

## Entwicklung eines automatischen, selbstlernenden Inline-Systems für die adaptierte und ressourceneffiziente CIP-Reinigung am Beispiel eines Behälters mit gesteuertem Zielstrahlreiniger

<b>Koordinierung:</b>	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
<b>Forschungsstellen:</b>	<p>Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) Institutsteil Verarbeitungstechnik (Dresden) Prof. Dr. Jens-Peter Majschak/Dipl.-Ing. Max Hesse</p> <p>Universität Erlangen-Nürnberg Department Chemie- und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Strömungsmechanik Prof. Dr. Antonio Delgado/Dr. Mohamed Hussein</p>
<b>Industriegruppe(n):</b>	<p>Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V. (Wifö), Berlin VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt</p> <p>Projektkoordinatorin: Dr. Erika Hinzmann Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V. (Wifö), Berlin</p>
<b>Laufzeit:</b>	2015 - 2018
<b>Zuwendungssumme:</b>	€ 483.280,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

### Ausgangssituation:

In der Lebensmittelindustrie müssen Maschinen und Anlagen regelmäßig gereinigt werden, um die hygienischen Vorgaben bei der Produktion erfüllen zu können. Hierbei wird häufig mit überdimensionierten und ineffizienten Reinigungssystemen gearbeitet. Diese sind aus Gründen der Prozesssicherheit meist am „Worst-Case-Szenario“ ausgelegt, von bedarfsgerechter bzw. adaptiver Reinigung kann also keine Rede sein. Eine Berücksichtigung des aktuellen Verschmutzungszustandes bzw. die Erkennung einer bereits abgeschlossenen Reinigung, die eine Ressourceneinsparung ermöglichen würde, findet nicht statt. Gründe hierfür liegen vor allem am Mangel an Möglichkeiten zum Inline-Reinigungsmonitoring sowie starrer, nicht-intelligenter Reinigungssysteme.

Ziel des Forschungsvorhabens war es deshalb, eine selbstlernende Prozesssteuerung zu entwickeln, die in Verbindung mit einem optischen Inline-Verschmutzungssensor den Verschmut-

zungszustand erkennt und automatisch Prozessparameter (z.B. Betriebsdruck des Reinigungsfluids) anpasst, um eine automatische Effizienzoptimierung des Reinigungsprozesses zu erreichen. Die Entwicklung sollte am Beispiel eines Tankreinigungsprozesses in der Lebensmittelindustrie erfolgen.

### Forschungsergebnis:

Im Rahmen des Vorhabens konnte ein selbstoptimierendes Automatisierungssystem für die ressourceneffiziente Behälter-CIP-Reinigung entwickelt werden. Die prinzipielle technische Machbarkeit wurde an einem industrienahen 10.000 L-Edelstahltank nachgewiesen. Das Technology-Readiness-Level (TRL) liegt bei TRL 3 bis 4 und soll in Folgeprojekten bis zum Demonstrator in Einsatzumgebung für verschiedene Anwendungen erhöht werden. Hierbei musste vor allem der Parameterraum erweitert werden, welcher im Sinne der Projektlaufzeitbegrenzung gezielt verkleinert wurde.

Im Rahmen der Untersuchungen erfolgte eine Beschränkung die Variation der Pumpenleistung (Volumenstrom Reinigungsmittel bzw. Betriebsdruck) durch die selbstlernende Steuerung, alle anderen Parameter wurden konstant gehalten. Für die industrielle Anwendung sind aber auch weitere Einflussgrößen relevant, wie z.B.:

- die Reinigungschemie,
- die Temperatur,
- oder die Bewegungsgeschwindigkeit des Zielstrahlreinigers.

Zusätzlich kann die Übertragbarkeit des selbstlernenden Automatisierungskonzeptes auf konventionelle Tankreinigungssysteme, wie z.B. Sprühkugeln oder Schwallreiniger, überprüft werden. Durch deren hohe industrielle Verbreitung kann somit ein noch größerer Anwendungsbereich erschlossen werden. Besonders bei der Erkennung von schwer zu ermittelnden Zusammenhängen zwischen verschiedenen Parametern werden selbstlernende Systeme in Zukunft ihre Stärken ausspielen können. Ein solches Lernverhalten konnte im Rahmen des Projekts aufgezeigt werden. Bei Referenzreinigung (Pumpenleistung/Volumenstrom 100 %) dauerte es 6 Minuten, bis die Vanillepuddingverschmutzung im 10.000 L-Tank abgereinigt war. Beim letzten Trainingsversuch der Validierungsversuchsreihe hat das System ebenfalls 6 Minuten benötigt. Entscheidend ist hier jedoch der Umstand, dass die aufgenommene Pumpenleistung zu diesem Lernzeitpunkt bereits um ca. 55 % reduziert werden konnte. Dies würde zunächst nahelegen, dass die Reinigungsleistung des Systems theoretisch auch so stark sinken müsste, dass der Trainingsversuch nicht mehr die Reinigungszeit der Referenz bei voller Leistung erreicht. Das selbstlernende System hat sich hier aber bereits auf die speziellen Eigenschaften des verwendeten Zielstrahlreinigers eingestellt. Dieser bildet auf der Innenseite der Tankmantelfläche ein typisches Orbital- bzw. Kachelmuster. In der vorliegenden Variante pendelt der Zielstrahlreiniger jedoch nur um die Mittelpunktbahn der Orbitalmusterspuren. Dadurch bleiben Kacheln mit Restverschmutzung im Zwischenbereich der Bahnen übrig, die im weiteren Reinigungsverlauf keiner hohen mechanischen Reinigungswirkung des direkt auftreffenden Vollstrahls ausgesetzt sind. Die hier wirksame Reinigungsmechanik ergibt sich nur noch aus dem sog. Footprint-Bereich des auftreffenden Vollstrahls. Diese Reinigungswirkung gleicht aber eher der eines Fallfilms und ist deutlich geringer. Hiermit konnte gezeigt werden, dass die intelligente Prozess-

steuerung selbstständig gelernt hat, mit den Eigenschaften des Reinigungssystems umzugehen und dass sie eine effiziente Reinigung gewährleistet. Vor allem sind dies Zusammenhänge bzw. Optimierungspotenziale, die erfahrungsbasiert von Konstrukteuren nur schwer erkannt werden können und so ungenutzt bleiben. Denn, wie gezeigt, ist die Erhöhung des Betriebsdrucks nicht immer gleichbedeutend mit einer schnelleren Reinigung.

#### Wirtschaftliche Bedeutung:

Im Durchschnitt liegen die reinigungsbedingten Ausfallzeiten in der Lebensmittelindustrie bei 15 bis 20 % der gesamten Produktionszeit, so dass bedarfsorientierte Reinigungssysteme eine erhebliche wirtschaftliche Relevanz haben.

Die im Projekt erreichten Ergebnisse der automatischen Optimierung der Reinigung zeigen ein großes Potenzial, insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU), auf. In Relation zu einer Standardreinigung konnte die selbstlernende Prozesssteuerung bereits deutliche Einsparungen an Reinigungswasser (ca. 35 %) sowie Pumpenenergie (ca. 55 %) erreichen. Bei diesen Größenordnungen ist bei der industriellen Umsetzung mit einem signifikanten Wettbewerbsvorteil zu rechnen, bedenkt man die geringen Margen im Lebensmittelbereich von ca. 1 bis 2 % und den hohen Anteil der Reinigungskosten von oft mehr als 10 % an den Gesamt Herstellungskosten.

Um die Ressourcen bei der Behälterreinigung bestmöglich zu schonen, sollten mit dem im Projekt entwickelten System die Behälterreinigungsprozesse hinsichtlich ihrer Effizienz weiter optimiert werden. Damit verbunden werden der verminderte Einsatz von Reinigungsmedien und Energie sein.

Die Forschungsergebnisse haben die Machbarkeit der Realisierung einer selbstoptimierenden Prozesssteuerung für die Tankreinigung gezeigt. Die Erprobung im industrienahen Testtank (10.000 L) sowie die erzielten Einsparungen zeigen das wirtschaftliche Potenzial für die Industrie, insbesondere für KMU.

#### Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht (2018).
2. Beck, T.: Q-Learning Automatisierung -Adaptive CIP Reinigung von Lebensmittel tanks. Molk. Ind. 11 16-19 (2019).

3. Hesse, M.: Cleaning 4.0 – The way to intelligent tank cleaning. Intern. Dair. Mag. 1-2 (2018).
4. Hesse, M.: Reinigung 4.0 – Der Weg zur intelligenten Tankreinigung. Brauw. 1-2, 29-31 (2018).
5. Hesse, M.: Tankreinigung 4.0 – Die bedarfsgerechte Tankreinigung. Molkerei-Ind. 1, 28-30 (2018).

#### Weiteres Informationsmaterial:

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV)  
Institutsteil Verarbeitungstechnik (Dresden)  
Heidelberger Str. 20, 01189 Dresden  
Tel.: +49 351 43614-53  
Fax: +49 351 43614-59  
E-Mail: max.hesse@ivv-dresden.fraunhofer.de

Universität Erlangen-Nürnberg  
Department Chemie- und Bioingenieurwesen  
Lehrstuhl für Strömungsmechanik  
Cauerstraße 4, 91058 Erlangen  
Tel.: +49 9131 85-29500  
Fax: +49 9131 85-29503  
E-Mail: antonio.delgado@fau.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)  
Godesberger Allee 125, 53175 Bonn  
Tel.: +49 228 3079699-0  
Fax: +49 228 3079699-9  
E-Mail: fei@fei-bonn.de

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wird/wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.