

Reinigung 2.0:

Energieeinsparung durch geringere Druckverluste in der Wasserverteilung



Querschnittsreduzierung einer Rohwasserleitung, bedingt durch Ablagerungen

Quelle: HAMMANN GmbH

Energieeinsparungen werden oftmals durch eine **Überarbeitung sowie den Austausch von Pumpen** erreicht. Energie lässt sich jedoch auch durch das Entfernen von Ablagerungen aus Rohrleitungen einsparen. Ablagerungen erhöhen die Rauheit und verringern den Rohrleitungsquerschnitt, sodass der Druckverlust ansteigt. Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens „REINER – Steigerung der Energieeffizienz in Wassernetzen durch neue Beurteilungstools und optimierte Reinigung“ soll geklärt werden, wie groß das **Energieeinsparpotenzial durch die Reinigung von Rohrleitungen** und damit eine Entfernung von Ablagerungen ist. Das Verbundvorhaben, das Mitte 2015 startete, ist auf zwei Jahre angelegt und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „KMU-innovativ: Ressourcen- und Energieeffizienz“ im Technologie- und Anwendungsbereich „Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM)“ gefördert.

von: Dr. Norbert Klein, Sebastian Immel (beide: HAMMANN GmbH), Prof. Dr. Wojciech Kowalczyk, Stefan Westermaier (beide: Universität Duisburg Essen), Dr.-Ing. Michael Plath, Dennis Kaschulla & Stefan Fischer (alle: RWW Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH)

Trinkwasser muss den Anforderungen der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) [1] entsprechen und darf keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen beim Verbraucher verursachen. Zusätzlich soll Trinkwasser hohen ästhetischen Ansprüchen genügen. In der TrinkwV 2001 sind alle erforderlichen

Untersuchungsparameter zur Überwachung von Trinkwasser und die entsprechenden Grenzwerte gebündelt. Die Anforderungen, die an Trinkwasser gestellt werden, gelten nicht nur bei Abgabe in das Versorgungsnetz, sondern bis zu der Zapfstelle einer Trinkwasser-Installation, die zur Entnahme

von Trinkwasser dient. Bis dahin kann das Trinkwasser durch verschiedenste Einflüsse, wie z. B. durch Sedimente, Korrosionsprodukte und Mikroorganismen, in seiner Beschaffenheit beeinträchtigt werden. Durch Reinigungsverfahren sollen diese Beeinflussungen minimiert werden.

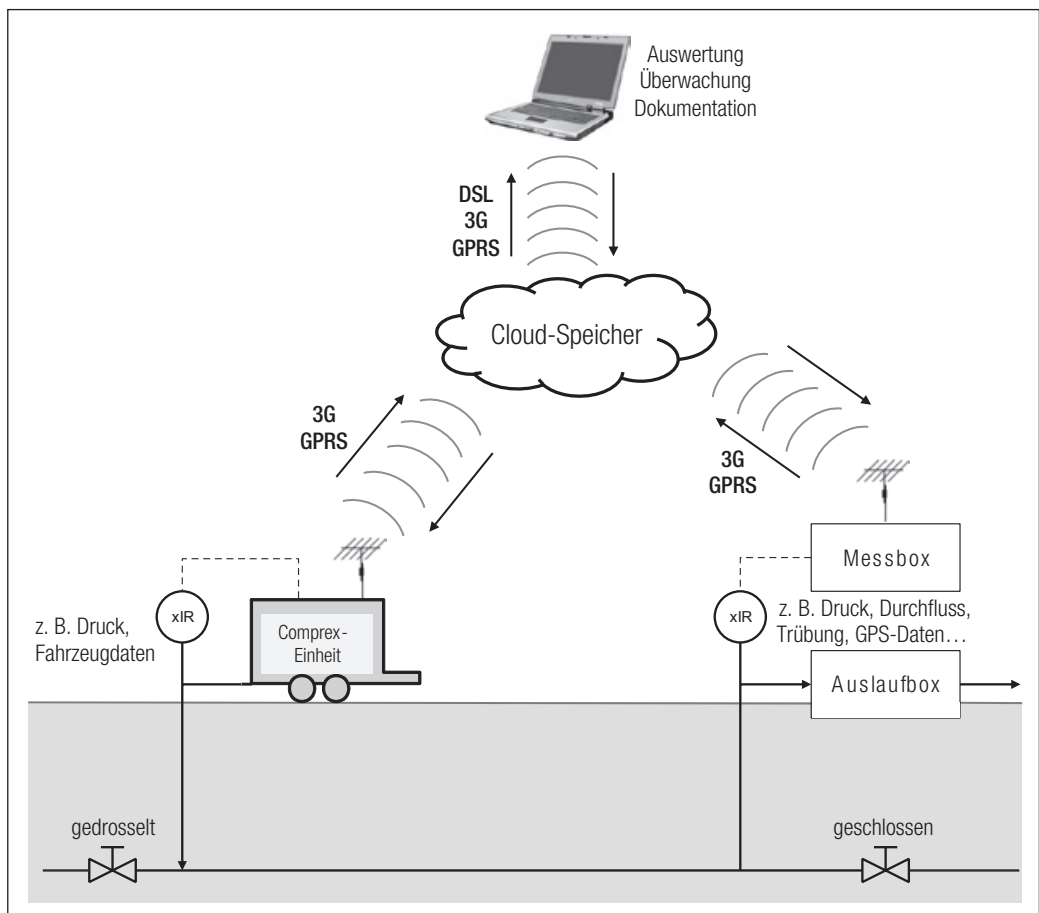


Abb. 1: Schematische Darstellung des COMPREX-Verfahrens

Die Reinigung und Desinfektion von Rohrleitungen werden im DVGW-Arbeitsblatt W 291 „Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen“ [2] behandelt. Hier steht klar der hygienische Aspekt im Vordergrund, die Energieeffizienz bei der Wasserverteilung wurde bisher nicht berücksichtigt. Hinweise zu diesem Thema finden sich in der DVGW-Wasser-Information Nr. 77 [3] sowie im DVGW-Merkblatt W 614 [4].

Nach neusten Erkenntnissen ist die Erhöhung der Regelgeschwindigkeit in der Rohrleitung um 100 Prozent ausreichend, damit lose Ablagerungen ausgetragen werden können. Durch die gleichzeitige Zugabe von Luft lässt sich die Reinigungswirkung steigern.

Das Verbundprojekt REINER wird von der HAMMANN GmbH koordiniert, die das patentierte Impuls-Spülverfahren COMPREX entwickelte (Abb. 1). Dabei wird im Verteilnetz ein Reinigungsabschnitt durch zwei Schieber und zwei Hydranten definiert. Der erste Schieber begrenzt das in den Rohrleitungsabschnitt einströmende Wasser. Der zweite Schieber bleibt geschlossen und stellt das Ende des Reinigungsabschnitts dar. Ein Hydrant im vorderen Be-

reich des Reinigungsabschnitts dient der impulsartigen Einspeisung aufbereiteter Druckluft. Im Reinigungsabschnitt bilden sich dadurch Luft- und Wasserblöcke. Diese Blöcke erreichen Geschwindigkeiten von über 20 m/s. Dabei erzeugte Scher- und Schleppkräfte lösen Ablagerungen von den Innenoberflächen der Rohrleitung ab. Die so mobilisierten Partikel werden durch den Reinigungsabschnitt transportiert und am Ausspeisehydrant ausgetragen. Das Verfahren eignet sich auch für Rohrleitungen aus bruchempfindlichen Werkstoffen, da der Netzruhedruck bei einer Reinigung nicht überschritten wird.

Netzspülungen der RWW

Aufgrund des demografischen Wandels und immer geringeren Abnahmemengen pro Kopf sind die Trinkwassernetze in Deutschland mittlerweile überdimensioniert. Um die Vorgaben der TrinkwV 2001 zu erfüllen und das Netz trotzdem in einem einwandfreien Zustand zu erhalten, wird bei RWW das Rohrnetz nach dem Prinzip der „klaren Wasserfront“ unidirektional vom Einspeisepunkt zum Verbraucher systematisch gespült. Bei dieser Art der Netzspülung sollen Aufwand und Nutzen

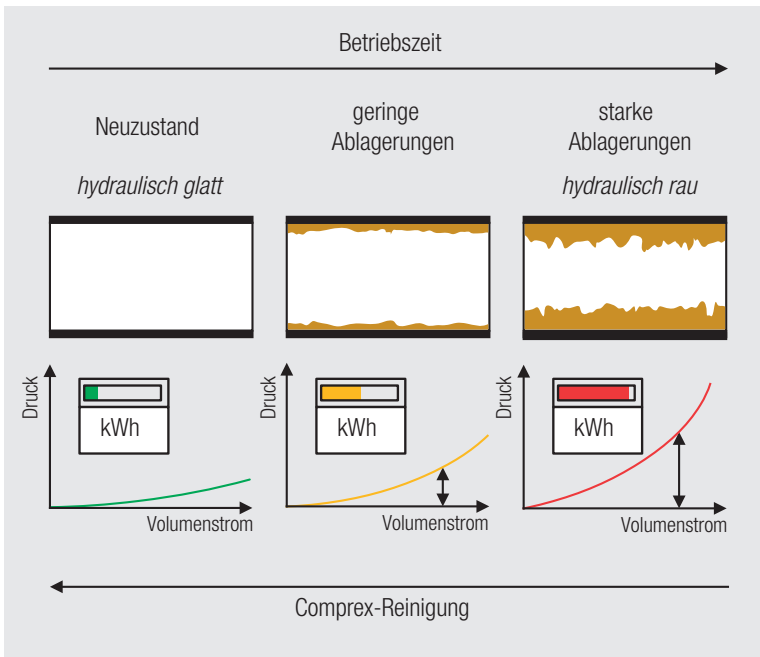


Abb. 2: Einfluss von Ablagerungen auf Rohrleitungshydraulik und Energiebedarf

Quelle: HAMMANN GmbH

Inhalte des Spülplans sind im Wesentlichen:

- Unterteilung des Versorgungsgebiets in einzelne Spülgebiete,
- Festlegung aller Spülhydranten,
- Bestimmung geeigneter Spülstränge (ausgehend vom Wasserwerk/von den Transportleitungen),
- Festlegung von Richtung und Spülmenge je Spülstrang,
- Definition der Schieberstellungen je Spülabschnitt.

Solche Netzspülungen sind effiziente und moderne Prozesse, um Trübungen in Rohrnetzen zu vermeiden. Häufige und aufwendige Endhydrantenspülungen können zu einem Großteil entfallen, wenn die Rohrnetze in strategisch sinnvollen Abständen (so selten wie möglich, so oft wie nötig) mit klarer Wasserfront gespült werden. Die Netzspülungen verfolgen aktuell noch nicht das Ziel, Energie einzusparen.

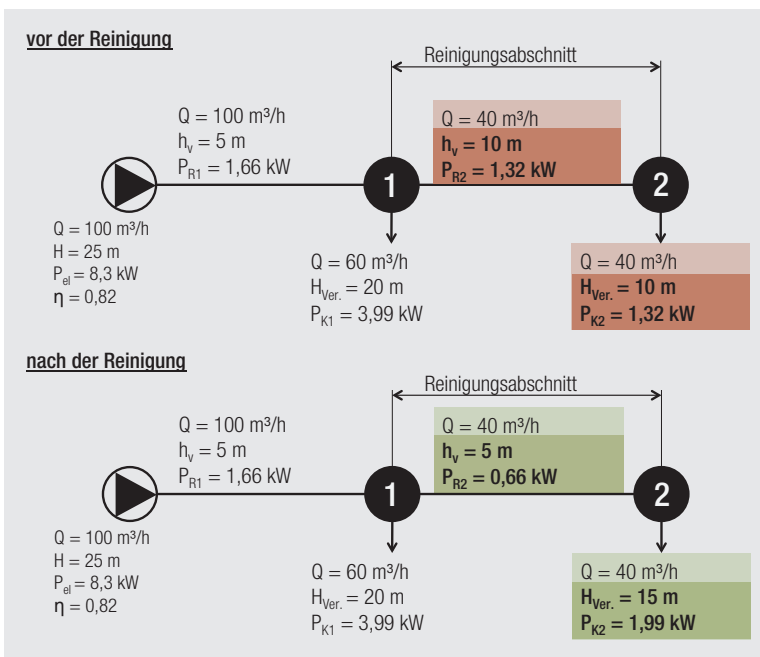


Abb. 3: Beispielhafte Zuweisung der benötigten Leistung zu einzelnen Rohrleitungsabschnitten, jeweils vor und nach der Reinigung

Legende:
 h_v = Druckverlust [m]
 $H_{ver.}$ = Versorgungsdruck [m]
 P_{el} = elektrische Pumpenleistung [W]
 P_K = zur Verfügung stehende Leistung am Knoten [W]
 P_R = benötigte Leistung für den Wassertransport durch die Rohrleitung [W]

in einer wirtschaftlichen und sinnvollen Relation stehen. Das Spülen von Endsträngen, basierend auf einem zeitlichen Turnus, sowie ereignisorientiertes „Spülen nach Bedarf“ sind hingegen oftmals nicht effektiv und effizient. Dies liegt darin begründet, dass ein Großteil der partikulären Fracht im vorgelagerten Rohrnetz liegen bleibt. Ablagerungen werden mobilisiert und verlagert, anstatt wirkungsvoll ausgetragen zu werden. Die Netzspülung mit klarer Wasserfront erfolgt dagegen systematisch nach einem Spülplan. Hierin wird die Abfolge der einzelnen Spülschritte definiert und detailliert beschrieben.

Quelle: RWV mbH

Projektidee REINER

Die Prozesse der Wassergewinnung, -aufbereitung sowie -verteilung benötigen elektrische Energie. Etwa ein halbes Prozent der Primärenergie in Deutschland wird für die Wasserversorgung benötigt [5]. Vor allem in Anbetracht des Klimaschutzes ist es notwendig, die Energieeffizienz durch die stetige Entwicklung neuer Technologien zu erhöhen.

Für die Förderung des Wassers in der Wasserverteilung wird in den meisten Wasserversorgungsunternehmen (WVU) der größte Anteil elektrischer Energie für Pumpen benötigt. Die notwendige Förderhöhe der Pumpen in Abhängigkeit vom Förderstrom ergibt sich aus den geografischen Gegebenheiten des Versorgungsgebietes, den Druckverlusten im Rohrnetz und dem notwendigen Druck an der Übergabestelle zum Kunden in Abhängigkeit von den Gebäudehöhen. Die Druckverluste werden durch Reibung in Rohren sowie durch Formstücke und Armaturen verursacht.

Alterungsbedingte Ablagerungen in der Rohrleitung verschlechtern die hydraulischen Verhältnisse (Abb. 2). Infolgedessen steigt die benötigte Energie für den Transport des Trinkwassers an. Reinigungsmaßnahmen können ablagerungsbedingte Druckverluste in der Rohrleitung reduzieren. Aktuell findet die Rei-

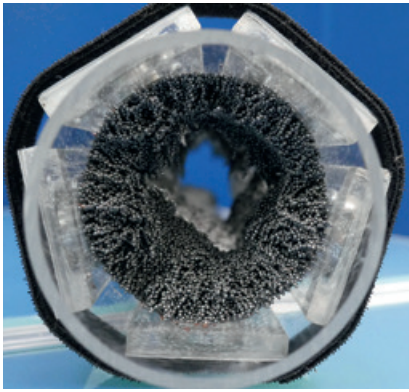


Abb. 4: Rohrstück mit reproduzierbaren Modellablagerungen (oben) sowie Rohrstück aus der Praxis mit Ablagerungen (unten)

Quelle: HAMMANN GmbH

nigung vornehmlich aus hygienischen Gründen und zumeist an den Endsträngen bei Braunwasser- und Trübungsproblemen sowie bei Sanierungen statt. Das F&E-Vorhaben REINER soll die energetische Optimierung durch Reinigungsmaßnahmen quantifizierbar machen. REINER verfolgt hinsichtlich der Energieeinsparung zwei Schwerpunkte:

- Durch neuartige Berechnungsansätze sollen Aussagen zum hydraulischen Zustand der Rohrleitung vor und nach der COMPREX-Reinigung getroffen werden. Diese sollen die Reinigungsleistung und die daraus resultierende Energieeinsparung quantifizieren.
- Die Steuerung des COMPREX-Verfahrens soll optimiert und die Reinigungsleistung signifikant erhöht werden. Eine neuentwickelte mobile Messbox soll Messgrößen von der Ausspeisestelle des Reinigungsabschnitts in Echtzeit an die Comprehex-Einheit übermitteln und zur optimierten Steuerung der Reinigung dienen (Abb. 1).

Zuweisung der benötigten Energie zu einzelnen Rohrleitungsabschnitten

Die in der Wasserverteilung benötigte Energie ergibt sich aus der Summe aller beteiligten leistungsaufnehmenden Aggregate. Die meisten WVU kennen den Gesamtenergiebedarf ihrer Wasserverteilung. Für einzelne Rohrleitungsabschnitte hingegen ist der entsprechende Anteil am Gesamtenergiebedarf nur bedingt bekannt.

Der zugewiesene Energiebedarf eines Rohrleitungsabschnitts kann sich aus einer jährlichen Datenbasis ergeben. Falls diese Daten nicht verfügbar sind, kann eine spezielle Fördersituation als Datengrundlage dienen. Der Energiebedarf einzelner Rohrleitungsabschnitte ergibt sich aus **Gleichung 1**.

$$P = \frac{\rho \cdot g}{\eta} \cdot \Sigma H \cdot Q \quad \text{Gl. 1}$$

P = Pumpenleistung [W]

ρ = Dichte von Wasser [kg/m³]

g = Erdbeschleunigung [m/s²]

η = Wirkungsgrad des Pumpenaggregats [-]

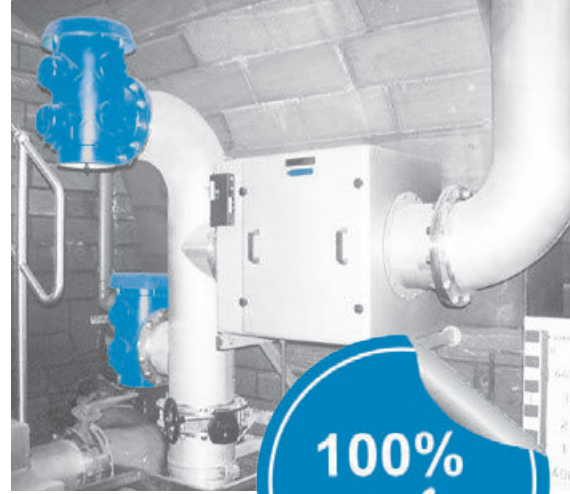
H = Förderhöhe [m]

Q = Volumenstrom [m³/s]

Abbildung 3 zeigt beispielhaft die benötigte Leistung für zwei Netzknotenpunkte 1 und 2 sowie für den Rohrleitungsabschnitt zwischen Knoten 1 und 2 vor und nach der Reinigung.

Die Reinigung verbessert die hydraulischen Bedingungen in der Rohrleitung durch die Senkung des Druckverlustes. Dadurch sinkt der Energiebedarf für diesen Rohrleitungsabschnitt. Zur Vereinfachung befinden sich im Beispiel alle Komponenten auf gleicher geodätischer Höhe.

Die Reinigung des Rohrleitungsabschnitts zwischen Knoten 1 und Knoten 2 reduziert die Druckverluste von zehn auf fünf Meter. Als Folge ist am Knoten 2 ein Restdruck von 15 anstatt zehn Meter vorhanden. Vor der Reinigung werden zum Wassertransport zwischen Knoten 1 und Knoten 2 10.560 kWh pro Jahr benötigt, nach der Reinigung sind nur noch 5.280 kWh erforderlich. An ▶



www.huber.de

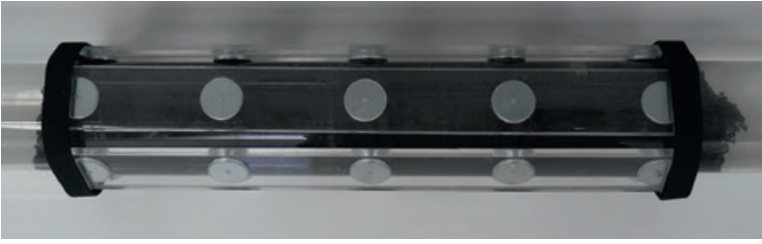
**Mit Edelstahl
perfekt ausgerüstet...**

**... zum hygienischen
Speichern von
Trinkwasser.**

Die hygienische Qualität von Trinkwasser kann beim Speichern beeinträchtigt werden.

Wir haben effektive und wirtschaftliche Lösungen und liefern standardisierte Bauteile, die das verhindern.

HUBER
TECHNOLOGY
WASTE WATER Solutions



Quelle: HAMMANN GmbH

Abb. 5: Rohrstück mit Modellablagerungen in der Versuchsanlage

Knoten 2 steht nach der Reinigung zusätzliche Druckenergie zur Verfügung. Durch eine Reduzierung der benötigten Leistung für den Reinigungsabschnitt steigt die Leistungsreserve im Versorgungsnetz an. Diese spiegelt sich zunächst in der Bereitstellung eines höheren statischen Druckes wider. Durch die Steuerung der Pumpe mit einem Frequenzumrichter (FU) oder durch den Einsatz einer kleineren Pumpe kann diese Leistungsreserve anschließend eine elektrische Energieeinsparung bedeuten.

Untersuchungen an der Versuchsanlage

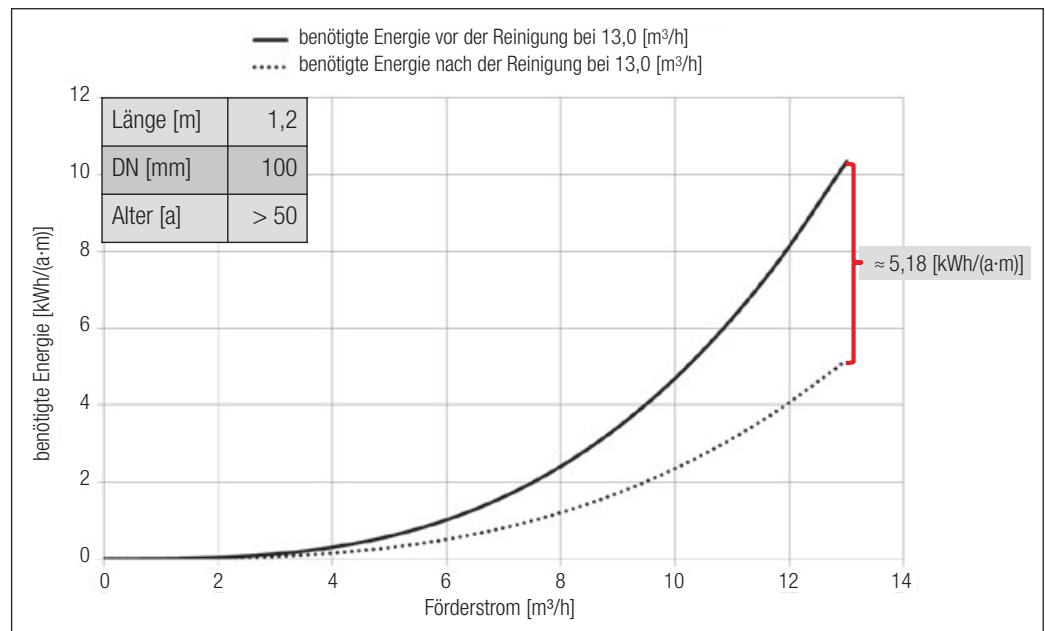
Um die Zusammenhänge zwischen Hydraulik und Reinigung zu verstehen, ist eine Versuchsanlage im halbertechnischen Maßstab hilfreich. Daher erweiterte die HAMMANN GmbH ihre bestehende Versuchsanlage aus transparenten Rohren. Unter anderem wurden neue Armaturen, Sensoren und MSR-

Komponenten eingebaut. Eine mobile Messbox übermittle verschiedene Parameter kabellos und paketweise von der Auspeisestelle zur COMPRESX-Einheit an der Einspeisestelle. Diese Daten sind Voraussetzung, um die Rohrleitungshydraulik bewerten und die Reinigung optimal steuern zu können.

Während im Trinkwassernetz nur einmalige Untersuchungen eines Reinigungsabschnitts möglich sind, erlaubt die Versuchsanlage wiederholte Untersuchungen unter reproduzierbaren Bedingungen. Dazu dienen Modellablagerungen mit definierter Adhäsion, Kohäsion, Dicke und Geometrie. Als Modellablagerungen wurden verschiedene Systeme verglichen. Besonders geeignet sind Stahlpartikel definierter Größe, die von außen durch Magnete mit bestimmten Haftkräften gehalten werden.

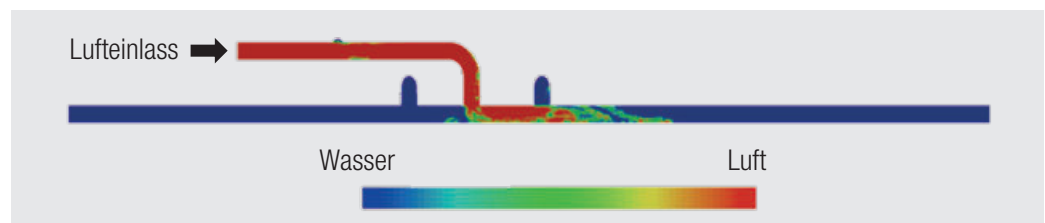
Abbildung 4 zeigt ein transparentes Kunststoffrohr mit Modellablagerungen aus Stahlpartikeln im Vergleich zu einer aus dem Trinkwassernetz entnommenen Gussrohrleitung. Die ablagerungsbedingte Querschnittsverengung lässt sich annähernd reproduzierbar durch die Stahlpartikel nachbilden.

Abb. 6: Benötigte Energie am Beispiel einer Rohrleitungsprobe vor und nach der Reinigung



Quelle: RWTH mbH

Abb. 7: Phasenverteilung beim Einströmen eines Luftimpulses (Querschnittsdarstellung)



Quelle: Universität Duisburg-Essen

Abbildung 5 zeigt den Teilausschnitt eines 1,2 Meter langen transparenten Rohrstücks mit Modellablagerungen in der Versuchsanlage. Die Stahlpartikel werden durch Neodym-Magnete mit einer Haftkraft von jeweils 36 Kilogramm gehalten. Trotz der geringen Länge des Reinigungsabschnitts mit reduziertem Querschnitt kann mit den eingebauten Drucksensoren ein entsprechender Druckverlust gemessen werden. Die Reinigung verringert den Druckverlust und damit den Energiebedarf zur Überwindung des Druckverlustes im Reinigungsabschnitt.

Rohrleitungsproben aus dem Netz von RWW sollen den Bezug von den Modellversuchen zur Praxis herstellen. Ein Rohrleitungsstück aus der Praxis wurde zur Untersuchung in die Versuchsanlage eingebaut und gereinigt. In **Abbildung 6** ist die benötigte Energie zur Überwindung des Druckverlustes, bei einem Förderstrom von ca. 13,0 m³/h, vor und nach der Reinigung aufgetragen. Bedingt durch die Reinigungsleistung verringert sich die benötigte Energie zur Überwindung des ausgebauten Rohrleitungsabschnittes bei einer Fließgeschwindigkeit von 0,5 m/s um ca. 5,18 kWh/(a·m).

Weitere Reinigungsversuche mit Rohrleitungsproben aus dem Versorgungsnetz der RWW sollen zusätzliche Erkenntnisse zu Ablagerungen in Rohrleitungen liefern. Dabei können verschiedene Rohrwerkstoffe und Nennweitenbereiche untersucht werden.

Numerische Simulation der Reinigungsvorgänge (Luft/Wasser-Phase)

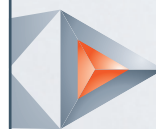
Der Einsatz numerischer Simulationssoftware ermöglicht eine hochauflösende Darstellung der Reinigungsprozesse innerhalb einer Rohrleitung. Das bietet einerseits im Hinblick auf die hochdynamischen Reinigungsvorgänge den Vorteil, relevante Kenngrößen der Strömung orts- und zeitunabhängig analysieren zu können. Darüber hinaus lassen sich, ergänzend zu den Experimenten an der Versuchsanlage, weitreichende

Parameterstudien hinsichtlich der Reinigungseffizienz durchführen. Durch die Überführung einiger Parameter der Simulation in ein praxisrelevantes Modell besteht zudem die Möglichkeit, in Echtzeit beim Reinigungsprozess Daten zu ermitteln, auszuwerten und in entsprechende technische Maßnahmen umzuwandeln.

Mithilfe eines für kompressible Medien ausgelegten Mehrphasenmodells wird die Einspeisung der Luftimpulse in eine Rohrleitung simuliert. Ein optimales Ablösen der Ablagerungen erfordert möglichst hohe Wandschubspannungen. Dies lässt sich durch die Maximierung der Strömungsgeschwindigkeiten der Wasserblöcke in der Nähe der Rohrwand erreichen. **Abbildung 7** zeigt beispielhaft den Verlauf der Phasengrenzen von Luft und Wasser während des Einströmvorgangs.

Im Rahmen der computergestützten Berechnungen kann zudem der Einfluss von Armaturen wie Absperrklappen und Schiebern im Reinigungsabschnitt charakterisiert werden. Gerade nicht vollständig geöffnete Armaturen verändern die Mehrphasenströmung maßgeblich und führen neben Druckverlusten zu Toträumen und Gebieten mit erhöhten Wandschubspannungen. Die Auswirkungen einer 30 Grad geschlossenen Absperrklappe auf die Schubspannungsverteilung sind in **Abbildung 8** ersichtlich. Auch deuten die auf diese Weise ermittelten Druckverluste von Einbauten in einigen Fällen auf eine Kavitationsgefahr hin, welche durch ein entsprechendes Experiment an der Versuchsanlage bereits belegt werden konnten.

Im Anschluss werden die in der numerischen Simulation gewonnenen Kenntnisse in die entwickelte Messbox zur optimierten Steuerung des COMPREX-Verfahren einfließen. Diese ist im weiteren Verlauf unter Laborbedingungen, an der Versuchsanlage sowie unter realen Bedingungen bei Reinigungsmaßnahmen in der Praxis zu testen.



fact

Gleichzeitige Messung von Durchfluss, Druck und Temperatur

WATERFLUX 3070 – technology driven by KROHNE

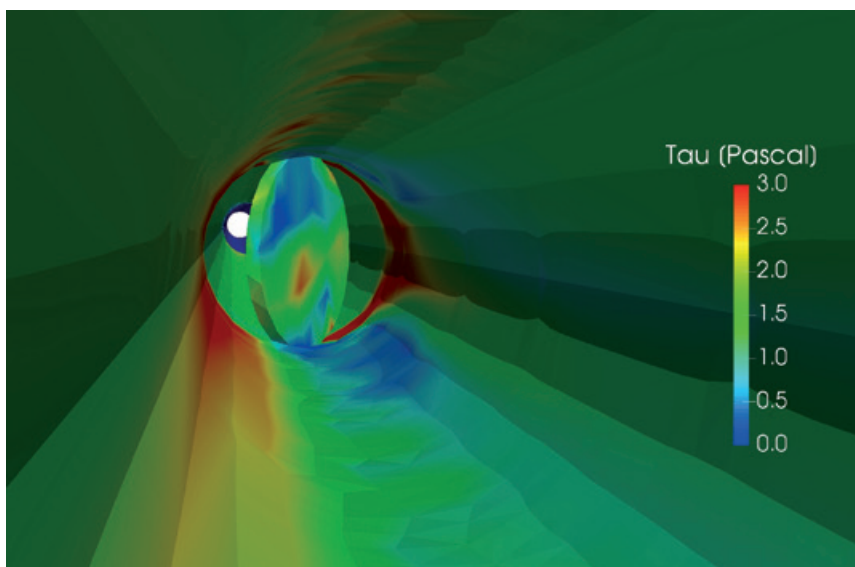
- Magnetisch-induktiver Wasserzähler mit integriertem Druck- und Temperatursensor
- Alle Messwerte direkt über Modbus RTU auslesbar
- Geeignet z. B. für Zoneneinteilung (Distriktmessungen), Leckageerkennung
- Batteriebetrieb oder Netzbetrieb mit Batterie-Backup

KROHNE

▶ measure the facts

Besuchen Sie KROHNE auf der gat/wat 2016, Essen, 8.–10.11., Halle 3, Stand E 5.6

Mehr facts über WATERFLUX 3070: www.krohne.de/waterflux3070



Quelle: Universität Duisburg-Essen

Abb. 8: Durch Simulation ermittelte Wandschubspannungsverteilung in einer Rohrleitung mit eingebauter und um 30 Grad gegen die Strömung gedrehter Absperrklappe (Blickrichtung entgegen der Strömungsrichtung)

Zusammenfassung

Für die Quantifizierung des Reinigungsergebnisses aus energetischer Sicht ist es unumgänglich, einzelnen Rohrleitungen einen spezifischen Energiebedarf zuzuordnen. Es zeigt sich, dass die Reduzierung des Druckverlustes in einzelnen Rohrleitungsabschnitten direkte und indirekte energetische Auswirkungen haben kann. Als direkte energetische Auswirkung ist die Reduzierung des Energiebedarfs der gereinigten Rohrleitung zu sehen. Als indirekte Auswirkung der Reinigung ergibt sich bei gleichbleibender Pumpenleistung ein höherer statischer Druck im Versorgungsgebiet.

Durch das neu entwickelte Berechnungstool besteht die Möglichkeit, die zu reinigende Rohrleitung über einen hydraulischen Wirkungsgrad zu beschreiben. Darauf aufbauend ergibt sich für die Rohrleitung ein spezifischer Energiebedarf. Mithilfe der im Projektverlauf gewonnenen Erkenntnisse lassen sich die Effekte der Reinigung prognostizieren.

Die Optimierung der COMPREX-Steuerung erfolgt unter anderem mithilfe einer numerischen Simulation. Durch diese besteht die Möglichkeit, den Reinigungsprozess hochaufgelöst

darzustellen. Dadurch können Unterschiede der Reinigungsintensität, welche hauptsächlich über die erzeugte Wandschubspannung bestimmt wird, bei unterschiedlichen Luft/Wasser-Verhältnissen identifiziert werden. Die bei der numerischen Simulation gewonnen Erkenntnisse zur Reinigungsintensität fließen in die Entwicklung der Steuerung ein. Dadurch soll die Möglichkeit geschaffen werden, während der Reinigung den Reinigungserfolg zu ermitteln und darauf aufbauend die Reinigungsintensität zielführend anzupassen. Daraus resultiert ein dynamischer Reinigungsprozess. ■

Literatur

- [1] TrinkwV 2001: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.
- [2] DVGW-Arbeitsblatt W 291 (2000): Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn.
- [3] DVGW-Wasser-Information Nr. 77 (2010): Handbuch Energieeffizienz/Energieeinsparung in der Wasserversorgung. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn.
- [4] DVGW-Merkblatt W 614 (2001): Instandhaltung von Förderanlagen. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn.
- [5] BDEW (2015): Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. Berlin.

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Die Autoren

Dr. Norbert Klein ist bei der HAMMANN GmbH verantwortlich für die Bereiche Innovation, Beratung sowie Forschung und ist Projektkoordinator des Vorhabens REINER.

Dipl.-Ing. Sebastian Immel beschäftigt sich bei der HAMMANN GmbH als Forschungs- und Entwicklungsingenieur mit der technologischen Verfahrensentwicklung und Umsetzung der Forschungsergebnisse in der Praxis.

Prof. Dr. Wojciech Kowalczyk forscht am Lehrstuhl für Mechanik und Robotik der UDE auf dem Gebiet der Mehrphasensysteme und der numerischen Strömungsmechanik.

Stefan Westermaier M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Mechanik und Robotik der UDE und beschäftigt sich mit der Simulation von Mehrphasenströmungen und den dafür relevanten numerischen Methoden.

Dr.-Ing. Michael Plath arbeitet bei der RWW mbH in der Produktion und beschäftigt sich neben der Anlagenoptimierung mit Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Energieeffizienz.

Dennis Kaschulla ist bei der RWW mbH als Teamleiter im Bereich der Netzunterhaltung tätig und u. a. verantwortlich für die Rohrnetzspülungen.

Stefan Fischer M.Sc. bearbeitet bei der RWW mbH die Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Energieeffizienz.

Kontakt:
HAMMANN GmbH
Zweibrücker Str. 13
76855 Annweiler am Trifels
Tel.: 06346 3004-0
E-Mail: info@hammann-gmbh.de
Internet: comprex.de/reiner