhe	19.84	9.92	0.00	9.92	19.84
Äusserer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Äusserer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck bis Scheitel	-0.73	-0.53	-0.21	-0.33	-1.21
Innerer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	-1946.88	-1946.88	-1946.88	-1946.88	-1946.88
<b>Superposition der Normalkräfte</b>	<b>-1927.65</b>	<b>-1917.42</b>	<b>-1906.99</b>	<b>-1917.56</b>	<b>-1928.36</b>

Druck = positiv

Zug = negativ

Momente in kNm/m	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Rohreigengewicht mit Linienlagerung	0.04	0.01	-0.05	-0.03	0.12
Gleichm. verteilte Auflast $q_{ser}$ mit Linienl.	3.70	0.23	-3.79	-1.10	7.26
Sohlpressung infolge Linienlagerung	-0.65	-0.24	0.74	1.16	-4.41
Erddruck auf volle Höhe	-1.55	0.00	1.55	0.00	-1.55
Äusserer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Äusserer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck bis Scheitel	0.08	0.01	-0.09	-0.05	0.23
Innerer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
<b>Superposition der Momente</b>	<b>1.70</b>	<b>0.08</b>	<b>-1.56</b>	<b>0.07</b>	<b>1.73</b>

Positives Biegemoment: Zug innen; Druck aussen

Negatives Biegemoment: Zug aussen; Druck innen

**Spannungsnachweis beim Gussrohr**

Grenzwert der Spannung beim Gussrohr

300.00 N/mm<sup>2</sup>

Spannungen in N/mm <sup>2</sup>	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
infolge Normalkraft	-160.64	-159.78	-158.92	-159.80	-160.70
infolge Moment aussen	70.88	3.46	-65.11	2.73	72.03
infolge Moment innen	-70.88	-3.46	65.11	-2.73	-72.03

Randspannungen in N/mm <sup>2</sup>	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Spannungen aussen	-89.75	-156.32	-224.02	-157.07	-88.66
Spannungen innen	-231.52	-163.25	-93.81	-162.53	-232.73

Spannungsnachweis OK/ Nicht OK	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Spannungen aussen	OK	OK	OK	OK	OK
Spannungen innen	OK	OK	OK	OK	OK

Druck = positiv

Zug = negativ

**Hinweis:****Diese Nachweise machen keine Aussagen über:**

- die Tragfähigkeit und das Setzungsverhalten des Untergrundes
- das Verhalten des Rohres in Längsrichtung

<b>Projekt</b>	
<b>Kundenname:</b>	Einwohnergemeinde Kandersteg
<b>Projekt:</b>	65.0546 Rohrstatik Druckleitung Kraftwerke Kander Alp AG
<b>Abschnitt:</b>	Deponiegebiet Eggenschwand
<b>Nummer:</b>	
<b>Sachbearbeiter:</b>	C. Bischofberger
<b>Datum:</b>	29.11.2024
<b>Bemerkungen:</b>	Anhang 2 Lastkombination Strassenlasten (Baupiste) + Vakuum (Druckstoss)

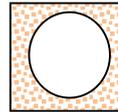
## Eingabe der Daten

### Gussrohr

Produkt		Buderus, DN600, K13	
Nennwert	DN	600	
Aussendurchmesser	$d_a$	635	mm
Wanddicke	$e$	12	mm
Grenzwert der Spannung im Gussrohr	$\sigma_{RBrz}$	300	N/mm <sup>2</sup>
Spezifisches Gewicht Rohr	$\gamma_R$	70.3	kN/m <sup>3</sup>
E-Modul Rohr	$E_R$	170000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson'sche Querdehnung	$\nu$	0.3	
Stützfaktor (Beulen)	$k$	1	

### Graben und Lagerungsbedingungen

#### Profil



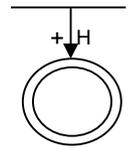
Profil  
Lockergestein

Lagerung	U1a/V1a	U1b/V1b
Lastausbreitungswinkel unten $\alpha_{\text{unten}}$	30°	90°
Lasteinleitung in den Boden	konzentriert konform SIA-190 Profil 1	ausgebreitet

Normalverlegeprofil mit Drop Down Menu U/V **1b**

#### Graben

Höhe Erdmaterial über Rohrscheitel	H	1.00	m
Grabenbreite an der Sohle	B	1.4	m
Böschungsneigung in Grad	$\beta$	90	°



#### Hüllmaterial und Untergrund

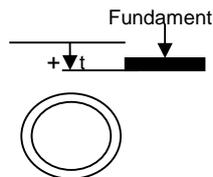
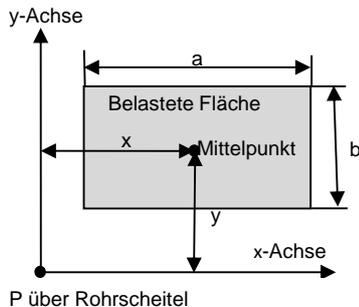
Qualität Untergrund (SIA 190 Art. 5.323): Bettung		1: normal standfest	
Bettungsstärke individuell (wird evtl. übersteuert)	$a$	0.1	m
Feuchtraumgewicht des Baugrundes	$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
Raumgewicht unter Auftrieb	$\gamma'$	11	kN/m <sup>3</sup>
Senkrechter Verformungsmodul des Bodens	$E_b$	3	N/mm <sup>2</sup>
Winkel der inneren Reibung in Grad	$\phi$	30	°
Erddruckbeiwert	$K$	0.5	-
Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2$ (Art Baugrund)	$C_2$	0.7	-

#### Konzentrationsfaktor $\lambda_{\text{min}}$ bei weichem Verhalten der Rohre

Lastminderung mit Drop Down Menu	1: nein
Auswahl Wandreibungswinkel $\delta$ mit Drop Down Menu gemäss Tabelle 8	1: Verdichtung gegen Boden ohne Nachweis

# Einwirkungen

## Flächenlast = Fundamentlasten



Auswahl mit Drop Down Menu

Flächenlast

Tiefe unter OK Terrain

Länge belastete Fläche in x-Richtung

Breite belastete Fläche in y-Richtung

Abstand Punkt P vom Mittelpunkt in x-Richtung

Abstand Punkt P vom Mittelpunkt in y-Richtung

t  
a  
b  
x  
y

1: Flächenlast	0	kN/m <sup>2</sup>
	0	m
	0	m
	0	m
	0	m
	0	m

## Verkehrslasten

Auswahl mit Drop Down Menu

### Strassenverkehr

Dynamischer Beiwert (Drop down Menu)

α-Wert normaler Strassenverkehr

α-Wert von untergeordneter Strasse ist programmiert

ψ  
α

B1: Strassenverkehr		
1: mit Stosszuschlag	0.9	
	0.65	

Strassenverkehr



Strassenrand



Standard α = 0.9 SIA 261

### Eisenbahn

α-Wert

α-Wert von schmalspur ist programmiert

α

	1.33	
	1.0	

Standard α = 1.33 SIA 261

## Wasser

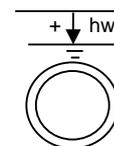
### Grundwasser

Auswahl mit Drop Down Menu

Grundwasserspiegel ab OK Terrain

h<sub>w</sub>

0: kein Grundwasser	3	m
---------------------	---	---



### Druckleitung

Auswahl mit Drop Down Menu

Überdruck Δp über Mitte Rohrwand im Scheitel

Δp

0: Rohr leer	0	kN/m <sup>2</sup>
--------------	---	-------------------

# Ergebnisse

## Projektdaten

Kundenname	Einwohnergemeinde Kandersteg
Projekt	65.0546 Rohrstatik Druckleitung Kraftwerke Kander Alp AG
Abschnitt	Deponiegebiet Eggenschwand
Nummer	
Sachbearbeiter	C. Bischofberger
Datum	29.11.2024
Bemerkung	Anhang 2 Lastkombination Strassenlasten (Baupiste) + Vakuum (Druckstoss)

## System Übersicht

### Rohrwerte Gussrohr

Produkt	Buderus, DN600, K13		
Rohrtyp	DN	600	mm

### Querschnittswerte Gussrohr

Grenzwert der Spannung im Gussrohr	$\sigma_{RBrz}$	300	N/mm <sup>2</sup>
Spezifisches Gewicht Rohr	$\gamma_R$	70.3	kN/m <sup>3</sup>
E-Modul Rohr	$E_R$	170000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson'sche Querdehnung	$\nu$	0.3	-
Stützfaktor (Beulen)	$k$	1	-

### Geometrie Gussrohr

Radius	$r$	0.3115	m
Wandstärke	$e$	0.012	m
Dicke Ersatzrohr	$a$	0.16	m
Durchmesser innen	$d_i$	0.611	m
Durchmesser aussen	$d_a$	0.635	m
Querschnittsfläche	$A$	0.0120	m <sup>2</sup>
Widerstandsmoment	$W$	0.000024	m <sup>3</sup>

SIA 190 Art. 5.3.2.3 massg.

<b>Profil</b>	U/V	1b	
---------------	-----	----	--

<b>Systemsteifigkeit</b>	SF	0.4500	steif
--------------------------	----	--------	-------

### Überdeckungshöhe

Überdeckungshöhe	$H$	1	m
OK Terrain - OK Rohrsohle		1.623	m

### Bodenkennwerte

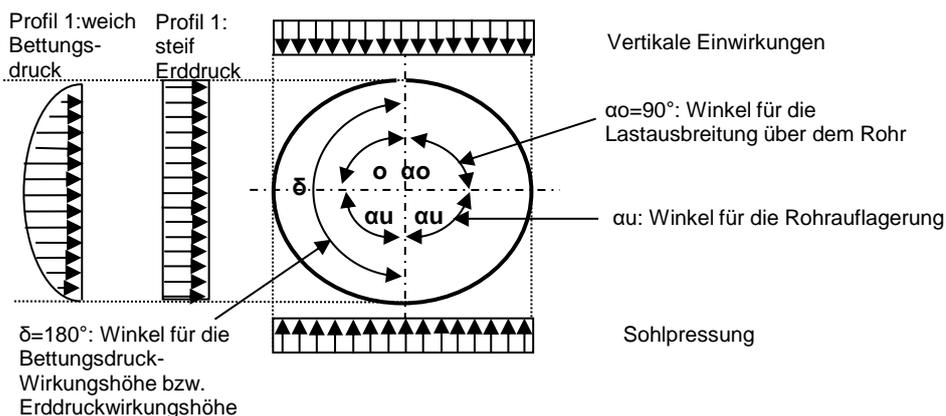
Feuchtraumgewicht des Baugrundes	$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
Raumgewicht unter Auftrieb	$\gamma'$	11	kN/m <sup>3</sup>
Verformungsmodul des Bodens	$E_b$	3	N/mm <sup>2</sup>
Winkel der inneren Reibung in Grad	$\phi$	30	°
Erddruckbeiwert	$K$	0.5	-
Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2$	$C_2$	0.7	-

**Lastfälle**

Flächenlast	ja	q	0	kN/m <sup>2</sup>
Strassenverkehr	ψ	1.20	alpha	0.9
Grundwasser	nein			
Druckleitung	Rohr leer			

Lagerungstyp	Profil	1b	rad	Grad
Lastausbreitungswinkel über dem Rohr	$\alpha_{oben}$		1.5708	90
Lastausbreitungswinkel unten	$\alpha_{unten}$		1.5708	90
Winkel für die Bettungsdruck- bzw. Erddruck-Wirkungshöhe	$\delta$		3.1415	180

**Lastausbreitungswinkel**



**Weitere Kenngrössen in Abhängigkeit des Profils**

**steifes Rohr**

Setzungs-Durchbiegungsziffer	0.70
Ausladungsziffer C3	1.00
C1= C2 C3	0.700
Konzentrationsfaktor $\lambda_{max}$	1.628

**Lastvergrößerung**

Lastvergrößerungsfaktor f	f	1.0000
---------------------------	---	--------

**Rohrkrümmung**

aussen	$\alpha_{ka}$	1.0000
innen	$\alpha_{ki}$	1.0000

**Erd- oder Bettungsdruckbeiwerte**

steifes Rohr	
K	0.5000
KRad	0.5000

## Einwirkungen

### Vertikale Einwirkungen

#### Eigengewicht Rohr

Laufmetergewicht Rohr	g		0.84	kN/m <sup>2</sup>
Rohrgewicht	G	$2 \pi r g$	1.651	kN/m
Auftrieb bei Grundwasser	F <sub>A</sub>		0.00	kN/m
Zusatzgewicht bei vollem Rohr	G <sub>w</sub>	$\gamma_w \pi 1/4 d_i^2$	0.00	kN/m

#### Erdauflasten

Effektive Erdauflast ab OK Terrain bis Rohrscheitel	q <sub>s Erde</sub>	$\sigma_{vErde} \lambda f$	32.56	kN/m <sup>2</sup>
---	---------------------	----------------------------	-------	-------------------

#### Flächenlast

Auflast	q	0	kN/m <sup>2</sup>
Tiefe unter OK Terrain	t	0	m
Länge belastete Fläche x-Richtung	a	0	m
Breite belastete Fläche y-Richtung	b	0	m
Abstand P vom Mittelpunkt	x	0	m
Abstand P vom Mittelpunkt	y	0	m
Spannung auf Niveau Rohrscheitel	$\sigma = \sigma f$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

Langzeitlasten auf Rohrscheitel	q <sub>s1</sub>	32.56	kN/m <sup>2</sup>
---------------------------------	-----------------	-------	-------------------

#### Verkehrslasten

Art der Verkehrslast	B1: Strassenverkehr
Alpha-Wert:	0.9
Dynamischer Beiwert	1.20

#### Strassenverkehrslast

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p v R$	48.96	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslast - Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p v T$	45.86	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslast	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2</sub>	$\alpha \psi f p v G$	94.82	kN/m <sup>2</sup>

#### Strassenverkehrslast Strassenrand

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p v R$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslast - Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p v T$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslast	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2</sub>	$\alpha \psi f p v G$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

#### Untergeordnete Strasse

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p v R$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslast - Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p v T$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslast	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2</sub>	$\alpha \psi f p v G$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

**Eisenbahnlasten**

<b>ingleisig</b>	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p v B$	0.00	$\text{kN/m}^2$
<b>mehrgleisig</b>	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p v B$	0.00	$\text{kN/m}^2$
<b>schmalspur</b>	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p v B$	0.00	$\text{kN/m}^2$

**Übersicht vertikale Lasten**

<b>Langzeitlasten auf Rohrscheitel</b>	$q_{s1}$		32.56	$\text{kN/m}^2$
<b>Kurzzeitlasten auf Rohrscheitel</b>	$q_{s2}$		94.82	$\text{kN/m}^2$

**Überlagerung vertikale Einwirkungen**

Alle Vertikallasten auf dem Scheitel	$q_{ser}$	$q_{s2} + q_{s1}$	127.38	$\text{kN/m}^2$
Für Tragsicherheit: totale Vertikallast auf Rohrscheitel (Lastfaktoren gem. SIA 260 Tab 1)	$q_{ds}$	$1,5q_{s2} + 1,35q_{s1}$	186.19	$\text{kN/m}^2$

**Horizontale Einwirkungen**

Erddruck	$q_h$	$K(q_{s1} + q_{s2} T + \sigma) + KR q_{s2} R$	63.69	$\text{kN/m}^2$
----------	-------	---	-------	-----------------

**Spezielle Einwirkungen****Wasser****Grundwasser**

Grundwasser ja/nein		nein		
Wasserspiegel ab OK Terrain	$h_w$	0		m
WSp. über Mitte Rohrwand oben	$\Delta h$	0		m
Wasserdruck Mitte Rohrwand oben	$w_s$	0		$\text{kN/m}^2$
Wasserdruck Mitte Rohrachse seitlich.	$p_{wa}$	0.00		$\text{kN/m}^2$
Bemessungswert Wasserdruck seitlich.	$p_{wd}$	0		$\text{kN/m}^2$

**Druckleitung**

Volles Rohr ja/nein		Rohr leer		
Wasserüberdruck innen über Rohrscheitel	$\Delta p_{wi}$	0		$\text{kN/m}^2$

## Nachweise

### 1. Verformungsnachweis

>>>> entfällt bei steifen Rohren			

--	--	--	--	--	--

### 2. Tragfähigkeitsnachweis

<b>Scheitelbruchlast</b>			
Bemessungswert vertikale Einwirkungen	$q_{ds}$	186.19	$\text{kN/m}^2$
Aussendurchmesser $d_a$	$d_a$	0.64	$\text{kN/m}^2$
Bemessungswert als Linienlast	$q_{ds}^* = q_{ds} d_a$	118.23	$\text{kN/m}^2$
Scheiteldruckfestigkeit	$q_{Br}$	557.30	$\text{kN/m}^2$
Tragfähigkeit	$q^{\circ} ds \leq Z_E$ $q_{Br}/1.2$	696.62	$\text{kN/m}$

Nachweis	$q^{\circ} ds$	118.23	$q^{\circ} ds \leq Z_E$ $q_{Br}/1.2$	696.62	<b>erfüllt</b>
----------	----------------	--------	---	--------	----------------

### 3. Auftriebsstabilität

Erdauflast plus Spickel (ohne $\lambda_{max}$ )	$G+G'$	13.57	$\text{kN/m}$
leeres Rohr	$G_R$	1.65	$\text{kN/m}$
Total		15.22	$\text{kN/m}$
Total stabilisierend, abgemindert	$0.9(G+G'+G_R)$	13.69	$\text{kN/m}$

Auftriebskraft	$F_A$	0.00	$\text{kN/m}$
Vergrösserte Auftriebskraft	$1.05 F_A$	0.00	$\text{kN/m}$

Ist die Stabilität erfüllt?		0.00	$1.05 F_A <$ $0.9(G+G'+G_R)$	13.69	<b>erfüllt</b>
-----------------------------	--	------	---------------------------------	-------	----------------

## 4. Gebrauchstauglichkeitsnachweis beim Gussrohr

## Schnittkräfte

Normalkräfte in kN/m	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Rohreigengewicht mit Linienlagerung	-0.13	0.05	0.41	0.53	0.13
Gleichm. verteilte Auflast $q_{ser}$ mit Linienl.	-4.21	16.86	39.68	31.03	4.21
Sohlpressung infolge Linienlagerung	4.30	3.04	0.00	-11.43	-4.30
Erddruck auf volle Höhe	19.84	9.92	0.00	9.92	19.84
Äusserer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Äusserer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Superposition der Normalkräfte</b>	<b>19.80</b>	<b>29.87</b>	<b>40.09</b>	<b>30.06</b>	<b>19.88</b>

Druck = positiv

Zug = negativ

Momente in kNm/m	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Rohreigengewicht mit Linienlagerung	0.04	0.01	-0.05	-0.03	0.12
Gleichm. verteilte Auflast $q_{ser}$ mit Linienl.	3.70	0.23	-3.79	-1.10	7.26
Sohlpressung infolge Linienlagerung	-0.62	-0.23	0.72	1.12	-4.25
Erddruck auf volle Höhe	-1.55	0.00	1.55	0.00	-1.55
Äusserer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Äusserer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Superposition der Momente</b>	<b>1.57</b>	<b>0.00</b>	<b>-1.58</b>	<b>0.00</b>	<b>1.58</b>

Positives Biegemoment: Zug innen; Druck aussen

Negatives Biegemoment: Zug aussen; Druck innen

**Spannungsnachweis beim Gussrohr**

Grenzwert der Spannung beim Gussrohr

300.00 N/mm<sup>2</sup>

Spannungen in N/mm <sup>2</sup>	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
infolge Normalkraft	1.65	2.49	3.34	2.50	1.66
infolge Moment aussen	65.55	0.11	-65.71	-0.11	65.88
infolge Moment innen	-65.55	-0.11	65.71	0.11	-65.88

Randspannungen in N/mm <sup>2</sup>	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Spannungen aussen	67.20	2.60	-62.37	2.39	67.54
Spannungen innen	-63.90	2.37	69.06	2.62	-64.22

Spannungsnachweis OK/ Nicht OK	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Spannungen aussen	OK	OK	OK	OK	OK
Spannungen innen	OK	OK	OK	OK	OK

Druck = positiv

Zug = negativ

**Hinweis:****Diese Nachweise machen keine Aussagen über:**

- die Tragfähigkeit und das Setzungsverhalten des Untergrundes
- das Verhalten des Rohres in Längsrichtung

<b>Projekt</b>	
<b>Kundenname:</b>	Einwohnergemeinde Kandersteg
<b>Projekt:</b>	65.0546 Rohrstatik Druckleitung Kraftwerke Kander Alp AG
<b>Abschnitt:</b>	Deponiegebiet Eggenschwand
<b>Nummer:</b>	
<b>Sachbearbeiter:</b>	C. Bischofberger
<b>Datum:</b>	29.11.2024
<b>Bemerkungen:</b>	Anhang 3: Lastkombination Flächenlast (Deponie) + maximaler Druck

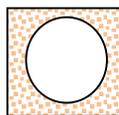
## Eingabe der Daten

### Gussrohr

Produkt		Buderus, DN600, K13	
Nennwert	DN	600	
Aussendurchmesser	$d_a$	635	mm
Wanddicke	$e$	12	mm
Grenzwert der Spannung im Gussrohr	$\sigma_{RBrz}$	300	N/mm <sup>2</sup>
Spezifisches Gewicht Rohr	$\gamma_R$	70.3	kN/m <sup>3</sup>
E-Modul Rohr	$E_R$	170000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson'sche Querdehnung	$\nu$	0.3	
Stützfaktor (Beulen)	$k$	1	

### Graben und Lagerungsbedingungen

#### Profil



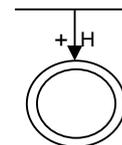
Profil  
Lockergestein

Lagerung	U1a/V1a	U1b/V1b
Lastausbreitungswinkel unten $\alpha_{\text{unten}}$	30°	90°
Lasteinleitung in den Boden	konzentriert konform SIA-190 Profil 1	ausgebreitet

Normalverlegeprofil mit Drop Down Menu U/V **1b**

#### Graben

Höhe Erdmaterial über Rohrscheitel	H	1.00	m
Grabenbreite an der Sohle	B	1.4	m
Böschungsneigung in Grad	$\beta$	90	°



#### Hüllmaterial und Untergrund

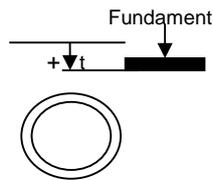
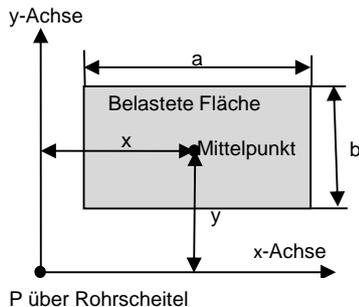
Qualität Untergrund (SIA 190 Art. 5.323): Bettung		1: normal standfest	
Bettungsstärke individuell (wird evtl. übersteuert)	$a$	0.1	m
Feuchtraumgewicht des Baugrundes	$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
Raumgewicht unter Auftrieb	$\gamma'$	11	kN/m <sup>3</sup>
Senkrechter Verformungsmodul des Bodens	$E_b$	3	N/mm <sup>2</sup>
Winkel der inneren Reibung in Grad	$\phi$	30	°
Erddruckbeiwert	$K$	0.5	-
Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2$ (Art Baugrund)	$C_2$	0.7	-

#### Konzentrationsfaktor $\lambda_{\text{min}}$ bei weichem Verhalten der Rohre

Lastminderung mit Drop Down Menu	1: nein
Auswahl Wandreibungswinkel $\delta$ mit Drop Down Menu gemäss Tabelle 8	1: Verdichtung gegen Boden ohne Nachweis

# Einwirkungen

## Flächenlast = Fundamentlasten



Auswahl mit Drop Down Menu

Flächenlast

Tiefe unter OK Terrain

Länge belastete Fläche in x-Richtung

Breite belastete Fläche in y-Richtung

Abstand Punkt P vom Mittelpunkt in x-Richtung

Abstand Punkt P vom Mittelpunkt in y-Richtung

t  
a  
b  
x  
y

1: Flächenlast	121	
	0	
	300	
	20	
	0	
	0	

kN/m<sup>2</sup>  
m  
m  
m  
m  
m

Überschüttung 5.5 m

## Verkehrslasten

Auswahl mit Drop Down Menu

A: kein Verkehr

## Strassenverkehr

Dynamischer Beiwert (Drop down Menu)

α-Wert normaler Strassenverkehr

α-Wert von untergeordneter Strasse ist programmiert

ψ  
α

1: mit Stosszuschlag	0.9
	0.65

Strassenverkehr



Strassenrand



Standard α = 0.9 SIA 261

## Eisenbahn

α-Wert

α-Wert von schmalspur ist programmiert

α

	1.33
	1.0

Standard α = 1.33 SIA 261

## Wasser

### Grundwasser

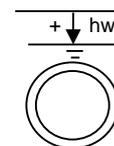
Auswahl mit Drop Down Menu

Grundwasserspiegel ab OK Terrain

h<sub>w</sub>

0: kein Grundwasser	3
---------------------	---

m



### Druckleitung

Auswahl mit Drop Down Menu

Überdruck Δp über Mitte Rohrwand im Scheitel

Δp

2: Überdruck über Scheitel	8250
----------------------------	------

kN/m<sup>2</sup>

# Ergebnisse

## Projektdaten

Kundenname	Einwohnergemeinde Kandersteg
Projekt	65.0546 Rohrstatik Druckleitung Kraftwerke Kander Alp AG
Abschnitt	Deponiegebiet Eggenschwand
Nummer	
Sachbearbeiter	C. Bischofberger
Datum	29.11.2024
Bemerkung	Anhang 3: Lastkombination Flächenlast (Deponie) + maximaler Druck

## System Übersicht

### Rohrwerte Gussrohr

Produkt		Buderus, DN600, K13	
Rohrtyp	DN	600	mm

### Querschnittswerte Gussrohr

Grenzwert der Spannung im Gussrohr	$\sigma_{RBrz}$	300	N/mm <sup>2</sup>
Spezifisches Gewicht Rohr	$\gamma_R$	70.3	kN/m <sup>3</sup>
E-Modul Rohr	$E_R$	170000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson'sche Querdehnung	$\nu$	0.3	-
Stützfaktor (Beulen)	$k$	1	-

### Geometrie Gussrohr

Radius	$r$	0.3115	m
Wandstärke	$e$	0.012	m
Dicke Ersatzrohr	$a$	0.16	m
Durchmesser innen	$d_i$	0.611	m
Durchmesser aussen	$d_a$	0.635	m
Querschnittsfläche	$A$	0.0120	m <sup>2</sup>
Widerstandsmoment	$W$	0.000024	m <sup>3</sup>

SIA 190 Art. 5.3.2.3 massg.

<b>Profil</b>	U/V	1b	
---------------	-----	----	--

<b>Systemsteifigkeit</b>	SF	0.4500	steif
--------------------------	----	--------	-------

### Überdeckungshöhe

Überdeckungshöhe	$H$	1	m
OK Terrain - OK Rohrsohle		1.623	m

### Bodenkennwerte

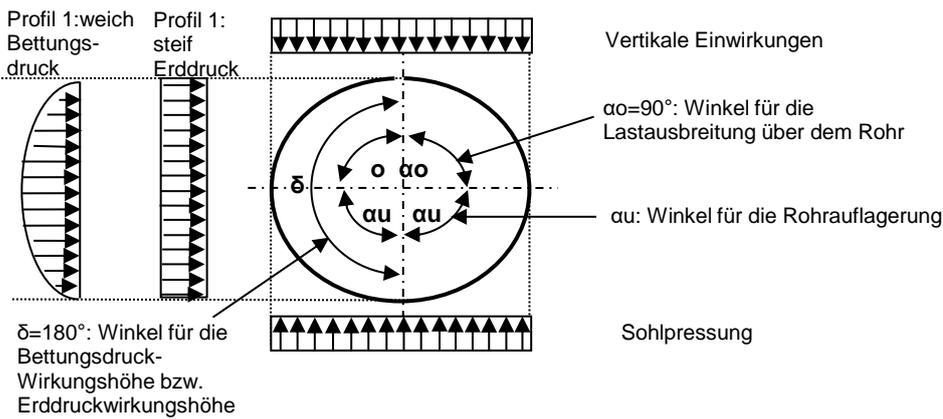
Feuchtraumgewicht des Baugrundes	$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
Raumgewicht unter Auftrieb	$\gamma'$	11	kN/m <sup>3</sup>
Verformungsmodul des Bodens	$E_b$	3	N/mm <sup>2</sup>
Winkel der inneren Reibung in Grad	$\phi$	30	°
Erddruckbeiwert	$K$	0.5	-
Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2$	$C_2$	0.7	-

**Lastfälle**

Flächenlast	ja	q	121	kN/m <sup>2</sup>
keine Verkehrslasten				
Grundwasser	nein			
Druckleitung	Überdruck			

Lagerungstyp	Profil	1b	rad	Grad
Lastausbreitungswinkel über dem Rohr	$\alpha_{\text{oben}}$		1.5708	90
Lastausbreitungswinkel unten	$\alpha_{\text{unten}}$		1.5708	90
Winkel für die Bettungsdruck- bzw. Erddruck-Wirkungshöhe	$\delta$		3.1415	180

**Lastausbreitungswinkel**



**Weitere Kenngrößen in Abhängigkeit des Profils**

**steifes Rohr**

Setzungs-Durchbiegungsziffer	0.70
Ausladungsziffer C3	1.00
C1= C2 C3	0.700
Konzentrationsfaktor $\lambda_{\text{max}}$	1.628

**Lastvergrößerung**

Lastvergrößerungsfaktor f	f	1.0000
---------------------------	---	--------

**Rohrkrümmung**

aussen	$\alpha_{ka}$	1.0000
innen	$\alpha_{ki}$	1.0000

**Erd- oder Bettungsdruckbeiwerte**

steifes Rohr	
K	0.5000
KRad	0.5000

## Einwirkungen

### Vertikale Einwirkungen

#### Eigengewicht Rohr

Laufmetergewicht Rohr	g		0.84	kN/m <sup>2</sup>
Rohrgewicht	G	$2 \pi r g$	1.651	kN/m
Auftrieb bei Grundwasser	F <sub>A</sub>		0.00	kN/m
Zusatzgewicht bei vollem Rohr	G <sub>w</sub>	$\gamma_w \pi 1/4 d_i^2$	2.93	kN/m

#### Erdauflasten

Effektive Erdauflast ab OK Terrain bis Rohrscheitel	q <sub>s Erde</sub>	$\sigma_{vErde} \lambda f$	32.56	kN/m <sup>2</sup>
---	---------------------	----------------------------	-------	-------------------

#### Flächenlast

Auflast	q	121	kN/m <sup>2</sup>
Tiefe unter OK Terrain	t	0	m
Länge belastete Fläche x-Richtung	a	300	m
Breite belastete Fläche y-Richtung	b	20	m
Abstand P vom Mittelpunkt	x	0	m
Abstand P vom Mittelpunkt	y	0	m
Spannung auf Niveau Rohrscheitel	$\sigma = \sigma f$	120.95	kN/m <sup>2</sup>

Langzeitlasten auf Rohrscheitel	q <sub>s1</sub>	153.51	kN/m <sup>2</sup>
---------------------------------	-----------------	--------	-------------------

#### Verkehrslasten

Art der Verkehrslast	A: kein Verkehr
Alpha-Wert:	0
Dynamischer Beiwert	0.00

#### Strassenverkehrslast

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p v R$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslast - Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p v T$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslast	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2</sub>	$\alpha \psi f p v G$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

#### Strassenverkehrslast Strassenrand

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p v R$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslast - Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p v T$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslast	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2</sub>	$\alpha \psi f p v G$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

#### Untergeordnete Strasse

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p v R$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslast - Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p v T$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslast	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2</sub>	$\alpha \psi f p v G$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

**Eisenbahnlasten**

<b>ingleisig</b>	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p v B$	0.00	$\text{kN/m}^2$
<b>mehrgleisig</b>	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p v B$	0.00	$\text{kN/m}^2$
<b>schmalspur</b>	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p v B$	0.00	$\text{kN/m}^2$

**Übersicht vertikale Lasten**

<b>Langzeitlasten auf Rohrscheitel</b>	$q_{s1}$	153.51	$\text{kN/m}^2$
<b>Kurzzeitlasten auf Rohrscheitel</b>	$q_{s2}$	0.00	$\text{kN/m}^2$

**Überlagerung vertikale Einwirkungen**

Alle Vertikallasten auf dem Scheitel	$q_{ser}$	$q_{s2} + q_{s1}$	153.51	$\text{kN/m}^2$
Für Tragsicherheit: totale Vertikallast auf Rohrscheitel (Lastfaktoren gem. SIA 260 Tab 1)	$q_{ds}$	$1,5q_{s2} + 1,35q_{s1}$	207.24	$\text{kN/m}^2$

**Horizontale Einwirkungen**

Erddruck	$q_h$	$K(q_{s1} + q_{s2}T + \sigma) + KR q_{s2}R$	76.75	$\text{kN/m}^2$
----------	-------	---	-------	-----------------

**Spezielle Einwirkungen****Wasser****Grundwasser**

Grundwasser ja/nein		nein	
Wasserspiegel ab OK Terrain	$h_w$	0	m
WSp. über Mitte Rohrwand oben	$\Delta h$	0	m
Wasserdruck Mitte Rohrwand oben	$w_s$	0	$\text{kN/m}^2$
Wasserdruck Mitte Rohrachse seitlich.	$p_{wa}$	0.00	$\text{kN/m}^2$
Bemessungswert Wasserdruck seitlich.	$p_{wd}$	0	$\text{kN/m}^2$

**Druckleitung**

Volles Rohr ja/nein		Überdruck	
Wasserüberdruck innen über Rohrscheitel	$\Delta p_{wi}$	8250	$\text{kN/m}^2$

## Nachweise

### 1. Verformungsnachweis

>>>> entfällt bei steifen Rohren			

--	--	--	--	--	--

### 2. Tragfähigkeitsnachweis

<b>Scheitelbruchlast</b>			
Bemessungswert vertikale Einwirkungen	$q_{ds}$	207.24	$\text{kN/m}^2$
Aussendurchmesser $d_a$	$d_a$	0.64	$\text{kN/m}^2$
Bemessungswert als Linienlast	$q_{ds}^* = q_{ds} d_a$	131.60	$\text{kN/m}^2$
Scheiteldruckfestigkeit	$q_{Br}$	557.30	$\text{kN/m}^2$
Tragfähigkeit	$q^{\circ} ds \leq Z_E$ $q_{Br}/1.2$	696.62	$\text{kN/m}$

Nachweis	$q^{\circ} ds$	131.60	$q^{\circ} ds \leq Z_E$ $q_{Br}/1.2$	696.62	<b>erfüllt</b>
----------	----------------	--------	---	--------	----------------

### 3. Auftriebsstabilität

Erdauflast plus Spickel (ohne $\lambda_{max}$ )	$G+G'$	13.57	$\text{kN/m}$
leeres Rohr	$G_R$	1.65	$\text{kN/m}$
Total		15.22	$\text{kN/m}$
Total stabilisierend, abgemindert	$0.9(G+G'+G_R)$	13.69	$\text{kN/m}$

Auftriebskraft	$F_A$	0.00	$\text{kN/m}$
Vergrösserte Auftriebskraft	$1.05 F_A$	0.00	$\text{kN/m}$

Ist die Stabilität erfüllt?		0.00	$1.05 F_A <$ $0.9(G+G'+G_R)$	13.69	<b>erfüllt</b>
-----------------------------	--	------	---------------------------------	-------	----------------

## 4. Gebrauchstauglichkeitsnachweis beim Gussrohr

## Schnittkräfte

Normalkräfte in kN/m	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Rohreigengewicht mit Linienlagerung	-0.13	0.05	0.41	0.53	0.13
Gleichm. verteilte Auflast $q_{ser}$ mit Linienl.	-5.07	20.32	47.82	37.40	5.07
Sohlpressung infolge Linienlagerung	5.32	3.76	0.00	-14.14	-5.32
Erddruck auf volle Höhe	23.91	11.95	0.00	11.95	23.91
Äusserer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Äusserer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck bis Scheitel	-0.73	-0.53	-0.21	-0.33	-1.21
Innerer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	-2569.88	-2569.88	-2569.88	-2569.88	-2569.88
<b>Superposition der Normalkräfte</b>	<b>-2546.58</b>	<b>-2534.32</b>	<b>-2521.85</b>	<b>-2534.46</b>	<b>-2547.29</b>

Druck = positiv

Zug = negativ

Momente in kNm/m	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Rohreigengewicht mit Linienlagerung	0.04	0.01	-0.05	-0.03	0.12
Gleichm. verteilte Auflast $q_{ser}$ mit Linienl.	4.46	0.27	-4.57	-1.32	8.75
Sohlpressung infolge Linienlagerung	-0.77	-0.29	0.89	1.39	-5.26
Erddruck auf volle Höhe	-1.86	0.00	1.86	0.00	-1.86
Äusserer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Äusserer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck bis Scheitel	0.08	0.01	-0.09	-0.05	0.23
Innerer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
<b>Superposition der Momente</b>	<b>2.04</b>	<b>0.11</b>	<b>-1.86</b>	<b>0.09</b>	<b>2.07</b>

Positives Biegemoment: Zug innen; Druck aussen

Negatives Biegemoment: Zug aussen; Druck innen

**Spannungsnachweis beim Gussrohr****Grenzwert der Spannung beim Gussrohr**300.00 N/mm<sup>2</sup>

<b>Spannungen in N/mm<sup>2</sup></b>	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
infolge Normalkraft	-212.22	-211.19	-210.15	-211.21	-212.27
infolge Moment aussen	85.09	4.46	-77.31	3.73	86.24
infolge Moment innen	-85.09	-4.46	77.31	-3.73	-86.24

<b>Randspannungen in N/mm<sup>2</sup></b>	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Spannungen aussen	-127.13	-206.73	-287.47	-207.47	-126.04
Spannungen innen	-297.30	-215.66	-132.84	-214.94	-298.51

<b>Spannungsnachweis OK/ Nicht OK</b>	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Spannungen aussen	OK	OK	OK	OK	OK
Spannungen innen	OK	OK	OK	OK	OK

Druck = positiv

Zug = negativ

**Hinweis:****Diese Nachweise machen keine Aussagen über:**

- die Tragfähigkeit und das Setzungsverhalten des Untergrundes
- das Verhalten des Rohres in Längsrichtung

<b>Projektdate</b>	
<b>Kundenname:</b>	Einwohnergemeinde Kandersteg
<b>Projekt:</b>	65.0546 Rohrstatik Druckleitung Kraftwerke Kander Alp AG
<b>Abschnitt:</b>	Deponiegebiet Eggenschwand
<b>Nummer:</b>	
<b>Sachbearbeiter:</b>	C. Bischofberger
<b>Datum:</b>	29.11.2024
<b>Bemerkungen:</b>	Anhang 4: Lastkombination Flächenlast (Deponie) + Vakuum

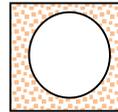
## Eingabe der Daten

### Gussrohr

Produkt		Buderus, DN600, K13	
Nennwert	DN	600	
Aussendurchmesser	$d_a$	635	mm
Wanddicke	$e$	12	mm
Grenzwert der Spannung im Gussrohr	$\sigma_{RBrz}$	300	N/mm <sup>2</sup>
Spezifisches Gewicht Rohr	$\gamma_R$	70.3	kN/m <sup>3</sup>
E-Modul Rohr	$E_R$	170000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson'sche Querdehnung	$\nu$	0.3	
Stützfaktor (Beulen)	$k$	1	

### Graben und Lagerungsbedingungen

#### Profil



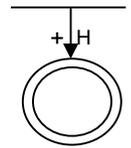
Profil  
Lockergestein

Lagerung	U1a/V1a	U1b/V1b
Lastausbreitungswinkel unten $\alpha_{\text{unten}}$	30°	90°
Lasteinleitung in den Boden	konzentriert konform SIA-190 Profil 1	ausgebreitet

Normalverlegeprofil mit Drop Down Menu U/V **1b**

#### Graben

Höhe Erdmaterial über Rohrscheitel	H	1.00	m
Grabenbreite an der Sohle	B	1.4	m
Böschungsneigung in Grad	$\beta$	90	°



#### Hüllmaterial und Untergrund

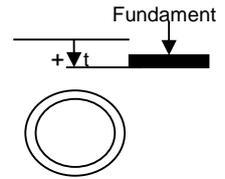
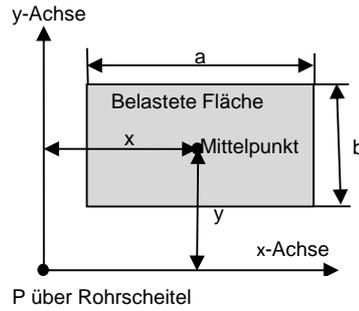
Qualität Untergrund (SIA 190 Art. 5.323): Bettung		1: normal standfest	
Bettungsstärke individuell (wird evtl. übersteuert)	$a$	0.1	m
Feuchtraumgewicht des Baugrundes	$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
Raumgewicht unter Auftrieb	$\gamma'$	11	kN/m <sup>3</sup>
Senkrechter Verformungsmodul des Bodens	$E_b$	3	N/mm <sup>2</sup>
Winkel der inneren Reibung in Grad	$\phi$	30	°
Erddruckbeiwert	$K$	0.5	-
Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2$ (Art Baugrund)	$C_2$	0.7	-

#### Konzentrationsfaktor $\lambda_{\text{min}}$ bei weichem Verhalten der Rohre

Lastminderung mit Drop Down Menu	1: nein	
Auswahl Wandreibungswinkel $\delta$ mit Drop Down Menu gemäss Tabelle 8	1: Verdichtung gegen Boden ohne Nachweis	

## Einwirkungen

### Flächenlast = Fundamentlasten



Auswahl mit Drop Down Menu

Flächenlast

Tiefe unter OK Terrain

Länge belastete Fläche in x-Richtung

Breite belastete Fläche in y-Richtung

Abstand Punkt P vom Mittelpunkt in x-Richtung

Abstand Punkt P vom Mittelpunkt in y-Richtung

t  
a  
b  
x  
y

1: Flächenlast	330	kN/m <sup>2</sup>
0	0	m
300	300	m
20	20	m
0	0	m
0	0	m

Überschüttung 15 m

### Verkehrslasten

Auswahl mit Drop Down Menu

A: kein Verkehr

### Strassenverkehr

Dynamischer Beiwert (Drop down Menu)

$\alpha$ -Wert normaler Strassenverkehr

$\alpha$ -Wert von untergeordneter Strasse ist programmiert

$\Psi$   
 $\alpha$

1: mit Stosszuschlag	0.9
0.65	

Strassenverkehr



Strassenrand



Standard  $\alpha = 0.9$  SIA 261

### Eisenbahn

$\alpha$ -Wert

$\alpha$ -Wert von schmalspur ist programmiert

$\alpha$

1.33	1.0
------	-----

Standard  $\alpha = 1.33$  SIA 261

### Wasser

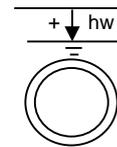
#### Grundwasser

Auswahl mit Drop Down Menu

Grundwasserspiegel ab OK Terrain

$h_w$

0: kein Grundwasser	3	m
---------------------	---	---



#### Druckleitung

Auswahl mit Drop Down Menu

Überdruck  $\Delta p$  über Mitte Rohrwand im Scheitel

$\Delta p$

0: Rohr leer	0	kN/m <sup>2</sup>
--------------	---	-------------------

# Ergebnisse

## Projektdaten

Kundenname	Einwohnergemeinde Kandersteg
Projekt	65.0546 Rohrstatik Druckleitung Kraftwerke Kander Alp AG
Abschnitt	Deponiegebiet Eggenschwand
Nummer	
Sachbearbeiter	C. Bischofberger
Datum	29.11.2024
Bemerkung	Anhang 4: Lastkombination Flächenlast (Deponie) + Vakuum

## System Übersicht

### Rohrwerte Gussrohr

Produkt		Buderus, DN600, K13	
Rohrtyp	DN	600	mm

### Querschnittswerte Gussrohr

Grenzwert der Spannung im Gussrohr	$\sigma_{RBrz}$	300	N/mm <sup>2</sup>
Spezifisches Gewicht Rohr	$\gamma_R$	70.3	kN/m <sup>3</sup>
E-Modul Rohr	$E_R$	170000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson'sche Querdehnung	$\nu$	0.3	-
Stützfaktor (Beulen)	$k$	1	-

### Geometrie Gussrohr

Radius	$r$	0.3115	m
Wandstärke	$e$	0.012	m
Dicke Ersatzrohr	$a$	0.16	m
Durchmesser innen	$d_i$	0.611	m
Durchmesser aussen	$d_a$	0.635	m
Querschnittsfläche	$A$	0.0120	m <sup>2</sup>
Widerstandsmoment	$W$	0.000024	m <sup>3</sup>

SIA 190 Art. 5.3.2.3 massg.

<b>Profil</b>	U/V	1b	
---------------	-----	----	--

<b>Systemsteifigkeit</b>	SF	0.4500	steif
--------------------------	----	--------	-------

### Überdeckungshöhe

Überdeckungshöhe	$H$	1	m
OK Terrain - OK Rohrsohle		1.623	m

### Bodenkennwerte

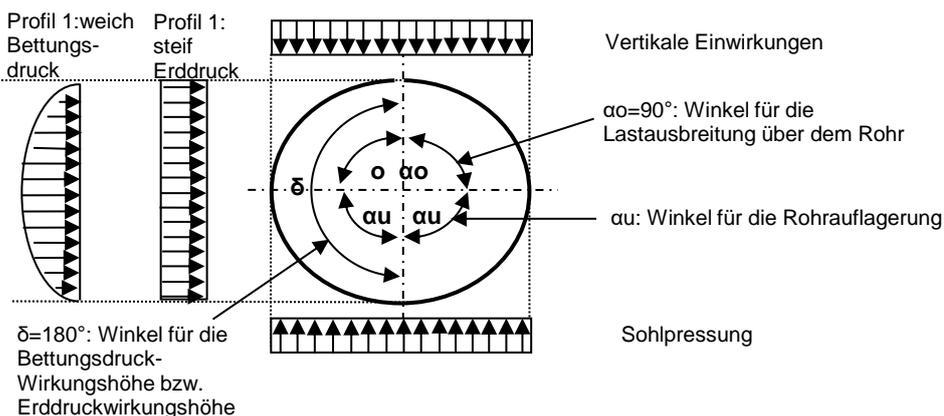
Feuchtraumgewicht des Baugrundes	$\gamma$	20	kN/m <sup>3</sup>
Raumgewicht unter Auftrieb	$\gamma'$	11	kN/m <sup>3</sup>
Verformungsmodul des Bodens	$E_b$	3	N/mm <sup>2</sup>
Winkel der inneren Reibung in Grad	$\phi$	30	°
Erddruckbeiwert	$K$	0.5	-
Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2$	$C_2$	0.7	-

**Lastfälle**

Flächenlast	ja	q	330	kN/m <sup>2</sup>
keine Verkehrslasten				
Grundwasser	nein			
Druckleitung	Rohr leer			

Lagerungstyp	Profil	1b	rad	Grad
Lastausbreitungswinkel über dem Rohr	$\alpha_{\text{oben}}$		1.5708	90
Lastausbreitungswinkel unten	$\alpha_{\text{unten}}$		1.5708	90
Winkel für die Bettungsdruck- bzw. Erddruck-Wirkungshöhe	$\delta$		3.1415	180

**Lastausbreitungswinkel**



**Weitere Kenngrößen in Abhängigkeit des Profils**

**steifes Rohr**

Setzungs-Durchbiegungsziffer	0.70
Ausladungsziffer C3	1.00
C1= C2 C3	0.700
Konzentrationsfaktor $\lambda_{\text{max}}$	1.628

**Lastvergrößerung**

Lastvergrößerungsfaktor f	f	1.0000
---------------------------	---	--------

**Rohrkrümmung**

aussen	$\alpha_{ka}$	1.0000
innen	$\alpha_{ki}$	1.0000

**Erd- oder Bettungsdruckbeiwerte**

steifes Rohr	
K	0.5000
KRad	0.5000

## Einwirkungen

### Vertikale Einwirkungen

#### Eigengewicht Rohr

Laufmetergewicht Rohr	g		0.84	kN/m <sup>2</sup>
Rohrgewicht	G	$2 \pi r g$	1.651	kN/m
Auftrieb bei Grundwasser	F <sub>A</sub>		0.00	kN/m
Zusatzgewicht bei vollem Rohr	G <sub>w</sub>	$\gamma_w \pi 1/4 d_i^2$	0.00	kN/m

#### Erdauflasten

Effektive Erdauflast ab OK Terrain bis Rohrscheitel	q <sub>s Erde</sub>	$\sigma_{vErde} \lambda f$	32.56	kN/m <sup>2</sup>
---	---------------------	----------------------------	-------	-------------------

#### Flächenlast

Auflast	q	330	kN/m <sup>2</sup>
Tiefe unter OK Terrain	t	0	m
Länge belastete Fläche x-Richtung	a	300	m
Breite belastete Fläche y-Richtung	b	20	m
Abstand P vom Mittelpunkt	x	0	m
Abstand P vom Mittelpunkt	y	0	m
Spannung auf Niveau Rohrscheitel	$\sigma = \sigma f$	329.86	kN/m <sup>2</sup>

Langzeitlasten auf Rohrscheitel	q <sub>s1</sub>	362.42	kN/m <sup>2</sup>
---------------------------------	-----------------	--------	-------------------

#### Verkehrslasten

Art der Verkehrslast	A: kein Verkehr
Alpha-Wert:	0
Dynamischer Beiwert	0.00

#### Strassenverkehrslast

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p v R$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslast - Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p v T$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslast	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2</sub>	$\alpha \psi f p v G$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

#### Strassenverkehrslast Strassenrand

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p v R$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslast - Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p v T$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslast	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2</sub>	$\alpha \psi f p v G$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

#### Untergeordnete Strasse

Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Rad</sub>	$\alpha \psi f p v R$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Verkehrslast - Radlast mit $\alpha$ und $\psi$	q <sub>s2 Teil</sub>	$\alpha \psi f p v T$	0.00	kN/m <sup>2</sup>
Gesamte Strassenverkehrslast	q <sub>s2</sub> =q <sub>Ges2</sub>	$\alpha \psi f p v G$	0.00	kN/m <sup>2</sup>

**Eisenbahnlasten**

<b>ingleisig</b>	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p v B$	0.00	$\text{kN/m}^2$
<b>mehrgleisig</b>	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p v B$	0.00	$\text{kN/m}^2$
<b>schmalspur</b>	$q_{s2 \text{ Bahn}}$	$\alpha \psi f p v B$	0.00	$\text{kN/m}^2$

**Übersicht vertikale Lasten**

<b>Langzeitlasten auf Rohrscheitel</b>	$q_{s1}$	362.42	$\text{kN/m}^2$
<b>Kurzzeitlasten auf Rohrscheitel</b>	$q_{s2}$	0.00	$\text{kN/m}^2$

**Überlagerung vertikale Einwirkungen**

Alle Vertikallasten auf dem Scheitel	$q_{ser}$	$q_{s2} + q_{s1}$	362.42	$\text{kN/m}^2$
Für Tragsicherheit: totale Vertikallast auf Rohrscheitel (Lastfaktoren gem. SIA 260 Tab 1)	$q_{ds}$	$1,5q_{s2} + 1,35q_{s1}$	489.27	$\text{kN/m}^2$

**Horizontale Einwirkungen**

Erddruck	$q_h$	$K(q_{s1} + q_{s2} T + \sigma) + K_R q_{s2} R$	181.21	$\text{kN/m}^2$
----------	-------	--	--------	-----------------

**Spezielle Einwirkungen****Wasser****Grundwasser**

Grundwasser ja/nein		nein	
Wasserspiegel ab OK Terrain	$h_w$	0	m
WSp. über Mitte Rohrwand oben	$\Delta h$	0	m
Wasserdruck Mitte Rohrwand oben	$w_s$	0	$\text{kN/m}^2$
Wasserdruck Mitte Rohrachse seitlich.	$p_{wa}$	0.00	$\text{kN/m}^2$
Bemessungswert Wasserdruck seitlich.	$p_{wd}$	0	$\text{kN/m}^2$

**Druckleitung**

Volles Rohr ja/nein		Rohr leer	
Wasserüberdruck innen über Rohrscheitel	$\Delta p_{wi}$	0	$\text{kN/m}^2$

## Nachweise

### 1. Verformungsnachweis

>>>> entfällt bei steifen Rohren			

--	--	--	--	--	--

### 2. Tragfähigkeitsnachweis

<b>Scheitelbruchlast</b>			
Bemessungswert vertikale Einwirkungen	$q_{ds}$	489.27	$\text{kN/m}^2$
Aussendurchmesser $d_a$	$d_a$	0.64	$\text{kN/m}^2$
Bemessungswert als Linienlast	$q_{ds}^* = q_{ds} d_a$	310.69	$\text{kN/m}^2$
Scheiteldruckfestigkeit	$q_{Br}$	557.30	$\text{kN/m}^2$
Tragfähigkeit	$q^{\circ} ds \leq Z_E$ $q_{Br}/1.2$	696.62	$\text{kN/m}$

Nachweis	$q^{\circ} ds$	310.69	$q^{\circ} ds \leq Z_E$ $q_{Br}/1.2$	696.62	<b>erfüllt</b>
----------	----------------	--------	---	--------	----------------

### 3. Auftriebsstabilität

Erdauflast plus Spickel (ohne $\lambda_{max}$ )	$G+G'$	13.57	$\text{kN/m}$
leeres Rohr	$G_R$	1.65	$\text{kN/m}$
Total		15.22	$\text{kN/m}$
Total stabilisierend, abgemindert	$0.9(G+G'+G_R)$	13.69	$\text{kN/m}$

Auftriebskraft	$F_A$	0.00	$\text{kN/m}$
Vergrösserte Auftriebskraft	$1.05 F_A$	0.00	$\text{kN/m}$

Ist die Stabilität erfüllt?		0.00	$1.05 F_A <$ $0.9(G+G'+G_R)$	13.69	<b>erfüllt</b>
-----------------------------	--	------	---------------------------------	-------	----------------

## 4. Gebrauchstauglichkeitsnachweis beim Gussrohr

## Schnittkräfte

Normalkräfte in kN/m	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Rohreigengewicht mit Linienlagerung	-0.13	0.05	0.41	0.53	0.13
Gleichm. verteilte Auflast $q_{ser}$ mit Linienl.	-11.98	47.98	112.89	88.29	11.98
Sohlpressung infolge Linienlagerung	12.07	8.53	0.00	-32.08	-12.07
Erddruck auf volle Höhe	56.45	28.22	0.00	28.22	56.45
Äusserer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Äusserer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Superposition der Normalkräfte</b>	<b>56.40</b>	<b>84.79</b>	<b>113.31</b>	<b>84.97</b>	<b>56.49</b>

Druck = positiv

Zug = negativ

Momente in kNm/m	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Rohreigengewicht mit Linienlagerung	0.04	0.01	-0.05	-0.03	0.12
Gleichm. verteilte Auflast $q_{ser}$ mit Linienl.	10.53	0.64	-10.79	-3.12	20.65
Sohlpressung infolge Linienlagerung	-1.75	-0.65	2.01	3.15	-11.94
Erddruck auf volle Höhe	-4.40	0.00	4.40	0.00	-4.40
Äusserer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Äusserer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck bis Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Innerer Wasserdruck $\Delta h$ über Scheitel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Superposition der Momente</b>	<b>4.42</b>	<b>0.00</b>	<b>-4.43</b>	<b>0.00</b>	<b>4.43</b>

Positives Biegemoment: Zug innen; Druck aussen

Negatives Biegemoment: Zug aussen; Druck innen

**Spannungsnachweis beim Gussrohr**

Grenzwert der Spannung beim Gussrohr

300.00 N/mm<sup>2</sup>

Spannungen in N/mm <sup>2</sup>	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
infolge Normalkraft	4.70	7.07	9.44	7.08	4.71
infolge Moment aussen	184.34	0.11	-184.50	-0.11	184.66
infolge Moment innen	-184.34	-0.11	184.50	0.11	-184.66

Randspannungen in N/mm <sup>2</sup>	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Spannungen aussen	189.04	7.18	-175.06	6.97	189.37
Spannungen innen	-179.63	6.95	193.94	7.20	-179.95

Spannungsnachweis OK/ Nicht OK	Scheitel	Seite oben	horizontal	Seite unten	Sohle
	0°	45°	90°	135°	180°
Spannungen aussen	OK	OK	OK	OK	OK
Spannungen innen	OK	OK	OK	OK	OK

Druck = positiv

Zug = negativ

**Hinweis:****Diese Nachweise machen keine Aussagen über:**

- die Tragfähigkeit und das Setzungsverhalten des Untergrundes
- das Verhalten des Rohres in Längsrichtung