

Forschungsvorhaben REINER zur Energieeffizienz in der Trinkwasserverteilung

– vorhandene Einsparpotenziale erkennen und durch Reinigung nutzen

Die Energieeffizienz spielte in den letzten Jahren auch im Trinkwasserbereich eine immer bedeutendere Rolle. Zunächst stand die Wassergewinnung im Fokus, hier setzen sich Brunnenpumpen während der Betriebszeit zu und müssen zur Reinigung und Überarbeitung ausgetauscht werden. Auch Rohwasserleitungen benötigen (je nach Betriebsbedingungen) z. B. infolge von Verockerung Reinigungsmaßnahmen, denn **Ablagerungen verringern den Querschnitt** und erhöhen gleichzeitig die Rauheit ihrer Innenflächen, sodass der Druckverlust ansteigt und Pumpen zum Fördern des Wassers mehr Energie brauchen. Aber wie sieht es im Trinkwassernetz aus? Bestehen dort ebenfalls **Potenziale, um Energie einzusparen**? Ein abgeschlossenes Forschungsvorhaben klärt vor diesem Hintergrund ab, wie groß das Energie-Einsparpotenzial durch die Reinigung von Rohrleitungen in Trinkwassernetzen ist.

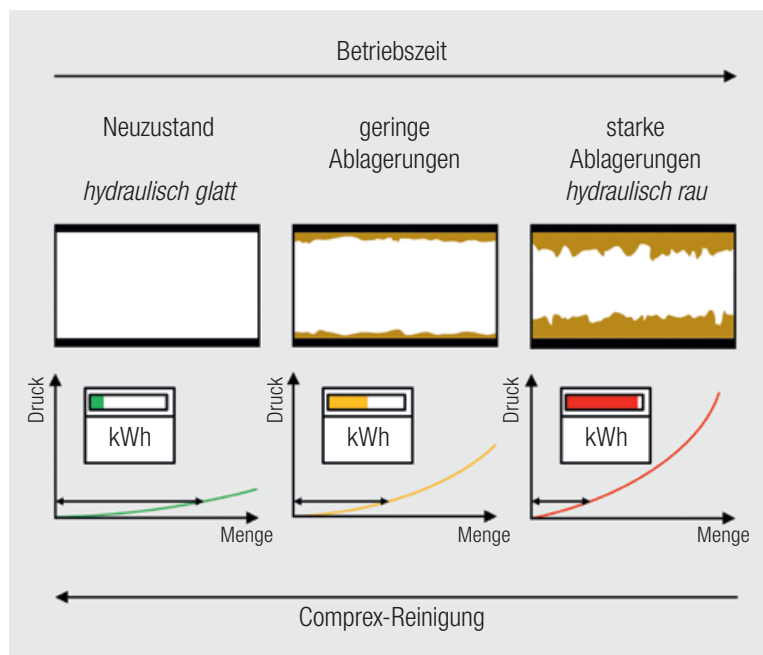
von: Dr. Norbert Klein, Sebastian Immel (beide: Hammann GmbH), Prof. Dr.-Ing. Wojciech Kowalczyk, Stefan Westermaier (beide: Universität Duisburg-Essen), Dr.-Ing. Michael Plath (RWW Rheinische-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH) & Stefan Fischer (Netzgesellschaft Düsseldorf mbH)

Abb. 1: Einfluss von Ablagerungen auf die Rohrleitungshydraulik und den Energiebedarf

Die Pumpen, die das Trinkwasser zu den Verbrauchern befördern, benötigen elektrische Energie. Diese beträgt in Deutschland etwa ein halbes Prozent des gesamten Primärenergiebedarfs und ergibt sich in erster Linie durch die zu liefernde Wassermenge, die zu überwinden-

de geodätische Höhe und den beim Verbraucher benötigten Wasserdruck. Weiterhin hat der hydraulische Widerstand der Rohrleitungen einen entscheidenden Einfluss.

Im April 2017 ist das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Vorhaben „Steigerung der Energieeffizienz in Wassernetzen durch neue Beurteilungstools und optimierte Reinigung“ (REINER) beendet worden. Das Forschungsprojekt wurde im Rahmen der Fördermaßnahme „KMU-innovativ: Ressourcen und Energieeffizienz“ im Technologie- und Anwendungsbereich „Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM)“ durchgeführt [1] und beschäftigte sich u. a. mit der Verbesserung der Hydraulik in bestehenden Wassernetzen mittels Complex-Reinigung. Neu entwickelte Beurteilungstools erlauben es, vorhandene Energieeinsparpotenziale zu bewerten. Neue Messverfahren und Prototypen zeigen den Zustand der Rohrleitung vor und nach erfolgter Reinigung auf; der Nachweis für die Energieeinsparung konnte in Praxismessungen erbracht werden.



Quelle: Hammann GmbH

Rohrleitungshydraulik und Energiebedarf

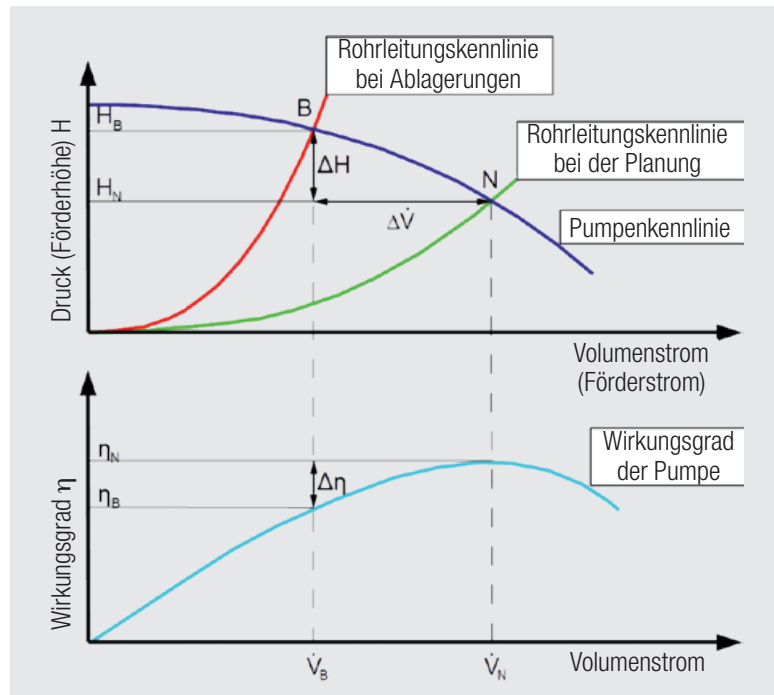
Die Beurteilungstools basieren auf Rohrleitungskennlinien. **Abbildung 1** zeigt schematisch, wie sich der Druck in Abhängigkeit vom Volumenstrom des Wassers (Menge) auf die Rohrleitungskennlinie und damit auf den Energiebedarf der Pumpen auswirkt. Der in Ampelfarben symbolisierte Stromzähler stellt den zum Pumpen des Wassers benötigten Bedarf an elektrischer Energie dar. Während der Betriebszeit lagern sich Stoffe in den Rohrleitungen ab, diese machen die Rohroberfläche rauer und verengen den Rohrleitungsquerschnitt; ein Anstieg des hydraulischen Widerstands ist die Folge. Entsprechend ändert sich auch die Rohrleitungskennlinie: **Abbildung 2** verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Rohrleitungskennlinie, Pumpenkennlinie sowie dem Wirkungsgrad der Pumpe.

Auswirkung der Comprex-Reinigung auf die benötigte Pumpenleistung (P_R)

Die Comprex-Reinigung entfernt Ablagerungen, wodurch sich die Rohrleitungskennlinie ändert (**Abb. 1**). Der hydraulische Widerstand sinkt wieder. Daraus resultiert nach Reinigung ein geringerer Druckverlust (h_v) zwischen Pumpe und Verbraucher als vor der Reinigung. Bei gleicher Pumpenleistung steht in der Folge beim Kunden ein höherer Versorgungsdruck an. Die Druckreserven sorgen u. a. dafür, dass bei hoher Abnahme, wie beispielsweise im Brandfall, genügend Wasser zur Verfügung steht (Netzsicherheit). Genügt der Wasserdruck bereits bei Rohrleitungen mit verengtem Querschnitt, so ermöglicht die Reinigung, die Pumpenleistung zurückzufahren und damit Energie zu sparen.

Reinigung als Maßnahme zur Energieeinsparung

Eine Reinigung soll einerseits effektiv, andererseits kostengünstig und einfach durchführbar



Quelle: Hammann GmbH

Abb. 2: Rohrleitungs- und Pumpenkennlinien sowie Wirkungsgrad der Pumpe

sein. Die Comprex-Reinigung erfüllt diese Kriterien: Dazu ist es lediglich notwendig, Reinigungsabschnitte zwischen zwei Absperrarmaturen bei reduziertem Wasserdruck mittels gesteuerten Druckluftimpulsen zu beaufschlagen (**Abb. 3**). Kompakte Wasserblöcke lassen sich dadurch auf Geschwindigkeiten von mehr als 15 m/s beschleunigen. Dies bewirkt ein Mobilisieren und anschließendes Austragen von Ablagerungen. Gegenüber der konventionellen Wasserspülung ist sie wirksamer, da die zum Mobilisieren der Ablagerungen erforderliche Schleppspannung um mehr als den Faktor 100 größer ist und für den Reinigungsprozess gleichzeitig nur etwa 10 Prozent der Wassermenge in den Reinigungsabschnitt fließt. Wie viel mobilisierbar ist, hängt von der Art der Rohrleitung und der Ablagerungen ab: So unterscheiden sich Rohrleitungen nach dem heutigen Stand, beispielsweise Kunststoffleitungen, Stahl- oder Gussleitungen mit Zementmörtel-Auskleidung und alte Gussleitungen mit Auskleidungen aus bituminösen Stoffen. Diese enthalten häufig sehr har-

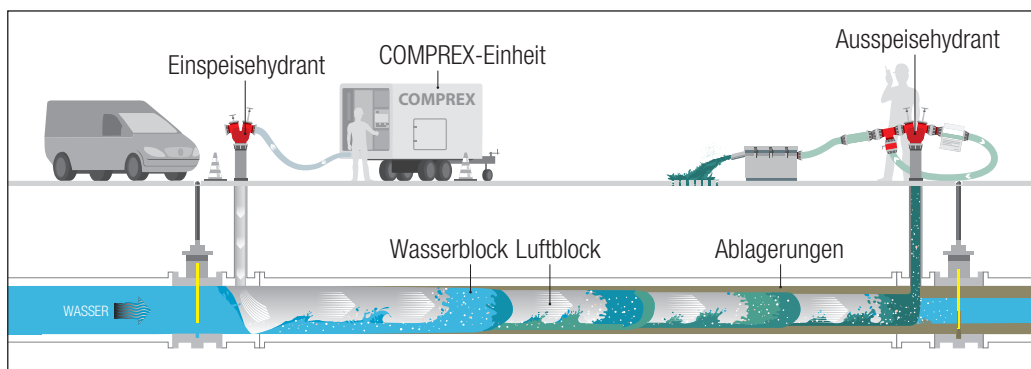


Abb. 3: Schema der Comprex-Reinigung im Trinkwassernetz

Quelle: Hammann GmbH

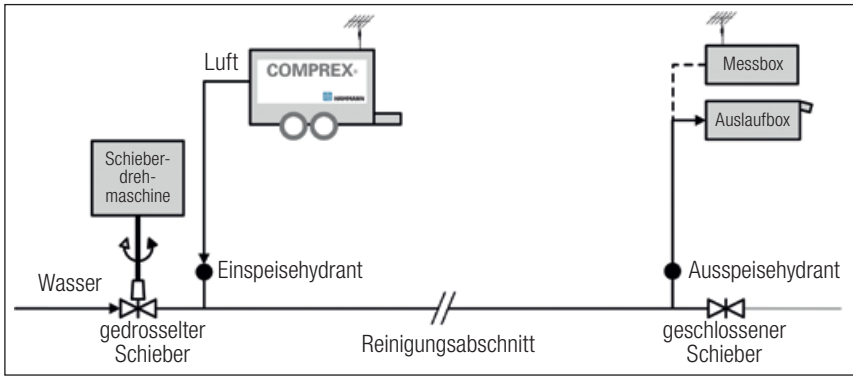


Abb. 4: Schematische Darstellung der Complex-Reinigung in Kombination mit Schieberdrehmaschine und Messbox

te Korrosionsprodukte, die sich mit dem Complex-Verfahren nicht vollständig ablösen lassen. Deshalb ist bei den erstgenannten Rohrleitungen die Energieeinsparung größer als bei den alten Gussleitungen. Die Rechentools zur Bewertung der Energieeinsparung berücksichtigen unterschiedliche Werkstoffe.

Berechnungstools und numerische Simulationen

Das Forschungsprojekt REINER hatte die Zielsetzung, Berechnungstools zu entwickeln und den Messablauf zum Ermitteln der hydraulischen Kennlini-

en von Reinigungsabschnitten vor und nach der Reinigung zu optimieren.

Datenermittlung

In der Praxis liegen Ein- und Ausspeisehydrant häufig einige hundert Meter voneinander entfernt. In bebauten Gebieten ist die zeitnahe Datenübertragung nur kabellos möglich. Dies war der Grund, eine Messbox zum zeitnahen Übertragen der Daten von der Ausspeisestelle zur Complex-Einheit und ggf. auch zurück zu entwickeln (Abb. 4). Es stellte sich als Vorteil heraus, dass zum Erstellen der Rohrleitungskennlinie der

Volumenstrom vor der Auslaufbox einzustellen ist. Andernfalls entsteht ein volumenstromabhängiger Druckverlust, welcher die Druckverhältnisse im gesamten nachgeschalteten System beeinflusst. Weiterhin ergibt sich bei geschlossener Armatur am Ende des Abschnitts vor der Auslaufbox der geodätische Höhenunterschied unmittelbar anhand des Druckunterschieds zwischen Aus- und Einspeisehydrant.

Berechnungstools

Zunächst musste für die energetische Bewertung der Rohrleitungsabschnitte die benötigte Förderenergie ermittelt werden, die für die Förderung von Wasser durch diesen Abschnitt benötigt wird. Dies mündete schlussendlich in der Zuweisung von Energie zu einzelnen Rohrabschnitten. Auf Basis dieser Überlegungen konnte mit der Entwicklung des Beurteilungstools begonnen werden. Dieses wurde zunächst in einer ersten groben Fassung getestet und dann schrittweise weiterentwickelt. Hierfür wurden die Ergebnisse der Untersuchungen an der Versuchsanlage der Hammann GmbH und die Messdaten

| allgemeine Rohrparameter | | | | | |
|--------------------------|-----------|----------|----------------------------|-----------------------------------|-----------|
| L | 1,2 [m] | Medium | Trinkwasser [-] | mittlerer Förderstrom der Leitung | 10 [m³/h] |
| DN | 80 [mm] | Material | 5) isoliertes Gussrohr [-] | | |
| Δh geod. | 0,000 [m] | | | | |

| Pumpenparameter | | | |
|------------------------------|---------|-------------------|--------|
| mittlerer Pumpenwirkungsgrad | 0,6 [-] | mittlere Leistung | [kW] |
| | | Förderhöhe | [m] |
| | | Förderstrom | [m³/h] |

Abb. 5: Dateneingabe der allgemeinen Parameter für die vereinfachte Rohrleitungsanalyse; grau hinterlegte Felder sind auszufüllen, weiß hinterlegte Felder sind Berechnungen/Vorgaben

| Dateneingabe vor der Reinigung | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| 1. Druckmessung vor der Reinigung | | 2. Druckmessung vor der Reinigung | | 3. Druckmessung vor der Reinigung | | 4. Druckmessung vor der Reinigung | | 5. Druckmessung vor der Reinigung | | 6. Druckmessung vor der Reinigung | |
| v_0 | 0,0 [m/s] | v_1 | 0,7 [m/s] | v_2 | 1,2 [m/s] | v_3 | 1,7 [m/s] | v_4 | 2,2 [m/s] | v_5 | 2,6 [m/s] |
| Q_0 | 0,0 [m³/h] | Q_1 | 12,5 [m³/h] | Q_2 | 21,0 [m³/h] | Q_3 | 30,2 [m³/h] | Q_4 | 39,6 [m³/h] | Q_5 | 47,6 [m³/h] |
| Druck an Einspeisestelle | 37,31 [m] | Druck an Einspeisestelle | 33,02 [m] | Druck an Einspeisestelle | 30,83 [m] | Druck an Einspeisestelle | 26,72 [m] | Druck an Einspeisestelle | 21,1 [m] | Druck an Einspeisestelle | 14,82 [m] |
| Druck an Ausspeisestelle | 37,31 [m] | Druck an Ausspeisestelle | 32,73 [m] | Druck an Ausspeisestelle | 30 [m] | Druck an Ausspeisestelle | 25,01 [m] | Druck an Ausspeisestelle | 18,16 [m] | Druck an Ausspeisestelle | 10,54 [m] |

| Dateneingabe nach der Reinigung | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------|------------------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|
| 1. Druckmessung nach der Reinigung | | 2. Druckmessung nach der Reinigung | | 3. Druckmessung nach der Reinigung | | 4. Druckmessung nach der Reinigung | | 5. Druckmessung nach der Reinigung | | 6. Druckmessung nach der Reinigung | |
| v_6 | 0,0 [m/s] | v_7 | 0,7 [m/s] | v_8 | 1,2 [m/s] | v_9 | 1,7 [m/s] | v_{10} | 2,2 [m/s] | v_{11} | 2,7 [m/s] |
| Q_6 | 0,0 [m³/h] | Q_7 | 12,2 [m³/h] | Q_8 | 21,5 [m³/h] | Q_9 | 30,6 [m³/h] | Q_{10} | 39,0 [m³/h] | Q_{11} | 49,0 [m³/h] |
| Druck an Einspeisestelle | 37,31 [m] | Druck an Einspeisestelle | 33,06 [m] | Druck an Einspeisestelle | 30,59 [m] | Druck an Einspeisestelle | 26,48 [m] | Druck an Einspeisestelle | 21,49 [m] | Druck an Einspeisestelle | 13,35 [m] |
| Druck an Ausspeisestelle | 37,31 [m] | Druck an Ausspeisestelle | 32,96 [m] | Druck an Ausspeisestelle | 30,27 [m] | Druck an Ausspeisestelle | 25,85 [m] | Druck an Ausspeisestelle | 20,46 [m] | Druck an Ausspeisestelle | 11,72 [m] |

Abb. 6: Dateneingabe der Druckmessung, jeweils vor und nach der Reinigung; grau hinterlegte Felder sind auszufüllen, weiß hinterlegte Felder sind Berechnungen/Vorgaben

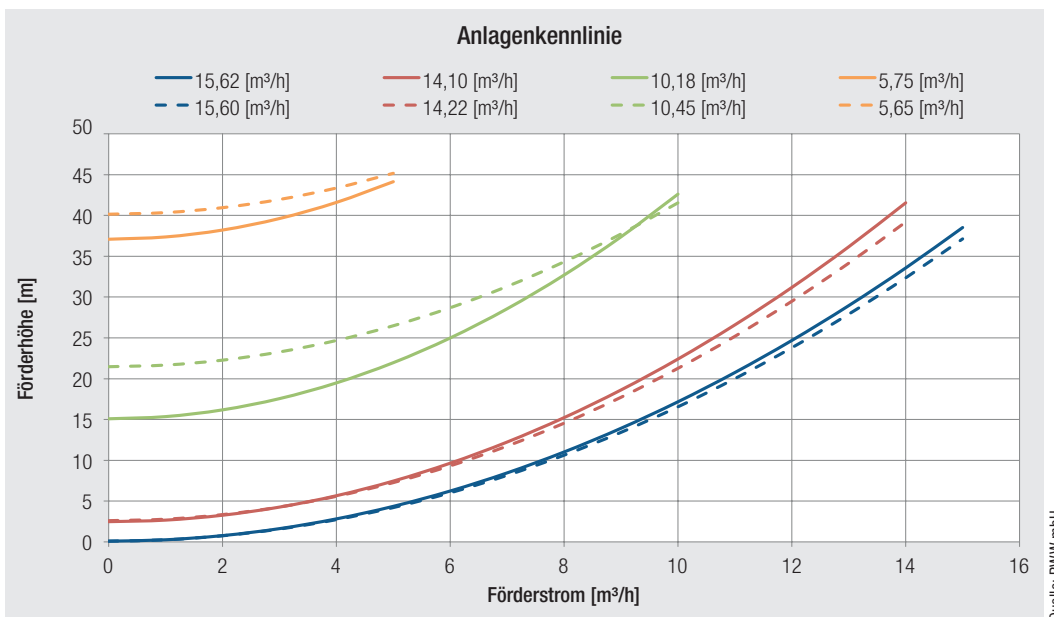


Abb. 7: Anlagenkennlinie bei verschiedenen Förderströmen vor (durchgezogene Linien) und nach (gestrichelte Linien) der Reinigung

Quelle: RWW mbH

der Reinigungsmaßnahmen an realen Rohrleitungsabschnitten herangezogen. Weiterhin wurde in das Tool u. a. auch ein Messablaufplan übernommen, sodass bei der Dateneingabe auf diese Informationen zugegriffen werden kann. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen den Inhalt des Tabellenblattes zur Dateneingabe; Abbildung 7 stellt exemplarisch die Ergebnisse dar, die vom Beurteilungstool ausgegeben werden.

Numerische Simulation

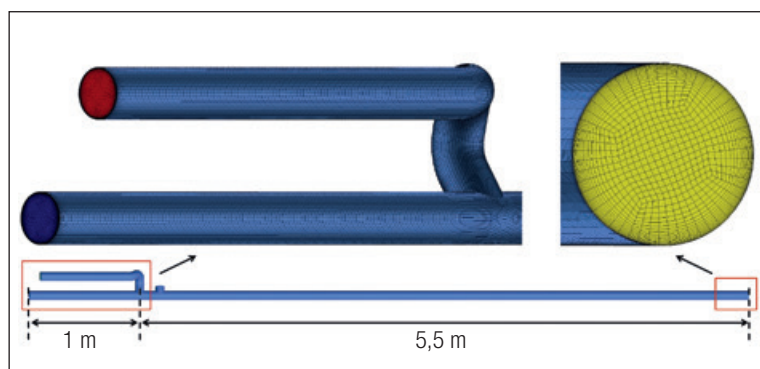
Um die hochdynamischen Vorgänge während eines Reinigungsimpulses zeit- und ortsunabhängig sichtbar zu machen, hat die Universität Duisburg-Essen am Lehrstuhl für Mechanik und Robotik ein numerisches Simulationsmodell für mehrphasige Strömungsanalysen entwickelt. Abbildung 8 zeigt die nachmodellierete Geometrie der existierenden Versuchsanlage der Hammann GmbH, um die gewonnenen Erkenntnisse in der Praxis zu validieren. Da das Reinigungsergebnis entscheidend von den auftretenden Schleppspannungen an der Rohrwand abhängt, kamen hochauflösende Diskretisierungen im wandnahen Bereich zur Anwendung. Eine blockstrukturierte Vernetzung und ausgiebige Testreihen zur erforderlichen Elementfeinheit stellten sowohl die Qualität der Resultate als auch die Umsetzbarkeit der computergestützten Analysen im Hinblick auf die verfügbaren Rechenressourcen auf mehreren High-Performance-Clustern [2] sicher.

Das für kompressible Medien gestaltete Rohrmodell ermöglichte es, das Verhalten der turbulenten Strömung unter dem Einfluss von

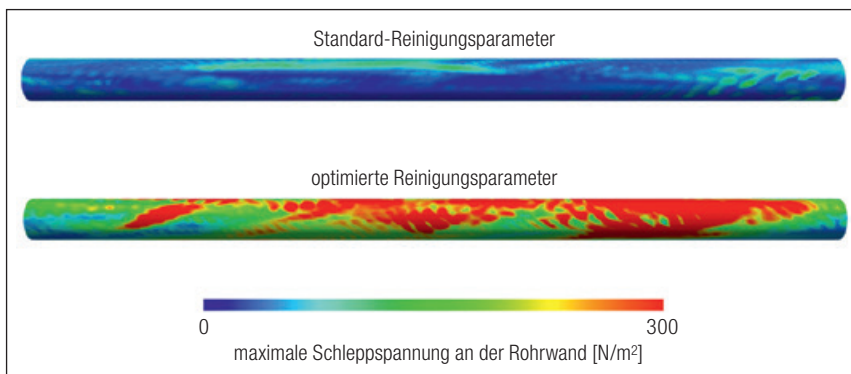
Einbauten (wie z. B. partiell geschlossene Schieber oder Absperrklappen) zu untersuchen. Weiterhin ließen sich Rückschlüsse hinsichtlich entstehender Toträume oder einer eventuellen Kavitationsgefährdung ziehen. Umfangreiche Parameterstudien erlaubten es, mögliche Optimierungspotenziale bei der Konfiguration des Reinigungsimpulses zu analysieren. Basierend auf den ursprünglichen Standardparametern des Comprex-Verfahrens ließ sich bei identischem Energieeinsatz mit optimierten Parametern der Reinigungserfolg erheblich steigern. Die Vergleiche der im Durchschnitt über alle relevanten Wandflächen aufgetretenen maximalen Schleppspannungen zeigen je nach Intensität des Druckluftimpulses eine Verbesserung von etwa 200 bis 500 Prozent (Abb. 9).

Die auf simulativem Wege entdeckten Optimierungspotenziale hinsichtlich der Comprex-Steuerung konnten auch an der Versuchsanlage nachgewiesen werden. Diese tragen somit in Zukunft sowohl zur Senkung des erforderlichen Energieeinsatzes bei der Reinigung als auch zur Steigerung der Reinigungsleistung bei.

Abb. 8: Geometrie und Vernetzung des Simulationsmodells



Quelle: Universität Duisburg-Essen



Quelle: Universität Duisburg-Essen

Abb. 9: Verbesserung des Reinigungserfolgs durch Optimierung der Betriebsparameter



Quelle: Hammann GmbH

Abb. 10: Reale Rohrleitungsprobe in der Versuchsanlage



Quelle: Hammann GmbH

Abb. 11: Druckmessung eines Rohrleitungsabschnitts mittels Messbox in der Praxis

Reinigung zur Verbesserung der Hydraulik: Versuchsanlage

Für Versuche zur Reinigung und Hydraulik wurde eine bestehende Versuchsanlage der Hammann GmbH im Rahmen des Vorhabens umgebaut und erweitert. Druck- und Durchflussmessungen sowie die integrierte Comprex-Steuerung erlauben nun, Fragestellungen aus der Praxis nachzustellen und zu untersuchen. Über einen integrierten Schieber und Hydranten war es möglich, die Messanordnung für hydraulische Messungen zunächst im Technikum zu erproben. Gleichzeitig konnten die Prototypen von Schieberdrehmaschine und Messbox einer umfangreichen Erprobungsphase unterzogen werden. Die Versuchsanlage ermöglichte, die Comprex-Reinigung weiter zu optimieren und Strömungsverhältnisse im Bereich von Armaturen zu untersuchen. Mithilfe des im BMBF-Forschungsvorhaben „Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen“ entwickelten Magnetmodells lassen sich Reinigungs- und Hydraulikversuche unter reproduzierbaren Bedingungen durchführen. Rohrproben aus dem Netz der RWW ermöglichten es darüber hinaus, die Reinigung mittels realer Ablagerungen zu optimieren und hydraulische Parameter vor und nach der Reinigung zu vergleichen (Abb. 10). Dies führte schließlich zur Feinanpassung der Berechnungstools.

Praxis

Neben Versuchen im Technikum lieferten praxisbegleitende Untersuchungen bei Reinigungsmaßnahmen neue Erkenntnisse. Messungen vor und nach der Reinigung dienten einerseits der Validierung und Anpassung der Berechnungstools und andererseits zur Optimierung der Comprex-Reinigung.

Abbildung 11 zeigt den praktischen Einsatz der im Projekt entwickelten Messbox zur Ermittlung der hydraulischen Kennlinien. Die dabei ermittelten Messwerte dienten als Datengrundlage für die Berechnungstools. In Abbildung 12 sind die bei einer Praxisuntersuchung gewonnenen Ergebnisse

Prototypen

Die neue Schieberdrehmaschine dient dazu, den Wasserzufluss während der Reinigung präzise zu steuern, um die Reinigung noch effizienter durchzuführen. Im Rahmen des Forschungsprojektes konnte allerdings nur ein Prototyp entwickelt werden. Dabei

zeigte sich, dass mehrstufige Sicherheitseinrichtungen sowohl für den Bediener als auch für die Armatur unabdingbar sind. Diese sind Hard- und Software-seitig eingebaut. Die Software verfügt darüber hinaus über die Möglichkeit, die Daten zu speichern und für die Dokumentation aufzubereiten.

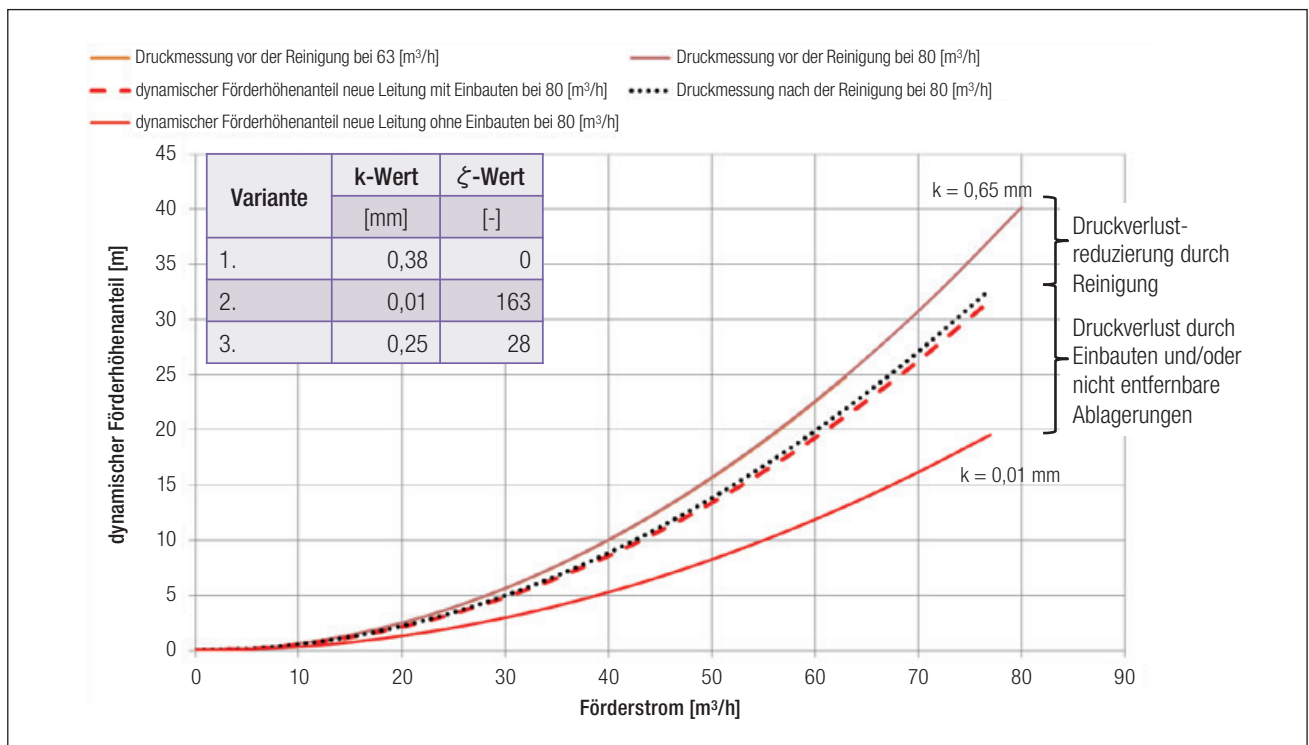


Abb. 12: Beispiel für die Anlagenkennlinie eines realen Rohrleitungsabschnitts vor und nach der Reinigung sowie im Vergleich zur theoretisch berechneten Kennlinie

grafisch dargestellt: Zu sehen sind die Rohrleitungs-kennlinien vor und nach der Reinigung sowie die theoretisch berechneten Kennlinien. Dabei zeigen die Messungen nach der Reinigung gute Übereinstimmung mit dem prognostizierten Reinigungsergebnis.

Fazit

Das abgeschlossene BMBF-Forschungsvorhaben REINER hat gezeigt, dass der Zustand von Rohrleitungen im Trinkwassernetz einen Einfluss auf den Energiebedarf hat. Anhand der neu entwickelten Berechnungstools zur hydraulischen und energetischen Betrachtung von Rohrleitungsabschnitten ist es nun möglich, Energieeinsparpotenziale zu erkennen. Numerische Simulationen lieferten Optimierungsansätze für die Reinigung. Mit optimierter Complex-Reinigung lassen sich vorhandene Einsparpotenziale nutzen. Neu entwickelte Komponenten liefern in Kombination mit den Berechnungstools den Nachweis der hydraulischen und energetischen Verbesserung durch die Reinigung. ■

Literatur

- [1] Klein, N., Immel, S., Kowalczyk, W., Westermaier, S., Plath, M., Kerschulla, D., Fischer, S.: Reinigung 2.0: Energieeinsparung durch geringere Druckverluste in der Wasserverteilung, in: DVGW energie | wasser-praxis, Ausgabe: 11/2016, S. 42–48.
- [2] Die Rechenressourcen zur Durchführung der Simulationen wurden zur Verfügung gestellt von der Universität Duisburg-Essen - CCSS mangiTUDE (ZIM) - DFG INST 20876/209-1 20876/243-1 FUGG, Universität RWTH Aachen - Compute Cluster - Projekt <rwth0197>

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 ist Leiter der Produktion bei der RWW mbH und hat sich in der Vergangenheit mit Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Energieeffizienz beschäftigt.

Stefan Fischer M.Sc. bearbeitete bei der RWW mbH die Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Energieeffizienz und ist heute bei der Netzgesellschaft Düsseldorf mbH beschäftigt.

Kontakt:

Dr. Norbert Klein
 Hammann GmbH
 Zweibrücker Str. 13, 76855 Annweiler am Trifels
 Tel.: 06346 3004-42
 E-Mail: n.klein@hammann-gmbh.de
 Internet: www.hammann-gmbh.de