

Linie:

SBB 720

Bezeichnung:

Zürich - Ziegelbrücke

km:

22.2 - 25.9

Kantone:

Zürich, Schwyz

Gemeinden:

Wädenswil, Richterswil, Freienbach

SOB 670

Wädenswil - Einsiedeln

0.0 – 1-1

12.203.06

Projekt:

AS35; Wädenswil

Publikumsanlage

ISP-Nr.

1161158

Phase:

Auflageprojekt

Übersichtsplan:



Autoren:

Bauherrenvertretung SBB

Abteilung/OE: I-AEP-PJM-ROT-T4

Name: René Batschelet

Datum: 08.06.2026

Unterschrift:

Projektverfasser

Firma: PGBW

Name: Pascal Guignard

Datum: 08.06.2026

Unterschrift:

Statischer Bericht

Durchlass km 24.228

Linie: 720

km: 24.228

SBB, Infrastruktur

Vulkanplatz 11, 8048 Zürich



Dok. Nr.

WAE_BP_12.203.06_IB_STB_DU-24.228_GRU_C01

Index	Erstellt	Vis.	Geprüft	Vis.	Freigab	Vis.
C00	02.05.2025	EPJO	02.05.2025	GUPA	02.05.2025	MR
C01	30.04.2026	PABU	30.04.2026	GUPA	30.04.2026	MR

Filename: WAE_BP_12.203.06_IB_STB_DU-24.228_GRU_C01.docx

Format: A4

Erstellt auf Basisdaten der amtlichen Vermessung und der SBB-Geodaten © swisstopo
© Alle Rechte an diesem Dokument stehen der SBB zu.
Für die genaue Lage und die Vollständigkeit der unterirdischen Anlagen besteht kein
Gewähr.

Impressum

Version- und Änderungsjournal

Version	Beschrieb / Änderungen gegenüber Vorgängerversion	erstellt	geprüft	freigegeben
C00	PGV-Dossier	02.05.2025 DAD	02.05.2025 GUPA	02.05.2025 MR
C01	Ergänzung Rohrstatik	30.04.2026 PABU	30.04.2026 GUPA	30.04.2026 MR

Autorenteam

Verantwortlicher Ersteller, Gesamtprojektleiter		Projektverfasser
René Batschelet SBB Infrastruktur, Ausbau- und Erneuerungsprojekte Vulkanplatz 11 8048 Zürich Tel: 079 523 23 55 rene.batschelet@sbb.ch		Pascal Guignard Gruner AG, c/o Planergemeinschaft PGBW Thurgauerstrasse 80 8050 Zürich Tel: 079 309 63 44 Pascal.guignard@gruner.ch
Fachbereich	Name	Organisationseinheit
Projektleitung	Batschelet René	I-AEP-PJM-ROT-T4
Oberbauleitung	Román Isabel	I-AEP-PJM-ROT-T4
Geomatik	Ganz Michael	I-AEP-ENG-GEO-ROT
Fahrbahn	Aebi Patrick	I-AEP-ENG-FB-ROT-PL1
Ingenieurbau Tiefbau	Rutz Matthias	I-AEP-PJM-ROT-T4
Ingenieurbau Tragkonstruktion	Rutz Matthias	I-AEP-PJM-ROT-T4
Architektur, Bahnzugang	Glauser Thomas	I-AEP-ENG-BZT-ROT-BAT
Technische Anlagen	Galli Yanick	I-AEP-ENG-BZT-ROT-TA
HLK	Divrikli Ismail	I-AEP-ENG-BZT-ROT-TA
Sicherungsanlagen	Oberholzer Roland	I-AEP-ENG-FS-ROT-PL3
Leittechnik	Tresch Michael	I-AEP-SAZ-ROT-LTT
Fahrstrom	Novak Marijo	I-AEP-ENG-FS-ROT-PL3
Kabel	Dommen Thomas	I-AEP-ENG-KAB-ROT-PL
Telecom	Hilfiker Marcel	I-NAT-TC-TPP-ROT
Umwelt	Tresch Eliane	I-AEP-ENG-UMW-ROT
Land- und Rechterwerb	Kerschbaumer Petra	IM-GM-GBB-ROT
IM Bahnhofsmangement	Fiore Carolina	IM-BW-MPA-RO1
Projektverfassende	Name	Firma
Gesamtleiter PGBW	Guignard Pascal	GRUNER
Ingenieurbau	Treacy Mark	GRUNER
Architektur	Kramp Adrian	Boegli Kramp

Inhaltverzeichnis

1.	Rohrstatik	4
1.1.	Allgemein/Vorgehen	4
1.2.	Materialisierung	4
1.3.	Bettung.....	5
1.4.	Rohrdimension	5
1.5.	Grundwasser und Auftrieb.....	5
2.	Ausführung.....	7
2.1.	Pressvorgang	7
2.2.	Verfüllvorgang	7
2.3.	Gruben.....	8
3.	Fazit.....	8

1. Rohrstatik

1.1. Allgemein/Vorgehen

Im vorliegenden Fall basiert der statische Nachweis des Durchlasses auf dem Dokument "Standarddimensionierte Durchlässe der SBB" vom 11.04.2018. In Abhängigkeit von Rohrdurchmesser, Rohrmaterial und Überdeckung sind darin die erforderlichen Rohrwandstärken definiert. Die Dimensionierung fusst auf dem im Dokument "Technischer Bericht – Standardisierte Rohrstatik" vom 22.11.2018 detailliert beschriebenen Bemessungsverfahren.

Der Geltungsbereich der standardisierten Dimensionierung wird mithilfe der Arbeitshilfe der SBB – «Durchlässe unter der Bahn» vom 2.4.2021 bestimmt. Sind alle Kriterien erfüllt, kann die Dimensionierung gemäss "Standarddimensionierte Durchlässe der SBB" vom 11.04.2018 erfolgen. Sind Kriterien nicht oder nicht gänzlich erfüllt sind projektspezifische Nachweise zu führen.

Im vorliegenden Projekt liegt der mittlere Grundwasserspiegel auf halber Scheitelhöhe des Rohres. Das nicht erfüllte Kriterium "Der max. Grundwasserspiegel liegt unterhalb des Bauwerks." schränkt die Anwendung «Standarddimensionierte Durchlässe der SBB» ein. Die aus der Nichterfüllung des Kriteriums erwachsende Effekte werden in den Kapiteln "Grundwasser und Auftrieb" und "Ausführung" behandelt.

1.2. Materialisierung

Bei der Standarddimensionierung wurden ausschliesslich Stahlrohre der Qualitäten S235 und S355 rechnerisch überprüft. Die statischen Nachweise basieren auf folgenden Materialeigenschaften [Auszug aus der Arbeitshilfe SBB]

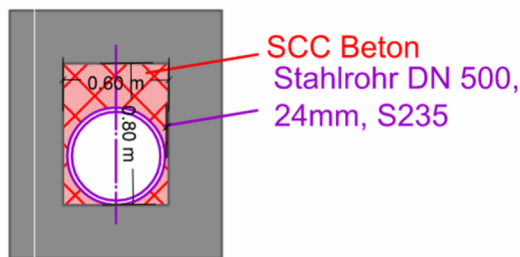
Bauteil	Baustoff Bezeichnung	charakt. Werte	Quelle
Stahlrohr	S 235	$E_{kurz} = 210'000 \text{ N/mm}^2$ $E_{lang} = 210'000 \text{ N/mm}^2$ $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$	SIA 263/2013, 3.2.2.1 SIA 263/2013, 3.2.2.1 SIA 263/2013, Tabelle 1 SIA 263/2013, 3.2.2.1
	S 355	$E_{kurz} = 210'000 \text{ N/mm}^2$ $E_{lang} = 210'000 \text{ N/mm}^2$ $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$	SIA 263/2013, 3.2.2.1 SIA 263/2013, 3.2.2.1 SIA 263/2013, Tabelle 1 SIA 263/2013, 3.2.2.1
	Für die Ermüdung ist die ist die Ermüdungskerbgruppe $\Delta\sigma_c$ (SIA263 Anhang E) relevant. Grundlage für Querstösse von runden Rohren: $\Delta\sigma_c = 71 \text{ N/mm}^2$ (Tab. 23)		

Aufgrund der geringen Überdeckung wird der Lastfall Ermüdung massgebend, d.h. Quer- und allfälligen Längsschweissnähte müssen gemäss der minimal verlangten Kerbgruppe gemäss der Arbeitshilfe SBB ausgeführt werden.

1.3. Bettung

Statisch werden im Endzustand alle Lasten durch die Stahlrohre übernommen. Eine Betonumhüllung ist aus statischer Sicht nicht erforderlich, wichtig ist aber eine fachgerechte Rohrbettung.

Beim vorliegend geplanten Pressvortrieb wird das Rohr in eine bestehende Rechteckdohle verlegt. Anschliessend wird der Ringspalt zu den bestehenden aus Natursteinen bestehenden Sohle, Mauern und Dohlendecke mit fliesstfähigem Beton/Mörtel verfüllt. Es entsteht eine vollflächige Bettung des Stahlrohrs, die die Einwirkungen auf die bestehenden Dohle gleichmässig an das Rohr weitergibt.



1.4. Rohrdimension

Aus den statischen Berechnungen resultiert für die zwischen 0.95m bis 1.45m hohen Überdeckungshöhen (UK-Schwelle-OK Rohr) ein Stahlrohr der Güteklasse S235 mit folgender Wandstärken, wobei jeweils 10 mm Abrostungszuschlag eingerechnet ist:

UK-Schwelle bis OK Rohr	DN 500	
	Wandstärke	
	S355	S235
	[mm]	[mm]
0.35 - 1.00 m	24	24
1.01 - 2.00 m	24	24
2.01 - 4.00 m	26	26
4.01 - 6.00 m	24	26
6.01 - 8.00 m	24	28
8.01 - 10.00 m	26	30

1.5. Grundwasser und Auftrieb

Der Mittelwasserstand des Grundwasser von ca. 406.00m hat auf die Belastungen des Rohres aus Erddruck verringernden Einfluss, da das anstehende Erdreich Auftriebskräfte erfährt. Das darüberliegende Gleisbett kann jedoch Kräfte aus der Auftriebskraft des Rohrkörpers erfahren. Diese beträgt die negative Gewichtskraft des verdrängten Wasservolumens:

$$F_{\text{Auftrieb}} [kN/m] = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot l \cdot g_{k, \text{Wasser}} = \frac{0.5m^2 \cdot \pi}{4} \cdot 1m \cdot 10kN/m^3 = 3.93kN/m$$

Dem gegenüber steht das Eigengewicht des abgerosteten Stahlrohrs:

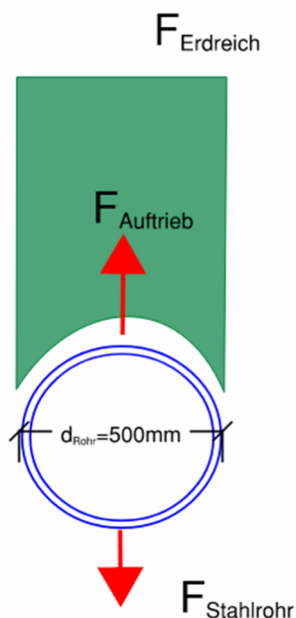
$$\begin{aligned} F_{\text{Stahlrohr}} \left[\frac{kN}{m} \right] &= d^2 \cdot \pi \cdot t_{\text{abgerostetes Rohr}} \cdot l \cdot g_{k, \text{Stahl}} \\ &= 0.5 \cdot \pi \cdot 0.014m \cdot 1m \cdot 78.5kN/m^3 = 1.73kN/m \end{aligned}$$

und die Gewichtskraft des darüberliegenden Erdreichs in minimaler Stärke von 0.95 OK Rohr UK Schwelle mit im ungünstigsten Fall unter Auftrieb stehender Gewichtskraft

$$F_{\text{Erdreich}} [kN/m] = t_{\text{Erdreich}} \cdot l \cdot d_{\text{Rohr}} \cdot \gamma_k = 0.95m \cdot 1m \cdot 0.5m \cdot 10kN/m^3 = 4.75kN/m$$

Nachweis Tragsicherheit Typ 1

$$\begin{aligned} F_{\text{Auftrieb}} \cdot \gamma_{G, \text{sup}} &\leq (F_{\text{Erdreich}} + F_{\text{Stahlrohr}}) \cdot \gamma_{G, \text{inf}} \\ 3.93 \cdot 1.1 &= \mathbf{4.32 \, kN/m} \leq (1.73 + 4.75) \cdot 0.9 = \mathbf{5.83 \, kN/m} \end{aligned}$$



Beim vorliegenden Rohr handelt es sich um eine Freispiegelleitung, die teilweise unter dem Seenniveau liegt. Die Situation, dass bei gleichzeitig hohem Grundwasserspiegel/Seespiegel das Rohr keine Wasserfüllung, sondern nur das, die Auftriebskraft generierende, Luftvolumen enthält ist unwahrscheinlich. Auf der sicheren Seite sind die höheren abtreibenden Auflasten durch Betonumhüllung und bestehendes Dohlenbauwerk (Naturstein) nicht berücksichtigt.

2. Ausführung

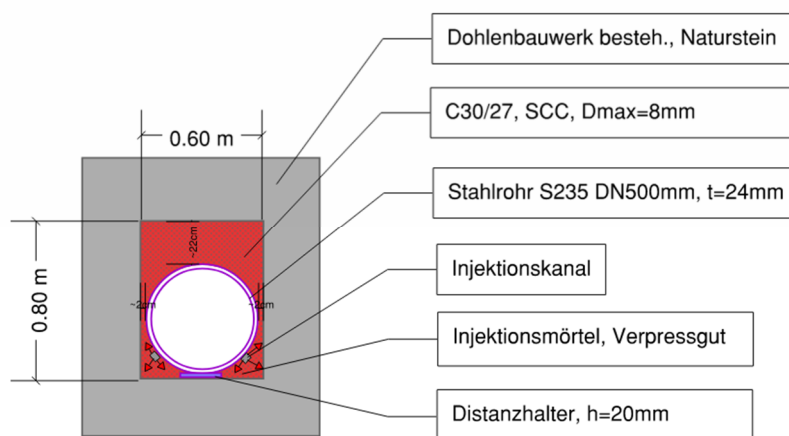
2.1. Pressvorgang

Die Ausführung ist mit einem grabenlosen Bohr-/ Pressverfahren geplant. Dabei werden die Stahlrohre kontinuierlich von der Startgrube Richtung Zielgrube in das bestehende Dohlenbauwerk eingepresst. Unebenheiten am Bestand werden vortlaufend abgetragen/gefräst. Vortriebsphasen wechseln sich mit Schweissphasen zur Verlängerung des Rohrkörpers ab. Bei der Verschweissung der Rohre untereinander ist auf eine Verschweisungsart mit höherer Kerbfallgruppe als $\Delta\sigma_c < 71 \text{ MPa}$ zu achten. Sollte die Einwirkungen des Verfahrens eine grösseren Wandstärke des Rohrs nach sich ziehen, wäre der Nachweis des Auftriebs durch höheres Eigengewicht günstig beeinflusst. Die vorliegende Dimensionierung der Wandstärke versteht sich daher als Minimalabmessung.

2.2. Verfüllvorgang

Anschliessend an den Pressvorgang wird der Ringspalt zwischen Rohrkörper und bestehendem Dohlenbauwerk mit Beton/Mörtel verfüllt um eine vollflächige, kraftschlüssige Bettung zu erreichen. Da der Ringspalt unterschiedliche Stärken aufweist ist ein zweistufiger Verfüllvorgang geplant. Zur Dohlendecke entsteht ein grösserer Spalt ($\sim 220\text{mm}$), der mit fliesfähigem Beton (SCC) der Korngrösse 0/8 durch passives Einfließen von der Startgrube her geschehen kann. Gegen die Seitenwände und die Sohle entstehen dünnere Spalten ($\sim 20\text{mm}$). Diese werden mit dünnflüssigem Mörtel, der kontinuierlich und unter Druck durch eingelegte Injektionsschläuche transportierte wird, verpresst.

Erfolgskontrolle der Vollständigkeit der Verfüllung geschieht über einen Volumenvergleich des Ringspalts zu Verfüllgut. Während der Verfüllvorgänge wird das Rohr gegen Auftrieb gesichert und mit Wasser gefüllt.



2.3. Gruben

Die Ziel- und Startgrube befinden angrenzend an die bestehenden Gleisbette und müssen aufgrund des anstehenden Grundwassers mit Spundwänden erstellt werden. Das Gleis ist auch während des Einbaus in Betrieb. Der Grubenverbau muss damit sowohl den Erd/Wasserdrücken als auch den Nutzlasten durch Bahnverkehr widerstehen.

2.3.1. Startgrube

Die Geometrie erlaubt eine gegenseitige Aussteifung im Grubeninnern. Dies wird als unproblematisch eingeschätzt und die Dimensionierung kann im Rahmen des Ausführungsprojekt erfolgen.

2.3.2. Zielgrube

Bei der Zielgrube ist eine gegenseitige Aussteifung der Grubenwände detailliert zu prüfen, da seeseitig schwankender Wasserdruck und nur einseitig konstanter Erddruck ansteht. In Ufernähe ist eine Einspannung der Spundwände im homogenen Seeboden und/oder eine Rückverankerung an den benachbarten Uferverbau denkbar und im Zuge der Ausführungsplanung zu evaluieren/dimensionieren.

Sowohl eine allfällige Erhöhung der Wandstärke aufgrund des Pressverfahrens, die Festlegung der Schweissverfahren zur Erreichung der Kerbfallgruppe werden im Ausführungsprojekt/Ausführungsstatik erfolgen.

3. Fazit

Es wird ein Stahlrohr DN 500mm S235 mit einer Wanddicke von minimal 24mm gewählt. Deswegen Eigengewicht und das darüberliegende Erdreich widerstehen den Auftriebskräften. Allfällige dem Ausführungsverfahren geschuldete statische Anpassungen des Rohrkörpers (Wandstärke und Schweissausführung) werden im Zuge des Ausführungsprojekt behandelt. Die Dimensionierung der Start- und Zielgrube wird durch den Unternehmer erstellt.

Anhang 1 Rohrstatik

1. Ausgangslage

Um die "Arbeitshilfe SBB – Durchlässe unter der Bahn" anwenden zu können, muss ein vordefinierter Anforderungskatalog erfüllt sein. Im vorliegenden Fall ist das Kriterium "Der max. Grundwasserspiegel liegt unterhalb des Bauwerks." nicht erfüllt. In früheren Projekten hat sich in Rücksprache mit der SBB gezeigt, dass die Typenstatik dennoch angewendet werden kann, sofern zwei Zusatzbedingungen eingehalten werden:

- Nachweis der Auftriebssicherheit
- Nachweis, dass der Wasserdruck die Belastung auf das Rohr nicht wesentlich erhöht

Die Vorlagestatik der SBB deckt in ihrer Ausarbeitung den konservativsten Fall ab. Nachfolgend wird gezeigt, dass der vorliegende Fall durch diese Vorgabe abgedeckt ist.

2. Nachweis der Auftriebssicherheit

Der Nachweis der Auftriebssicherheit wurde bereits im Kapitel 1.5 des statischen Berichts des DU 24.228 (Dok.-Nr. WAE_BP_12.203.06_IB_STB_DU-24.228_GRU_C00) geführt.

3. Überprüfung der Systemsteifigkeit des Rohrs unter der zusätzlichen Belastung durch Grundwasser

Im Folgenden wird untersucht, ob Grundwasser einen positiven oder negativen Einfluss auf die Belastung der Rohrleitung hat.

Die SIA 190:2017 unterscheidet Rohrleitungen in biegesteife und biegeeweiche Rohre. Je nach Art wird die Tragsicherheit eines solchen Rohre unterschiedlich bestimmt. Grund dafür ist, dass die Tragfähigkeit variiert.

- Biegesteife Rohre sind steifer als das umgebende Erdreich. Vertikale Beanspruchungen werden über das Rohr weitergeleitet und über die vertikale Bettung in den Baugrund eingeleitet.
- Biegeeweiche Rohre sind weicher als das umgebende Erdreich. Sie leiten auftretende vertikale Lasten über Verformungen seitlich über den aktivierten Bettungsdruck in den Baugrund ab.

Zur Einordnung der Rohrtypen wird die Systemsteifigkeit SF berechnet.

- $SF_{kurz} \geq 0.1$: Biegesteifes Rohr
- $SF_{kurz} < 0.1$: Biegeweiches Rohr

$$SF_{kurz} = \frac{2}{3} * \frac{E_{R,kurz}}{E_{Bh}} * \left(\frac{e}{d}\right)^3$$

Mit

E_{Bh} horizontaler Verformungsmodul des Bodens, gem. SIA 190 4.2.5.1.4

$$E_{Bh,Auffüllung} = 0.6 * E_B = 0.6 * M_E = 0.6 * 20 \frac{MN}{m^2} = 12 \frac{MN}{m^2}$$

$E_{R,kurz}$ Verformungsmodul des Rohrs aus Kurzzeitmessungen

$$E_{R,kurz} = E_{R,Stahl} = 210'000 MPa$$

e Wanddicke des Rohrs

$$e = 24 \text{ mm}$$

d mittlerer Rohrdurchmesser

$$d = \frac{500+524}{2} \text{ mm} = 512 \text{ mm}$$

$$SF_{kurz} = \frac{2}{3} * \frac{210'000}{12} * \left(\frac{24}{512} \right)^3 = 1.12 \geq 0.1$$

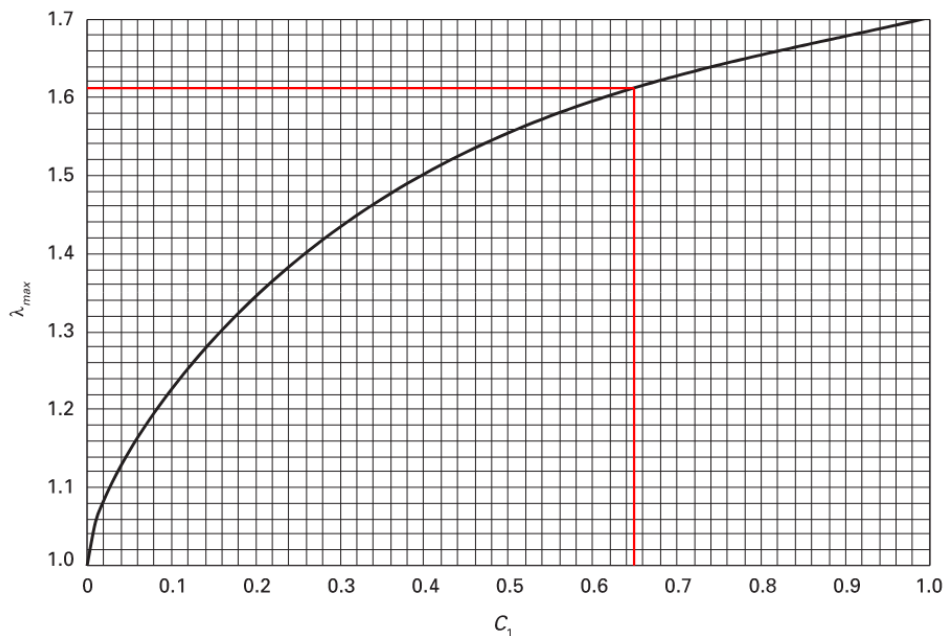
Wie sich zeigt, verhält sich das projektierte Rohr wie ein biegesteifes Rohr.

Für biegesteife Rohre resultiert eine Laststeigerung mit λ_{max} (vgl. SIA 4.2.6.1):

- Setzungsdurchbiegungsziffer: $C_2 = \frac{0.5+0.8}{2} = 0.65$ (Rohr auf gewöhnlichem Boden)
- Ausladungsziffer: $C_3 = 1.00$

$$C_1 = C_2 * C_3 = 0.65 * 1.00 = 0.65$$

Figur 3 Beiwert λ_{max} in Abhängigkeit von der Ausladungszahl



$$\rightarrow \lambda_{max} = 1.61$$

Rohrbemessung für biegesteife Rohre ($SF \geq 0.1$)

Für den Nachweis der Tragsicherheit biegesteifer, kreisrunder Rohre gilt:

$$q_{ds}^* \leq \frac{ZE * q_{Br}}{1.2}$$

Mit

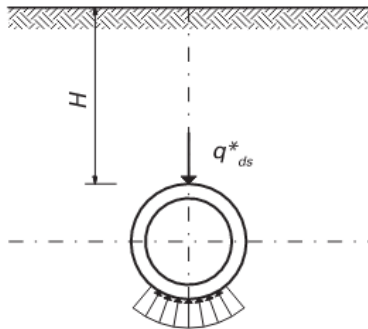
q_{ds}^* Bemessungswert der Beanspruchung aus allen vertikalen Einwirkungen als Linienlast auf den Rohrscheitel (vgl. Abbildung 9.1)

$$q_{ds}^* = q_{ds} * d_a$$

$$q_{ds} = 1.5 * q_{s2} + 1.35 * q_{s1}$$

q_{s2}	Verkehrslasten mit dynamischem Beiwert auf Niveau Rohrscheitel
q_{s2}	Erdauflast sowie ständige Flächenlasten an der Oberfläche auf Niveau Rohrscheitel mit Konzentrationsfaktor λ_{min} bzw. λ_{max} (mit γ bzw. im Grundwasser γ')
d_a	Rohraussendurchmesser
ZE	Einbauziffer
	$ZE_{U1} = 1.5$
q_{Br}	Mindestwert der Scheiteldruck-Bruchlast oder aus Werkprüfungen

Figur 6 Berechnungsmodell für die Tragsicherheit von biegesteifen Rohren



Wie sich zeigt, hat der Wasserdruck nur auf der Seite der Einwirkungen einen Einfluss auf die Rohrstatik. Liegt ein Rohr im Bereich des Grundwassers wird auf der Einwirkungsseite das Raumgewicht des Bodens unter Auftrieb γ' verwendet. Für Rohre ausserhalb des Grundwassers wird hingegen das Feuchtraumgewicht γ verwendet.

Eine Gegenüberstellung der vertikalen Einwirkungen zufolge der Auflast zeigt:

$$H * \gamma' \leq H * \gamma$$

$$q_{s1,GWS} \leq q_{s1}$$

$$1.5 * q_{s2} + 1.35 * q_{s1,GWS} \leq 1.5 * q_{s2} + 1.35 * q_{s1}$$

$$q_{ds,GWS} \leq q_{ds}$$

Der Bemessungswert der Beanspruchung aus allen vertikalen Einwirkungen oberhalb des Grundwasserspiegels ist in jedem Fall grösser als der Bemessungswert der Beanspruchung in einem identischen Baugrund unterhalb des Grundwasserspiegels. Mit einer erhöhten Belastung auf das Rohr zufolge des Grundwassers ist somit nicht zu rechnen.

Dies hat zur Folge, dass die Typenstatik gemäss der "Arbeitshilfe SBB – Durchlässe unter der Bahn" auch bei biegesteifen Rohrleitungen unterhalb des Grundwasserspiegels angewendet werden kann.

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit biegesteifer, kreisrunder Rohre gilt:

$$\sigma_{Rbz} = \frac{N_k}{A} \pm \frac{M_k}{W} \alpha_k \leq \sigma_{Rbz,adm}$$

Mit

σ_{Rbz}	Ringbiegezugspannung in N/mm^2
N_k	Normalkraft auf charakteristischem Niveau, berechnet aus q_{ser} sowie vollem und reduziertem Erddruck in N
A	Querschnittsfläche der Rohrwand in mm^2
M_k	Moment auf charakteristischem Niveau, berechnet aus q_{ser} sowie vollem und reduziertem Erddruck in Nmm
W	Widerstandsmoment der Rohrwand in mm^3
α_k	Krümmungseinfluss
$\sigma_{Rbz,adm}$	zulässige Ringbiegezugspannung in N/mm^2
q_{ser}	gleichmässige charakteristische Flächenlast aller vertikalen Einwirkungen auf Höhe des Rohrscheitels in kN/m^2
α	halber Rohrauflagerwinkel

Analog zum Nachweis auf Tragsicherheit gilt hier, dass die Einwirkung von q_{ser} abhängt. q_{ser} ist definiert als die gleichmässige charakteristische Flächenlast aller vertikalen Einwirkungen. Der Bemessungswert der Beanspruchung aus allen vertikalen Einwirkungen oberhalb des Grundwasserspiegels ist auch hier in jedem Fall grösser als der Bemessungswert der Beanspruchung in einem identischen Baugrund unterhalb des Grundwasserspiegels. Mit einer erhöhten Belastung auf das Rohr zufolge des Grundwassers ist somit nicht zu rechnen.