

4.1 Allgemeines

FBS-Betonrohre, FBS-Stahlbetonrohre, FBS-Vortriebsrohre und zugehörige FBS-Formstücke sowie FBS-Schachtfertigteile erfüllen aufgrund ihrer geprüften Qualität und ihrer besonderen Eigenschaften dauerhaft die hohen Anforderungen, die heute an Betonkanalsysteme für Abwasserleitungen und -kanäle gestellt werden. Sie sind tragfähig, dicht gegen inneren und äußeren Wasserdruck, hydraulisch leistungsfähig, abriebfest, widerstandsfähig gegen chemisch mäßig angreifende Umgebung und damit wirtschaftlich sowie nachhaltig.

4.2 Tragfähigkeit

Rohrleitungen gehören in Deutschland zu den Ingenieurbauwerken, für die eine statische Berechnung erforderlich ist. Für alle Rohrwerkstoffe gültige, auf gleichem Sicherheitsniveau basierende Berechnungsverfahren enthalten die Arbeitsblätter DWA-A 127 (für die offene Bauweise) und DWA-A 161 (für die geschlossene Bauweise), die auch Bestandteil der DIN EN 1295-1 sind.

Voraussetzung für die Gültigkeit dieser Berechnungsverfahren und die rechnerischen Sicherheiten sind die genormten Werkstoffeigenschaften sowie die Bauausführung nach DIN EN 1610 und Arbeitsblatt DWA-A 139. Die Werkstoffkennwerte werden durch laufende umfassende Produktions- und Konformitätskontrollen beginnend bei den Ausgangsstoffen bis zu den fertigen FBS-Betonkanalsystemen und die Bauausführung durch eine ausreichende Bauüberwachung gesichert.

Die zur Berechnung der Einwirkungen/Belastungen anzusetzenden Eigenlasten, Bodenkenngrößen und Verkehrslasten sowie die zur Aufrechterhaltung des in Deutschland üblichen Sicherheitsstandards erforderlichen Teilsicherheitsbeiwerte sind für den Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Rohrleitungen und Schachtbauwerken im Arbeitsblatt DWA-A 127 und Arbeitsblatt DWA-A 161 festgelegt.

Die Bemessung und Ausführung von Beton und Stahlbeton ist in DIN EN 1992-1-1/NA geregelt, die bei den Rohren und Schachtfertigteilen zu beachtenden Besonderheiten, in den Produktnormen DIN V 1201 und DIN 4034-1 sowie in den FBS-Qualitätsrichtlinien Teil 1 und Teil 2 und in der Anwendungsnorm DIN V 1202 enthalten.

Für FBS-Betonrohre Typ 2 werden für den Nachweis im Grenzzustand der Tragsicherheit die mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten für Einwirkungen erhöhten Bemess-

sungsschnittkräfte und daraus der Bemessungswert der Ringbiegezugspannung ermittelt. Dieser wird mit der zulässigen Ringbiegezugspannung von 6 N/mm^2 unter Einhaltung des Teilsicherheitsbeiwertes für den Bauteilwiderstand verglichen.

FBS-Stahlbetonrohre Typ 2 können für praktisch alle vorkommenden Belastungs- und Einbaubedingungen durch Anpassung der Bewehrung und gegebenenfalls der Wanddicke bemessen und hergestellt werden. Die Tragfähigkeit wird nach DIN V 1201 und den Regeln des Stahlbetonbaus mit dem Bruchsicherheitsnachweis im Zustand II unter Vernachlässigung der Mitwirkung des Betons in der Zugzone berechnet. Zusätzlich wird der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit durch die Begrenzung der Rohrvergleichsspannung, (Spannungsnachweis im Zustand I), nach DIN V 1201 geführt. Die für den Zustand I ermittelte Vergleichsspannung darf für einen Beton der Festigkeitsklasse C40/50 den Wert von 6 N/mm^2 nicht überschreiten.

Die statische Berechnung von FBS-Beton- und FBS-Stahlbetonrohren Typ 2 wird in den Kapiteln 8 bis 11 ausführlich behandelt.

FBS-Schachtbauteile können gemäß DIN 4034-1 ohne gesonderten statischen Nachweis bei einer Verkehrslast LM1 nach DIN EN 1991-2 einschließlich nationalen Anhang NA bis zu einer Einbautiefe (H) von 10,00 m und bei DN 2000 von 6,5 m eingesetzt werden. Bei davon abweichenden Einwirkungen kann ein Nachweis nach den Regeln des Beton- und Stahlbetonbaus erfolgen.

4.3 Schlagfestigkeit

FBS-Betonrohre und FBS-Stahlbetonrohre weisen aufgrund der zähen Werkstoffeigenschaften eine hohe Schlagfestigkeit auf. Wegen der hohen Duktilität gilt dies im verstärkten Maß für den Werkstoff Stahlbeton.

4.4 Dauerschwingfestigkeit, Schwellfestigkeit

Versuche, die an der Technischen Hochschule Braunschweig durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass FBS-Betonrohre einer Schwellbelastung zwischen 40 und 60% der statischen Kurzzeitfestigkeit (Mindestscheiteldruckkraft) bei 2×10^6 Lastwechseln standhalten. Nach DIN V 1201 können deshalb als Rechenwert für den Nachweis der Dauerschwingfestigkeit 40% des Rechenwertes der Ringbiegezugfestigkeit angesetzt werden (Arbeitsblatt DWA-A 127-10).

Für FBS-Stahlbetonrohre kann der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit unter nicht vorwiegend ruhender Belastung nach den Regeln des Stahlbetonbaus für beliebige Lastwechselzahlen geführt werden. Es gelten die Ableitung der Wöhlerkurven in DIN EN 1992-1-1/NA. Stahlbetonbauteile sind daher grundsätzlich für den Einsatz unter Bahnlasten zugelassen.

4.5 Wasserdichtheit

4.5.1 Allgemeines

Die Wasserdichtheit von Abwasserleitungen und -kanälen ist eine der wichtigsten Anforderungen zum Schutz von Grundwasser und Boden. Der Dichtheitsprüfung von FBS-Betonkanalsystemen kommt deshalb besondere Bedeutung zu. Nach DIN V 1201 und DIN 4034-1 und den zusätzlichen Anforderungen der FBS-Qualitätsrichtlinien Teil 1 und Teil 2 werden Rohre und Schachtfertigteile Typ 2 und deren Verbindungen im Rahmen der Gütesicherung auf Dichtheit strengen Kontrollen unterworfen.

In der Erstprüfung wird die Funktionssicherheit der FBS-Rohre, FBS-Schachtfertigteile und deren Verbindungen unter erhöhten Anforderungen nachgewiesen. Dabei werden folgende Prüfungen durchgeführt:

1. Prüfung der Dichtheit der Rohre ohne Wasserzugabemessung:

Prüfdruck für FBS-Rohre \leq DN 1000: 250 kPa (2,5 bar)

Prüfdruck für FBS-Rohre $>$ DN 1000: 100 kPa (1,0 bar)

Die Prüfung wird generell als Strangprüfung durchgeführt. Dabei werden 3 Rohre mit zwei Verbindungen oder zweimal zwei Rohre mit einer Verbindung geprüft.

2. Prüfung der Dichtheit der Rohrverbindungen bei gegenseitiger Abwinkelung:

Es gelten die Prüfbedingungen wie oben angegeben. Die gegenseitige Abwinkelung beträgt $12500/\text{DN}$ in mm je m Baulänge oder 50 mm/m, je nachdem, welcher Wert kleiner ist.

3. Prüfung der Dichtheit der Rohrverbindungen unter Scherlasteinwirkung:

Prüfdruck: 100 kPa (1,0 bar)

Scherlast: $50 \times \text{DN}$ in Newton [N]

Mit den Prüfungen 2. und 3. wird sichergestellt, dass die Verbindungen von FBS-Rohren auch unter ungünstigen Einbaubedingungen, z. B. bei Richtungs-änderungen und Setzungen dauerhaft wasserdicht bleiben. Mit Erfüllung der Anforderungen bei Prüfung unter Scher-

lasteinwirkung wird gleichzeitig nachgewiesen, dass die Rohrverbindungen wurzelfest sind.

Die Erstprüfung von FBS-Schachtfertigteilen auf Dichtheit erfolgt an drei zusammengefügtten Bauteilen (davon ein Schachtunterteil) mit zwei Verbindungen bei einem inneren Überdruck von 100 kPa (1,0 bar).

Im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle wird nach DIN V 1201 und der FBS-Qualitätsrichtlinie Teil 1 jedes im Nennweitenbereich bis DN 1000 hergestellte FBS-Rohr aus Beton und Stahlbeton auf einer in die Fertigungsanlage der Rohre integrierten Prüfeinrichtung serienmäßig mit Wasserüberdruck, Luftüberdruck oder Luftunterdruck auf Dichtheit geprüft.

Zusätzlich werden Strangprüfungen mit Wasserzugabemessung mit einem inneren Überdruck von 100 kPa (1,0 bar) durchgeführt. Dabei darf die Wasserzugabe die Werte der Tabelle 4.1 nicht überschreiten.

Tabelle 4.1: Maximale Wasserzugabe

Nennweite DN	Wasserzugabe [l/m ²]
≤ 600	0,08
700 bis 1000	0,07
≥ 1100	0,05

Bei der werkseigenen Produktionskontrolle von FBS-Schachtfertigteilen werden zwei Schachtringe einschließlich ihrer Verbindungen mit 100 kPa (1,0 bar) auf Wasserdichtheit geprüft.

4.5.2 FBS-Betonrohre und FBS-Stahlbetonrohre in Wassergewinnungsgebieten

Ein Wasserschutzgebiet umfasst in der Regel das gesamte Einzugsgebiet einer Wassergewinnungsanlage. Der unterschiedlichen Auswirkung der potentiellen Gefahrenherde nach Art, Untergrundbeschaffenheit und der räumlichen Entfernung eines Eingriffs von der Entnahmestelle wird durch eine Gliederung des Wasserschutzgebiets in Zonen unterschiedlichen Schutzniveaus Rechnung getragen.

Die Schutzzone I (Fassungsbereich) muss den Schutz der Wassergewinnungsanlage und ihrer unmittelbaren Umgebung vor jeglicher Verunreinigung und Beeinträchtigung gewährleisten. Es dürfen keine Abwasserleitungen und -kanäle eingebaut werden, es sei denn

zwingende örtliche und technische Gegebenheiten erfordern dies. Hier werden maximale Anforderungen an die Werkstoffe, den Bau und Betrieb gestellt, z.B. Doppelrohrsysteme mit Leckageüberwachung.

Die Schutzzone II (engere Schutzzone) muss den Schutz vor bakteriellen Verunreinigungen sowie vor sonstigen Beeinträchtigungen gewährleisten. Das Durchleiten von Abwasser im Bereich der Schutzzone II ist nach DVGW W 101 in der Regel nicht tragbar. Müssen Abwasserleitungen und –kanäle aufgrund zwingender örtlicher oder technischer Gegebenheiten in der Schutzzone gebaut werden, sind diese auf das notwendige Maß zu beschränken. Bereits bei den Voruntersuchungen sind die zuständigen Wasserbehörden und betroffenen Wasserversorgungsunternehmen zu beteiligen.

Die Schutzzone III (weitere Schutzzone) soll den Schutz vor weitreichenden Beeinträchtigungen insbesondere vor nicht oder nur schwer abbaubaren chemischen oder vor radioaktiven Verunreinigungen gewährleisten.

In der Schutzzone III sind der Einbau und der Betrieb von Abwasserleitungen und –kanälen unter Beachtung der notwendigen Maßnahmen zum Schutz der Gewässer grundsätzlich zulässig.

Das Arbeitsblatt DWA-A 142 „Abwasserleitungen und –kanäle in Wassergewinnungsgebieten“ regelt die Anforderungen für Planung, Bau, Betrieb und Unterhaltung von Abwasserleitungen und -kanälen einschl. der erforderlichen Schachtbauwerke.

Die Wahl des Entwässerungssystems in Wasserschutzgebieten erfolgt in Bezug auf das Gefährdungspotential. Je nach Gefährdungspotential werden die Anforderungen an Abwasserleitungen und –kanäle sowie Schächte und Anschlüsse festgelegt.

An Rohre und Schächte in Trinkwassergewinnungsgebieten werden folgende allgemeine Anforderungen gestellt:

- Baustoffe und Bauteile müssen mindestens den Anforderungen gem. DIN EN 1610, DIN EN 12889, DIN 1986-4, Arbeitsblatt DWA-A 139, Arbeitsblatt DWA-A 127 und Arbeitsblatt DWA-A125 entsprechen,
- Sicht- und Dichtheitsprüfungen nach Abschluss einer Baumaßnahme entsprechend DIN EN 1610 und Arbeitsblatt DWA-A 139,

- Verdichtungsgrad für die Rohrbettung und Seitenverfüllung (Einbettungsbedingungen B4) ist festzustellen und zu dokumentieren,
- Anbindung von Anschlusskanälen an Schächte bei wiederkehrenden Dichtheitsprüfungen,
- Spezielle Ausführungsdetails (z.B. Anschlüsse und Leitungsdurchführung),
- Beim Standsicherheitsnachweis ist ein um 20% erhöhter Teilsicherheitsbeiwert auf der Einwirkseite anzusetzen,
- Max. Verformung für biegeweiche Rohre 4%,
- Nachweis der Hochdruckspülfestigkeit nach DIN 19523,
- Bettungstyp I nach DIN EN 1610 und Arbeitsblatt DWA-A 139 bei offener Bauweise,
- Bei Rohren mit profilierter Wandung nach DIN EN 13476-3: Dicke der durchgehenden Innenschicht mindestens 3,5 mm,
- Schächte müssen gegen Auftrieb gesichert sein. Sofern der Lastfall Grundwasser nicht maßgebend ist, muss mit einem Mindest-Wasserstand von bis 1,0 m unter Gelände gerechnet werden,
- Biegeweiche Schächte: Beulnachweis in axialer und radialer Richtung,
- Absturzbauwerk nur mit innenliegendem Untersturz, und weitere

Die uneingeschränkte Eignung von FBS-Beton- und FBS-Stahlbetonrohren für den Einsatz in Wassergewinnungsgebieten der Schutzzone III (Bild 4.1) wird mit den Wasserdichtheitsprüfungen nach DIN V 1201 und der FBS-Qualitätsrichtlinie Teil 1 nachgewiesen.



Bild 4.1: Wasserschutzzone

4.6 Hydraulische Leistungsfähigkeit - Wandrauheit

Die hydraulische Bemessung von Freispiegel- und Druckleitungen erfolgt heute allgemein nach dem Arbeitsblatt DWA-A 110 mit der Formel von Prandtl-Colebrook, wobei die Dimensionierung von neu zu erstellenden Abwassernetzen in der Regel nach dem sogenannten Pauschalkonzept durchgeführt wird, der Leistungsnachweis bestehender Netze nach dem Individualkonzept.

Im ersten Fall ist es zulässig für bestimmte Kombinationen von Verlustarten mit einem pauschalen Wert k_b für die betriebliche Rauheit zu arbeiten (siehe Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: Pauschalwerte für die betriebliche Rauheit k_b [mm] nach Arbeitsblatt DWA-A 110

Kanalart	Schachtausbildung		
	Regelschächte	angeformte Schächte	Sonder-Schächte
Transportkanäle	0,50	± 3	± 3
Sammelkanäle ≤ DN 1000	0,75	± 3	± 3
Sammelkanäle > DN 1000	–	± 4	± 4
Mauerwerkskanäle, Ortbetonkanäle, Kanäle aus nicht genormten Rohren ohne besonderen Nachweis der Wandrauheit	1,50		
Drosselstrecken (1), Druckrohrleitungen (1,2,3), Düker (1) und Reliningstrecken ohne Schächte	0,25		

1) ohne Einlauf-, Auslauf- und Umlenklverluste

2) ohne Drucknetze (siehe auch A 110 Abschnitt 9)

3) Auswirkungen auf Pumpwerke (siehe A 110 Abschnitt 9)

Der Pauschalansatz für k_b -Werte enthält in der Regel die Einflüsse von

- Wandrauheit,
- Lageungenauigkeit und -änderungen,
- Rohrstoßen,
- Zulaufformstücken und
- Schachtbauwerken.

Im Rahmen des Pauschalansatzes ist die effektive Wandrauheit für derzeit genormte Rohre einheitlich mit $k = 0,1$ mm, die Fließgeschwindigkeit mit $v = 0,8$ m/s angesetzt, um damit auch den Bereich der Teilfüllung abzudecken.

FBS-Beton- und FBS-Stahlbetonrohre zeigen ein günstiges hydraulisches Widerstandsverhalten nach Nikuradse. An der TH Darmstadt durchgeführte hydraulische Versuche haben Rauheitswerte ergeben, die zu den in Tabelle 4.2 aufgeführten Pauschalwerten für die betriebliche Rauheit einen hohen Sicherheitsabstand aufweisen [4.1].

Bei Anwendung des Individual-Konzeptes sind alle Einzelverluste zu berücksichtigen und haltungsweise zu einem k_b -Wert zusammenzufassen. Auch hierbei gilt für genormte Rohre die effektive Wandrauheit $k = 0,1$ mm. Ausführliche Hinweise dazu enthält das Arbeitsblatt DWA-A 110.

4.7 Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischen Angriffen

Eine hohe Betondruckfestigkeit, mindestens Druckfestigkeitsklasse C40/50, Verarbeitung des Betons mit geringem Wasserzementwert, hoher Verdichtung und fachgerechter Nachbehandlung sind die Voraussetzungen dafür, dass FBS-Rohre und FBS-Schachtfertigteile eine sehr hohe Abriebfestigkeit aufweisen.

Langjährige Beobachtungen an Abwasserleitungen und -kanälen haben gezeigt, dass die gemessenen absoluten Abriebwerte von FBS-Beton- und FBS-Stahlbetonrohren unbedeutend und für die Lebensdauer der Rohre vernachlässigbar klein sind [4.2] [4.3].

Bei noch höheren, in der Praxis in Abwasserleitungen und -kanälen nur selten auftretenden Fließgeschwindigkeiten und extremer Feststofffracht sind nach DIN V 1201 zur Beurteilung der Abriebfestigkeit zusätzliche Nachweise und geeignete Prüfverfahren zu vereinbaren. Ggf. kann ein hochfester Beton verwendet werden.

Die mechanischen Einwirkungen von sehr schnell fließendem Wasser ohne Feststoffe auf Rohrleitungen beruhen im Wesentlichen auf der Kavitation [4.4]. Erfahrungsgemäß tritt bei dauernd einwirkenden Fließgeschwindigkeiten von 8 bis 10 m/s bei FBS-Beton- und FBS-Stahlbetonrohren keine Kavitation auf. Wird durch geeignete bautechnische Maßnahmen, zügige Leitungsführung, hydraulisch günstige Ausbildung der Schächte und Bauwerke, Vermeidung senkrechter Aufprallflächen u.s.w. eine Kavitation verhindert, sind auch Fließgeschwindigkeiten von 12 m/s vertretbar. Erfahrungsberichte aus der Praxis zeigen, dass von FBS-Beton- und FBS-Stahlbetonrohren über lange Zeiträume auch Wassergeschwindigkeiten von 20 m/s und mehr schadlos überstanden wurden [4.5].

4.8 Widerstand gegen Hochdruckreinigung

Die Reinigung von Abwasserleitungen und –kanälen erfolgt heute überwiegend mittels Hochdruckspülung. Hierbei werden die Verunreinigungen im Kanal durch das Verfahren Hochdruckwasserstrahlen gelöst und abtransportiert. Die innere Rohroberfläche wird durch den Aufprall der Hochdruckwasserstrahlen erheblich belastet. Diese Belastung erfordert eine entsprechende Widerstandsfähigkeit des eingesetzten Rohrwerkstoffes.

Seit August 2008 erfolgt der Nachweis der Widerstandsfähigkeit nach der Norm DIN 19523. In der DIN 19523 werden die Anforderungen und Prüfverfahren geregelt. Es finden Untersuchungen nach klar vorgegebenen Anforderungen statt. Ergebnisse werden vergleichbar, wenn Versuche entsprechend der Norm DIN 19523 durchgeführt wurden.

Hier werden zwei Verfahren beschrieben:

Verfahren 1: Werkstoffprüfung

Verfahren 2: Praxisprüfung

Bei der Werkstoffprüfung wird ein Prüfkörper von mindestens 1,3 m Länge als Halbschale oder Rohr verwendet. Ziel ist es, die Probekörper möglichst unter reproduzierbaren Bedingungen zu belasten. Geprüft wird mit einer Spülstrahlleistungsdichte von $450 + 15 \text{ W/mm}^2$. Verwendet wird eine Einzeldüse mit einem Durchmesser von 2,5 mm.

Bei der Praxisprüfung wird eine mindestens 15 m lange Prüfstrecke aus Rohren und Formteilen aufgebaut. Geprüft wird mit einer Spülstrahlleistungsdichte von $330 + 15 \text{ W/mm}^2$ und mit Rundumstrahldüse mit 8 Einsätzen.

Die Intensität der Beanspruchung wird nicht wie in der Vergangenheit in bar sondern nach DIN 19523 als Spülstrahlleistungsdichte $D_j \text{ (W/mm}^2\text{)}$ angegeben. Die Spülstrahlleistungsdichte setzt sich aus folgenden Parametern zusammen: dem Durchfluss, dem Düsendurchmesser und dem Auftreffwinkel. Bei der Prüfung nach DIN 19523 werden sehr hohe Anforderungen an die Prüfeinrichtung gestellt. Selbst die Ausnutzung der Toleranzbereiche der Düsenöffnungsdurchmesser kann zu einer Spülstrahlleistungsdichte führen, die außerhalb des zulässigen Toleranzbereiches liegt.

Im Abschlussbericht „Untersuchung zur bedarfsorientierten Kanalreinigung unter Nutzung betrieblicher Synergien, Phase I & II, 2015“, gefördert durch das Ministerium für Klimaschutz,

Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz des Landes NRW und betreut durch das LANUV, wurde in Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität Bochum (RUB), Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik und dem Institut für Unterirdische Infrastruktur (IKT) festgestellt, dass bei üblichen Betriebseinstellungen die Spülstrahlleistungsdichte, selbst bei vermeintlich geringen Düsendrücken, über den für die Rohrwerkstoffe maßgeblichen Grenzwerten liegen kann. Die Grenzwerte zur Hochdruckspülbeständigkeit sind für Rohrwerkstoffe im Rahmen von Eignungsprüfungen festzulegen. Die Ergebnisse müssen den Netzbetreibern und dem Betriebspersonal bekanntgegeben werden.

Nach DIN V 1201 sind FBS-Betonrohre und FBS-Stahlbetonrohre Typ 2, hergestellt aus einem Beton C40/50, beständig gegenüber Hochdruckspülung.

Untersuchungen der Prüfstelle der Stadtentwässerung Zürich zeigen, dass eine gute Korrelation zwischen der Widerstandsfähigkeit gegen Beanspruchung aus der Hochdruck-Kanalreinigung und der Abriebfestigkeit eines Werkstoffes besteht. Somit weisen FBS-Betonrohre und FBS-Stahlbetonrohre aufgrund ihrer hohen Abriebfestigkeit gegenüber anderen Rohrwerkstoffen eine überdurchschnittlich hohe Widerstandsfähigkeit gegen Hochdruckreinigung auf. Die Berechnung der Spülstrahlleistungsdichte mit den Werten der Züricher Untersuchung ergibt einen Wert von $D_j \sim 470 \text{ W/mm}^2$. Voraussetzung dafür ist allerdings ein sachgemäßer Einsatz der Hochdruckspültechnik und die Verwendung geeigneter Düsen usw. [4.6].

4.9 Widerstand gegen chemische Angriffe

FBS-Betonkanalsysteme erfüllen die Anforderungen für die Expositionsklasse XA2 nach DIN EN 206, d.h. sie sind ohne zusätzlichen Schutz gegen „chemisch mäßig angreifende Umgebung“ beständig. Die Expositionsklasse XA2 ist bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser u.a. durch einen pH-Wert von $\geq 4,5$ definiert. Speziell für den Bereich der Abwasserableitung ist das Merkblatt DWA-M 168 zu berücksichtigen, welches einen ausreichenden Widerstand des Rohrbeton gegenüber Abwasser mit einem pH-Wert $\geq 5,5$ angibt. Da übliches kommunales Abwasser im pH-Bereich von 6,5 bis 10 liegt, sind FBS-Rohre und FBS-Schachtfertigteile aus Beton und Stahlbeton im allgemeinen beständig gegen die meisten natürlichen Grundwässer und Böden sowie gegen alle üblichen kommunalen und vergleichbaren industriellen Abwässer (Tabelle 4.3/Tabelle 4.4).

Tabelle 4.3: Grenzwerte zur Beurteilung des Angriffsgrades von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung nach DIN 4030 Teil 1

Chemisches Merkmal	Referenzprüfverfahren nach	XA1	XA2	XA3
Grundwasser				
SO ₄ ²⁻ mg/l	DIN EN 196-2	≥ 200 und ≤ 600	≥ 600 und ≤ 3.000	> 3.000 und ≤ 6.000
pH-Wert	ISO 4316	≥ 6,5 und ≤ 5,5	≥ 5,5 und ≤ 4,5	> 4,5 und ≤ 4,0
CO ₂ mg/l	DIN EN 13577:2007	≥ 15 und ≤ 40	≥ 30 und ≤ 60	> 100 bis zur Sättigung
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1:1984	≥ 15 und ≤ 30	≥ 15 und ≤ 30	> 60 und ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	DIN EN ISO 7980	≥ 300 und ≤ 1.000	≥ 1.000 und ≤ 3.000	> 3.000 bis zur Sättigung
Boden				
SO ₄ ²⁻ mg/kg ^a insgesamt	DIN EN 196-2 ^b	≥ 2.000 und ≤ 3.000 ^c	≥ 3.000 ^c und ≤ 12.000	> 12.000 und ≤ 24.000
Säuregrad	DIN 4030-2	≥ 200 Baumann-Gully	in der Praxis nicht anzutreffen	

- a Tonböden mit einer Durchlässigkeit von weniger als 10⁻⁵ m/s dürfen in eine niedrigere Klasse eingestuft werden.
- b Das Prüfverfahren beschreibt die Auslaugung von SO₄²⁻ durch Salzsäure; Wasserauslagerung darf statt dessen angewandt werden, wenn am Ort der Verwendung des Betons Erfahrung hierfür vorhanden ist.
- c Falls die Gefahr der Anhäufung von Sulfationen im Beton – zurückführend auf wechselndes Trocknen und Durchfeuchten oder kapillares Saugen – besteht, ist der Grenzwert von 3.000 mg/kg auf 2.000 mg/kg zu vermindern.

Tabelle 4.4: Grenzwerte für eine dauernde Beanspruchung von Beton durch kommunales Abwasser (aus Merkblatt DWA-M 168)

Angriffsrat	Angriffe z. B. durch	Beanspruchung bei üblichem kommunalen Abwasser	ausreichender Betonwiderstand gegeben	
			bei einer dauernden Beanspruchung – Richtwerte im Abwasser	bei Einhaltung folgender Anforderungen an den Beton
lösend durch Auslaugung	weiches Wasser	nicht gegeben	entfällt	
lösend durch Säureangriff	anorganische und organische Säuren	pH-Wert: 6,5 bis 10	pH-Wert: $\geq 6,5$	w/z $\leq 0,50^{3,4}$ und Wassereindringtiefe (DIN EN 12390-8) von ≤ 3 cm
	kalklösende Kohlensäure (CO ₂)	< 10 mg/l ¹	≤ 5 mg/l	
lösend durch Austauschreaktion	Magnesium (Mg ²⁺)	< 100 mg/l	≤ 1.000 mg/l	
	Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	< 100 mg/l	≤ 300 mg/l ⁵	
treibend	Sulfat (SO ₄ ²⁻)	< 250 mg/l	≤ 600 mg/l	wie oben ohne HS-Zement
			≤ 1.500 mg/l	wie oben ohne HS-Zement ⁴
			≤ 3.000 mg/l	wie oben mit HS-Zement

- 1 Im üblichen kommunalen Abwasser wird dieser Wert nicht erreicht. Allenfalls bei der Ableitung großer Mengen kohlenstoffhaltigen Grundwassers (z. B. Dränagewasser) ist in Einzelfällen ein Wert in der angegebenen Größenordnung denkbar.
- 2 Durch niedrigere w/z-Werte und durch die Verwendung von Beton mit besonderer Zusammensetzung wird der chemische Widerstand des Betons erheblich begünstigt.
- 3 Nach DIN EN 1916 und DIN EN 1917 darf der Wasserzementwert nicht größer als 0,45 sein.
- 4 Zur Herstellung von Beton mit hohem Sulfatwiderstand darf anstelle von HS-Zement nach DIN 1164-10 eine Mischung aus Zement und Flugasche verwendet werden, wenn folgende Bedingungen eingehalten sind:
 - Zementart CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM II/A-LL oder CEM III/A
 - Der Flugascheanteil, bezogen auf den Gehalt an Zement und Flugasche (z + f), muss bei den Zementarten CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S und CEM II/A-LL mindestens 20 % (Masseanteil), bei den Zementarten CEM II/A-T, CEM II/B-T und CEM III/A mindestens 10 % (Masseanteil) betragen.
- 5 Aus Gründen des Gewässerschutzes werden im Merkblatt DWA-M 115-2 für die Einleitung nicht häuslicher Abwasser niedrigere Richtwerte (100 mg/l bei Kläranlagen ≤ 5.000 EW bzw. 200 mg/l bei Kläranlagen > 5.000 EW) vorgeschlagen.

Erst bei Überschreitung der oben angeführten Grenzwerte sind besondere Schutzmaßnahmen erforderlich.

So ist z. B. bei Sulfatkonzentrationen von 600 bis 1500 mg/l Abwasser der Beton für FBS-Kanalsysteme unter Verwendung von Zement mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zement) oder einer Mischung aus Portlandzement und Flugasche herzustellen, bei Sulfatgehalten von 1500 bis 3000 mg/l ausschließlich mit SR- Zement.

Für zeitweilige oder kurzweilige Beanspruchungen sind nach dem Merkblatt DWA-M 168 deutlich höhere Grenzwerte möglich.

Tabelle 4.4: Grenzwerte für eine dauernde Beanspruchung von Beton durch kommunales Abwasser (aus Merkblatt DWA-M 168)

Angriffe z. B. durch	ausreichender Betonwiderstand gegeben		
	bei einer Beanspruchung		bei Einhaltung folgender Anforderungen an den Beton
	zeitweilig ¹	kurzzeitig ²	
	Richtwerte im Abwasser		
weiches Wasser	entfällt	entfällt	
anorganische Säure, z. B. Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure	pH-Wert: $\geq 5,5$	pH-Wert: ≥ 4	w/z $\leq 0,50^{2,3}$ und Wassereindringtiefe (DIN EN 12390-8) von ≤ 3 cm
organische Säure	pH-Wert: ≥ 6	pH-Wert: ≥ 4	
kalklösende Kohlensäure (CO ₂)	≤ 25 mg/l	≤ 100 mg/l	
Magnesium (Mg ²⁺)	≤ 3.000 mg/l	keine Begrenzung	
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	≤ 1.000 mg/l		
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	≤ 1.000 mg/l		wie oben ohne HS-Zement
	≤ 5.000 mg/l	wie oben ohne HS-Zement	

- 1 Unter „zeitweilig“ ist eine Beanspruchung zu verstehen, die während längerer Zeiträume, z. B. zwischen zwei Inspektionsterminen, im Laufe von zehn Betriebsjahren in der Größenordnung von maximal einem Jahr einwirkt. Diese besonderen Bedingungen können in Absprache mit dem Kanalnetzbetreiber planmäßig für notwendige Arbeiten an technischen Einrichtungen genutzt werden, die sich unvermeidbar über eine längere Zeitspanne erstrecken.
- 2 Für unplanmäßige Betriebszustände, bei denen für kurze Zeit höhere Beanspruchungen entstehen, gelten die unter „kurzzeitig“ aufgeführten Richtwerte (Spalte 3). Solche kurzen Ereignisse sind als unkritisch anzusehen, wenn sie höchstens einmal pro Woche für maximal eine Stunde eintreten.
- 3 Durch niedrigere w/z-Werte und durch die Verwendung von Beton mit besonderer Zusammensetzung wird der chemische Widerstand des Betons erheblich begünstigt.
- 4 Nach DIN EN 1916 und DIN EN 1917 darf der Wasserzementwert nicht größer als 0,45 sein.
- 5 Zur Herstellung von Beton mit hohem Sulfatwiderstand darf anstelle von HS-Zement nach DIN 1164-10 eine Mischung aus Zement und Flugasche verwendet werden, wenn folgende Bedingungen eingehalten sind:
 - Zementart CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM II/A-LL oder CEM III/A
 - Der Flugascheanteil, bezogen auf den Gehalt an Zement und Flugasche (z + f), muss bei den Zementarten CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S und CEM II/A-LL mindestens 20 % (Masseanteil), bei den Zementarten CEM II/A-T, CEM II/B-T und CEM III/A mindestens 10 % (Masseanteil) betragen. Einmaliges, stoßweises Einleiten betonangreifender Stoffe mit noch höheren Konzentrationen, das durch Missbrauch oder Unfall sehr kurzfristig auftritt (schwallartiger Ablauf), ist i. d. R. unmaßgeblich im Hinblick auf einen chemischen Angriff auf den Beton.

Chlorierte und aromatische Kohlenwasserstoffe (CKW/AKW) sind Schadstoffe, die nicht in den Wasserkreislauf gelangen dürfen. Diese Stoffe greifen den Werkstoff Beton grundsätzlich nicht an. Bei einer unplanmäßigen Einleitung von CKW/AKW in einen Abwasserkanal, z.B. in Folge eines Unfalls oder einer betrieblichen Störung, verhindert der Rohrbeton mit seinem dichten Gefüge für den Zeitraum der Sicherungsmaßnahmen den Austritt dieser Stoffe durch die Rohrwand [4.8].

Eine besondere Art des chemischen Angriffes stellt die vieldiskutierte "Biogene Schwefelsäurekorrosion" (BSK) oder "Sulfidkorrosion" dar (Bild 4.2). Mit ihrer Entstehung muss in teilgefüllten Abwasserkanälen bei sehr langen Fließstrecken mit zu geringem Gefälle und mangelhafter Durchlüftung d. h. bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten und langer Verweildauer des Abwassers im Kanal gerechnet werden. Besonders anfällige Stellen im Kanalnetz sind z. B. Pumpwerke, Austritte von Druckleitungen, Einleitungen aus Druckentwässerungssystemen, Abstürze und andere Bauwerke, die Turbulenzen hervorrufen.

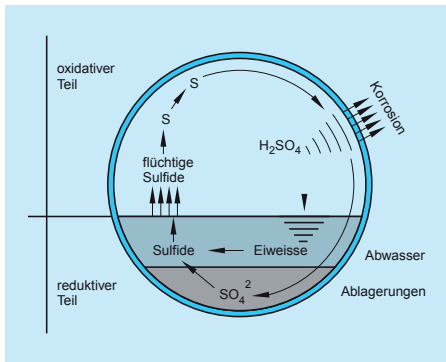


Bild 4.2: Prinzipieller Ablauf bei biogener Schwefelsäurekorrosion

Sulfidhaltige Abwässer verursachen nicht nur Korrosion an Rohren, Bauwerken und Werkstoffen, sondern auch massive Probleme bei der Arbeitssicherheit für das im Kanal arbeitende Personal. Im angefaulten Abwasser entstehender Schwefelwasserstoff ist ein heimtückisches und lebensgefährliches Gas! Darüber hinaus verursachen diese Abwässer Geruchsprobleme für die Anwohner sowie Probleme bei der Abwasserbehandlung in den Kläranlagen.

Durch planerische und betriebliche Maßnahmen müssen Sulfidprobleme unbedingt vermieden werden. Dem verantwortlichen Ingenieur stehen geeignete Unterlagen zur Verfügung, um Fehlentwicklungen rechtzeitig zu begegnen. Ein Rechenverfahren zur Abschätzung der in einer Abwasseranlage zu erwartenden Sulfidbedingungen sowie eine Sammlung konstruktiver Regeln zu ihrer Minimierung und Vermeidung sind dabei eine wertvolle Hilfe [4.9].

Geeignete planerische und konstruktive Maßnahmen sind:

- ausreichende Belüftung der Abwasseranlagen eventuell durch Anordnung zusätzlicher Lüftungsschächte oder einer technischen Belüftung,
- Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten bei Trockenwetter durch Einbau von FBS-Betonrohren und FBS-Stahlbetonrohren mit Eiquerschnitt, Trockenwetterrinne oder Drachenquerschnitt,
- bei aerobem Abwasser: schiefe Übergänge bei Querschnittsänderungen zur besseren Belüftung des Abwassers,
- bei anaerobem Abwasser: strömungsgünstige Gerinneführung in den Schachtbauwerken und Querschnittsänderungen im Sohlgerinne zur Vermeidung von Turbulenzen.

Auch betontechnologische Maßnahmen können die Sulfidkorrosion reduzieren, z. B. der oben erwähnte Einsatz von sulfatbeständigem Zement (SR-Zement), Verwendung von Hartkalkstein oder quarzitischen Zuschlägen.

Eine intensive Be- und Entlüftung des Gasraumes von Abwasserleitungen und -kanälen ist und bleibt die wirksamste Maßnahme gegen Sulfidentwicklung [4.10].

Ist Rohrbeton längere Zeit „chemisch stark angreifender Umgebung“ ausgesetzt, wie es in Abwasserleitungen und -kanälen nur in Ausnahmefällen vorkommt, reichen betontechnologische Methoden allein nicht mehr aus, um eine Korrosion zu verhindern. Für diesen Fall können die FBS-Mitgliedsfirmen maßgeschneiderte und wirtschaftliche Lösungen für nahezu jeden Angriffsgrad und Anwendungszweck anbieten.

Bewährt haben sich hierfür Hochleistungsbetone der Festigkeitsklasse C 70/85 und höher unter Verwendung von hochreaktiven puzzolanischen Feinstoffen (z.B. Silicastaub) gemäß Merkblatt DWA-M 168 sowie Auskleidungen der Kanalbauteile mit geeigneten Werkstoffen (z.B. PVC, HDPE, PP, Keramik).

4.10 Temperaturverhalten

FBS-Betonrohre und FBS-Stahlbetonrohre erfüllen die Anforderungen an das Temperaturverhalten entsprechend DIN EN 476. Sie sind gegenüber ständig auftretenden Wassertemperaturen von 45° C (bei Nennweiten ≤ DN 200) bzw. 35° C (bei Nennweiten > DN 200)

beständig. An der Eintrittsstelle einer Anschlussleitung in den Kanal kann die Abwassertemperatur kurzzeitig bis zu 95° C betragen.

4.11 Umweltverträglichkeit und Ökobilanz

FBS-Betonkanalsysteme sind umweltverträglich und weisen eine konkurrenzlos günstige Ökobilanz auf (Bild 4.3, 4.4) [4.11].

- Für die Herstellung werden nur natürliche, heimische Rohstoffe verwendet.
- Rohstoffgewinnung und Ort der Fertigteilherstellung liegen nah beieinander, die Transportwege sind kurz.
- Der zur Herstellung erforderliche Primärenergieaufwand, der zur CO₂-Emmision führt, ist unschlagbar niedrig.
- Wechselwirkungen mit der Umwelt treten nicht auf. Beton enthält keine niedermolekularen, organischen Substanzen, die in das Grundwasser gelangen können.
- Das Material kann problemlos recycelt und als Baustoff wiederverwendet werden
- Der Werkstoff ist instandsetzungsgerecht.

Werkstoffspezifische Energieaufwände und CO ₂ -Emissionen (nach [2]) für Bereitstellung und Herstellung		
Rohrwerkstoff	Spez. Energieaufwand [MJ/kg]	Spez. CO ₂ -Emission [kg CO ₂ /kg]
Beton	1,24	0,148
Steinzeug	7,03	0,409
Duktiles Guss-eisen	19,55	1,430
PVC-U	68,3	4,860

Bild 4.3: Werkstoffspezifische Energieaufwände und CO₂-Emissionen (nach [2]) für Bereitstellung und Herstellung.

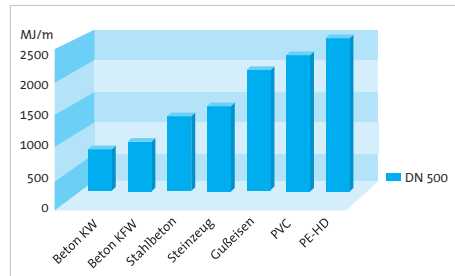


Bild 4.4: Spezifischer Energieverbrauch pro Meter eines geraden Rohrstranges (inkl. Dichtung) [11]

4.12 Lebensdauer

Abwasserleitungen und -kanäle sowie Kläranlagen stellen fast immer das größte Vermögen der Kommunen dar. Abwasseranlagen müssen daher eine möglichst hohe Nutzungs- bzw.

Lebensdauer aufweisen. Dies ist insbesondere auch vor dem Hintergrund einer Gesamtwirtschaftlichkeitsrechnung zu betrachten. Rahmendaten für technische Nutzungsdauern sind z.B. in den Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien) der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), der DWA und des DVGW enthalten:

Für abwassertechnische Anlagen ist darin für Kanäle (Neubau und Erneuerung) unabhängig vom Rohrwerkstoff eine Nutzungsdauer von 50 - 80 (100) Jahren angegeben.

Daraus ergibt sich ein betriebswirtschaftlicher Abschreibungssatz von 1-2% pro Jahr.

Aufgrund ihrer Eigenschaften besitzen die heutigen FBS-Beton- und FBS-Stahlbetonrohre bei einer fachgerechten Bauausführung und bei bestimmungsgemäßer Nutzung eine Lebensdauer von weit über 100 Jahren.

Mehr als ein Viertel der in Deutschland vorhandenen Abwasserkanäle sind über 50 Jahre alt und mehr als die Hälfte aller Kanäle sind mit Beton- und Stahlbetonrohren ausgeführt. Das ist der beste Beweis für die Dauerhaftigkeit des Rohrwerkstoffes Beton.