

# Wirksam reinigen und Wasser sparen durch optimiertes Impulsspülverfahren

Von Norbert Klein und Sebastian Immel

*Ressourcen schonen, Wasser sparen – hochaktuelle Themen. Aber was hat die Reinigung insbesondere bei industriellen Produktionsanlagen damit zu tun? Hier dazu eine Antwort und warum der wirksamen Reinigung eine besondere Bedeutung zukommt.*

## Produktionsanlagen komplex

In Produktionsanlagen für flüssige, wasserlösliche Produkte bilden sich während der Betriebszeit Ablagerungen und beeinträchtigen die Produktivität. Regelmäßige Reinigungen sind erforderlich, um die Anlagen wieder zu ertüchtigen und optimal zu fahren.

Produktionsanlagen für verschiedene Produkte erfordern bei jedem Produktwechsel eine sorgfältige Reinigung, nicht nur der Rohrleitungen, sondern der gesamten Anlage einschließlich der dazugehörigen Apparate. Am besten eignen sich Verfahren, die unabhängig von der Geometrie funktionieren. Dies ist mit der Complex-Technik möglich. Hoch beschleunigte Luft- und Wasserblöcke wirken auch in Bereichen, die für andere Verfahren nicht erreichbar sind, beispielsweise in Abzweigen, Armaturen oder Pumpen. Bei häufigen Produktwechseln und folglich auch Reinigungsmaßnahmen eignen sich stationäre prozessintegrierte Complex-Einheiten. Beispiele dafür sind beschrieben [1]. Eine Auswahl der Ergebnisse für verschiedene Kosmetikprodukte zeigt **Tabelle 1**. Die Complex-Reinigung ersetzt die bisher üblichen Wasserspülung und spart bis zu 98 % Wasser. Gleichzeitig erreicht Complex in vielen Fällen die Reinigungsleistung schon bei

Umgebungstemperatur im Gegensatz zur Wasserspülung, die bisher heißes Wasser von über 80 °C benötigt hat. Schließlich erfordert die Complex-Reinigung dazu bis zu 70 % weniger Zeit (**Bild 1**). Bei gleicher oder sogar verbesserter Wirksamkeit beispielsweise in Bereichen mit geringem Wasseraustausch in Apparaten, Armaturen oder T-Stücken ergibt sich ein enormes wirtschaftliches Potenzial:

- » Wasser sparen
- » Abwasser reduzieren
- » Energie-/Heizkosten sparen
- » Stillstandszeit reduzieren.

Dies ist ein wesentlicher Beitrag, die Ressource Wasser zu schonen, besonders in der trockenen Jahreszeit oder in Wassermangelgebieten. Die prozessintegrierte Complex-Technik ermöglicht die routinemäßige Reinigung. Automatisiert erlaubt die Softwaresteuerung angepasste Schritte, um die Reinigung möglichst effizient zu gestalten. Häufig lässt sich bei gleicher Wirksamkeit noch sparsamer mit dem eingesetzten Wasser umgehen. Dazu wird zunächst in einem Reinigungsschritt das Spülwasser im Kreislauf geführt. Den Abschluss bildet entweder ein Reinigungsschritt mit wenig konditioniertem Wasser oder das Trockenblasen der Anlage.



Schauglas einer Produktleitung mit Zahnpflegeprodukt im Verlauf der Complex-Reinigung

**Tabelle 1:** Beispiele für Wassereinsparung durch Complex gegenüber Wasserspülung bei Anlagen für verschiedene wasserlösliche Kosmetikprodukte

Produkt	Wassereinsparung min.	Wassereinsparung max.
Haarpflegeprodukt A	75 %	98 %
Haarpflegeprodukt B	76 %	96 %
Zahnpflegeprodukt	73 %	88 %

**Wirksamkeit des Complex-Verfahrens**

Hammann reinigt mittels Impulsspülverfahren seit über 25 Jahren Rohrleitungen für unser wertvolles Lebensmittel Trinkwasser. Neue Anwendungen erforderten Weiterentwicklungen der Technik. So bedingen lange Rohrleitungen wie Rohwasser- oder Abwasserdruckleitungen eine besonders hohe Wirksamkeit der Reinigung. Das Forschungsprojekt „Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen (ANTIOCKER)“ [2] half, das Impulsspülverfahren weiter zu optimieren. Patente schützen die verbesserte Technik. Andere Forschungsprojekte zeigten anhand von Berechnungen und Simulationen die Wirksamkeit auf.

**Berechnung der Schleppspannung**

Im Rahmen eines BMBF-Forschungsvorhabens berechnete das TZW Dresden die Schleppspannung für turbulente Strömungsbedingungen und publizierte die Zusammenhänge in der DVGW-Schriftenreihe, Band 27 (2004) Seite 32 ff. [3]. Danach gilt für die Schleppspannung  $\tau$ :

$$\tau = -\rho \cdot r_{hy} \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) \tag{Gleichung 1}$$

Die Gleichung 1 enthält in der Klammer zwei Summanden; der erste enthält eine Beschleunigungskomponente ( $\partial u / \partial t$ ) und der zweite mit dem hydraulischen Gradienten ( $\partial \varphi / \partial x$ ) die Fließgeschwindigkeit. Im Fall der Wasserspülung ist die Fließgeschwindigkeit immer gleich und damit die Beschleunigungskomponente gleich Null.



**Bild 1:** Video zum Vergleich zwischen Complex-Reinigung und Wasserspülung bei einem Haarpflegeprodukt  
Videolink: <https://complex.de/engineering/produktleitungen/>

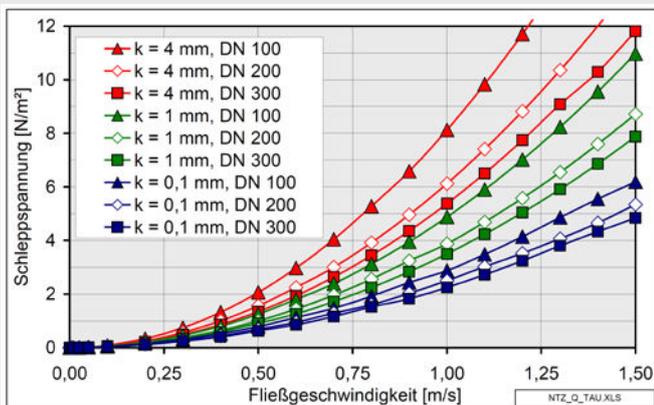
Es zählt nur der zweite Summand mit der Fließgeschwindigkeit ( $v$ ). Weiterhin sind in diesem Summanden die Nennweite der Rohrleitung ( $d$ ) und die Wandrauheit über den Rauheitsbeiwert ( $\lambda$ ) integriert.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \tag{Gleichung 2}$$

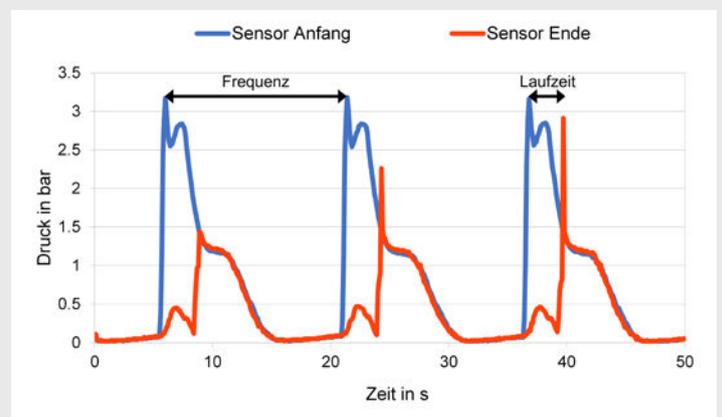
Die Zusammenhänge sind vor allem wegen der Wandrauheit und der dadurch bedingten Randströmung komplex. Dennoch ermöglicht die Gleichung 1 bei gleichbleibender Nennweite und Wandrauheit einen Vergleich.

In Rohrleitungen mit Nennweiten, wie sie in der Wasserverteilung üblich sind, lassen sich Schlepp- oder Schubspannungen in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit grafisch darstellen. **Bild 2** zeigt die entsprechende Abb. 2-4 aus [3].

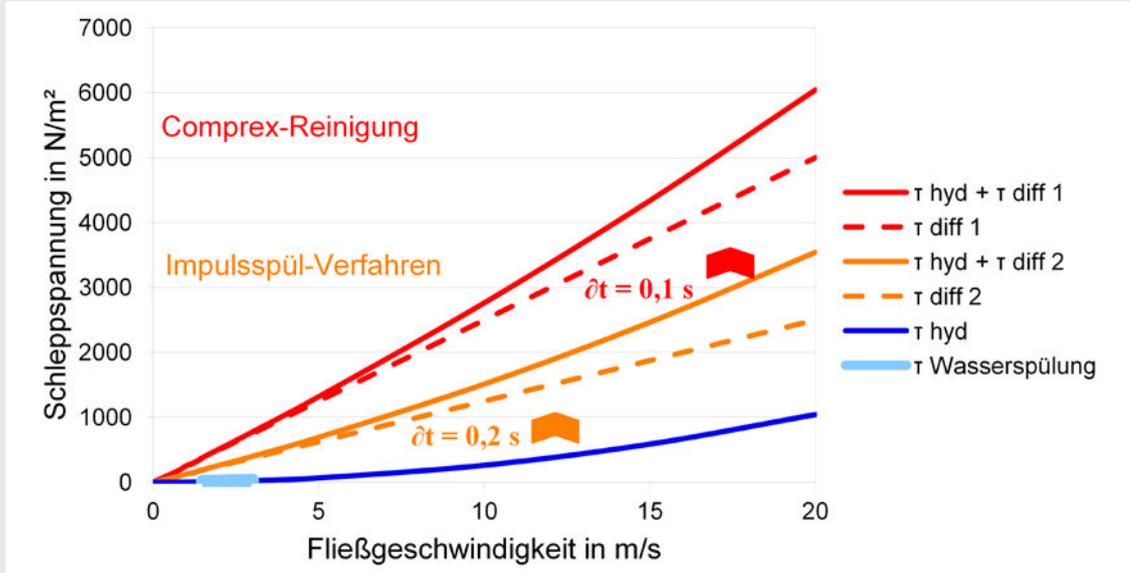
Bei der Wassersaugspülung mit veränderbaren Fließgeschwindigkeiten gewinnt die Beschleunigungskomponente an Bedeutung. Schon geringe kurzzeitige Veränderungen



**Bild 2:** Schleppspannung als Funktion der Fließgeschwindigkeit (Abb. 2-4 aus [3])



**Bild 3:** Zeitliche Druckverläufe am Beginn und am Ende der Spülstrecke zum Ermitteln von Beschleunigung und Fließgeschwindigkeit der Luft- und Wasserblöcke in einem definierten Spülabschnitt [2]



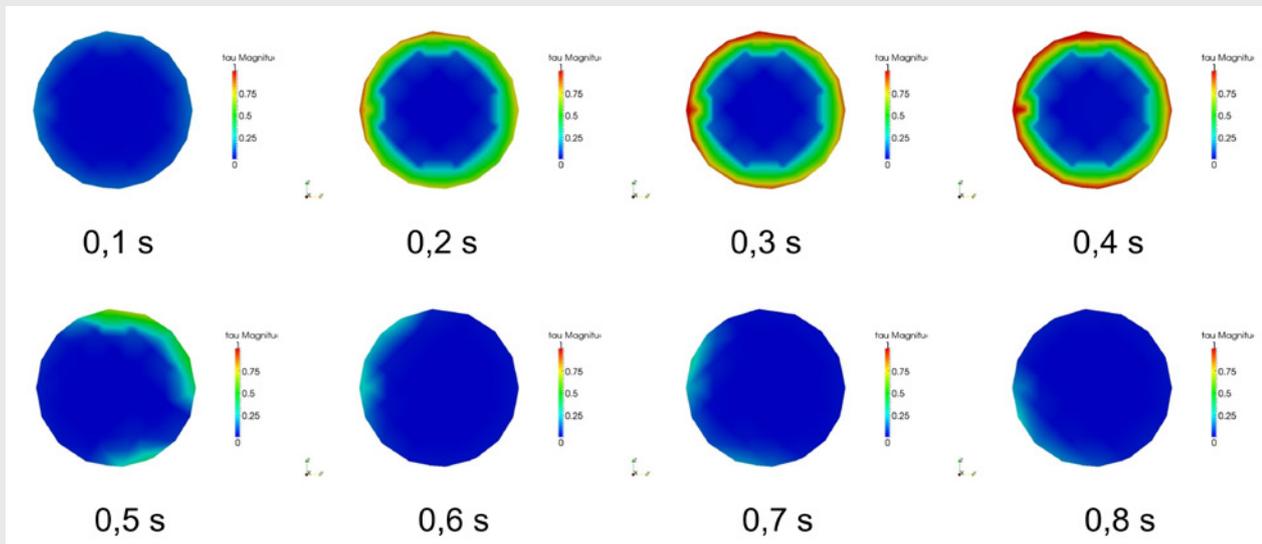
**Bild 4:** Schleppspannung als Funktion der Fließgeschwindigkeit aus Bild 1 für DN 100 und  $k = 0,1$ , extrapoliert bis 20 m/s sowie mit zwei Beschleunigungskomponenten,  $\partial t = 0,1$  s und  $\partial t = 0,2$  s

können die Schleppspannung deutlich erhöhen. Allerdings setzt die Trägheit der Wassersäule in der Rohrleitung enge Grenzen für diese Art der Spülung.

Das im Regelwerk erwähnte Spülen mit einem Luft-Wasser-Gemisch sorgt für mehr Turbulenz in der Rohrleitung. Dadurch erhöht sich die Wirksamkeit dieser Spülung gegenüber der Wasserspülung. Bei der Druckluft-Wasser-Spülung wird Druckluft impulsartig in den fließenden Wasserstrom eingebracht. Dadurch entstehen Luft- und Wasserblöcke im Spülabschnitt. Aufgrund der Tatsache, dass Gase komprimierbar sind, lässt sich der Effekt mit einem Modell aus Stab und Feder erklären.

Die Wasserblöcke ändern bei Durchfließen der Rohrleitung ständig ihre Fließgeschwindigkeit. Dieser Effekt ist noch wirksamer, wenn am Beginn der Spülstrecke das einfließende Wasser über eine Armatur gedrosselt wird. Dieses Verfahren bekam die Bezeichnung Impulsspülverfahren.

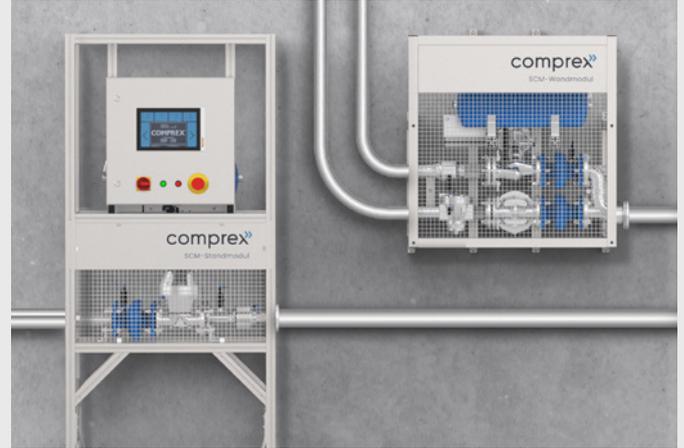
Bezüglich der Schleppspannung  $\tau$  nach Gleichung 1 gewinnt die Beschleunigungskomponente  $(\partial u / \partial t)$  beim impulsartigen Zugeben von Druckluft an Bedeutung. Problematisch ist nur, dass die üblichen Durchflussmessgeräte wie MID bei Gegenwart der beiden Phasen (Luft und Wasser) keine zuverlässigen Werte liefern. Hier hilft der Druckverlauf am Beginn



**Bild 5:** CFD-Simulationen der Situation bei Beginn der Comprex-Reinigung im Technikum Landau [5]: die Kräfte wirken während des Impulses an der Rohrwand (grüne und rote Farbe)



**Bild 6:** Mobile Complex Unit MCU-300 und ConnectBox



**Bild 7:** Stationäre Complex Unit SCU

und synchron am Ende der Spülstrecke weiter. Beim Impulspülverfahren steigt der Druck innerhalb einer Zehntelsekunde auf den Maximalwert an. Die Differenz der Druckspitzen am Beginn und am Ende der Spülstrecke ergibt die mittlere Laufzeit der Luft- und Wasserblöcke und damit die Fließgeschwindigkeit (**Bild 3**).

Das in **Bild 3** dargestellte Beispiel ergibt aus Laufzeit und Länge des Spülabschnitts eine Fließgeschwindigkeit von 17 m/s. Der Druckverlauf am Beginn des Spülabschnitts zeigt, dass der Maximaldruck von weniger als einer Zehntelsekunde erreicht ist. Damit lässt sich die Beschleunigungskomponente ( $\partial u/\partial t$ ) ermitteln. Bei der Annahme  $\partial t = 0,1$  s ergibt sich ein Wert von  $170 \text{ m/s}^2$ :

$$\partial u/\partial t = 17 \text{ [m/s]} / 0,1 \text{ [s]} = 170 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Daraus errechnet sich durch Multiplikation mit  $\rho \cdot r_{hy}$  der Anteil für die Schleppspannung. Hier ist zu bemerken, dass für zylindrisch vollgefüllte Rohre gilt:  $r_{hy} = D/4$  [4]. Für Rohrleitungen mit Innendurchmesser von 0,1 m ergibt sich daraus ein Anteil für die Schleppspannung von  $4250 \text{ N/m}^2$ . **Bild 4** zeigt zwei Beispiele mit zwei unterschiedlichen Beschleunigungskomponenten. Dabei bedeutet:

$$\tau_{diff} = -\rho \cdot r_{hy} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \quad (\text{Beschleunigungskomponente})$$

$$\tau_{hyd} = -\rho \cdot r_{hy} \cdot g \frac{\partial \varphi}{\partial x} \quad (\text{für Glattrohr DN 100 und } k = 0,1 \text{ aus } \mathbf{Bild 1})$$

Aus **Bild 4** ist ersichtlich, dass die Beschleunigungskomponente bei großer Beschleunigung einen wesentlichen Einfluss auf die Schleppspannung hat. Beim Impulspülverfahren fließt Wasser über die gedrosselte Armatur zu Beginn der Spülstrecke langsam ein. Der erste Druckluftimpuls verleiht der Wassersäule zunächst eine mäßige Beschleunigung. Die Spülstrecke bleibt teilgefüllt. Die nächsten Druckluftimpulse bilden anschließend Wasser- und Luftblöcke. Kurze Wasser-

säulen der Wasserblöcke und komprimierbare Luftblöcke (Stab-Feder-Modell) ermöglichen große Beschleunigungen und schließlich große Fließgeschwindigkeiten bis 15 m/s. Große Werte für Fließgeschwindigkeit und Beschleunigung beim Druckimpuls in der Spülstrecke ergeben schließlich große Schleppspannungen. **Bild 4** informiert über die Zunahme der Schleppspannung bei Beschleunigungen innerhalb  $\partial t = 0,2$  s und  $\partial t = 0,1$  s vom minimaler zu maximaler Fließgeschwindigkeit. Durch Optimieren der Steuerung ist es möglich, Beschleunigungszeiten von weniger als 0,1 s und Fließgeschwindigkeiten größer als 15 m/s zu erreichen. Damit liegen rein rechnerisch die Werte für die Schleppspannung von etwa  $5.000 \text{ N/m}^2$  etwa 100-fach größer als bei der Wasserspülung mit etwa  $50 \text{ N/m}^2$  (Vergleich der Werte in Bild 3 und in Bild 1). Das Complex-Verfahren ist ein optimiertes Impulspülverfahren. Es basiert auf der patentierten Fahrweise. Die Complex-Einheiten besitzen die entsprechende Hard- und Software, basierend auf Ergebnissen von Forschungsprojekten. So zeigen CFD-Simulationen, dass schon von Beginn der Reinigung die Kräfte an der Rohrwand wirken (**Bild 5**). Im Gegensatz zu den großen Complex-Einheiten ermöglichen kompakte Complex-Module für die industrielle Anwendung (MCU und SCU) weitere Optimierungen (**Bild 6** und **Bild 7**).

Kompakte Complex-Module mit integrierter Sensorik steuern neben der Druckluft auch den Wasserzufluss, sowie bei Bedarf auch die Kreislaufführung des Wassers und die Umkehr der Fließrichtung. Standardmäßig gehört eine ConnectBox zur Ausstattung. Sie ermöglicht ausgetragene Feststoffe abzuscheiden und zu entsorgen. Für kleinvolumige Anwendungen eignen sich speziell in Serie gebaute mobile Geräte, Complex ToolClean mit zugehöriger ConnectBox [6]. Vor allem die stationäre, prozessintegrierte Complex-Reinigung erlaubt aufgrund der hohen Wirksamkeit und optimierten Fahrweise enorme Kostenersparnisse [7]. Darüber hinaus verringert diese Art, Produktionsanlagen instandzuhalten, den Wasserbedarf und Energiebedarf bei der Abwasseraufbereitung. Sie hilft Unternehmen, ihre Ziele bezüglich des verantwortungsvollen Umgangs mit Wasser zu erreichen [8].

## Literatur

- [1] Neue Impulse für die Anlagenreinigung; Immel S., Klein N. und Walther J.: Farbe und Lack 12.2021 S. 48 – 56
- [2] Mikrobielle Verockerung in technischen Systemen (Antiocker); BMBF-Verbundprojekt, 02WT1191, koordiniert durch die TU Berlin im Fachgebiet Umweltmikrobiologie. 02/2011 – 07/2014 Teilprojekt 8: Wirksamkeit des Complex-Verfahrens zum Entfernen von Verockerungen aus Rohwasser- und Brunnenleitungen sowie Steigleitungen; Hammann GmbH
- [3] DVGW-Schriftenreihe Band 27 (2004) Seite 32, Technologiezentrum Wasser Karlsruhe Außenstelle Dresden, Forschungsvorhaben BMBF 02 WT 0077 zu: Entwicklung von Methoden zur Selektion effizienter Spülregime für unterbelastete Sektoren in bestehenden Wasserversorgungsnetzen zur Vermeidung der Rostwasserbildung, Abschlussbericht DVGW – Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Außenstelle Dresden, Projektnummer 02 WT 0077, 29. März 2004
- [4] [https://de.wikipedia.org/wiki/Hydraulischer\\_Durchmesser](https://de.wikipedia.org/wiki/Hydraulischer_Durchmesser),  $r_{hy} = \pi r^2 / 2\pi r = r/2 = D/4$  an vollgefüllten Rohren
- [5] CFD Simulationen: Universität Duisburg-Essen (Lehrstuhl für Mechanik und Robotik – Prof. Dr.-Ing. Wojciech Kowalczyk), [https://complex.de/wp-content/uploads/2023/05/Complex-Verfahren\\_CFD-Simulationen.pdf](https://complex.de/wp-content/uploads/2023/05/Complex-Verfahren_CFD-Simulationen.pdf)
- [6] <https://complex.de/toolclean>
- [7] Betriebskostenrechnung für Wasserspülung und stationäre, prozessintegrierte Complex-Reinigung – Fallbeispiel Produktleitung, <https://complex.de/wp-content/uploads/2023/05/Fallbeispiel-Kostenrechnung-Produktleitung-DN-100.pdf>
- [8] Reinigen und Wasser sparen – Impulsspülverfahren für Rohrleitungen; industrie WASSER 1/2023 S. 26 – 27

**SCHLAGWÖRTER:** Rohrreinigung, Impulsspülverfahren, Ressourcenschonung

## AUTOREN



**Dr. NORBERT KLEIN**

Hammann GmbH, Annweiler am Trifels  
n.klein@hammann-gmbh.de



**SEBASTIAN IMMEL**

Hammann GmbH & Hammann Engineering  
GmbH, Annweiler am Trifels  
s.immel@hammann-gmbh.de  
[www.complex.de](http://www.complex.de)