

# Verbundwerkstoffe für die Abwasserwirtschaft

Sonderdruck 007

# Verbundwerkstoffe für die Abwasserwirtschaft

## Entwicklung einer faserbewehrten Auskleidung für Stahlrohre in der Abwasserentsorgung

Dr. H.-J. Kocks

In diesem Beitrag werden die Einsatzmöglichkeiten von Fasern für den Werkstoffverbund bei Rohrbeschichtungen vorgestellt. Die Auswahl des Fasertyps wird dabei maßgeblich von der späteren Aufgabenstellung in diesem Werkstoffverbund bestimmt. Für die Optimierung eines Faserzementmörtels für die Auskleidung von Stahlrohren in der Abwasserentsorgung wird der Weg von den grundlegenden Untersuchungen, die Produktionsversuche bis zur Zulassungsprüfung dargestellt.

## 1. Einleitung

Die Verwendung von Fasern ist zur Verbesserung von Werkstoffeigenschaften bekannt. Großtechnisch werden insbesondere Glasfasern bzw. Glasfasermatten in Verbindung mit Kunststoffen eingesetzt. Hier finden sich Anwendungsbereiche, wie Bootsbau, Flugzeug- oder Fahrzeugbau. Fasern haben nicht nur in der wirtschaftlichen Fertigung von Boots- oder Flugzeugkörpern als GFK-Leichtbauelemente ihre Bedeutung, sondern sichern beispielsweise auch hohe Laufleistungen für die Reibbeläge von Bremsen und Kupplungen. Lebensdauer und Belastbarkeit der Zahnriemen als Verbindung von Wellen und Aggregaten im Motor sind ein weiteres Beispiel der Leistungsfähigkeit fasermodifizierter Werkstoffe.

Der wohl älteste bekannte Einsatzbereich von Faserzusätzen ist der Baustoffsektor. So wurden schon sehr früh die Vorzüge von Strohbeigaben bei der Fertigung von Lehmbauten oder Lehmziegeln erkannt. Im Bereich der Baustoffe finden sich heute Fasern aus den verschiedensten Werkstoffen wie Glas, Kunststoff, mineralische Fasern und Stahlfasern. Jeder dieser Werkstoffe hat im Beton oder Mörtel seine Vor- und Nachteile.

Glasfasern sind hochflexibel, von hoher Festigkeit und zeichnen sich durch eine gute Haftung in der Betonmatrix aus. Problematisch ist jedoch die mangelhafte Alkalibeständigkeit. Im Extremfall sind schon nach wenigen Jahren die Fasern in der Beton- bzw. Mörtelmatrix kaum noch nachzuweisen. Kunststofffasern sind von guter chemischer Beständigkeit, besitzen jedoch nicht die herausragenden Zugfestigkeiten der Glasfaser.

Die wohl bekannteste mineralische Faser in Mörteln und Betonen ist die Asbestfaser, deren mechanische Eigenschaften mit der Glasfaser vergleichbar sind. Im Gegensatz zu den Glasfasern sind Asbestfasern im alkalischen Porenmedium der Mörtel- bzw. Betonmatrix beständig. Problematisch ist hier jedoch der gesundheitliche Aspekt. Asbestfasern spalten sich im Laufe der Zeit insbesondere bei der mechanischen Bearbeitung in lungengängige Dimensionen und verursachen nachgewiesenermaßen gesundheitliche Schäden, die 1992 zum Verbot der Fasern führten.

Stahlfasern sind mit guten mechanischen Eigenschaften und guter Haftung zur Betonmatrix ausgestattet. Auch die Stahlfaser ist im alkalischen Milieu der Betonmatrix absolut beständig. Problematisch ist hier jedoch die Korrosionsanfälligkeit, da nicht alle Fasern zwangsläufig mit einer ausreichenden Überdeckung in der Betonmatrix eingebettet sind. Durch die Karbonatisierung der Bauteiloberflächen nimmt die Porenalkalität langsam ab. Aufgrund der abnehmenden Porenalkalität korrodieren die Stahlfasern in den oberflächennahen Bereichen unter Bildung voluminöser Oxidationsprodukte, die den Beton im schlimmsten Fall absprennen können. Aus diesem Grunde werden stahlfaserbewehrte Mörtelschichten in der Regel mit einer zweiten fasernfreien Deckschicht versehen.

Die Wirkung der Fasern im Zementmörtel unterscheidet sich aufgrund der geringeren Korngröße des Zuschlags deutlich von den Betonen. Während bei Faserzusätzen in Mörteln aufgrund der kornübergreifenden Faserlängen sehr wohl die Funktion einer Armierung denkbar ist, können Fasern im Beton eine Stahlarmierung nicht ersetzen. Daher werden für die großen statischen Auf-

gaben auch weiterhin Moniereisen bzw. Stahlmatten zur Armierung des Betons vorgesehen.

In der Frage der Schwindrißvermeidung wird Fasern schon bei niedriger Dosierung eine günstige Wirkung zugesprochen /1/2/. Bei der Aushärtung von Mörtel und Beton bilden sich mikroskopisch feine Schwindrisse, die zur Abnahme der Festigkeiten führen. Fasern reduzieren die Schwindrißbildung und verbessern so den Zusammenhalt der Betonmatrix. Die Wirksamkeit der Faserzusätze äußert sich somit je nach Fasergehalt durch die Verbesserung der Schlagbeständigkeit von Betonbauteilen und ggf. je nach Anwendung auch durch die Zunahme der Festigkeiten.

## 2. Der Einsatz von Fasern in der Rohrherstellung

Das wohl inzwischen bekannteste Rohrprodukt mit Faserzusatz ist das Asbestzementrohr. Aufgrund seiner guten Materialeigenschaften, wie hoher Scheiteldruckfestigkeit, hohem Berstdruck und aufgrund der geringen Wanddicke auch günstigen Gewichte, hatte das Rohr eine große Verbreitung gefunden. Seit Beginn der 90'er Jahre wird jedoch aus den bekannten Gründen eine Kunststofffaser als Ersatz für die Asbestfaser eingesetzt. Das Verfahren zur Herstellung dieser Rohre hat sich dabei kaum verändert. Zur Herstellung wird eine Mischung aus Zement, Armierungsfasern und Prozessfasern verwendet. Die Prozessfasern sorgen dabei für ein wickelfähiges Gemisch der Einsatzstoffe. Hinzu kommen noch Wasser und einige Zusatz- bzw. Hilfsstoffe. Die Rohre werden auf geschliffenen Stahlkernen unter hohem Druck gewickelt.

Bei der Herstellung von GFK-Rohren werden beispielsweise Glasfasermatten in einer beheizten Schleuderform durch die Fliehkraft mit Harz durchtränkt und zu Rohren geformt. Die Temperaturführung der Stahlform sichert einen hohen Vernetzungsgrad des Reaktionsharzes und den optimalen Verbund zwischen Harz und Fasermatten. Auch hier wird der Vorteil des Werkstoffverbundes von Fasern bzw. Fasermatten und Kunstharz genutzt, um bei möglichst geringem Rohrgewicht ein hohes Maß an Festigkeit zu erzielen. Während im Falle der GFK- und Faserzementrohre die Fasern wesentlich die statischen Eigenschaften prägen, wird im Falle der Stahlleitungsröhre die Rohrstatik in erster Linie durch die mechanischen Eigenschaften des Stahls bestimmt. Der Einsatz der Fasern beschränkte sich bisher auf die Ummantelungen der Stahlrohre (Abb. 1) /3/.

Mit der Entwicklung einer Zementmörtelummantelung als mechanischen Schutz für polyethylenummüllte Stahlleitungsröhre begann auch die Suche nach einer geeigneten „Armierung“ der Mörtelmatrix. Dabei waren vor allem die Fertigungsmöglichkeiten, die Mörtelzusammensetzung und insbesondere die Anforderungen der Praxis zu berücksichtigen.

Die Anforderungen an die Zementmörtelummantelungen gehen dabei über die mechanische Schutzwirkung bei der traditionellen Rohrverlegung hinaus /4/. Da es üblich ist, Rohre an der Baustelle kalt zu biegen, war es erforderlich, die Zementmörtelummantelung so zu gestalten, daß diese auch die Herstellung von Bögen erlaubt. Eine geringfügige Rißbildung bei der Verformung beeinträchtigt nicht den mechanischen Schutz.



Abb. 1: Zementmörtelummantelte Stahlrohre

Eine ähnliche Biegebeanspruchung, wenn auch im elastischen Bereich des Stahlrohres ergibt sich beispielsweise bei der heute gängigen grabenlosen Rohrverlegung. Hier wird zwischen der Polyethylenumhüllung und dem Zementmörtel ein Haftvermittler aufgebracht, der ein Verschieben der Zementmörtelummantelung während des Einziehvorganges verhindert.

Sowohl die Polyethylenbandage, die zur Armierung und als Schalung bei der Herstellung der Zementmörtelummantelung dient, als auch die Faser waren seit Beginn der Entwicklung dieses mechanischen Schutzes wesentlicher Bestandteil der Mörtelrezeptur. So existieren letztlich zwei Applikationsverfahren zur Herstellung von Zementmörtelummantelungen.



Abb. 2: Herstellung der Zementmörtelummantelung im Spritzverfahren

Beim Spritzverfahren wird der Mörtel mit Hilfe von Druckluft auf das sich drehende Rohr aufgebracht (Abb. 2). Dem Mörtel wird im Spritzkopf über die Druckluft eine geschnittene Faser aus Glas oder Kunststoff dem Mörtel zugesetzt.

Das heute bevorzugte Applikationsverfahren ist mit der Wickelextrusion einer Polyethylenumhüllung vergleichbar. Der Mörtel wird über eine Flachdüse auf das sich drehende Rohr aufgebracht, so daß die unerwünschten Spritzverluste entfallen (Abb. 3).



Abb. 3: Herstellung der Zementmörtelummantelung im Wickelverfahren

### 3. Entwicklung einer fasermodifizierten Zementmörtelauskleidung für den Abwasserbereich

In den nachfolgenden Ausführungen wird die Wirksamkeit unterschiedlicher Faserwerkstoffe und Fasertypen für den Einsatz in Zementmörtelauskleidungen von Abwasserrohren diskutiert. Die

primäre Aufgabenstellung einer Faser für die Auskleidung der Abwasserrohre beschränkt sich auf die „Rißüberbrückung“, beispielsweise im Falle von Rohrdeformationen. Sie hat keine statischen Funktionen, da diese letztlich vom Stahlrohr übernommen werden. Je nach Anforderung werden Stahlrohre für die Abwasserentsorgung mit Zementmörtelauskleidungen entsprechend DIN 2614 bzw. DIN 2880 auf Hochofenzement- oder Tonerdeschmelzementbasis ggf. in Kombination mit einer Kunststoffdispersion eingesetzt /5/6/. Die Untersuchungsmethoden für die fasermodifizierten Mörtel wurden somit auf die geforderte mechanische Wirkung und den Korrosionsschutz der Auskleidung abgestimmt.

Im Trinkwasserbereich zeichnen sich die Zementmörtelauskleidungen durch die ausgeprägte Tendenz zur Selbstheilung aus, die im Abwasserbereich aufgrund des aggressiveren Mediums eingeschränkt ist. Die Fähigkeit zur Selbstheilung wird bei Auskleidungen im Abwasserbereich des weiteren durch den Einsatz von Kunststoffdispersionen als Mörtelzusatz und insbesondere durch den weniger zur Ausheilung befähigten, aber chemisch beständigeren Hochofenzement im Falle einer Rißbildung gemindert. Hier könnten fasermodifizierte Mörtelauskleidungen deutliche Vorteile gegenüber den herkömmlichen Auskleidungen bieten.

## 4. Experimentelles

In den Versuchsreihen zur Untersuchung der mechanischen Wirkung verschiedener Faseranteile und -typen wurde ein Zement/Sand-Verhältnis von 1 und ein Wasser/Zementwert im Bereich von 0,35-0,38 eingehalten. Für den Mörtel wurde ein Feinsand mit einer maximalen Körnung von 1 mm eingesetzt. Die Fasern wurden eingewogen und mit einem Rührer in der Mörtelmischung homogen verteilt. Die Mörtelproben wurden entsprechend DIN EN 196 eingeschalt und am Rütteltisch verdichtet. Es folgte eine 24 stündige Lagerung der Proben in luftdicht verschlossenen Folien. Anschließend wurden die ausgehärteten Mörtelprismen bis zu den jeweiligen Prüfungen unter Wasser gelagert.

### 4.1 Bestimmung der mechanischen Eigenschaften fasermodifizierter Mörtel

Zur Prüfung der Biegezug- und Druckfestigkeiten stand eine der DIN EN 196 entsprechende Apparatur zur Verfügung. Im ersten Schritt erfolgte die Bestimmung der Biegezugfestigkeit an Mörtelprismen der Dimension 16 x 4 x 4 cm. Die dabei entstehenden Probenhälften werden anschließend zur Prüfung der Druckfestigkeit eingesetzt.

### 4.2 Versuche unter Produktionsbedingungen

Die Laboruntersuchungen wurden durch weitere Versuche unter Betriebsbedingungen ergänzt. Dabei werden die Mörtelkomponenten computergesteuert dosiert und in einem Zwangsmischer homogenisiert.

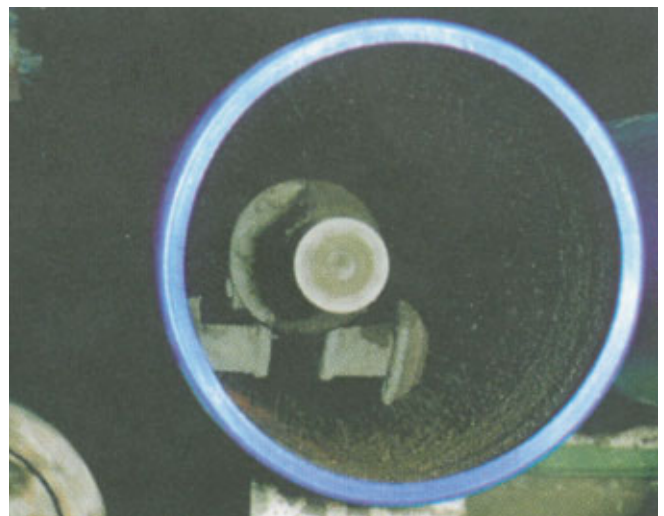


Abb. 4: Anschleudern des Zementmörtels



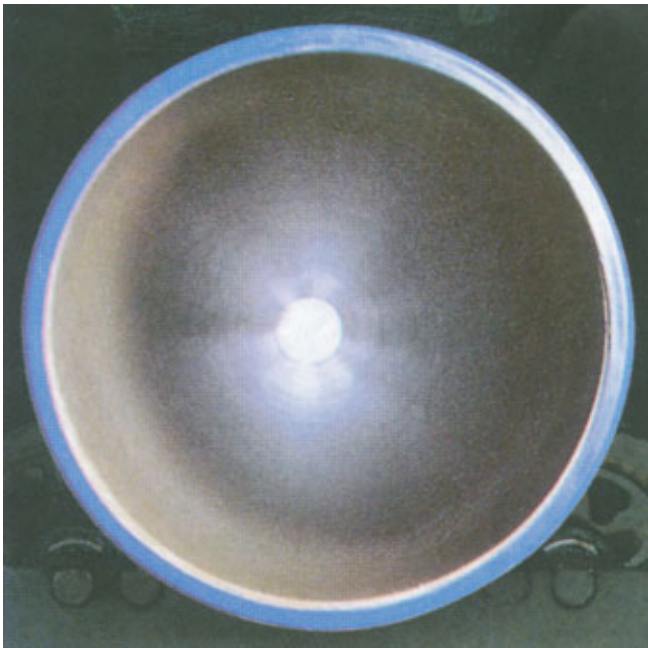


Abb. 5: Auskleidung nach der Glättung durch Rotation

Die Zugabe der Kunststoffdispersion und der Fasern erfolgte während des Mischvorganges. Der Mörtel wird nach dem Mischen einem Pumpenwagen zugeführt und über eine Lanze ins Rohr gefördert. Am Kopf der Förderlanze befindet sich ein luftmotorbetriebenes Schleuderrad. Der Mörtel wird über das Schleuderrad an die Rohrwandung geworfen (Abb. 4). Anschließend erfolgt die Glättung der noch rauen Auskleidung durch Rotation (Abb. 5). Die Rohre wurden nach dem Auskleiden mit Folien luftdicht verschlossen und bei Raumtemperatur gelagert. Zur Beurteilung der Faserverteilung im Mörtel wurde die Auskleidung nach dem Glätten in Bezug auf die Homogenität der Auskleidung visuell kontrolliert.

Für die Auslagerungsversuche wurden sowohl Mörtelprismen, als auch 10 – 15 cm breite Segmente der unter Produktionsbedingungen hergestellten Rohre eingesetzt. Je nach Drehzahl wird bei der Herstellung der Auskleidung durch die Verdichtung des Mörtels Wasser ausgetrieben. Mit dem Wasseraustritt erfolgt unterstützt durch die auftretenden Fliehkräfte bei der Rotation eine Anreicherung von Feinanteilen an der Auskleidungsoberfläche, während sich das grobkörnige Material zum Phasengrenzbereich von Stahl und Mörtelauskleidung orientiert. Die mit Feinkorn angereicherte Auskleidungsoberfläche wurde vor den Auslagerungsversuchen entfernt.

#### 4.3 Untersuchungen zur chemischen Beständigkeit fasermodifizierter Mörtel

Die Untersuchung der chemischen Beständigkeit fasermodifizierter Mörtel wurde an der Universität in Siegen durchgeführt. In den Voruntersuchungen handelte es sich um Auslagerungsversuche in einer Acetatpufferlösung bei pH 4.5 und Raumtemperatur an den zuvor unter Produktionsbedingungen hergestellten Rohrsegmenten. Der Säureverbrauch durch Reaktion von Medium und Zementmörtel erlaubt Aussagen über die Beständigkeit der Auskleidung. Der Säureverbrauch ergibt sich aus der erforderlichen Salzsäuredosierung zur Einhaltung des pH-Wertes von 4.5 über den Versuchszeitraum von 28 Tagen.

Die Untersuchung nach DIN 2614 erfolgte an Mörtelprismen durch Auslagerung bei pH 4.5 in einer Acetatpufferlösung. Im Gegensatz zu den Voruntersuchungen wird der pH-Wert nicht durch die Dosierung von Salzsäure eingestellt, sondern durch den wöchentlichen Wechsel der Versuchslösung. Nach Ablauf der geforderten 6 Monate werden die Proben bis zur Massenkonstanz getrocknet und das lose noch anhaftende Material mit einer Nylonbürste entfernt. Der Massenverlust wird flächenbezogen in g/m<sup>2</sup> angegeben.

## 5. Untersuchungsergebnisse und Diskussion

### 5.1 Die mechanischen Festigkeiten fasermodifizierter Mörtel

#### 5.1.1 Biegezug- und Druckfestigkeiten

In den ersten Versuchsreihen wurde der Einfluß von Faserart und Fasergehalt des Mörtels auf die mechanischen Festigkeiten des Mörtels untersucht. Unter Berücksichtigung einer Biegezugfestigkeit des Mörtels von 5 – 7 N/mm<sup>2</sup> und einer Zugfestigkeit beispielsweise der Glasfaser von etwa 1000 N/mm<sup>2</sup> wurden selbst bei geringen Faserkonzentrationen schon deutliche Verbesserungen der Festigkeiten erwartet.

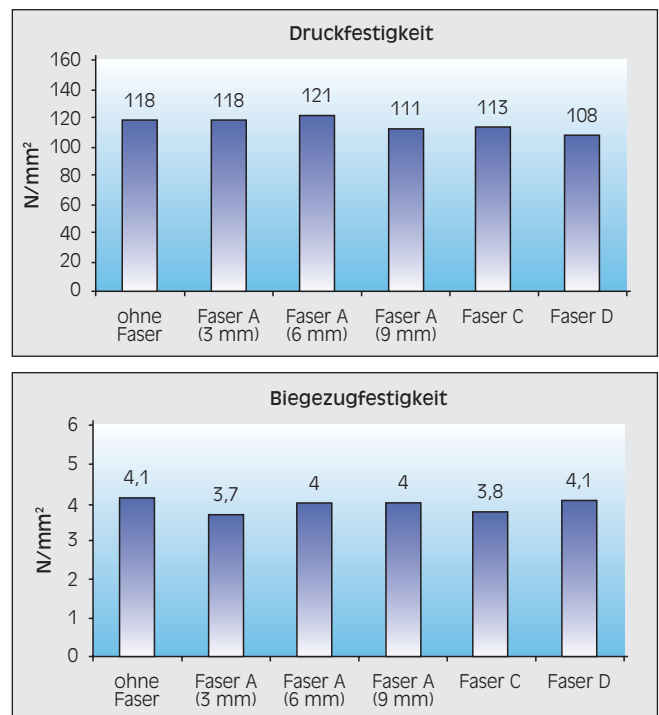


Abb. 7 + 8: Druck- und Biegezugfestigkeiten glasfasermodifizierter Mörtel. Bed.: Portlandzement, Lagerung 7 Tage, Fasergehalt 0,25 Vol.-%

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen die Biegezug- und Druckfestigkeiten unter Einsatz verschiedener Glasfasertypen nach einer Lagerungsdauer von 7 Tagen. Es wurde ein Mörtel auf Portlandzementbasis eingesetzt. Dabei zeigte sich, daß bei einem Glasfasergehalt von 0,25 Vol.-% keine gravierenden Änderungen der mechanischen Festigkeiten zu verzeichnen waren. Ein ähnliches Ergebnis lieferte die Untersuchung unterschiedlicher Glasfaserkonzentrationen in einem Mörtel auf Hochofenzementbasis nach 7-tägiger Lagerung. Hier wurden im Fall der Druckfestigkeit abnehmende Tendenzen festgestellt (Abb. 9 und 10).

Wie im Falle der Glasfasern konnte auch unter Einsatz von Kunststofffasern keine günstige Wirkung auf die mechanischen Eigenschaften des Mörtels beobachtet werden.

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen die ermittelten Biegezug- und Druckfestigkeiten unter Einsatz verschiedener Kunststoffasertypen in einem Portlandzementmörtel nach einer Lagerungsdauer von 7 Tagen.

Im Falle der Druckfestigkeiten wurde unter Einsatz der Polypropylenfaser aber auch der feinen Polyacrylnitrilfaser eine deutliche Abnahme der Druckfestigkeiten registriert. Lediglich im Falle der groben Polyacrylnitrilfaser konnte bei den Biegezugfestigkeiten eine Zunahme von 4,2 auf immerhin 4,9 N/mm<sup>2</sup> beobachtet werden.

Im Verlaufe dieser Untersuchungen zeigte sich, daß die Polypropylenfaser im Vergleich zur Polyacryl- oder Glasfaser und insbesondere zum faserfreien Mörtel den gerissenen Prismen einen

deutlich besseren Zusammenhalt verlieh. Während beispielsweise die Proben des faserfreien Mörtels nach der Druckfestigkeitsprüfung auseinanderfallen, ist eine Trennung der gerissenen Mörtelsegmente unter Einsatz einer Polypropylenfaser von Hand nicht möglich (Abb. 13).

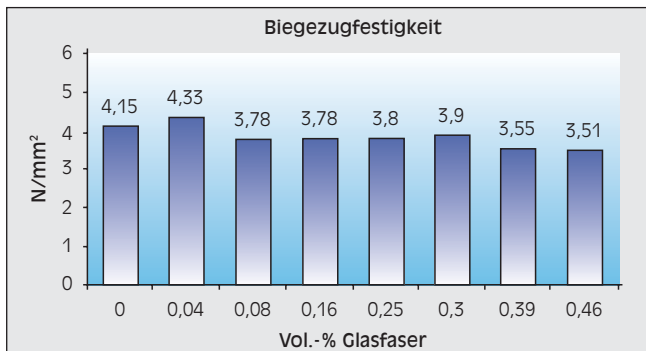
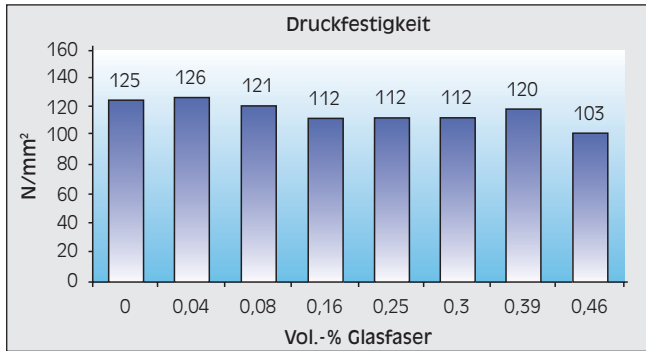


Abb. 9 + 10: Druck- und Biegezugfestigkeiten in Abhängigkeit der Faserkonzentration. Bed.: Hochofenzement, Lagerung 7 Tage, Glasfaser A

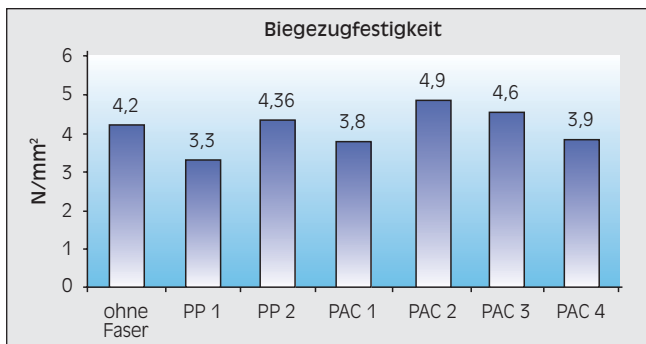
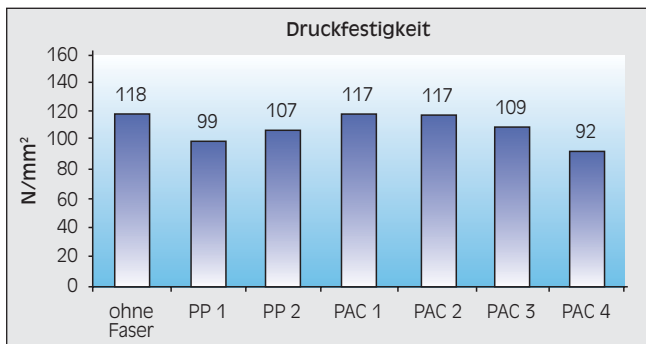


Abb. 11 + 12: Druck- und Biegezugfestigkeiten kunststofffasermodifizierter Mörtel. Bed.: Portlandzement, Lagerung 7 Tage, Fasergehalt 0,25 Vol.-%

Aus diesem Grunde wurde bei der Untersuchung zur Wirkung unterschiedlicher Faserkonzentrationen eine Polypropylenfaser eingesetzt. Diese Untersuchungen erfolgten mit einem Mörtel auf Hochofenzementbasis nach 7-tägiger Lagerung in einem Konzentrationsbereich von 0,15 bis 0,6 Vol.-%.

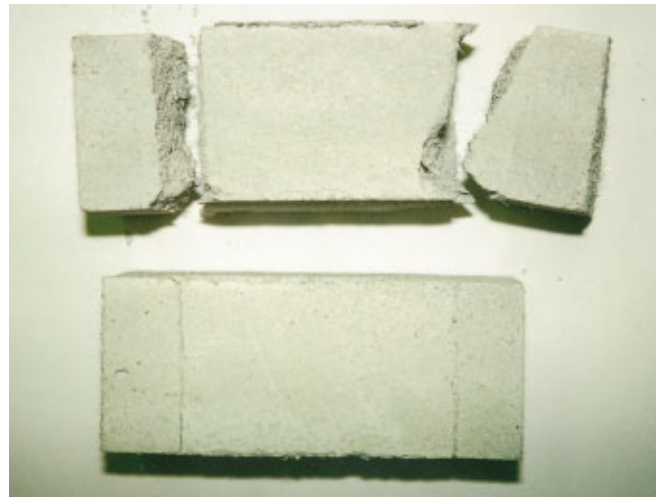


Abb. 13: Mörtelprismen nach Prüfung der Druckfestigkeit

Hier wurden jedoch wie schon im Falle der Glasfaser keine Veränderung der Biegezug- und Druckfestigkeiten festgestellt (Abb. 14 und 15). Es blieb der schon beschriebene Effekt eines auffallend guten Zusammenhalts der gerissenen Mörtelprismen nach der Druckfestigkeitsprüfung.

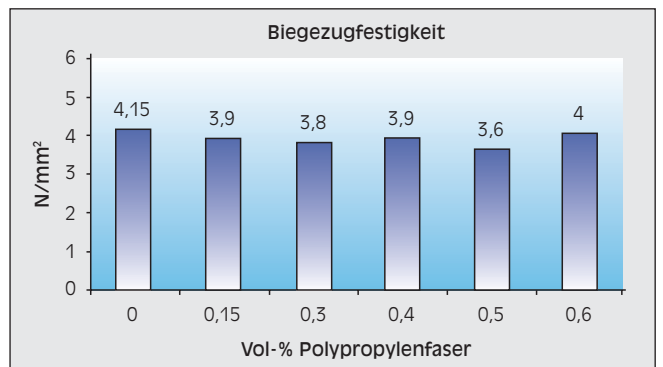
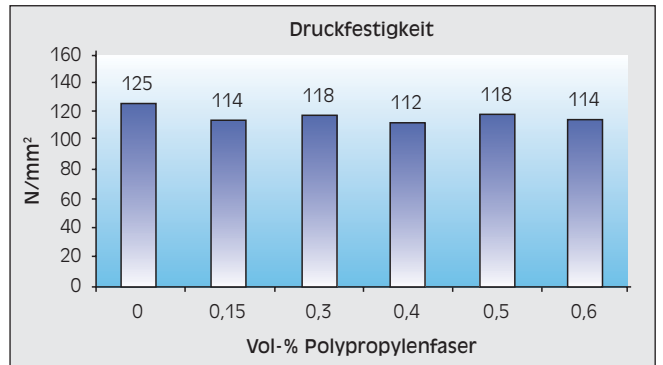


Abb. 14 + 15: Druck- und Biegezugfestigkeiten in Abhängigkeit der Faserkonzentration. Bed.: Hochofenzement, Lagerung 7 Tage, Polypropylenfaser

Bei der Aufgabenstellung einer Fasermodifizierung von Mörteln ist der Einfluß einer Faser auf die statischen Eigenschaften eines Mörtels von dem hier beschriebene Effekt der Rißüberbrückung zu unterscheiden. In der Literatur wird im Zusammenhang mit den statischen Aufgaben häufig vom Mindestfasergehalt gesprochen. Diese Fasermenge leistet bereits vor der Rißbildung über die Zugfestigkeit der Einzelfasern den auftretenden Kräften entsprechenden Widerstand und übernimmt damit eindeutig auch die Aufgabe einer Armierung. Im Gegensatz zu dieser Betrachtungsweise hat die Faser bei der Überbrückung von Rissen, wie sie bei der Prüfung der Druckfestigkeit beobachtet werden, keine statische Funktion. Durch die Rißbildung werden die wirkenden Kräfte vollständig abgebaut. Die Fasern dienen hier nur dem Zusammenhalt

der Mörtelfragmente. Die Untersuchung der mechanischen Festigkeiten liefert somit über die hier gewünschte Wirkung der Faser keine Informationen. Zur Beurteilung der „rißüberbrückenden“ Wirkung mußte daher ein anderer Versuchsaufbau gewählt werden.

### 5.1.2 Prüfung der Scherfestigkeit gerissener Mörtelprismen

Zur Quantifizierung des Zusammenhaltes der Mörtelmatrix nach der Rißbildung wurde die Apparatur zur Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeiten modifiziert (Abb. 16).

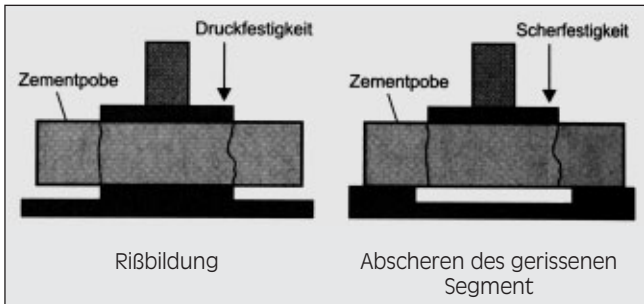


Abb. 16: Apparatur zur Prüfung der Scherfestigkeit fasermodifizierter Mörtel

Entgegen der üblichen Vorgehensweise wurde hier nicht zuerst die Prüfung der Biegezugfestigkeit vorgenommen, sondern über die Druckfestigkeitsprüfung primär eine definierte Rißbildung erzwungen. Dazu wurden die Prismen um 0,4 bis 0,5 mm zusammengedrückt. Anschließend erfolgte die Prüfung der gerissenen Prismen an der modifizierten Einrichtung zur Prüfung der Biegezugfestigkeit, wobei statt der Punktlasten eine mit der Druckfestigkeitsprüfung vergleichbare Stempeldimension mit entsprechenden Auflagern für die Prismenenden eingesetzt wurde. Auf diese Weise wurde die Probe nicht einer Biegebeanspruchung, sondern einer Scherbeanspruchung unterworfen.

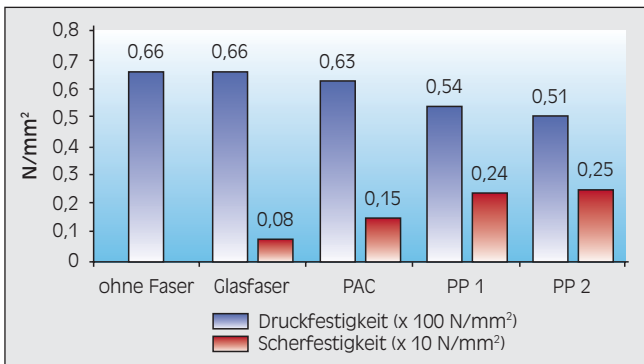


Abb. 17: Druck- und Scherfestigkeit von Mörteln mit verschiedenen Fasertypen. Bed.: Hochofenzement, Lagerung 14 Tage, Fasergehalt 0,5 Vol.-%

Abbildung 17 zeigt die ermittelten Druck- und Scherfestigkeiten der fasermodifizierten Mörtelproben auf Hochofenzementbasis nach einer Lagerungsdauer von 14 Tagen. Die Druckfestigkeit des Mörtels nahm in der Folge Glasfaser, Polyacrylnitrilfaser, Polypropylenfaser ab.

Die Abnahme der Druckfestigkeit im direkten Vergleich mit den Zugfestigkeiten der Fasern ist auf dem ersten Blick nicht zu verstehen. So liegt die Zugfestigkeit des Mörtels bekanntlich bei etwa einem Zehntel der Druckfestigkeit, die Zugfestigkeit der eingesetzten Fasern jedoch um ein Vielfaches höher (vergl. Abb. 18).

Bei der Behandlung der Fasern als „Zuschlagstoff“ ergibt sich ein etwas anderes Bild. Unter der Annahme, daß Sand als Zuschlag etwa mit der Glasfaser vergleichbare Zugfestigkeiten aufweist, stellen die Kunststoffasern als Zuschlag betrachtet mit ihrer im Vergleich zum Quarz oder Glas geringeren Zugfestigkeit „Fehlstel-

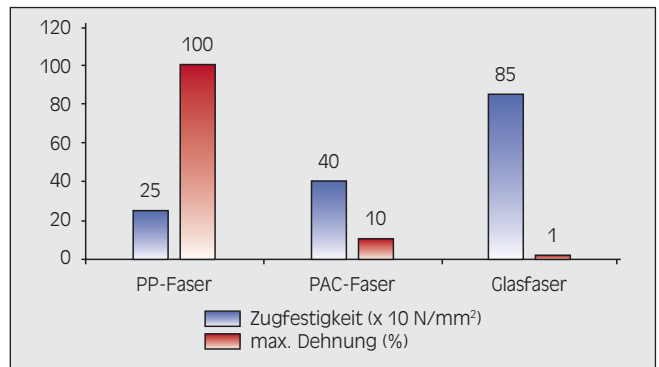


Abb. 18: Mechanische Eigenschaften der untersuchten Fasertypen

len“ in der Mörtelmatrix dar, die den Effekt der abnehmenden Druckfestigkeit erklären könnten. Dabei müßte unter Einsatz der Glasfaser eine annähernd unveränderte Druckfestigkeit vorliegen, während mit abnehmender Zugfestigkeit der Fasern auch die Druckfestigkeiten abnehmen. Diese Tendenzen wurden in den vorliegenden Untersuchungen bestätigt.

Die Scherfestigkeiten nehmen entgegen der Druckfestigkeit in der Folge Glasfaser, Polyacrylnitrilfaser, Polypropylenfaser zu (Abb. 17). Hierbei dürfte die Bruchdehnung einen entscheidenden Beitrag leisten (vergl. Abb. 18). Aufgrund der fehlenden Bruchdehnung der Glasfaser und der geringen Bruchdehnung einer Polyacrylnitrilfaser scheint eine große Zahl rißübergreifender Fasern schon während der Kompression der Mörtelprobe zu reißen, oder den Verbund zur Mörtelmatrix zu verlieren. Durch die hohe Bruchdehnung können Polypropylenfasern hingegen solche Risse problemlos überbrücken. Die optimale Faser für den hier untersuchten Anwendungszweck verbindet somit eine hohe Bruchdehnung mit hoher Zugfestigkeit.

### 5.2 Versuche unter Betriebsbedingungen

Zur Prüfung der Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen von Polypropylenfasern in der Zementmörtelauskleidung sind aus produktionstechnischer Sicht Versuche zur Verarbeitbarkeit unumgänglich. So wurden unterschiedliche Polypropylenfaserstärken in der Produktion eingesetzt, um die Vereinzelung der Fasern im Zwangsmischer näher zu untersuchen (Tab. 4). Dabei zeigte sich, daß die feinen Faserqualitäten deutlich zur „Nesterbildung“ neigen, ein Effekt, der in einer Zementmörtelauskleidung von etwa 8 mm Dicke aufgrund der damit verbundenen Fehlstellen in der Mörtelschicht nachteilig ist (Abb. 19).

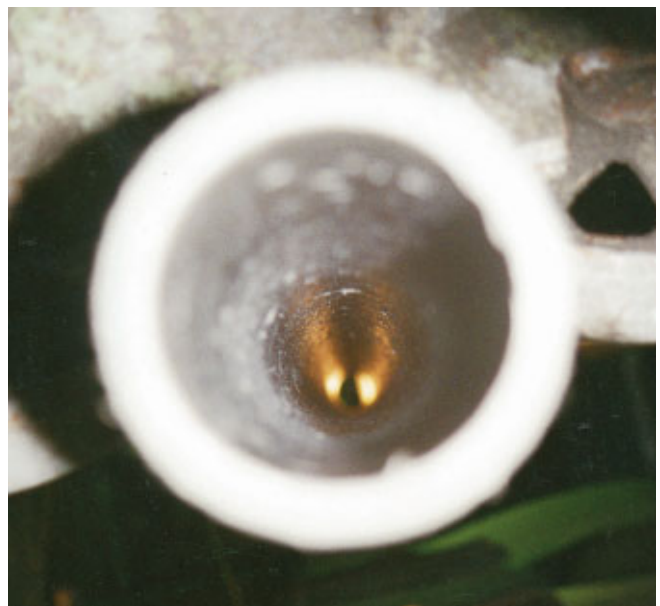


Abb. 19: Nesterbildung

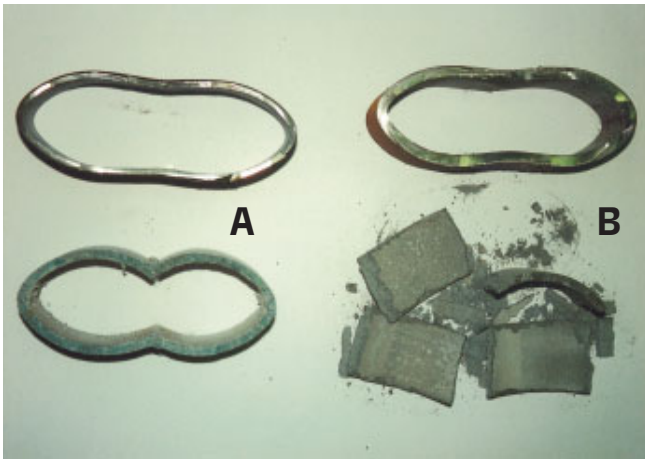


Abb. 20: Ringfaltversuch zementmörtelausgekleideter Proben mit (A) und ohne Faser (B)

Bei optimaler Verteilung der Faser in der Mörtelmischung läßt sich die Wirkung eindrucksvoll im Ringfaltversuch eines Rohrsegmentes demonstrieren (Abb. 20). Während die Ausführung ohne Faserzusatz (A) nach einer Verformung des Außendurchmessers um 50 % vollständig zerstört ist, erweist sich die Auskleidung mit Faserzusatz (B) als formstabil.

### 5.3 Untersuchung der Chemikalienbeständigkeit fasermodifizierter Zementmörtelauskleidungen

Der Einsatz einer Polypropylenfaser in der Zementmörtelauskleidung für den Abwasserbereich erfordert neben der Prüfung der Produktionstauglichkeit auch die Untersuchung des Einflusses auf die Korrosionsbeständigkeit der Zementmörtelauskleidung.

In Voruntersuchungen wurde der Säureverbrauch durch die Auslagerung zementmörtelausgekleideter Rohrsegmente bei einem pH-Wert von 4,5 untersucht. Abbildung 21 zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchungen nach einer Versuchsdauer von 28 Tagen. Bereits zu diesem Zeitpunkt wird deutlich, daß die Zementmörtelauskleidung auf Hochofenzementbasis unter Zusatz der Polypropylenfaser geringfügig an Beständigkeit verliert. Während die faserfreie Ausführung einen Säureverbrauch von 104 ml aufweist, ergibt sich unter Zusatz der Polypropylenfaser ein um etwa 10 % höherer Säureverbrauch von 114 ml.

Diese Tendenz konnte in der Korrosionsprüfung nach DIN 2614 für eine faserfreie und fasermodierte Zementmörtelauskleidung bestätigt werden. Dazu wurde der flächenbezogene Massenverlust von Mörtelproben nach 6 monatiger Auslagerung in einem Acetatpuffer bestimmt. Auch hier fand sich für den fasermodifizierten Mörtel eine geringere Chemikalienbeständigkeit (Abb. 21).

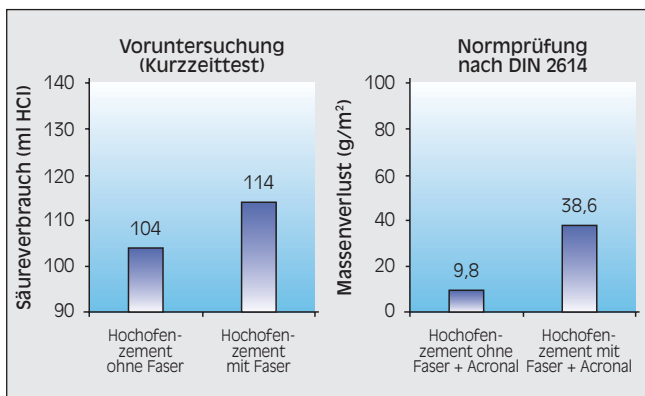


Abb. 21: Korrosionsrate von Mörtelproben mit und ohne Faser bei pH 4,5 Säureverbrauch einer Kurzzeitprüfung und Massenverlust-rate im Acetatpuffer nach DIN 2614. Bed.: Raumtemperatur, Versuchsdauer der Voruntersuchung 28 Tage, Versuchsdauer der Normprüfung 6 Monate, Fasergehalt 0,5 Vol.-%

Während der faserfreie kunststofflegierte Mörtel einen flächenbezogenen Massenverlust von etwa 10 g/m<sup>2</sup> aufweist steigt im Falle des Faserzusatzes dieser Wert um etwa das Vierfache auf 38,6 g/m<sup>2</sup>. Der zugelassene Höchstwert für Mörtelauskleidungen im Abwasserbereich von 100 g/m<sup>2</sup> wird jedoch bei weitem nicht erreicht.

## 6. Schlußfolgerungen

Die Untersuchungen von Faserzusätzen in der Zementmörtelauskleidung von Stahlrohren für die Abwasserentsorgung haben gezeigt, daß bei den hier eingesetzten Faserkonzentrationen im Vergleich zum faserfreien Mörtel keine größeren Festigkeiten erreicht werden.

Es konnte eine Korrelation der mechanischen Eigenschaften von Mörtel und Faserwerkstoff festgestellt werden. Mit abnehmender Zugfestigkeit der Faser wurden geringere Druckfestigkeiten des fasermodifizierten Mörtels festgestellt. Eine Zunahme der Bruchdehnung des Faserwerkstoffes führte wiederum zu einem besseren Zusammenhalt des Mörtels im Falle der Ribbildung.

Die Polypropylenfaser hat sich in den hier beschriebenen Untersuchungen als die beste Lösung erwiesen. In den Versuchen unter Produktionsbedingungen konnte wie bei den unter Laborbedingungen hergestellten Mörtelproben eine optimale Verteilung der Faser im Mörtelgefüge erreicht werden. Der fasermodierte Zementmörtel erfüllt in Bezug auf die Korrosionsbeständigkeit die Anforderungen der DIN 2614.

## 7. Literatur

1. M.A. Sanjuan, A. Moragues; Model for predicting plastic shrinkage of polypropylene reinforced mortars, Journal of Material Science (1994) H. 11 S. 2821 – 2825
2. H. Hähne, H. Schinkel, P. Houssen; Dolanit-Fasermörtel – ein neues Baumaterial, Betonwerk + BFT Fertigteiltechnik (1988) H. 8.
3. DVGW-Arbeitsblatt GW 340; FZM-Ummantelung zum mechanischen Schutz von Stahlrohren und -formstücken mit Polyolefinumhüllungen, Entwurf 7/1997
4. H. J. Kocks, H. Joens, C. Reekers; Ummantelungen aus Faserzementmörtel – Ein mechanischer Schutz für kunststoffumhüllte Stahlleitungsrohre, bbr (1997) H. 8 S. 32 – 38
5. DIN 2614; Zementmörtelauskleidungen für Gußrohre, Stahlrohre und Formstücke; Ausgabe 02/1990
6. DIN 2880; Anwendung von Zementmörtelauskleidungen für Gußrohre, Stahlrohre und Formstücke; Ausgabe 01/1999





Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe

Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH  
In der Steinwiese 31 | 57074 Siegen  
Telefon: 0271 691-0 | Telefax: 0271 691-299  
info@smlp.eu | www.smlp.eu

