

# MAROWA® Hochleistungsbetonrohr

Statisches Bemessungshandbuch der CREABETON BAUSTOFF AG



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Qualifikationen</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Abgrenzung</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Grundnachweise der Projektierung</b> .....	<b>5</b>
4.1	Nutzungszustände.....	5
4.2	Gefährdungsbilder.....	5
4.3	Erforderliche Nachweise .....	6
4.4	Belastungsverhältnisse .....	6
4.5	Sonderfälle der Belastung.....	7
4.6	Bemessungsablauf .....	7
<b>5</b>	<b>Technische Kennzahlen</b> .....	<b>8</b>
5.1	Mechanische Eigenschaften der MAROWA® Hochleistungsbetonrohre.....	8
5.2	Technische Grundlagenwerte für die statische Bemessung.....	8
5.3	Mechanische Eigenschaften des Bodens.....	9
<b>6</b>	<b>Verlege- und Einbaubedingungen</b> .....	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Direkte Lasteinwirkungen</b> .....	<b>11</b>
7.1	Erdlasten bei Dammbedingung .....	11
7.2	Verkehrslasten aus Strassenverkehr .....	15
7.3	Verkehrslasten aus Bahnverkehr .....	20
7.4	Oberflächenlasten .....	25
<b>8</b>	<b>Tragsicherheitsnachweis</b> .....	<b>26</b>
<b>9</b>	<b>Gebrauchstauglichkeitsnachweis</b> .....	<b>29</b>
9.1	Querschnittswerte .....	30
9.2	Schnittkräfte .....	33
9.2.1	Schnittkräfte infolge Eigengewicht.....	34
9.2.2	Schnittkräfte infolge vertikalen Flächenlasten aus Erd-, Verkehrs- und Oberflächenlasten .....	35
9.2.3	Schnittkräfte infolge horizontalen Flächenlasten aus Erd-, Verkehrs- und Oberflächenlasten .....	36
9.2.4	Schnittkräfte infolge innerer Wasserfüllung.....	38
9.2.5	Schnittkräfte infolge innerem Wasserdruck .....	39
9.2.6	Schnittkräfte infolge äusserem Wasserdruck bis Rohrscheitel.....	40
9.2.7	Schnittkräfte infolge äusserem Wasserdruck bis maximalen Grundwasserstand .....	41
9.3	Spannungsnachweis.....	42
<b>10</b>	<b>Auftriebssicherheit</b> .....	<b>43</b>

## 1 Einleitung

Aufgrund der heutigen Ansprüche des Umweltschutzes an die Abwasserentsorgung und das von den Kunden geforderte integrale Qualitäts-Leistungsdenken sowie die vom Planer, Unternehmer und Hersteller zu tragende Verantwortung bezüglich der gesetzlichen Produkthaftung, wird ein technisch wesentlich verbessertes und den zukünftigen Bedürfnissen entsprechendes Betonrohr auf dem Schweizer Markt verlangt.

Die herausfordernde Zielvorgabe ist Grundlage für das neu entwickelte MAROWA® Hochleistungsbetonrohr. Die speziellen Eigenschaften sind:

- Das vollständige Sortiment
- Die wesentliche erhöhte Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit aller Teile
- Die garantierte Wasserdichtheit des gesamten Systems
- Die wirtschaftliche und sichere Verlegung der Rohre
- Die vollintegrierte Qualitätssicherung, vom Rohmaterialempfang über den Prozessablauf bis in die Bauplanung und Verlegung durch die Beratertätigkeit
- Das Erfüllen der heute gültigen Normen
- Die Verwendung von nicht endlichen Baustoffen

Voraussetzung für langfristige funktionsfähige und wasserdichte Abwasserleitungen und -kanäle ist neben der Verwendung von MAROWA® Hochleistungsbetonrohre vor allem die fachgerechte Bauausführung.

Grundlage für die statische Bemessungen von MAROWA® Hochleistungsbetonrohren im offenen Graben sind die Europäischen Normen SN EN 752 (VSA 28), SN EN 476 (SIA 190.201), SN EN 1295-1, SN EN 1991-2 (SIA 261.008) und SN EN 1610 (SIA 190.203) sowie die nationalen Normen SIA 190, SIA 260, SIA 261, SIA 262 und SIA 267.

Nach Norm SIA 190 und SN EN 1610 (SIA 190.203) sind Rohrleitungen technische Konstruktionen, bei denen das Zusammenwirken von Rohren, Rohrverbindungen, Bettung und Verfüllung die Grundlage für die Stand- und Betriebssicherheit sowie die Nutzungsdauer ist.

## 2 Qualifikationen

Der Auftraggeber hat nach Norm SN EN 752 (VSA 28) vor der Vergabe die erforderliche Fachkunde, Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Auftragnehmers zu klären.

Neben sorgfältiger Planung sind die Verwendung genormter, qualitativ hochwertiger Werkstoffe und vor allem die fachgerechte statische Bemessung ausschlaggebend für gebrauchstaugliche Abwasserleitungen und -kanäle.

Für die MÜLLER-STEINAG Gruppe ist es selbstverständlich, die MAROWA® Hochleistungsbetonrohre und deren Formstücke einer ständigen Qualitätskontrolle zu unterziehen und die technischen Werte gemäss den Leistungserklärungen jederzeit zu erfüllen. Die Herstellung und Überwachung von MAROWA® Hochleistungsbetonrohren erfolgt nach Norm SN EN 1916 (SIA 190.170).

### 3 Abgrenzung

Die in den nachfolgenden Beschreibungen als Bemessungsgrundlagen berücksichtigten technologischen wie auch qualitativen Parameter, welche ständig überprüft und statistisch nachgewiesen werden, sind nur für die von der CREABETON BAUSTOFF AG vertriebenen MAROWA® Hochleistungsbetonrohre gültig. Für andere Rohre oder Produkte der CREABETON BAUSTOFF AG sind die Grundlagen nicht anwendbar.

In der Norm SIA 190 werden nur Rohre ohne Fuss berücksichtigt. Aus diesem Grunde können gewisse Parameter der Norm SIA 190 nur bedingt angewendet werden.

Die Beurteilung der Gültigkeit der Bemessungsabläufe und der eingesetzten Werte für den Anwendungsfall ist Sache des planenden Ingenieurs. Dasselbe gilt für die Auslegung und Interpretation der Resultate sowie für die daraus abgeleitete Dimensionierung von Bauwerken. Die von der CREABETON BAUSTOFF AG abgegebenen Kommentare dienen als Hinweis und Empfehlung, wobei der Ingenieur bezüglich deren Anwendbarkeit entscheidet.



**Bild 1: MAROWA® Hochleistungsbetonrohre werden statistisch nach Norm SN EN 1917 (SIA 190.171) überwacht und überprüft**

## **4 Grundnachweise der Projektierung**

### **4.1 Nutzungszustände**

Die vorgesehenen Nutzungszustände sind zusammenzustellen und festzulegen. Folgende Angaben sind für die Projektierung einer Kanalisationsleitung notwendig:

- Minimale und maximale Scheitelüberdeckung im Betriebszustand
- Scheitelüberdeckung während der Bauausführung
- Zukünftige Änderung der Scheitelüberdeckung
- Minimaler und maximaler Grundwasserstand im Betriebszustand
- Grundwasserstand im Bauzustand
- Baugrund unter dem Rohr
- Verdichtung neben dem Rohr
- Verkehrslasten
- Auflasten wie Nutzlasten oder temporäre Schüttungen

### **4.2 Gefährdungsbilder**

Es sind Gefährdungsbilder während der Bauausführung, dem Betrieb und bei eventuellen späteren Anpassungen darzustellen. Die dazugehörigen baulichen oder organisatorischen Massnahmen sind aufzuzeigen, mit denen den möglichen negativen Auswirkungen begegnet wird. Folgende mögliche Aspekte sind darzustellen (Auflistung nicht abschliessend):

- Minimale und maximale Scheitelüberdeckung
- Minimaler und maximaler Grundwasserstand
- Wasserhaltung im Bauzustand
- Baugrund unter dem Rohr
- Grabenart und Grabensicherung
- Verkehrslasten
- Zusätzliche Auflasten
- Erschütterungen
- Setzungen
- Lageverschiebungen

Die Gefährdungsbilder aus Erdbeben oder Explosionen werden im Normalfall nicht berücksichtigt, da ihr Einfluss in der Schweiz eher als gering einzuschätzen ist. Für den Nachweis der Tragsicherheit wird der Einfluss des Grundwassers bei minimalem Grundwasserstand nicht berücksichtigt, da dieser für das Rohr entlastend wirkt und einen sehr geringen Einfluss auf die Tragfähigkeit hat. Ebenfalls wird das Eigengewicht der Rohre bei der Bemessung der Tragsicherheit nicht berücksichtigt, da dieses bei den Angaben der Scheiteldruck-Bruchlasten eingerechnet wird.

Als Massnahme zur Gewährleistung der Sicherheit gegen die oben erwähnten Gefährdungsbilder stehen die Bemessungen sowie die Bettung nach der Norm SIA 190 im Vordergrund, zusammen mit der hohen Qualität der MAROWA® Hochleistungsbetonrohre.

### 4.3 Erforderliche Nachweise

Nach der Norm SIA 190 sind für erdverlegte Rohre grundsätzlich zwei Nachweise für biegesteife Rohre zu führen:

- Nachweis der Tragsicherheit
- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

### 4.4 Belastungsverhältnisse

Hinsichtlich der Einwirkung auf erdverlegte MAROWA® Hochleistungsbetonrohre sind zwei Belastungsgruppen zu unterscheiden:

- Direkte Lasten, die unmittelbar einwirken
- Indirekte Lasten, bedingt durch mechanische Interaktionen zwischen Boden und Rohr infolge Einwirkung der direkten Lasten

Auf eine Langzeitbetrachtung kann bei Betonrohren in der Regel verzichtet werden.

Dabei werden folgende direkte Lasten berücksichtigt:

- Rohreigengewicht
- Erdlasten über dem Rohr
- Verkehrslasten z.B. infolge Strassen- oder Schienenverkehr
- Auflasten infolge ruhenden Lasten an der Oberfläche z.B. Fundamentlasten
- Innendruck bei Druckleitungen bzw. überstauten Abwasserkanälen
- Aussendruck infolge äusserem Wasserdruck bei Grundwassereinwirkungen



**Bild 2:** Die örtlichen Gegebenheiten müssen für eine statische Bemessung bekannt sein

#### 4.5 Sonderfälle der Belastung

Besondere Beanspruchungen treten unter anderem auf, bei:

- Sehr geringen (< 0.50 m) und sehr grossen Überdeckungshöhen
- Einwirkung begrenzter Flächenlasten und Fundamentbeanspruchung
- Stufengräben
- Einbaulasten durch den Verdichtungs Vorgang
- Indirekten Lasten durch Imperfektionen der Umgebungsverhältnisse
- Zusatzlasten durch Ziehen des Grabenverbaus und die dadurch hervorgerufene Störung der Bettungs- und Belastungsbedingungen

Bei solchen Belastungsfällen müssen die Lasteinwirkungen oder die erforderlichen Nachweise gesondert und nicht nach dem vorliegenden Bemessungsmodell nachgewiesen werden.

#### 4.6 Bemessungsablauf

Die statische Berechnung erfolgt in 5 Schritten:

1. Lastermittlung
2. Lastverteilung/Lastkonzentration
3. Nachweis der Bruchsicherheit
4. Nachweis der zulässigen Spannungen
5. Nachweis der Lagestabilität



Bild 3: Die verschiedenen Einflussfaktoren müssen berücksichtigt werden

## 5 Technische Kennzahlen

### 5.1 Mechanische Eigenschaften der MAROWA® Hochleistungsbetonrohre

Wandverstärkte MAROWA® Hochleistungsbetonrohre mit Fuss sind standardmässig unbewehrt und gelten als biegesteif. Die Bauteile sind statisch so aufgebaut, dass sie bei normalen Baugrundverhältnissen und Lasteinwirkungen aus Erdüberdeckung, Strassen- oder Bahnverkehr, bei Überdeckungshöhen von 0.50 bis 7.00 m ohne hydraulisch abbindende Baustoffe für den Aufbau der statischen Tragfähigkeit, eingebaut werden können.

Die Rohr und Formstücke weisen folgende allgemeine technische Werte auf:

- Festigkeitsklasse C60/75
- Raumgewicht Beton  $\gamma_B$  24.5 kN/m<sup>3</sup>
- Elastizitätsmodul  $E_R$  39'000 N/mm<sup>2</sup>
- Zugfestigkeit  $f_{ctm}$  4.4 N/mm<sup>2</sup>
- Ringbiegezugfestigkeit vorhanden  $\sigma_{Rbz}$  9.0 N/mm<sup>2</sup>
- Ringbiegezugfestigkeit zulässig  $\sigma_{Rbz,adm}$  6.0 N/mm<sup>2</sup>
- Expositionsklasse XA2

Je nach örtlichen Gegebenheiten können die Rohre mit einer Bewehrung verstärkt werden. Mit der Verwendung von anderen Zuschlag- bzw. Zusatzstoffen besteht die Möglichkeit, die chemische Widerstandsfähigkeit den Gegebenheiten anzupassen.

### 5.2 Technische Grundlagenwerte für die statische Bemessung

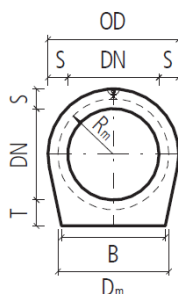


Bild 4: MAROWA® Hochleistungsbetonrohr

Nennweite	Aussendurchmesser	Wandstärke	Mittlerer Rohrdurchmesser	Mittlerer Rohrradius	Sohlenstärke	Fussbreite	Festigkeitsklasse	Ringbiegezugspannung	Zulässige Ringbiegezugspannung	Gewicht pro m
$DN = ID$ [mm]	$OD$ [mm]	$S$ [mm]	$D_m$ [mm]	$R_m$ [mm]	$T$ [mm]	$B$ [mm]	$FK$	$\sigma_{Rbz}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{Rbz,adm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$G_R$ [kN/m]
250	470	110	360	180.0	130	373	1200	9.0	6.0	3.53
300	530	115	415	207.5	135	422	950	9.0	6.0	4.26
400	640	120	520	260.0	140	511	630	9.0	6.0	5.60
500	750	125	625	312.5	155	596	435	9.0	6.0	7.20
600	860	130	730	365.0	170	682	360	9.0	6.0	8.97
700	1020	160	860	430.0	200	812	360	9.0	6.0	12.84
800	1160	180	980	490.0	220	925	360	9.0	6.0	16.32

Tabelle 1: Technische Werte für MAROWA® Hochleistungsbetonrohre in Abhängigkeit der Nennweite



### 5.3 Mechanische Eigenschaften des Bodens

Für die Einbettung der Leitung und die weitere Grabenverfüllung kann, bei entsprechender Eignung, der Aushubboden verwendet oder wenn nicht gegeben, ein partieller oder vollständiger Bodenaustausch erforderlich wird.

Nach Norm SIA 190 werden 3 Bodengruppen mit entsprechenden Kennwerten unterschieden. Dabei beziehen sich die Angaben in Tabelle 2 auf die Ausführung.

Das Einbaumaterial muss die Stabilität der Leitung und die erforderliche Lastverteilung im Boden, ohne Beeinträchtigung des Rohwerkstoffes, dauerhaft sicherstellen.

Als Austauschboden sind sowohl konventionelle Materialien wie Sand, Kies, als auch nichtkonventionelle Materialien wie z.B. Recyclingmaterial möglich.

Hydraulisch bindendes Material wie z.B. Beton oder stabilisiertes Verfüllmaterial kann ebenfalls verwendet werden, ist in der Regel aus statischer Sicht jedoch nicht notwendig. Falls solche Verfüllmaterialien zur Anwendung kommen, sind bauliche Massnahmen für den Aufbau der Gelenkkette zu berücksichtigen.

Bodenart (USCS-Klassifikation nach Norm VSS SN 670 008a)	Raumgewicht		Innerer Reibungswinkel $\varphi$ [°]	Verformungsmodul bei Verdichtungsgrad $D_{pr}$			
	Erdfucht $\gamma'_e$ [kN/m <sup>3</sup> ]	unter Auftrieb $\gamma'_e$ [kN/m <sup>3</sup> ]		85% $E_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	90% $E_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	92% $E_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	95% $E_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Nicht bindige Böden (GW, GP, SW, SP)	20	11	35	2.0	6.0	9.0	16.0
Schwach bindige Böden (GM, GC, SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC)	20	11	30	1.2	3.0	4.0	8.0
Bindige Mischböden (SM, SC, SC-SM, ML, CL-ML)	20	10	25	0.8	2.0	3.0	5.0

Tabelle 2: Vertikales Verformungsmodul  $E_B$  des Bodens in Abhängigkeit der Bodenart und des Verdichtungsgrades  $D_{pr}$

Werden in den statischen Bemessungen Werte für das vertikale Verformungsmodul  $E_B$  für  $D_{pr} > 90\%$  angenommen, so sind diese nach Norm SIA 190 auf der Baustelle nachzuweisen.

Gewachsene Böden weisen in der Regel einen Verdichtungsgrad von  $D_{pr} = 90-97\%$  auf.



Bild 5: Recyclingmaterial kann verwendet werden, solange es verdichtbar ist

## 6 Verlege- und Einbaubedingungen

Einfluss auf die Rohrstatik hat die Rohrverlegung und die qualitätsgerechte Herstellung von Auflagerung und Einbettung gemäss der Norm SN EN 1610 (SIA 190.203), der Norm SIA 190 wie auch den Verlegevorschriften der CREABETON BAUSTOFF AG.

Dabei sind von besonderer Bedeutung:

- Grabenformen (parallele und geböschte Wände, Stufengraben usw.)
- Grabenabmessungen (Tiefe, Breite)
- Einbringung und Entfernung des Grabenverbaus
- Anforderung an Rohrgrabensohle und Rohrbettung
- Auflagerungsbedingungen in Längsrichtung
- Grundwassereinfluss in der Leitungszone
- Verfüllung und Verdichtung der Leitungszone
- Höhe der Überdeckungszone sowie der Rohrüberdeckung
- Anforderung an das Verfüllmaterial in der Bettungs- und Wiederverfüllzone
- Verdichtungsqualität

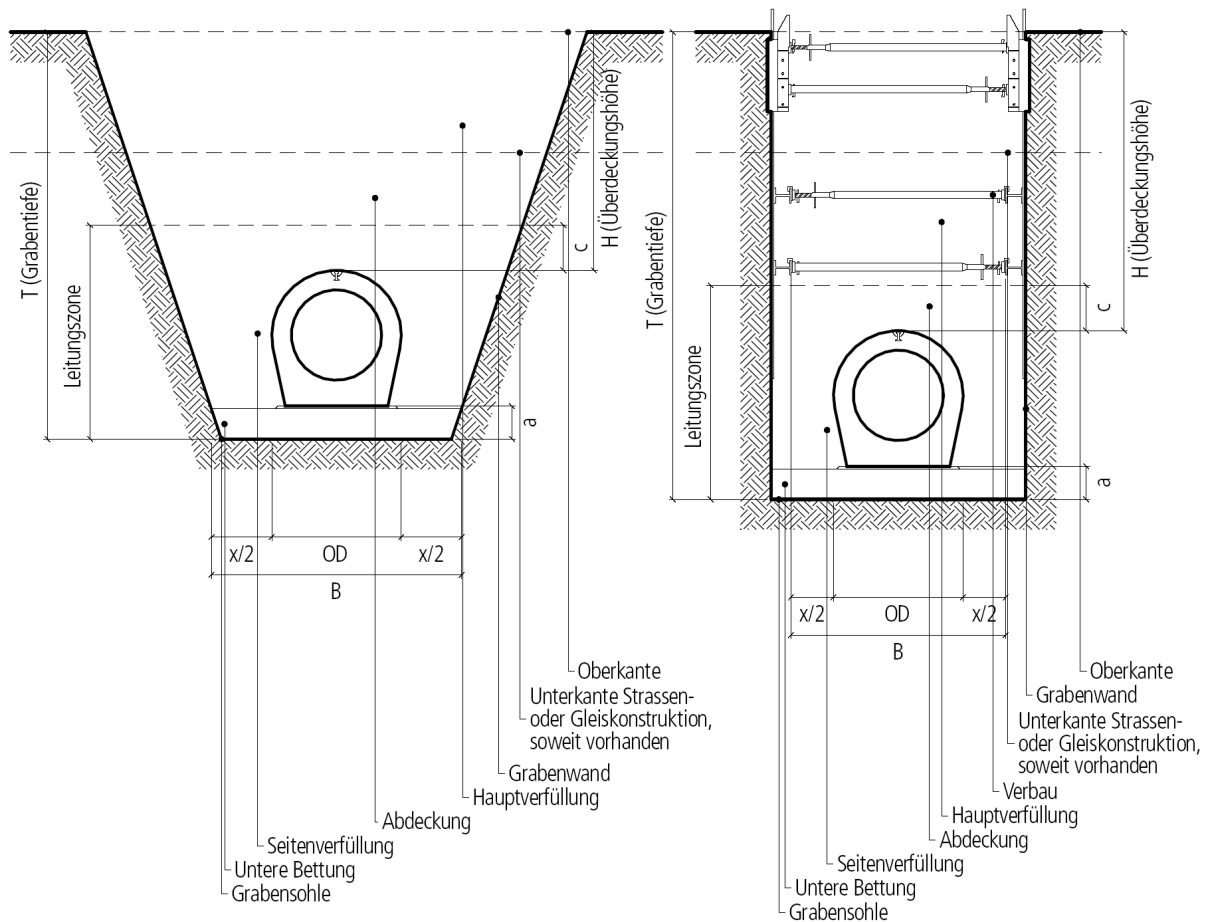


Bild 6: Definitionen gemäss Norm SN EN 1610 (SIA 190.203)

## 7 Direkte Lasteinwirkungen

### 7.1 Erdlasten bei Dammbedingung

Da Grabenüberprofile, spätere Aufgrabungen oder zukünftige Änderungen der Belastungen nicht auszuschliessen sind, so ist nach Norm SIA 190 für die Bemessung der Erdlast in jedem Fall die Bemessungsmethode nach Dammbedingung massgebend.

Legende:

$q_{S1}$	Erdauflast auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$\lambda_{max}$	Laststeigerung über dem Rohr	-
$\gamma_E$	Raumgewicht des erdfeuchten Baugrundes	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma'_E$	Raumgewicht des Baugrundes unter Auftrieb	kN/m <sup>3</sup>
$H$	Überdeckungshöhe über Rohrscheitel	m
$h$	Höhe zwischen Terrain und massgebenden Grundwasserspiegel	m
$h'$	Höhe zwischen Oberkante Rohrscheitel und massgebenden Grundwasserspiegel	m
$OD$	Aussendurchmesser	m
$C_1$	Ausladungszahl	-
$C_2$	Setzungsdurchbiegungsziffer	-
$C_3$	Ausladungsziffer	-

Die Einwirkungen der Erdlast, ohne Einfluss von Grundwasser, auf den Rohrscheitel werden wie folgt bemessen:

$$q_{S1} = \lambda_{max} \cdot \gamma_E \cdot H \quad \text{kN/m}^2$$

Die Einwirkungen der Erdlast, mit Einfluss von Grundwasser, auf den Rohrscheitel werden wie folgt bemessen:

$$q_{S1} = \lambda_{max} \cdot (\gamma_E \cdot h + \gamma'_E \cdot h') \quad \text{kN/m}^2$$

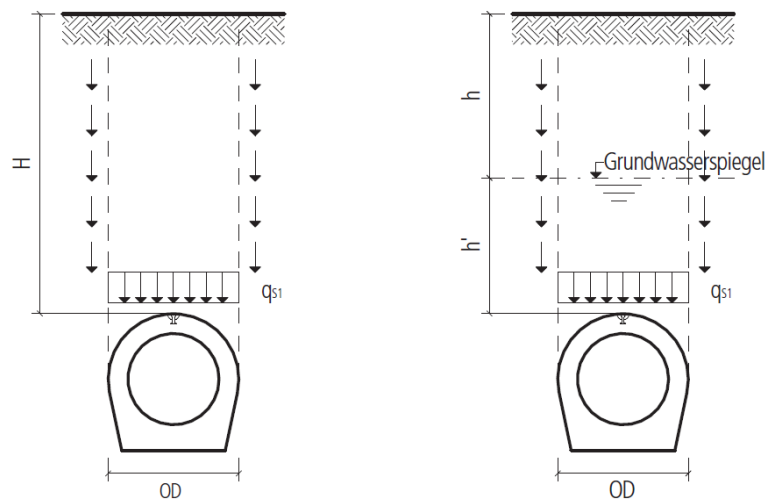


Bild 7: Einwirkung auf Baugrund bei Dammbedingung

Die Laststeigerung kann mit der nachfolgenden Näherung bemessen werden:

$$\lambda_{max} \approx 0.4025 \cdot C_1^3 - 1.0202 \cdot C_1^2 + 0.8401 \cdot C_1 + 0.4809 \cdot C_1^{\frac{1}{2}} + 0.9994$$

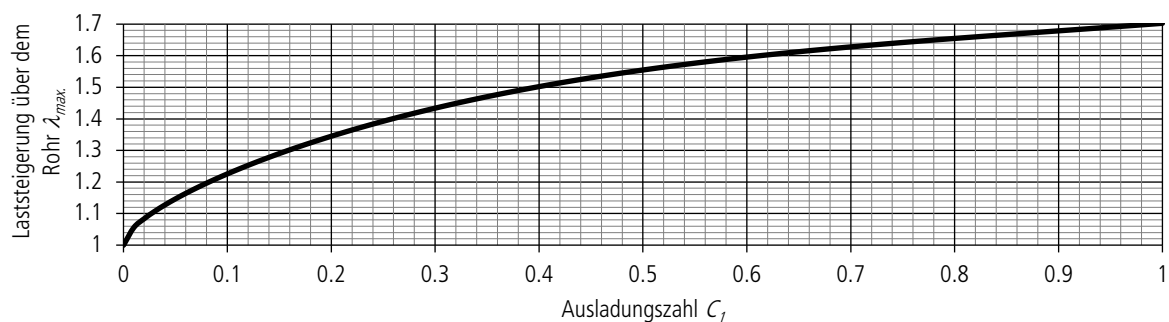


Diagramm 1:  $\lambda_{max}$  für die Einwirkungen auf Baugrund bei Dammbedingung in Abhängigkeit der Ausladungszahl  $C_1$

Die Ausladungszahl  $C_1$  ist das Produkt aus der Setzungsdurchbiegungsziffer  $C_2$  und der Ausladungszahl  $C_3$ .

$$C_1 = C_2 \cdot C_3$$

Art des Baugrundes		Setzungsdurchbiegungsziffer $C_2$
Rohr auf unnachgiebigem Boden	Fels	1.00
	Bewehrte Bodenplatte	1.00
Rohr auf gewöhnlichem Boden	Hart gelagerte Böden	0.80
	Nicht bindige Böden	0.70
	Schwach bindige Böden	0.65
Rohr auf nachgiebigem Boden	Bindige Mischböden und Silt	0.30
	Bindige Böden, ausgenommen Silt	0.20

Tabelle 3: Werte für Setzungsdurchbiegungsziffer  $C_2$  in Abhängigkeit des Baugrundes

Verlegeprofil	Verlegeprofil nach Norm SIA 190	Ausladungsziffer $C_3$
Verlegeprofil mit seitlicher Verfüllung aus Erdmaterial	U1 oder V1	1.00

Tabelle 4: Werte für Ausladungsziffer  $C_3$  in Abhängigkeit des Verlegeprofils

Geotechnische Bezeichnung USCS-Klassifikation		Geologische Bezeichnung					Bodenart			Raumgewicht		Kohäsion	Innerer Rei- bungs- winkel
		Moräne	Grundwasser	Schotter	Seeablagerungen	Gehängelehme	Nicht bindig	Schwach bindig	Bindig	$\gamma_E$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'_E$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\varphi$ [°]
mehr als 50% Sand- und Kiesanteil	Saubere Kiese GW, GP			●			●			20	11	0	32-45
	Siltiger Kies GM, GM-ML	●			●			●		20	11	0	30-40
	Toniger Kies GC, GC-CL	●				●		●		20	11	0-5	25-38
	Sauberer Sand SW, SP			●			●			20	11	0	30-43
	Siltiger Sand SM, SM-ML	●	●		●	●			●	20	10	0	31-37
	Toniger Sand SC, SC-CL	●	●		●				●	20	10	0-10	24-32
weniger als 50% Sand- und Kiesanteil	Silt ML		●		●	●			●	20	10	0	29-37
	Toniger Silt (Lehm) CL		●		●	●			●	20	10	10-30	23-31
	Ton CH		●		●				●	18	8	15-35	18-26
	Ton mit organi- schen Beimengungen OH				●				●	16	6	5-15	18-26
	Spezielle Silte (Seekreide) MH				●				●	16	6	0-10	18-30

Tabelle 5: Werte für  $\gamma_E$ ,  $\gamma'_E$ ,  $c$ ,  $\varphi$  in Abhängigkeit des Baugrundes

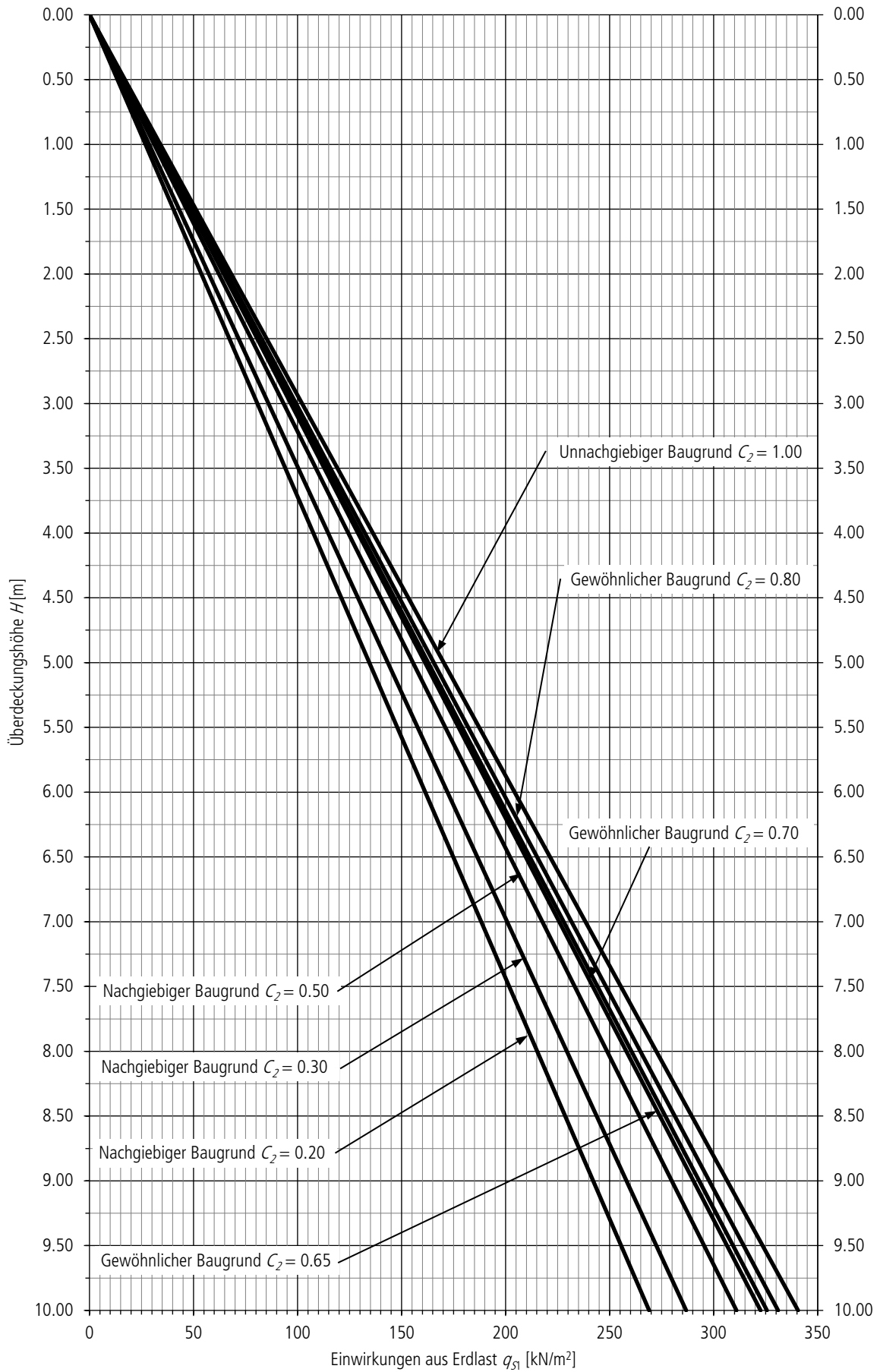


Diagramm 2: Einwirkungen der Erdlasten in Abhängigkeit der Überdeckungshöhe und Art des Baugrundes

Überdeckungshöhe  <i>H</i> [m]	Erdlasten $q_{s1}$ bei Dammbedingung in Abhängigkeit der Art des Bodens						
	Unnachgiebig Fels oder be- wehrte Beton- platte $C_2 = 1.00$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Hart gelagerte Böden $C_2 = 0.80$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Gewöhnlich Nicht bindige Böden $C_2 = 0.70$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Schwach bindige Böden $C_2 = 0.65$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Bindige Böden $C_2 = 0.50$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Nachgiebig Bindige Misch- böden und Silt $C_2 = 0.30$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Bindige Böden, ausgenommen Silt $C_2 = 0.20$ [kN/m <sup>2</sup> ]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	8.51	8.27	8.14	8.06	7.77	7.17	6.72
0.50	17.03	16.55	16.28	16.13	15.55	14.34	13.45
0.75	25.54	24.82	24.42	24.19	23.32	21.51	20.17
1.00	34.05	33.10	32.56	32.25	31.10	28.68	26.90
1.25	42.57	41.37	40.70	40.32	38.87	35.85	33.62
1.50	51.08	49.64	48.84	48.38	46.64	43.02	40.35
1.75	59.59	57.92	56.98	56.44	54.42	50.19	47.07
2.00	68.11	66.19	65.12	64.51	62.19	57.36	53.80
2.25	76.62	74.46	73.26	72.57	69.96	64.52	60.52
2.50	85.14	82.74	81.40	80.63	77.74	71.69	67.24
2.75	93.65	91.01	89.54	88.70	85.51	78.86	73.97
3.00	102.16	99.29	97.68	96.76	93.29	86.03	80.69
3.25	110.68	107.56	105.82	104.82	101.06	93.20	87.42
3.50	119.19	115.83	113.96	112.89	108.83	100.37	94.14
3.75	127.70	124.11	122.10	120.95	116.61	107.54	100.87
4.00	136.22	132.38	130.24	129.01	124.38	114.71	107.59
4.25	144.73	140.65	138.38	137.08	132.15	121.88	114.32
4.50	153.24	148.93	146.52	145.14	139.93	129.05	121.04
4.75	161.76	157.20	154.66	153.20	147.70	136.22	127.77
5.00	170.27	165.48	162.80	161.27	155.48	143.39	134.49
5.25	178.78	173.75	170.94	169.33	163.25	150.56	141.21
5.50	187.30	182.02	179.08	177.39	171.02	157.73	147.94
5.75	195.81	190.30	187.22	185.46	178.80	164.90	154.66
6.00	204.32	198.57	195.36	193.52	186.57	172.07	161.39
6.25	212.84	206.85	203.50	201.59	194.35	179.23	168.11
6.50	221.35	215.12	211.64	209.65	202.12	186.40	174.84
6.75	229.86	223.39	219.78	217.71	209.89	193.57	181.56
7.00	238.38	231.67	227.92	225.78	217.67	200.74	188.29
7.25	246.89	239.94	236.06	233.84	225.44	207.91	195.01
7.50	255.41	248.21	244.20	241.90	233.21	215.08	201.73
7.75	263.92	256.49	252.34	249.97	240.99	222.25	208.46
8.00	272.43	264.76	260.48	258.03	248.76	229.42	215.18
8.25	280.95	273.04	268.62	266.09	256.54	236.59	221.91
8.50	289.46	281.31	276.76	274.16	264.31	243.76	228.63
8.75	297.97	289.58	284.90	282.22	272.08	250.93	235.36
9.00	306.49	297.86	293.04	290.28	279.86	258.10	242.08
9.25	315.00	306.13	301.18	298.35	287.63	265.27	248.81
9.50	323.51	314.40	309.32	306.41	295.40	272.44	255.53
9.75	332.03	322.68	317.46	314.47	303.18	279.61	262.25
10.00	340.54	330.95	325.60	322.54	310.95	286.78	268.98

Tabelle 6: Einwirkungen der Erdlasten in Abhängigkeit der Überdeckungshöhe und Art des Baugrundes

## 7.2 Verkehrslasten aus Strassenverkehr

Für die Bestimmung der Verkehrslasten innerhalb eines Strassenbereiches gilt nach Norm SIA 190 das Lastmodell 1 der Norm SIA 261. Ausserhalb des Strassenbereichs hat der Projektverfasser in Abhängigkeit der Nutzung die Verkehrslasten zu bestimmen.

Legende:

$Q_k$	Charakteristischer Wert einer Einzellast	kN
$q_k$	Charakteristischer Wert einer Flächenlast	kN/m <sup>2</sup>
$q'_{s2}$	Gesamte Verkehrslast ohne Beiwert auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q'_{s2,G}$	Verkehrslast ohne Beiwert auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q'_{s2,R}$	Verkehrslast einer einzelnen Radlast ( $a = 0.40$ m) von 150 kN ohne Beiwert auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q'_{s2,F}$	Verkehrslast ohne eine Radlast und ohne Beiwert auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{s2}$	Gesamte Verkehrslast auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{s2,G}$	Verkehrslast auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{s2,R}$	Verkehrslast einer einzelnen Radlast ( $a = 0.40$ m) von 150 kN auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{s2,F}$	Verkehrslast ohne eine Radlast auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$\alpha$	Beiwert in Abhängigkeit der Strassenfahrzeuge	-
$\psi$	Stosszuschlag unabhängig von der Überdeckungshöhe	-
$a$	Breite der Fahrzeugauflage (0.40 m nach Norm SIA 190)	m
$H$	Überdeckungshöhe über Rohrscheitel	m

Die Einwirkungen der Verkehrslast werden wie folgt bemessen:

$$q_{s2} = q'_{s2} \cdot \alpha \cdot \psi = q_{s2,G} \quad \text{kN/m}^2$$

Die gesamten Einwirkungen der Verkehrslast lassen sich wie folgt bemessen:

$$q_{s2,G} = q'_{s2,G} \cdot \alpha \cdot \psi \quad \text{kN/m}^2$$

Die Verkehrslast aus einem einzelnen Radlast von 150 kN wird wie folgt bemessen:

$$q_{s2,R} = q'_{s2,R} \cdot \alpha \cdot \psi \quad \text{kN/m}^2$$

Die gesamten Einwirkungen aus der Verkehrslast ohne eine einzelne Radlast lassen sich wie folgt bemessen:

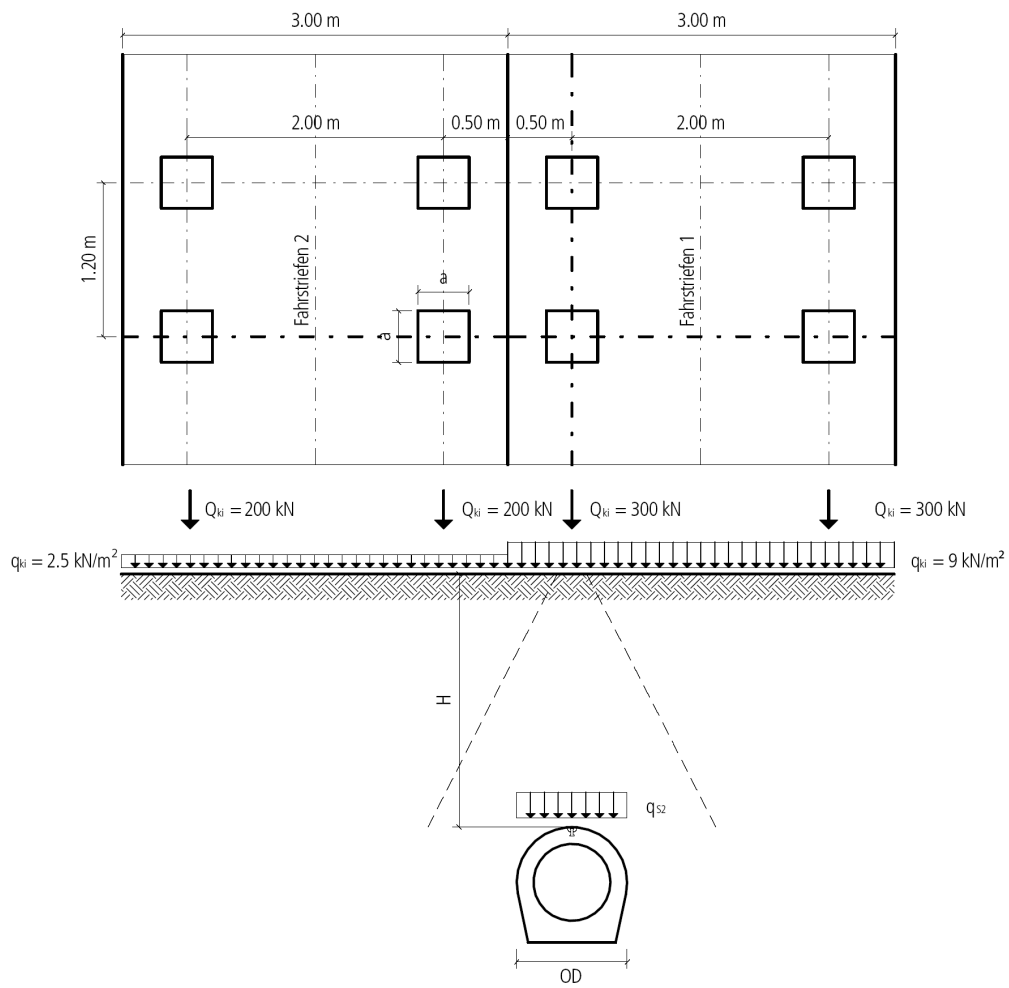
$$q_{s2,F} = q'_{s2,F} \cdot \alpha \cdot \psi \quad \text{kN/m}^2$$

Strassennutzung	Beiwert $\alpha$
Strassenverkehr mit Schwerverkehr (Normalfall) z.B. Autobahnen, Haupt-, Neben- und Erschliessungsstrassen	0.90
Strassenverkehr ohne Schwerverkehr bzw. von untergeordneter Bedeutung (Fahrbahnbreiten < 6 m, Stichstrassen usw.)	0.65

Tabelle 7: Werte für Beiwert  $\alpha$  in Abhängigkeit der Strassennutzung

Strassenart	Stosszuschlag $\psi$
Rohrleitungen in der Nähe von Schwellen oder Übergängen	1.30

Tabelle 8: Werte für Stosszuschlag  $\psi$  in Abhängigkeit der Strassenart



**Bild 8: Massgebende Einwirkung aus Strassenverkehr bei normaler Überdeckung gemäss Lastmodell 1 nach Norm SIA 190**



Die Einwirkungen durch die gesamten Verkehrslasten nach Norm SIA 190 mit Lastmodell 1 lassen sich aus dem Diagramm 4 herauslesen. Zwischenwerte können interpoliert werden. Die Werte gelten für  $\alpha = 1$  und  $\psi = 1$ .

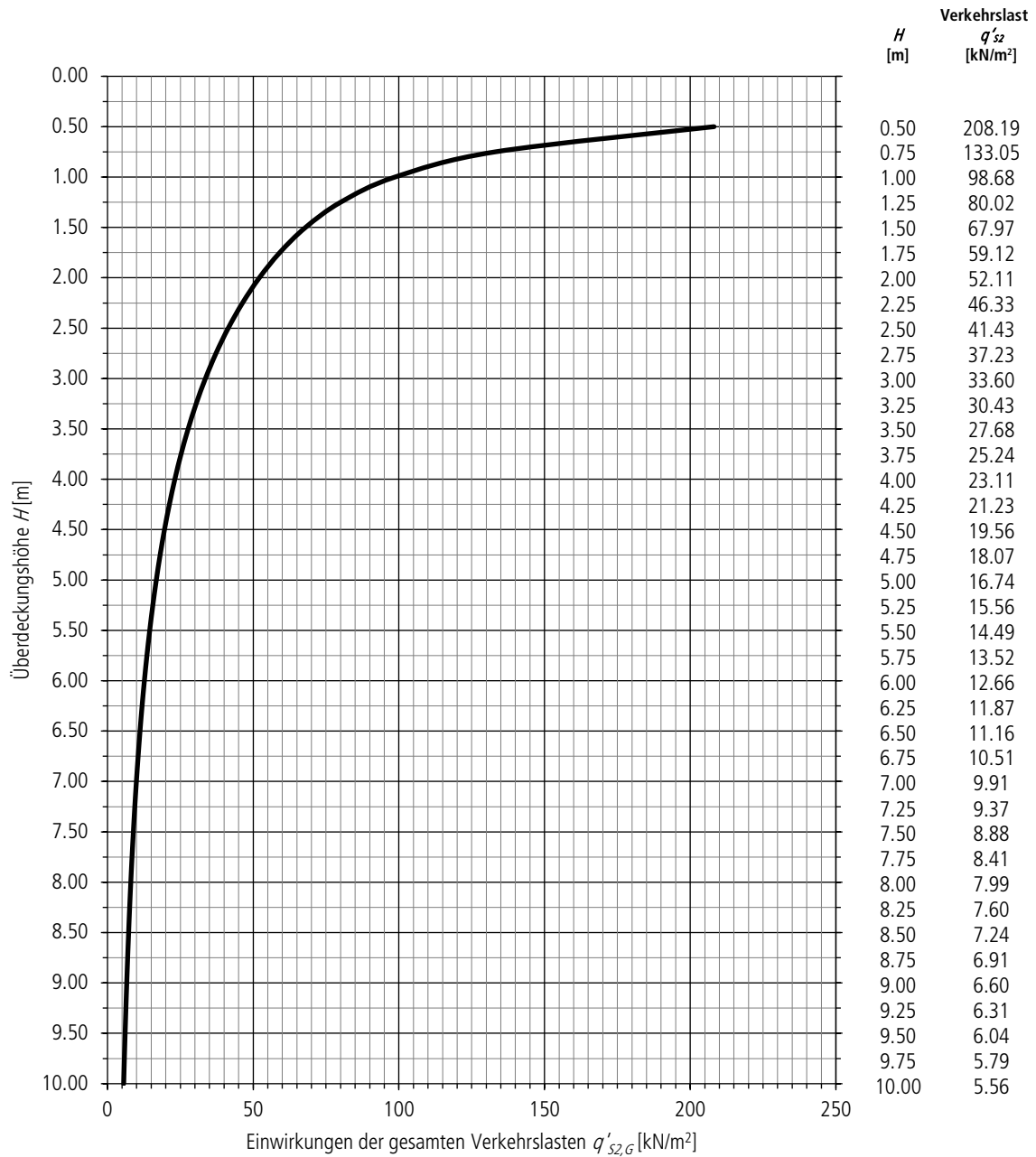


Diagramm 3: Einwirkungen der gesamten Verkehrslasten inkl. der dynamischen Effekte

Die Einwirkungen einer einzelnen Radlast von 150 kN über dem Rohrscheitel nach Norm SIA 190 mit Lastmodell 1 lassen sich aus dem Diagramm 5 herauslesen. Zwischenwerte können interpoliert werden. Die Werte gelten für  $\alpha = 1$  und  $\psi = 1$ .

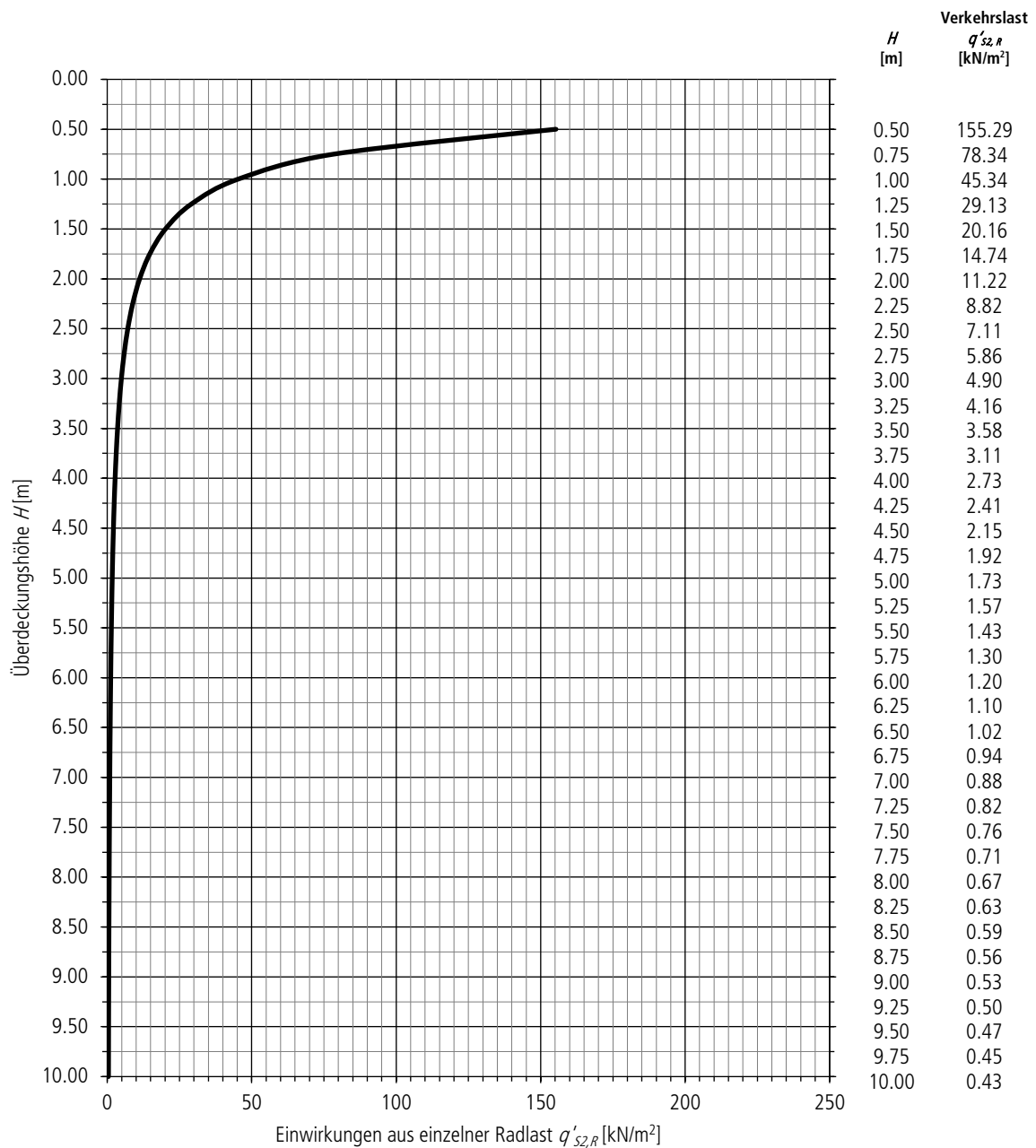


Diagramm 4: Einwirkungen einer einzelnen Radlast von 150 kN gemäss Lastmodell 1 inkl. der dynamischen Effekte

Die Einwirkungen der gesamten Verkehrslast abzüglich einer einzelnen Radlast von 150 kN über dem Rohrscheitel nach Norm SIA 190 mit Lastmodell 1 lassen sich aus dem Diagramm 6 herauslesen. Zwischenwerte können interpoliert werden. Die Werte gelten für  $\alpha = 1$  und  $\psi = 1$ .

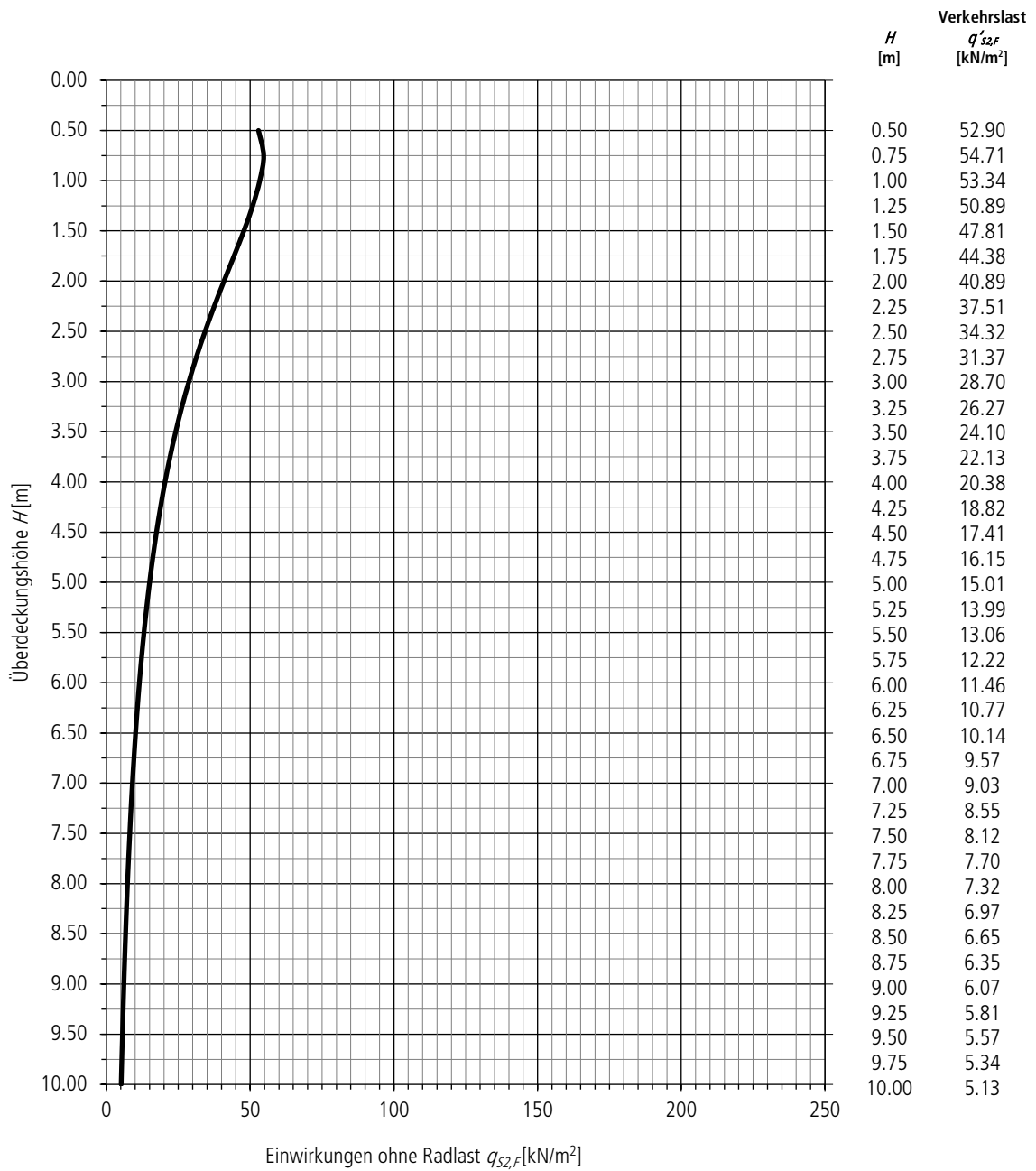


Diagramm 5: Einwirkungen der gesamten Verkehrslasten abzüglich einer Einzellast von 150 kN inkl. der dynamischen Effekte

### 7.3 Verkehrslasten aus Bahnverkehr

Für die Bestimmung der Verkehrslasten innerhalb eines Bahnbereiches gilt nach Norm SIA 190 das Lastmodell 1, 2 oder 3 der Norm SIA 261.

Für Strassenbahnen oder Agglomerationsverkehr (Schmalspur, Lastmodell 3) darf  $q_s$  um 50% reduziert werden.

Legende:

$Q_k$	Charakteristischer Wert einer Einzellast	kN
$q_k$	Charakteristischer Wert einer Flächenlast	kN/m <sup>2</sup>
$q'_{s2}$	Verkehrslast ohne dynamischen Beiwert auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{s2}$	Gesamte Verkehrslast auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$\alpha$	Beiwert in Abhängigkeit des Bahnverkehrs	-
$\psi$	Dynamischer Faktor abhängig von der Überdeckungshöhe	-
$H$	Überdeckungshöhe über Rohrscheitel	m

Die gesamten Einwirkungen aus der Verkehrslast infolge Bahnverkehrs (Normalspur) lassen sich wie folgt bemessen:

$$q_{s2} = q'_{s2} \cdot \alpha \cdot \psi \quad \text{kN/m}^2$$

Die gesamten Einwirkungen aus der Verkehrslast infolge Bahnverkehrs (Schmalspur oder Strassenbahnen) lassen sich wie folgt bemessen:

$$q_{s2} = q'_{s2} \cdot \alpha \cdot \psi \cdot 0.5 \quad \text{kN/m}^2$$

Bahnnutzung	Beiwert $\alpha$
Normalfall	1.33
Mögliche Abminderung in Absprache mit Aufsichtsbehörde	bis 1.00

Tabelle 9: Werte für Beiwert  $\alpha$  in Abhängigkeit der Strassennutzung

Der dynamische Beiwert infolge Unregelmässigkeiten in Gleis- und Rollmaterial lässt sich mit folgender Formel nach Norm SIA 190 bemessen:

$$\psi = 1.4 - 0.1 \cdot (H - 0.5) \geq 1 \quad \text{kN/m}^2$$

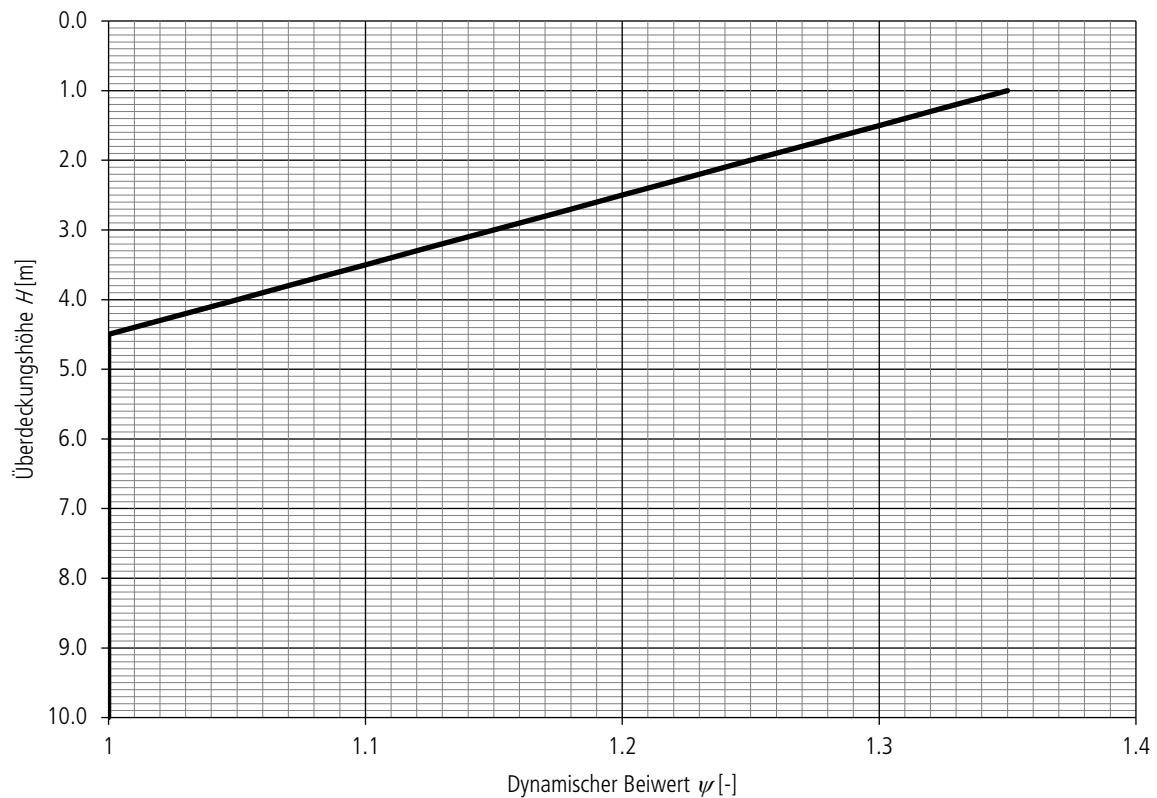
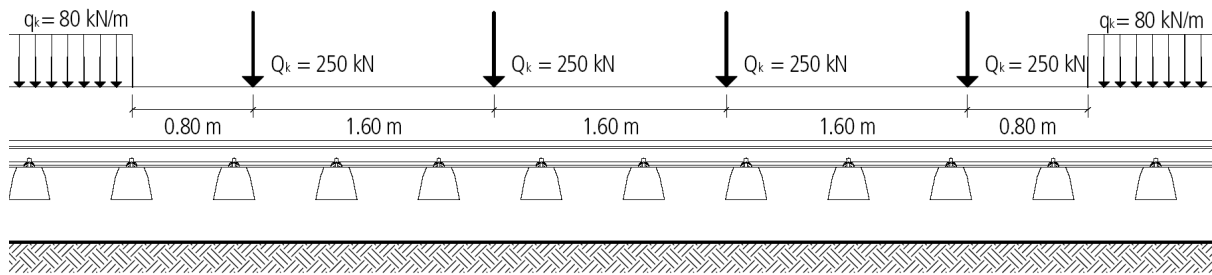
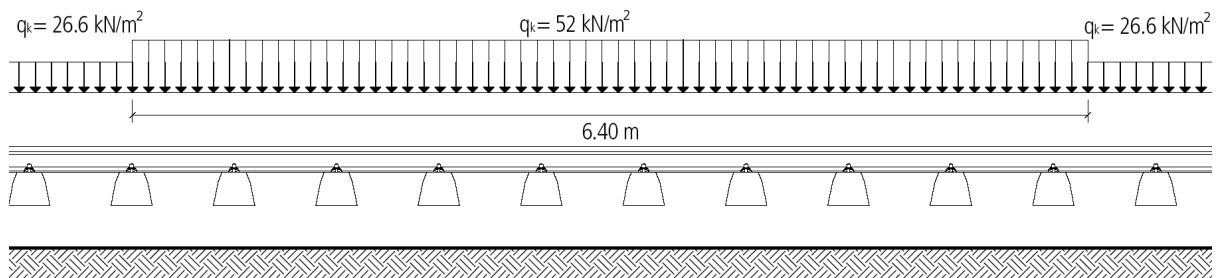


Diagramm 6: Dynamischer Beiwert bei Verkehrslasten im Bahnbereich in Abhängigkeit der Überdeckungshöhe  $H$

Einwirkungen längs zur Schienenachse



Einwirkungen längs zur Schienenachse



Einwirkungen quer zur Schienenachse

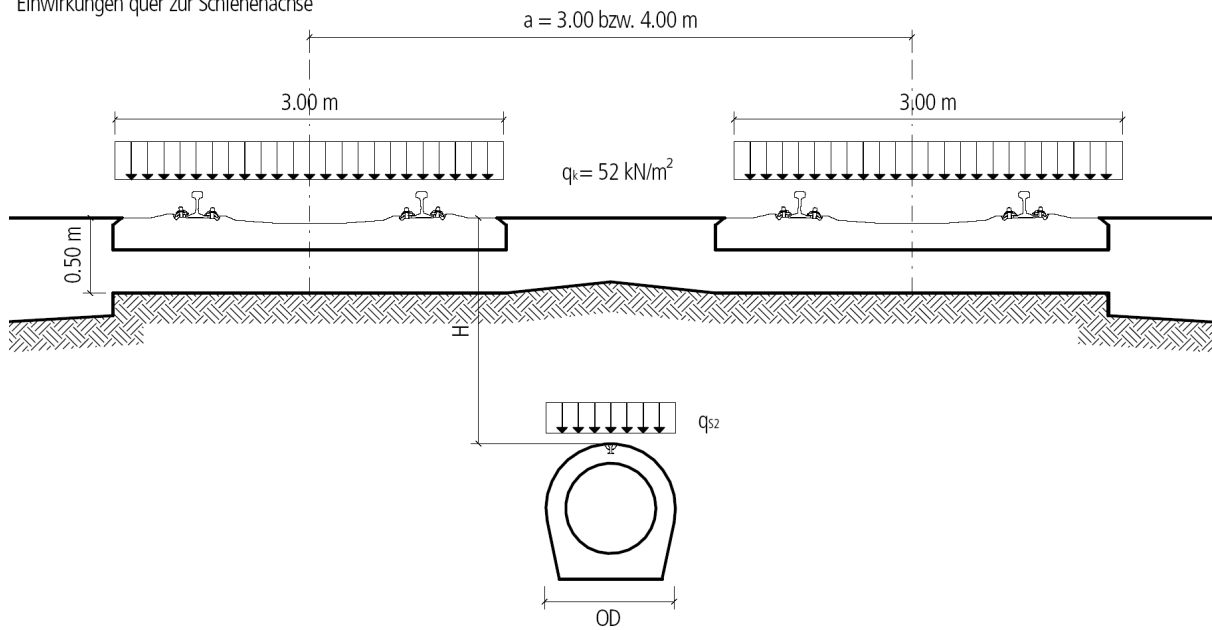


Bild 9: Massgebende Einwirkung aus Bahnverkehr nach Norm SIA 190

Die Einwirkungen der gesamten Bahnlasten über dem Rohrscheitel nach Norm SIA 190 mit Lastmodell 1, 2 und 3 lassen sich aus dem Diagramm 7 herauslesen. Zwischenwerte können interpoliert werden. Die Werte gelten für  $\alpha = 1$  und  $\psi = 1$ .

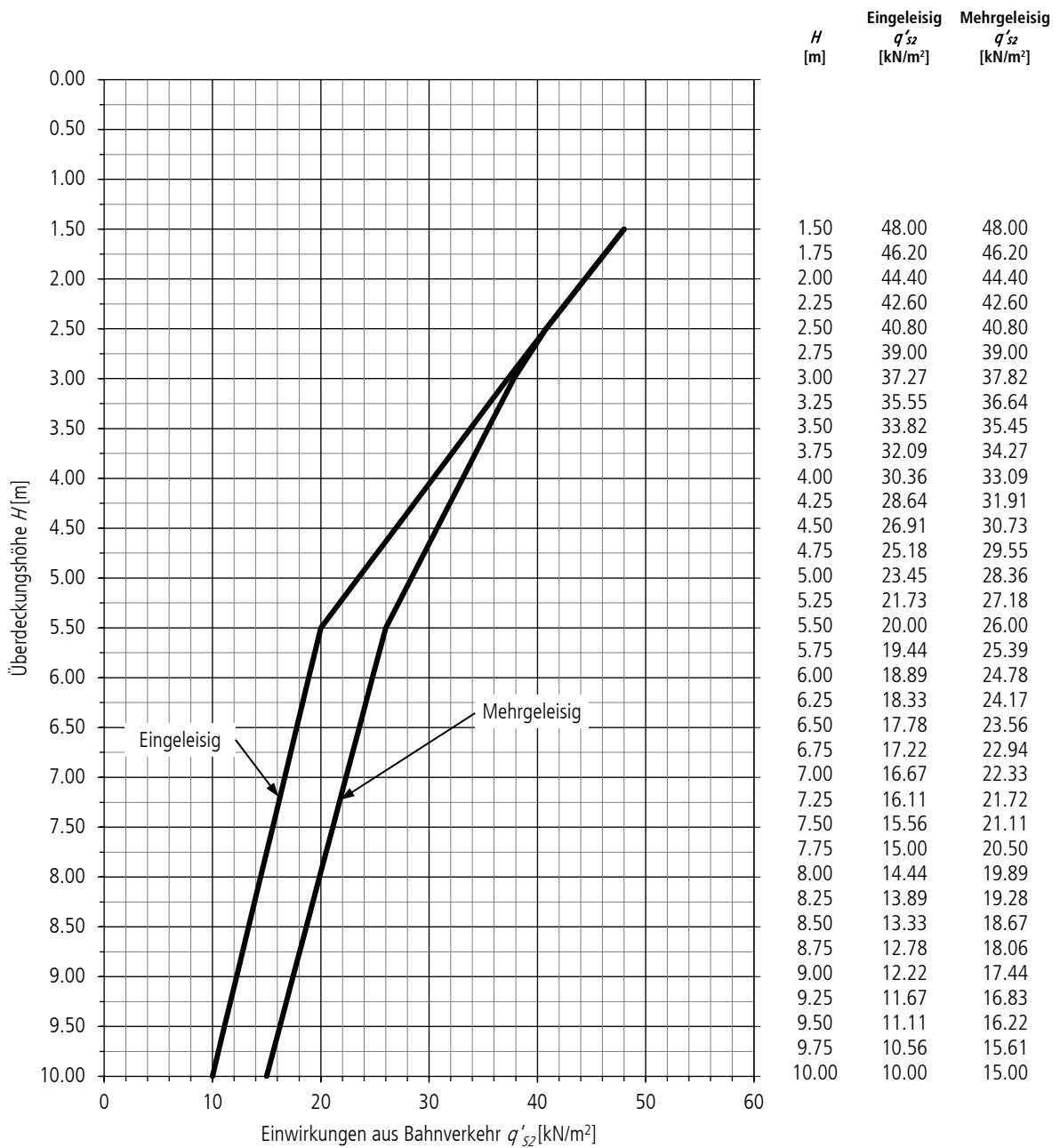
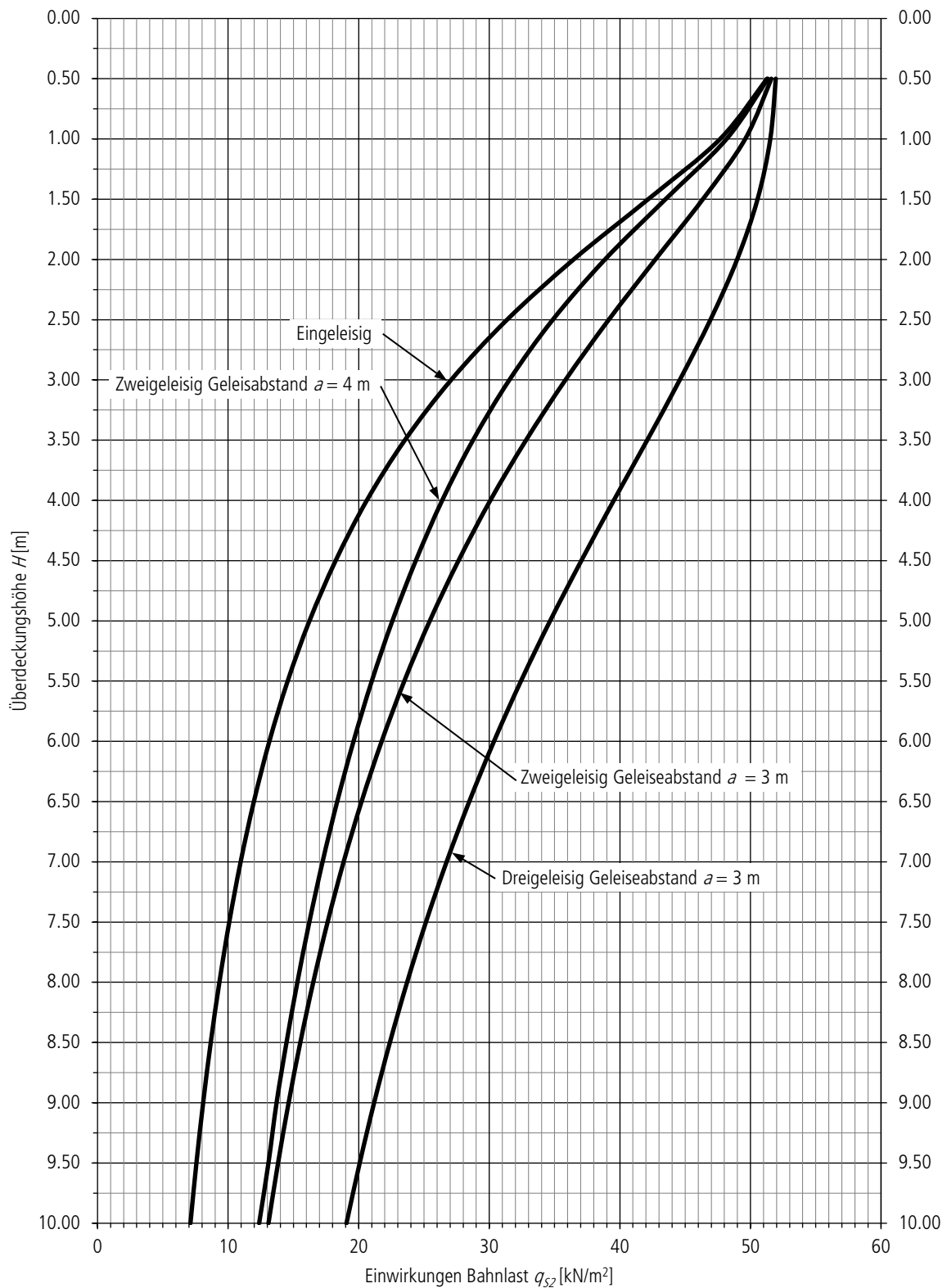


Diagramm 7: Einwirkungen der gesamten Bahnlast nach Norm SIA 190 ohne Berücksichtigung des dynamischen Beiwerts

Als Alternative zu den Angaben aus der Norm SIA 190 können die Werte aus Diagramm 8 und Tabelle 9 verwendet werden. Dabei sind die Lasten aus Bahnverkehr gemäss Norm SIA 261 nach dem Grundsatz von Boussinesq dargestellt. Die Zwischenhöhen können interpoliert werden. Die Werte gelten für  $\alpha = 1$  und  $\psi = 1$ . Die Verwendung dieser Lastangaben ist nur in Absprache mit dem Bahnbetreiber zulässig. Ohne Einverständnis des Bahnbetreibers sind die Werte nach Norm SIA 190 Diagramm 7 massgebend.



**Diagramm 8:** Einwirkungen der gesamten Bahnlasten  $q_{S2}$  in Abhängigkeit der Überdeckungshöhe  $H$  und der Geleiseanzahl ohne Berücksichtigung des dynamischen Beiwerts

Überdeckungshöhe $H$ [m]	Einwirkungen aus Bahnlast nach Boussinesq, in Abhängigkeit der Geleisezahl und Geleiseabstand			
	Eingleisig $q_{sz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Zweigeleisig $a = 4$ m $q_{sz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Zweigeleisig $a = 3$ m $q_{sz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Dreigeleisig $a = 3$ m $q_{sz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
0.50	51.26	51.33	51.60	51.94
0.75	49.83	50.06	50.81	51.79
1.00	47.68	48.17	49.60	51.52
1.25	45.04	45.90	48.07	51.11
1.50	42.17	43.50	46.36	50.54
1.75	39.27	41.11	44.55	49.83
2.00	36.46	38.86	42.72	48.98
2.25	33.81	36.78	40.91	48.01
2.50	31.36	34.87	39.15	46.94
2.75	29.12	33.12	37.46	45.79
3.00	27.08	31.54	35.83	44.59
3.25	25.22	30.09	34.28	43.34
3.50	23.53	28.75	32.81	42.09
3.75	22.01	27.53	31.41	40.81
4.00	20.62	26.39	30.08	39.53
4.25	19.36	25.34	28.82	38.27
4.50	18.24	24.37	27.64	37.05
4.75	17.19	23.45	26.51	35.84
5.00	16.23	22.58	25.44	34.66
5.25	15.36	21.77	24.44	33.52
5.50	14.56	21.00	23.49	32.42
5.75	13.83	20.28	22.60	31.37
6.00	13.16	19.60	21.76	30.36
6.25	12.54	18.96	20.97	29.39
6.50	11.97	18.35	20.22	28.47
6.75	11.45	17.78	19.51	27.58
7.00	10.96	17.23	18.85	26.73
7.25	10.51	16.71	18.22	25.92
7.50	10.09	16.22	17.62	25.15
7.75	9.70	15.75	17.05	24.41
8.00	9.33	15.30	16.52	23.71
8.25	8.99	14.88	16.01	23.03
8.50	8.67	14.47	15.53	22.39
8.75	8.37	14.08	15.07	21.77
9.00	8.09	13.71	14.63	21.18
9.25	7.82	13.35	14.22	20.62
9.50	7.57	13.01	13.82	20.08
9.75	7.34	12.69	13.45	19.56
10.00	7.11	12.38	13.09	19.06

Tabelle 10: Einwirkungen der gesamten Bahnlasten  $q_{sz}$  in Abhängigkeit der Überdeckungshöhe  $H$  und der Geleisezahl ohne Berücksichtigung des dynamischen Beiwerts



## 7.4 Oberflächenlasten

Die Einwirkungen aus Oberflächenlasten (Schüttungen, Gebäuden, Kranbetriebe oder anderes) werden aufgrund Ausdehnung und Kräfteausbreitung bestimmt.

Legende:

$q_0$	Oberflächenlast als Flächenlast	kN/m <sup>2</sup>
$q_{s3}$	Flächenlast aus Oberflächenlasten auf Niveau des Rohrscheitels	kN/m <sup>2</sup>
$l_a$	Länge der Oberflächenlast (längs zur Rohrachse)	m
$b_a$	Breite der Oberflächenlast (quer zur Rohrachse)	m
$H$	Überdeckungshöhe über Rohrscheitel	m
$A_1$	Beiwert gemäss Tabelle 9	-

Die Einwirkungen infolge der Oberflächenlasten auf Niveau des Rohrscheitels lassen sich mit folgender Formel bemessen:

$$q_{s3} = q_0 \cdot A_1 \quad \text{kN/m}^2$$

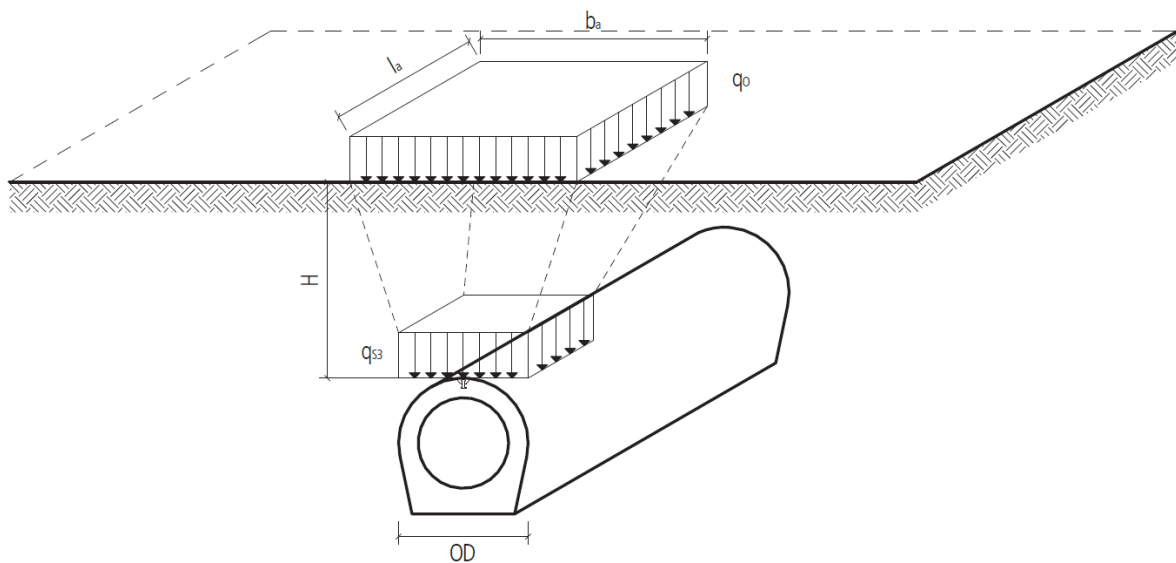


Bild 10: Massgebende Einwirkung aus Oberflächenlasten

$\frac{b_a}{2 \cdot H}$	$\frac{l_a}{2 \cdot H}$													
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	2.0	5.0
0.1	0.019	0.037	0.053	0.067	0.079	0.089	0.097	0.103	0.108	0.112	0.117	0.121	0.124	0.128
0.2	0.037	0.072	0.103	0.131	0.155	0.174	0.189	0.202	0.211	0.219	0.229	0.238	0.244	0.248
0.3	0.053	0.103	0.149	0.190	0.224	0.252	0.274	0.292	0.306	0.318	0.333	0.345	0.355	0.360
0.4	0.067	0.131	0.190	0.241	0.284	0.320	0.349	0.373	0.391	0.405	0.425	0.440	0.454	0.460
0.5	0.079	0.155	0.224	0.284	0.336	0.379	0.414	0.441	0.463	0.481	0.505	0.525	0.540	0.548
0.6	0.089	0.174	0.252	0.320	0.379	0.428	0.467	0.499	0.524	0.544	0.572	0.596	0.613	0.624
0.7	0.097	0.189	0.274	0.340	0.414	0.467	0.511	0.546	0.584	0.597	0.628	0.650	0.674	0.688
0.8	0.103	0.202	0.292	0.373	0.441	0.499	0.546	0.584	0.615	0.639	0.674	0.703	0.725	0.740
0.9	0.108	0.211	0.306	0.391	0.463	0.524	0.574	0.615	0.647	0.673	0.711	0.742	0.766	0.784
1.0	0.112	0.219	0.318	0.405	0.481	0.544	0.597	0.639	0.673	0.701	0.740	0.774	0.800	0.816
1.2	0.117	0.229	0.333	0.425	0.505	0.572	0.628	0.674	0.711	0.740	0.783	0.820	0.849	0.868
1.5	0.121	0.238	0.345	0.440	0.525	0.596	0.650	0.703	0.742	0.774	0.820	0.861	0.894	0.916
2.0	0.124	0.244	0.355	0.454	0.540	0.613	0.674	0.725	0.768	0.800	0.849	0.894	0.930	0.956

Tabelle 11: Beiwert  $A_1$  in Abhängigkeit des Verhältnisses der Länge und Breite der Auflast zur Überdeckungshöhe ohne Berücksichtigung eines eventuellen dynamischen Beiwerts.

## 8 Tragsicherheitsnachweis

Zur Ermittlung der Einwirkungen auf den Rohrscheitel werden für den Nachweis der Tragsicherheit folgende Belastungen berücksichtigt:

- Erdlasten
- Verkehr
- Oberflächenlast

Die Belastung aus Erdlasten, Verkehr und Oberflächenlasten wirken direkt auf den Rohrscheitel. Die Einwirkungen aus horizontalem Wasserdruck werden aus umgerechneten Ersatzlasten auf den Rohrscheitel dargestellt. Die Einwirkungen aus Eigenlast der MAROWA® Hochleistungsbetonrohre werden beim Tragsicherheitsnachweis nicht berücksichtigt, da diese bereits in der Scheiteldruck-Bruchlast  $q_{Br}$  enthalten sind. Die Einwirkung der Rohrfüllung ist nur bedingt bedeutend, sehr klein und wird für den Nachweis der Tragsicherheit nicht berücksichtigt.

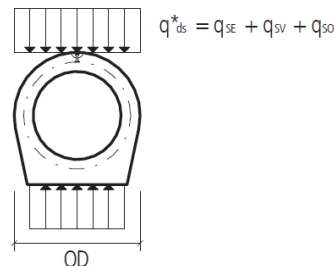
Legende:

$E_d$	Bemessungswert einer Auswirkung	kN/m <sup>2</sup>
$R_d$	Bemessungswert des Tragwiderstandes	kN/m <sup>2</sup>
$q_{S1}$	Erdlast auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{S2}$	Verkehrslast mit dynamischen Beiwert auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{S3}$	Oberflächenlast auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{SE}$	Verkehrslast infolge Erdauflast mit Lastbeiwert auf Niveau Rohrscheitel als Linienlast	kN/m
$q_{SV,S}$	Verkehrslast infolge Strassenverkehr mit Lastbeiwert auf Niveau Rohrscheitel als Linienlast	kN/m
$q_{SV,B}$	Verkehrslast infolge Bahnverkehr mit Lastbeiwert auf Niveau Rohrscheitel als Linienlast	kN/m
$q_{SO}$	Flächenlast infolge Oberflächenlast mit Lastbeiwert auf Niveau Rohrscheitel als Linienlast	kN/m
$q_{ds}^*$	Bemessungswert der Beanspruchung aller vertikalen Einwirkungen auf Niveau Rohrscheitel als Linienlast	kN/m
$q_R^*$	Reduzierter Tragwiderstand	kN/m
$q_{Br}$	Scheiteldruck-Bruchlast	kN/m
$OD$	Aussendurchmesser	mm
$D_m$	Mittlerer Rohrdurchmesser	mm
$f_d$	Lastvergrößerungsfaktor infolge dickwandiger Rohre	-
$\gamma_{G,sup}$	Lastbeiwert für ständige Einwirkung (untere Bemessungswerte)	-
$\gamma_{G,inf}$	Lastbeiwert für ständige Einwirkung (obere Bemessungswerte)	-
$\gamma_Q$	Lastbeiwert für veränderliche Einwirkung	-
$ZE$	Einbauziffer	-
$\gamma_R$	Widerstandsbeiwert	-

Die Tragsicherheit gilt als nachgewiesen, wenn folgendes Bemessungskriterium erfüllt ist:

$$E_d \leq R_d \text{ bzw. } q_{ds}^* \leq q_R^* \quad -$$

$$q_R^* = \frac{ZE \cdot q_{Br}}{\gamma_R} \quad -$$



**Bild 11: Bemessungswert  $q_{ds}^*$  der Beanspruchung**

Es gelten die Lastbeiwerte gemäss Norm SIA 260, Tabelle 1, Grenzzustand Typ 2.

Einwirkungen		Grenzzustand Typ 2
Ständige Einwirkungen wie Eigengewicht oder Auflasten		
• Ungünstig wirkend	$\gamma_{G,sup}$	1.35
• Günstig wirkend	$\gamma_{G,inf}$	0.80
Veränderliche Einwirkungen		
• Im Allgemeinen	$\gamma_Q$	1.50
• Strassenverkehrslasten	$\gamma_Q$	1.50
• Bahnverkehrslasten		
• Lastmodell 1 und 2	$\gamma_Q$	1.45
• Lastmodell 3	$\gamma_Q$	1.20
Einwirkungen aus Baugrund		
• Erdauflasten		
• Ungünstig wirkend	$\gamma_{G,sup}$	1.35
• Günstig wirkend	$\gamma_{G,inf}$	0.80
• Erddruck		
• Ungünstig wirkend	$\gamma_{G,sup}$	1.35
• Günstig wirkend	$\gamma_{G,inf}$	0.70
• Wasserdruck		
• Ungünstig wirkend	$\gamma_{G,sup}$	1.20
• Günstig wirkend	$\gamma_{G,inf}$	0.90

**Tabelle 12: Lastbeiwerte für den Nachweis der Tragsicherheit nach Norm SIA 260**

Die Einwirkungen als Linienlast aus den Erdlasten, für den Nachweis der Tragsicherheit, werden wie folgt bemessen:

$$q_{SE} = OD \cdot f_d \cdot q_{S1} \cdot \gamma_{G,sup} = OD \cdot f_d \cdot q_{S1} \cdot 1.35 \quad \text{kN/m}$$

Die Einwirkungen als Linienlast aus dem Strassenverkehr, für den Nachweis der Tragsicherheit, werden wie folgt bemessen:

$$q_{SV,S} = OD \cdot f_d \cdot q_{S2} \cdot \gamma_Q = OD \cdot f_d \cdot q_{S2} \cdot 1.50 \quad \text{kN/m}$$

Die Einwirkungen als Linienlast aus dem Bahnverkehr (Normalspur), für den Nachweis der Tragsicherheit, werden wie folgt bemessen:

$$q_{SV,B} = OD \cdot f_d \cdot q_{S2} \cdot \gamma_Q = OD \cdot f_d \cdot q_{S2} \cdot 1.45 \quad \text{kN/m}$$

Die Einwirkungen als Linienlast aus dem Bahnverkehr (Schmalspur), für den Nachweis der Tragsicherheit, werden wie folgt bemessen:

$$q_{SV,B} = OD \cdot f_d \cdot q_{S2} \cdot \gamma_Q = OD \cdot f_d \cdot q_{S2} \cdot 1.20 \quad \text{kN/m}$$

Die Einwirkungen als Linienlast aus den Oberflächenlasten, für den Nachweis der Tragsicherheit, werden wie folgt bemessen:

$$q_{SO} = OD \cdot f_d \cdot q_{S3} \cdot \gamma_{G,sup} = OD \cdot f_d \cdot q_{S3} \cdot 1.35 \quad \text{kN/m}$$

Die Summe aller Bemessungswerte der vertikalen Einwirkungen  $q^*_{ds}$  als Linienlast auf Niveau Rohrscheitel lässt sich wie folgt bemessen:

$$q^*_{ds} = q_{SE} + q_{SV,S} + q_{SV,B} + q_{SO} \quad \text{kN/m}$$

Da sich die Bemessungen immer auf die Wandachse des Rohres beziehen, muss bei MAROWA® Hochleistungsbetonrohren (wie auch bei anderen dickwandigen Rohren) die vertikale Einwirkung mit dem Lastvergrößerungsfaktor  $f_d$  vergrößert werden.

Der Lastvergrößerungsfaktor  $f_d$  lässt sich mit folgender Formel bestimmen:

$$f_d = \frac{OD}{D_m}$$

Nennweite DN	Lastvergrößerungsfaktor $f_d$
250	1.31
300	1.28
400	1.23
500	1.20
600	1.18
700	1.19
800	1.18

**Tabelle 13: Lastvergrößerungsfaktor  $f_d$  in Abhängigkeit der Nennweite**

Die Einbauziffer  $Z_E$  berücksichtigt den Unterschied in der Kräfteverteilung zwischen der Linienlagerung bei der Scheiteldruckbruchprüfung nach Norm SN EN 1916 (SIA 190.170) und der effektiven Lagerung der MAROWA® Hochleistungsbetonrohre.

Nennweite	Einbauziffer für Verlegeprofil 1 $Z_E$
DN 250	1.75
DN 300	1.75
DN 400	1.75
DN 500	1.75
DN 600	1.75
DN 700	1.75
DN 800	1.75

**Tabelle 14: Einbauziffer  $Z_E$  für Verlegeprofil 1 in Abhängigkeit der Nennweite**

Der Widerstandsbeiwert wird in der Norm SIA 190 festgelegt.

Systemsteifigkeit	Widerstandsbeiwert $\gamma_R$
Biegesteife Rohre	1.20

**Tabelle 15: Widerstandsbeiwert  $\gamma_R$  in Abhängigkeit der Systemsteifigkeit**

## 9 Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Die Gebrauchstauglichkeit von MAROWA® Hochleistungsbetonrohren wird nach der Norm SIA 262 und SIA 190 nachgewiesen. Massgebend ist die Erarbeitung der Nutzungszustände und den daraus entwickelten Nutzungsplan. Es werden die vorhandenen Ringbiegezugspannungen des Betons im nicht gerissenen Zustand berechnet. Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit gilt als erbracht, wenn die vorhandene Ringbiegezugspannung  $\sigma_{Rbz}$  unter der zulässigen Ringbiegezugspannung  $\sigma_{Rbz,adm}$  liegt.

Die Spannungen, Momente und Normalkräfte werden üblicherweise nur in Ringrichtung bemessen. In Längsrichtung wird eine gleichmässige Auflagerung des Rohres vorausgesetzt, so dass keine Längsbeanspruchung entsteht. Längsbiegungen infolge besonderer Einbauverfahren, Temperaturdifferenzen und Auftrieb sind gegebenenfalls zusätzlich zu berücksichtigen, werden aber in diesen Unterlagen nicht behandelt. Zur Ermittlung der Einwirkungen auf den Rohrscheitel werden für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit folgende Belastungen berücksichtigt:

- Eigenlast
- Erdlast vertikal und horizontal
- Verkehrslast vertikal und horizontal
- Oberflächenlast vertikal und horizontal
- Wasserinnen- und Wasseraussendruck bzw. Wasserfüllung

Legende:

$\sigma_{Rbz}$	Ringbiegezugspannung	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{Rbz,adm}$	Zulässige Ringbiegezugspannung	N/mm <sup>2</sup>
$q_{S0}$	Eigengewicht auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{S1}$	Erdlast auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{S2}$	Gesamte Verkehrslast auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{S2,G}$	Verkehrslast auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{S2,R}$	Verkehrslast einer einzelnen Radlast ( $a = 0.40$ m) von 150 kN auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{S2,F}$	Verkehrslast ohne einer Radlast auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{S3}$	Oberflächenlast auf Niveau Rohrscheitel	kN/m <sup>2</sup>
$q_{ser,V}$	Gleichmässige Flächenlast aller vertikalen Einwirkungen auf Niveau des Rohrscheitels	kN/m <sup>2</sup>
$q_{ser,H}$	Gleichmässige Flächenlast aller horizontalen Einwirkungen auf Niveau des Rohrscheitels	kN/m <sup>2</sup>
$p_a$	Äusserer Wasserdruck	kN/m <sup>2</sup>
$p_i$	Innerer Wasserdruck	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma_Q$	Lastbeiwert für veränderliche Einwirkung	-
$\alpha_{ki}$	Korrekturfaktor für die Krümmung für die Rohrrinnenwand	-
$\alpha_{ka}$	Korrekturfaktor für die Krümmung für die Rohraussenwand	-
$\phi$	Winkel des Bemessungswinkels im Uhrzeigersinn ab Rohrscheitel	°
$f_a$	Korrekturfaktor infolge geringer Überdeckungshöhe	-
$K$	Erddruckbeiwert	-
$D_{Pr}$	Verdichtungsgrad, bezogen auf einfache Proctordichte	-
$S$	Wandstärke	mm
$OD$	Aussendurchmesser	mm
$L$	Länge des berücksichtigten Bauteils	mm
$R_m$	Mittlerer Rohrradius	mm
$R_i$	Innerer Rohrradius	mm
$R_a$	Äusserer Rohrradius	mm
$A$	Querschnittsfläche der Rohrwand	mm <sup>2</sup> /m
$W$	Widerstandsmoment der Rohrwand	mm <sup>3</sup> /m
$H$	Überdeckungshöhe über Rohrscheitel	m
$h_{wa}$	Wasserdruckhöhe aussen ab Rohrsohle	m
$h_{wi}$	Wasserdruckhöhe innen ab Rohrsohle	m
$h$	Höhe zwischen Terrain und massgebendem Grundwasserspiegel	m
$h'$	Höhe zwischen Oberkante Rohrscheitel und massgebendem Grundwasserspiegel	m

Die Gebrauchstauglichkeit gilt als nachgewiesen, wenn folgendes Bemessungskriterium erfüllt ist:

$$\sigma_{Rbz} = \frac{\sum N}{A} \pm \frac{\sum M}{W} \cdot \alpha_k \leq \sigma_{Rbz,adm} \quad \text{N/mm}^2$$

## 9.1 Querschnittswerte

Die Wandverstärkungen durch den geometrischen Querschnitt bei MAROWA® Hochleistungsbetonrohren haben einen wesentlichen Einfluss auf die Grösse und Verteilung der Biegemomente. Aus diesem Grunde gelten die angegebenen Werte für die Bemessung der Schnittkräfte nur für MAROWA® Hochleistungsbetonrohre.

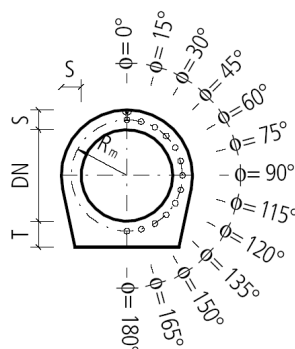


Bild 12: Bemessungsorte für die Angaben der Schnittkräfte

Folgende Wandstärken sind bei den entsprechenden Bemessungspunkten massgebend:

Nennweite DN [mm]	Wandstärken in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	$0^\circ$ S [mm]	$15^\circ$ S [mm]	$30^\circ$ S [mm]	$45^\circ$ S [mm]	$60^\circ$ S [mm]	$75^\circ$ S [mm]	$90^\circ$ S [mm]	$105^\circ$ S [mm]	$120^\circ$ S [mm]	$135^\circ$ S [mm]	$150^\circ$ S [mm]	$165^\circ$ S [mm]	$180^\circ$ T [mm]
250	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.35	122.26	155.59	169.45	139.00	130.00
300	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.40	128.89	166.54	179.09	145.05	135.00
400	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.48	136.71	182.10	192.60	151.99	140.00
500	125.00	125.00	125.00	125.00	125.00	125.00	125.00	125.56	144.56	197.74	217.65	169.29	155.00
600	130.00	130.00	130.00	130.00	130.00	130.00	130.00	130.67	152.61	213.80	242.71	186.58	170.00
700	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.79	186.82	259.40	285.09	219.40	200.00
800	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.88	210.35	292.72	315.91	241.87	230.00

Tabelle 16: Wandstärken in Abhängigkeit der Nennweite und des Winkels  $\phi$

Folgende mittlere Radien sind bei den entsprechenden Bemessungspunkten massgebend:

Nennweite DN [mm]	Mittlerer Radius in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$75^\circ$	$90^\circ$ $R_m$ [mm]	$105^\circ$	$120^\circ$	$135^\circ$	$150^\circ$	$165^\circ$	$180^\circ$
250	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.18	186.13	202.80	209.73	194.50	190.00
300	207.50	207.50	207.50	207.50	207.50	207.50	207.50	207.70	214.45	233.27	239.55	222.53	217.50
400	260.00	260.00	260.00	260.00	260.00	260.00	260.00	260.24	268.36	291.05	296.30	276.00	270.00
500	312.50	312.50	312.50	312.50	312.50	312.50	312.50	312.78	322.28	348.87	358.83	334.65	327.50
600	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.00	365.34	376.31	406.90	421.36	393.29	385.00
700	430.00	430.00	430.00	430.00	430.00	430.00	430.00	430.40	443.41	479.70	492.55	459.70	450.00
800	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.44	505.18	546.36	557.96	520.94	515.00

Tabelle 17: Mittlere Radien in Abhängigkeit der Nennweite und des Winkels  $\phi$

Folgende äussere Radien sind bei den entsprechenden Bemessungspunkten massgebend:

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Äusserer Radius in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]	15° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]	30° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]	45° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]	60° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]	75° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]	90° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]	105° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]	120° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]	135° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]	150° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]	165° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]	180° <i>R<sub>e</sub></i> [mm]
250	235.00	235.00	235.00	235.00	235.00	235.00	235.00	235.35	247.26	280.59	294.45	264.00	255.00
300	265.00	265.00	265.00	265.00	265.00	265.00	265.00	265.40	278.89	316.54	329.09	295.05	285.00
400	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.00	320.48	336.71	382.10	392.60	351.99	340.00
500	375.00	375.00	375.00	375.00	375.00	375.00	375.00	375.56	394.56	447.74	467.65	419.29	405.00
600	430.00	430.00	430.00	430.00	430.00	430.00	430.00	430.67	452.61	513.80	542.71	486.58	470.00
700	510.00	510.00	510.00	510.00	510.00	510.00	510.00	510.79	536.82	609.40	635.09	569.40	550.00
800	580.00	580.00	580.00	580.00	580.00	580.00	580.00	580.88	610.35	692.72	715.91	641.87	630.00

Tabelle 18: Äussere Radien in Abhängigkeit der Nennweite und des Winkels  $\phi$

Die Querschnittsfläche der Rohrwandungen lassen sich wie folgt bemessen:

$$A(\phi) = L \cdot \frac{S(\phi)}{1000} \quad \text{m}^2/\text{m}$$

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Querschnittsflächen der Rohrwandungen in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]	15° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]	30° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]	45° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]	60° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]	75° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]	90° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]	105° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]	120° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]	135° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]	150° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]	165° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]	180° <i>A</i> [m <sup>2</sup> /m]
250	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.122	0.156	0.169	0.139	0.130
300	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.129	0.167	0.179	0.145	0.135
400	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.137	0.182	0.193	0.152	0.140
500	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.126	0.145	0.198	0.218	0.169	0.155
600	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.131	0.153	0.214	0.243	0.187	0.170
700	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.161	0.187	0.259	0.285	0.219	0.200
800	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.181	0.210	0.293	0.316	0.242	0.230

Tabelle 19: Querschnittsflächen der Rohrwandungen in Abhängigkeit der Nennweite und des Winkels  $\phi$

Die Widerstandsmomente lassen sich wie folgt bemessen:

$$W(\phi) = \frac{L \cdot \left(\frac{S(\phi)}{1000}\right)^2}{6} \quad \text{m}^3/\text{m}$$

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Widerstandsmomente in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]	15° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]	30° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]	45° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]	60° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]	75° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]	90° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]	105° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]	120° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]	135° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]	150° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]	165° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]	180° <i>W</i> [m <sup>3</sup> /m]
250	0.00202	0.00202	0.00202	0.00202	0.00202	0.00202	0.00202	0.00203	0.00249	0.00403	0.00479	0.00322	0.00282
300	0.00220	0.00220	0.00220	0.00220	0.00220	0.00220	0.00220	0.00222	0.00277	0.00462	0.00535	0.00351	0.00304
400	0.00240	0.00240	0.00240	0.00240	0.00240	0.00240	0.00240	0.00242	0.00311	0.00553	0.00618	0.00385	0.00327
500	0.00260	0.00260	0.00260	0.00260	0.00260	0.00260	0.00260	0.00263	0.00348	0.00652	0.00790	0.00478	0.00400
600	0.00282	0.00282	0.00282	0.00282	0.00282	0.00282	0.00282	0.00285	0.00388	0.00762	0.00982	0.00580	0.00482
700	0.00427	0.00427	0.00427	0.00427	0.00427	0.00427	0.00427	0.00431	0.00582	0.01121	0.01355	0.00802	0.00667
800	0.00540	0.00540	0.00540	0.00540	0.00540	0.00540	0.00540	0.00545	0.00737	0.01428	0.01663	0.00975	0.00882

Tabelle 20: Widerstandsmomente in Abhängigkeit der Nennweite und des Winkels  $\phi$

Der Korrekturfaktor für die Krümmung der Rohrrinnenwand lässt sich wie folgt bemessen:

$$\alpha_{kr}(\phi) = \frac{3 \cdot DN + 5 \cdot S(\phi)}{3 \cdot DN + 3 \cdot S(\phi)}$$

Nennweite DN [mm]	Korrekturfaktor für die Rohrrinnenwand in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $\alpha_{kr}$ [-]	15° $\alpha_{kr}$ [-]	30° $\alpha_{kr}$ [-]	45° $\alpha_{kr}$ [-]	60° $\alpha_{kr}$ [-]	75° $\alpha_{kr}$ [-]	90° $\alpha_{kr}$ [-]	105° $\alpha_{kr}$ [-]	120° $\alpha_{kr}$ [-]	135° $\alpha_{kr}$ [-]	150° $\alpha_{kr}$ [-]	165° $\alpha_{kr}$ [-]	180° $\alpha_{kr}$ [-]
250	1.204	1.204	1.204	1.204	1.204	1.204	1.204	1.204	1.219	1.256	1.269	1.238	1.228
300	1.185	1.185	1.185	1.185	1.185	1.185	1.185	1.185	1.200	1.238	1.249	1.217	1.207
400	1.154	1.154	1.154	1.154	1.154	1.154	1.154	1.154	1.170	1.209	1.217	1.184	1.173
500	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.134	1.150	1.189	1.202	1.169	1.158
600	1.119	1.119	1.119	1.119	1.119	1.119	1.119	1.119	1.135	1.175	1.192	1.158	1.147
700	1.124	1.124	1.124	1.124	1.124	1.124	1.124	1.125	1.140	1.180	1.193	1.159	1.148
800	1.122	1.122	1.122	1.122	1.122	1.122	1.122	1.123	1.139	1.179	1.189	1.155	1.149

Tabelle 21: Korrekturfaktor für die Rohrrinnenwand in Abhängigkeit der Nennweite und des Winkels  $\phi$

Der Korrekturfaktor für die Krümmung der Rohraussenwand lässt sich wie folgt bemessen:

$$\alpha_{ka}(\phi) = \frac{3 \cdot DN + S(\phi)}{3 \cdot DN + 3 \cdot S(\phi)}$$

Nennweite DN [mm]	Korrekturfaktor für die Rohraussenwand in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $\alpha_{ka}$ [-]	15° $\alpha_{ka}$ [-]	30° $\alpha_{ka}$ [-]	45° $\alpha_{ka}$ [-]	60° $\alpha_{ka}$ [-]	75° $\alpha_{ka}$ [-]	90° $\alpha_{ka}$ [-]	105° $\alpha_{ka}$ [-]	120° $\alpha_{ka}$ [-]	135° $\alpha_{ka}$ [-]	150° $\alpha_{ka}$ [-]	165° $\alpha_{ka}$ [-]	180° $\alpha_{ka}$ [-]
250	0.796	0.796	0.796	0.796	0.796	0.796	0.796	0.796	0.781	0.744	0.731	0.762	0.772
300	0.815	0.815	0.815	0.815	0.815	0.815	0.815	0.815	0.800	0.762	0.751	0.783	0.793
400	0.846	0.846	0.846	0.846	0.846	0.846	0.846	0.846	0.830	0.791	0.783	0.816	0.827
500	0.867	0.867	0.867	0.867	0.867	0.867	0.867	0.866	0.850	0.811	0.798	0.831	0.842
600	0.881	0.881	0.881	0.881	0.881	0.881	0.881	0.881	0.865	0.825	0.808	0.842	0.853
700	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.875	0.860	0.820	0.807	0.841	0.852
800	0.878	0.878	0.878	0.878	0.878	0.878	0.878	0.877	0.861	0.821	0.811	0.845	0.851

Tabelle 22: Korrekturfaktor für die Rohraussenwand in Abhängigkeit der Nennweite und des Winkels  $\phi$



## 9.2 Schnittkräfte

Es gelten folgende Regeln:

- Positives Biegemoment (+)  $M$  ergibt Zug auf der Rohrinneenseite
- Negatives Biegemoment (-)  $M$  ergibt Zug auf der Rohraussenseite
- Positive Normalkraft (+)  $N$  ergibt Druck
- Negative Normalkraft (-)  $N$  ergibt Zug
- Positive Ringbiegezugspannung (+)  $\sigma$  ergibt Druck
- Negative Ringbiegezugspannung (-)  $\sigma$  ergibt Zug



Bild 13: MAROWA® Hochleistungsbeton für hohe Beanspruchungen

## 9.2.1 Schnittkräfte infolge Eigengewicht

Die Schnittkräfte aus Eigengewicht beeinflussen den Auflagegedruck und die Geometrie der MAROWA® Hochleistungsbetonrohre.

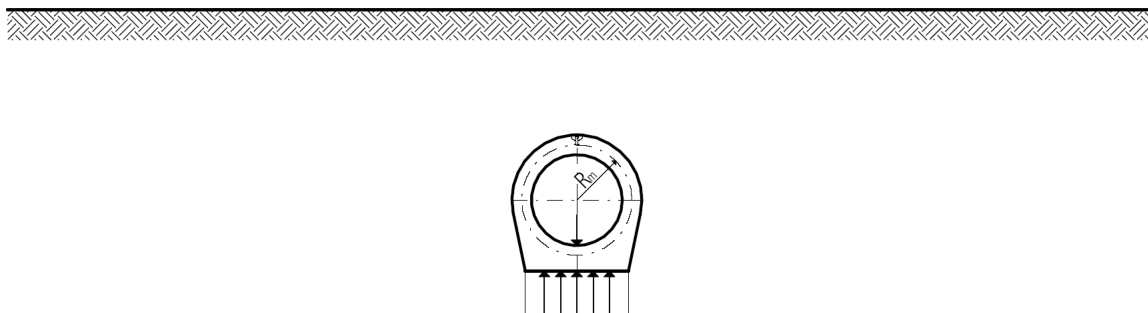


Bild 14: Lastfall Eigengewicht und rechteckige Auflagegedruck

### 9.2.1.1 Biegemomente infolge Eigengewicht

Die Werte in der Tabelle 23 sind die effektiven Biegemomente für MAROWA® Hochleistungsrohre und müssen nicht mehr multipliziert werden.

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Biegemomente infolge Eigengewicht in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $M_\phi$ [kNm/m]	15° $M_\phi$ [kNm/m]	30° $M_\phi$ [kNm/m]	45° $M_\phi$ [kNm/m]	60° $M_\phi$ [kNm/m]	75° $M_\phi$ [kNm/m]	90° $M_\phi$ [kNm/m]	105° $M_\phi$ [kNm/m]	120° $M_\phi$ [kNm/m]	135° $M_\phi$ [kNm/m]	150° $M_\phi$ [kNm/m]	165° $M_\phi$ [kNm/m]	180° $M_\phi$ [kNm/m]
250	0.011	0.009	0.004	-0.003	-0.010	-0.013	-0.010	0.000	0.018	0.065	0.132	0.050	-0.255
300	0.019	0.016	0.008	-0.003	-0.015	-0.021	-0.019	-0.008	0.014	0.079	0.172	0.082	-0.284
400	0.041	0.035	0.019	-0.003	-0.026	-0.042	-0.044	-0.031	-0.002	0.104	0.264	0.169	-0.308
500	0.072	0.063	0.036	-0.001	-0.041	-0.072	-0.082	-0.072	-0.039	0.122	0.390	0.322	-0.264
600	0.109	0.095	0.056	0.000	-0.060	-0.108	-0.126	-0.118	-0.081	0.155	0.555	0.522	-0.176
700	0.208	0.182	0.110	0.006	-0.108	-0.202	-0.248	-0.246	-0.190	0.191	0.862	0.903	-0.048
800	0.321	0.282	0.172	0.013	-0.162	-0.310	-0.387	-0.396	-0.323	0.224	1.194	1.335	0.160

Tabelle 23: Faktor  $M_\phi$  für Biegemomente infolge Eigengewicht in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite *DN*

### 9.2.1.2 Normalkräfte infolge Eigengewicht

Die Werte in der Tabelle 24 sind die effektiven Normalkräfte für MAROWA® Hochleistungsrohre und müssen nicht mehr multipliziert werden:

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Normalkräfte infolge Eigengewicht in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $N_\phi$ [kN/m]	15° $N_\phi$ [kN/m]	30° $N_\phi$ [kN/m]	45° $N_\phi$ [kN/m]	60° $N_\phi$ [kN/m]	75° $N_\phi$ [kN/m]	90° $N_\phi$ [kN/m]	105° $N_\phi$ [kN/m]	120° $N_\phi$ [kN/m]	135° $N_\phi$ [kN/m]	150° $N_\phi$ [kN/m]	165° $N_\phi$ [kN/m]	180° $N_\phi$ [kN/m]
250	-0.017	0.017	0.113	0.258	0.432	0.609	0.762	0.911	1.168	1.290	0.293	-0.923	0.017
300	0.023	0.062	0.173	0.340	0.541	0.743	0.916	1.087	1.406	1.558	0.416	-0.941	-0.023
400	0.115	0.162	0.299	0.505	0.750	0.996	1.201	1.414	1.865	2.091	0.711	-0.924	-0.115
500	0.244	0.300	0.461	0.704	0.989	1.273	1.503	1.761	2.384	2.714	1.213	-0.869	-0.244
600	0.364	0.431	0.620	0.903	1.236	1.564	1.826	2.147	3.004	3.486	1.645	-0.812	-0.364
700	0.601	0.695	0.962	1.361	1.829	2.287	2.648	3.073	4.201	4.805	2.526	-0.846	-0.601
800	0.829	0.947	1.284	1.786	2.374	2.947	3.394	3.923	5.345	6.101	3.317	-0.817	-0.829

Tabelle 24: Faktor  $N_\phi$  für Normalkräfte infolge Eigengewicht in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite *DN*

## 9.2.2 Schnittkräfte infolge vertikalen Flächenlasten aus Erd-, Verkehrs- und Oberflächenlasten

Die vertikalen Einwirkungen lassen sich wie folgt bemessen:

$$q_{ser,V} = q_{S1} + q_{S2} + q_{S3} \quad \text{kN/m}^2$$

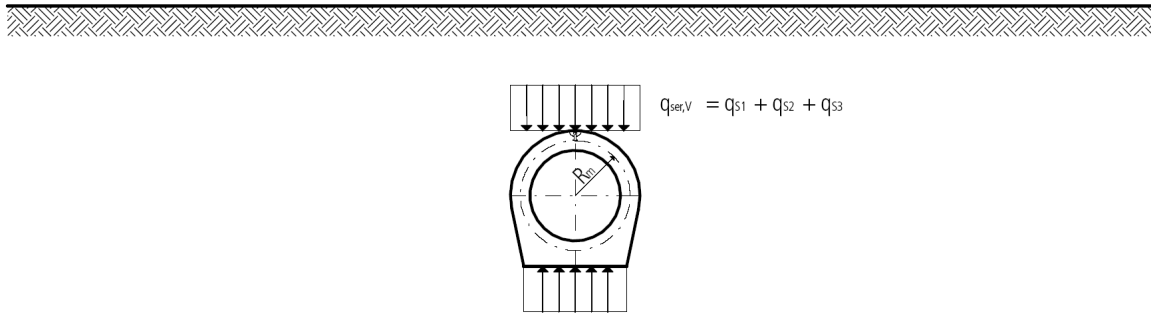


Bild 15: Lastfall rechteckig verteilte Auflast auf rechteckigem Auflager

### 9.2.2.1 Biegemomente infolge vertikalen Flächenlasten aus Erd-, Verkehrs- und Oberflächenlasten

Die Biegemomente infolge vertikaler Flächenlasten lassen sich wie folgt bemessen:

$$M_{qV}(\phi) = m_{qV}(\phi) \cdot q_{ser,V} \quad \text{kNm/m}$$

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Biegemomente infolge vertikaler Flächenlasten in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $m_{qV}$ [-]	15° $m_{qV}$ [-]	30° $m_{qV}$ [-]	45° $m_{qV}$ [-]	60° $m_{qV}$ [-]	75° $m_{qV}$ [-]	90° $m_{qV}$ [-]	105° $m_{qV}$ [-]	120° $m_{qV}$ [-]	135° $m_{qV}$ [-]	150° $m_{qV}$ [-]	165° $m_{qV}$ [-]	180° $m_{qV}$ [-]
250	0.012	0.010	0.006	-0.001	-0.007	-0.011	-0.012	-0.010	-0.005	0.004	0.015	0.023	0.026
300	0.015	0.013	0.007	-0.001	-0.009	-0.014	-0.016	-0.013	-0.006	0.006	0.019	0.030	0.034
400	0.022	0.019	0.011	-0.001	-0.013	-0.021	-0.023	-0.018	-0.007	0.009	0.030	0.045	0.051
500	0.029	0.025	0.014	-0.002	-0.017	-0.027	-0.029	-0.022	-0.006	0.018	0.047	0.069	0.077
600	0.037	0.031	0.017	-0.003	-0.022	-0.035	-0.036	-0.026	-0.003	0.029	0.068	0.097	0.108
700	0.053	0.046	0.024	-0.004	-0.032	-0.050	-0.053	-0.039	-0.009	0.036	0.089	0.131	0.146
800	0.070	0.060	0.032	-0.005	-0.041	-0.065	-0.070	-0.052	-0.013	0.044	0.113	0.166	0.185

Tabelle 25: Faktor  $m_{qV}$  für Biegemomente infolge vertikaler Flächenlasten in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite *DN*

### 9.2.2.2 Normalkräfte infolge vertikalen Flächenlasten aus Erd-, Verkehrs- und Oberflächenlasten

Die Normalkräfte infolge vertikaler Flächenlasten lassen sich wie folgt bemessen:

$$N_{qV}(\phi) = n_{qV}(\phi) \cdot q_{ser,V} \quad \text{kN/m}$$

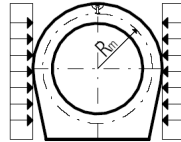
Nennweite <i>DN</i> [mm]	Normalkräfte infolge vertikaler Flächenlasten in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $n_{qV}$ [-]	15° $n_{qV}$ [-]	30° $n_{qV}$ [-]	45° $n_{qV}$ [-]	60° $n_{qV}$ [-]	75° $n_{qV}$ [-]	90° $n_{qV}$ [-]	105° $n_{qV}$ [-]	120° $n_{qV}$ [-]	135° $n_{qV}$ [-]	150° $n_{qV}$ [-]	165° $n_{qV}$ [-]	180° $n_{qV}$ [-]
250	-0.004	0.016	0.069	0.142	0.216	0.270	0.290	0.281	0.253	0.208	0.126	0.037	0.004
300	-0.006	0.016	0.076	0.157	0.239	0.299	0.323	0.313	0.282	0.232	0.140	0.042	0.006
400	-0.010	0.016	0.086	0.183	0.280	0.352	0.380	0.370	0.334	0.276	0.167	0.052	0.010
500	-0.016	0.014	0.095	0.207	0.320	0.404	0.438	0.427	0.387	0.321	0.199	0.065	0.016
600	-0.024	0.010	0.103	0.231	0.359	0.456	0.495	0.484	0.441	0.367	0.227	0.078	0.024
700	-0.025	0.016	0.126	0.278	0.430	0.544	0.590	0.576	0.523	0.435	0.270	0.090	0.025
800	-0.027	0.018	0.144	0.316	0.489	0.618	0.670	0.654	0.594	0.493	0.305	0.102	0.027

Tabelle 26: Faktor  $n_{qV}$  für Normalkräfte infolge vertikaler Flächenlasten in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite *DN*

### 9.2.3 Schnittkräfte infolge horizontalen Flächenlasten aus Erd-, Verkehrs- und Oberflächenlasten

Die horizontalen Einwirkungen lassen sich wie folgt bemessen:

$$q_{ser,H} = K \cdot (q_{S1} + f_a \cdot q_{S2} + q_{S3}) \quad \text{kN/m}^2$$



$$q_{ser,H} = K \cdot (q_{S1} + q_{S2} \cdot f_a + q_{S3})$$

**Bild 16: Lastfall seitlicher horizontaler Erddruck**

MAROWA® Hochleistungsbetonrohre, eingebaut ohne hydraulisch bindendem Material wie Beton, werden über die ganze Höhe gleichmäßig durch einen seitlichen Erddruck gestützt. Einen zusätzlichen Stützdruck wirkt nicht auf das Rohr ein. Die Höhe des Erddruckes hängt von der Höhe des möglichen Verdichtungsgrades wie auch von dem Zeitpunkt des Rückbaus der Grabensicherung ab.

Einbaubedingungen	Erddruckbeiwert $K$
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verdichtungsgrad der seitlichen Verfüllung bei <math>D_{Pr} \geq 92\%</math></li> <li>• Lagenweise gegen den gewachsenen Boden verdichtete Grabenfüllung</li> </ul>	0.50
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verdichtungsgrad der seitlichen Verfüllung bei <math>D_{Pr} \geq 85\%</math> bzw. <math>&lt; 92\%</math></li> <li>• Senkrechter Verbau des Rohrgrabens mit Kanaldielen, die erst nach dem Verfüllen gezogen werden</li> <li>• Senkrechter Verbau des Rohrgrabens mit Verbauplatten, die bei der Verfüllung des Grabens schrittweise entfernt werden</li> <li>• Einspülen der Verfüllung mit nicht bindigem Material</li> </ul>	0.25

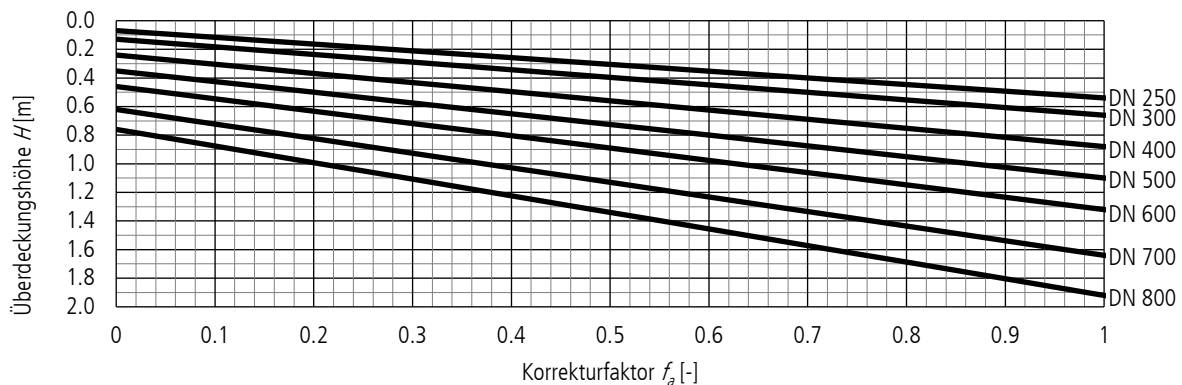
**Tabelle 27: Erddruckbeiwert  $K$  in Abhängigkeit von Einbaubedingungen**

Strassenverkehrslasten erzeugen erst ab einer gewissen Überdeckung einen seitlichen Erddruck. Aus diesem Grunde muss die einzelne Radlast  $q_{S2,R}$  für die Bemessung der horizontalen Einwirkungen um den Faktor  $f_a$  abgemindert werden. Die Verkehrslast ohne Radlast wird ohne Korrektur berücksichtigt. Die gesamten Einwirkungen aus der Verkehrslast die Erddrücke erzeugen, lassen sich demzufolge wie folgt bemessen:

$$q_{S2} = q_{S2,R} \cdot f_a + q_{S2,F} \quad \text{kN/m}^2$$

Der Korrekturfaktor  $f_a$  errechnet sich mit folgender Formel:

$$f_a = 0 \leq \frac{H + a - OD}{OD} \leq 1$$



**Diagramm 9: Werte für Korrekturfaktor  $f_a$  bei einer Auflagerbreite von 0.40 m in Abhängigkeit der Überdeckungshöhe**

Bei Bahnlasten wird in der Regel kein Korrekturfaktor  $f_a$  berücksichtigt.

### 9.2.3.1 Biegemomente infolge horizontaler Flächenlasten aus Erd-, Verkehrs- und Oberflächenlasten

Die Biegemomente infolge horizontaler Flächenlasten lassen sich wie folgt bemessen:

$$M_{qH}(\phi) = m_{qH}(\phi) \cdot q_{ser,H} \quad \text{kNm/m}$$

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Biegemomente infolge horizontaler Flächenlasten in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $m_{qH}$ [-]	15° $m_{qH}$ [-]	30° $m_{qH}$ [-]	45° $m_{qH}$ [-]	60° $m_{qH}$ [-]	75° $m_{qH}$ [-]	90° $m_{qH}$ [-]	105° $m_{qH}$ [-]	120° $m_{qH}$ [-]	135° $m_{qH}$ [-]	150° $m_{qH}$ [-]	165° $m_{qH}$ [-]	180° $m_{qH}$ [-]
250	-0.007	-0.006	-0.003	0.001	0.004	0.006	0.007	0.005	0.001	-0.004	-0.008	-0.011	-0.013
300	-0.009	-0.008	-0.004	0.001	0.005	0.008	0.009	0.006	0.001	-0.005	-0.011	-0.015	-0.017
400	-0.014	-0.012	-0.006	0.001	0.008	0.013	0.013	0.009	0.002	-0.008	-0.018	-0.025	-0.027
500	-0.019	-0.016	-0.008	0.002	0.012	0.018	0.018	0.012	0.000	-0.015	-0.029	-0.039	-0.043
600	-0.025	-0.021	-0.011	0.003	0.016	0.023	0.023	0.014	-0.003	-0.024	-0.044	-0.058	-0.063
700	-0.035	-0.030	-0.015	0.004	0.022	0.033	0.033	0.021	-0.002	-0.030	-0.057	-0.076	-0.083
800	-0.046	-0.039	-0.020	0.005	0.029	0.043	0.044	0.028	-0.002	-0.038	-0.073	-0.098	-0.107

Tabelle 28: Faktor  $m_{qH}$  für Biegemomente infolge horizontaler Flächenlasten in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite *DN*

### 9.2.3.2 Normalkräfte infolge horizontaler Flächenlasten aus Erd-, Verkehrs- und Oberflächenlasten

Die Normalkräfte infolge horizontaler Flächenlasten lassen sich wie folgt bemessen:

$$N_{qH} = n_{qH} \cdot q_{ser,H} \quad \text{kN/m}$$

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Normalkräfte infolge horizontalen Flächenlasten in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $n_{qH}$ [-]	15° $n_{qH}$ [-]	30° $n_{qH}$ [-]	45° $n_{qH}$ [-]	60° $n_{qH}$ [-]	75° $n_{qH}$ [-]	90° $n_{qH}$ [-]	105° $n_{qH}$ [-]	120° $n_{qH}$ [-]	135° $n_{qH}$ [-]	150° $n_{qH}$ [-]	165° $n_{qH}$ [-]	180° $n_{qH}$ [-]
250	0.153	0.142	0.111	0.071	0.031	0.005	0.000	0.019	0.059	0.109	0.159	0.194	0.207
300	0.175	0.162	0.128	0.081	0.036	0.006	0.000	0.022	0.068	0.127	0.184	0.225	0.240
400	0.217	0.201	0.158	0.099	0.043	0.006	0.000	0.029	0.087	0.161	0.233	0.284	0.303
500	0.252	0.233	0.182	0.114	0.048	0.005	0.000	0.037	0.108	0.199	0.287	0.350	0.373
600	0.286	0.265	0.206	0.127	0.052	0.004	0.000	0.045	0.131	0.238	0.342	0.417	0.444
700	0.343	0.318	0.248	0.154	0.064	0.006	0.000	0.051	0.151	0.276	0.398	0.485	0.517
800	0.394	0.364	0.284	0.177	0.074	0.008	0.000	0.058	0.171	0.313	0.451	0.550	0.586

Tabelle 29: Faktor  $n_{qH}$  für Normalkräfte infolge horizontalen Flächenlasten in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite *DN*

## 9.2.4 Schnittkräfte infolge innerer Wasserfüllung

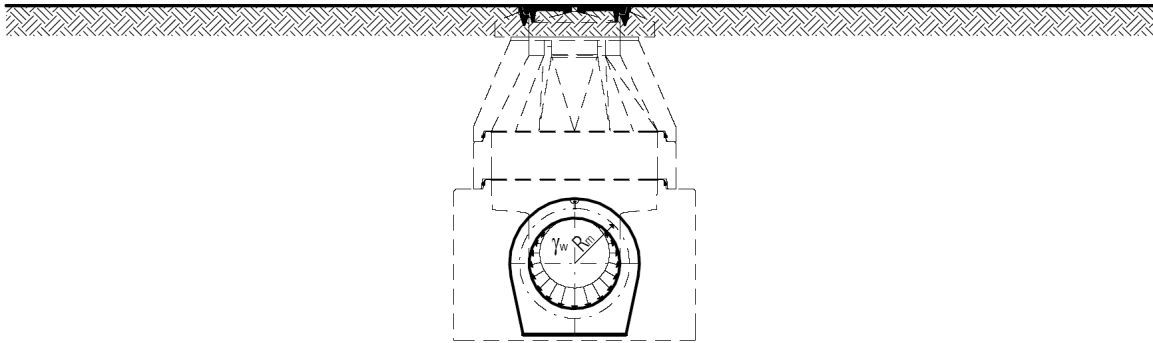


Bild 17: Lastfall für innere Wasserfüllung

### 9.2.4.1 Biegemomente infolge innerer Wasserfüllung

Die Werte in Tabelle 30 für innere Wasserfüllung bis Rohrscheitel sind die effektiven Biegemomente für MAROWA® Hochleistungsrohre und müssen nicht mehr multipliziert werden.

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Biegemomente infolge innerer Wasserfüllung in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $M_{Ww}$ [-]	15° $M_{Ww}$ [-]	30° $M_{Ww}$ [-]	45° $M_{Ww}$ [-]	60° $M_{Ww}$ [-]	75° $M_{Ww}$ [-]	90° $M_{Ww}$ [-]	105° $M_{Ww}$ [-]	120° $M_{Ww}$ [-]	135° $M_{Ww}$ [-]	150° $M_{Ww}$ [-]	165° $M_{Ww}$ [-]	180° $M_{Ww}$ [-]
250	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002	-0.002	0.001	0.007	0.016	0.030	0.047	0.064	0.079
300	0.002	0.001	0.000	-0.002	-0.004	-0.003	0.002	0.011	0.026	0.047	0.074	0.100	0.120
400	0.001	0.000	-0.003	-0.006	-0.008	-0.005	0.006	0.025	0.056	0.098	0.151	0.200	0.237
500	-0.012	-0.013	-0.016	-0.019	-0.018	-0.008	0.014	0.052	0.109	0.186	0.281	0.367	0.427
600	-0.036	-0.037	-0.040	-0.041	-0.035	-0.015	0.025	0.092	0.188	0.315	0.468	0.604	0.695
700	-0.041	-0.044	-0.051	-0.055	-0.050	-0.022	0.038	0.141	0.293	0.498	0.745	0.968	1.121
800	-0.052	-0.057	-0.068	-0.077	-0.070	-0.031	0.056	0.205	0.428	0.729	1.093	1.420	1.644

Tabelle 30: Faktor  $M_{Ww}$  für Biegemomente infolge innerer Wasserfüllung bis Rohrscheitel in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite  $DN$

### 9.2.4.2 Normalkräfte infolge innerer Wasserfüllung

Die Werte in Tabelle 31 für innere Wasserfüllung bis Rohrscheitel sind die effektiven Normalkräfte für MAROWA® Hochleistungsrohre und müssen nicht mehr multipliziert werden.

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Normalkräfte infolge innerer Wasserfüllung in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $N_{Ww}$ [-]	15° $N_{Ww}$ [-]	30° $N_{Ww}$ [-]	45° $N_{Ww}$ [-]	60° $N_{Ww}$ [-]	75° $N_{Ww}$ [-]	90° $N_{Ww}$ [-]	105° $N_{Ww}$ [-]	120° $N_{Ww}$ [-]	135° $N_{Ww}$ [-]	150° $N_{Ww}$ [-]	165° $N_{Ww}$ [-]	180° $N_{Ww}$ [-]
250	-0.208	-0.201	-0.181	-0.152	-0.119	-0.089	-0.070	-0.067	-0.088	-0.136	-0.231	-0.351	-0.440
300	-0.276	-0.267	-0.241	-0.202	-0.158	-0.118	-0.092	-0.089	-0.117	-0.181	-0.311	-0.471	-0.585
400	-0.430	-0.416	-0.375	-0.315	-0.247	-0.185	-0.145	-0.141	-0.186	-0.287	-0.499	-0.754	-0.922
500	-0.598	-0.578	-0.521	-0.438	-0.344	-0.261	-0.210	-0.210	-0.280	-0.431	-0.742	-1.122	-1.355
600	-0.790	-0.764	-0.689	-0.579	-0.457	-0.350	-0.286	-0.293	-0.395	-0.606	-1.049	-1.568	-1.874
700	-1.120	-1.083	-0.976	-0.820	-0.646	-0.492	-0.397	-0.401	-0.536	-0.824	-1.422	-2.145	-2.578
800	-1.468	-1.418	-1.278	-1.074	-0.846	-0.642	-0.515	-0.518	-0.690	-1.061	-1.840	-2.776	-3.335

Tabelle 31: Faktor  $N_{Ww}$  für Normalkräfte infolge innerer Wasserfüllung bis Rohrscheitel in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite  $DN$

## 9.2.5 Schnittkräfte infolge innerem Wasserdruck

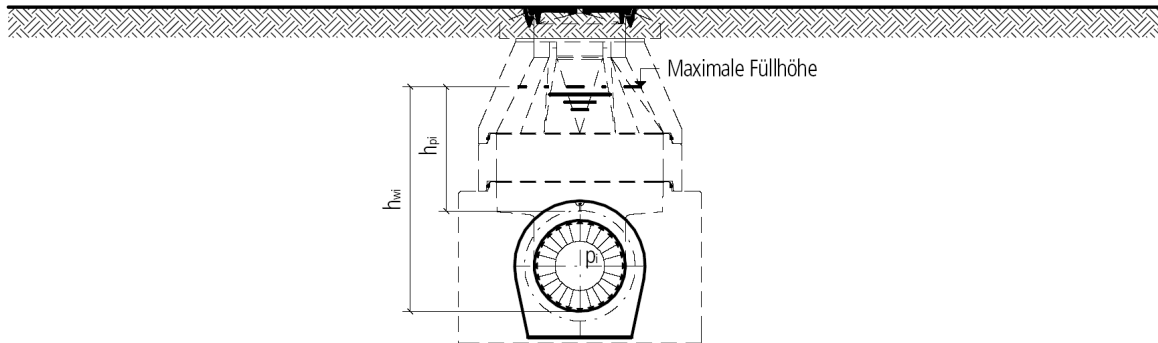


Bild 18: Lastfall für inneren Wasserdruck

### 9.2.5.1 Biegemomente infolge innerem Wasserdruck

Die Biegemomente infolge innerem Wasserdruck lassen sich wie folgt bemessen:

$$M_{pi}(\phi) = m_{pi}(\phi) \cdot p_i \quad \text{kNm/m}$$

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Biegemomente infolge innerem Wasserdruck in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $m_{pi}$ [-]	15° $m_{pi}$ [-]	30° $m_{pi}$ [-]	45° $m_{pi}$ [-]	60° $m_{pi}$ [-]	75° $m_{pi}$ [-]	90° $m_{pi}$ [-]	105° $m_{pi}$ [-]	120° $m_{pi}$ [-]	135° $m_{pi}$ [-]	150° $m_{pi}$ [-]	165° $m_{pi}$ [-]	180° $m_{pi}$ [-]
250	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.010	0.016	0.022	0.023	0.018	0.013
300	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.012	0.018	0.026	0.027	0.020	0.014
400	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.013	0.021	0.032	0.033	0.024	0.015
500	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.015	0.026	0.039	0.042	0.030	0.019
600	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.016	0.031	0.049	0.052	0.036	0.023
700	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.024	0.044	0.069	0.074	0.051	0.032
800	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.031	0.055	0.087	0.092	0.063	0.039

Tabelle 32: Faktor  $m_{pi}$  für Biegemomente infolge innerem Wasserdruck in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite *DN*

### 9.2.5.2 Normalkräfte infolge innerem Wasserdruck

Die Normalkräfte infolge innerem Wasserdruck lassen sich wie folgt bemessen:

$$N_{pi}(\phi) = n_{pi}(\phi) \cdot p_i \quad \text{kN/m}$$

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Normalkräfte infolge innerem Wasserdruck in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $n_{pi}$ [-]	15° $n_{pi}$ [-]	30° $n_{pi}$ [-]	45° $n_{pi}$ [-]	60° $n_{pi}$ [-]	75° $n_{pi}$ [-]	90° $n_{pi}$ [-]	105° $n_{pi}$ [-]	120° $n_{pi}$ [-]	135° $n_{pi}$ [-]	150° $n_{pi}$ [-]	165° $n_{pi}$ [-]	180° $n_{pi}$ [-]
250	-1.250	-1.250	-1.250	-1.250	-1.250	-1.250	-1.250	-1.250	-1.250	-1.250	-1.250	-1.250	-1.250
300	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500
400	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000
500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500	-2.500
600	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000
700	-3.500	-3.500	-3.500	-3.500	-3.500	-3.500	-3.500	-3.500	-3.500	-3.500	-3.500	-3.500	-3.500
800	-4.000	-4.000	-4.000	-4.000	-4.000	-4.000	-4.000	-4.000	-4.000	-4.000	-4.000	-4.000	-4.000

Tabelle 33: Faktor  $n_{pi}$  für Normalkräfte infolge innerem Wasserdruck in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite *DN*

## 9.2.6 Schnittkräfte infolge äusserem Wasserdruck bis Rohrscheitel

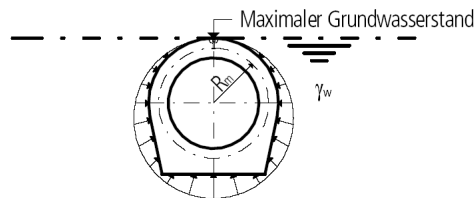


Bild 19: Lastfall für äusseren Wasserdruck bis Rohrscheitel

### 9.2.6.1 Biegemomente infolge äusserem Wasserdruck bis Rohrscheitel

Die Werte in Tabelle 34 für äusseren Wasserdruck bis Rohrscheitel sind die effektiven Biegemomente für MAROWA® Hochleistungsrohre und müssen nicht mehr multipliziert werden.

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Biegemomente infolge äusserem Wasserdruck bis Rohrscheitel in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $M_{W0}$ [-]	15° $M_{W15}$ [-]	30° $M_{W30}$ [-]	45° $M_{W45}$ [-]	60° $M_{W60}$ [-]	75° $M_{W75}$ [-]	90° $M_{W90}$ [-]	105° $M_{W105}$ [-]	120° $M_{W120}$ [-]	135° $M_{W135}$ [-]	150° $M_{W150}$ [-]	165° $M_{W165}$ [-]	180° $M_{W180}$ [-]
250	0.013	0.013	0.013	0.012	0.010	0.006	0.000	-0.009	-0.022	-0.039	-0.057	-0.064	-0.050
300	0.017	0.017	0.016	0.016	0.013	0.008	-0.001	-0.015	-0.034	-0.059	-0.087	-0.097	-0.078
400	0.022	0.022	0.023	0.022	0.019	0.011	-0.005	-0.030	-0.066	-0.113	-0.166	-0.189	-0.160
500	0.018	0.019	0.021	0.022	0.019	0.008	-0.016	-0.056	-0.115	-0.194	-0.286	-0.329	-0.287
600	-0.001	0.001	0.007	0.012	0.011	-0.002	-0.035	-0.095	-0.184	-0.306	-0.449	-0.515	-0.454
700	-0.083	-0.078	-0.066	-0.052	-0.047	-0.062	-0.108	-0.196	-0.336	-0.529	-0.758	-0.866	-0.764
800	-0.200	-0.191	-0.168	-0.141	-0.123	-0.134	-0.190	-0.309	-0.504	-0.780	-1.112	-1.268	-1.121

Tabelle 34: Faktor  $M_{W\phi}$  für Biegemomente infolge äusserem Wasserdruck bis Rohrscheitel in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite *DN*

### 9.2.6.2 Normalkräfte infolge äusserem Wasserdruck

Die Werte in Tabelle 35 für äusseren Wasserdruck bis Rohrscheitel sind die effektiven Normalkräfte für MAROWA® Hochleistungsrohre und müssen nicht mehr multipliziert werden.

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Normalkräfte infolge äusserem Wasserdruck in Abhängigkeit des Winkels $\phi$												
	0° $N_{W0}$ [-]	15° $N_{W15}$ [-]	30° $N_{W30}$ [-]	45° $N_{W45}$ [-]	60° $N_{W60}$ [-]	75° $N_{W75}$ [-]	90° $N_{W90}$ [-]	105° $N_{W105}$ [-]	120° $N_{W120}$ [-]	135° $N_{W135}$ [-]	150° $N_{W150}$ [-]	165° $N_{W165}$ [-]	180° $N_{W180}$ [-]
250	0.232	0.224	0.202	0.169	0.131	0.095	0.070	0.061	0.076	0.119	0.271	0.442	0.416
300	0.304	0.294	0.265	0.222	0.172	0.125	0.092	0.081	0.102	0.160	0.360	0.579	0.553
400	0.469	0.453	0.408	0.342	0.266	0.195	0.145	0.131	0.167	0.259	0.571	0.902	0.883
500	0.645	0.623	0.561	0.471	0.368	0.273	0.210	0.198	0.257	0.398	0.829	1.314	1.309
600	0.848	0.820	0.739	0.620	0.486	0.365	0.286	0.278	0.366	0.565	1.171	1.813	1.816
700	1.203	1.162	1.048	0.879	0.688	0.513	0.397	0.380	0.495	0.766	1.580	2.489	2.495
800	1.574	1.521	1.371	1.150	0.899	0.669	0.515	0.490	0.637	0.985	2.046	3.215	3.228

Tabelle 35: Faktor  $N_{W\phi}$  für Normalkräfte infolge äusserem Wasserdruck bis Rohrscheitel in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite *DN*



## 9.2.7 Schnittkräfte infolge äusserem Wasserdruck bis maximalen Grundwasserstand

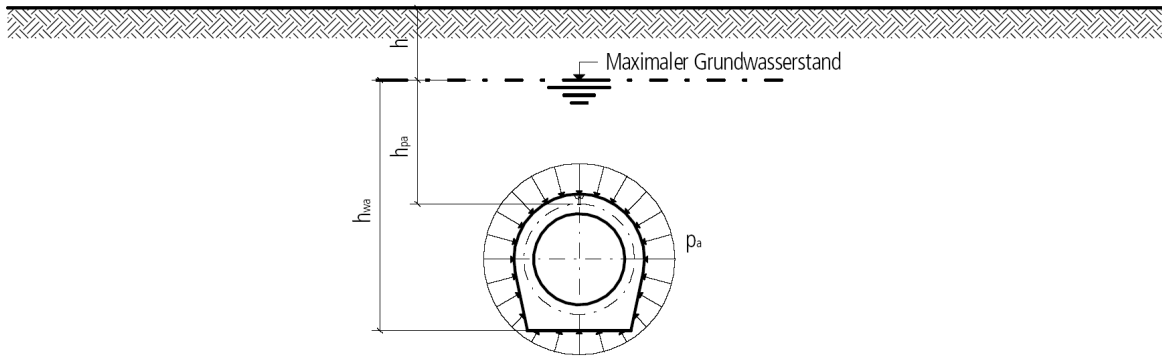


Bild 20: Lastfall für äusseren Wasserdruck

### 9.2.7.1 Biegemomente infolge äusserem Wasserdruck

Die Biegemomente infolge äusserem Wasserdruck lassen sich wie folgt bemessen:

$$M_{pa}(\phi) = m_{pa}(\phi) \cdot p_a$$

kNm/m

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Biegemomente infolge äusserem Wasserdruck in Abhängigkeit des Winkels $\phi$													
	0° $m_{pa}$ [-]	15° $m_{pa}$ [-]	30° $m_{pa}$ [-]	45° $m_{pa}$ [-]	60° $m_{pa}$ [-]	75° $m_{pa}$ [-]	90° $m_{pa}$ [-]	105° $m_{pa}$ [-]	120° $m_{pa}$ [-]	135° $m_{pa}$ [-]	150° $m_{pa}$ [-]	165° $m_{pa}$ [-]	180° $m_{pa}$ [-]	
250	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.010	-0.016	-0.022	-0.023	-0.018	-0.013	
300	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.012	-0.018	-0.026	-0.027	-0.020	-0.014	
400	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.013	-0.021	-0.032	-0.033	-0.024	-0.015	
500	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.015	-0.026	-0.039	-0.042	-0.030	-0.019	
600	-0.014	-0.014	-0.014	-0.014	-0.014	-0.014	-0.014	-0.016	-0.031	-0.049	-0.052	-0.036	-0.023	
700	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021	-0.021	-0.024	-0.044	-0.069	-0.074	-0.051	-0.032	
800	-0.026	-0.026	-0.026	-0.026	-0.026	-0.026	-0.026	-0.031	-0.055	-0.087	-0.092	-0.063	-0.039	

Tabelle 36: Faktor  $m_{pa}$  für Biegemomente infolge äusserem Wasserdruck in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite *DN*

### 9.2.7.2 Normalkräfte infolge äusserem Wasserdruck

Die Normalkräfte infolge äusserem Wasserdruck lassen sich wie folgt bemessen:

$$N_{pa}(\phi) = n_{pa}(\phi) \cdot p_a$$

kN/m

Nennweite <i>DN</i> [mm]	Normalkräfte infolge äusserem Wasserdruck in Abhängigkeit des Winkels $\phi$													
	0° $n_{pa}$ [-]	15° $n_{pa}$ [-]	30° $n_{pa}$ [-]	45° $n_{pa}$ [-]	60° $n_{pa}$ [-]	75° $n_{pa}$ [-]	90° $n_{pa}$ [-]	105° $n_{pa}$ [-]	120° $n_{pa}$ [-]	135° $n_{pa}$ [-]	150° $n_{pa}$ [-]	165° $n_{pa}$ [-]	180° $n_{pa}$ [-]	
250	2.350	2.350	2.350	2.350	2.350	2.350	2.350	2.411	2.700	2.989	3.055	2.802	2.550	
300	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.718	3.041	3.364	3.422	3.136	2.850	
400	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.280	3.664	4.047	4.093	3.747	3.400	
500	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.847	4.305	4.764	4.857	4.454	4.050	
600	4.300	4.300	4.300	4.300	4.300	4.300	4.300	4.416	4.964	5.513	5.599	5.149	4.700	
700	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.100	5.232	5.856	6.480	6.600	6.050	5.500	
800	5.800	5.800	5.800	5.800	5.800	5.800	5.800	5.947	6.645	7.343	7.459	6.829	6.200	

Tabelle 37: Faktor  $n_{pa}$  für Normalkräfte infolge äusserem Wasserdruck in Abhängigkeit des Winkels  $\phi$  und der Nennweite *DN*

### 9.3 Spannungsnachweis

Die Ringbiegezugspannungen am äusseren Rand des Rohres lassen sich wie folgt bemessen:

$$\sigma_{Rbz,a}(\phi) = \frac{\sum M(\phi)}{A(\phi) \cdot 1000} + \frac{\sum M(\phi)}{W(\phi) \cdot 1000} \cdot \alpha_{ka}(\phi) \quad \text{N/mm}^2$$

Die Ringbiegezugspannungen am inneren Rand des Rohres lassen sich wie folgt bemessen:

$$\sigma_{Rbz,i}(\phi) = \frac{\sum M(\phi)}{A(\phi) \cdot 1000} - \frac{\sum M(\phi)}{W(\phi) \cdot 1000} \cdot \alpha_{ki}(\phi) \quad \text{N/mm}^2$$

Die Gebrauchstauglichkeit gilt als nachgewiesen, wenn folgende Bemessungskriterien erfüllt sind:

$$\sigma_{Rbz,a} \leq \sigma_{Rbz,adm} \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{Rbz,i} \leq \sigma_{Rbz,adm} \quad \text{N/mm}^2$$

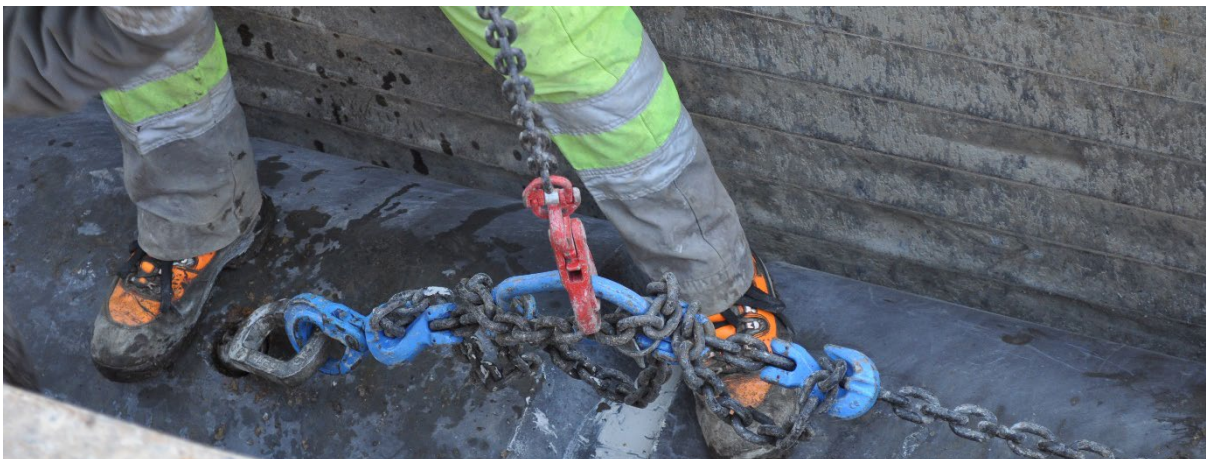


Bild 21: Bedingung ist ein fachgerechter Einbau der MAROWA® Hochleistungsbetonrohre

## 10 Auftriebssicherheit

MAROWA® Hochleistungsbetonrohre können während des Einbaus wie auch im verbauten Zustand infolge eines Grundwasserspiegels einer Auftriebskraft ausgesetzt sein. Für den Nachweis ist der Grenzzustand Typ 1 mit den zugehörigen Lastbeiwerten nach Norm SIA 260 massgebend. Der Nachweis der Auftriebssicherheit ist nach den Normen SIA 260 und 267 durchzuführen. Der Auftrieb wird mit folgender Formel nachgewiesen:

$$\gamma_{G,sup} \cdot F_A \leq \gamma_{G,inf} \cdot (G_E + G'_E + G_R) \quad \text{kN/m}$$

Legende:

$F_A$	Auftriebskraft	kN/m
$G_R$	Rohreigengewicht	kN/m
$G_E$	Erdlast erdfeucht	kN/m
$G'_E$	Erdlast unter Auftrieb	kN/m
$H$	Überdeckungshöhe über Rohrscheitel	m
$h_{wa}$	Wasserdruckhöhe ab Rohrsohle	m
$h$	Höhe zwischen Terrain und massgebendem Grundwasserspiegel	m
$h'$	Höhe zwischen Oberkante Rohrscheitel und massgebendem Grundwasserspiegel	m
$OD$	Aussendurchmesser	m
$DN$	Nennweite	m
$A_R$	Querschnittsfläche	m <sup>2</sup>
$\gamma_W$	Raumgewicht des Grundwassers	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_E$	Raumgewicht des erdfeuchten Baugrundes	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma'_E$	Raumgewicht des Baugrundes unter Auftrieb	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{G,sup}$	Lastbeiwert ungünstig wirkend	-
$\gamma_{G,inf}$	Lastbeiwert günstig wirkend	-

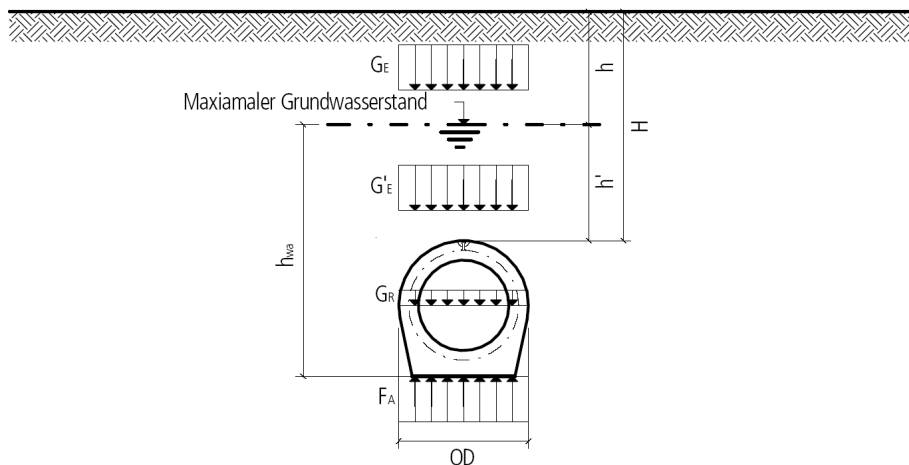


Bild 22: Einwirkungen bei Auftrieb

Es gelten die Lastbeiwerte gemäss Norm SIA 260, Tabelle 38, Grenzzustand Typ 1.

Einwirkungen		Grenzzustand Typ 1
Ständige Einwirkungen wie Eigengewicht oder Auflasten		
• Ungünstig wirkend	$\gamma_{G,sup}$	1.10
• Günstig wirkend	$\gamma_{G,inf}$	0.90
Einwirkungen aus Baugrund		
• Erdauflasten		
• Ungünstig wirkend	$\gamma_{G,sup}$	1.10
• Günstig wirkend	$\gamma_{G,inf}$	0.90
• Erddruck		
• Ungünstig wirkend	$\gamma_{G,sup}$	1.35
• Günstig wirkend	$\gamma_{G,inf}$	0.80
• Wasserdruck		
• Ungünstig wirkend	$\gamma_{G,sup}$	1.05
• Günstig wirkend	$\gamma_{G,inf}$	0.95

Tabelle 38: Lastbeiwerte für den Nachweis der Auftriebssicherheit nach Norm SIA 260

Die Auftriebskraft lässt sich wie folgt bemessen

$$F_A = \gamma_W \cdot A_R \quad \text{kN/m}$$

Die Erdlast erdfeucht lässt sich wie folgt bemessen:

$$G_E = \gamma_E \cdot h \cdot OD \quad \text{kN/m}$$

Die Erdlast unter Auftrieb lässt sich wie folgt bemessen:

$$G'_E = \gamma'_E \cdot h \cdot OD \quad \text{kN/m}$$

Nennweite DN [-]	Aussendurchmesser OD [m]	Querschnittsfläche A <sub>R</sub> [m <sup>2</sup> ]	Gewicht G <sub>R</sub> [kN/m]
250	0.47	0.20	3.53
300	0.53	0.25	4.26
400	0.64	0.36	5.60
500	0.75	0.50	7.20
600	0.86	0.66	8.97
700	1.02	0.92	12.84
800	1.16	1.18	16.32

Tabelle 39: Technische Werte MAROWA® Hochleistungsbetonrohr in Abhängigkeit des Innendurchmessers (Nennweite)



Vernetzt, kompetent – die Verkaufsgesellschaften der MÜLLER-STEINAG Gruppe: CREABETON BAUSTOFF AG, MÜLLER-STEINAG BAUSTOFF AG und MÜLLER-STEINAG ELEMENT AG

## CREABETON BAUSTOFF AG

CREABETON bietet Ihnen ein einzigartiges Vollsortiment an Betonwaren mit bedürfnisorientierten Gesamtlösungen und qualitativ hochstehenden Schweizer Produkten für den Hoch-, Tief- und Strassenbau sowie den Gartenbau und die Umgebungsgestaltung.

Das vielfältige Angebot der CREABETON BAUSTOFF AG für Abwasserleitungen und -kanäle sowie für die Regenwasser- und Abwasserbehandlung wie auch für den Werkleitungsbau können Sie anhand von Ausbildungen wie auch Besichtigungen kennen lernen. Gerne organisieren wir in unseren Herstellwerken oder im Kanaltrainingszentrum praxisorientierte und theoretische Events für Ihre Unternehmung. Gerne beraten wir Sie bei Ihrem Vorhaben.

Aktive Ausbildung für nachhaltige Abwasserleitungen und -kanäle im Kanaltrainingszentrum



### CREABETON BAUSTOFF AG

#### Gartenbau-Ausstellung

- 4658 Däniken, Schachenstrasse 32
- 5201 Brugg, Aarauerstrasse 75  
(Mo – Fr 7 – 18.30, Sa – So, 8 – 17 Uhr)
- 6144 Zell, Industriestrasse Briseck 12
- 6221 Rickenbach, Bohler 5
- 6362 Stansstad, Rotzloch 10
- 7203 Trimmis, Rheinstrasse 2
- 8532 Weiningen, Hauptstrasse 14  
(Mo – So 6 – 21 Uhr)
- 8716 Schmerikon, Allmeindstrasse 22
- 9230 Flawil, Burgau 1652  
(Sommer 7 – 20, Winter 8 – 16 Uhr)

#### Stützpunkt / Lager

- 5620 Bremgarten, Wohlerstrasse 41
- 8576 Mauren, Weinfelderstrasse 8

19-00-036 PDF-www 11,19