

5.1 Allgemeines

5.1.1 Einleitung

Um ihre Aufgabe als Abwasserleitung erfüllen zu können, muss eine Rohrleitung auch in statischer Hinsicht den Anforderungen genügen.

Die Rohrstatik nimmt zu jenem Zeitpunkt Einfluss auf die Funktion der Leitung, wenn Bruch oder zu starke Deformation entsteht, so dass die hydraulischen Anforderungen nicht mehr erfüllt werden können. Dies zu korrigieren, sind kostenintensive Arbeiten im Vergleich zu den Mehraufwendungen, die bei korrekter Neuverlegung angefallen wären. Die Statik und die daraus resultierende Verlegeart sollte im Hinblick auf Werterhaltung und Nachhaltigkeit für den Netzbetreiber von Bedeutung sein.

5.1.2 Statisches Verhalten

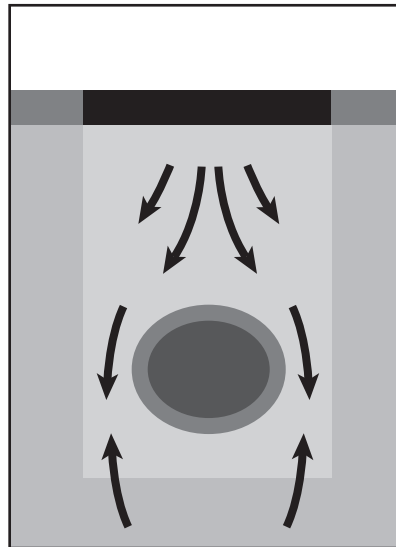
Bei erdverlegten Rohren wird zwischen zwei statischen Verhalten unterschieden: biegeweiches und biegesteifes Verhalten

Erdverlegte Kunststoffrohre verhalten sich biegeweich. Biegeweich bedeutet, dass sich das Rohr weicher verhält, als das umgebende Material. Es deformiert sich unter Belastung, aktiviert dadurch Stützkkräfte auch seitlich vom Rohr und überträgt die Lasten auf die Umhüllung. Daher ist die seitliche Verdichtung von grosser Bedeutung. Damit die Lagerungsbedingungen seitlich gleich dem Sohlenbereich sind, werden in der Norm SIA 190 für biegeweiche Rohre nur zwei Profile vorgeschlagen: U1/V1 oder U4/V4 (siehe Pkt. 5.2.2).

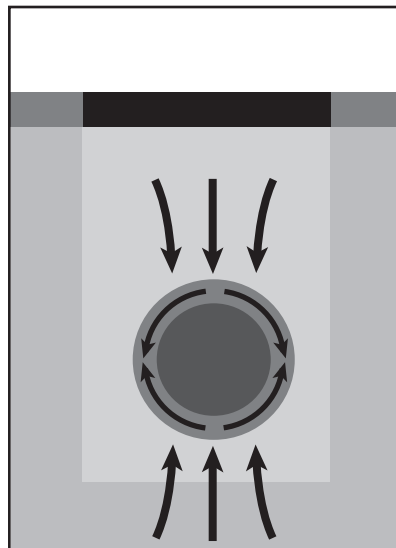
Betrachtet man die Natur als Lehrmeister, stellt man fest, dass sie sich oft des biegeweichen Verhaltens bedient (Bäume im Wind, Gräser etc.).

Biegesteif bedeutet, dass sich das Rohr steifer als das umgebende Material verhält, die Lasten auf sich konzentriert und diese im Sohlenbereich wieder dem Erdboden überträgt. Betonrohre und Steinzeugrohre etc. verhalten sich biegesteif.

Wird ein Kunststoffrohr einbetoniert, verhält sich Rohr und die Umhüllung biegesteif. Dementsprechend erfolgt der Nachweis der Betonumhüllung biegesteif. Dabei wird das Kunststoffrohr nicht berücksichtigt.



Biegeweich



Biegesteif

5.2 Grundlagen

Die Berechnungen erfolgen gemäss SIA-Norm 190 Ausgabe 2000

5.2.1 Rohrkennwerte

Im Unterschied zu Metallen ergeben sich bei Kunststoffen schon bei relativ geringen Belastungen nicht lineare Spannungs-Dehnungszustände, die abhängig sind von der Zeit, Temperatur und der Bewegungsgeschwindigkeit. Der Einfluss der Zeit wird berücksichtigt, in dem zwischen einem Langzeit- und einem Kurzzeit-E-Modul unterschieden wird. Der Kurzzeitwert wird für den Spannungsnachweis verwendet. Der Langzeitwert (Kriechmodul) wird für den Deformationsnachweis und Beulnachweis verwendet. Der Einfluss des Durchmessers ist bei genügender Überdeckung sehr gering, da das Verhältnis Wandstärke zu Durchmesser konstant ist.

5.2.1.1 Einfluss Ringsteifigkeit

Heute werden Rohre unter anderem nach Ringsteifigkeiten eingeteilt (z.B. JANOLen ottimo mit einer Ringsteifigkeit von SN 8 kN/m²). Dieser Wert hat auf die statische Berechnung keinen direkten Einfluss. Die Ringsteifigkeit ist eine Flächenlast die unter einem Plattenversuch zu einer Deformation von 3% führt. Da dieser Versuch 21 Tage nach der Herstellung der Rohre durchgeführt wird, hat er wenig Aussagekraft auf das Langzeit-Deformationsverhalten. Massgebend dafür ist der Langzeit E-Modul. Daher verwenden wir zum Teil verstärktes Polypropylen, das sich viel steifer verhält als reines PP und somit Langzeitdeformationen einschränkt.

5.2.1.2 Rechenwerte

In der folgenden Tabelle sind sämtliche Rohrmaterialkennwerte enthalten, die für eine Berechnung nach SIA 190 notwendig sind. Für PE entsprechen die Werte den Rechenwerte in der Norm SIA 190.

Einteilung der Rohre siehe Kapitel 2.

Material	$E_{R, kurz}$ N/mm ²	$E_{R, lang}$ N/mm ²	μ –	$\sigma_{Rb adm}$ N/mm ²
PP-QD JANOLen ottimo	2800	700	0,35	8,0
PP JANOLen nuovo	1250	300	0,40	8,0
PEHD JANOLen bianco	1000	150	0,40	8,0
PVC-U JANOdur triplo	3000	1500	0,38	25

= Produktewerte

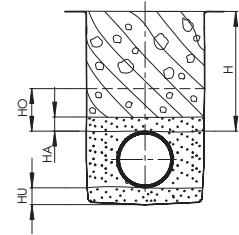
= Vorgaben SIA 190

5.2.2 Verlegeprofil

Bedingt durch das biegeeweiche Verhalten ist die seitliche Verdichtung von grosser Bedeutung. Damit die Lagerungsbedingungen seitlich gleich dem Sohlenbereich sind, werden in der Norm SIA 190 für biegeeweiche Rohre nur zwei Profile vorgeschlagen:

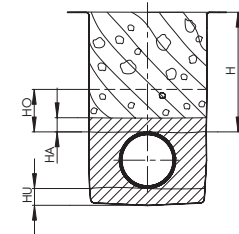
Biegeweich, erdverlegt, Profil U1/V1

Rohrumhüllung:
gemäss Anforderung aus
Rohrstatik z.B. Kies mit
max. Korngrösse $\leq \frac{1}{3} \cdot HU$



Biegesteif, einbetoniert, Profil U4/V4

Rohrumhüllung:
Beton unbewehrt B25/15



5.2.2.1 Einfluss Grabenform

– Biegeweiches Verhalten

Die Umlagerung der Belastung auf das umhüllende Material wird ausgelöst durch die Deformation des Rohres. Dies führt zu einer Setzung in der Grabenauffüllung. Dadurch kann ein Teil des Gewichtes der Auffüllung durch Reibung über die Grabenwand geleitet werden (Silowirkung). Dies stellt sich aber nur ein, wenn sich dieses Auffüllmaterial in sich nicht weiter komprimieren lässt. Ansonsten «rutscht» das Material nach und die Gewölbewirkung wird kleiner.

Im Weiteren würde bei späteren parallelen Grabarbeiten der entlastende Einfluss der Gewölbewirkung entfallen. Aus diesem Grund wird beim biegeweichen Verhalten immer die vorhandene Erdlast berücksichtigt.

Somit hat die Grabenform (U-/V-Profil, oder Stufengraben) auf die statische Berechnung von biegeweichen Rohren keinen Einfluss.

– Biegesteifes Verhalten

In einem U-Graben wird durch die starre Umhüllung kein Nachsetzen entstehen. In diesem Fall wird ebenfalls die vorhandene Erdlast berücksichtigt (Grabenbedingung). Bei Schüttungen und breiten Gräben kann sich das Material neben dem einbetonierten Rohr noch nachverdichten und setzen. Daraus ergibt sich gegenüber der Silowirkung ein entgegengesetzter Effekt. Das Material über dem starren einbetonierten Rohr wird am Setzen gehindert, und es entsteht eine Reibung zwischen dem Material direkt über dem Rohr und seitlich davon. Dies führt zu einer grösseren Belastung auf den Betonkörper, es entsteht die Dammbedingung. Für biegesteife Rohre wird gemäss SIA 190 die Dammbedingung massgebend.

5.2.3 Bodenkennwerte

Sie bilden oft die grosse Unbekannte. Massgebend für die statische Berechnung ist nicht der Bodenkennwert des gewachsenen Bodens, sondern der Wert der verwendeten Rohrumhüllung.

Ausgedrückt wird der Bodenkennwert im horizontalen Verformungsmodul E_b . Er ist abhängig vom Bodenmaterial und dessen Verdichtung. Leider gibt es keine bekannte Möglichkeit um auf der Baustelle diesen E_b -Wert zu bestimmen.

5.2.3.1 Bodenklassifikation (Feldmethode)

Die Kurzzeichen entsprechen den Bodenklassen nach USCS (Unified Soil Classification System).

A) Abschätzung der Kies- und Sandanteile (Korndurchmesser > 0,06 mm)

Ein Korn mit Durchmesser 0,06 mm ist von blossen Auge gerade noch sichtbar. Ist der Gewichtsanteil der Fraktion > 0,06 mm grösser als 50%, so wird der Boden als Kies oder Sand bezeichnet; ist der Anteil kleiner, so heisst der Boden Ton oder Silt.

Gewichtsanteil der Fraktion > 0,06 mm	Bezeichnung (nach USCS)
> 50%	Kies (G) Sand (S)
< 50%	Ton (C) Silt (M)

B) Unterteilung von Sand und Kies

Ist mehr als die Hälfte des Kies- oder Sandanteiles grösser als 2 mm, so handelt es sich um Kies, im anderen Fall um einen Sand.

Kies- oder Sandanteil	Bezeichnung (nach USCS)
50% > 2 mm 50% < 2 mm	Kies (G) Sand (S)

– Keine Feinanteile (Korndurchmesser < 0,06 mm)	→ Sauberer Sand (SW) oder Kies (GW)
– Feinanteile nicht bindig	→ Siltiger Sand (SM) oder Kies (GM)
– Feinanteile bindig	→ Toniger Sand (SC) oder Kies (GC)

C) Unterscheidung von Ton oder Silt

Dabei hilft die Schüttelprobe. Die Bodenprobe wird in der offenen Hand geschüttelt. Dadurch kann Wasser mehr oder weniger rasch an die Oberfläche treten. Der dabei auftretende Glanz verschwindet wieder, wenn die Probe zwischen den Fingern leicht gequetscht wird.

– Wird die Probe <i>rasch</i> glänzend	→ Feiner Sand (S)
– Wird die Probe <i>langsam</i> glänzend	→ Silt (M)
– Wird die Probe <i>nie</i> glänzend	→ Ton (C)

Bei Torf (PT) ist das organische Material vorherrschend. Es ist erkennbar am Geruch, an der dunklen Farbe und am niedrigen Raumgewicht.

D) Kurzbezeichnung USCS

Bestandteile:

G	Gravel	Kies als Hauptbestandteil
S	Sand	Sand als Hauptbestandteil
M	Silt	Silt als Haupt- oder Nebenmenge
C	Clay	Ton als Haupt- oder Nebenmenge
O	Organic	organische Beimengungen
PT	Peat	Torf

Beschreibung der Kornverteilung:

W	well graded	alle Korngrössen vertreten, keine davon vorherrschend
P	poorly graded	grobkörniger Anteil, eine Korngrösse oder Korngrössengruppe vorherrschend

Beschreibung der Plastizitätseigenschaften:

H	high liquid limit	Fliessgrenze hoch
L	low liquid limit	Fliessgrenze niedrig

5.2.3.2 Raumgewicht Auffüllmaterial

Wenn das Raumgewicht γ_E nicht bekannt ist, wird allgemein ein Wert von $\gamma_E = 20 \text{ kN/m}^3$ angenommen.

5.2.3.3 Horizontaler Verformungsmodul E_b

Der Bodenkennwert für die statische Berechnung ist der horizontale Verformungsmodul E_b . Der E_b -Wert kann in Abhängigkeit des Materials und des Verdichtungsgrades aus Tabelle 1 bestimmt werden. In der SIA-Norm 190 finden sich nur die grün hinterlegten Werte. Die Komplettierung der Tabelle wurde durch Angaben aus dem ATV-Arbeitsblatt A 127 (Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen) ermöglicht.

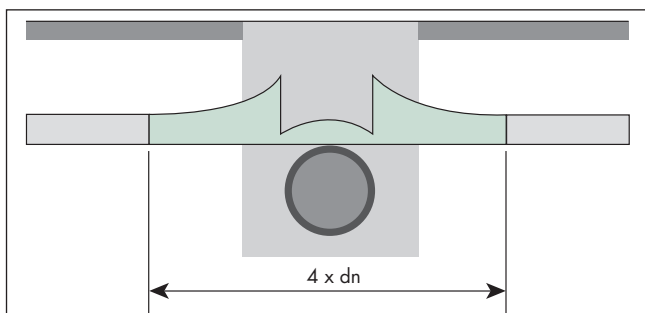
Boden	Innerer Reibungswinkel φ'	Verformungsmodul E_b in N/mm ² bei einem Verdichtungsgrad D_{pr} in %					
		85	90	92	95	97	100
Nichtbindige Böden (GW, SW, GP, SP)	35	2	6	9	16	23	40
Schwachbindige Böden (GM, SM)	30/32,5	1,2	3	4	8	11	20
Bindige Mischböden (SC, GC)	25	0,8	2	3	5	8	13
Bindige Böden (MC, CC, OL, MH, CH, OH, PT)	20	0,6	1,5	2	4	6	10

Tabelle 1: Verformungsmodul E_b

- = gemäss SIA 190 Tab. 4
- = Erweiterung aus ATV 127

5.2.3.4 Einfluss des gewachsenen Bodens

Die Bodenkennwerte beziehen sich auf das Material unmittelbar um das Rohr. Mit zunehmendem Abstand zum Rohr nimmt die Anforderung an das Material schnell ab. Die Lastumlagerung beschränkt sich auf eine Gesamtbreite des vierfachen Aussendurchmessers ($4 \times d_n$). Eine Breite, die bei kleinen Dimensionen innerhalb des Grabens Platz findet. Somit wird der Einfluss des gewachsenen Bodens unbedeutend und nur die Qualität der Rohrumhüllung ist massgebend. Bei einem Rohr von 500 mm Durchmesser wird die Einflussbreite 2.0 m und breitet sich in den gewachsenen Boden aus. Üblicherweise ist bei Mischböden durch die natürliche Verdichtung des gewachsenen Bodens die Voraussetzung vorhanden, um diese zusätzlichen Belastungen aufnehmen zu können.



Bei wenig standfestem Boden ist darauf zu achten, dass die Seitenverfüllung nicht in den gewachsenen Boden gedrückt wird. Damit würde eine Auflockerung des Umhüllungsmaterials stattfinden, was zur entsprechenden Reduktion des E_b -Wertes und zu mehr Deformation führen würde. In solchen Situationen soll die Umhüllung durch ein Geotextil vom gewachsenen Bodenmaterial getrennt werden.

5.2.3.5 Ziehen von Spriessungen

Das nachträgliche Ziehen der Spriessung führt ebenfalls zur Auflockerung der Seitenverfüllung und zur Erhöhung der Scheitellast, was das statische Verhalten stark beeinflusst. Daher wird in der Norm (EN 1610) ein fortschreitendes Auffüllen des Grabens während des Ziehens der Spriessung gefordert.

5.2.4 Belastungen

Die Bemessung der Lasten werden nach Grundsätzen der Norm SIA 160 ermittelt und entsprechend ihren Leit- und Begleiteinwirkungen in Rechnung gebracht. Daraus resultiert die Belastung als Flächenlast im Scheitel. Grundsätzlich setzt sich die vertikale Rohrbelastung aus folgenden Lasten zusammen:

- Erdlasten
- Verkehrslasten
- Auflasten
- Hydrostatischer Aussendruck
- Eigenlast (bei biegesteifen Rohren)
- Spezielle Lasten

5.2.4.1 Erdlasten

Bei den Berechnungen der Erdlasten wird zwischen biegeweichen und biegesteifen Rohren unterschieden. Erklärung siehe unter 5.2.2.1.

– Biegeweiche Rohre

Bei biegeweichen Rohren wird die volle Grabenauffüllung berücksichtigt. Somit ergibt sich für die vertikale Rohrbelastung auf Höhe Rohrscheitel:

$$q_{s1} = \gamma_E \cdot H$$

– Biegesteife einbetonierte Rohre

Bei biegesteifen Rohren ist gemäss SIA 190 das Gefährdungsbild der Dammbedingung massgebend.

$$\text{Erdlast bei Dammbedingung: } q_{s1} = A_2 \cdot g_E \cdot H \quad [\text{kN/m}^2]$$

Wobei:

- q_{s1} = Rohrbelastung auf Höhe Rohrscheitel infolge Erdlast [kN/m²]
- A_2 = Spannungsbeiwert für Dammbedingungen (Diagramm 2) [-]
- γ_E = Raumgewicht des Auffüllmaterials [kN/m³]
- H = Überdeckungshöhe [m]

5 ROHRSTATIK

Auf Grund von Versuchen ergeben sich für die Setzungs-Durchbiegungsziffer C_2 folgende Werte:

Bettung	C_2
Rohre auf Fels oder auf unnachgiebigem Boden	1,0
Rohre auf gewöhnlicher Bodenunterlage	0,5 ... 0,8
Rohre auf nachgiebigerer Unterlage als der anstehende natürliche Boden	0,0 ... 0,5

Setzungs-Durchbiegungsziffer C_2

SIA 190/Tab. 13

Die Ausladungsziffer C_3 kann wie folgt angenommen werden:

Normalverlegeprofil	C_3
1	1,00
3	0,25
4	0,25

Ausladungsziffer C_3

SIA 190/Tab. 14

Mit Hilfe der beiden Werte C_2 und C_3 kann die Ausladungszahl C_1 berechnet werden:

$$C_1 = C_2 \cdot C_3$$

5.2.4.2 Verkehrslasten

– Verkehrslast Strasse q_s

Bei Verkehrslasten innerhalb des Strassenbereiches gelten die Lastmodelle 1 + 2 + 3 der Norm SIA 160, ausserhalb des Strassenbereiches im Allgemeinen das Lastmodell 1. Unabhängig vom Werkstoff der Rohrleitungen ist bei Einwirkungen von Strassenlasten ein dynamischer Beiwert von $\phi = 1,3$ einzusetzen.

Verkehrslasten werden mit 5 kN/m^2 und mit zusätzlich $4 \times 75 \text{ kN}$ Radlast in Rechnung gebracht (Lastfall 1+2+3). Ausserhalb der Verkehrsfläche wird ebenfalls mit $4 \times 75 \text{ kN}$ Radlast gerechnet (Lastfall 1), bei unzugänglichem Terrain darf diese Lastannahme hinterfragt werden.

Aus den Diagrammen 3 und 4 auf den folgenden Seiten können die Verkehrslasten herausgelesen werden.

Daraus ist zu erkennen, wie stark die Belastung bei geringer Überdeckung zunimmt. Somit können Bauzustände mit reduzierter Überdeckungshöhe unter Verkehr massgebend werden.

– Bahnlasten

Die Einwirkung der Bahnlasten wird in der SIA-Norm 190 erläutert. Für Strassenbahnen oder Agglomerationsverkehr (Schmalspur Lastmodell 3) darf q_s um 50% reduziert werden. Unabhängig vom Werkstoff der Rohrleitungen ist bei Einwirkungen von Bahnlasten ein dynamischer Beiwert $\phi = 1,3$ einzusetzen. Die Mindestüberdeckungshöhe im Bahnbereich bis Schwellenoberkante beträgt gemäss SIA 190: 2,00 m.

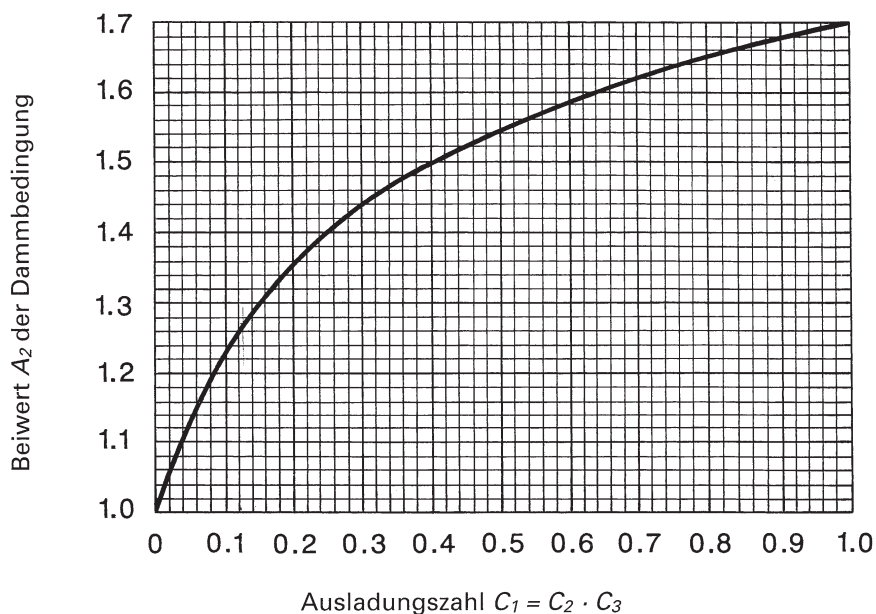


Diagramm 2: Spannungsbeiwert A_2

SIA 190/Fig. 19

5 ROHRSTATIK

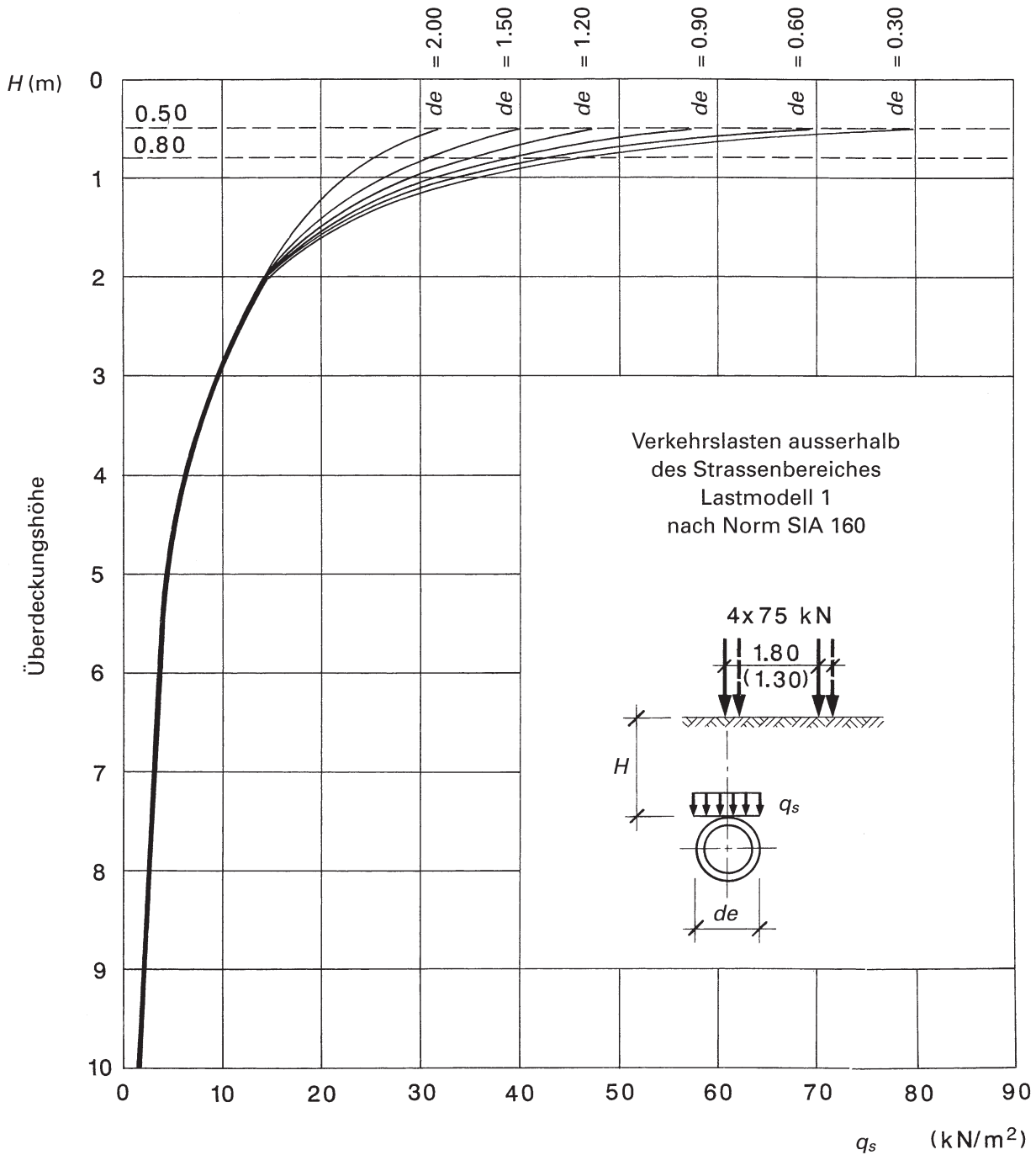


Diagramm 3:

SIA 190/Fig 14

Einwirkung der Strassenlasten ausserhalb des Strassenbereiches auf Höhe des Rohrscheitels ohne Berücksichtigung des dynamischen Beiwertes (Lastmodell 1)

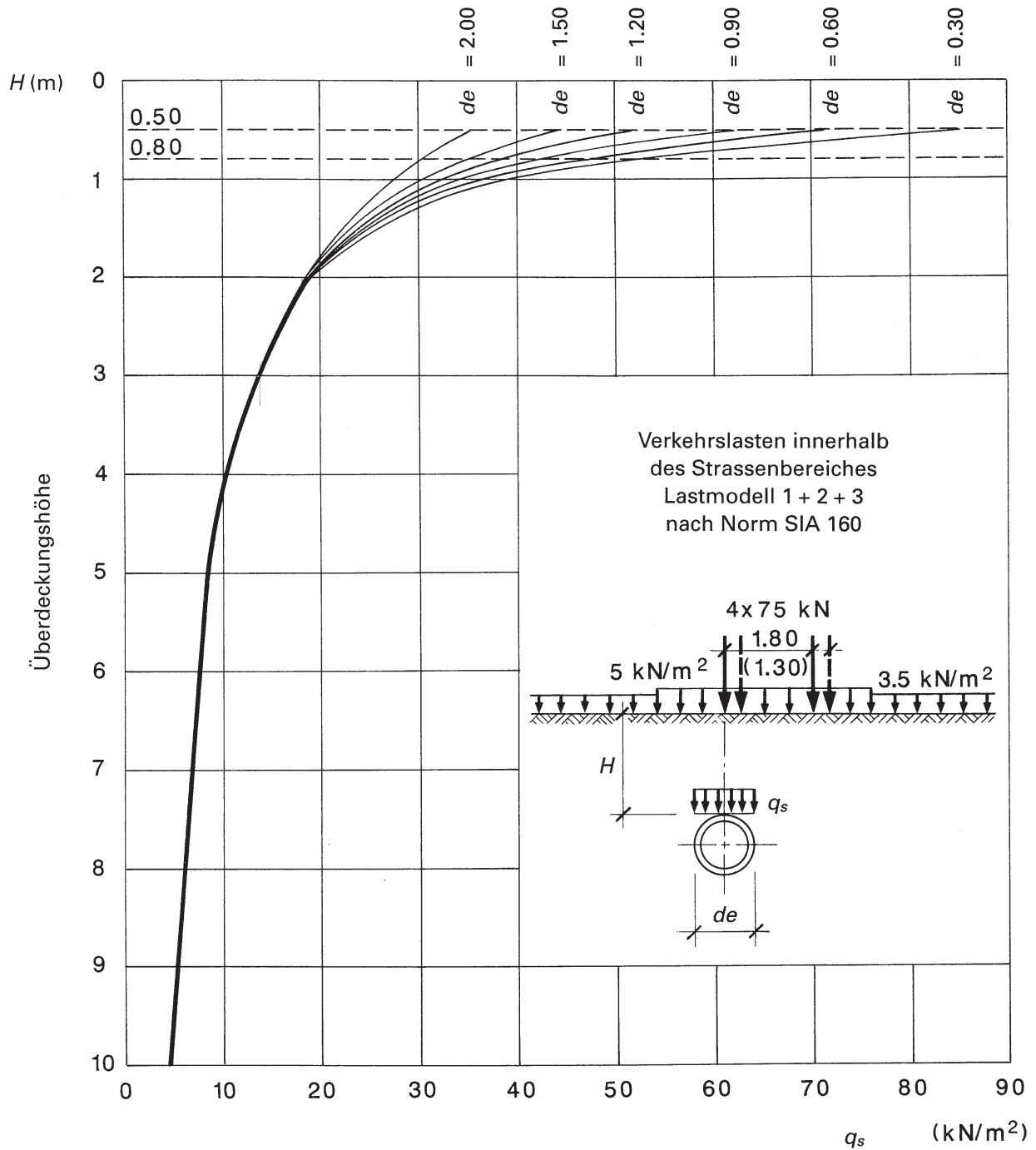


Diagramm 4:

SIA 190/Fig 15

Einwirkung der Strassenlasten innerhalb des Strassenbereiches auf Höhe des Rohrscheitels ohne Berücksichtigung des dynamischen Beiwertes (Lastmodell 1 + 2 + 3)

5 ROHRSTATIK

5.2.4.3 Auflasten

Die Einwirkung einer partiellen Auflast auf eine Rohrleitung kann mit Hilfe der Tabelle 5 ermittelt werden. Grössere Flächenlasten werden nicht reduziert. Werden Verkehrslasten berücksichtigt, ist eine Gleichzeitigkeit mit diesen zusätzlichen Auflasten zu hinterfragen.

$\frac{B}{2H}$	$\frac{L}{2H}$													
	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	0.349	0.414	0.467	0.511	0.546	0.574	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	0.766	0.800	0.849	0.894	0.930	0.956

Tabelle 5: Beiwert A_1 in Abhängigkeit der Abmessungen der Auflast. Die Abkürzungen B , L und H siehe Bild 6

SIA 190/Tab 12

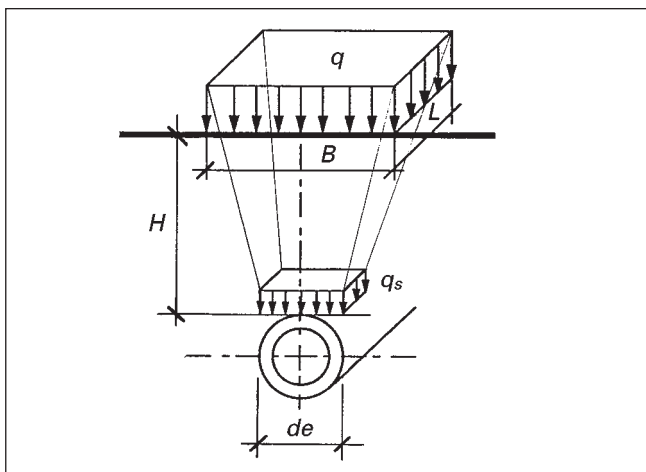


Bild 6

SIA 190/Fig 17

$$q_s = A_1 \cdot q$$

q_s : Flächenlast auf Höhe des Rohrscheitels [kN/m²]

A_1 : Beiwert gemäss Tabelle 5

q : Auflast als Flächenlast der Fläche $B \cdot L$ [kN/m²]

5.2.4.4 Hydrostatischer Aussendruck

Der Einfluss des Grundwassers auf die Statik ist vielseitig. Auf die Beanspruchung im Scheitel wirkt der horizontale Wasserdruck entlastend. Daher wird der hydraulische Aussendruck für die Belastungen nicht mehr berücksichtigt. Wesentlich wird der Grundwasserspiegel beim Beulverhalten (siehe Pkt. 5.4.1.2).

5.2.4. Weitere Lasten

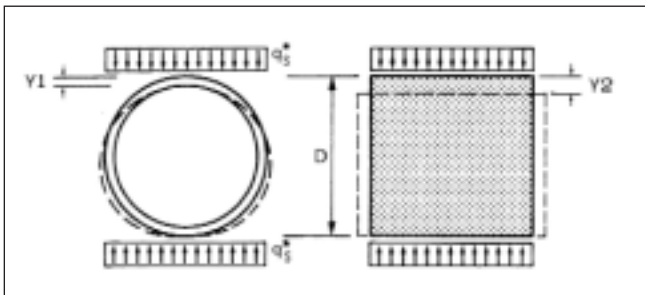
Weitere Einwirkungen wie Eigenlasten der Rohrleitung, Rohrfüllung sowie Temperaturdifferenzen, Beanspruchungen während einzelner Bauphasen, Setzungen, Erdbeneinwirkungen, Quelldrücke des anstehenden Baugrundes, Innendrucke oder Unterdrucke (Sog) usw. sind nur zu berücksichtigen, wenn sie einen wesentlichen Beitrag zur Gesamtbeanspruchung des Bauwerkes ergeben und für dessen Trag-sicherheit oder Gebrauchstauglichkeit massgebend sind. In speziellen Fällen darf auch hinterfragt werden, ob diese vereinfachte statische Berechnung gemäss SIA 190 nicht durch eine genauere Berechnung ersetzt werden müsste.

5.3 Statische Berechnung

Die Berechnungen erfolgen gemäss SIA-Norm 190 Ausgabe 2000

5.3.1 Die Systemfestigkeit

Die Systemfestigkeit SF_{kurz} gibt Aufschluss darüber, ob sich das Rohr biegeweich oder biegesteif verhält. Es wird die Deformation eines Rohres gegenüber einem Bodenkörper unter gleicher Belastung verglichen.



Systemfestigkeit SF : Rohr links und Boden rechts

Die Systemfestigkeit SF_{kurz} ist abhängig von:

- dem Verformungsmodul des Rohres aus Kurzzeitmessungen $E_{R,kurz}$
- dem Verformungsmodul des Bodens im Rohrbereich E_B

$$SF_{kurz} = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_{R,kurz}}{E_B} \cdot \left(\frac{e_n}{d} \right)^3 \quad [-]$$

$$e_n = \text{Wanddicke} \quad [\text{mm}]$$

$$d = \text{mittlerer Rohrdurchmesser } (d_n - e_n) \quad [\text{mm}]$$

- $SF_{kurz} < 0,1 \rightarrow$ biegeweiches Rohr
- $SF_{kurz} \geq 0,1 \rightarrow$ biegesteifes Rohr

Erdverlegte Kanalisationsrohre aus Kunststoff, welche mit Aushubmaterial oder Kies-Sand umhüllt werden, sind in der Regel biegeweiche Rohre.

Zur Bemessung biegeweicher Rohre ist zusätzlich die Langzeit-Systemsteifigkeit SF_{lang} notwendig.

SF_{lang} ist definiert als:

$$SF_{lang} = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_{R,lang}}{E_B} \cdot \left(\frac{e_n}{d} \right)^3 \quad [-]$$

Die Systemsteifigkeit SF_{lang} ist abhängig von:

- dem Verformungsmodul des Rohres aus Langzeitmessungen $E_{R,lang}$
- dem Verformungsmodul des Bodens im Rohrbereich E_B

5.3.2 Verformungsmodule

Für die Berechnung der Systemfestigkeiten kann mit folgenden Verformungsmodulen gerechnet werden.

Material	$E_{R,kurz}$ [N/mm ²]	$E_{R,lang}$ [N/mm ²]
PP-QD SN 8 JANOlen ottimo	2800	700
PP JANOlen nuovo	1250	300
PE JANOlen bianco	1000	150
PVC-U JANOdur triplo	3000	1500

Die Werte für Polyethylen entsprechen den Angaben der SIA-Norm 190. Die Werte für PP und PVC-U beziehen sich auf unsere Produkte.

5.3.3 Nachweise

Es sind grundsätzlich zwei Nachweise zu führen:

- Nachweis der Tragsicherheit
- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

5.3.4 Tragsicherheit

Die Tragsicherheit eines Kanalisationsbauwerkes wird grundsätzlich gemäss Norm SIA 160 nachgewiesen.

$$S_d \leq \frac{R}{\gamma_R}$$

Wobei:

S_d = Bemessungswert der Beanspruchung
 R = Tragwiderstand des Kanalisationsbauwerkes
 γ_R = Widerstandsbeiwert

Bemessungswert der Beanspruchung

Der Bemessungswert der Beanspruchung wird ermittelt aus:

- der massgebenden Einwirkung, der sogenannten Leiteinwirkung
- und den gleichzeitig auftretenden begleitenden Einwirkungen, den sogenannten Begleiteinwirkungen

Der Bemessungswert der Beanspruchung beträgt:

$$S_d = S(\gamma_G \cdot G_m; \gamma_Q \cdot Q_r; \sum \psi \cdot Q_i)$$

G_m = Eigenlasten
 Q_r = Einwirkung

$\gamma_G; \gamma_Q; \psi$ = Lastfaktoren gemäss untenstehender Tabelle

Durch Variationen aller Möglichkeiten erhält man den Bemessungswert der Beanspruchung.

Für den Nachweis der Gesamtstabilität infolge Auftrieb gelten die folgenden Lastfaktoren:

- Auftrieb Q_r : $\gamma_Q = 1,1$
- Eigenlasten G_m : $\gamma_G = 1,0$
- Baugrund Q_{r1} : $\psi = 0,8$
- Auflasten, Verkehr, Füllung: $\psi = 0$

Dabei gilt:

$$\gamma_Q \cdot Q_r \leq \gamma_G \cdot G_m + \psi \cdot Q_{r1}$$

5.3.5 Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit eines Kanalisationsbauwerkes wird grundsätzlich gemäss Norm SIA 160 nachgewiesen. Das Verhalten eines Kanalisationsbauwerkes muss innerhalb vorgegebener oder genormter Grenzen liegen; diese beziehen sich insbesondere auf:

- den Rissnachweis bei biegesteifen Rohren
- den Verformungsnachweis bei biegeweichen Rohren

Beanspruchung

Für die Lastfaktoren γ und ψ gilt:

$$\gamma = \psi = 1,0$$

Leiteinwirkung	Eigenlasten	Begleiteinwirkungen				
		Baugrund	Verkehr	Auflast	Rohrfüllung	hydrostat. Aussendruck
Baugrund $\gamma_Q = 1,5$	$\gamma_G = 1,3$	–	$\psi = 0,8$	$\psi = 1,3$	$\psi = 1,0$	$\psi = 1,0$
Verkehr $\gamma_Q = 1,5$	$\gamma_G = 1,3$	$\psi = 1,3$	–	$\psi = 1,3$	$\psi = 1,0$	$\psi = 1,0$
Auflast $\gamma_Q = 1,5$	$\gamma_G = 1,3$	$\psi = 1,3$	$\psi = 0,8$	–	$\psi = 1,0$	$\psi = 1,0$
hydrostatischer Aussendruck $\gamma_Q = 1,5$	$\gamma_G = 1,3$	$\psi = 1,3$	$\psi = 0,8$	$\psi = 1,3$	$\psi = 0$	–

Lastfaktoren

5.4 Biegeweiche Rohre

5.4.1 Tragsicherheitsnachweis

5.4.1.1 Beulnachweis ohne Grundwasser

Das Beulen (Knicken) von runden, freiverlegten Rohren kann wie folgt definiert werden. Wird der Kreisring seitlich gestützt, erhöht sich die mögliche Belastung sehr stark. Die Formel wurde aufgrund der Auswertungen von Forschungsarbeiten definiert, die einer Annäherung entsprechen. Daher auch die relativ hohen Sicherheiten, die eingehalten werden müssen.

Für den Nachweis der Tragsicherheit biegeweicher Rohre ($SF_{kurz} < 0,1$) ohne Einwirkung des Grundwassers gilt:

$$q_{ds} \leq \frac{q_{Bl}}{2.0}$$

q_{ds} = Bemessungswert der Beanspruchung aller vertikalen Einwirkungen als Flächenlast im Rohrscheitel

q_{Bl} = Beulwiderstand mit der Systemsteifigkeit SF_{lang} wie folgt:

$$q_{Bl} = (0,26 - 0,54 \cdot \log(SF_{lang})) \cdot E_B \cdot \sqrt{SF_{lang}}$$

5.4.1.2 Beulnachweis unter Berücksichtigung des Wassers

Durch das Wasser reduziert sich die stützende Wirkung des seitlichen Materials.

Durch Deformation beim erdgestützten Rohr findet eine Lastumlagerung statt und somit wird die Belastung kleiner. Beim nachfließenden Wasser bleibt der Druck konstant, wobei sich durch die Deformation des Rohres, durch das Abweichen vom idealen Kreisring, der statische Widerstand reduziert. Somit reduziert sich die mögliche Beullast bei Grundwasser gegenüber dem gestützten Rohr ohne Wasser. Wie das Zusammenwirken in der Praxis abläuft, ist wenig bekannt. Bei hohem Grundwasserspiegel empfiehlt sich eine exaktere Berechnung.

Für den Nachweis der Tragsicherheit biegeweicher Rohre mit Einwirkung des Grundwassers gilt:

$$q_{ds} \leq \frac{q_{Bl}}{2.0} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{p_{w,d}}{k \cdot p_{cr}}\right)$$

q_{ds} = Bemessungswert der Beanspruchung [N/mm²]

q_{Bl} = Beulwiderstand [N/mm²]

$p_{w,d}$ = Bemessungswert des hydrostatischen Druckes als höchster Grundwasserstand, bezogen auf die Rohrachse [N/mm²]

k = Stützfaktor in Abhängigkeit der Rohrserie und der Bodenverdichtung, dieser Faktor ist mindestens mit 1,0 einzusetzen. [-]

Stützfaktor k

Mit dem Stützfaktor k kann die stützende Wirkung des Bodens in Abhängigkeit von Durchmesser, Wandstärke und Bodenverdichtung berücksichtigt werden. Da Erfahrungen fehlen, oder auch schlechte Erfahrungen in Zusammenhang mit hohen Wasserdrücken bekannt sind, empfiehlt es sich, diesen Wert k nicht über 1,0 zu erhöhen. Mehr Informationen finden Sie im Arbeitsblatt ATV A-127 der Abwassertechnischen Vereinigung Deutschland, wobei dort verwendete Durchschlagbeiwert αD nicht direkt dem Faktor k entspricht, sondern hergeleitet werden muss.

p_{cr} = kritischer Beuldruck

$$p_{cr} = \frac{2 \cdot E_{R,lang}}{1 - \mu^2} \cdot \left(\frac{e_n}{d}\right)^3 \cdot \left(\frac{1 - \frac{x}{d}}{1 + \frac{x}{d}}\right)^2 \quad [N/mm^2]$$

1 bar = 0,1 N/mm²

E_R = Verformungsmodul des Rohres [N/mm²]


μ = Querdehnungszahl des Rohrmaterials [-]

e_n = Wanddicke des Rohres [mm]

d = mittlerer Rohrdurchmesser $d_n - e_n$ [mm]

x = Deformation des vertikalen Rohrdurchmessers [mm]

Material	$E_{R,kurz}$ N/mm ²	$E_{R,lang}$ N/mm ²	μ -	$\sigma_{Rb adm}$ N/mm ²
PP-QD JANOl en ottimo	2800	700	0,35	8,0
PP JANOl en nuovo	1250	300	0,40	8,0
PEHD JANOl en bianco	1000	150	0,40	8,0
PVC-U JANOdur triplo	3000	1500	0,38	25

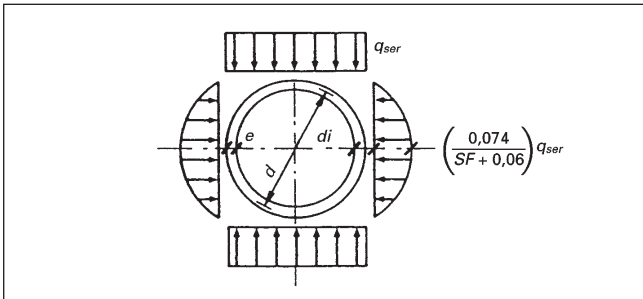
 = Produktewerte

 = Vorgaben SIA 190

5.4.2 Gebrauchstauglichkeit

5.4.2.1 Spannungsnachweis

Die stützende Wirkung des Bodens kann als Druckfeder betrachtet werden, wobei die Wirkung durch die zunehmende Kompression des Materials nicht linear ist. Vereinfacht wird angenommen, dass die Belastung im Scheitel sowie in der Sohle gleichmässig ist, und die seitliche Reaktion parabolisch wirkt.



Berechnungsmodell

Für die Grössenordnung der seitlichen Reaktion wurde eine Näherungsformel anhand von weitergehenden Versuchen und Berechnungen bestimmt.

Mit dieser Annahme und dem vereinfachten Modell werden die Momente und Kräfte berechnet und die maximalen Spannungen im Rohr ermittelt.

$$\sigma_{Rb} = \frac{q_{ser} \cdot d}{2 \cdot F_R} \pm \frac{\left(0,25 - \frac{0,0145}{SF + 0,06}\right) \cdot q_{ser} \cdot d^2 \cdot l}{4 \cdot W} \leq \sigma_{Rb, adm}$$

σ_{Rb} = Ringbiegespannung [N/mm²]

$\sigma_{Rb, adm}$ = zulässige Ringbiegespannung (gemäss Pkt. 5.2.1.2) [N/mm²]

q_{ser} = gleichmässige Flächenlast aller vertikalen Einwirkungen Q_{ser} im Rohrscheitel [N/mm²]

d = mittlerer Rohrdurchmesser $d_n - e_n$ [mm]

F_R = Rohrwandfläche im Längsschnitt
 $F_R = l \cdot e_n$ [mm²]

SF = Systemsteifigkeit [-]
– Langzeit für Einwirkung des Baugrundes
– Kurzzeit für Einwirkung des Verkehrs

W = Widerstandsmoment der Rohrwand im Längsschnitt [mm³]

$$W = \frac{e_n^2 \cdot l}{6}$$

l = Länge des betrachteten Rohrabschnittes (1 mm) [mm]

5.4.2.2 Deformationsnachweis

Die zulässige Deformation wird auf 5 % begrenzt. Die Formel für den Deformationsfaktor wurde aufgrund verschiedener Forschungsergebnisse definiert. Kurzzeitdeformation aus Verkehrslasten und Langzeitdeformation aus Erdaufasten etc. werden summiert. Die Gebrauchstauglichkeit von biegeweichen Rohrleitungen ($SF_{kurz} < 0,1$) in Bezug auf Verformungen ist nachgewiesen, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\frac{x}{d} = \frac{0,125}{SF + 0,06} \cdot \frac{q_{ser}}{E_B} \leq 0,05 \quad [-]$$

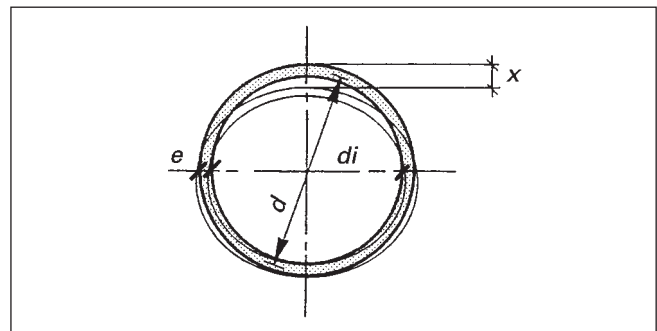
x = vertikale Deformation des Rohrdurchmessers [mm]

d = mittlerer Rohrdurchmesser [mm]

q_{ser} = gleichmässige Flächenlast aller vertikalen Einwirkungen Q_{ser} im Rohrscheitel [N/mm²]

SF = Systemsteifigkeit, Langzeit und Kurzzeit, je nach Art der Einwirkung [-]

E_B = Verformungsmodul des Bodens gemäss Tabelle unter Pkt. 5.2.3.3 [N/mm²]



Rohrdeformation

5.5 Biegesteife Rohre

Wird die Systemsteifigkeit $SF_{kurz} \geq 0,1$, ist die statische Berechnung nach der Theorie für biegesteife Rohre zu führen.

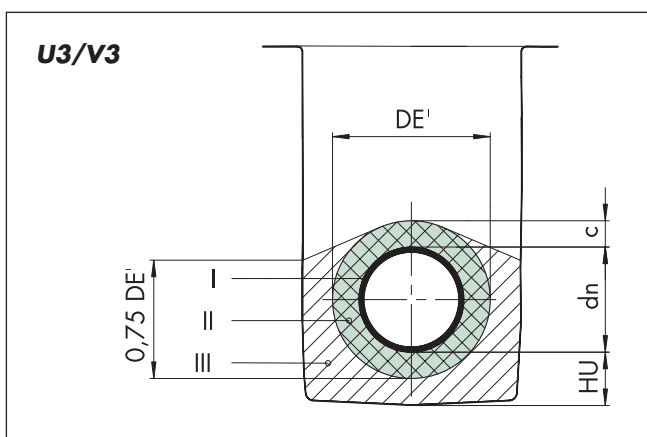
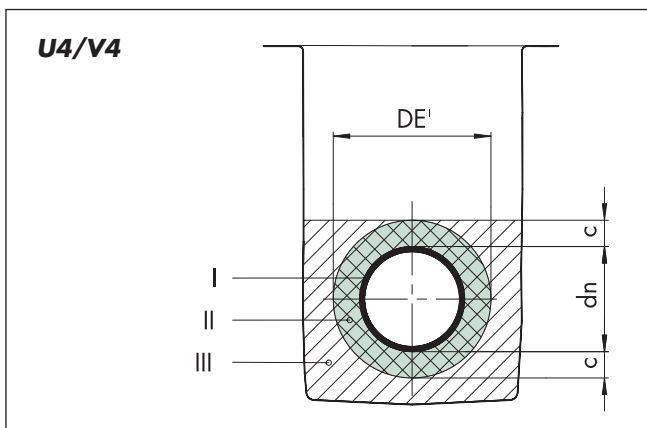
Es kann kein Nachweis gemäss SIA 190 erfolgen, wenn ein nicht einbetoniertes Kunststoffrohr biegesteif wird, da keine Scheitelbruchlast angegeben werden kann.

Einbetonierte Kunststoffrohre (gemäss Profil U4/V4) sind biegesteif und dementsprechend zu berechnen.

Die Berechnung erfolgt mittels einem Tragelement aus Beton von 100 mm Stärke um das Kunststoffrohr. Das Kunststoffrohr wird nicht in die Berechnung einbezogen.

Die biegesteife Berechnung berücksichtigt üblicherweise alle Verlegeprofile. Für einbetonierte Kunststoffrohre gilt generell U4/V4 wobei auch eine Berechnung mit Profil U3/V3 möglich ist.

Verlegeprofile



- I Kunststoffrohr
- II Tragelement mit der Wandstärke c, mit welcher die statischen Nachweise geführt werden
- III Hüllbeton

5.5.1 Tragsicherheit

Für den Nachweis der Tragsicherheit biegesteifer Rohre ($SF_{kurz} \geq 0,1$) gilt:

$$q_{ds}^* \leq \frac{ZE \cdot q_{Br}}{1,2}$$

q_{ds}^* = Bemessungswert der Beanspruchung aller vertikalen Einwirkungen als Linienlast auf den Rohrscheitel = $S_d/1m'$
(S_d siehe Pkt. 5.3.4) [kN/m]

q_{Br} = Mindestwert der Scheiteldruck-Bruchlast [kN/m]

ZE = Einbauziffer gemäss SIA 190
für U4/V4 = 7,0
für U3/V3 = 6,0

Die Scheitelbruchlast des Tragelementes kann anhand folgender Formel bestimmt werden.

$$q_{Br} = \frac{\sigma_{Rbz, adm} \cdot c^2 \cdot \pi}{3(d_n + c)} \quad [N/mm]$$

d_n = Rohraussendurchmesser [mm]

c = Wandstärke des Tragelementes
üblicherweise c = 100 mm [mm]

DE' = Aussendurchmesser des Tragelementes [mm]

$\sigma_{Rbz, adm}$ = Biegezugfestigkeit des Tragelementes
1,5 N/mm² (siehe Pkt. 5.5.3) [N/mm²]

5.5.2 Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit der biegesteifen Rohrleitungen ist nachgewiesen, wenn die folgende, vorsichtig gewählte Bedingung erfüllt ist:

$$\sigma_{\text{Rbz}} = \frac{f \cdot q_{\text{ser}} \cdot d^2 \cdot l}{4 \cdot W} \leq \sigma_{\text{Rbz,adm}}$$

σ_{Rbz} = Ringbiegezugspannung des Tragelementes 1,5 N/mm² (siehe Pkt. 5.5.3) [N/mm²]

$\sigma_{\text{Rbz,adm}}$ = zulässige Ringbiegespannung [N/mm²]

f = Faktor in Abhängigkeit des Verlegeprofils ohne Berücksichtigung der horizontalen Einwirkungen, des Rohr-Eigengewichtes und der Rohrfüllung gemäss SIA 190
für Profil U4/V4 $f = 0,112$
für Profil U3/V3 $f = 0,16$

q_{ser} = gleichmässige Flächenlast aller vertikalen Einwirkungen auf Höhe des Rohrscheitels [N/mm²]

d = mittlerer Durchmesser des Tragelementes $d_n + c$ [mm]

W = Widerstandsmoment des Tragelementes im Längsschnitt [mm³]

$$W = \frac{c^2 \cdot l}{6}$$

l = betrachteter Rohrabschnitt (1 mm) [mm]

Ein Verformungsnachweis ist für biegesteife Rohrleitungen im Allgemeinen nicht erforderlich.

5.5.3 Betoneigenschaften

Beim unarmierten Beton ist sowohl für die Biegezugfestigkeit, wie auch für die Ringbiegezugspannung die Betonzugfestigkeit massgebend.

Gemäss SIA 162 für Beton bis B 35/25 = 2,0 N/mm²
Da der Hüllbeton meist von geringer Qualität ist, empfehlen wir den Wert von $\sigma_{\text{Rbz,adm}} \leq 1,5$ N/mm² zu wählen.

5.6 Kontrolle statische Berechnung

Als Dienstleistung für unsere Kunden bieten wir eine statische Berechnung nach SIA 190 Ausgabe 2000 für biegeweiche Rohre durch. Dazu verwenden Sie bitte das Auftragsformular im Register 5 oder unter

www.jansen.com/d/k/techinfo

Die Resultate beziehen sich nur auf unsere Produkte. Die Berechnung ist als Kontrolle gedacht, die Richtigkeit der gemachten Angaben müssen überprüft werden. Aus verständlichen Gründen kann aufgrund unserer statischen Berechnung keine Verantwortlichkeit abgeleitet werden.

5.7 Beispiele

5.7.1 Biegeweiche Rohre

Beispiel 1:

Gegeben: Rohr = JANOLen ottimo SN8
 d_n = 315 mm
 Überdeckungs-
 höhe H = 3,00 m
 E_B = 3 N/mm²
 γ_E = 20 kN/m³
 Verlegeprofil = U1
 Lage = innerhalb Strassenbreich
 (Lastmodell 1+2+3)

ohne Grundwasser
 ohne zusätzliche Auflast

Gesucht: Nachweise

Rohr

Verformungsmodule $E_{R, kurz}$ = 2800 N/mm²
 $E_{R, lang}$ = 700 N/mm²
 Querdehnungszahl μ = 0,35
 Aussendurchmesser d_n = 315 mm
 Wandstärke e_n = 10,7 mm
 Innendurchmesser d_i = 293,6 mm
 Mittlerer Durchmesser d = 304,3 mm

Systemsteifigkeit

$$SF_{kurz} = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_{R, kurz}}{E_B} \cdot \left(\frac{e_n}{d}\right)^3$$

$$= \frac{2}{3} \cdot \frac{2800}{3} \cdot \left(\frac{10,7}{304,3}\right)^3 = 0,0271 < 0,1$$

$$SF_{lang} = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_{R, lang}}{E_B} \cdot \left(\frac{e_n}{d}\right)^3$$

$$= \frac{2}{3} \cdot \frac{700}{3} \cdot \left(\frac{10,7}{304,3}\right)^3 = 0,0068$$

$$SF_{kurz} < 0,1 \rightarrow \text{biegeweich}$$

Einwirkungen

Baugrund: $q_{s1} = \gamma_E \cdot H = 60,0 \text{ kN/m}^2$

Verkehrslast:

Lastmodell 1+2+3

aus Diagramm 4 mit $H = 3,0 \text{ m}$

$$\rightarrow q_s = 14,3 \text{ kN/m}^2$$

mit dynamischen Beiwert $\phi = 1,3$

$$q_{s2} = \phi \cdot q_s = 18,6 \text{ kN/m}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung
 (Angabe der Leiteinwirkung):

Der Bemessungswert ergibt sich aus der ungünstigsten
 Kombination von Leit- und Begleiteinwirkung.

Baugrund:

$$q_{ds} = q_{s1} \cdot \gamma_Q + q_{s2} \cdot \psi = 60 \cdot 1,5 + 18,6 \cdot 0,8$$

$$= 104,9 \text{ kN/m}^2 = 0,105 \text{ N/mm}^2$$

Verkehrslast:

$$q_{ds} = q_{s2} \cdot \gamma_Q + q_{s1} \cdot \psi = 18,6 \cdot 1,5 + 60 \cdot 1,3$$

$$= 105,9 \text{ kN/m}^2 = 0,106 \text{ N/mm}^2$$

Massgebend $q_{ds} = 0,106 \text{ N/mm}^2$

Tragsicherheit

Ohne Einwirkung des Grundwassers

$$q_{ds} \leq \frac{q_{Bl}}{2}$$

$$q_{Bl} = (0,26 - 0,54 \cdot \log SF_{lang}) \cdot E_B \cdot \sqrt{SF_{lang}}$$

$$= (0,26 - 0,54 \cdot \log 0,0068) \cdot 3 \cdot \sqrt{0,0068}$$

$$= 0,353 \text{ N/mm}^2$$

$$q_{ds} = 0,106 \text{ N/mm}^2 < 0,177 \text{ N/mm}^2 = \frac{q_{Bl}}{2}$$

Tragsicherheitsnachweis erfüllt

Gebrauchstauglichkeit

Lastfaktoren = 1

Baugrund $q_{ser} = 60,0 \text{ kN/m}^2$
 $= 0,060 \text{ N/mm}^2$

Verkehrslast $q_{ser} = 18,6 \text{ kN/m}^2$
 $= 0,019 \text{ N/mm}^2$

Ringbiegespannungen

$$\sigma_{Rb} < \sigma_{Rb, adm}$$

$$\sigma_{Rb} = \frac{q_{ser} \cdot d}{2 \cdot F_R} \pm \frac{\left(0,25 - \frac{0,0145}{SF + 0,06}\right) \cdot q_{ser} \cdot d^2 \cdot l}{4 \cdot W}$$

F_R = Rohrwandfläche im Längsschnitt
 $= l \cdot e_n = 1 \cdot 10,7 = 10,7 \text{ mm}^2$

W = Widerstandsmoment der Rohrwand im Längsschnitt

$$= \frac{1}{6} \cdot e_n^2 \cdot l = \frac{1}{6} \cdot 10,7^2 \cdot 1 = 19,08 \text{ mm}^3$$

Baugrund als Langzeiteinwirkung

$$SF_{\text{lang}} = 0,0068$$

$$\sigma_{\text{Rbd}} = \frac{0,060 \cdot 304,3}{2 \cdot 10,7} + \frac{\left(0,25 - \frac{0,0145}{0,0068 + 0,06}\right) \cdot 0,060 \cdot 304,3^2 \cdot 1}{4 \cdot 19,08}$$

$$= 3,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{Rbz}} = \frac{0,060 \cdot 304,3}{2 \cdot 10,7} - \frac{\left(0,25 - \frac{0,0145}{0,0068 + 0,06}\right) \cdot 0,060 \cdot 304,3^2 \cdot 1}{4 \cdot 19,08}$$

$$= -1,54 \text{ N/mm}^2$$

Verkehr als Kurzeinwirkung

$$SF_{\text{kurz}} = 0,0271$$

$$\sigma_{\text{Rbd}} = \frac{0,019 \cdot 304,3}{2 \cdot 10,7} + \frac{\left(0,25 - \frac{0,0145}{0,0271 + 0,06}\right) \cdot 0,019 \cdot 304,3^2 \cdot 1}{4 \cdot 19,08}$$

$$= 2,16 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{Rbz}} = \frac{0,019 \cdot 304,3}{2 \cdot 10,7} - \frac{\left(0,25 - \frac{0,0145}{0,0271 + 0,06}\right) \cdot 0,019 \cdot 304,3^2 \cdot 1}{4 \cdot 19,08}$$

$$= -1,61 \text{ N/mm}^2$$

Baugrund und Verkehrslasten

$$\sigma_{\text{Rbd}} = 3,25 + 2,16 = 5,41 \text{ N/mm}^2 < 8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{Rbz}} = -1,54 - 1,61 = -3,15 \text{ N/mm}^2 > -8 \text{ N/mm}^2$$

Bedingungen erfüllt

Deformation:

$$\frac{x}{d} = \frac{0,125}{SF + 0,06} \cdot \frac{q_{\text{ser}}}{E_b} \leq 0,05$$

Baugrund als Langzeitwirkung $SF_{\text{lang}} = 0,0068$

$$\frac{x}{d} = \frac{0,125}{0,0068 + 0,06} \cdot \frac{0,060}{3} = 0,037$$

Verkehr als Kurzeinwirkung $SF_{\text{kurz}} = 0,0271$

$$\frac{x}{d} = \frac{0,125}{0,0271 + 0,06} \cdot \frac{0,019}{3} = 0,009$$

Baugrund und Verkehrslasten:

$$\frac{x}{d} = 0,037 + 0,009 = 0,046 < 0,05$$

Bedingung erfüllt

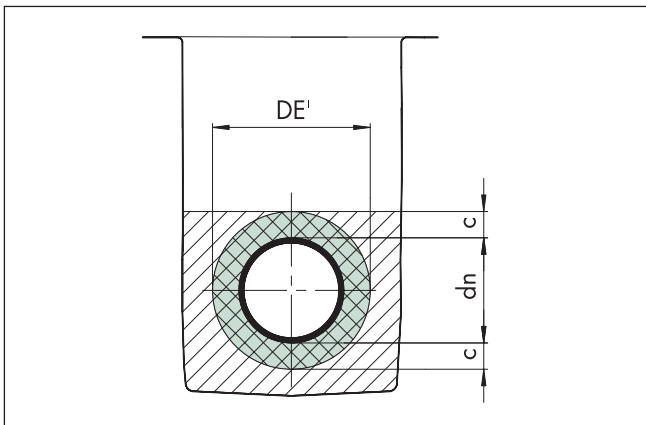
Gebrauchstauglichkeit erfüllt

5.7.2 Biegesteife Rohre (einbetoniert)

Beispiel 2:

Gegeben: Rohr = JANOLen bianco S 16
 $d_n = 315 \text{ mm}$
 $DE' = 515 \text{ mm}$
 $c = 100 \text{ mm}$
 Überdeckungshöhe $H = 3,50 \text{ m}$
 Hüllbeton = B25/15
 $\gamma_B = 24 \text{ kN/m}^3$
 Verlegeprofil = U4
 Auffüllung $\gamma_E = 20 \text{ kN/m}^3$
 Lage = innerhalb Strassenbereich
 (Lastmodell 1+2+3)
 ohne Grundwasser
 ohne zusätzliche Auflast

Gesucht: Nachweise



Einwirkungen

Baugrund q_{s1} :

Ausladungsziffer siehe Pkt. 5.2.4.1
 → Setzungs-Durchbiegungsziffer $C_2 = 0,60$
 → Ausladungsziffer $C_3 = 0,25$

→ Ausladungszahl $C_1 = C_2 \cdot C_3 = 0,15$

Dammbedingung

$$q_{s1} = A_2 \cdot \gamma_E \cdot H$$

$$A_2 = \text{aus Diagramm 2 (Seite 55)} = 1,3$$

$$q_{s1} = 1,3 \cdot 20 \cdot 3,5 = 91,0 \text{ kN/m}^2$$

Eigenlast q_{sG} :

$$c = 100,0 \text{ mm}$$

$$\text{Ersatzlast} = \text{Kreisring Beton} = \frac{\pi}{4} \cdot (DE'^2 - d_n^2) \cdot \gamma_B = 3,1 \text{ kN/m}^2$$

Verkehrslast q_{s2} :

Lastmodell 1 + 2 + 3

aus Diagramm 4

$$\text{mit } H = 3,5 \text{ m} \rightarrow q_s = 12,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{mit dynamischen Beiwert } \phi = 1,3$$

$$q_{s2} = \phi \cdot q_s = 15,6 \text{ kN/m}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchung
 (Angabe der Leiteinwirkung):

Der Bemessungswert ergibt sich aus der ungünstigsten Kombination aus Leit- und Begleiteinwirkung.

Baugrund:

$$\begin{aligned} q_{ds} &= (q_{s1} \cdot \gamma_Q + q_{sG} + \gamma_G + q_{s2} \cdot \psi) \\ &= (91,0 \cdot 1,5 + 3,1 \cdot 1,3 + 15,6 \cdot 0,8) \\ &= 153,0 \text{ kN/m}^2 = 0,153 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Verkehrslast:

$$\begin{aligned} q_{ds} &= (q_{s2} \cdot \gamma_Q + q_{sG} \cdot \gamma_G + q_{s1} \cdot \psi) \\ &= (15,6 \cdot 1,5 + 3,1 \cdot 1,3 + 91,0 \cdot 1,3) \\ &= 145,7 \text{ kN/m}^2 = 0,146 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Massgebend:

$$q_{ds} = 0,153 \text{ N/mm}^2$$

$$q_{ds}^* = DE' \cdot q_{ds} = 78,8 \text{ N/mm}$$

Tragsicherheit

Ohne Einwirkung des Grundwassers

$$q_{ds}^* \leq \frac{ZE \cdot q_{Br}}{1,2}$$

$$ZE = 7 \text{ für Profil 4}$$

Scheitelbruchlast:

$$q_{Br} = \frac{\sigma_{Rbz, adm.} \cdot c^2 \cdot \pi}{3 \cdot (d_n + c)}$$

$$\sigma_{Rbz, adm.} = 1,5 \text{ N/mm}^2$$

$$q_{Br} = \frac{1,5 \cdot 100^2 \cdot \pi}{3 \cdot (315 + 100)} = 37,8 \text{ N/mm}$$

Reduzierter Widerstand:

$$q_R^* = \frac{ZE \cdot q_{Br}}{1,2} = \frac{7 \cdot 37,8}{1,2} = 220,8 \text{ N/mm}$$

$$q_{ds}^* = 78,8 \text{ N/mm} < 220,8 \text{ N/mm} = q_R^*$$

Tragsicherheitsnachweis erfüllt

Gebrauchstauglichkeit

$$\text{Lastfaktoren} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Baugrund } q_{s1} &= 91,0 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,091 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eigenlast } q_{sG} &= 3,1 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,003 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Verkehrslast } q_{s2} &= 15,6 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,016 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Einwirkungswert (Gebrauchszustand):

$$\begin{aligned} q_{ser} &= q_{s1} + q_{s2} + q_{sG} = 0,091 + 0,003 + 0,016 \\ &= 0,110 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Ringbiegezugspannung

$$\sigma_{Rbz} < \sigma_{Rbz, adm} = 1,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Rbz} = \frac{f \cdot q_{ser} \cdot d^2 \cdot l}{4 \cdot W}$$

$$f = 0,112 \text{ für Profil 4}$$

W = Widerstandsmoment der Rohrwand

$$= \frac{1}{6} \cdot c^2 \cdot l = \frac{1}{6} \cdot 100^2 \cdot 1 = 1666 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{Rbz} = \frac{0,112 \cdot 0,110 \cdot (315 + 100)^2 \cdot 1}{4 \cdot 1666} = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Rbz} = 0,32 \text{ N/mm}^2 < 1,5 \text{ N/mm}^2 = \sigma_{Rbz, adm}$$

Gebrauchstauglichkeit erfüllt