



LEITFADEN ZUR AUSWAHL VON ROHRWERKSTOFFEN FÜR KOMMUNALE ENTWÄSSERUNGSSYSTEME

TEILEXPERTISE

„Nutzungs- bzw. Lebensdauer“

Im Auftrag der Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS), Bonn

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. D. Stein
Dipl.-Ing. A. Brauer

(Auszugsweise) Veröffentlichung nur mit Genehmigung
der Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum

Bochum, 21. Dezember 2004

1 Einführung in das Thema

Die Kenntnis über die Nutzungsdauer (Zeitraum von der Herstellung des Kanals bis zu dessen Versagen, auch technische Lebensdauer genannt) von Abwasserleitungen und -kanälen ist im Bereich der öffentlichen Kanalisation von besonderer Bedeutung, weil sie Grundlage für insbesondere Abschreibungen, aber auch für Kostenvergleichsrechnungen und Wertermittlungen des Kanalnetzes ist.

Die Gesamtkosten der Abwasserentsorgung und damit die Abwassergebühren setzen sich aus unterschiedlichen Kostengruppen zusammen (Bild 1). Den größten Anteil bilden hierbei nach einer aktuellen Umfrage [1] die kalkulatorischen Abschreibungen mit 30 %.

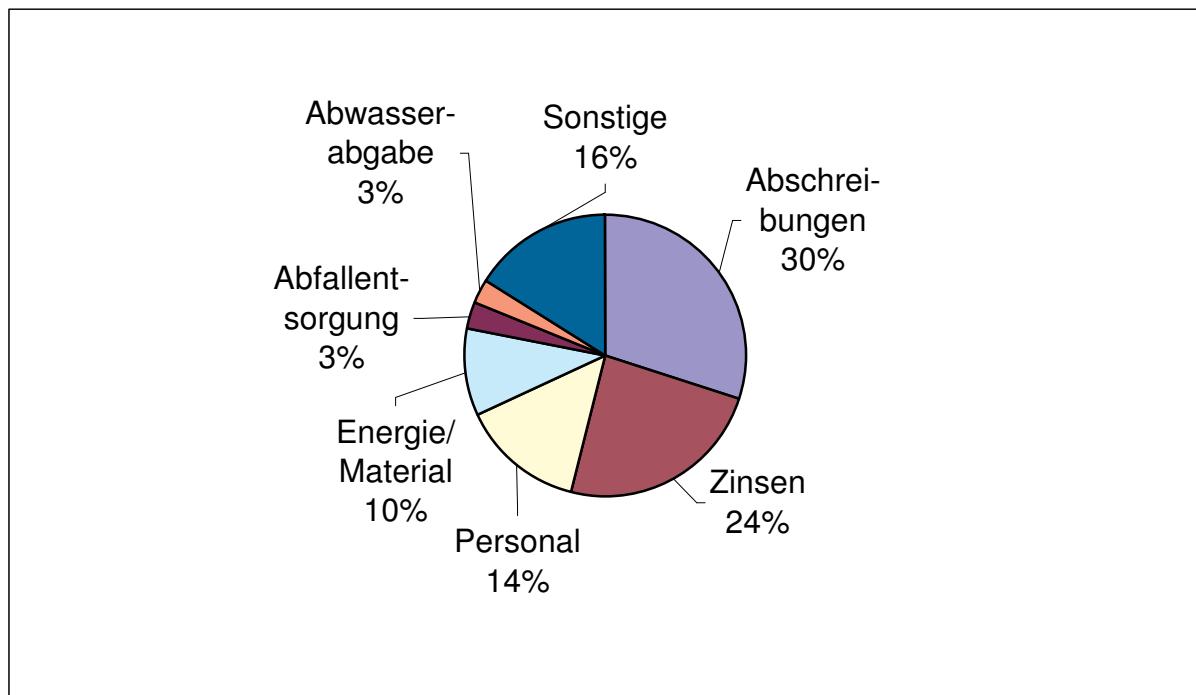


Bild 1 Prozentuale Verteilung der Kosten für die Abwasserentsorgung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2002 [1]

Die kalkulatorischen Abschreibungen stellen den regelmäßigen Werteverzehr der kommunalen Abwasserentsorgungsanlagen dar. Sie werden über die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer der Anlagen bestimmt [3].

Da in der Regel linear abgeschrieben wird (also in gleichbleibenden Raten), werden die kalkulatorischen Abschreibungen um so geringer, je größer die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer ist. Die Nutzungsdauer selbst kann durch vielfältige Faktoren entscheidend beeinflusst werden [2], z.B.

- Rohrwerkstoff
- Rohrnennweite und Querschnittsform
- Baujahr (Alterungsprozess)
- Transportbedingungen (Auswirkung von Lagerung und Transport)
- Einbau- und Verlegequalität (Verfahrenstechnik (offene oder geschlossene Bauweise) und Bauüberwachung)
- Geologische und hydrogeologische Randbedingungen (Art des umgebenden Bodens, Grundwasserverhältnisse)
- Belastungszustände (Verkehrsbelastungen, punktuelle Belastungen)
- Entwässerungssystem (Misch- oder Trennsystem)
- Art des Abwassers (Aggressivität)
- Maßnahmen zum vorbeugenden Unterhalt (Wartung)
- Sonstige Einflüsse (Qualitätsstandards für die Rohre, regionalspezifische Einflüsse)

Die Bestimmung der Nutzungsdauer von Kanalisationen ist schwierig, da sie von den o.g. Randbedingungen abhängt und mit bis zu 100 Jahren (in einigen Fällen auch länger) einen sehr langen Zeitraum umfasst.

Derzeit existierende Ansätze zur realistischen und exakten Bestimmung der Nutzungsdauer von kommunalen Abwasserkanälen sind nicht befriedigend, so dass Aussagen über die Nutzungsdauer nur sehr pauschal formuliert werden, wie dies beispielsweise in den „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)“ der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) der Fall ist [3].

Während in den Auflagen der KVR-Leitlinien vor 1993 (1., 2. und 3. Auflage) werkstoffspezifische Angaben zur Nutzungsdauer von Kanälen gegeben wurden

(Tabelle 1), ist in den neueren Auflagen (seit 1993) nur noch eine werkstoff-unabhängige, pauschale Angabe („50 bis 80 (100) Jahre“ [3]) für alle Kanäle enthalten. Hieraus ergibt sich, dass der Rohrwerkstoff nicht mehr als alleiniger, ausschlaggebender Faktor für die Nutzungsdauer angesehen werden kann, wobei eine Berücksichtigung mehrerer Faktoren (s.o.) zur Zeit noch nicht möglich ist bzw. nicht praktiziert wird.

Damit ist es nun Aufgabe des planenden Ingenieurs, Bauherrn oder Betreibers der Kanalisation, die Nutzungsdauer möglichst realistisch abzuschätzen bzw. auszuwählen.

Darüber hinaus finden sich auch in den Ablösungsrichtlinien [4] und Wertermittlungsrichtlinien von 1991 (WertR 91) Angaben zu Nutzungsdauern. In den vorgenannten Richtlinien wird beim Werkstoff Beton zusätzlich nach Entwässerungssystem (Schmutzwasser oder Regenwasser) unterschieden. Weitere Einflussfaktoren (z.B. Querschnitt, Lasteinflüsse, Beschaffenheit des abzuleitenden Abwassers, Instandhaltung etc.) finden in den Literaturangaben keine Berücksichtigung. In den Wertermittlungsrichtlinien von 2002 (WertR 2002) [5] – der aktuell gültigen Fassung der o.g. Richtlinie von 1991 – sind keine Angaben mehr zur Nutzungsdauer von technischen Anlagen enthalten. Laut Auskunft des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen liegt die Begründung darin, dass es im Rahmen der Wertermittlung auf die wirtschaftliche Gesamtnutzungsdauer von Gebäuden und Anlagen ankommt [7]. Die Nutzungsdauern für abwassertechnische Anlagen gemäß der „alten“ WertR 91 sind jedoch in die 2004 aktualisierten Arbeitshilfen Abwasser [6] aufgenommen worden (Tabelle 1).

Eine Übersicht über die Angaben zu den Nutzungsdauern befindet sich in der Tabelle 1. Daraus ist ersichtlich, dass die Nutzungsdauer entweder pauschal und werkstoffunabhängig angegeben ist oder eine Unterscheidung nach Werkstoffen getroffen wird.

Tabelle 1 Zusammenfassung der verschiedenen Angaben zu Nutzungsdauern von Abwasserkanälen in Anlehnung an [7]

Quelle	Werkstoff	Nutzungsdauer in Jahren
KVR-Leitlinien der LAWA (1. bis 3. Auflage, bis 1993) [3]	Kanäle (mit Ausnahme von Steinzeug und Kanäle aus Kunststoff)	50 bis 60
	Kanäle aus Steinzeug	80 bis 100
	Kanäle aus Kunststoff	50
KVR-Leitlinien der LAWA (ab 4. Auflage, seit 1993) [3]	Kanäle	50 bis 80 (100)
Ablösungsrichtlinien [4]	Kanäle aus Beton (Trenn- und Mischsystem)	60
	Kanäle aus Steinzeug	100
Wertermittlungsrichtlinien (WertR91) [5] bzw. Arbeits-hilfen Abwasser [6]	Kanäle aus Beton/Stahlbeton (Schmutzwasser)	30 bis 50
	Kanäle aus Beton/Stahlbeton (Regenwasser)	40 bis 60
	Kanäle aus Steinzeug	80 bis 100
	Kanäle aus Ortbeton mit Innenauskleidung	100
	Kanäle aus Kunststoff	40 bis 50

Die Kanalnetzbetreiber bzw. Kommunen setzen nach den Ergebnissen der aktuellen ATV-DVWK-Umfrage 2001 [8] einen wiederum pauschalen Durchschnittswert für die Nutzungsdauer von Abwasserkanälen von 71 Jahren (Neubau und Erneuerung) an. Die Nutzungsdauer stimmt in diesem Fall mit dem Abschreibungszeitraum überein.

2 Analyse der verschiedenen Werkstoffe bezüglich der Nutzungsdauer

Da in den verschiedenen DIN-, DIN EN- und Produktnormen für die hier behandelten Rohrwerkstoffe keine Angaben zur Nutzungsdauer von Abwasserleitungen und -kanälen angegeben sind, werden in den folgenden Abschnitten auf Basis von Literaturangaben und Informationen beispielhaft ausgewählter Rohrhersteller die dort zu entnehmenden Nutzungsdauern aufgeführt, um einen diesbezüglichen Überblick sowie eine Vergleichsmöglichkeit mit den in Tabelle 1 enthaltenen Werten zu erhalten.

2.1 Beton/Stahlbeton

Die Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS) gibt an [9]:

„Aufgrund ihrer Eigenschaften besitzen die heutigen Beton- und Stahlbetonrohre, insbesondere die Rohre in FBS-Qualität, bei bestimmungsgemäßer Nutzung eine Lebensdauer von weit über 100 Jahren.“

Im Bild 2 sind beispielhaft im Zuge von Erneuerungsmaßnahmen ausgegrabene, bis dahin in Betrieb befindliche Betonrohre mit über 100- bzw. 120-jähriger Nutzungsdauer dargestellt.



a) 120 Jahre alte Betonrohre mit Kreisquerschnitt, gefunden in Bonn



b) 100 Jahre alte Betonrohre mit Eiquerschnitt, gefunden in Lüneburg

Bild 2 Im Zuge von Erneuerungsmaßnahmen ausgegrabene Betonrohre [10]

2.2 Steinzeug

Ein in der Bundesrepublik Deutschland ansässiger Hersteller von Steinzeugrohren nach DIN EN 295 [11] gibt bezüglich der Nutzungsdauer folgende Auskunft [12]:

„Die in der Vergangenheit für die Steinzeugrohre angegebene Nutzungsdauer von 80 bis 100 Jahren bleibt auf Grund der unveränderten technischen Eigenschaften dieses Produktes bestehen. Der in der Neufassung angegebene Klammerwert (Anmerkung: der KVR-Leitlinien der LAWA [3]) belegt, dass Werkstoffe für die Abwasserbeseitigung mit dieser langen Nutzungsdauer vorhanden sind. Die Angabe einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 100 Jahren für den Rohrwerkstoff

Steinzeug ist eine rechnerische Größe und bedeutet nicht, dass nach einem solchen Zeitraum die Nutzungsdauer beendet ist. Die Erfahrungen aus der Vergangenheit mit dem Rohwerkstoff Steinzeug belegen vielmehr, dass es sich bei der Angabe von 100 Jahren eher um eine Mindestnutzungsdauer handelt.“

2.3 Polymerbeton

Ein deutscher Produzent [13] von Polymerbetonrohren nach DIN 54815-2 [14] bezeichnet Polymerbeton als einen „*leistungsfähigen, wirtschaftlichen Kanalbaustoff mit hoher Lebensdauer*“. Sie wird vom Hersteller mit > 60 Jahre angegeben.

2.4 Duktiler Guss

Ein deutscher Hersteller [15] von duktilen Gussrohren mit CEM-Beschichtung nach DIN EN 598 [16] für die Verwendung in Entwässerungssystemen erwähnt, dass diese Rohre eine „*extrem lange Lebensdauer*“ aufweisen und „*den in über 100-jährigem Einsatz bewährten Gussrohren noch weit überlegen*“ sind.

2.5 GFK

Ein in der Bundesrepublik Deutschland ansässiger Hersteller [17] von geschleuderten GFK-Rohren nach DIN 19565-1 [18] bzw. DIN EN 14364 [19] schreibt bezüglich der Nutzungsdauer u.a. den folgenden Text in seinen Firmeninformationen:

„Die LAWA-Richtlinien (11/94) bescheinigen dem System einen Abschreibungszeitraum von 50 bis 80 (100) Jahren.“

2.6 PVC-U

Seit 1958 werden PVC-U-Rohre unter Dauerbelastung (Innendruck 30 bar) geprüft [20]. Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass ihre Gebrauchstauglichkeit „*bei bestimmungsgemäßer Nutzung vorbehaltlos mit weit mehr als 100 Jahren angesetzt werden kann*“ [21].

2.7 PE-HD

Im Rahmen einer von einem deutscher Hersteller von PE-Rohren [22] in Auftrag gegebenen Studie [23] wird für diese Rohre eine Nutzungsdauer von 100 Jahren als „*wissenschaftlich abgesichert*“ angesetzt. Die Ermittlung dieser Nutzungsdauer erfolgte anhand der Standardextrapolationsmethode der DIN EN ISO 9080 [24] mittels Zeitstandsinnendruckversuchen [25].

2.8 PP

Ein deutscher Hersteller [26] von profilierten Vollwandrohren aus PP-B (Polypropylen-Block-Copolymer) oder Polypropylen Typ 2 (s. DIN 8078 [27]) gibt in seinen Produktinformationen an: „*100 Jahre Nutzungsdauer durch die Verwendung von hochwertigem Material, einer zuverlässigen Wanddicke und einem Langzeit-Dichtsystem*“.

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Neben der Höhe der Investitionskosten hat die Nutzungsdauer eines Abwasserkanals einen entscheidenden Einfluss auf die Jahreskosten des Kanalnetzbetreibers für die Abwasserentsorgung (s. Abschnitt 1). Die kalkulatorischen Abschreibungen weisen dabei einen Anteil von ca. 30 % an den Jahreskosten auf (Bild 1) [1].

Eine längere Nutzungsdauer des Abwasserkanals führt zu geringeren Abschreibungsbeträgen und folglich zu geringeren Gesamtkosten pro Jahr.

Die Nutzungs- bzw. Lebensdauer eines Rohrwerkstoffes ist von zahlreichen Randbedingungen (insbesondere Rohrqualität, Verlegung und Betrieb) abhängig und kann deshalb im Vorfeld einer Baumaßnahme nur schwer exakt bestimmt werden.

Die in aktuellen diesbezüglichen Richtlinien (s. Tabelle 1) enthaltenen Angaben zur Nutzungsdauer von Abwasserkanälen sind entweder pauschal, d.h. werkstoffunabhängig und mit einer breiten Zeitspanne (z.B. KVR-Leitlinien der LAWA [3]) oder in Abhängigkeit von den am häufigsten in Kanalisationen eingesetzten Rohrwerk-

stoffen (Beton/Stahlbeton, Steinzeug, Kunststoff; s. z.B. Ablösungsrichtlinien [4], Arbeitshilfen Abwasser basierend auf WertR 91 [6]) angegeben.

Wie in den Abschnitten 2.1 bis 2.7 herausgestellt, geben die verschiedenen Hersteller von Rohren bzw. deren Fachverbände die Nutzungsdauer ihre Produkte in der überwiegenden Anzahl der Fälle mit dem in den KVR-Leitlinien der LAWA [3] ab der 4. Auflage aufgeführten Maximalwert von 100 Jahren an, so dass diese pauschalen Angaben, welche die in der Praxis auftretenden speziellen Randbedingungen nicht mit einbeziehen, kritisch hinterfragt werden müssen.

Darüber hinaus berücksichtigen alle o.g. Werte, wie bereits erwähnt, nicht mögliche Veränderungen insbesondere bezüglich der physikalischen, chemischen, biochemischen und biologischen Beanspruchung des Kanals im Nutzungszeitraum.

Zahlreiche Erfahrungen in der Praxis bzw. entsprechende Beispiele von vielen Kommunen, in denen „alte“ Abwasserrohre noch heute in Betrieb sind, haben gezeigt, dass die Rohrwerkstoffe Beton/Stahlbeton, Steinzeug und Gusseisen unter günstigen Randbedingungen durchaus Nutzungsdauern von mehr als 100 Jahren erreichen können. Für die relativ jungen Rohrwerkstoffe aus Polymerbeton oder Kunststoff (GFK, PVC, PE, PP), welche erst seit ca. 40 bzw. 50 Jahren in Entwässerungssystemen eingesetzt werden, müssen diesbezügliche langjährige In-situ-Erfahrungen erst noch gesammelt werden. Diese können für die relativ dünnwandigen Abwasserrohre nicht durch entsprechende theoretische Extrapolationsmethoden auf Basis von Laborerfahrungen (z.B. Zeitstandsinnen-druckversuche an (dickwandigen) Druckrohren etc.) ersetzt werden.

Tabelle 2 enthält die Zusammenfassung der Ergebnisse der Werkstoffanalyse bezüglich der Nutzungsdauer unter Berücksichtigung der KVR-Leitlinien [3] sowie von Herstellerangaben und Praxiserfahrungen.

Tabelle 2 Zusammenfassung der Ergebnisse der Werkstoffanalyse bezüglich der Nutzungsdauer *)

Rohrwerkstoff	Nutzungsdauer in Jahren nach		
	KVR-Leitlinien [3] (s. Tabelle 1)	Herstellerangaben (s. Abschnitt 2)	Praxiserfahrungen
Beton/Stahlbeton	50 bis 80 (100)	> 100	> 100
Steinzeug		> 100	> 100
Polymerbeton		> 60	ca. 40
Duktiler Guss (CEM)		> 100	> 100
GFK		50 bis 80 (100) (gemäß [3])	ca. 50
PVC-U		> 100	ca. 50
PE-HD		> 100	ca. 50
PP		100	ca. 50

*) Wenn Abwasserrohre norm- und regelgerecht gefertigt und verlegt sowie planmäßig betrieben werden, dann ist unabhängig vom Rohrwerkstoff von einer einheitlichen Nutzungsdauer auszugehen. Die technische Lebensdauer der Rohrverbindungen (z.B. Dichtungen) bleiben bei dieser Betrachtung unberücksichtigt.

Fazit:

Beton- und Stahlbetonrohre, insbesondere solche, die nach den hohen Anforderungen der FBS-Qualitätsrichtlinie hergestellt wurden, besitzen bei ordnungsgemäßem Gebrauch eine hohe Nutzungsdauer. Sie kann 100 und mehr Jahre erreichen, wie die Beispiele von vielen Kommunen zeigen, in denen Beton- und Stahlbetonrohre in so hohem Alter noch heute in Betrieb sind.

4 Literatur

- [1] Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW), Berlin, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK), Hennef (Hrsg.): Marktdaten 2002 – Ergebnisse der gemeinsamen Umfrage zur Abwasserentsorgung. Internet: <http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw/abwasser/marktdaten.pdf> (Stand: 22.03.2004).
- [2] Pecher, R.: Kostengünstige und wirtschaftliche Kanalnetzplanung – Einflussgrößen auf die Abwassergebühren. Internet: http://www.gueteschutzkanalbau.de/veroeffentlich/veroeff_frameset.htm (Stand: 22.03.2004).
- [3] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (Hrsg.): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 6. überarbeitete Auflage, Kulturbuchverlag Berlin GmbH, 1998.
- [4] Bundesminister für Verkehr (Hrsg.): Ablösungsrichtlinien StraW 85 – Richtlinien für die Berechnung der Ablösungsbeträge der Erhaltungskosten für Strassen und Wege. Stand 1988.
- [5] Kleiber, W.: WertR 02 – Wertermittlungsrichtlinien 2002. Sammlung amtlicher Texte zur Ermittlung des Verkehrswerts (Marktwerts) von Grundstücken mit Normalherstellungskosten – NHK 2000. 8. Auflage. Bundesanzeiger Verlag, Köln 2003.
- [6] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin; Bundesministerium der Verteidigung, Bonn (Hrsg.): Arbeitshilfen Abwasser – Planung, Bau und Betrieb von abwassertechnischen Anlagen in Liegenschaften des Bundes. Aktualisierte 2. Auflage, Mai 2004.
- [7] Bolle, F. W.: Untersuchung der Nutzungsdauer von Abwasserleitungen im öffentlichen Bereich. Forschungsantrag des FIW – Forschungsinstitutes für Wasser- und Abfallwirtschaft an der Rheinisch-Westfälischen Technischen

-
- Hochschule Aachen e.V., gerichtet an das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes NRW. Aachen, 10.10.2003.
- [8] Berger, C., Lohaus, J., Wittner, A., Schäfer, R.: Zustand der Kanalisation in Deutschland – Ergebnis der ATV-DVWK-Umfrage 2001. KA – Wasserwirtschaft, Abwasser Abfall 49 (2002), H. 3, S. 302–311.
- [9] Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS), Bonn: Technisches Handbuch. Bonn 1999.
- [10] Firmeninformation der Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V., Bonn.
- [11] DIN EN 295: Steinzeugrohre und Formstücke sowie Rohrverbindungen für Abwasserleitungen und -kanäle.
Teil 1: Anforderungen (enthält Änderung A1:1996, Änderung A2:1996 und Änderung A3:1999) (05.1999).
Teil 2: Güteüberwachung und Probenahme (enthält Änderung A1:1999) (05.1999).
Teil 3: Prüfverfahren (enthält Änderung A1:1998) (02.1999).
Teil 4: Anforderungen an Sonderformstücke, Übergangsbauerteile und Zubehörteile (05.1999).
Teil 5: Anforderungen an gelochte Rohre und Formstücke (enthält Änderung A1:1999) (03.1999).
Teil 6: Anforderungen für Steinzeugschächte (12.1995).
Teil 7: Anforderungen an Steinzeugrohre und Verbindungen beim Rohrvortrieb (12.1995).
Teil 10: Mandatierte Anforderungen (Norm-Entwurf 08.2001).
- [12] Firmeninformation Steinzeug Abwassersysteme GmbH, Köln.
- [13] Firmeninformation Meyer Rohr + Schacht GmbH, Lüneburg.
- [14] DIN 54815: Rohre aus gefüllten Polyesterharzformstoffen.
Teil 1: Maße, Werkstoff, Kennzeichnung (11.1998).

Teil 2: Anforderungen, Prüfung (11.1998).

- [15] Firmeninformation Saint-Gobain Gussrohr, Saarbrücken und Gelsenkirchen (ehemals Thyssen Guss AG, Schalker Verein).
- [16] DIN EN 598: Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für die Abwasser-Entsorgung – Anforderungen und Prüfverfahren (11.1994).
- [17] Firmeninformation Hobas Rohre GmbH, Neubrandenburg.
- [18] DIN 19565-1: Rohre und Formstücke aus glasfaserverstärktem Polyesterharz (UP-GF) für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen; geschleudert, gefüllt; Maße, Technische Lieferbedingungen (03.1989).
- [19] DIN EN 14364: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für Abwasserleitungen und -kanäle mit oder ohne Druck – Glasfaserverstärkte duroplastische Kunststoffe (GFK) auf der Basis von ungesättigtem Polyesterharz (UP) – Festlegungen für Rohre, Formstücke und Verbindungen (Norm-Entwurf 04.2002).
- [20] Kunststoffrohrverband e.V., Bonn (Hrsg.): Kunststoffrohrhandbuch – Rohrleitungssysteme für die Ver- und Entsorgung sowie weitere Anwendungsgebiete. 4. Auflage. Vulkan-Verlag, Essen 2000.
- [21] Barth, E.: Das Langzeitverhalten von Rohren aus PVC-U. 3 R international (1992) H. 5, S. 271–278.
- [22] Firmeninformation egeplast Werner Strumann GmbH & Co. KG, Greven.
- [23] Maertens, S.: Einsparpotenzial in der Abwasserentsorgung – Eine kommerziell-technische Studie. Studie an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Fachbereich Betriebswirtschaftslehre im Auftrag der egeplast Werner Strumann GmbH & Co. KG (Hrsg.). Greven, 01.09.2002.

- [24] Strumann, A.: Wirtschaftlichkeitsvergleich – Polymere Abwasserrohre versus herkömmliche Kanalrohre. Vortrag im Rahmen der Road Show 2002. Quelle: <http://www.forum-abwasserableitung.de/Downloads02/EGEPLAST02.pdf>.
- [25] DIN EN ISO 9080: Kunststoff-Rohrleitungs- und Schutzrohrsysteme – Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens von thermoplastischen Rohrwerkstoffen durch Extrapolation (10.2003).
- [26] Firmeninformation Uponor Anger GmbH, Marl.
- [27] DIN 8078: Rohre aus Polypropylen (PP) – PP-H (Typ 1), PP-B (Typ 2), PP-R (Typ 3) – Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung (04.1996).