

Susanne Veser, Jörg Londong

**EVaSENS – Einsatz von
Vakuum-Inlinern im Bestand
Integration von Unterdruck-
Sanitärtechnik im bestehenden
Gebäude zur Etablierung von
NASS-Systemen**

F 3038

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2017

ISBN 978-3-7388-0029-6

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

EVaSENS

Einsatz von Vakuum-Inlinern im Bestand – Integration von Unterdruck-Sanitärtechnik im bestehenden Gebäude zur Etablierung von NASS -Systemen

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong

Projektbearbeitung und Autorin des Berichts : Dipl.-Ing. (FH) Susanne Veser

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. (Aktenzeichen: II 3-F20-10-1-148/SWD-10.08.18.7-12.13). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

| Abschlussbericht | Seite |
|---|--------------|
| Einleitung | 1 |
| 1.1 Hintergrund des Forschungsprojekts | 1 |
| 1.2 Problemstellung und Zielsetzung | 1 |
| 1.3 Aktueller Stand Projekte im Bereich Neue Abwassersysteme | 2 |
| 1.4 Stand der Wissenschaft | 4 |
| 1.5 Wohngebäude | 4 |
| 1.6 Funktionsgebäude | 7 |
| 2 Methodische Entwicklung der nachträglichen Unterteilung eines Bestandsrohres in zwei getrennte Bereiche | 8 |
| 2.1 Anforderungsanalyse | 8 |
| 2.3 Theoretischer Lösungsansatz | 9 |
| 3. Vorversuch | 10 |
| 3.1 Ergebnisse Vorversuche | 11 |
| 4. Durchführung von Versuchen zur Beurteilung der technischen Funktionalität der Doppelinversion in ein bestehendes Fallrohr | 12 |
| 4.1 Festlegung der Rahmenparameter | 13 |
| 4.2 Aufbau Versuchsstand | 13 |
| 4.3 Vorbereitung der Teststrecken | 14 |
| 4.4 Anschlussproblematik | 14 |
| 1.6.1 Lösungsansätze Anschlussproblematik | 15 |
| 1.6.2 Aufbau der Teststrecken zum Nachweis der prinzipiellen technischen Machbarkeit einer Doppelinversion im bestehenden Gebäude | 18 |
| 5. Durchführung der Doppel -Inversion an den Teststrecken | 19 |
| 6. Überprüfung der funktionsfähigen doppelten Leitungsausbildung im Fallrohr | 23 |
| 6.1 Analyse der Dichtheit bzw. Unterdruckfähigkeit der Anschlüsse | 27 |
| 6.2 Untersuchung des Abflussverhaltens in dem veränderten, nierenförmigen Leitungsquerschnitt. | 29 |
| 6.3 Ergebnisse und Fazit (Veser 2015) | 30 |
| 7. Visualisierung des Strömungsverhaltens eines Fluids im nierenförmigen Leitungsquerschnitt | 33 |
| 7.1 Versuchsdurchführung mit gefärbtem Wasser | 36 |
| 7.2 Ergebnisse (Veser 2015) | 38 |
| 8. Zusammenfassende Bewertung aller Untersuchungsergebnisse und Ausblick (Veser 2015) | 39 |
| 8.1 Zusammenfassung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse (Veser 2015) | 39 |
| 8.3 Ausblick | 41 |
| Literaturverzeichnis | 44 |

| Abbildungsverzeichnis | | Seite |
|------------------------------|---|--------------|
| Abb. 1 | Wohnungen im gesamten Bundesgebiet verteilt auf Baualtersklassen und deren Nutzung. (BBSR, Zander 2014) | 5 |
| Abb. 2 | Bewohnte Wohnungen nach Baujahr des Gebäudes [Statistisches Bundesamt, 2012] | 5 |
| Abb. 3 | Wohnbauleistungen im Bestand (BBSR, Zander 2014) | 6 |
| Abb. 4 | Installationsbereich in einem Plattenbau Typ WBS 70 (Oehler, 2000) | 7 |
| Abb. 5 | Ideenskizze zur Leitungstrennung im Bestand, (Veser 2010) | 9 |
| Abb. 6 | Versuchsaufbau für das Vorexperiment. (Lill 2012) | 10 |
| Abb. 7 | Ergebnis aus dem Vor-Experiment. (Lill 2012) | 11 |
| Abb. 8 | Linker Querschnitt, Ergebnis aus Experiment 3, rechter Querschnitt, Ergebnis aus Experiment 4 (Veser 2015) | 12 |
| Abb. 9 | Größenklasse der Pflegeheime, Quelle: Statistisches Bundesamt, Pflegestatistik (Stichtag 15.12.2003) | 13 |
| Abb. 10 | Fertigung der Teststrecken (Veser 2015) | 14 |
| Abb. 11 | Einbringen und Fixieren des Anschlussstutzens während der Inversion (Veser 2015) | 15 |
| Abb. 12 | Anschlussstutzen der Fa.Brawoliner (Veser 2015) | 16 |
| Abb. 13 | Vorbereitung des Anschlusses für den Schwarzwasserliner (Veser 2015) | 17 |
| Abb. 14 | Aufbau der Teststrecke über zwei Etagen (Veser 2015) | 18 |
| Abb. 15 | Liner in DN 100 und DN 50 sowie Kalibrierschlauch vor der Inversion (Veser 2015) | 19 |
| Abb. 16 | Inversion und Fangen des Kalibrierschlauchs (Veser 2015) | 20 |
| Abb. 17 | Inversionstrommel mit Kalibrierschlauch (Veser 2015) | 20 |
| Abb. 18 | Befüllen des DN50 Liners mit Epoxidharz (Veser 2015) | 21 |
| Abb. 19 | Rohrleitungsinspektion des SW-Liners an Teststrecke 1 mit-deutlich erkennbarem kreisrunden Querschnitt, aufgenommen mit Kamera Gejos PIC5.5 Peli (Veser 2015) | 23 |
| Abb. 20 | Rohrleitungsinspektion des SW-Liners an der Anschlussstelle von Teststrecke 1 mit-Kamera Gejos PIC5.5 Peli (Veser 2015) | 24 |
| Abb. 21 | Rohrleitungsinspektion des SW-Liners kurz vor dem Bogen am Ende von Teststrecke 1 mit-Kamera Gejos PIC5.5 Peli (Veser 2015) | 24 |
| Abb. 22 | Rohrleitungsinspektion des GW-Liners mit-Kamera Gejos PIC5.5 Peli (Veser 2015) | 25 |
| Abb. 23 | Rohrleitungsinspektion des GW-Liners mit-Kamera, Ausfräsung der Anschlussstelle Gejos PIC5.5 Peli (Veser 2015) | 25 |
| Abb. 24 | Rohrleitungsinspektion des GW- Liners kurz vor dem Bogen am Ende von Teststrecke 1 mit-Kamera Gejos PIC5.5 Peli (Veser 2015) | 26 |

| | | |
|---------|---|----|
| Abb. 25 | Längsschnitt durch den Bogenabschnitt im unteren Bereich von Teststrecke 1, Vesper, Berndt (2015) | 26 |
| Abb. 26 | Aufgeschnittene Leitung von Teststrecke 1 von unten (linker Querschnitt) nach oben (rechter Querschnitt), Vesper (2015) | 27 |
| Abb. 27 | Versuchsaufbau zur Überprüfung der Unterdruckfähigkeit und Dichtheit der Anschlüsse an Teststrecke 1, Vesper (2015) | 28 |
| Abb. 28 | Versuchsaufbau zur Überprüfung des Abflussverhaltens an Teststrecke 2, Vesper (2015) | 29 |
| Abb. 29 | Versuchsaufbau zur Überprüfung des Abflussverhaltens an Teststrecke 2, umgesteckt an das Referenzrohr, Vesper (2015) | 30 |
| Abb. 30 | Messwerte Referenzrohr mit rot markierten Grenzbereichen, Vesper (2015) | 32 |
| Abb. 31 | Messwerte inversiertes Rohr mit rot markierten Grenzbereichen, Vesper (2015) | 32 |
| Abb. 32 | Erster Vorversuch zur Vorbereitung der Sichtprüfung des Ableitungsverhaltens, (Vesper 2015) | 33 |
| Abb. 33 | Putzkörper zur Reinigung von Kühlsystemen der Fa. Taprogge, Vesper (2015) | 34 |
| Abb. 34 | Kamera-Aufbau für Aufnahmen am Referenzrohr, Vesper (2015) | 35 |
| Abb. 35 | Überprüfung der Kameraeinstellungen zu den Aufnahmen des Fließverhaltens im Standardrohr, Berndt (2015) | 35 |
| Abb. 36 | Einzelaufnahmen mit $Q=1,0\text{l/s}$ in der Niere, Vesper (2015) | 36 |
| Abb. 37 | Überlagerte Bilder mit $Q=1,0\text{l/s}$ in der Niere Ansicht von links aufgenommen und von rechts aufgenommen, Vesper (2015) | 37 |
| Abb. 38 | Überlagerte Bilder mit $Q=2,0\text{l/s}$ in der Niere Ansicht von links aufgenommen und von rechts aufgenommen, Vesper (2015) | 38 |
| Abb. 39 | Der Poo-Bus, Quelle Foto: WGO | 43 |

| Tabellenverzeichnis | Seite |
|--|--------------|
| Tab. 1 Liste abgeschlossener und aktueller Neuartige Sanitärsysteme (NASS) - Projekte Stand 2014, ergänzte Übersicht nach einer Tabelle von Londong (2013). | 3 |

Einleitung

1.1 Hintergrund des Forschungsprojekts

Mit Einführung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) im September 1994 wurde in Deutschland offiziell bekannt, dass Rohstoffe zur Produktion von Konsumgütern ein begrenztes Gut darstellen. §1 des damals novellierten Gesetzes lautet daher „Zweck des Gesetzes ist es, die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherzustellen.“

Basierend darauf hat sich in der Abfallwirtschaft das Prinzip der getrennten Erfassung von sortenreinen Abfällen durchgesetzt. Nur so können Rohstoffe gezielt zurückzugewonnen werden, um damit einerseits Ressourcen zu schonen und andererseits die Kosten der Entsorgung zu reduzieren. In der Siedlungswasserwirtschaft wird diese Herangehensweise bereits erfolgreich im Bereich der Industrieabwasserbehandlung umgesetzt. Die kommunale Siedlungswasserwirtschaft arbeitet jedoch immer noch mit gemischten Abwasserfraktionen und den damit bekannten Problemen, obwohl Abwässer unterschiedlicher Herkunft individuelle Inhalts- und Problemstoffe bergen. So finden sich im Fäkalabwasser, auch bekannt als Schwarzwasser, überwiegend die anthropogen eingetragenen Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphat und Kalium in einer geringen Verdünnung mit Spülwasser wieder. Gleichzeitig werden Problemstoffe wie Medikamentenreste ebenfalls überwiegend durch das Schwarzwasser eingetragen. Das sogenannte Grauwasser enthält wiederum nur sehr geringe Nährstoffkonzentrationen, dafür mehr Tenside, die über Reinigungsmittel in das Abwasser gelangen. Durch eine getrennte Erfassung dieser unterschiedlichen Fraktionen ließe sich neben einer gezielteren und damit auch kostengünstigeren Reinigung auch eine effiziente Nährstoffrückgewinnung umsetzen, die ganz im Sinne des neuen Koalitionsvertrags stünde. Dieser stellt fest: "Der Schutz der Gewässer vor Nährstoffeinträgen sowie Schadstoffen soll verstärkt und rechtlich so gestaltet werden, dass Fehlentwicklungen korrigiert werden. Wir werden die Klärschlammausbringung zu Düngezwecken beenden und Phosphor und andere Nährstoffe zurückgewinnen.“ (KV, Seite 120). Da Technologien zur kostengünstigen Nährstoffrückgewinnung aus traditionellem Klärschlamm zum jetzigen Zeitpunkt nicht verfügbar sind (siehe auch Stellungnahme der Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. DWA vom 09.12.2013) empfiehlt es sich, den Weg der Stoffstromtrennung in der Siedlungswasserwirtschaft auch im Sinne der neuen Bundesregierung weiter zu verfolgen.

1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Erste Gedanken, das Abwasser System anders zu gestalten, wurden in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts hauptsächlich im universitären Umfeld propagiert und in verschiedenen Pilotprojekten (z. B. <http://www.flintenbreite.de/>) realisiert. Bei den neuen Konzepten standen die Stoffströme und deren Nutzung im Vordergrund. Im Jahr 2004 wurde in der DWA ein neuer Fachausschuss KA-1 „Neu-

artige Sanitärsysteme NASS“ gegründet, mit dem Ziel, Überlegungen und Erfahrungen zu neuartigen Sanitärsystemen systematisch darzustellen und zu bewerten. Die Ergebnisse daraus wurden in einem Themenband im Jahr 2008 veröffentlicht [DWA Themenband Neuartige Sanitärsysteme, 2008]. Weitere Pilotprojekte folgten. So wird aktuell das Projekt Jenfeld des Hamburger Watercycles (<http://www.hamburgwatercycle.de/index.php/das-quartier-jenfelder-au.html>) mit einem NASS-System umgesetzt. Diese Pilotprojekte haben jedoch eines gemeinsam. Sie werden und wurden meist in Neubauten bzw. Komplett-sanierungen umgesetzt, bei denen das Vorsehen eines getrennten Ableitungsstrangs auf Unterdruckbasis zur Schwarzwassererfassung unproblematisch ist. Für bestehende Gebäude gab es bisher keine funktionierende technische Lösung zur Abwassertrennung.

Dieser Herausforderung stellte sich Anfang 2012 eine Forschergruppe um Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong (Bauhaus Universität Weimar) gemeinsam mit Partnern aus der Praxis, wie den Firmen Brawoliner, BjörnSEN Beratende Ingenieure und Rödiger Vakuumsysteme im vom BBSR geförderten Projekt mit dem Titel „EVaSENS - Einsatz von Vakuum-Inlinern im Bestand - Integration von Unterdruck-Sanitärtechnik im bestehenden Gebäude zur Etablierung von NASS-Systemen“. Der Projektansatz zielte auf eine Integration innovativer Sanitärtechnik mittels einer technologischen Neuentwicklung der Fa. Brawoliner für Modernisierungsmaßnahmen im Bestand. Dazu wurde als ein absolutes Novum die technische Möglichkeit einer Rohr-in-Rohr- Sanierung in Kombination mit Unterdrucktechnik zunächst im Versuchstand entwickelt. Denn zur Trennung von Grau- und Schwarzwasser im Gebäude bedarf es zweier separater Leitungen. Die Verlegung eines zusätzlichen Rohrs im Bestand gestaltet sich im Gegensatz zur Verlegung im Neubau als sehr aufwendig und kostspielig. Der Einbau eines neuen Rohres kann lediglich unter Öffnung der Installationsschächte erfolgen, was aufgrund der hohen Lärm- und Schmutzbelastung nur im unbewohnten Zustand möglich ist. Zudem ist der vorhandene Platz im Installationsschacht für die Verlegung eines zweiten Rohres nicht immer ausreichend.

1.3 Aktueller Stand Projekte im Bereich Neue Abwassersysteme

Motiviert von Treibern wie Klimadiskussion, demographischem Wandel und gestiegenen Kosten in der Sicherstellung der Daseinsvorsorge haben sich vereinzelte Kommunen national als auch international zur Umsetzung von Pilotprojekten entschlossen, die ein gezieltes Stoffstrommanagement in der Abwassererfassung und -verwertung fokussieren (Tabelle 2).

Tab. 1 Liste abgeschlossener und aktueller Neuartige Sanitärsysteme (NASS) - Projekte Stand 2014, ergänzte Übersicht nach einer Tabelle von Londong (2013).

| Nationale Forschungsprojekte zum Thema NASS – aktuelle und abgeschlossene Projekte | | | | |
|--|--|---|---|-----------------|
| Projekt | Örtlicher Fokus | Weiterführende Information | Koordination | Projektzeitraum |
| Berlin Stahnsdorf | Berlin - Wohnungen | www.kompetenzwasser.de/SCST.22.0.html | Wasser Berlin | 2003-2006 |
| Emscherquellhof | Gewerbe-Immobilie | http://www.eglv.de/fileadmin/EmscherGenossenschaft/Tipps__Termine/Emscherquellhof.pdf | Emscher Genossenschaft | 2009-heute |
| Flintenbreite | Lübeck Einfamilienhäuser | www.susana.org | TU Hamburg-Harburg | 1999-heute |
| GIZ- Gebäude | Gewerbe-Immobilie | www.gtz.de/en/dokumente/gtz2009-en-presentation-gtz-eschborn-building1.pdf | GIZ | 2006-2012 |
| Fa. Huber | Gewerbe-Immobilie | | Fa. Huber | 2004 |
| Hamburg Jenfeld | Jenfelder Au, Wohngebiet | www.kreis-jenfeld.de | Bauhaus-Universität Weimar, HSE | 2011-2015 |
| Hamburg Allermöhe | Hamburg Einfamilienhäuser | http://d-nb.info/974896411/04 | Private Initiative | 1985-heute |
| Kaiserslautern/Oberhausen | Wohnungen und Bürogebäude | | Universität Kaiserslautern | 2007-2008 |
| Lambertsmühle | Museum + Hausmeisterwohnung | http://www.wupperverband.de | Wupperverband | 1999-heute |
| netWORKS3 | Frankfurt/Main und Hamburg Wohnungen | www.networks-group.de | ISOE- Institut für sozial-ökologische Forschung | 2013-2016 |
| nidA200 | Gemeinde Hille NRW | http://www.bmbf.nawaminis.de/de/inisprojekte/nida200 | LimnoTec Abwasseranlagen GmbH ¹ | 2013-2016 |
| ROOF WATER FARM | Berlin, Wohnungen | www.roofwaterfarm.com | Institut für Stadt- und Regionalplanung TU Berlin | 2013-2016 |
| SinOptiKom | Rockenhausen und Enkenbach-Alsenborn | www.sinoptikom.de | TU Kaiserslautern | 2013-2016 |
| TWIST++ | Wohlborn, Lünen und Zeche Lippe-Westerhold | | Fraunhofer ISI | 2013-2016 |

¹Als Mitglied der Stulz-Gruppe Insolvenz 2014, Nachfolge nicht geklärt

| Nationale Forschungsprojekte zum Thema NASS – aktuelle und abgeschlossene Projekte | | | | |
|--|--------------------------|--|-----------------------------|----------------|
| DESAR- Projekt | Sneek NL | Kontakt über: https://www.wageningenur.nl/en/Persons/prof.dr.ir.-G-Grietje-Zeeman.htm | Universität Wageningen | 2008 bis heute |
| Surabaya | Pilot Project, Indonesia | Kontakt über: Institute of Wastewater Management and Water Protection, Hamburg University of Technology (TUHH) | Universität Hamburg Harburg | 2007 bis heute |

Den meisten in Tabelle 1 aufgeführten Projekten ist trotz ihrer Unterschiedlichkeit ein Punkt gemeinsam. Sie beschäftigen sich mit Bauwerken, die bereits während der Bauphase mit einer getrennten Abwasserableitung nach Teilströmen im Sinne der Neuartigen Sanitärsysteme ausgestattet wurden.

1.4 Stand der Wissenschaft

Rohr-in-Rohr-Systeme existieren lt. Recherche bislang im Bereich der Wärmetauschertechnik. Lediglich die Röders AG hatte im Rahmen eines Forschungsprojekts im Jahr 2011 in der Schweiz ein Rohr-in-Rohr-System für die Abwasserleitung eines Schwimmbads entwickelt und umgesetzt. Der Ansatz eignet sich jedoch nicht für Leitungsquerschnitte, die kleiner sind als 150 mm und ist auch nicht bogenfähig. Dagegen wurde eine Neuentwicklung zur Sanierung von Abwasserleitungen in Gebäuden der Fa. BRAWOLINER im Rahmen der Vor-Recherche als Möglichkeit identifiziert, darauf aufbauend ein neues Verfahren mit den nötigen Eigenschaften zu entwickeln. Als Voraussetzung der Neuentwicklung diente die Erkenntnis, dass Toiletten über Unterdrucksysteme bereits mit einem Leitungsquerschnitt von 40 mm (DN 40) entwässert werden können.

1.5 Wohngebäude

Der größte Teil der heute bewohnten Wohnungen ist zwischen den Jahren 1950 - 1979 gebaut worden (s. Abb 2). In Zahlen sind es 2 486 000 Wohnungen, die in diesem Zeitraum allein in den neuen Bundesländern entstanden sind (Abb. 3 Statistisches Bundesamt, 2012).

Der gesamte Altbau weist einen hohen Sanierungsbedarf auf, da er meist sowohl weder den energetischen als auch den gestalterischen aktuellen Ansprüchen und Lebensformen der Menschen in Deutschland entspricht.

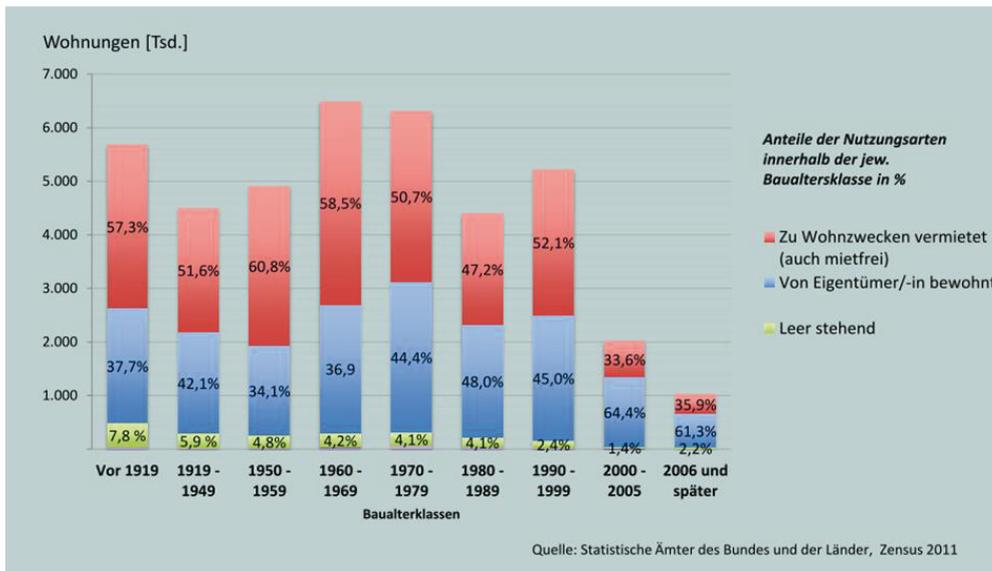


Abb. 1 Wohnungen im gesamten Bundesgebiet verteilt auf Baualterklassen und deren Nutzung. (BBSR, Zander 2014)

In den alten Bundesländern sind dabei hauptsächlich die Wohnquartiere der 1950er und 1960er Jahre betroffen, die nach dem damaligen städtebaulichen Leitbild der „gegliederten und aufgelockerten Stadt“ der Wiederaufbaujahre vor allem in den Stadtrandlagen mit weiten einheitsgrünen Rasenflächen umgesetzt wurden. Diese Siedlungen sollen heute nach neuen sanitären wie energetischen Standards umgebaut werden. Und in manchen Fällen werden ganz neue integrierte Quartierskonzepte überlegt und als Pilot umgesetzt (wie im Beispiel Jenfelder Au).

In Gesamtdeutschland bilden Mehrfamilienhäuser d.h. Wohngebäude ab drei Wohnungen einen bedeutenden Sektor im Gebäudebestand. Obwohl er nur anteilmäßig ca. 17 % der deutschen Wohngebäude ausmacht, befinden sich in diesem Sektor ca. 53 % der Wohnungen (Diefenbach et al., 2010).

Gerade in den neuen Bundesländern wurde ein Großteil der Mehrgeschosswohnungen standardisiert in Plattenbauweise erstellt. Im Zeitraum von 1958 - 1990 sind ca. 2,17 Mio. Wohnungseinheiten in Block-, Streifen- und Plattenbauweise entstanden (Abb. 4). Mit einem Anteil von 67 % bildet die Plattenbauweise den größten Anteil (Schulze, 1996).

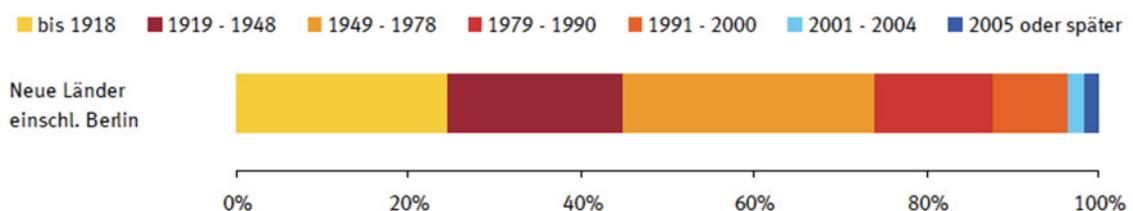


Abb. 2 Bewohnte Wohnungen nach Baujahr des Gebäudes [Statistisches Bundesamt, 2012]

Diese Wohnbauten wurden nach den in der DDR geltenden baurechtlichen Bestimmungen des Brandschutzes errichtet. Sie entsprechen meist nicht der derzeit geltenden Bauordnung der Länder und deren Vorschriften. Ebenfalls wird die Wohnqualität der Gebäude lt. einer Studie des Instituts für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. (IEMB) teilweise nicht mehr als zeitgemäß empfunden. Ca. 50 % dieser Bauten wurde zwar bereits saniert, es besteht allerdings immer noch Handlungsbedarf (siehe auch Abb.5).



Abb. 3 Wohnbauleistungen im Bestand (BBSR, Zander 2014)

Den anvisierten Gebäudetypen sowohl in den neuen als auch den alten Bundesländern ist meist eine architektonische Monotonie zu eigen, die sich durch immer wiederkehrende Wohnungsgrundrisse mit exakt übereinander angeordneten Ver- und Entsorgungseinheiten auszeichnet (Abb. 5). Diese Eigenschaft kann sich in einem Sanierungs- bzw. Nachrüstungsfall mit doppelter Ableitung als sehr vorteilhaft erweisen, da diese quasi in einem Strang ohne komplizierte Abzweige erfolgen kann.

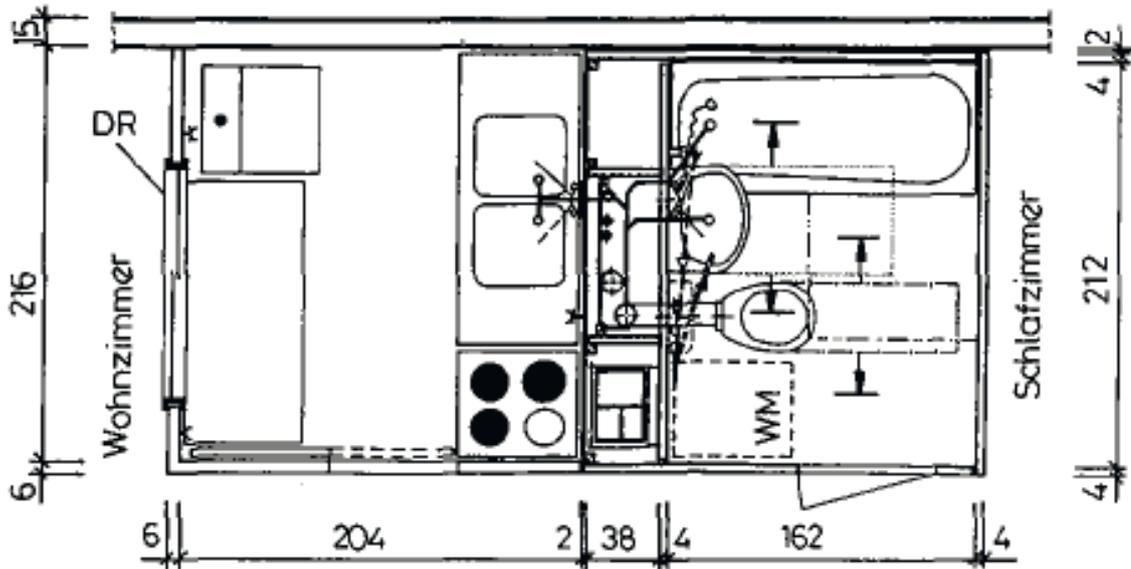


Abb. 4 Installationsbereich in einem Plattenbau Typ WBS 70 (Oehler, 2000)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Gebäudezustand sowohl in West- als auch Ostdeutschland einen hohen Sanierungsbedarf aufweist. Gerade Mehrgeschosswohnungen werden aktuell oder zukünftig quartiersmäßig saniert. Dies böte die Chance, im Rahmen solcher Sanierungsmaßnahmen eine Stoffstromtrennung des Abwassers vorzunehmen. So bestünde die Möglichkeit für den zukünftigen Anschluss an neue Infrastrukturkonzepte, die zukünftig eine Rolle im Bereich der Stadtentwicklung (Beispiel Hamburg) spielen könnten. Daher wurden die Rahmenparameter zur Entwässerung von Mehrgeschossbauten mit bis zu sechs Etagen in die weiteren Betrachtungen mit einbezogen.

1.6 Funktionsgebäude

Abwassertrennung kann bei der Wohnbebauung sinnvoll sein, wenn das zugehörige Abwassersystem in eine Kreislauf basierte Struktur umgewandelt werden soll. Es gibt jedoch Einrichtungen, die bereits jetzt durch eine gezielte Abwassertrennung einen signifikanten Beitrag zur optimierten Abwasseraufbereitung durch Reduzierung von Mikroverunreinigungen leisten könnten.

Dabei sind besonders Krankenhäuser sowie Alten- und Pflegeheime zu nennen. Nach Untersuchungen an der Bauhaus-Universität Weimar scheint die anaerobe Behandlung separiert erfassten Schwarzwassers zu einer besseren Abbaubarkeit von Medikamentenresten zu führen.

Ein weiteres weltweit zunehmendes Problem stellen Multiresistente Erreger dar. Diese sind meist weder aggressiver noch verursachen sie häufiger Infektionen als die ursprünglichen Bakterienstämme. Sie sind deshalb gefährlich, weil im Falle einer Infektion ein Großteil der Medikamente wirkungslos ist. Bei einer Untersuchung von Ratten in Berlin wurden diese als Träger von multiresistenten Keimen ausgemacht. Die Vermutung liegt nahe, dass die Keime über das Fäkalabwasser von Krankenhäusern in den Kanal gelangen und dort von Ratten aufgenommen werden.

Die Problematik von Fäkalabwasser aus Krankenhäusern, welches unbehandelt in den kommunalen Abwasserkanal wandert wurde im Rahmen eines vom Land Nordrhein-Westfalen geförderten Pilotprojekts am Kreiskrankenhaus Waldbröl untersucht. In Rahmen des Projekts wurde erstmalig in Deutschland eine Anlage zur Elimination von Arzneimittelrückständen aus dem Gesamtabwasser eines Krankenhauses errichtet. Die dabei ermittelte Wirtschaftlichkeit ergab eine Steigerung dieser, je höher die Wirkstoffkonzentrationen im Krankenhausabwasser über denen im kommunalen Abwasser liegen. Allerdings wurde in diesem Projekt nicht auf Teilstromerfassung gesetzt, da die Umsetzung einer nachträglichen Stoffstromtrennung im Abwasser bislang als zu aufwändig erschien. Gerade hier wären demnach Ansatzpunkte für den Einsatz eines nachträglich zu implementierenden Trennsystems zu sehen.

2 Methodische Entwicklung der nachträglichen Unterteilung eines Bestandsrohres in zwei getrennte Bereiche

Die beschriebene aktuelle Gebäude-Situation bildete die Grundlage einer initialen Analyse. Darin wurde festgelegt, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um Schwarz- und Grauwasser getrennt abzuleiten.

2.1 Anforderungsanalyse

Für die Ausgangssituation, eine Standard-Falleitung in zwei getrennte Ableitungsbereiche für Schwarz- und Grauwasser zu unterteilen, gelten die folgenden Grundsätze und Voraussetzungen:

1. Der Einbau eines zweiten Fallrohres in ein bestehendes Gebäude, um eine getrennte Erfassung der Abwässer zu ermöglichen, ist nicht nur aufwändig und kostenintensiv sondern reduziert den verbleibenden Wohnraum, wenn kein ausreichend großer Medienschacht im Gebäude vorhanden ist.
2. Es gibt bislang kein Verfahren, welches eine Unterteilung im bestehenden Rohr ermöglicht.
3. Der Ableitungsraum im Rohr reduziert sich durch nachträgliche Einbauten.
4. Eine Unterdruck-Toilette kann bereits mit einem Leitungsquerschnitt von DN40 entwässert werden.
5. Die rechnerisch ermittelte verbleibende Entwässerungsfläche für Grauwasser ist größer als die eines DN80 Rohr wenn man die Querschnittsfläche eines DN40 (inkl. Wandstärke) von DN 100 abzieht.
6. Einbauten zur Befestigung eines zweiten Rohrs sind anfällig für Verzopfungen und somit für Querschnittsverengungen d.h., die Fixierung des Rohrs sollte nicht mit Grauwasser in Kontakt kommen.

7. Ein Unterdruck-Leitungssystem welches zusätzlich in ein Fallrohr eingebracht wird braucht eine ausreichende Flexibilität, um sich auch an kleine Absätze und Bögen anpassen zu können.
8. Es darf keine zusätzliche Geräuschentwicklung im System produziert werden.
9. Eine gleichzeitige Sanierung des Abwasserrohrs könnte die reine Funktionserweiterung eventuell attraktiver gestalten.

Diese Überlegungen führten zu einem ersten Lösungsansatz, wie das zu erstellende System aussehen könnte (Abb. 5). Dabei wurde davon ausgegangen, zunächst das Bestandsrohr mit einem Standardsystem zu invertieren und entweder gleich mit der Inversion oder nachträglich ein flexibles Rohr einzuziehen. Dieses sollte mit dem Inliner verklebt werden.

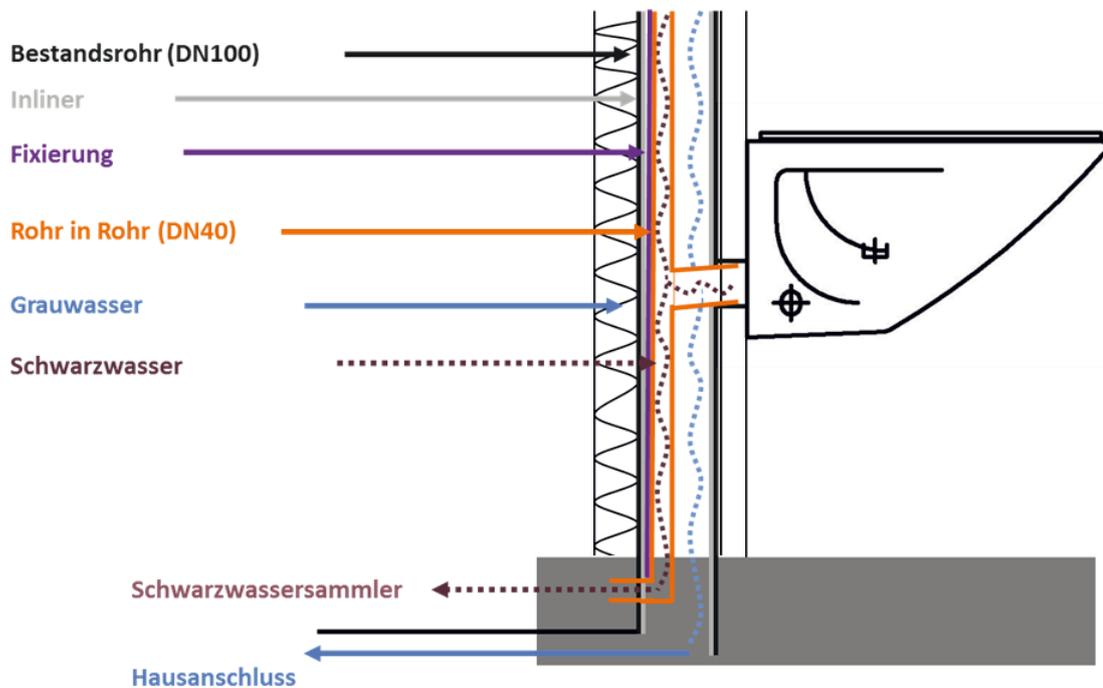


Abb. 5 Ideenskizze zur Leitungstrennung im Bestand, (Veser 2010)

2.3 Theoretischer Lösungsansatz

Das BRAWOLINER-Verfahren ist das bislang einzige am Markt verfügbare Inliner-Verfahren zur Inversion kleiner Leitungsquerschnitte mit einer entsprechenden bautechnischen Zulassung für den Hochbau. Das verwendete Gewebe entspricht einem rund gestrickten Schlauch. Dieser Trägerschlauch bot für den geplanten Versuch folgende Vorteile im Vergleich zu anderen Systemen:

- Das Material verfügt über eine ausreichende Elastizität (bis zu 20 mm Aufweitung möglich) und kann sich somit leichten Querschnittsänderungen und Biegungen gut anpassen.
- Der Schlauch ist nahtlos hergestellt, weshalb keine Wülste und dicke Falten bei der Inversion von Bögen und Versätzen entstehen.

- Die Fähigkeit auch kleinen Nennweiten mit einem Inliner zu invertieren ermöglichte theoretisch zwei Liner parallel in eine bestehende Leitung einzubringen

Dieser theoretische Ansatz führte zu der Frage, ob eine prinzipielle Umsetzbarkeit dessen auch in der Praxis möglich ist. Um diese Frage zu beantworten, wurde ein Vorversuch in den Räumen der Fa. BRAWOLINER durchgeführt.

3. Vorversuch

Die ersten Untersuchungen zur Klärung der Frage, ob die Theorie der Doppelinversion auch in der Praxis prinzipiell funktionieren kann, wurden mit Hilfe eines horizontalen Versuchsaufbaus bei der Fa. BRAWOLINER in Wolfstein vorgenommen.



Abb. 6 Versuchsaufbau für das Vorexperiment. (Lill 2012)

3.1 Ergebnisse Vorversuche

Diese ersten Versuchsergebnisse zeigten die prinzipielle Möglichkeit der Unterteilbarkeit einer Leitung mit einer Doppelinversion. Sowohl die komplette Nutzung der zur Verfügung stehenden Fläche als auch eine blasenfreie Auskleidung des Bestandsrohrs war festzustellen.



Abb. 7 Ergebnis aus dem Vor-Experiment. (Lill 2012)

Ein weiterer wichtiger Punkt war das Verhalten des Doppellinings in den eingebauten Bögen. Dazu wurde, wie in Abb. 7 sichtbar, das inversierte Test-Rohr in Scheiben aufgeschnitten, um den Verlauf der beiden Liner im Bogen zu sehen. Auch hier gab es weder Verdrehungen noch Blasenbildung hin zur Bestandsrohr-Wandung oder eine eingeschränkte Raumnutzung zu beobachten.

Auf Grundlage dieser ersten Tests wurde dieses System als Grundlage für alle weiteren Untersuchungen gewählt. Eine weitere Verfolgung des Gedankens, ein flexibles oder festes Standard-Rohr anstelle

eines zweiten Liners für die Schwarzwasserfraktion einzusetzen wurde aufgrund der zu erwartenden starken Deformationen, wie im Vor-Experiment zu sehen waren als ungeeignet eingestuft. Sowohl die mangelnde Druckfestigkeit von Standardprodukten als auch deren eingeschränkte Flexibilität in Leitungsbögen waren dazu die Hauptgründe.

4. Durchführung von Versuchen zur Beurteilung der technischen Funktionalität der Doppelinversion in ein bestehendes Fallrohr

Von besonderem Interesse war neben Fragen zur Einbautechnik der neue Grauwasserleiter, der in der nun entstandenen Nierenform ein bislang ungebräuchliches Querschnittsprofil aufweist. In der Literatur sind Studien oder Informationen über das Fließverhalten eines Fluids in einem solchen Fallrohr nicht vorhanden.

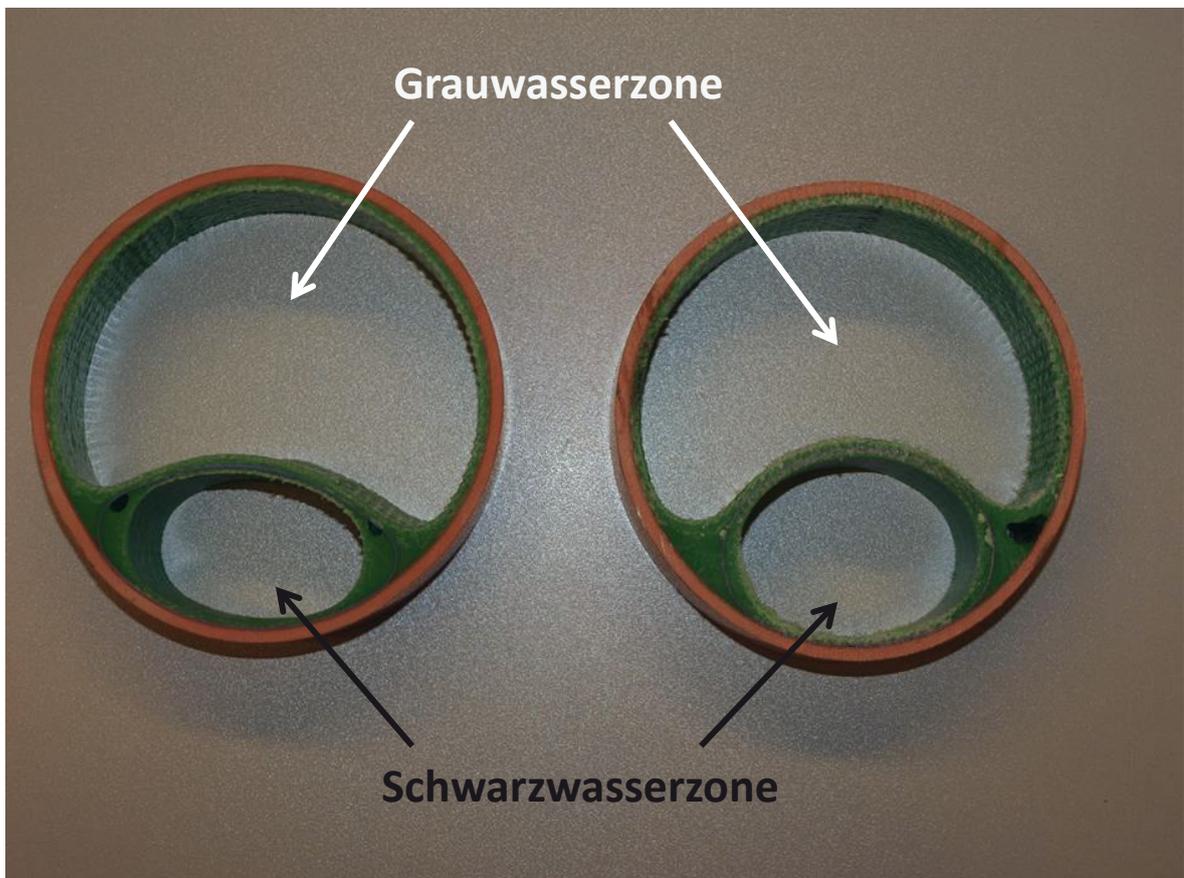


Abb. 8 Linker Querschnitt, Ergebnis aus Experiment 3, rechter Querschnitt, Ergebnis aus Experiment 4 (Veser 2015)

Um diese Frage zu klären wurde eine Versuchsstrecke aufgebaut, die eine Standardinstallation in einem mehrgeschossigen Wohngebäude simulierte. An diesem Aufbau wurden Untersuchungen übergreifender Natur als auch spezifische Untersuchungen zu den einzelnen Leitungsabschnitten durchgeführt.

4.1 Festlegung der Rahmenparameter

Nachdem wie unter Punkt 1 beschrieben der sanierungsbedürftige Mehrgeschosswohnungsbau in Deutschland eine signifikante Größe ausmacht soll die Entwässerungssituation für ein Gebäude mit vier bis fünf Etagen auch im Versuchsstand nachgebildet werden. Bis zu dieser Geschosshöhe wurden i. d. Regel in Deutschland Fallleitungen mit einem DN 100 verbaut (Geberit Abwasserleitfaden, 2013). Auch kleinere bis mittelgroße Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen bewegen sich im Rahmen dieser Geschosshöhe. Diese Größenordnung gilt für ca. 75% der Pflegeeinrichtungen in Deutschland (Abb. 9).

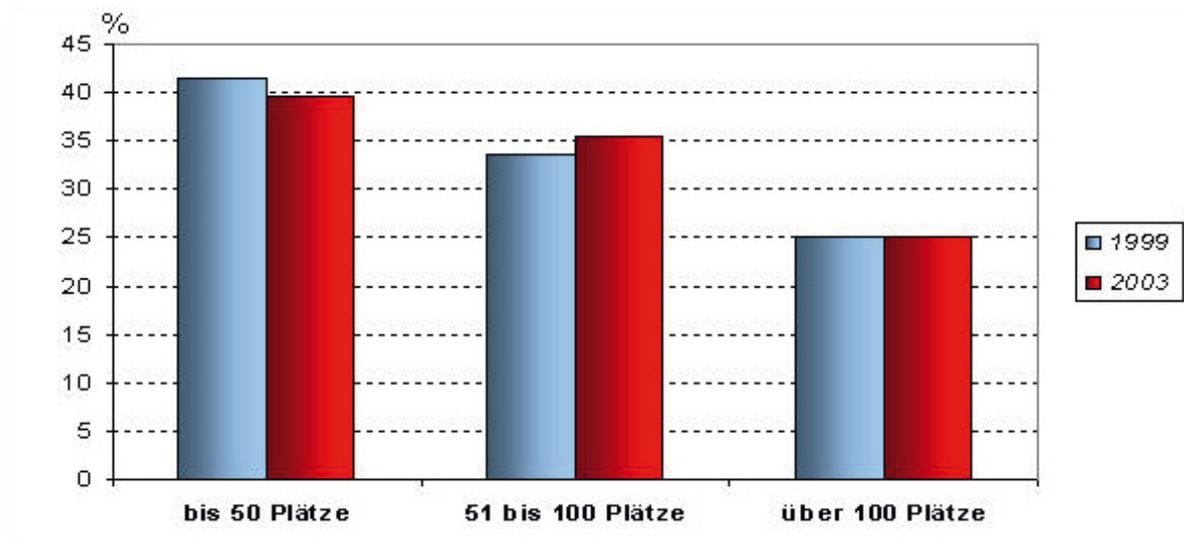


Abb. 9 Größenklasse der Pflegeheime, Quelle: Statistisches Bundesamt, Pflegestatistik (Stichtag 15.12.2003)²

Zur exemplarischen Berechnung einer Wohnung wurde die typische Ausstattung eines Bades und einer Küche zu Grunde gelegt. Zuerst wurde der DU-Wert (Summe der Anschlusswerte) für eine Wohnung ermittelt und die dazugehörige hydraulische Belastung in einem zweiten Schritt aufgegliedert in Grau- und Schwarzwasser.

4.2 Aufbau Versuchsstand

Die Versuchstrecken wurden im Technikum der Materialforschungs- und Prüfanstalt (MFPA), einem An-Institut der Bauhaus-Universität Weimar nach den Anforderungen der DIN EN 12056-1 aufgebaut. Es konnten aufgrund der zur Verfügung stehenden Raumhöhe lediglich zwei Geschosse nachgebaut werden. Die maximalen hydraulischen Belastungen für 4 bzw. 5 Etagen zzgl. Zulauf aus einer weiteren Etage wurden über die entsprechend beaufschlagten Wassermengen im oberen Bereich des Versuchsaufbaus simuliert.

² <http://www.bmfsfj.de/Publikationen/heimbericht/3/3-1-grunddaten-zur-heiminfrastruktur-in-deutschland.html>

4.3 Vorbereitung der Teststrecken

Der gesamte Versuchsaufbau wurde für vier einzelne Teststrecken angelegt. Jede einzelne Strecke sollte auf eine spezifische Forschungsfrage ausgerichtet sein:

- Anschlussmöglichkeiten und deren Dichtheit, vor allem auch im Unterdrucksystem für Schwarzwasser
- Hydraulische Belastbarkeit mit Übergang Fallleitung in Grundleitung der Grauwasserstrecke
- Visualisierung der hydraulischen Belastbarkeit im Grauwasserleiter
- Untersuchung möglicher alternativer Trennungstechniken im nicht inversierten Fallrohr



Abb. 10 Fertigung der Teststrecken (Veser 2015)

4.4 Anschlussproblematik

Da es sich bei der getrennten Abwasserleitung durch das Einbringen von Inlinern um ein Novum handelt, mussten neue Anbindungen für Schwarz- und Grauwasserleitungen entwickelt werden. Platzmangel im Installationsschacht bei einer realen Umsetzungsmaßnahme, die Lage der Entwässerungsgegenstände und die Dichtheit der Anschlüsse stellten dabei besondere Herausforderungen dar.

Zusätzlich musste eine bestehende Anschlussstandardsituation in die Lösungsansätze integriert werden.

1.6.1 Lösungsansätze Anschlussproblematik

Grauwasser

Zur Grauwasserleitungsanbindung gibt es bislang zwei Lösungsansätze:

1. Nutzung der vorhandenen Anschlüsse

Bei intakten vorhandenen Anschlüssen gestaltet sich das Anschließen der Entwässerungsgegenstände des Grauwassers einfach. Nach dem Einbringen des Inliners wird ein Loch am Anschluss gefräst, damit das Wasser durch die bestehende Leitung in den Inliner abgeleitet werden kann. Je nach Anschlusssituation können die Einzelanschlüsse bestehen bleiben oder die Entwässerungsgegenstände (ohne WC) werden über eine Sammelanschlussleitung entwässert. Diese Möglichkeit besteht z.B. in einem im Rahmen der Untersuchungen betrachteten Gebäude in der Moskauer Straße von Weimar. Dort werden aktuell mehrgeschossige Wohnblöcke saniert inkl. Leitungsstrang. Da die vorhandenen Anschlüsse in den Gebäuden intakt sind und die Badewanne über einen Abzweig mit DN100 angeschlossen ist, kann direkt an den neuen Leitungsstrang angebunden werden.

2. Anschlussstutzen (Entwicklung der Fa. Brawoliner)

Bei defekten Anschlüssen besteht die Möglichkeit eines neuen Anschlusses. Dabei wird vor der Einbringung der Inliner ein Loch gefräst, durch das ein Anschlussstutzen gesteckt wird.



Abb. 11 Einbringen und Fixieren des Anschlussstutzens während der Inversion (Veser 2015)

Durch die Einbringung des Grauwasser-Inliners wird dieser Anschlussstutzen an der Seite fixiert. In einem nächsten Schritt wird hier ein Loch für den Durchgang gefräst. Bei dieser Variante werden alle Entwässerungsgegenstände (ausgenommen das WC) über eine Sammelanschlussleitung entwässert. Diese Anschlussvariante ist teurer. Daher ist es ökonomischer, wenn nur ein neuer Anschluss gelegt werden muss.



Abb. 12 Anschlussstutzen der Fa. Brawoliner (Veser 2015)

Schwarzwasser

Für die Schwarzwasseranbindung wurde ein vorgefertigtes Formteil, ein 45°-Abzweig (siehe Abb.18), beim Einbringen des Inliners an der gewünschten und vorher geöffneten Stelle in das Bestandsrohr gehalten, sodass der Inliner durchgeführt und fixiert werden konnte. Die Lage des Abzweigs im Rohr bestimmt die nachfolgende Anordnung des Schwarzwasser-Inliners und somit auch des Grauwasser-Inliners im Bestandsrohr. Nach der Inversion wird das Formteil am Anschluss zur Schwarzwasserleitung ausgefräst. Da der Schwarzwasser-Inliner in einen größenlimitierenden Schlauch eingeführt wird, besteht kein kraftschlüssiger Verbund mit dem Bestandsrohr. Die Unterdruckfähigkeit muss hier durch „Nachharzen“³ gewährleistet werden. Eine weitere Möglichkeit bestünde in einem Einstreichen der Innenseite des Anschlussstückes mit Harz vor der Inversion, um so den kraftschlüssigen Verbund herzustellen.

³ Nachharzen = nachträgliches Aufbringen von Kunstharz



Abb. 13 Vorbereitung des Anschlusses für den Schwarzwasserliner (Veser 2015)

1.6.2 Aufbau der Teststrecken zum Nachweis der prinzipiellen technischen Machbarkeit einer Doppelinversion im bestehenden Gebäude

Zur Darstellung einer möglichst realitätsnahen Einbausituation wurde die Teststrecke über zwei Etagen aufgebaut.



Abb. 14 Aufbau der Teststrecke über zwei Etagen (Veser 2015)

Die vier einzelnen Teststrecken wurden für die geplanten Untersuchungen entworfen.

5. Durchführung der Doppel -Inversion an den Teststrecken

Nach Aufbau der Teststrecken in der Versuchshalle konnte als erster Test und Vorbereitung für die weiteren Untersuchungen die Inversion durch die Fa. BRAWOLINER in einer, der Realität nahekommenden Umgebung durchgeführt werden. Hier befand sich die Arbeitseinrichtung im 1. OG. Bei einer realen Inversion würde diese unter/ auf dem Dach eines Gebäudes direkt über die Rohr-Entlüftung erfolgen.

Wie bereits in Experiment 3 und 4 aus den Vorversuchen wurde eine Doppelinversion durchgeführt, in der zunächst ein blauer Kalibrierschlauch mit DN 50 in das Bestandsrohr eingebracht wurde.



Abb. 15 Liner in DN 100 und DN 50 sowie Kalibrierschlauch vor der Inversion (Veser 2015)

Diese Begrenzung für den sehr dehnbaren eigentlichen Schlauchliner wurde bereits beim Einfahren mit den Anschluss-Formstücken gefangen und an der gewünschten Position fixiert.



Abb. 16 Inversion und Fangen des Kalibrierschlauchs (Veser 2015)

Um den Kalibrierschlauch in das Rohrsystem einzubringen, musste der Schlauch in einer Inversionstrommel aufgewickelt werden. Dabei wurde ein Ende des Schlauches über einen an der Trommel befindlichen Inversionsbogen gestülpt und befestigt. Das andere Ende wurde an einem bereits in der Inversionstrommel aufgewickelten Band befestigt.

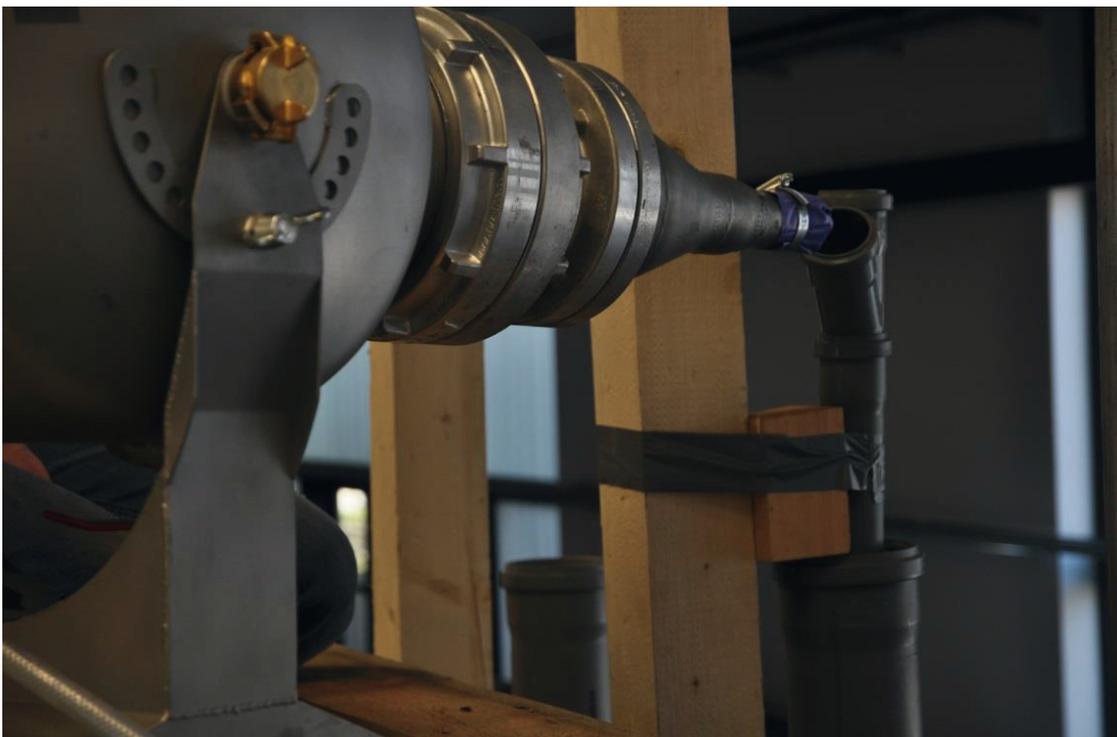


Abb. 17 Inversionstrommel mit Kalibrierschlauch (Veser 2015)

Der Schlauch wurde über die Inversionstrommel mit Druckluft beaufschlagt und damit im Umstülpfverfahren eingebracht. Die eigentlichen Liner-Inversionen fanden nach demselben Prinzip statt, wobei erst der kleine Querschnitt und danach der restliche, verbleibende Raum bearbeitet wurden.

Der verwendete BRAWOLINER® HT ist außen mit einer speziellen temperaturbeständigen Folie beschichtet, die eine Dampfaushärtung bei höheren Temperaturen zulässt [BRAWOLINER®, 2013]. Der Liner wird mit 0,5 kg/(lfd. m) Epoxidharz des Typs BRAWO I befüllt. Eine gleichmäßige Verteilung des Harzes wird mit Hilfe der Imprägnieranlage erreicht. In dieser wird der befüllte Liner durch eine Walze mit dem gewünschten Abstand (hier 7 mm) gezogen. Dadurch wird eine später gleichmäßige Wandstärke gewährleistet. Gleichfalls kann mit dieser Einstellung die spätere Wanddicke des neuen Rohrs bestimmt werden. Durch die äußere Beschichtung des Inliners verbleibt das gesamte Epoxidharz in dem Textilschlauch und wird dort vom Gewebe aufgenommen.



Abb. 18 Befüllen des DN50 Liners mit Epoxidharz (Veser 2015)

Der weitere Verlauf entsprach dem Einbau des Kalibrierschlauches. Der Druck während der Inversion variierte zwischen 0,2 bar und 0,3 bar. Sobald sich der Liner in Position befand, wurde der Druck auf 0,7 bar erhöht, sodass die Form des Liners beim Einbringen des DN 100 möglichst rund blieb. Die Inversion des DN 100 verlief nach dem oben beschriebenen Prinzip unter Steigerung der verwendeten Harzmenge und einem neu eingestellten Walzenabstand von 8,5 mm. Mit der direkten Inversion lag der Liner am Altrohr an und wurde kraft- und formschlüssig mit diesem verbunden.

Während der Inversion drückte das überschüssige Harz aus allen Öffnungen des Bestandsrohres, da hier keine schützende Hülle um das Gewebe (Kalibrierschlauch) eingebracht wurde. Gleichzeitig verteilte sich das Harz in allen zur Verfügung stehenden Hohlräumen auch um den DN 50 Liner.

Der Liner mit der Nennweite DN 100 härtete bei einem Druck von 0,3 bar aus. Der Druckunterschied der beiden Liner hatte zum Ziel, dass sich der kleinere Liner (0,7 bar) nahezu rund gestaltete und sich der größere Liner anpassen musste.

Der gesamte Vorgang, von der Arbeitseinrichtung bis zum Abschluss der Inversion, an Teststrecke 1 dauerte von 12:25 Uhr bis 15:19 Uhr, d.h. ca. 3 Stunden. Nach 2 Stunden Aushärungszeit hätten theoretisch bereits die Anschlüsse geöffnet werden können. Eine komplette Aushärtung dauert ca. 5 Stunden.

Die Versuchsstände 2 und 3 wurden am Folgetag inversiert. Die Inversion des Kalibrierschlauches und der beiden Liner dauerte rund eine Stunde und zehn Minuten pro Teststrecke. Um an beiden Versuchsständen die Inliner an einem Tag setzen zu können, wurden die Liner des zweiten Versuchsstandes zur schnelleren Erhärtung beheizt. Die gesamte Aushärzeit betrug dadurch nur rund 4 Stunden. Danach konnten die Geräte entkoppelt und für den dritten Versuchsstand verwendet werden.

Während der Aushärzeit wurden die Zuläufe des ersten Versuchsstandes geöffnet. Dabei stellte das Öffnen der Schwarzwasseranschlüsse zunächst ein Problem dar. Aufgrund des 45° Winkels des HTEA DN 50/50 45° Formstücks rutschte das Bohrgerät mit kreisrundem Fräsaufsatz oft ab. Darüber hinaus bestand die Gefahr, dass aufgrund des Fräs-Winkels der obere Teil des Fräsaufsatzes bereits so tief in den kleinen Liner hineinragen könnte, dass die gegenüberliegende Liner-Wand verletzt würde, bevor der zu öffnende Bereich gesamt ausgefräst wurde. Durch das Aufsetzen eines etwa 10cm langen Rohres mit der Nennweite DN50 konnte der Bohrer gut an das Formstück geführt werden. Durch vorsichtiges Ausfräsen wurde die gegenüber der Öffnung liegende Liner-Wand nicht verletzt. Im Anschluss wurde das entstandene Loch durch einen Schleifaufsatz auf einen Durchmesser von 50mm geschliffen. Die Öffnung der Grauwasseranschlüsse beider Art war problemlos durchführbar. Nach der Aushärzeit der Inliner im Versuchsstand 2 konnte auch der dritte Versuchsstand mit den beiden Inlinern ausgestattet werden.

Ergebnis:

Nach insgesamt zwei Arbeitstagen waren alle drei Fallrohre mit zwei Inlinern bestückt und alle Anschlüsse geöffnet. Die gesamte Länge der zu inversierenden Strecke spielt in dem zeitlichen Ablauf keine entscheidende Rolle. Ob eine Strecke von 5, 10 oder 15m zu überwinden ist, schlägt sich maximal im Minutenbereich nieder. Lediglich das Öffnen der Anschlüsse und die Installation der ange-

schlossenen sanitären Einrichtungen würden den Zeitaufwand pro zusätzliche Einheit erhöhen. Ein 4 bis 5-stöckiges Gebäude könnte trotzdem problemlos an einem Arbeitstag umgerüstet werden.

6. Überprüfung der funktionsfähigen doppelten Leitungsausbildung im Fallrohr

Eine wichtige Anforderung an den hier untersuchten Doppelliner besteht in der Ausgestaltung weitestgehend glatter Oberflächen. Weiter sollte nachgewiesen werden, in wie weit sich der Liner gleichmäßige in das Bestandsrohr einfügt. Ebenfalls wichtig war es, festzustellen, ob Querschnittsänderungen im Verlauf der Teststrecke auftraten. Dazu wurde direkt nach Inversion und Aushärtung der Teststrecken eine Kamerabefahrung der zwei neuen Leitungen durchgeführt. Damit sollte das Inversionsergebnis optisch erfasst und dokumentiert werden.



Abb. 19 Rohrleitungsinspektion des SW-Liners an Teststrecke 1 mit-deutlich erkennbarem kreisrunden Querschnitt, aufgenommen mit Kamera Gejos PIC5.5 Peli (Veser 2015)



Abb. 20 Rohrleitungsinspektion des SW-Liners an der Anschlussstelle von Teststrecke 1 mit-Kamera Gejos PIC5.5 Peli (Veser 2015)



Abb. 21 Rohrleitungsinspektion des SW-Liners kurz vor dem Bogen am Ende von Teststrecke 1 mit-Kamera Gejos PIC5.5 Peli (Veser 2015)



Abb. 22 Rohrleitungsinspektion des GW-Liners mit-Kamera Gejos PIC5.5 Peli (Veser 2015)



Abb. 23 Rohrleitungsinspektion des GW-Liners mit-Kamera, Ausfräsung der Anschlussstelle Gejos PIC5.5 Peli (Veser 2015)



Abb. 24 Rohrleitungsinspektion des GW-Liners kurz vor dem Bogen am Ende von Teststrecke 1 mit Kamera Gejos PIC5.5 Peli (Veser 2015)

Eine weitere Sichtprüfung der Inversion erfolgte durch das Aufschneiden eines inversierten Teilstücks von Versuchsstand 1 zunächst im Bogenbereich.



Abb. 25 Längsschnitt durch den Bogenabschnitt im unteren Bereich von Teststrecke 1, Veser, Berndt (2015)

Wie in Abb. 25 deutlich zu erkennen, ergab sich durch die Inversion des Bogens eine Falte, die im Betrieb mit Grauwasser zu einer verstärkten Bildung von Ablagerung führen könnte. Die zu erkennende Kluft des Schwarzwasser-Liners zum Bestandsrohr verdeutlicht den Unterschied zum Grauwasser-Liner, der mit dem Altrohr kraftschlüssig verbunden ist.

Nach Durchführung der Durchflussversuche wurde der Versuchstand 1 komplett aufgeschnitten. Dabei zeigte sich eine relativ ungleichmäßige Verteilung des Harzes im Schwarzwasserbereich. Diese ungleichmäßige Verteilung ist wahrscheinlich auf die Liner-Vorbereitung zurückzuführen, bei der das Harz von Hand eingebracht wird. Die Walzeneinstellung sorgt dabei lediglich für eine maximale Wandstärke. Wird jedoch zu wenig Harz eingefüllt kann es an manchen Stellen zu einer reduzierten Wandstärke kommen (siehe Abb. 26).



Abb. 26 Aufgeschnittene Leitung von Teststrecke 1 von unten (linker Querschnitt) nach oben (rechter Querschnitt), Vesper (2015)

Der Grauwasserbereich war durchgängig in konstanter Harzdicke ausgeführt, was darauf schließen lässt, dass das Einfüllen einer ausreichenden Harzmenge auch für eine gleichmäßige Wandstärke im Schwarzwasserbereich sorgt.

6.1 Analyse der Dichtheit bzw. Unterdruckfähigkeit der Anschlüsse

Unterdruckfähigkeit des Schwarzwasser-Bereichs:

6.2 Untersuchung des Abflussverhaltens in dem veränderten, nierenförmigen Leitungsquerschnitt.

Zur Analyse des Abflussverhaltens von Wasser in dem geometrisch veränderten, nierenförmigen Leitungsbereich wurde die hydraulische Belastbarkeit des nierenförmigen Rohrs mit unterschiedlichen Zuflüssen getestet (siehe Abb. 28) Als Bewertungsparameter wurde einerseits die Druckänderung im System gewählt.

Andererseits wurde die Änderung des Sperrwasserpegels als Kriterium gewählt. Lt. DIN 1986 - 100 darf der durch den Abflussvorgang verursachte Sperrwasserverlust die Geruchsverschlusshöhe um nicht mehr als 25 mm reduzieren. Ebenfalls darf das Sperrwasser weder durch Unterdruck abgesaugt noch durch Überdruck herausgedrückt werden.

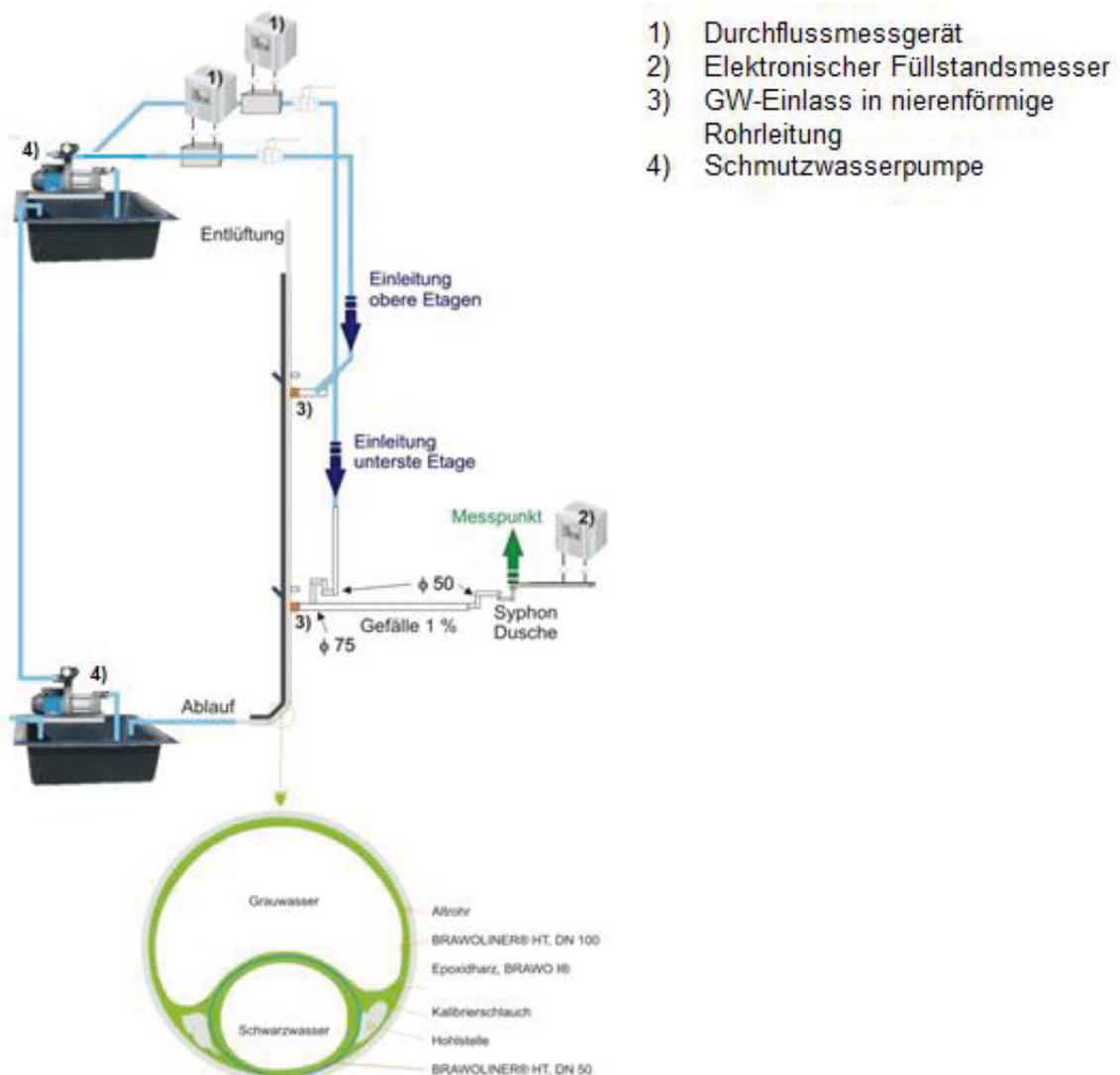


Abb. 28 Versuchsaufbau zur Überprüfung des Abflussverhaltens an Teststrecke 2, Vesper (2015)

Referenzrohr

Nach ersten Versuchen und deren Aussagekraft wurde zusätzlich zu der inversierten Leitung ein Standard Referenzrohr mit DN 75 vorgebaut. Die Fläche des nierenförmigen Grauwasserleiters entspräche einem Rundrohr mit einer Nennweite von rd. DN 80. Da diese Größe jedoch nicht als Standard auf dem Markt verfügbar ist, kommt das DN 75 Rohr dem inversierten Grauwasser-Bereich flächenmäßig am nächsten. Das Referenzrohr war mit einem DN 75-Anschluss versehen und konnte so problemlos an den Versuchsaufbau angedockt werden (Abb. 29)

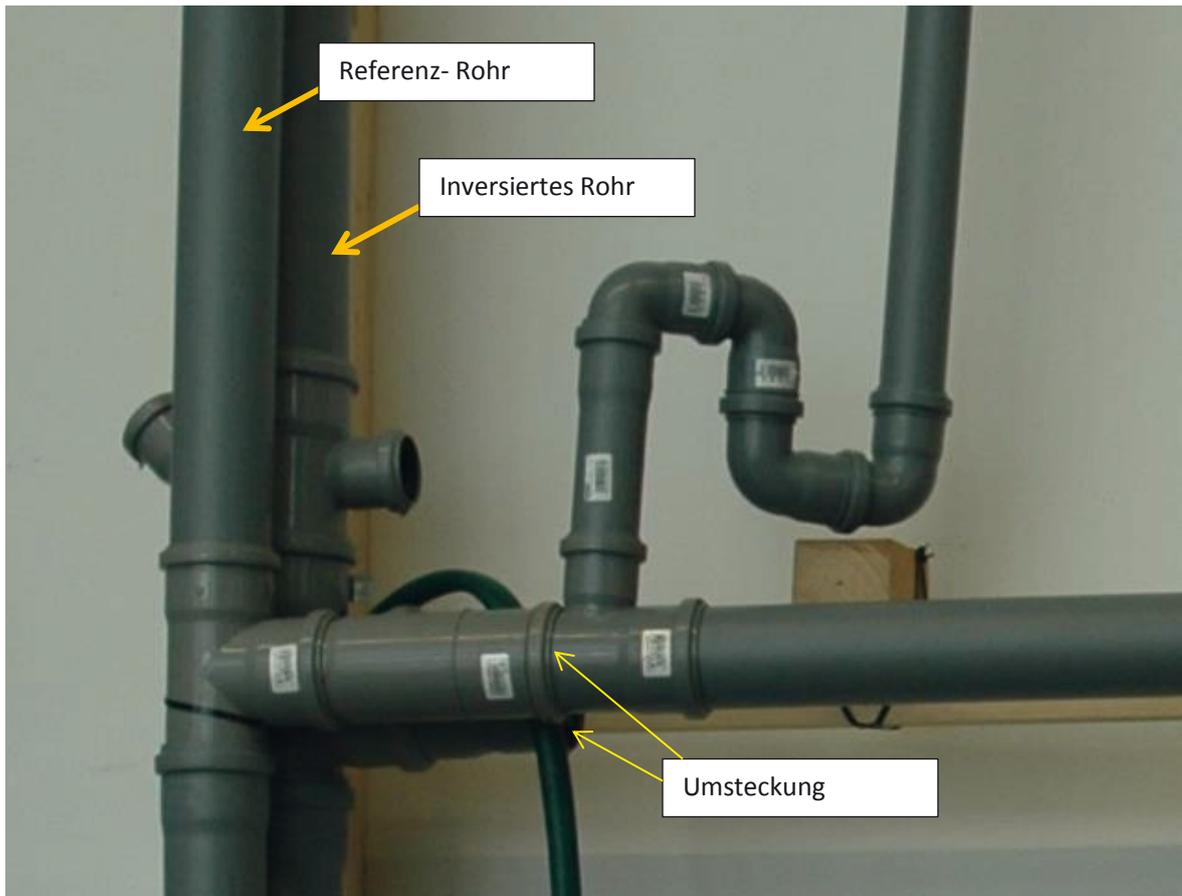


Abb. 29 Versuchsaufbau zur Überprüfung des Abflussverhaltens an Teststrecke 2, umgesteckt an das Referenzrohr, Vesper (2015)

6.3 Ergebnisse und Fazit (Vesper 2015)

Nachdem die Inversion erfolgreich und mit 3 Arbeitsstunden inkl. Vorbereitung an den Testständen durchgeführt wurde, kann dem Verfahren bereits eine Praxistauglichkeit attestiert werden. Die dabei entstehenden Kosten werden aber erst nach einem Pilotprojekt in einem realen Gebäude ermittelt werden können. Denn die Kosten für eine nachträgliche Implementierung werden maßgeblich beeinflusst von den Rahmenbedingungen. Diese wirken sich auf die tatsächlich benötigte Arbeitszeit und somit auf den Hauptkostenfaktor für die Inversion aus.

Auch die Qualität der Inversion konnte durch die Kamerabefahrung als auch nach dem Aufschneiden von Teilstücken als sehr gut bezeichnet werden. Der Inversionsraum wurde insgesamt sehr gut ausgekleidet. Zu einer geringen Faltenbildung kam es lediglich an den Bögen. Es bildete sich an einem Zulauf zur Grundleitung eine leichte Blase zwischen Altrohr und Inversion. Durch die Einfüllung einer ausreichenden Harzmenge in den Schwarzwasserliner könnten unterschiedliche Wandstärken im Verlauf des Leitungsstrangs ausgeschlossen werden.

Der Querschnitt des Schwarzwasser-Liners wurde annähernd kreisrund ausgebildet, so dass auch hier keine Einschränkungen im Transportverhalten des Schwarzwassers zu befürchten ist.

Die Prüfung auf Unterdruckfähigkeit des ausgehärteten Liners verlief ebenfalls mit einem positiven Ergebnis, so dass der Liner uneingeschränkt zum Einsatz mit Unterdrucksystemen im Gebäude empfohlen werden kann.

Die Dichtigkeitsprüfung verlief insgesamt positiv und konnte auch für den Schwarzwasseranschluss mit Nachharzen der Anschlussstelle erreicht werden. Dies ist jedoch ein wichtiger Punkt, der bei zukünftigen Praxisanwendungen mit besonderer Sorgfalt durchgeführt werden müsste.

Die erste Messkampagne war aufgrund ihres Aufbaus noch wenig aussagekräftig. Gerade die fehlende Vergleichsebene mit einem ähnlich großen Standardrohr, sowie der fehlende Einsatz von kalibrierter Messtechnik verlangten nach einem verbesserten Versuchsaufbau. Jedoch war bereits schon bei diesem ersten Versuch deutlich zu erkennen, dass das inversierte Rohr den Belastungen Stand hielt. Da die Höhe des Sperrwassers im angeschlossenen Überprüfungs-siphon zum Ende der Untersuchungen wieder den identischen Wert zur Ausgangshöhe innehatte, wurde die Belastungsgrenze nicht erreicht.

Sämtliche weiteren Durchflussversuche in den Messkampagnen 2 und 3 zeigten das nierenförmige inversierte Rohr dem Standard- Referenzrohr DN 75 gegenüber als Überlegen an. Das inversierte Rohr verfügt, wie in 5.3.5.1 ermittelt, über eine etwas größere Oberfläche, welche einem DN 80 entspricht. Zusätzlich verfügt es im Verhältnis zur Gesamfläche über eine vergrößerte Wandfläche. Diese größere Wandfläche ergibt sich aus der Nierenform. Der Umfang beträgt gemessen 29,4 cm und entspräche so einem Rohr mit DN 90. Die Überlegenheit bei allen Versuchen bedeutet, die gesamte zur Verfügung stehende Ableitungswandfläche wird vom Wasserstrom genutzt. Stärkere Verwirbelungen im Abwasserstrom und damit eine erhöhte Kavitation können somit nahezu ausgeschlossen werden.

Die konstante Tendenz der erzielten Ergebnisse in allen 3 Messkampagnen zeigt ebenfalls wie auch die vergleichenden Messungen am Referenzrohr, dass die eingesetzte Untersuchungsmethodik sinnvoll gewählt wurde.

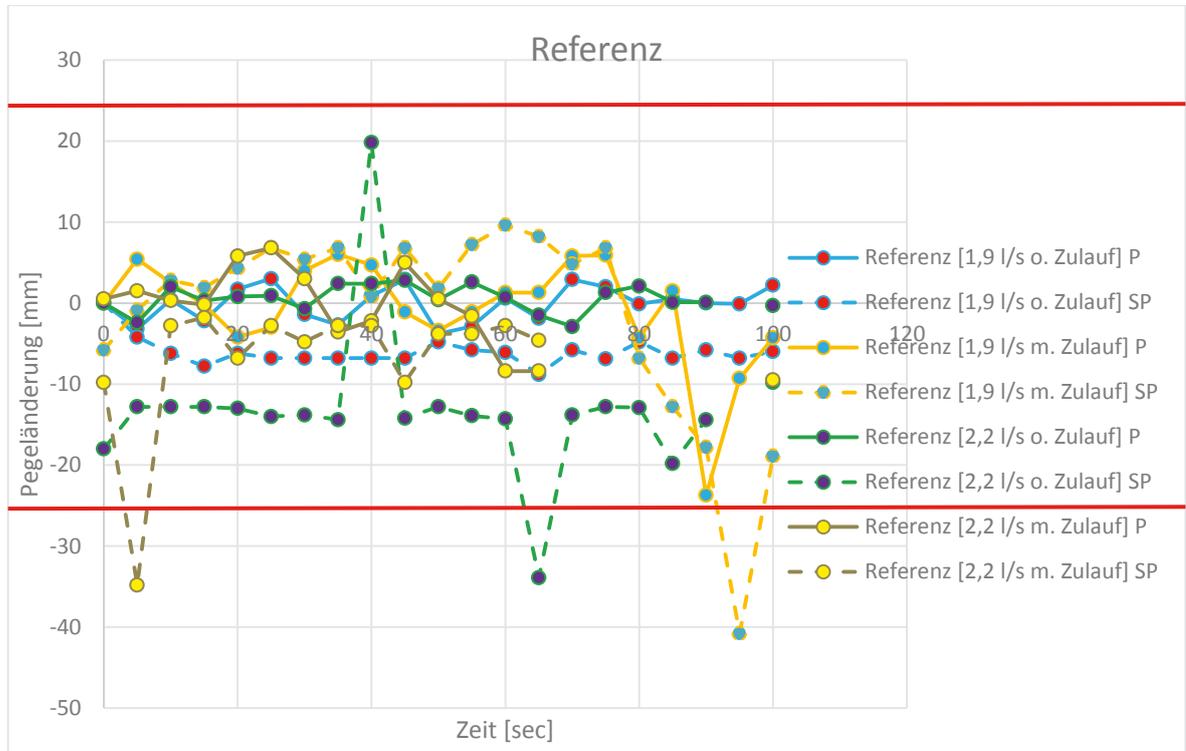


Abb. 30 Messwerte Referenzrohr mit rot markierten Grenzbereichen, Vesper (2015)

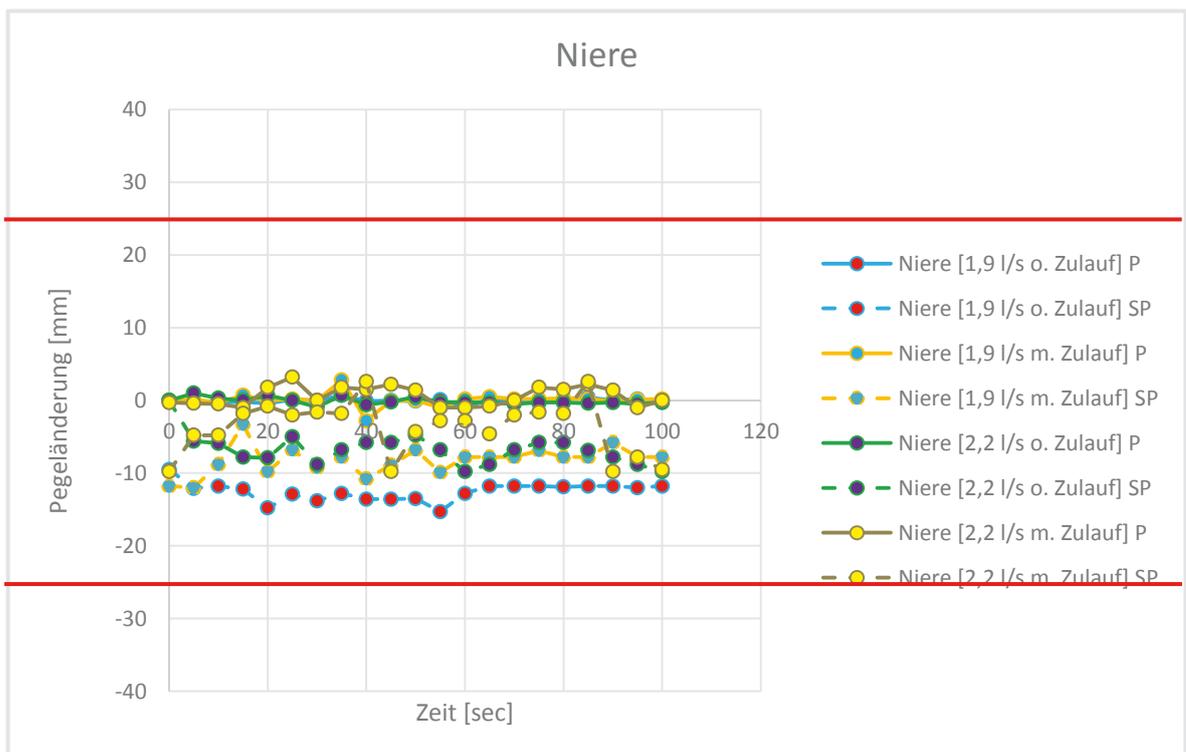


Abb. 31 Messwerte inversiertes Rohr mit rot markierten Grenzbereichen, Vesper (2015)

7. Visualisierung des Strömungsverhaltens eines Fluids im nierenförmigen Leitungsquerschnitt

Um die erzielten Ergebnisse unter Kapitel 6 durch eine Sichtprüfung weiter auf ihre Plausibilität hin zu untersuchen, wurde in einem weiteren Schritt versucht, das Strömungsverhalten der Flüssigkeit sowohl im inversierten als auch im Standardrohr darzustellen. Neben dem Nachweis einer Totalausnutzung der zur Verfügung stehenden Rohrleitungswände müsste die Sichtprüfung einen tendenziell laminaren Strömungsverlauf aufzeigen.

Die erste Herausforderung zur Vorbereitung der Sichtprüfung bestand in der Herstellung eines nierenförmigen Plexiglasrohrs. Eigene Versuche, ein solches unter Zuhilfenahme einer Heißluftpistole herzustellen scheiterten schnell. Die Anfragen bei Herstellern von Transparentrohren waren letztendlich bei einer Firma eingeschränkt erfolgreich. Es bestand aus technischen Gründen lediglich die Möglichkeit ein solches Rohr mit einer Gesamtlänge von max. 50 cm herzustellen.

Um das Wasser für die Sichtprüfung einzufärben wurden verschiedene Lebensmittelfarben getestet. Die ersten Tests mit Indigoblau wurden als nicht ideal bzgl. des Farbkontrasts für spätere videoaufnahmen identifiziert.



Abb. 32 Erster Vorversuch zur Vorbereitung der Sichtprüfung des Ableitungsverhaltens, (Veser 2015)

Letztendlich wurde bei einem Hersteller von Lebensmittelfarben für den Industriellen Bedarf ein hochkonzentriertes Farbpulver erworben, welches über sehr gute Eigenschaften verfügte.

Zusätzlich wurde ein Hersteller für Putzkörper zur Reinigung von Leitungssystemen gefunden, der Kunststoffkugeln mit unterschiedlicher Dichte und Größe herstellt. Diese Kugeln mit einem Durchmesser von $d = 12$ mm zeigten sich bereits in den ersten Vorversuchen als ideale Marker für das Fließverhalten des Fluids. Gleichzeitig verhielten sie sich Pumpenverträglich.



Abb. 33 Putzkörper zur Reinigung von Kühlsystemen der Fa. Taprogge, Vesper (2015)

Bei der Wahl der Kamera konnte auf eine Sony NEX-FS700 High-Speed-Kamera der Bauhaus-Universität Weimar zugegriffen werden. Diese Kamera ist in der Lage 200 Bilder pro Sekunde aufzunehmen und diese auch einzeln abzuspeichern (Abb. 34 und 35).



Abb. 34 Kamera-Aufbau für Aufnahmen am Referenzrohr, Vesper (2015)



Abb. 35 Überprüfung der Kameraeinstellungen zu den Aufnahmen des Fließverhaltens im Standardrohr, Berndt (2015)

7.1 Versuchsdurchführung mit gefärbtem Wasser

Sowohl die Teststrecke 1 mit Plexiglas-Niere als auch das transparente Referenzrohr wurden jeweils mit Durchflüssen von $Q=0,5\text{l/s}$, $Q=1,0\text{l/s}$, $Q=1,5\text{l/s}$, $Q=2,2\text{l/s}$ und $Q=2,4\text{l/s}$ beaufschlagt. Dabei wurden pro Sekunde 200 Einzelbilder aufgenommen, die nacheinander betrachtet, die Bewegung einzelner Wassertropfen im Rohr verfolgen ließ.

Die Aufnahmen an der transparenten Niere gelangen insgesamt besser, da durch den veränderten Querschnitt eine bessere beidseitige Ausleuchtung während den Aufnahmen möglich war.

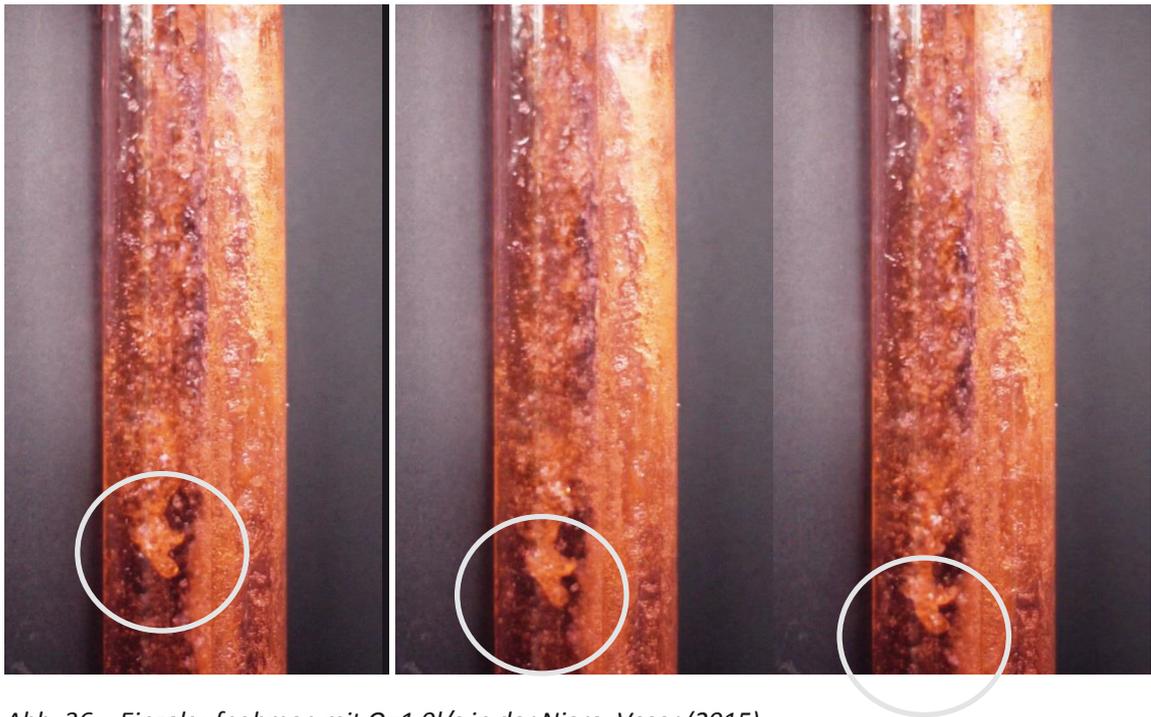


Abb. 36 Einzelaufnahmen mit $Q=1,0\text{l/s}$ in der Niere, Veser (2015)

Um eine bessere Sichtbarkeit des Strömungsverlaufs aus den Aufnahmen zu erreichen, wurden im Anschluss an die Durchläufe mit gefärbtem Wasser die Reinigungskugeln der Fa. Taprogge (siehe Abb. 33) zugegeben.

Diese Kugeln bildeten in den einzelnen Aufnahmen einen stärkeren Kontrast zum Wasser. Mit einer speziellen Software konnten nach Auswertung von je 2000 Einzelbildern pro Filmsequenz 10 Einzelaufnahmen einer Folge überlagert werden. Damit sollte der Strömungsverlauf anhand der einzelnen Kugelbewegungen besser sichtbar gemacht werden. Auch bei diesen Versuchen war die bessere Ausleuchtung des Nieren-Rohrs für das sogenannte „Tracken“ von Vorteil.

Das „Tracken“ in der Niere führte zu deutlichen Aufnahmen. Hier ist sehr deutlich die Ablenkung der Kugeln an der Stelle zu sehen, wo mit Schaumstoff und Harz eine Art Wulst durch die Verbindung des

Plexiglas- mit dem Bestandsrohr geschaffen wurde. Im weiteren Verlauf finden die Kugeln wieder in eine vertikale Linie zu einem ungestörten Strömen zurück.

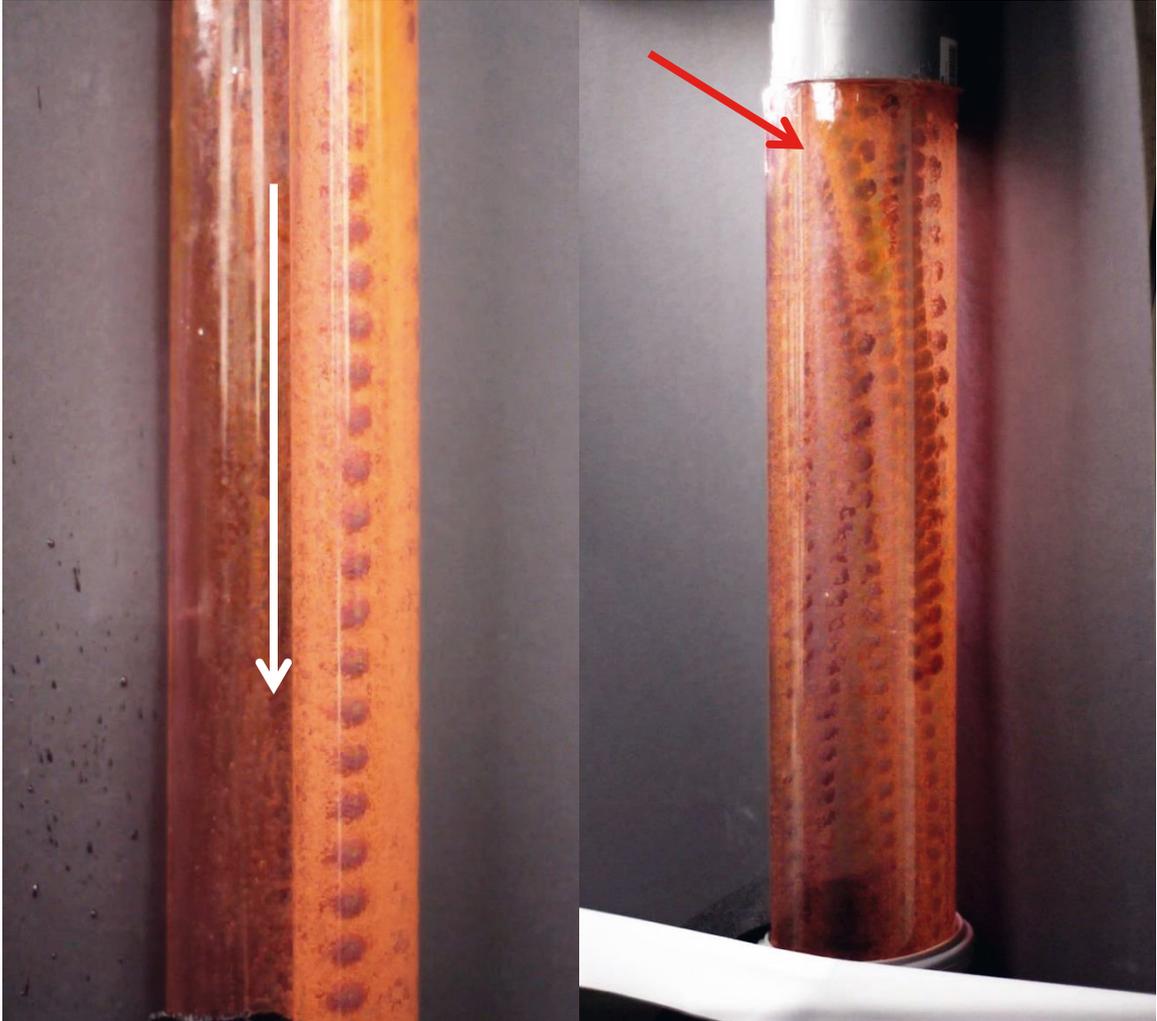


Abb. 37 Überlagerte Bilder mit $Q=1,0\text{l/s}$ in der Niere Ansicht von links aufgenommen und von rechts aufgenommen, Veser (2015)

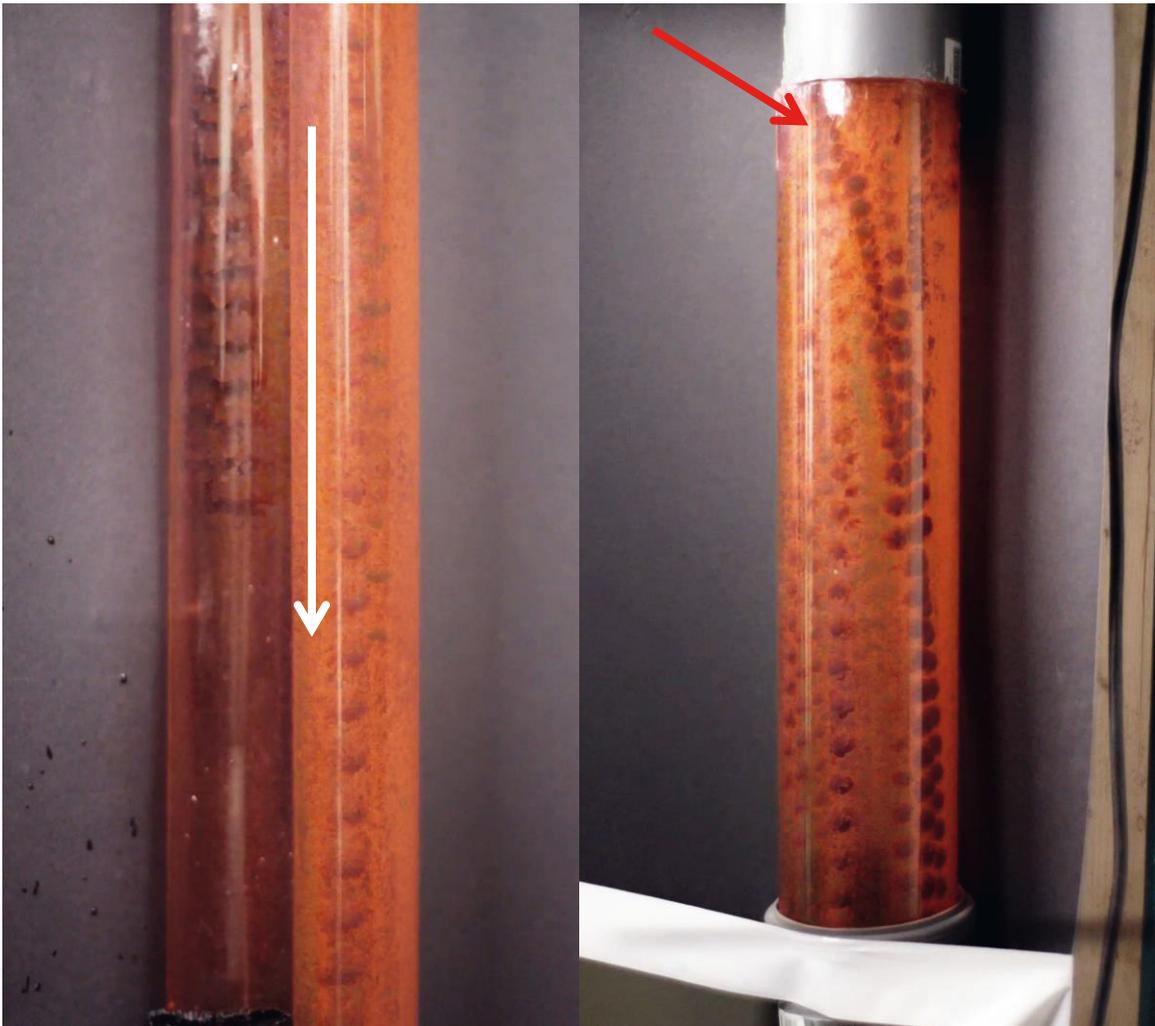


Abb. 38 Überlagerte Bilder mit $Q=2,0\text{l/s}$ in der Niere Ansicht von links aufgenommen und von rechts aufgenommen, Veser (2015)

7.2 Ergebnisse (Veser 2015)

Der Versuch, das Strömungsverhalten eines Fluids in dem veränderten, nierenförmigen Rohr visuell darzustellen gelang einerseits durch den Einsatz der Reinigungskugeln der Fa. Taprogge. Andererseits ermöglichte die Verwendung der High-Speed-Kamera der Bauhaus-Universität Weimar einen deutlichen Einblick in das Ablaufverhalten. Die Aufnahme von 200 Bildern pro Sekunde und deren anschließende Überlagerung konnte visuell darstellen, was mit dem bloßen Auge so nicht zu erkennen war. Die dabei erzielten Resultate untermauern die unter Kapitel 5.3.5 gewonnenen Ergebnisse aus den Durchlaufversuchen. Die Visualisierung bestätigt die Annahme, dass die Nierenform eines Rohrs keinerlei negative Auswirkungen auf das Ableitungsverhalten einer Flüssigkeit hat. Vielmehr kann davon ausgegangen werden, dass die größere, zur Verfügung stehende und komplett genutzte Wandfläche des Nieren-Rohres einen stabilisierenden Einfluss auf das Fließverhalten hat.

8. Zusammenfassende Bewertung aller Untersuchungsergebnisse und Ausblick (Veser 2015)

Überlegungen zu neuen Infrastrukturkonzepten zur Entlastung der Umwelt, Ressourcenschonung sowie Kostenoptimierung zeigen, dass eine nachträgliche Abwassertrennung im Gebäudesektor zukünftig eine Rolle spielen kann. Gerade bei Funktionsgebäuden wie Pflegeeinrichtungen und Krankenhäusern mit teilweise besonders hohen Kontaminierungsraten im Schwarzwasser könnte die Gesellschaft von einer Abtrennung solch befrachteten Abwassers besonders profitieren.

Bislang existierte kein alternatives Verfahren zur substanzschonenden, getrennten Erfassung von Teilströmen in bestehenden Gebäuden nach dem NASS-Prinzip. Die nachträgliche Anbindung von Gebäuden an ein solches System wäre mit einem großen bautechnischen Aufwand verbunden gewesen. Ein temporäres Leerziehen von Gebäuden während der Umbaumaßnahme wäre dabei unumgänglich gewesen. Deshalb konnte z. B. im Rahmen des bereits erwähnten Hamburger Jenfeld-Projekts ein Teil noch bewohnter Gebäude nicht an den Hamburger Water Cycle[®] angeschlossen werden. Diese Tatsache bot die Veranlassung, ein solches, nachträglich zu implementierendes Verfahren für Gebäude zu entwickeln und auf seine grundsätzliche Funktionalität hin zu überprüfen.

8.1 Zusammenfassung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse (Veser 2015)

Mit dem in dieser Arbeit entwickelten Doppel-Inliner-Konzept basierend auf dem Hausliner-Verfahren der Fa. BRAWOLINER konnte erstmals ein Verfahren zur nachträglichen Erfassung unterschiedlicher Abwasserteilströme erfolgreich umgesetzt werden. Dieses innovative Verfahren zeichnet sich nach den erfolgreich durchgeführten Vorversuchen in einem liegenden Testrohr zunächst durch folgende Eigenschaften aus:

- Es kann ohne größere bautechnische Maßnahmen in eine bestehende Fallleitung eingebaut werden.
- Es zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität und Bogengängigkeit aus.
- Der Einbau erfolgt über eine Doppelinversion, womit sämtliche weiteren Vorrichtungen zur Fixierung des zweiten Rohrs entfallen. Eine vermehrte Ablagerung von Feststoffen aus dem Grauwasser bzw. eine Verzopfungsgefahr kann dadurch ausgeschlossen werden.
- Der Doppel-Inliner nutzt den gesamten zur Verfügung stehenden Altrohrraum. In Summe zur Verfügung stehender Ableitungsraum wird lediglich um die Wandstärke der harzgetränkten Liner reduziert.
- Als positiver Nebeneffekt wird durch die Doppel-Inversion gleichzeitig eine Rohrsanierung durchgeführt.

Die weitere Vorgehensweise bestand in der Entwicklung eines zielführenden Untersuchungsprogramms zum Nachweis der prinzipiellen Funktionalität des neuen Verfahrens. Zur Durchführung dieses Programms wurde ein möglichst praxisnaher Versuchsaufbau, der sich an der realen Situation eines fünfgeschossigen Gebäudes in Weimar orientierte, umgesetzt. Dabei entstanden vier Prüfstände, welche über zwei reale Etagen in einer Versuchshalle der MFPA aufgebaut werden konnten. Drei dieser Prüfstände wurden zunächst mit dem Standardequipment der Fa. Brawoliner zweifach inversiert. Der vierte Prüfstand wurde zur Untersuchung für eine gegebenenfalls alternativ entwickelte Trennmethode vorgehalten. Eine solche Alternative ergab sich jedoch während der Untersuchungen nicht.

Die an den inversierten Prüfständen durchgeführten Untersuchungen lieferten zusammengefasst folgende Ergebnisse:

- Die Doppel-Inversion eines fünfgeschossigen Gebäudes kann an einem Arbeitstag komplett durchgeführt werden.
- Die Anschlüsse an die zu entwässernden Gegenstände können Luft- und Wasserdicht sowohl am Schwarzwasser-Liner als auch am Grauwasser-Liner durchgeführt werden.
- Die Inversionen erfolgten sowohl im Schwarzwasser- als auch Grauwasserbereich weitestgehend ohne Falten. Lediglich im Bogenbereich konnte eine leichte Faltenbildung im Grauwasserbereich festgestellt werden. Diese wird jedoch bezüglich Funktionalität und Verschmutzungsbildung als unkritisch eingestuft.
- Es wurde sämtlicher zur Verfügung stehender Raum im Bestandsrohr von den Linern ausgefüllt.
- Die Wandstärken der neu entstandenen Leitungen sind lediglich im Schwarzwasserbereich teilweise etwas ungleichmäßig ausgebildet.
- Der doppelte Einbau führte zu einem kompakten Ableitungselement, welches sich, im Vergleich zum Referenzrohr, auf die Ableitungsgeräusche eher mindernd auswirkt.
- Die Doppel-Inversion bildete bei drei untersuchten Falleitungen weitestgehend identische Ableitungsräume aus.
- Der Inliner ist unterdruckbeständig und somit geeignet zur Kopplung mit einem Unterdruckentwässerungssystem.
- Der sich aus der Doppel-Inversion ergebende nierenförmige Leitungsquerschnitt im Grauwasserbereich wirkt sich neutral bis positiv auf das Ableitungsverhalten von darin abzuführenden Flüssigkeiten aus. Es ist davon auszugehen, dass der gesamte zur Verfügung stehende Ableitungsraum ausgenutzt wird.

Die durch das Untersuchungsprogramm ermittelten Resultate im Abflussverhalten sollten durch eine Sichtprüfung des Fließverhaltens auf Plausibilität überprüft werden. Denn zur Einhaltung dieser Ergebnisse musste einerseits der komplette Ableitungsraum in dem Nieren-Rohr genutzt werden. Anderer-

seits durften keine Turbulenzen durch die neue Querschnittsform sichtbar sein. Der Einbau von Plexiglas-Elementen in die Prüfstände bildete zur visuellen Überprüfung dieser Eigenschaften den ersten Schritt. In einem weiteren Schritt wurde das Probewasser mit Lebensmittelfarbe eingefärbt, um so das Fließverhalten sowohl im Nierenquerschnitt als auch in einem Standardrohr sichtbar zu machen. Die mit diesem Wasser erfolgten Testdurchläufe wurden mit einer High-Speed-Kamera mit Unterstützung von Beleuchtungselementen gefilmt. Diese Kamera erzeugte 200 Einzelbilder pro Sekunde, die es auch durch die Einfärbung des Fluids ermöglichten am Bildschirm teilweise einzelne Wassertropfen zu identifizieren und deren Weg im jeweiligen Rohr zu verfolgen. Um diesen Effekt noch deutlicher sichtbar zu machen wurden zu den Durchläufen Kunststoffkugeln zugegeben, die mit ihrem stärkeren Kontrast eine Bildüberlagerung ermöglichten, welche den genauen Verlauf der Kugeln und somit auch die Strömungsrichtung anzeigten.

Diese Untersuchungen ergaben folgende Ergebnisse:

- Das Wasser strömt sowohl in der Niere als auch im Standardrohr laminar. Strömungsturbulenzen sind auch in dem nierenförmigen Querschnitt nicht erkennbar.
- Es wird die gesamte Wandfläche auch bei der Niere zur Ableitung genutzt.
- Es entstehen keine Totzonen, auch nicht an den äußeren Nierenenden.

Mit diesen erfolgreichen Visualisierungs-Versuchen konnte auch die dritte Hauptforschungsfrage nach dem Strömungsverhalten eines Fluids beantwortet werden.

Somit ist dieses neuentwickelte Trennverfahren zur separaten Erfassung von Abwasserteilströmen prinzipiell als technisch geeignet zu bewerten. Es stellt damit eine völlig neue Möglichkeit dar, Gebäude ohne großen bautechnischen Aufwand an neue Infrastruktursysteme anzuschließen.

8.3 Ausblick

Es wäre angezeigt die praktische Untersuchung über die hier gesetzte Systemgrenze (bis zu fünfgeschossiges Gebäude mit übereinander liegenden, identischen Wohnungsgrundrissen) hinaus auszuweiten. Ein nächster Schritt dazu könnte die Umsetzung einer solchen Sanierung und das Monitoring der Maßnahme in einem realen Gebäude sein. Dazu böte sich besonders ein Funktionsgebäude, wie z. B. ein kleineres Pflegeheim oder Krankenhaus an. In einer solchen Maßnahme könnten entsprechende Planungsgrundlagen auch hinsichtlich des Brandschutzes etc. entwickelt werden. Des Weiteren ließen sich die real anfallenden Zeitaufwendungen monetär beziffern, um somit eine Kostenkalkulation erstellen.

Eine Entwicklung neuer Standard-Anschlüsse mit unterschiedlichen Einlaufwinkeln sowohl für den Grauwasser- als auch Schwarzwasserbereich (Unterdruckliner) sollten für einen kostengünstigen Einsatz erfolgen.

Die hier vorgestellten Untersuchungen erfolgten nur bis zu einer theoretischen Übergabe der Fluide in die Grundleitung. Ein weiterer wichtiger Punkt stellt jedoch die Frage der weiterführenden Trennung der Abwässer im Kanal dar. Zwar könnten bei evtl. Pilotmaßnahmen zunächst dezentrale Sammel- und Abhüllösungen für das Schwarzwasser umgesetzt werden. Um jedoch zukünftig vorhandene Infrastruktureinrichtung mit in neue Systeme zu integrieren wäre es wichtig, auch für den Kanal eine Lösung zu entwickeln. Erste Schritte in diese Richtung, wenn auch mit anderer Zielsetzung wurden bereits vor einigen Jahren von der Fa. Röders unternommen. Diese Erfahrungen sollten in einem weiteren Projekt genutzt werden, um ein technisch realisierbare Anbindung des Doppel-Inliners vom Gebäude an ein weiterführendes System umzusetzen.

Obwohl der hier verwendete BRAWOLINER bereits über eine baurechtliche Zulassung für die Gebäudesanierung verfügt sollte die Zulassung der doppelten Anwendung mit dem DIBT geklärt werden.

Es ist ebenfalls denkbar auch kleine Siedlungen oder Stadtteile mit einem Doppel-Inliner-System auszustatten, um in diesem Zusammenhang ein neues, flexibleres Entwässerungssystem zu etablieren. Neue Verwertungsverfahren für Schwarzwasser und Biomüll lassen die Produktion eines hochwertigen Gases zu, welches direkt in ein Mikro-Gasnetz eingespeist werden kann. Ein solches Konzept könnte die Notversorgung von Menschen auch in Krisenzeiten sichern.

Gerade eine der jüngsten Schlagzeilen in der Süddeutschen Zeitung zeigen, dass das Thema der Schwarzwasserverwertung EU weit diskutiert wird. So brüstet sich die Wessex Water erstmals einen Bus mit Biogas aus „Poo“, was so viel wie menschliche Fäkalien bedeutet und organischem Müll zu betreiben⁴. Dieser Bus, der nun in Bristol Fahrt aufgenommen hat ist dazu entsprechend mit auf der Toilette sitzenden Menschen bemalt. Damit wird in England ein Tabu-Thema quasi auf die Straße gebracht, welches wünschenswerterweise evtl. auch in Deutschland die politische Diskussion anregt.

⁴ <http://www.presstext.com/news/20141121007>



Abb. 39 Der Poo-Bus, Quelle Foto: WGO

Literaturverzeichnis

- Berndt M. (2013). Dokumentation einer Vor-Besichtigung in der Moskauer Straße in Weimar; Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, Baustoffe – Materialbeständigkeit; Weimar
- BMBau (Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau) (1992a). Leitfaden zur Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäude in der Plattenbauweise Blockbauart 0,8 t; Neubert GmbH; Bayreuth
- BMBau (Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau) (1992b). Leitfaden zur Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäude in der Plattenbauweise Typenserie P2 0,5 t; Nationales Druckhaus GmbH; Berlin
- BMBau (Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau) (1993). Leitfaden zur Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäude in der Plattenbauweise WBS 70 Wohnungsbauserie 70 6,3 t; Nationales Druckhaus GmbH; Berlin
- Berger, D.C. (2009). Zustand der Kanalisation in Deutschland.doi:10.3242/kae2011/01.001
- Brawoliner (2013a). BRAWOLINER® HT Liner und Harz für die Sanierung innerhalb von Gebäuden; online abrufbar: <http://www.brawoliner.de/sanieren-innerhalb-von-gebaeuden.html> (Tag des Abrufs: 08.05.13)
- Brawoliner (2013b). Das BRAWOLINER®-Verfahren; online abrufbar: <http://www.brawoliner.de/der-einbau/verfahrensbeschreibung.html> (Tag des Abrufs: 26.04.13)
- Bundesamt für Umwelt BAFU Bern Schweiz (2012). Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser – Verfahren zur weitgehenden Elimination aus Kläranlagen. Schweizer BAFU 2012. www.environment-switzerland.ch/uw-1214-e
- Diefenbach N., Cischinsky H., Rodenfels M., Clausnitzer KD. (2010). Zusammenfassung zum Forschungsprojekt „Datenbasis Gebäudebestand – Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand“; online abrufbar: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Zusammenfassung_Datenbasis_Gebäudebestand.pdf (Tag des Abrufs: 22.04.2012)
- DIN EN 12056-1 (2001). Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden - Allgemeine und Ausführungsanforderungen 2001
- DIN EN 12109 (1999). Unterdruckentwässerungssystem innerhalb von Gebäude; DIN Deutsches Institut für Normung e.V; Beuth Verlag GmbH; Berlin
- DIN EN 772-9 (2005). Prüfverfahren für Mauersteine–Teil 9: Bestimmung des Loch- und Nettovolumens sowie des prozentualen Lochanteils von Mauerziegeln und Kalksandsteinen mittels Sandfüllung 2005
- DIN 4045: Abwassertechnik – Grundbegriffe (2003). DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH Berlin 2003
- DIN 1986-100 (2008). Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Teil 100: Zusätzliche Bestimmungen zu DN EN 752 und DIN EN 12056. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH Berlin 2008

- Dockhorn Th. (2007) Stoffstrommanagement und Ressourcenökonomie in der kommunalen Abwasserwirtschaft. TU Braunschweig 2007
- Enquête Kommission (1994). Drucksache 12/8280. Deutscher Bundestag, 12. Wahlperiode, S. 258
- Eisenhardt S, Runnebaum B, Bauer K, Gerhard I (2001) Nitromusk compounds in women with gynecological and endocrine dysfunction. *Environ Res* 87:123–130
- Ferziger J, Peric M. (2008). Numerische Strömungsmechanik; Springer- Verlag; Berlin Heidelberg
- Feurich H. Forschungsbericht Wassereinsparung bei der WC-Spülung und kleine Rohrweiten bei der Zufluss- und Abfluss-Installation, 17. April 2001; gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Eigenverlag Hugo Feurich, Berlin.
- Fricke & Bidlingmaier (2003). Phosphorpotentiale qualitativ hochwertiger organischer Siedlungsabfälle und deren Nutzung, Tagungsband zur Phosphortagung des UBA und des ISA am 06./07.02.2003 in Berlin, S. 9/1–9/15, Ges. zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft Aachen, 2003
- Geberit (2012a). Abwasserhydraulik - Leitfaden für die Planung, Dimensionierung, Verlegung und den Betrieb von Abwasseranlagen; Geberit Vertriebs GmbH
- Geberit (2012b). Geberit Produktkatalog, Ersatzteile, PE Abzweig 45°; online abrufbar: http://catalog.geberit.com/public/product.aspx?cat=DE_DE-de_1&ch=212&p=53904 (Tag des Abrufs: 08.05.2013)
- Gottwald I. (2002). Fließgeschwindigkeit des Abwassers in Entwässerungsleitungen der Gebäudetechnik; Dissertation an der Universität GH Essen 2002
- Heinrichs F., Rickmann B., Sondergeld, K-D., Störrlein, K.-H. (1995). Gebäude- und Grundstücksentwässerung – Kommentar zu DIN 1986; Beuth Verlag GmbH; Berlin 1995
- Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V.(IEMB) (1999). Wohnwertverbesserung durch Grundrissveränderung. Sanierungsgrundlagen Plattenbau. Hrsg. TU Berlin. Fraunhofer IRB Verlag 1999
- Kruppa B. (März 2012). Sanitärtechnik / Medienversorgung Vorlesung. Grundlagen Gebäudeentwässerung. Gießen 2012. http://www.thm.de/me/images/user/kruppa-95/Sanitaertechnik/V5_1_1_Abwasser_P1_0.pdf. Letzter Zugriff: 03.06.13
- Kukral J. (2013). Versuchsstand zur Implementierung eines Inlinersystems in den Gebäudebestand Dokumentation der Versuchsdurchführung. Bachelorarbeit an der Bauhaus-Universität Weimar 2013
- Liebl B, Mayer R, Ommer S et al. (2000). Transition of nitro musks and polycyclic musks into human milk. *Adv Exp Med Biol* 478:289–305
- Londong J. (2013). Practical experience with source separation in Germany. Source separation and Decentralization for Wastewater Management S. 425. Hrsg.: T.A. Larsen, K.M. Udert, J.Lienert
- Londong J., Scharf S., Klein S. (2013). Greywater (re)use options in a German urban context – necessities, challenges, barriers, Beitrag im Rahmen des 4th International Symposium „Re-Water Braunschweig“, Tagungsband S. 1-5, ISSN 0934-9731

- Malisie AF, Prihandrijanti M, Otterpohl R. (2007). The potential of nutrient reuse from a source-separated domestic wastewater system in Indonesia--case study: ecological sanitation pilot plant in Surabaya. *Water Sci Technol.* 2007;56(5):141-8
- Maurer C. (2011). Technische und ökonomische Aspekte der separaten Erfassung und Behandlung von Krankenhausabwasser. Technische hochschule Aachen 2011
- Müller J, Böhmer W, Bauer A et al. (2003). Untersuchung des Stoffverhaltens von polyzyklischen Moschusverbindungen im Klärschlamm und Boden : Band I: Screening-Untersuchungen Klärschlamm; Band II: Untersuchungen des Verhaltens von polyzyklischen Moschusverbindungen im Boden. Hrsg. Umweltbundesamt. Berlin: WaBoLu-Heft 69/03
- Oehler G. (2000). Bäder, Küchen und deren Installationsbereiche. Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. (IEMB); Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau; Stuttgart
- Pinnekamp J. (2014). Nauru und Kiribati: Nachhaltiger Umgang mit der Ressource Phosphor. 27. Aachener Kolloquium für Abfall und Ressourcenschutz. November 2014
- Pinnekamp J. (2013). P-Rückgewinnung: Technisch möglich - wirtschaftlich sinnvoll?. BMU/UBA-Tagung, Bonn 09. Oktober 2013
- Rohde R. (2015). Untersuchung zur Feststoffbildung in Unterdrucksystemen für den Schwarzwassertransport. Bauhaus-Universität Weimar 2015
- SBZ Monteur (2009). Ausgabe 9 S. 21. <http://www.sbz-monteur.de/sbz-monteur-heft-09-2009/>
- Schulze D. (1996). Wohnbauten in Fertigbauweise (Baujahre 1958 – 1990) - Übersicht; Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. (IEMB), Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau; Stuttgart
- Sievers J. (2015). Typisierung von Grauwasser. Bauhaus-Universität Weimar 2015
- Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: System, online im Internet: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/3210/system-v12.html>, Aufruf am 23.10.2014
- Stader Saatzucht e.g. (2014). Marktbericht Düngemittel, 14_11_2014. <http://www.stader-saatzucht.de/aktuelles/marktbericht-duengemittel.html>. Aufruf am 14.11.2014
- Statistisches Bundesamt (2012): Bauen und Wohnen, Mikrozensus – Zusatzerhebung 2012, Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte; Wiesbaden
- Stüken R. (2013). Konzeption eines Versuchsstandes und eines Versuchsprogrammes zur Ermittlung der hydraulischen Belastbarkeit eines sanierten Abwasserfallrohres mit veränderter Geometrie. Masterarbeit an der Bauhaus-Universität Weimar 2013
- Tanner M. (2013). Leiter Labor Sanitärtechnik, Geberit International AG. Telefonat vom 22. April 2013
- Truffer B., Störmer E., Maurer M. & Ruff A. (2010). Local strategic planning processes and sustainability transitions in infrastructure sectors. Source Separation and Decentralization for Wastewater Management S. 258 -269, Hrsg.: T.A. Larsen, K. Udert, J. Lienert, Feb. 2013

- Umweltbundesamt (2014). Öffentliche Ausschreibung des „Screening – Untersuchungen von Mikroplastik in verschiedenen Medien“. Gz:Z6-20554-2/7, Projektnr.:45657 vom 20.08.2014
- Umweltbundesamt(2008). Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2008. Texte 58/2010, 2010. <http://www.uba.de/uba-info-medien/3967.html>
- Veser, S. (2015). Doppel-Inliner-Verfahren zur getrennten Erfassung von Schwarz- und Grauwasser im Gebäudebestand. Bauhaus-Universität Weimar 2015
- Veser, S. (2014). EVaSENS - Neue Wege der Abwassertrennung. Bundesbaublatt (BBB), 63. Jg., Heft 7-8/2014, S. 57-58, Bauverlag GmbH Gütersloh 2014
- Veser, S., Berndt, M. (2014). EVaSENS - Neue Wege der Abwassertrennung im Siedlungsbestand. WASSER und ABFALL, 2014, Heft 3, S. 32-36
- Veser, S. (2014). EVaSENS - tube-in-tube reconstruction in combination with vacuum technology. In J. Lohaus, ed. Proceedings of 17th International EWA Symposium "WatEnergyResources - Water, Energy and Resources: Innovative Options and Sustainable Solutions" during IFAT, 5-9 May 2014. Hennef: European Water Association
- Wätzel T. & Kraft E. (2014). Specified, anaerobic degradation of pharmaceuticals and digester gas recovery: A comprehensive study. In: 17th International EWA Symposium "WATEnergyResources - Water, Energy and Resources: Innovative Options and Sustainable Solutions", during IFAT 5-9 May 2014, Munich.
- Yu Z, Rahardianto A, DeShazo J.R., Stenstrom M., Cohen Y. Critical Review: Regulatory Incentives and Impediments for Onsite Graywater Reuse in the United States. Water Environ. Res., 85, 650 (2013). doi:10.2175/106143013X13698672321580
- Zander C. Modernisierung des Wohnungsbestandes, Vortrag zum Symposium in der Reihe „Die Zukunft des Bauens“ von DETAIL research und der Forschungsinitiative Zukunft Bau des BMUB und BBSR zum Thema „Modernisierung des Wohnungsbestandes“, 26.07.2014, Heft 3, S. 32-36
- Zeeman G., Katarzyna K., Brendo M. & Flip K. 2007 Full scale demonstration of vacuum collection, transport & treatment of black water. Advanced Sanitation Conference. Aachen, Germany.