

Leistungsfähigkeit von Beton in Bauwerken zur Abwasserentsorgung

Performance of concrete used in structures for sewage disposal systems

Ulrich Neck, Düsseldorf

Übersicht

Die Beseitigung der kommunalen und industriellen Abwässer erfordert ein weitverzweigtes Kanalnetz und eine große Anzahl von Kläranlagen. Beton ist aufgrund seiner umfassenden technischen Leistungsmerkmale und der Wirtschaftlichkeit ein geeigneter und bewährter Baustoff für den Bau von Abwasseranlagen. Festigkeit, Dichtigkeit und die Beständigkeit gegenüber Betriebs- und Umwelteinwirkungen sind die stofflichen Voraussetzungen für die nötige langfristige Gebrauchstauglichkeit der Abwasserbauwerke.

Im Kläranlagenbau werden die Becken für die Abwasserbehandlung sowie die Behälter und Türme für die Schlammfäulung fast ausschließlich aus Stahl- bzw. Spannbeton gebaut. Die bestehenden Regelwerke wie DIN 1045 und DIN 19569 enthalten die notwendigen Festlegungen für die anforderungskonforme Zusammensetzung und den sachgerechten Einbau des Betons. Im Kanalbau, für den das Rohr das signifikante Bauteil ist, steht der Beton im Wettbewerb mit anderen Rohrwerkstoffen wie Steinzeug, Kunststoff oder duktilem Guß. Rohre für einen langfristig dichten und gebrauchstauglichen öffentlichen Abwasserkanal müssen vor allem tragfähig, robust, formstabil und widerstandsfähig gegenüber den betrieblichen Beanspruchungen durch Abwasser sowie gegenüber Reinigungsmaßnahmen sein. Übliche Rohrbetone erfüllen diese Forderungen. Sie erreichen hohe Druckfestigkeiten von 50 bis 60 N/mm² und besitzen aufgrund der relativ geringen Wasserzementwerte eine hohe Dichtigkeit. Dadurch ist ein hoher Widerstand gegen Verschleiß und chemischen Angriff gegeben. Die Praxis hat gezeigt, daß Betonrohre auf Dauer einen ausreichenden Widerstand gegenüber kommunalem Abwasser mit einem pH-Wert $\geq 6,5$ sowie bei zeitlich begrenzter Einwirkung gegenüber Abwässern mit niedrigeren pH-Werten besitzen.

1 Einleitung

Laut Statistik fallen in Deutschland jährlich rd. 8 Mrd. m³ kommunales Abwasser an, von denen im Jahre 1995 etwa 92% [1] über das öffentliche Kanalnetz entsorgt wurden. Dies erfordert ein weitverzweigtes Kanalnetz und eine große Anzahl von Kläranlagen. Der stetig fließende Abwasserstrom bedingt Abwasserbeseitigungsanlagen von hoher technischer Funktionalität und betrieblicher Zuverlässigkeit. Wie die Praxis zeigt, besitzt der Baustoff Beton aufgrund seiner Leistungsmerkmale die grundlegenden Voraussetzungen, um die vielfältigen Bauwerke der Abwasserentsorgung mit der erforderlichen Nutzungssicherheit erstellen zu können. Dies gilt nicht erst seitdem neuzeitliche Herstellverfahren und moderne Belontechnologien eingesetzt werden. Schon im Altertum setzten die Römer den Beton in Form des „Opus Caementitium“ für den Bau von Abwasseranlagen ein [2].

Die Abwasserentsorgung findet in einem geschlossenen System statt, das schematisch in Bild 1 dargestellt ist. Man unterscheidet drei Bereiche: das Entstehen, das Sammeln und Transportieren sowie das Reinigen des Abwassers. Die Abwasserfracht in kommunalen Entwässerungssystemen kommt zum einen aus den Haushalten, zum anderen aus gewerblichen und industriellen Bereichen und wird zusätzlich durch den Regen, der auf Gebäude oder befestigte

Abstract

The disposal of municipal and industrial sewage requires a widely branching sewer system and a large number of sewage treatment plants. Due to its comprehensive technical performance characteristics and its economic efficiency, concrete is a suitable and proven building material for the construction of waste water disposal systems. Strength, impermeability and durability towards operational and environmental impacts constitute the material preconditions for the long-term serviceability required of structures in the waste water domain.

In sewage treatment plant engineering, the basins for waste water treatment and the containers and towers for sludge digestion are almost exclusively made from reinforced and prestressed concrete, respectively. The existing sets of rules, such as DIN 1045 and DIN 19569, contain the necessary provisions governing the concrete composition conforming to requirements and the proper installation of concrete. In the construction of sewer systems, in which pipes are the pivotal components, concrete faces competition from other pipe building materials, such as ceramics, plastics, or ductile casts. For a public sewer to be tight and serviceable in the long run, its pipes must primarily be of high load-bearing capacity, robust, stable in shape, and resistant to operational strain caused by sewage and cleaning operations. The pipe concretes commonly used meet these requirements. They attain high compressive strengths of 50 to 60 N/mm² and are highly impermeable owing to their relatively low water/cement ratio, which ensures high resistance to wear and chemical attack. Practical use has shown concrete pipes to be sufficiently resistant to municipal waste water with a pH value of ≥ 6.5 in the long run, and to waste water with lower pH values if exposure is limited in time.

1 Introduction

According to statistics approximately 8 billion m³ of municipal sewage is produced in Germany annually, about 92% [1] of which was dis-

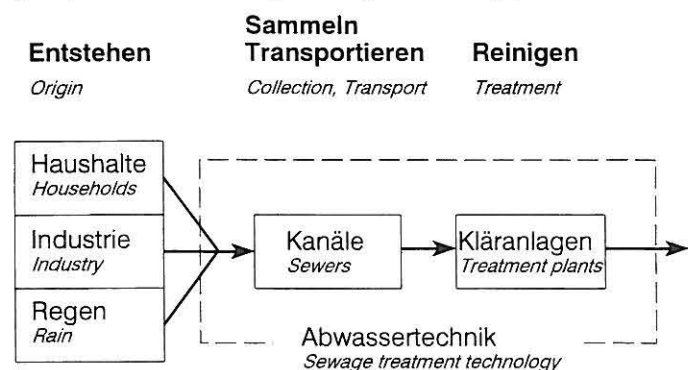


Bild 1 Schematische Darstellung der wesentlichen Stationen der Abwasserentsorgung

Fig. 1 Schematic diagram illustrating the vital stages of sewage treatment

Flächen fällt, erhöht. Im öffentlichen Kanalnetz in Deutschland, dessen Gesamtlänge auf 390000 km geschätzt wird, fließt das Abwasser zu den über 10000 öffentlichen Kläranlagen. Kanalnetz und Kläranlagen sind die wichtigsten Bauwerke der Abwassertechnik bzw. -entsorgung.

Es ist Ziel dieser Abhandlung, die Leistungsmerkmale des Betons zur Erfüllung der an Bauwerke der Abwasserentsorgung gestellten Anforderungen darzustellen sowie die Zusammenhänge zu verdeutlichen, die Beton als geeigneten Baustoff für solche Bauwerke auszeichnen.

2 Grundlegende Anforderungen an Abwasseranlagen

Die grundlegenden Anforderungen an Anlagen der Abwasserentsorgung resultieren aus abwassertechnischen, umweltrechtlichen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Gemäß Tafel 1 lassen sich diese Forderungen näher eingrenzen. Da der Abwasserstrom in seiner Intensität zwar schwankt, aber nie versiegt, ist eine hohe Funktionssicherheit der Anlagen erforderlich. Aus Kostengründen müssen sie eine lange Nutzungsdauer ermöglichen, d. h. Bauwerke der Abwasserentsorgung müssen allen Einwirkungen einen dauerhaften Widerstand entgegensetzen, damit sie möglichst lange frei von Unterbrechungen wie Reparaturen und Instandhaltung betrieben werden können. Bei Kanälen werden z. B. durch die LAWA-Leitlinie für Kostenvergleichsrechnungen [3] Nutzungszeiten von 80 bis 100 Jahren vorausgesetzt. Zum Zwecke des Grundwasser- und Bodenschutzes muß das System gegen Leckagen dicht sein; eine aus dem Wasserhaushaltsgesetz resultierende Forderung. Dieses Gesetz verpflichtet die Betreiber von Abwasseranlagen, die Anlagen derart zu nutzen und zu pflegen, daß keine Gefährdungen des Grundwasser eintreten. In ihrer Kapazität sind die Anlagen so auszulegen, daß sie die jeweiligen Abwassermengen aufnehmen können und eine optimale Reinigung im Klärprozeß sichergestellt ist.

Tafel 1 Grundlegende Anforderungen an Abwasseranlagen in Abhängigkeit von abwassertechnischen, umweltrechtlichen und wirtschaftlichen Aspekten

Table 1 Basic requirements for sewage works depending on aspects relating to sewage treatment technology, environmental stipulations and economic efficiency

Grundanforderungen bei Abwasseranlagen <i>Basic requirements in sewers and plants</i>	
aufgrund von/resulting from:	Funktionssicherheit <i>Functional reliability</i>
Abwassertechnik <i>Sewage treatment technology</i>	lange Nutzungsdauer <i>Longterm service life</i>
Umweltrecht <i>Environmental laws</i>	Dauerhaftigkeit <i>Durability</i>
Wirtschaftlichkeit <i>Economy</i>	Grundwasserschutz <i>Safety of groundwater</i>
	richtige Kapazität <i>Adequate capacity</i>

Neben den wichtigen technischen Aspekten bekommt die Frage nach der Wirtschaftlichkeit zunehmende Bedeutung, weil die Investitionskosten für die Anlagen durch die Abwassergebühren finanziert werden müssen. Derzeit entfallen etwa 60 % der jährlichen 30 Mrd. DM Gesamtkosten für die Abwasserbeseitigung auf Abschreibungen und kalkulatorische Zinsen für die geleisteten baulichen Investitionen. Somit sind Bauweisen, mit denen kostengünstige und auch langlebige Anlagen erstellt werden können, Voraussetzung für eine langfristig gesicherte Abwasserentsorgung unter zumutbaren Kosten und mit dem angestrebten hohen technischen und ökologischen Leistungsniveau.

3 Der Baustoff Beton und die Betonbauweise

Beton ist ein mineralischer Baustoff, der je nach Zusammensetzung und Verarbeitung gezielt unterschiedliche Festigkeits- und Dichtkeitsigenschaften aufweist.

posed of via the public sewer system in 1995. This requires a widely branching sewer system and a large number of waste water treatment plants. The continuously running flow of sewage requires sewage disposal systems of high technical functionality and operational reliability. Practical use has shown concrete to be a building material that, owing to its performance characteristics, possesses the fundamental characteristics for providing the variety of structures in the waste water domain with the necessary safety in use. This was true even before state-of-the-art manufacturing processes and modern concrete technology were applied. As far back as in antiquity the Romans used concrete in the form of „opus caementitium“ to construct sewage disposal facilities [2].

Waste water disposal takes place in a closed system diagrammatically depicted in Fig. 1. It comprises the three separate fields of origin, collection and transport, and treatment of sewage. The sewage handled in municipal sewer systems is produced by households on the one hand and by the commercial and industrial sectors on the other, and is additionally increased by the rain falling on buildings or paved areas. In the German public sewer system, which has an estimated length totalling 390,000 km, the waste water is funnelled to more than 10,000 public sewage treatment works. The sewer system and the sewage treatment works are the most important structures in waste water technology and disposal, respectively.

The present treatise aims at delineating the performance characteristics of concrete in meeting the demands made on structures in the waste water domain and at clarifying the contexts that make concrete stand out as a suitable building material for these structures.

2 Basic requirements for sewage disposal facilities

The basic requirements to be met by waste water disposal systems are determined by aspects relating to sewage treatment technology, environmental stipulations and economic efficiency. According to Table 1 these requirements can be further delimited. Although the sewage flow may fluctuate in quantity, it never trickles off entirely, which is why the facilities must be of high functional reliability. For cost reasons they must warrant a long service life, i.e. structures used in waste water disposal must resist all kinds of influences lastingly in order to be serviceable as long as possible without any interruptions for repair or maintenance being necessary. Sewers are presupposed to have working life spans of 80 to 100 years, which is for example set out in the LAWA guideline for cost comparison methods [3]. To ensure ground water and soil protection the system must be tight against leakage. This demand is laid down in the Water Resources Law, according to which it is obligatory for the operators of sewage disposal facilities to operate and maintain the facilities in such a way as to prevent any hazards to the ground water from arising. The capacity of the systems is to be designed large enough to accommodate the respective waste water quantities and to ensure optimum clearing in the treatment process.

Apart from relevant technical aspects the issue of economic efficiency has become increasingly important since the capital costs invested in the facilities have to be financed by sewage disposal charges. At present the depreciation of and the imputed interest on investments in the structures installed account for about 60% of the total cost of DM 30 billion accruing in waste water disposal annually. Construction techniques that permit to build cost-efficient and long-lived facilities thus constitute the precondition for ensuring sewage disposal in the long run and at reasonable cost while attaining the high technical and ecological level of performance striven for.

3 Concrete as a building material and concrete construction

Concrete is a mineral building material the different strength and tightness properties of which can be purposefully adjusted depending on its composition and processing.

Concrete construction inherently implies that concrete components can be moulded to fit their function and dimensioned and designed with regard to the load-bearing capacity required. To compensate for the tensile strength of concrete, which is low relative to its high compressive strength, components having a substantial free span and required to be free of cracks are armoured by reinforcing or prestressing steel. In terms of composition and overlap, the concrete protecting the reinforcement is dimensioned so as to prevent the cor-

Es gehört zum Wesen der Betonbauweise, daß Bauteile aus Beton funktionsgerecht geformt und auf die notwendige Tragfähigkeit hin dimensioniert und konstruktiv ausgebildet werden können. Zur Kompensation der im Verhältnis zur hohen Druckfestigkeit geringen Zugfestigkeit des Betons werden Bauteile mit größeren Spannweiten und bei der Forderung nach Reißfreiheit durch Beton- oder Spannstahl bewehrt. Der die Bewehrung schützende Beton wird in Zusammensetzung und Überdeckung so dimensioniert, daß eine Korrosion der Bewehrung langfristig auch bei dauernder Feuchte- und Abwasserwirkung vermieden wird.

Für die Anwendung der Betonbauweise im Abwasserbereich gelten in Normen festgelegte technische Regeln, wie sie z. B. in der DIN 1045 „Beton- und Stahlbetonbau“ [4] enthalten sind, auf die häufig in den Normen für den Kläranlagenbau oder für die Rohrerstellung Bezug genommen wird (siehe Abschnitte 4 und 5).

4 Leistungsfähigkeit von Beton im Kläranlagenbau

Beim Bau von Kläranlagen mit Becken zur Abwasserbehandlung sowie Behältern und Türmen für die Schlammfäulung werden überwiegend Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbauteile verwendet, die vielfach in Ortbetonbauweise ausgeführt werden. Die nahezu unbegrenzte Formbarkeit des Betons erlaubt es, die teilweise komplizierten Bauwerke mit den vielfältigen Zwischenwänden, Podesten und Unterteilungen in den nötigen anlagenspezifischen Dimensionen ohne Dehnfugen herzustellen. Solche monolithischen Konstruktionen haben sich in der Praxis bewährt. Zum Baustoff Beton gibt es beim Kläranlagenbau kaum eine Alternative. Deshalb ist es besonders wichtig, die Möglichkeiten der Betonbauweise für diese Bauwerke technisch und wirtschaftlich zu optimieren.

Die teilweise im Erdreich liegenden Becken und die Türme sind zum einen der freien Bewitterung ausgesetzt, zum anderen sind sie mit Abwasser oder Klärschlamm gefüllt. Die daraus resultierenden statischen Beanspruchungen aus Erd- oder Wasserdruck sowie aus den Lasten der Maschineneinrichtungen und dem Abrieb z. B. durch die Laufwerke der Räum- und Lüfterbrücken können vom Beton sicher aufgenommen werden. Besondere Bedeutung besitzen die Dauerhaftigkeitsanforderungen an den Beton, wie der Frostwiderstand der Becken und der Frost-Tausalz-widerstand z. B. der Räumlaufbahnen oder der chemische Widerstand, aber auch die Forderung nach Dichtigkeit. Voraussetzung ist, daß die Betone nach den bestehenden Regeln, wie DIN 1045 oder der Kläranlagennorm DIN 19 569 [5] sowie z. B. nach den Hinweisen zur Herstellung von Beton für Kläranlagen [6] zusammengesetzt sind und sachgerecht eingebaut und nachbehandelt werden. Nur so kann die Entstehung eines möglichst dichten Gefüges erreicht werden und Schwind- und Temperaturspannungen weitgehend gering bleiben.

Die in Vorschriften und im technischen Schrifttum zum Thema Kläranlagenbau mit Beton [7] zusammengetragenen Erfahrungen weisen den Weg, wie ein qualitativ hochwertiger Baustoff anforderungsgerecht erzeugt werden kann und wie die notwendige fachgerechte Ausführung der Bauten gewährleistet wird. Damit wird sichergestellt, daß die erfahrungsgemäß umfassende technische Leistungsfähigkeit der Betonbauteile zuverlässig erreicht wird.

5 Leistungsfähigkeit von Beton im Kanalbau

5.1 Einführung

Bauteile für kommunale Abwasserkanäle sind funktionsbedingt sehr vielfältig. Das signifikante Bauteil ist das Rohr, an dem sich die Leistungsfähigkeit des Baustoffs Beton für diesen Anwendungsbereich allgemein verdeutlichen läßt. Da im Rohrbereich Beton mit Produkten aus anderen Baustoffen wie Steinzeug, duktilem Guß oder Kunststoff im Wettbewerb steht, ist eine umfassende Darstellung der technologisch begründeten Leistungsmerkmale für die Argumentation im Entscheidungsprozeß über die Stoffauswahl wichtig.

Aufgrund seiner Formbarkeit kommt Beton als Kanalbaustoff nahezu ausnahmslos dann zur Anwendung, wenn die Rohrprofile vom Kreisprofil abweichen, wie z. B. Ei- oder Kastenprofile, oder wenn es sich um besondere Schacht- und Verzweigungsbauteile sowie Pumpstationen handelt.

rosion of the reinforcement in the long run, even if it is permanently exposed to humidity and sewage.

The application of concrete construction in the waste water domain is subject to technical rules laid down in standards, as for example comprised in DIN 1045 „Reinforced concrete structures“ [4], that are often referred to in the standards governing sewage treatment plant engineering or pipe production (see sections 4 and 5).

4 Performance of concrete in sewage treatment plant engineering

The components most commonly used in the construction of sewage treatment works comprising sewage treatment basins as well as digesters consist of concrete, reinforced concrete and prestressed concrete tend to be made from in-situ concrete. The almost unlimited mouldability of concrete permits the sometimes complicated structures with multiple partition walls, sockets and subdivisions to be produced in the dimensions required by the specific plant design without any expansion joints occurring. Monolithic constructions of that kind are proven in practical use. There is hardly any alternative to concrete in sewage treatment plant engineering. For that reason, the technical and economic optimization of the possibilities concrete construction offers for these structures is of particular importance.

For one thing, the basins, which are partly embedded in the soil, and the digesters are exposed to weathering, for the other, they are filled with sewage or sewage sludge. Concrete can safely absorb the static stresses resulting from soil or water pressure and from the load of machinery and the abrasion for example caused by the running gears of the rotating scraper and aeration bridges. The demands on the durability of concrete, such as the freeze-thaw resistance of the basins and the resistance to freeze-thaw with de-icing salt of the rotating scraper tracks, for instance, or chemical resistance, but also the requirement of impermeability are of particular importance. This presupposes the composition of the concretes in conformity with existing rules – such as DIN 1045 or the DIN 19 569 [5] standard on sewage treatment works – and for example in compliance with the guidelines for producing concrete to be used in waste water treatment plants [6], as well as its expert installation and curing. This is the only way of obtaining a structure of maximum possible impermeability and of keeping shrinkage and temperature stresses relatively low.

The experiences compiled in regulations and technical literature dealing with concrete in sewage treatment plant engineering [7] demonstrate how to produce a high-quality building material in conformity with requirements and how to make sure that the structures are carried out as expertly as necessary. This ensures that the technical performance of the concrete components, which experience shows to be comprehensive, can be safely achieved.

5 Performance of concrete in sewer construction

5.1 Introduction

There is a great variety of components in municipal sewers to provide for the multiple functions. The most significant component is the pipe, which serves to exemplify the performance of concrete in this field of application in general. As in the pipe construction field concrete competes with products made from other building materials, such as ceramics, ductile casts, or plastics, a comprehensive account of technology-based performance characteristics is important for the argumentation in decision-making on the choice of building materials.

Owing to its mouldability concrete is the sewer building material almost exclusively applied when pipe sections are not circular, but display an egg-shaped or box-shaped section instead, or when special shaft or branching structures and pumping stations are built.

5.2 Requirements for sewer pipes

Operating conditions, demands on service and maintenance, and laying and installation conditions necessitate a number of specific technical requirements (Table 2). Load-bearing capacity and dimensional stability are required both during installation and in use. They are closely linked to the need for robustness, which is of particular importance during laying in order to prevent primary damage, particularly cracks, from being caused by work on the site. Positional sta-

Tafel 2 Anforderungen an Kanalbauteile in Abhängigkeit von Gebrauchs-, Betriebs- oder Verlegezustand

Table 2 Requirements for sewer components depending on the state of use, service, or installation

Anforderungen an Kanalbauteile <i>Requirements for elements in sewers</i>	
Zustand <i>Condition</i>	Anforderung <i>Requirement</i>
Gebrauch <i>In use</i>	Tragfähigkeit <i>Load capacity</i>
Betrieb/Wartung <i>Service/maintenance</i>	Formstabilität <i>Dimensional stability</i>
Verlegen/Einbau <i>Installation</i>	Robustheit <i>Robustness</i>
	Lagestabilität <i>Longterm stable position</i>
	Dichtigkeit <i>Tightness</i>
	Abriebwiderstand <i>Wear resistance</i>
	Chemischer Widerstand <i>Chemical resistance</i>
	Begehbarkeit <i>Possibility to pass along</i>

Tafel 3 Auflistung der technischen Leistungsmerkmale von qualitativ guten Betonrohren

Table 3 Listing of the technical performance characteristics of high-quality concrete pipes

Leistungsmerkmale von Rohrbeton <i>Performance characteristics of pipe concrete</i>	
Festigkeit <i>Strength</i>	50 bis 60 N/mm ² (Druckfestigkeit) <i>50 bis 60 N/mm² (compressive strength)</i>
Dichtigkeit <i>Tightness</i>	flüssigkeitsdicht, gasdicht in Betrieb <i>tight against fluids and gases in service</i>
Formbarkeit <i>Mouldability</i>	anpaßbare Wanddicke, variable Querschnittsform <i>Choice of wall-thickness, Variaty in cross-section</i>
Verschleißwiderstand <i>Wear resistance</i>	wie bei guten Straßenbauprodukten <i>as of good paving units</i>
Schlagfestigkeit <i>Resistance to impact</i>	keine Zerstörung durch schwere Steine <i>no damage by heavy stones</i>
chemischer Widerstand <i>Chemical resistance</i>	für kommunale Abwässer gegeben <i>Sufficient for domestic sewage</i>
Gewicht <i>Weight</i>	Rohdichte: > 2,3 t/m ³ <i>Density: > 2,3 t/m³</i>

5.2 Anforderungen an Abwasserrohre

Aus dem Gebrauchszustand, den Anforderungen an Betrieb und Wartung sowie aus dem Verlege- und Einbauzustand resultieren eine Reihe von konkreten technischen Anforderungen (Tafel 2). Tragfähigkeit und Formstabilität sind sowohl im Bau- als auch im Gebrauchszustand gefordert. Eng damit verknüpft ist die Forderung nach Robustheit, die besonders beim Verlegen notwendig ist, damit durch den Baustellenbetrieb Erstschäden, vor allem Risse, vermieden werden. Lagestabilität ist eine weitere Anforderung, die nicht nur für die gesamte Nutzungszeit gilt, sondern auch einen Einbau mit geringerem Aufwand möglich macht. Die Dichtigkeit der Rohrwand sowie von Stoß- und Verbindungsstellen ist eine weitere unverzichtbare Voraussetzung für eine langfristige Funktionssicherheit.

Aus Betriebsbelangen und zur Sicherung der langfristigen Gebrauchstauglichkeit der Kanäle bestehen Anforderungen an die Dauerhaftigkeit zur Vermeidung von Verschleiß und Abrieb, z. B. durch den Hochdruckwasserstrahl bei der Reinigung, sowie zur Verhinderung von chemischem Angriff. Zur besseren Wartung bieten begehbare Rohrquerschnitte Vorteile.

5.3 Leistungsprofil von Betonrohren

Die betontechnischen Leistungsmerkmale des Rohrbetons und die daraus resultierenden Bauteileigenschaften kennzeichnen die Leistungsfähigkeit von Betonrohren. In Tafel 3 sind die entsprechenden Leistungsmerkmale zusammengestellt.

Rohrbetone erreichen hohe Druckfestigkeiten von 50 bis 60 N/mm² und mehr. Rohrbetone dieser Druckfestigkeit sind praktisch flüssigkeitsdicht und im feuchten Gebrauchszustand auch gasdicht. Der wesentliche Grund für diese Eigenschaften sind in der Regel niedrige Wasserzementwerte von 0,36 bis 0,38. Für die derzeit überwiegend mit einer Sofortentformung verbundene Herstelltechnik werden wegen der erforderlichen Grünstandfestigkeit erdfeuchte Betone benötigt, die einen entsprechend geringen Anmachwassergehalt aufweisen. In Tafel 4 sind charakteristische Angaben zur Zusammensetzung und den zugehörigen Festigkeits- und Dichteigenschaften solcher Rohrbetone zusammengestellt. Das Bild 2 zeigt die Porengrößenverteilung dieser Betone im Bereich unterhalb 1 µm im Vergleich mit einem Beton mit w/z = 0,60. Die geringe Porosität erklärt die hohe Dichtigkeit. Diese Daten sind Untersuchungen zur Durchlässigkeit von Rohrbetonen gegenüber CKW entnommen [8].

Die Formbarkeit des Betons erlaubt die Anpassung der Rohrwanddicken an die erforderliche Tragfähigkeit und den notwendigen Verformungswiderstand. Zudem lassen sich dadurch praktisch alle geforderten Querschnittsformen und -größen erzielen. Der Verschleißwiderstand von Rohrbeton liegt, überprüft mit der Böhme-Scheibe

bility is a further requirement that does not only have to be met throughout service life, but also facilitates installation. The tightness of pipe walls and of joint and junction points constitutes another indispensable precondition of long-term functional reliability.

For operating reasons and to ensure that the sewers are fit for purpose for a long time to go, they need to be durable in order to forestall wear and abrasion, which might be caused by the high-pressure water jet during cleaning, and to prevent chemical attack. Pipe sections that enable personnel to pass along are advantageous for maintenance.

5.3 Performance profile of concrete pipes

The technical performance characteristics of pipe concrete and the resulting component properties determine the level of performance of concrete pipes. Table 3 summarizes the corresponding performance characteristics.

Pipe concretes attain high compressive strength of 50 to 60 N/mm² and more. Pipe concretes of such high compressive strength are virtually impermeable to liquid, and gas-tight as well when moist under operating conditions. These properties are substantially attributable to low water cement ratios of 0.36 to 0.38. Owing to the necessary green stability, the production technique, which at present most commonly involves instantaneous demoulding, requires earth-dry concrete having a correspondingly low content of mixing water. Table 4 summarizes characteristic data on the composition and the associated strength and tightness properties of such pipe concretes. Fig. 2 illustrates the pore size distribution of these concretes below 1 µm in comparison with a concrete having a w/c of 0.60. The high tightness can be explained by the low porosity. The data has been derived from investigations on the permeability of pipe concretes to chlorinated hydrocarbons [8].

The mouldability of concrete allows the thickness of the pipe walls to be adapted to the load-bearing capacity required and to the necessary resistance to deformation. In addition to that, it permits to obtain virtually all section shapes and sizes required. As checks conducted with a Böhme disc abrader according to DIN 52 108 have shown, the wear resistance of pipe concrete is so high that it would be sufficient for road building products exposed to extraordinary mechanical stresses, e.g. caused by tracklaying vehicles. Up to now, no damage to concrete sewers attributable to abrasive stresses has been observed. The resistance to impact of concrete pipes is sufficient to prevent them from being destroyed, e.g. by heavy stones, during laying and joint filling operations. In comparison to ceramic materials, for example, even unreinforced concrete is more ductile and thus less susceptible to sustaining cracks and brittle fractures, respectively.

Tafel 4 Charakteristische Angaben zur Zusammensetzung und den wesentlichen Eigenschaften von Rohrbetonen (grünstandfest)

Table 4 Characteristic data on the composition and the essential properties of concretes for pipes (green concrete stability)

Rohrbeton Pipe concrete		
Konsistenz <i>Consistency</i>		erdfeucht <i>earth-dry</i>
Zementgehalt <i>Cement content</i>	kg/m ³	ca. 350
w/z-Wert <i>w/c-ratio</i>		0,36 - 0,38
Wassergehalt <i>Water content</i>	l/m ³	ca. 130
Druckfestigkeit <i>Compressive strength</i>	N/mm ²	63 - 68
Rohdichte <i>Density</i>	kg/dm ³	2,33 - 2,36
Wasseraufnahme Vol.-% <i>7 d in Wasser/14 d Trocknung</i> <i>Water absorption</i>		10 - 8,5

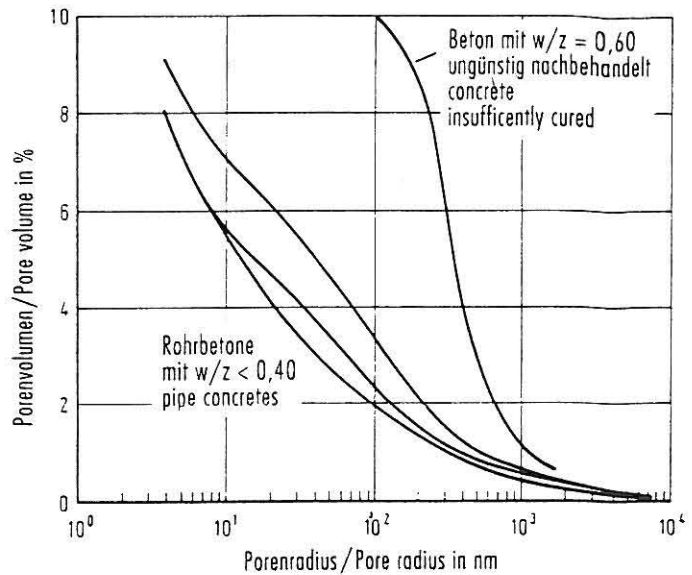


Bild 2 Porenverteilung von drei Rohrbetonen im Vergleich zu einem ungünstig nachbehandelten Beton mit w/z = 0,60

Fig. 2 Pore distribution for three pipe concretes in comparison with one insufficiently cured concrete with w/c = 0.60

nach DIN 52 108, so hoch, wie er für Straßenbauprodukte mit besonderer mechanischer Beanspruchung z.B. durch Kettenfahrzeuge ausreicht. Bislang sind keine Schadensfälle an Betonkanälen infolge abrasiver Beanspruchung bekannt geworden. Betonrohre besitzen Schlagfestigkeiten, die z.B. eine Zerstörung durch schwere Steine beim Verlegen und Verfüllen verhindern. Beton besitzt im Vergleich z.B. zu keramischen Werkstoffen auch unbewehrt eine höhere Duktilität und ist damit weniger riß- bzw. sprödebruchanfällig. Dieses Merkmal bedeutet für den Baubetrieb eine Erleichterung, die sich auch in geringeren Baustellenkosten niederschlägt.

Das wegen der Betonrohddichte von 2,3 bis 2,4 t/m³ vergleichbar hohe Gewicht sorgt im verlegten Zustand des Kanals für eine hervorragende Lagestabilität und schafft damit die Voraussetzung für einen zuverlässigen Betrieb. Dieser nennenswerte Langzeitvorteil bedingt allerdings einen höheren Transport- und Verlegeaufwand.

Zum Leistungsprofil moderner Betonrohrtechnik gehört auch, daß neben der Dichtheit der Rohrwandung hochwirksame Dichtungen an den Rohrstoßen die Sicherheit gegen Leckagen langfristig und zuverlässig gewährleisten [9].

5.4 Chemische Beanspruchung im Nutzungszustand

5.4.1 Mögliche chemische Beanspruchungen bei Kanalrohren

Große Bedeutung kommt dem chemischen Widerstand von Rohrbeton zu. Wegen der häufig kontrovers geführten Diskussion über den chemischen Widerstand von Betonrohren im Bereich kommunaler Abwässer, werden die damit zusammenhängenden Fragen im folgenden näher behandelt.

Generell lassen sich die chemischen Beanspruchungen, die bei Abwasserrohren aus Beton auftreten können, nach Art des Angriffs und abhängig von den davon betroffenen Rohrbereichen (Bild 3) in drei Kategorien einteilen:

a) Angriff auf der Rohraußenseite

Durch Grundwasser und Boden kann der Beton auf der Außenfläche chemisch beansprucht werden. Die Angriffsgrade werden gemäß DIN 4030 [10] bewertet und erfassen sowohl Säureangriffe als auch treibende Angriffe, z.B. durch Sulfat. In der Betonnorm DIN 1045 [4] sind die erforderlichen betontechnologischen Kriterien wie der Wassereindringtiefe mit $\leq 0,50$ und die Wassereindringtiefe gemäß DIN 1048 mit ≤ 30 mm festgelegt, die den notwendigen chemischen Widerstand des Betons bis zur Stufe des starken chemischen Angriffs sicherstellen. Wenn diese Regeln beachtet werden, sind erfahrungsgemäß keine Schäden zu erwarten.

b) Angriff im Rohrrinnenraum über dem Abwasserspiegel

Im Bereich des Gasraums im Innenraum des Rohrs kann sich durch biogen gebildete Schwefelsäure [11] ein intensiver chemischer Säureangriff aufbauen. Unter ungünstigen Betriebsbedingungen kann

This feature also facilitates construction work, which in turn translates into lower costs accruing at the building site.

The relatively high weight attributable to the concrete density of 2.3 to 2.4 t/m³ provides for excellent positional stability once the sewer has been laid, thus creating the preconditions for reliable service. However, this remarkable long-term advantage entails higher expenditure for transport and laying.

The performance profile of modern concrete pipe technology also implies that, apart from the tightness of pipe walls, highly effective seals at the pipe joints prevent leaks safely and for a long time to go [9].

5.4 Chemical attack during service

5.4.1 Possible chemical attack on sewer pipes

The chemical resistance of concrete pipe concrete is of major importance. As the debate about the chemical resistance of concrete pipes used in the municipal sewage domain tends to arouse controversy, the pertinent questions will be dealt with in detail below.

The chemical attacks which can occur in concrete sewer pipes are generally subdivided into three categories depending on the type of attack and the parts of the pipe exposed to it (Fig. 3):

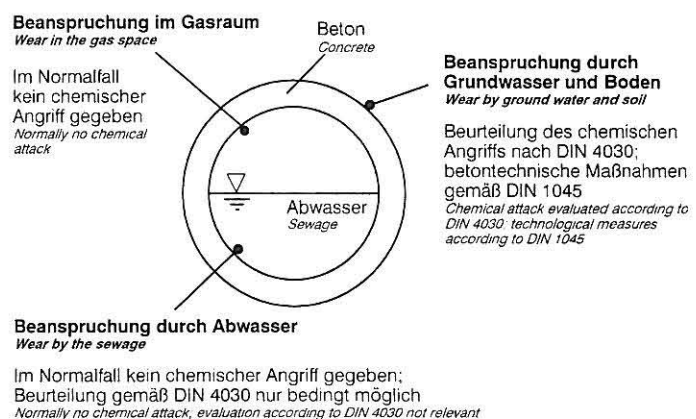


Bild 3 Prinzipielle Darstellung von potentiellen chemischen Beanspruchungen nach Art des Angriffs und der betroffenen Bereiche

Fig. 3 Fundamental representation of potential exposure to chemical attack according to the type of attack and the areas exposed

aus anaerobem Abwasser Schwefelwasserstoffgas (H_2S) in die Kanalatmosphäre von Freispiegleitungen freigesetzt werden, das sich von der feuchten Kanalwand löst und als Substrat für Mikroben (Thiobazillen) zur Verfügung steht. Bei der dadurch bedingten biologischen Oxidation des H_2S bildet sich konzentrierte Schwefelsäure im Gasraum der Rohrrinnenfläche. Diese starke Säure führt auf dem Beton zu einem sehr starken Säureangriff mit pH-Werten zwischen pH1 und pH2, dem Betone ohne besonderen Schutz langfristig nicht widerstehen. Die Folge ist eine biogene Schwefelsäure-Korrosion (BSK) [12], die zu relativ hohen zeitlichen Abtragsraten führt und die gefügedichte Rohrwand zur Waschbetonstruktur aufräumt.

c) Angriff im Rohrrinnenraum im Bereich des Abwassers

Die vom Abwasser benetzte Rohrrinnenfläche kann durch im Abwasser enthaltene Stoffe chemisch angegriffen werden. Unter den Angriffsbedingungen kommunaler Abwässer besitzt nur der lösende Angriff durch säurehaltige Abwässer eine praktische Bedeutung [13]. Das Verhalten von Zementstein und Beton bei Einwirkung flüssiger Säuren ist eingehend untersucht, und in der Fachliteratur ist darüber ausführlich berichtet worden. Am Beispiel der kalklösenden Kohlensäure wurde in [14, 15] festgestellt, daß für den Widerstand in erster Linie die Dichtigkeit des Betons maßgebend ist. Dabei können lösliche Zuschläge, wie z. B. Kalkstein, die Abtragsrate erhöhen. Fragen der Quantifizierung des Betonabtrags beim Säureangriff werden in [16] und [17] behandelt. Es wurde festgestellt, daß die zeitliche Intensität des Angriffs nicht nur von der Art und Konzentration der angreifenden Säure, sondern auch von den Einwirkungsbedingungen abhängt. Beispielsweise spielen die Strömungsgeschwindigkeit säurehaltiger Wässer sowie mechanische Einwirkungen auf die angegriffene Betonoberfläche eine wesentliche Rolle. Beim lösenden Angriff von anorganischen Säuren auf Zementstein bildet sich Silicatgel. Wird dieses Gel nicht entfernt, wirkt es durch eine Erhöhung des Diffusionswiderstandes auf der Betonoberfläche als Schutzschicht gegenüber einer weiteren Säurezufuhr und damit gegenüber einem Säureangriff auf die durch die Schutzschicht bedeckte intakte Rohrwand. Ein Entfernen der Schutzschicht durch z. B. starke Strömung oder Abrieb führt zu einem zeitlich schnelleren Betonabtrag infolge eines weniger behinderten Säurezutritts zur Reaktionsfront.

Inwieweit unter den Bedingungen in kommunalen Abwasserrohren ein Säureangriff erfolgt, hängt im wesentlichen von der Art der Säure, der Menge bzw. Konzentration und der Einwirkungsdauer ab. Zu berücksichtigen sind zusätzlich auch betriebliche Gegebenheiten, wie die Frequenz und Intensität der Kanalreinigung, wenn dadurch aus Lösungsprodukten gebildete Schutzschichten entfernt werden. Für die Bewertung eines solchen Säureangriffs eignet sich die DIN 4030 nicht, da die darin vorausgesetzten Randbedingungen, z. B. geringe Fließgeschwindigkeit angreifender Wässer sowie der Bestand an gebildeten Schutzschichten aufgrund der betrieblichen Verhältnisse im Kanal in der Regel nicht erfüllt werden.

5.4.2 Praktische Verhältnisse im Betonkanal

Aufgrund der dargestellten unterschiedlichen Arten einer im Kanalnetz möglichen chemischen Beanspruchung und der Erfahrungen aus der Praxis lassen sich folgende Feststellungen treffen: Der Widerstand des Betons wird vor allem von seiner Dichtigkeit bestimmt. Qualitativ hochwertige Rohrbetone sind sehr dicht (Bild 2). Unter den in kommunalen Abwasserkanälen herrschenden Bedingungen treten unter diesen Voraussetzungen keine den langzeitigen Betrieb einschränkenden Abtragsraten auf. Weichen die Verhältnisse von den üblichen Bedingungen in kommunalen Abwasserkanälen sehr stark ab, z. B. wenn über die gesamte Nutzungsdauer starke Säuren auf die Rohrwandungen einwirken, so sind für einen ausreichenden Säurewiderstand von Betonrohren besondere Schutzmaßnahmen erforderlich.

Die Beanspruchung durch biogene Schwefelsäure ist der einzig bekannte chemische Angriff im Gasraum kommunaler Abwassersysteme, der bislang zu Schäden in Betonrohren geführt hat. Diesen sehr starken Säureangriff kann ein zementgebundener Werkstoff ungeschützt auf Dauer nicht aushalten. Diese nur bei außergewöhnlichen Betriebsbedingungen mögliche Beanspruchung darf aber nicht als Maßstab für den erforderlichen chemischen Widerstand von Abwasserrohren aus Beton herangezogen werden. Betriebsbedingungen, die eine biogene Schwefelsäurekorrosion ermöglichen, müssen aus Gründen der Arbeitssicherheit des Betriebspersonals sowie wegen der dabei auftretenden Geruchsprobleme im Umfeld der Kanäle ver-

a) Attack on the outside of the pipe

The concrete on the outside may be attacked chemically by ground water and soil. The various degrees of attack are evaluated according to DIN 4030 [10] and comprise both acid attacks and expansive attacks, e.g. by sulfate. Concrete standard DIN 1045 [4] lays down the concrete technology criteria required, such as a water cement ratio of ≤ 0.50 and a water penetration depth of ≤ 30 mm according to DIN 1048, which ensure the necessary chemical resistance of the concrete up to the level of a severe chemical attack. Experience shows that no damage is to be expected if these rules are complied with.

b) Attack inside the pipe above the water level

Inside the pipes, an intensive chemical acid attack may build up in the gas space area due to the formation of biogenic sulphuric acid [11]. Under unfavourable operating conditions hydrogen sulphide gas (H_2S) reacting on the moist sewer wall and hence becoming available as a substrate for microbes (sulphur bacteria) may be released into the sewer atmosphere from anaerobic waste water. The biological oxidation of the H_2S thus caused results in the formation of concentrated sulphuric acid in the atmosphere inside the pipes. On the concrete this strong acid causes a very severe acid attack with pH values ranging between pH1 and pH2 which concretes without special protection cannot resist in the long run. This leads to biogenic sulphuric acid corrosion [12], which causes relatively high erosion rates over a short period and roughens the dense sewer wall structure, turning it into washed concrete.

c) Attack inside the pipe below the water level

The inside of the pipe wetted by the sewage might be exposed to chemical attacks by substances contained in the waste water. Given the attack conditions of municipal sewage, solely the attack by acidic sewage is of practical relevance [13]. The behaviour of hardened cement paste and concrete upon the action of liquid acids has been thoroughly investigated, and detailed reports on this issue are to be found in the pertinent technical literature. Using the example of lime solvent carbonic acid, it was found out in [14, 15] that resistance is primarily determined by the tightness of the concrete. Soluble aggregates, such as limestone, are apt to increase the erosion rate. [16] and [17] deal with the quantification of concrete abrasion in case of acid attack. It was found that the intensity of the attack over a certain period of time does not only depend on the type and concentration of the acid attacking, but also on the exposure conditions. The flow rate of acidic water and the mechanical action on the concrete surface under attack, for example, play an essential role. When hardened cement paste is exposed to an attack by inorganic acids that causes dissolution, silicate gel is formed. If this gel is not removed, it increases the diffusion resistance on the concrete surface, thus acting as a protective layer against further acid supplied and hence against an acid attack on the intact pipe wall covered by the protective layer. Removal of the protective layer by a strong current or abrasion, for example, leads to faster concrete erosion as the acid gains less impeded access to the reaction area.

To what extent an acid attack occurs under the conditions in municipal sewers substantially depends on the type, quantity, and concentration of acid, respectively, and on the duration of exposure. Moreover, prevailing operating conditions, such as the frequency and intensity of sewer cleaning, are to be taken into account as well if they remove the protective layers formed by the dissolved substances. DIN 4030 does not lend itself to evaluating that kind of acid attack, since the underlying conditions it presupposes, such as low flow rates of the attacking water and the quantity of protective layers that have built up, are not usually fulfilled owing to the operating conditions in sewers.

5.4.2 Practical conditions in concrete sewers

In view of the above-mentioned various kinds of chemical attack possible in a sewer system and in view of practical experience, the following statements can be made: The resistance of concrete is primarily determined by its tightness. High-quality pipe concretes are extremely tight (Fig. 2). Given these characteristics, no erosion rates restricting the long-term serviceability will occur under the conditions prevailing in municipal sewers. If conditions differ significantly from

mieden werden. Die Bildung von Schwefelwasserstoff, einem äußerst toxischen und sehr geruchsintensiven Gas, muß im Kanal, abgesehen von unvermeidlichen lokalen Problemzonen, durch betriebliche Maßnahmen ausgeschlossen bleiben [18]. Mit der Vermeidung von H₂S in der Kanalatmosphäre entfällt auch das Problem der biogenen Schwefelsäurekorrosion auf der Betonrohrwand.

Eine Korrosion des Betons infolge eines Säureangriffs auf die vom Abwasser benetzte Rohrwand ist nur möglich, wenn das kommunale Abwasser langfristig betonangreifend ist. Solche Betriebsbedingungen können in kommunalen Abwassersystemen jedoch nur in Extremfällen auftreten. Häusliches Abwasser liegt chemisch im schwach basischen bis neutralen Bereich mit pH-Werten von 7 bis 9 [19]. Nach den üblichen kommunalen Einleitungsbedingungen, die sich an dem ATV-Arbeitsblatt A 115 „Einleiten von nicht häuslichem Abwasser in eine öffentliche Abwasseranlage“ [20] orientieren, muß das Abwasser einen pH-Wert $\geq 6,5$ aufweisen.

Auch Regenwasser verursacht im allgemeinen keinen chemischen Angriff im Rohr. Aus Umweltschutzgründen durchgeführte Messungen zur Beschaffenheit und zum Säuregehalt von Regenwasser in Düsseldorf haben ergeben, daß Regenwasser wenig gelöste Stoffe enthält und damit ein hohes Lösungsvermögen besitzt. Durch den Kontakt mit den Abflächflächen erreicht Regenwasser einen fast neutralen pH-Wert von 6,7 (Tafel 5). Selbst, wenn das in 1,5 m Höhe direkt aufgefangene Regenwasser im Mittel einen pH-Wert von 5,9 aufwies – kleinster pH-Wert = 4,7 bei 24-h-Mischproben –, wurde dadurch die Säuremenge in Betonkanälen nicht relevant erhöht.

Tafel 5 pH-Werte von Regenwasser im Stadtgebiet

Table 5 pH-values of rain water in urban areas

Regenwasser Stadtgebiet Düsseldorf <i>Rainwater City of Düsseldorf</i>	
Meßpunkt <i>Measuring point</i>	pH-Wert (gemittelt) <i>pH-value (average)</i>
in 1,5 m Höhe <i>in 1,5 m height</i>	5,9
Straßeneinlauf <i>Gully</i>	6,7

5.4.3 Anhaltswerte für Säurebeanspruchung

Aufgrund der über lange Betriebszeiten vorliegenden Erfahrungen über Art und Intensität der möglichen Säureangriffspotentiale im kommunalen Abwasser einerseits und der Kenntnisse über den Widerstand hochwertiger Betone gegenüber Säuren andererseits, läßt sich ein Stufenmodell für vertretbare Angriffsgrade angeben (siehe Tafel 6). Dieses enthält Anhaltswerte für die Einwirkungsdauer und für die Stärke der Säure in Abhängigkeit vom pH-Wert des Abwassers. Das vorgesehene ATV-Merkblatt zu Korrosionsfragen in Abwasseranlagen [21] hat diese Werte als Bemessungswerte übernommen.

Für den allgemeinen Fall des Dauerbetriebs, darf ein pH-Wert von 6,5 nicht unterschritten werden. Für zeitlich begrenzte Einleitungen, die z. B. durch Unfälle, Betriebsstörungen oder Reparaturphasen an Neutralisationsanlagen sowie durch verbotswidriges Einleiten eintreten können, werden zwei weitere zulässige Einwirkungsstufen festgelegt. Unter zeitlich limitierten Einwirkungsdauern, beschrieben mit den Begriffen „zeitweilig“ und „kurzzeitig“, können Abwässer mit pH-Werten von 5,5 bzw. 4 ohne Korrosionsgefahr ertragen werden. Der mögliche Fall einer schwallartigen Ableitung von Säuren mit beliebigem pH-Wert, wenn z. B. ein Faß ausgegossen wird, ist aus Korrosionsgründen grundsätzlich unbedenklich.

Aus diesem abgestuften Einwirkungsmodell kann gefolgert werden, daß nur bei einem permanenten Überschreiten der zulässigen Einleitungsbedingungen Rohrbeton nicht ausreichend widerstandsfähig gegen einen Säureangriff ist. Mit den für befristete Einwirkungsdauern festgelegten Kriterien sind Grenzen angegeben, die zu einer unkritischen Beanspruchung führen. Dieses Stufenmodell liefert eine

those common in municipal sewer systems, e.g. if the pipe walls are exposed to strong acids throughout the service period, special protective measures are to be taken to obtain sufficient resistance of the concrete pipes to acid.

Exposure to biogenic sulphuric acid is the only chemical attack in the gas space of municipal sewage disposal systems known to have damaged concrete pipes so far. An unprotected cement-bound material cannot lastingly withstand exposure to this very strong acid. However, this attack, which is only possible under extraordinary operating conditions, must not be applied as a yardstick for the required chemical resistance of concrete sewer pipes. Operating conditions permitting biogenic sulphuric acid corrosion are to be avoided to ensure the safety at work of the operating staff and to forestall the problem of bad odour arising in the sewer surroundings. Operational measures [18] must safely rule out the build-up of highly toxic and odorous hydrogen sulphide gas in the sewers, apart from local problematic areas where its formation is inevitable. If H₂S formation in the sewer atmosphere is avoided, the problem of biogenic sulphuric acid corrosion on the concrete pipe walls will not arise in the first place.

Concrete corrosion as a consequence of acid attacking the interior pipe walls wetted by sewage is only possible if the municipal sewage creates conditions under which concrete is attacked in the long run. In municipal sewage disposal systems, however, such operating conditions can occur in extreme cases only. At pH values between 7 and 9 [19], domestic waste water falls in a chemical category ranging from weakly basic to neutral. According to the usual municipal discharge conditions, which take a bearing on ATV (Waste Water Engineering Association) code of practice A 115 „Discharge of non-domestic sewage into a public sewage disposal system“ [20], waste water must have a pH value of ≥ 6.5 .

As a rule, rainwater does not cause a chemical attack on the pipe either. Measurements of the composition and the acid content of rain water carried out in Düsseldorf for environmental protection reasons suggested that rainwater contains few dissolved substances and thus has high dissolving power. By getting in contact with the drainage surfaces, rainwater attains an almost neutral pH value of 6.7 (Table 5). Even though the rainwater collected directly in a height of 1.5 m had an average pH value of 5.9 – lowest pH value = 4.7 for mixed samples taken over a 24-hour period – this did not result in a relevant rise in the quantity of acid in concrete sewers.

5.4.3 Reference values for wear by acid

Based on the experience gathered about the type and intensity of possible acid attack potentials in municipal sewage over long service

Tafel 6 Anhaltswert für chemische Beanspruchung durch kommunales Abwasser in Betonkanälen, abgestuft nach Einwirkungsdauer und pH-Wert

Table 6 Reference value for the chemical attack on concrete sewers caused by municipal sewage, graded according to duration of exposure and pH-value

Säurebeanspruchung im Kanal Stufenmodell <i>Acid attack in sewers Exposure model</i>	
Dauer <i>Duration</i>	Intensität <i>Intensity</i>
dauernd <i>permanent</i>	pH $\geq 6,5$
zeitweilig 1 Jahr pro 10 Jahre <i>temporary (1 a/10 a)</i>	pH $\geq 5,5$
kurzzeitig 1 Std. pro Woche <i>short term (1 h/week)</i>	pH ≥ 4
Schwall <i>Splash</i>	unbegrenzt <i>no limit</i>

ausreichende Begründung, warum Betonrohre im kommunalen Abwasserkanal auch unter dem Gesichtspunkt des chemischen Widerstandes die erforderliche Leistungsfähigkeit besitzen.

5.4.4 Rohre mit erhöhtem chemischen Widerstand

In der Fachliteratur [22] sowie im zukünftigen ATV-Regelwerk [21] wird darauf hingewiesen, daß in Kanalabschnitten, in denen Abwasser aus industriellen Bereichen abgeleitet werden, saures Abwasser mit pH-Werten bis 4,5 ständig anfallen kann, und daß die Kanalnetzbetreiber einen dafür auf Dauer geeigneten Rohrwerkstoff einsetzen müssen. Daraus resultiert die Forderung nach Betonrohren, die einer Säurebelastung bis $\text{pH} \geq 4,5$ langfristig widerstehen.

Laufende Entwicklungen auf dem Gebiet der Hochleistungsbetone [23] zeigen, daß durch speziell zusammengesetzte Betone Verbesserungen im Säurewiderstand erreicht werden können. Eine höhere Dichtigkeit des Betongefüges und eine Erhöhung des Anteils schwer löslicher Hydratationsprodukte, wie Calciumsilikathydrate im Zementstein, tragen zu einer Verbesserung bei. Zu den betontechnologischen Maßnahmen zur Erhöhung des Säurewiderstands gehören der gezielte Einsatz von siliziumreichen, latent hydraulischen oder puzzolanisch wirkenden Bindemitteln bzw. Feinststoffen. Durch den auf die Herstellbedingungen abgestimmten Einsatz von Betonzusatzmitteln kann zudem die Verarbeitbarkeit optimiert und Schwierigkeiten bei der Verdichtung der grünstandfesten Rohrbetone vermieden werden. Auch die Verwendung von Kunststoffdispersionen als Zusatzstoff kann helfen, die Dichtigkeit zu erhöhen und dadurch den Reaktionsfortschritt mit Säure zu verringern.

Derzeit liegen Untersuchungsergebnisse vor, die diese erhöhten Leistungsmerkmale bestätigen. Es bedarf jedoch noch weitergehender Untersuchungen, um aus den Einzelfällen allgemeingültige Regeln ableiten zu können.

5.4.5 Rohre mit Auskleidungen

Aufgrund des Herstellverfahrens, durch das der Beton in formbarer Konsistenz in seine endgültige Form gebracht wird und erhärtet, besteht die Möglichkeit, Verbundrohre zu produzieren. Als Beispiele seien Auskleidungen auf der Rohrinnenfläche mit Steinzeug oder Kunststofffolien genannt. Grundsätzlich ist ein nachträgliches Auskleiden immer möglich. Wenngleich mehrschichtige Rohre bei Bau und Betrieb der Kanäle besondere technische Maßnahmen z. B. für die Ausführung der Stoßdichtungen und der Hausanschlüsse erfordern, stehen für Anwendungsfälle mit sehr hoher chemischer Beanspruchung technische Lösungen mit entsprechend gestalteten Rohren zur Verfügung. Diese Rohre haben den Vorteil, daß sie neben dem hohen chemischen Widerstand alle übrigen Leistungsmerkmale der Betonrohre aufweisen (siehe 5.3).

6 Zusammenfassung

Die verschiedenen Bauwerke der Abwasserentsorgung, wie Kläranlagen und Kanäle, erfordern aufgrund der vielfältigen Beanspruchungen während der Bauausführung sowie im Betriebszustand einen Baustoff mit einer weitgespannten Leistungsfähigkeit.

- 6.1 Beton ist ein geeigneter und bewährter, aber zugleich auch ein wirtschaftlicher Baustoff für Bauten der Abwassertechnik, weil er die notwendigen Leistungsmerkmale wie Festigkeit und Tragfähigkeit, Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit gegenüber Verschleiß und chemischem Angriff zuverlässig aufweist.
- 6.2 Kläranlagen mit Becken zur Abwasserbehandlung sowie mit Behältern und Türmen für die Schlammfäulung werden nahezu ausnahmslos aus Stahl- bzw. Spannbeton gebaut. Bei sachgerechter Anwendung des Betons entsprechend den bestehenden technischen Regeln entstehen langfristig funktionssichere und dauerhafte Bauwerke, die wegen der günstigen Formbarkeit des Betons den anlagenspezifischen Belagen konstruktiv problemlos angepaßt werden können.
- 6.3 Das Rohr ist das signifikante Kanalbauteil. Betone für Abwasserrohre sind üblicherweise so zusammengesetzt, daß sie Druckfestigkeiten von 50 bis 60 N/mm² erreichen und praktisch flüssigkeitsdicht und unter Betriebsbedingungen auch gasdicht

periods on the one hand, and on the knowledge about the resistance of high-grade concretes to acids on the other hand, a graduated model for tenable levels of attack can be established (see Table 6). Said model comprises reference values for the duration of exposure and the dissolving potency of the acid as a function of the pH value of the sewage. These values were adopted as design values in the proposed ATV code of practice dealing with the issue of corrosion in waste water disposal systems [21].

In the usual case of permanent operation, the pH value must not fall below 6.5. Two additional permissible exposure stages have been specified for discharges over limited time periods that might for example occur due to accidents, operational failures, or repair work carried out on neutralizing plants, and due to discharge of sewage in violation of bans. If the duration of exposure is limited, which is denoted by the terms of „temporary“ and „short-term“, sewage having pH values of 5.5 and 4, respectively, can be withstood without any risk of corrosion. The possible case of acids with any pH value whatever being discharged in a splash, e.g. if a barrel is emptied, is basically harmless in terms of corrosion.

The conclusion to be drawn from this graduated exposure model is that the resistance of pipe concrete to acid attack is insufficient only if the permissible discharge conditions are continually exceeded. The criteria laid down for limited exposure periods define band widths within which attacks are uncritical. This graduated model furnishes ample proof why concrete pipes used in municipal sewer systems possess the performance characteristics required, also in terms of chemical resistance.

5.4.4 Pipes having increased chemical resistance

It is pointed out in the pertinent technical literature [22] and in the future ATV set of rules [21] that acid sewage with pH values of up to 4.5 might continually be produced in sewer portions through which industrial waste water is discharged, and that sewer system operators must employ a pipe material withstanding these conditions lastingly. This has resulted in the demand for concrete pipes that resist an acid attack of up to $\text{pH} \geq 4.5$ in the long run.

Continuous development in the field of high performance concretes [23] shows that the resistance to acid can be enhanced by using special concrete compositions. Increased tightness of the concrete structure and a rise in the proportion of hardly soluble hydration products, such as calcium silicate hydrates, in the hardened cement paste contribute to an improvement. The concrete technology measures taken to increase acid resistance include the carefully directed use of binders and ultrafine materials, respectively, that are high in silicon and have latent hydraulic or pozzolanic effects. By adapting the use of concrete admixtures to manufacturing conditions it further becomes possible to optimize workability and to forestall difficulties upon compression of the green stable pipe concretes. The use of plastic dispersions as an additive also contributes to increasing tightness and thus to reducing reaction progress with acid.

The investigation results presently available corroborate these improved performance characteristics. However, more extensive investigations will be necessary to deduce from the individual cases rules of general validity.

5.4.5. Lined pipes

Owing to the manufacturing process, by which the concrete of mouldable consistency is given its final shape and sets, there is the possibility of producing compound pipes. Ceramic or plastic foil linings on the inner pipe surfaces can be cited by way of example. Basically, it is always possible to provide the lining subsequently. Although multi-layered pipes require that particular technical measures, e.g. for the implementation of joint seals and house service connections, be taken during construction and service of the sewers, technical solutions providing pipes of corresponding design are available for applications in which very severe chemical attacks are to be expected. These pipes offer the advantage of boasting all the other performance characteristics of concrete pipes in addition to their high chemical resistance (see 5.3).

6 Summary

Owing to the manifold stresses and strains occurring during execution and in use, the various structures in waste water disposal, such

sind. Die hohe Schlagfestigkeit verhindert Schäden schon im Bauzustand.

- 6.4 Der chemische Widerstand von qualitativ hochwertigen Betonrohren reicht für eine geforderte Nutzungsdauer von bis zu 100 Jahren unter den in kommunalen Abwassersystemen vorherrschenden Bedingungen aus. Diese sind durch die Einleitungsbedingungen vorgegeben und fordern Abwässer mit $\text{pH} \geq 6,5$. Temporär erhöhte Säurepotentiale der kommunalen Abwässer können erfahrungsgemäß ohne schädigende Betonkorrosion ertragen werden. Zeitlich zulässige erhöhte Säurepotentiale sind im neuen ATV-Regelwerk vorgesehen.
- 6.5 Für extreme chemische Beanspruchungen stehen Verbundrohre zur Verfügung, die neben dem erhöhten chemischen Widerstand alle anderen Leistungsmerkmale von Betonrohren aufweisen.

as sewage treatment plants and sewer systems, require a building material offering a vast scope of performance.

6.1 Concrete is not only a suitable and proven, but also an ecological building material for sewage disposal structures since it reliably displays the performance characteristics required, such as strength and load-bearing capacity, impermeability and durability towards wear and chemical attack.

6.2 Sewage treatment plants with basins for waste water treatment and containers and towers for sludge digestion are almost exclusively made from reinforced and prestressed concrete, respectively. If the concrete is applied properly and in compliance with existing technical rules, the structures made from it are lastingly functional and durable. The good mouldability of concrete permits these structures to be easily adapted to plant-specific requirements.

6.3 Pipes constitute the pivotal construction components for sewers. Concretes for sewer pipes are usually composed so as to attain compressive strengths of 50 to 60 N/mm² and to be virtually impermeable to liquid and also to gas in service. Their high impact strength prevents damage from occurring as early as during execution.

6.4 The resistance to chemical attack of high-quality concrete pipes is sufficient for a stipulated service life of up to 100 years given the conditions prevailing in municipal waste water systems, which are determined by the discharge requirements and demand sewage having a pH of ≥ 6.5 . Experience has shown that a temporary increase in the acid potentials of municipal sewage can be withstood without any harmful concrete corrosion. The increased acid potentials permissible over limited time periods are laid down in the new ATV (Waste Water Engineering Association) set of rules.

6.5 For exposure to extreme chemical attack, there are compound pipes that boast increased chemical resistance in addition to all the other performance characteristics of concrete pipes.

SCHRIFTTUM/LITERATURE

- [1] Zahlen zur Abwasser- und Abfallwirtschaft. ATV-Information, Hrsg. Abwassertechnische Vereinigung e.V., Hennef, 1996.
- [2] Lamprecht, H.-O.: Opus Caementitium – Bautechnik der Römer. Beton-Verlag, Düsseldorf 1983.
- [3] Leitlinie zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 1993.
- [4] DIN 1045: Beton und Stahlbetonbau; Bemessung und Ausführung. Ausgabe 7.88.
- [5] DIN 19 569 Teil 1: Kläranlagen; Baugrundsätze für Bauwerke und technische Ausrüstungen. Ausgabe 2.87.
- [6] Hinweise zur Herstellung von Beton für Kläranlagen. Beton-Information 32 (1992) H. 6, S. 82 - 83.
- [7] Betonbauwerke in Abwasseranlagen. Schriftenreihe der Bauberatung Zement, 2. Auflage, Beton-Verlag, Düsseldorf 1992.
- [8] Neck, U. und G. Spanka: Dichtigkeit von Rohrbeton gegenüber CKW-Durchtritt. Beton 42 (1992) H. 10, S. 562-567; ebenso: Betontechnische Berichte 1992/94, S. 53-69, Beton-Verlag, Düsseldorf
- [9] FBS-Qualitätsrichtlinie. Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e. V., Bonn, 1994.
- [10] DIN 4030 Teil 1: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Ausgabe 6.91.
- [11] Thistlethwayte, D.K.B.: Sulfide in Abwasseranlagen; Ursachen, Auswirkungen, Gegenmaßnahmen. Beton-Verlag, Düsseldorf 1979.
- [12] Bielecki, R. und H. Schremmer: Biogene Schwefelsäure – Korrosion in teilgefüllten Abwasserkanälen. Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts, H. 94, Braunschweig 1987.
- [13] Grube, H. und U. Neck: Beton – widerstandsfähig gegen chemische Angriffe. Betonwerk + Fertigteil-Technik 62 (1996) H. 1, S. 122-130.
- [14] Locher, F. W. und S. Sprung: Die Beständigkeit von Beton gegenüber kalklösender Kohlensäure. beton 25 (1975) H. 7, S. 241-245; ebenso: Betontechnische Berichte 1975, S. 91-104, Beton-Verlag, Düsseldorf 1976.
- [15] Locher, F. W., W. Rechenberg und S. Sprung: Beton nach 20jähriger Einwirkung von kalklösender Kohlensäure. beton 34 (1984) H. 5, S. 193-198; ebenso: Betontechnische Berichte 1984/85, S. 41-56, Beton-Verlag, Düsseldorf 1986.
- [16] Koelliker, E.: Über die Wirkung von Wasser und wäßriger Kohlensäure auf Beton. Intern. Kolloquium „Werkstoffwissenschaften und Bausanierung“, Berichtsband TA Esslingen, 1983, S. 195-200, E. Moeller GmbH, Filderstadt 1983.
- [17] Grube, H. und W. Rechenberg: Betonabtrag durch chemisch angreifende saure Wässer. beton 37 (1987) H. 11, S. 446-451 und H. 12, S. 495-498, ebenso: Betontechnische Berichte 1986/1988, S. 117-141, Beton-Verlag, Düsseldorf 1989.
- [18] Klose, N.: Sulfidprobleme und deren Vermeidung in Abwasseranlagen. Beton-Verlag, Düsseldorf, 1981.
- [19] Lose, M.: Schwefelverbindungen in Abwasserableitungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der biogenen Schwefelsäurekorrosion. Veröffentlichung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Universität Hannover, H. 62, 1986.
- [20] ATV Merkblatt M 115: Einleiten von nicht häuslichem Abwasser in eine öffentliche Abwasseranlage. Abwassertechnische Vereinigung e. V., Oktober 1994.
- [21] ATV-Merkblatt M 168, Entwurf: Korrosion von Abwasseranlagen. Abwassertechnische Vereinigung e.V., Oktober 1996.
- [22] Imhoff, K. und K. R.: Taschenbuch der Stadtentwässerung. Oldenbourg Verlag, 27. Auflage, 1990.
- [23] Nischer, P.: Hochleistungsbeton; Verbesserung besonderer Eigenschaften. Betonwerk + Fertigteil-Technik 61 (1995) H. 1, S. 76-84.