

## **Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V.**

Geschäftsstelle

Georg-Haar-Str. 5

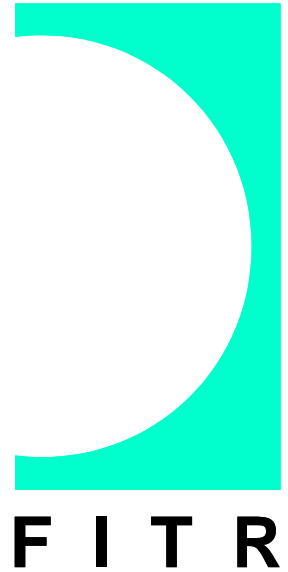
D-99427 Weimar

Telefon: (0 36 43) 82 68 0

Telefax: (0 36 43) 82 68 26

Email: Postmaster@fitr.de

Internet: <http://www.fitr.de>



## **Bionische Beeinflussungsmöglichkeit der Verweildauer von Sedimenten in Abwasserleitungen**

---

erschieden:

Schriftenreihe der Akademie der Wissenschaften und der Literatur,  
Mainz, BIONA report 16, 2003, S. 62-69.

# Bionische Beeinflussungsmöglichkeit der Verweildauer von Sedimenten in Abwasserleitungen

Dr.-Ing. Wolfgang Berger, Dipl.-Phys. Jörg Labahn

## 1. Einleitung

Weltweit werden Rohrleitungen für den wirtschaftlichen Transport von Öl, Gas, Wasser, Feststoffen und vielen anderen Medien von der Produktions- bzw. Fundstätte bis zur Verbrauchs- oder Verwendungsstelle eingesetzt. Um die Betriebssicherheit der Leitungen über einen langen Zeitraum zu erhalten, müssen diese dicht und für die auftretenden Temperaturschwankungen sowie Beanspruchungen ausgelegt sein.

Darüber hinaus hat die Oberfläche der Rohrinne eine entscheidende Einfluss auf das Strömungsverhalten in Rohrleitungen. Bisher war man bestrebt, die Oberflächen möglichst glatt auszubilden. Somit konnte das Problem des Auftretens von Ablagerungen von Feststoffteilchen, die eine Verringerung des Strömungsquerschnittes bewirken und damit die Funktionstüchtigkeit der Leitungen beeinträchtigen bei kontinuierlich betriebenen Abwasserleitungen und -kanälen weitestgehend unterbunden werden.



Bei diskontinuierlich durchströmten Leitungen dagegen, in denen durch sehr niedrige Strömungsgeschwindigkeiten oder zeitweise Unterbrechung des Flusses Ablagerungen (**Abb. 1**) entstehen können – die sich mit einfachen strömungstechnischen Mitteln nur schwer oder gar nicht wieder abtragen lassen –, besteht Handlungsbedarf.

**Abb. 1:** Schadensbild [1]

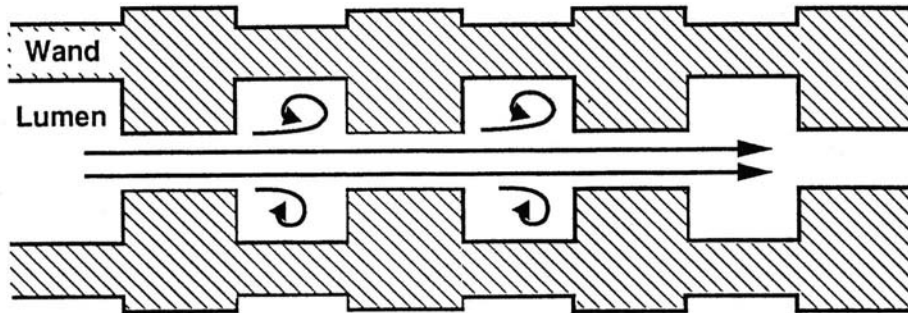
Im Laufe der letzten Jahrzehnte hat die Erforschung von Naturphänomenen und deren Anwendung auf die Technik große Fortschritte erzielt. Dies zeigen Untersuchungen zum strömungstechnischen Einfluss makroskopischer und mikroskopischer Oberflächen auf das Strömungsverhalten und insbesondere die Grenzschichtausbildung zwischen Medium und um- bzw. durchströmter Oberfläche. Hervorzuheben sind z. B. die bahnbrechenden Erkenntnisse auf dem Gebiet sich selbstreinigender Oberflächen („Lotus-Effekt“) sowie der Reibungsverminderung an Oberflächen („Haifisch-Haut“), die in Zusammenarbeit von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren zu interessanten technischen Lösungen führten.

Es lag deshalb nahe zu prüfen, ob die in der Bionik und Biotechnologie gewonnenen naturwissenschaftlichen Erkenntnisse sowohl für konstruktive als auch für verfahrenstechnische Innovationen im Rohrleitungsbau genutzt werden können. Dabei ist die unmittelbare Anwendung des so genannten Lotus-Effektes auf die Strukturierung von Innenoberflächen von Rohrleitungen und Kanälen zur Zeit aus wirtschaftlichen Gründen sowie der durch die rauen Betriebsbedingungen bedingten begrenzten Lebensdauer der Strukturen nicht möglich.

In einem vom Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Infrastruktur geförderten Vorlauforschungsprojekt „Möglichkeiten der Übertragung von Naturformen in den Rohrleitungsbau und deren Wirkung auf die Eigenschaften von Leitungssystemen“ wurden vom FITR Weimar e.V. bereits vorliegende Erkenntnisse auf dem Gebiet sich selbstreinigender Oberflächen sowie Aussagen zu Strömungen in Gerinnen und Adersystemen zusammengetragen und Ansätze für Strukturierungsmöglichkeiten in Rohrleitungen abgeleitet.

Mit dem Hinweis auf die detaillierten Ausführungen in [2] werden an dieser Stelle zwei spezielle Anregungen für eine mögliche Strukturierung des Innenrohres kurz aufgezeichnet.

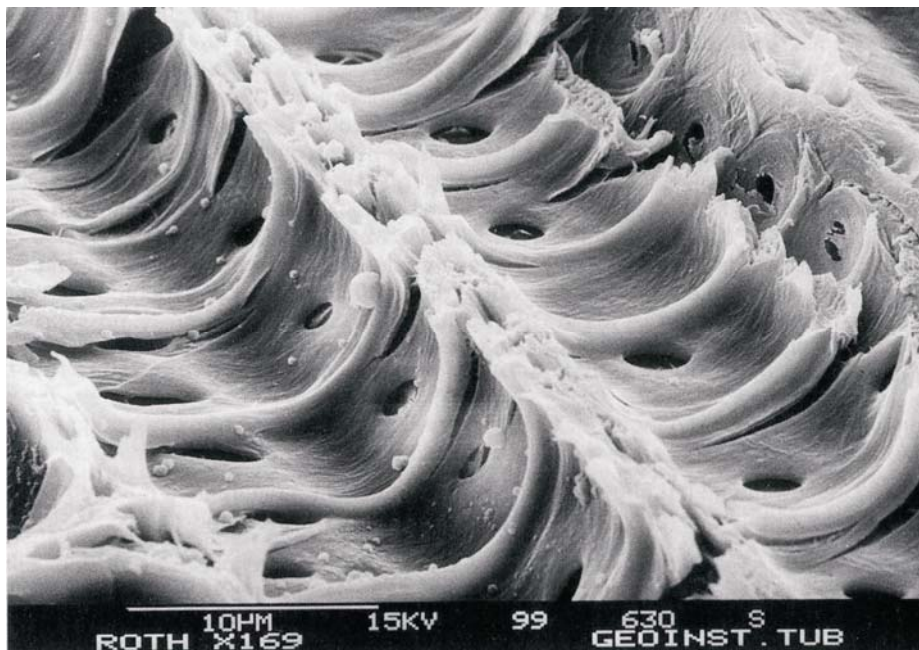
Wenn auch nur hypothetisch, so werden von KESEL [3] am Flügeladermodell (schraffierter Bereich in **Abb. 2**: Aderwand) die Fluidströmungen innerhalb der Ader (Lumen) aufgezeigt und die Auswirkung der Innenwandversteifung auf das strömende Fluid suggeriert.



**Abb. 2:** Flügeladermodell [3]

Es kann somit angenommen werden, dass sich bei entsprechender Dimensionierung (Verhältnis der versteiften zu nichtversteiften Wandbereiche bzw. des freien Lumens zum verengten, sowie der Re-Zahl) strömungsbegünstigende Effekte einstellen.

Ein weiterer Aspekt wird von ROTH und MOSBRUGGER [4] bei Untersuchungen zum Wassertransport im Xylem, dem wasserleitenden Gewebe der Landpflanzen, aufgeworfen. So erscheinen im Xylem vieler Holzpflanzen Gefäße, die zusätzlich der Sekundärwand aufgelagerte, schraubenförmige Verdickungen aufweisen (s. **Abb. 3**).



**Abb. 3:** Ring- oder schraubenförmige Wandverstärkungen an der Innenseite der Xylemelemente [4]

Die Strömung gleitet über die erste Verdickung hinweg (Zone geringeren Druckes) und steigt an der nachfolgenden Verdickung wieder an (Zone höheren Druckes). Der über die Kaverne gleitende Fluidstrom treibt in ihr eine Rezirkulationszone an. Das in der Kaverne befindliche Fluid nimmt dadurch nicht an der Strömung teil.

Im Gegensatz zum Lotus-Effekt, bei dem die Selbstreinigung durch mikroskopisch kleine Oberflächenstrukturen bewirkt wird, erfolgte die experimentelle Untersuchung besonders geeignet erscheinender makroskopischer Oberflächenstrukturen in einer Vielzahl von Rinnenversuchen im Hydrolabor Schleusingen der Bauhaus-Universität Weimar.

Als Ziel steht der Einsatz von technologisch möglichst einfach und kostengünstig zu realisierenden makroskopischen Strukturen, die den rauen Betriebsbedingungen in Rohrleitungen langjährig standhalten können. Durch derartige Strukturen sollen in der wandnahen Zone künstliche Turbulenzen hervorgerufen werden, die eine Feststoffablagerung verhindern bzw. das Abtragen abgelagerter Stoffe ermöglichen [5].

## 2. Rinnenversuche

Zur Verfügung stand eine ca. 5 m lange und 0,29 m breite Rechteckrinne aus Aluminium mit gläsernen Seitenwänden (s. **Abb. 4**). Die Realisierung der Wasserzufuhr erfolgt über ein fest installiertes Pumpensystem, wobei der Wasservolumenstrom über ein Messgerät induktiv geregelt wird. Ausreichend war eine Pumpe, die bis maximal 35 l/s fördern kann. Das die Rinne durchströmende Wasser fließt über eine große Versuchsrinne – in der sich verwendetes Sedimentationsmaterial in Form von Sand und saugfähigem Papier ablagern kann – ab, bevor es wieder in den Wasserkreislauf gelangt. Weiterhin besteht die Möglichkeit das Gefälle zu variieren und die Strömungsgeschwindigkeit in der Rinne mittels Messflügel aufzuzeichnen.



**Abb. 4:** Versuchsrinne im Hydrolabor Schleusingen der Bauhaus-Universität Weimar  
(links: Gesamtansicht der Rinne; rechts oben: Zulauf; rechts unten: Ablauf) [2, 6]

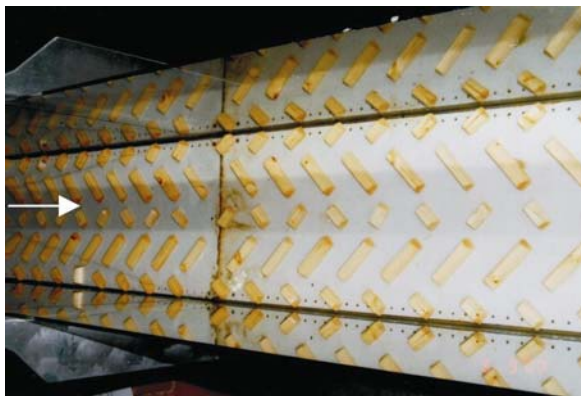
Für die meisten Versuche wurde das Rinnengefälle mit  $I = 0,001$  beibehalten, da bei diesem geringen Gefälle die schwierigsten Randbedingungen für die Sedimentation bzw. für das Abtragen bereits abgelagerter Sedimente zu erwarten waren. Bei den Versuchen mit einer ebenen Rinnensohle wurde der Wasservolumenstrom einheitlich mit  $Q = 10$  l/s gewählt. Ohne den Einsatz von Strukturkörpern stellt sich eine Pegelstandshöhe von  $h = 0,08$  m ein. Daraus er-

rechnet sich eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von  $v \cong 0,4$  m/s. Für die Nachbildung der Sedimente kam Sand mit einer Korngröße von 0 bis 1 mm zum Einsatz. Bei den Versuchen mit ebener Rinnensohle wurde dieser hauptsächlich in den 3-m-Bereich mit einer Schichtdicke von 10 mm bis maximal zur Höhe der jeweiligen Strukturkörper aufgebracht.

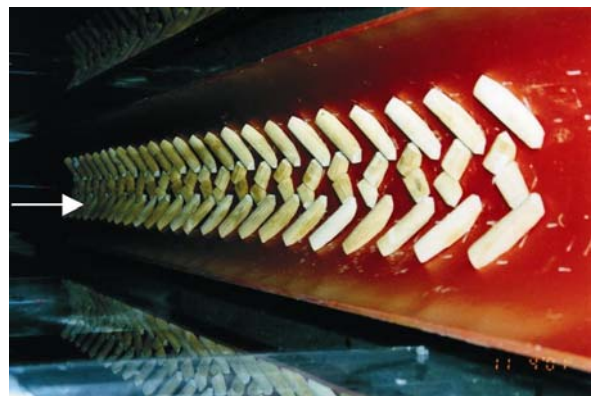
Ausführlich sind die Versuche mit ebener Rinnensohle in [2], [6], [7] und [8] beschrieben. Bei den Versuchen wurden folgende Strukturkörper getestet, die jeweils auf mit Bohrungen versehenen Stahlplatten befestigt und auf die Rinnensohle im 2- und 3-m-Bereich (in Strömungsrichtung gesehen) eingelegt wurden:

- Winkelprofile 10 mm x 10 mm aus Aluminium über die gesamte Rinnenbreite in verschiedenen Abständen in Strömungsrichtung
- Verkürzte Winkelprofile in unterschiedlich versetzter Anordnung
- Betonschutzplatten mit versetzt angeordneten, pilzkopfförmigen Noppen (Höhen: 10 mm und 15 mm)
- Betonschutzplatten mit versetzt angeordneten, schwalbenschwanzförmigen Noppen (Höhe: 19 mm)
- PE-Auskleideplatten mit durchgehenden Bewehrungsstegen (Rippenhöhe: 13 mm; Rippenabstand: 30 mm) quer zur Strömungsrichtung
- Zylinderförmige Körper (Höhe: 13 mm; Durchmesser: 40 mm) in versetzter Anordnung
- Scharfkantige Strukturkörper aus Holz mit einer steilen Anströmböschung und mit einer Abrundung auf der Abströmseite (Länge: 40 mm und 80 mm; Breite: 15 mm und Höhe: 14 mm) in unterschiedlich versetzter Anordnung

Die besten Ergebnisse wurden mit den versetzt und verdreht angeordneten Winkelprofilen aus Aluminium sowie mit den scharfkantigen Strukturkörpern aus Holz (s. **Abb. 5**) erzielt. Bei diesen Strukturkörper-Varianten verkürzte sich die erforderliche Zeit für das Abtragen des Sandes aus dem 3-m-Bereich durch die Wasserströmung von **8:00 min** im Falle der nicht-strukturierten Rinnensohle auf **1:00 min** bzw. auf **1:05 min**.



**Abb. 5:** Versetzt und verdreht angeordnete Strukturkörper aus Holz auf ebener Rinnensohle (der Pfeil kennzeichnet die Strömungsrichtung) [2, 6, 7, 8]



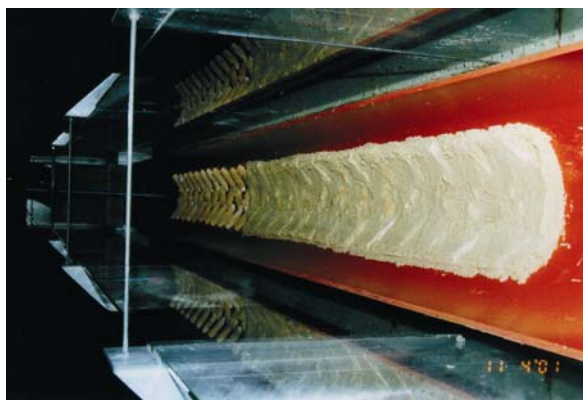
**Abb. 6:** Versetzt und verdreht angeordnete Strukturkörper aus Holz auf halbkreisförmiger Rinnensohle (der Pfeil kennzeichnet die Strömungsrichtung) [9]

Von Interesse waren auch Versuche mit einer halbkreisförmigen Rinnensohle. Hierzu wurde eine PVC-Rohrhalbschale mit einem Innenradius von  $r_1 = 120$  mm über die gesamte Länge der Rinne eingebaut. Das Aufkleben unterschiedlich geformter Strukturkörper aus Holz auf

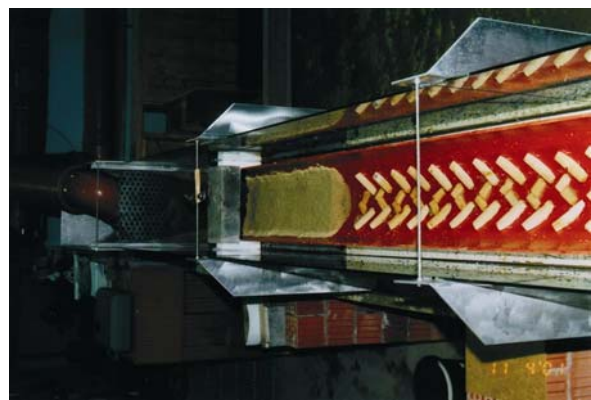
die glatte Innenseite der Rohrhalschale auf dem 2. und 3. Meter (in Strömungsrichtung gesehen) in verschiedener Anordnung erfolgte mittels Silikon. **Abb. 6** zeigt als Beispiel die Variante mit versetzt und verdreht angeordneten Strukturkörpern aus Holz mit einer steilen Anströmseite und einer Abrundung auf der Abströmseite (Länge: 40 mm und 80 mm; Breite: 15 mm und Höhe: 14 mm), die der Krümmung angepasst sind.

Unter Verwendung der in **Abb. 6** dargestellten Anordnung wurde der Sand bei dem folgenden Versuch entsprechend der Höhe der Strukturkörper in den 3-m-Bereich der Rinne eingebaut. Die davor befindlichen Strukturkörper des 2-m-Bereiches blieben frei (s. **Abb. 7**).

Versuchsdaten: Wasservolumenstrom:  $Q = 4 \text{ l/s}$   
Rinnengefälle:  $I = 0,001$   
Pegelstand im 3-m-Bereich:  $h \approx 85 \text{ mm}$   
Strömungsgeschwindigkeit im Anströmbereich:  $v = 0,24 \dots 0,25 \text{ m/s}$



**Abb. 7:** Sandschicht im 3-m-Bereich [9]



**Abb. 8:** Sandschicht im Zulaufbereich [9]

Es hat sich herausgestellt, dass das Abräumen einer im 3-m-Bereich eingebauten Sandschicht bis auf geringste Reste nach  $t = 1:10 \text{ min}$  abgeschlossen war und somit fast **20 mal** schneller vonstatten ging als ohne Strukturierung. Im Auslaufbereich lagert sich der Sand wieder ab. Während des Versuches konnte beobachtet werden, dass die schräg gestellten Holzkörper an den Rändern einen besonderen Einfluss auf den Sandtransport hatten, indem von dort der Sand sehr schnell in das Zentrum gespült wurde.

Unter gleichbleibenden Randbedingungen wurden auch Versuche durchgeführt, in denen der Einbau des Sandes in einer Schichtdicke von ca. 50 mm über eine Länge von ca. 650 mm im Zulaufbereich der Rinne vor den Strukturkörpern erfolgte (s. **Abb. 8**).

Im Ergebnis dieses Versuches kann festgestellt werden, dass infolge der durch die Strukturkörper hervorgerufenen Verwirbelung der Strömung im Sohlebereich der Rinne sich der eingetragene Sand in einem wesentlich geringeren Maße ablagert als in dem nichtstrukturierten Auslaufbereich.

### 3. Betonrinnenversuche

Weiterführend im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie unterstützten Projekt „Oberflächenstruktur in Rohrleitungen“ liefern – ebenfalls im Hydrolabor Schleusingen – Versuche an einer aus Betonhalbschalen DN 400 aufgebauten 25 m langen Versuchsrinne. Das Wasser wurde in einen Zulaufbehälter gespeist und floss dann gleichmäßig in die Rinne.

Am Ende der Versuchsrinne ist ein rechteckiger Sandfang gemauert worden, damit der verwendete Sand nicht unkontrolliert in den Wasserkreislauf zurückgelangen konnte (s. **Abb. 9**). Die gesamte Rinnenkonstruktion war auf U-Profilen und gemauerten Sockeln gelagert. Über die gesamte Strecke wurde wiederum ein Gefälle von 0,001 eingestellt. Als Sedimentationsmaterial kam Sand mit einer Korngröße von 0 bis 0,5 mm zur Anwendung.



**Abb. 9:** Betonrinne des FITR im Hydrolabor Schleusingen der BUW  
(links: Gesamtansicht; rechts oben: Zulauf; rechts unten: Ablauf) [10]

Um ein möglichst breites Spektrum einer strukturierten Rohrleitungsstrecke zu erkunden, sind Versuchsreihen mit unterschiedlichen Anordnungen gefahren worden. Im Hinblick auf die spätere Fertigung von Matrizen zur Strukturierung in Rohrleitungen wurden nach Konsultation mit einem Matrizenhersteller vorrangig keilförmige Strukturkörper mit einer Höhe von zuerst 10 und dann 5 mm und einer steilen Anströmseite – Kantenwinkel  $< 90^\circ$  – getestet. Durch deren Einsatz waren bei den durchgeführten Versuchen sehr effektive Abräumvorgänge zu verzeichnen. Verdeutlicht werden soll diese Aussage an Hand der Anordnung 2. **Abb. 10** zeigt einen Ausschnitt der keilförmigen Strukturkörper (Länge: 40 und 80 mm, Breite: 20 mm und Höhe: 10 mm), welche sich vom 8. bis 16. Meter (in Strömungsrichtung gesehen) in drei Reihen auf der Sohle und an den Seiten befinden.



**Abb. 10:** Anordnung 2 der keilförmigen Strukturkörper  
(der Pfeil kennzeichnet die Strömungsrichtung) [10]



**Abb. 11:** Sandschicht vom 10. bis 12. Meter  
(der Pfeil kennzeichnet die Strömungsrichtung) [11]

Wird der Sand (8,6 kg) entsprechend **Abb. 11** im Mittelbereich der Rinne aufgetragen, so ist dieser bei einem Wasservolumenstrom von  $Q = 20 \text{ l/s}$  und einer sich einstellenden Strömungsgeschwindigkeit von  $v = 0,32 \text{ m/s}$  innerhalb von **5:15 min** aus dem betrachteten Bereich abgetragen. Somit **4 mal** schneller als bei dem gleichen Versuch ohne Strukturierung.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen an einer ebenen und halbkreisförmigen Rinne sowie einer 25 m langen Betonrinne ist es gelungen, effektiv wirksame und bei der Rohrerstellung leicht realisierbare Oberflächenstrukturen zu erkunden, bei deren Anwendung Feststoffablagerungen selbst bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten und bei geringem Gefälle vermieden bzw. bei diskontinuierlichem Betrieb abgelagerte Feststoffe schnell abgetragen werden können.

Damit ist der Weg nicht nur für eine praktische Anwendung der Oberflächenstrukturen im Sohlbereich von Abwasserleitungen und -kanälen aus Beton sondern auch für andere Rohrmaterialien (z.B. Kunststoffrohre) geebnet. Vorgestellt werden kann bereits das Ergebnis eines ersten Vorversuches an einer in die Betonrinne eingepassten 6 m langen 2/3 GFK<sup>1</sup>-Rohrschale DN 250 mit auf der Sohle aufgetragenen keilförmigen Strukturkörpern ( $h = 5 \text{ mm}$  und Anordnung 2 gemäß **Abb. 10**).



Als Sedimentationsmaterial wurde 3,5 kg bindiges Material (Körnung 0 bis 5 mm) auf 1 m in der Mitte der GFK-Rohrschale verteilt und mit 1,2 l gewässert (**Abb. 12**).

#### **Abb. 12:**

Strukturierte GFK-Rohrversuchsstrecke mit Sedimentationsmaterial (der Pfeil kennzeichnet die Strömungsrichtung) [12]

Versuchsdaten: Wasservolumenstrom:  $Q = 14 \text{ l/s}$   
Rinnengefälle:  $I = 0,001$   
Pegelstand:  $h = 155 \text{ mm}$   
Strömungsgeschwindigkeit:  $v = 0,37 \dots 0,38 \text{ m/s}$  im Sohlbereich  
(jeweils am Einlauf der  $v = 0,41 \dots 0,42 \text{ m/s}$  unter  $\text{H}_2\text{O}$ -Oberfläche GFK-Rohrschale)

Während des 5 Tage später durchgeführten Versuches war ein sehr kontinuierliches Losreißen und Aufwirbeln von kleineren „Sedimenthäufchen“ zu beobachten. Der gesamte Abtragungsprozess dauerte **20:30 min** und lässt an dieser Stelle zwei Schlussfolgerungen zu:

1. Die Wirkung von nur 5 mm hohen keilförmigen Strukturkörpern auf der Sohle von GFK-Rohren ist gegeben.
2. Der Abtrag von Sedimentationsmaterial geht auch bei größerer Körnung und vorheriger Lagerungsphase sowie wiederum niedriger Strömungsgeschwindigkeit und geringem Gefälle vonstatten.

<sup>1</sup> Glasfaserverstärktes Kunststoffrohr

## 5. Literatur

- [1] Bölke, K.-P.: Kanalinspektion – Schäden erkennen und dokumentieren. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1996
- [2] Berger, W.; Keller, H.; Labahn, J.: Möglichkeiten der Übertragung von Naturformen in den Rohrleitungsbau und deren Wirkung auf die Eigenschaften von Leitungssystemen, Zwischenbericht, FITR Weimar e.V., 2000
- [3] Kesel, A.: Bionik – Lernen von der Natur für die Technik der Zukunft, BIONA-report 9, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 1995
- [4] Roth, A., Mosbrugger, V.: Wasserleitsysteme in Landpflanzen – Optimierungsstrategien im Hinblick auf Transporteffizienz und Materialaufwand, BIONA-report 10, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm, 1996
- [5] Patentschrift DE 199 45 009 A1: Rohrleitungen und Leitungselemente zum Transportieren fließfähiger Medien, 1999
- [6] Berger, W.; Labahn, J.: Oberflächenstrukturen in Rohrleitungen, Sachbericht, FITR Weimar e.V., 2001
- [7] Labahn, J.: Ungeahnte Effekte – Strukturierte Oberflächen in Rohrleitungen, ROHRBAU-Journal 2/2000, S. 28-29
- [8] Böhme, C.: Rinnenversuche mit strukturierter Bodengestaltung, Studienarbeit, Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, 2000
- [9] Labahn, J.: Rinnenversuche mittels PVC-Rohrhalbschale der Firma REHAU AG+Co im Hydrolabor Schleusingen, Kurzbericht, FITR Weimar e.V., 2001
- [10] Labahn, J.: Stand der Versuche an der 25-m-Rinne im Hydrolabor Schleusingen, Niederschrift, FITR Weimar e.V., 2001
- [11] Berger, W.; Labahn, J.: Oberflächenstrukturen in Rohrleitungen, Sachbericht, FITR Weimar e.V., 2002
- [12] Labahn, J.: Versuche an einer 6 m langen 2/3 GFK-Rohrschale DN 250 im Hydrolabor Schleusingen, Niederschrift, FITR Weimar e.V., 2001

**Verfasser:** Dr.-Ing. Wolfgang Berger  
Institutsdirektor  
und  
Dipl.-Phys. Jörg Labahn  
Wiss. Mitarbeiter  
Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V.  
Georg-Haar-Straße 5  
Telefon: (03643) 82 68 20  
Telefax: (03643) 82 68 26  
e-mail: postmaster@fitr.de  
Internet: www.fitr.de