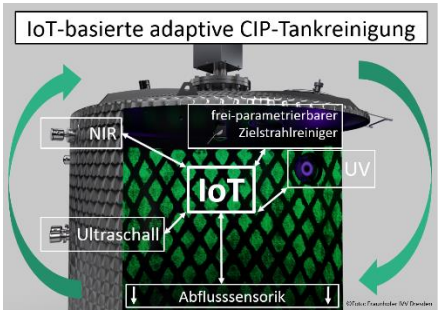
Effiziente adaptive CIP-Tankreinigung durch Umsetzung eines Agenten-basierten Internet-of-Things (IoT) Ansatzes



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	Universität Erlangen-Nürnberg Department Chemie- und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Strömungsmechanik Prof. Dr. Andreas Wierschem/Prof. Dr. Antonio Delgado/ Prof. Dr. Bernhard Gatternig Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) Institutsteil Verarbeitungstechnik (Dresden) Prof. Dr. Jens-Peter Majschak/Dipl.-Ing. Siegfried Beckmann
Industriegruppe(n):	VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V. (Wifö), Berlin Milchindustrie-Verband e.V. (MIV), Berlin
Projektkoordinator:	Thomas Weyrauch Hohe Tanne GmbH, Kriegsfeld
Laufzeit:	2020 – 2023
Zuwendungssumme:	€ 587.932,--

Forschungsziel

Um eine gleichbleibend hohe Qualität der Produkte zu ermöglichen sowie den geltenden Gesetzen und Normen zu entsprechen, unterliegt ein Großteil der Produktionsanlagen in der lebensmittelverarbeitenden, biotechnologischen, pharmazeutischen, kosmetischen und chemischen Industrie einer häufigen und regelmäßigen Reinigung. Infolge wachsender Produktvielfalt und demzufolge geringer Chargengrößen werden heute schon bis zu 30 % des gesamten Wasserverbrauchs und bis zu 15 % der Gesamtenergiekosten einer Fabrik für die Reinigung aufgewendet. Es ist von hohem wirtschaftlichem Interesse, diese Aufwendungen bei gleichzeitiger Wahrung der Produktqualität und der Hygienestandards zu minimieren.

Heutzutage erfolgt die Tankreinigung fast durchgängig mittels automatisierter, fest in der Anlage integrierter Reinigungssysteme (CIP). Diese und die zugehörigen CIP-Reinigungsprozesse werden erfahrungsbasiert prognostizierend am Worst Case und damit mit hohen Sicherheitsfaktoren versehen ausgelegt. Das Ergebnis sind robuste Prozesse, die allerdings wegen des hohen Einsatzes von Zeit, Wasser, Chemikalien und Energie mit entsprechend negativen ökologischen und ökonomischen Auswirkungen einhergehen. Eine Risikoanalyse hat darüber hinaus ergeben, dass selbst bei einem validierten System durch stochastische Effekte (z.B. Tempera-

turschwankungen um ± 1°C) in bis zu 2 % der Fälle die Reinigungswirkung nicht ausreicht. Adaptive Systeme, die sich selbstständig auf die jeweils vorliegende Reinigungsaufgabe anpassen und somit bedarfsgerecht reinigen, könnten zu massiven Einsparungen an Ressourcen führen.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, ein aus autonom agierenden Akteuren bzw. Agenten aufgebautes, Internet-of-Things-basiertes CIP-System zu entwickeln, das in der Lage ist, die Effizienz der Behälterreinigung in Bezug auf Ressourcen-, Energie- und Zeitbedarf gegenüber einem State-of-the-Art-Referenzsystem (Standard-Orbitalreinigung) zu verbessern.

Wirtschaftliche Bedeutung

Ein Großteil der lebensmittelproduzierenden Betriebe gehört zu den kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU), die weniger als 500 Mitarbeiter haben. Gerade für kleinere Betriebe stellt die Reinigung einen erheblichen Kostenfaktor dar. Mit dem zu entwickelnden System könnten Behälterreinigungsprozesse bedarfsgerechter und effizienter durchgeführt werden. Damit ließe sich der Einsatz von Zeit, Reinigungsmedien und Energie deutlich vermindern und die Produktivität steigern.

Hiervon würden insbesondere KMU mit ihren geringen Produktionschargen profitieren. Die Ergebnisse ließen sich auch auf Reinigungsprozesse anderer Wirtschaftszweige übertragen. Neben Produzenten können auch die Hersteller von Reinigungstechnik von den Ergebnissen profitieren.

Forschungsergebnisse

Das Projekt zielte darauf ab, ein selbstoptimierendes CIP-System auf IoT-Basis zu entwickeln. Dafür wurden Sensorsysteme entworfen, die Feuchte per Nahinfrarotspektroskopie und Schichtdicke mittels Ultraschall auf Lebensmittelproben messen. Ein vortrainiertes neuronales Netz, das an Referenzproben im Labormaßstab trainiert wurde, unterstützt das Infrarotsensorsystem. Zur Schichtdickenmessung wurde ein Ultraschallverfahren mit einem Algorithmus zur Feature-Extraktion verwendet. Zusätzlich wurden verbesserte Sensoren und Aktoren, darunter einen weiterentwickelten UV-"Smart-Sensor" für die Verschmutzungsdetektion entwickelt. Ein adaptiver Zielstrahlreiniger (Adaptive Jet Cleaner) dient als Aktor. Dieser wurde auf die neue Aufgabenstellung und Schnittstellen angepasst. Ein Optimierungsmodul für Reinigungsparameter wurde entwickelt, um auf Basis gesammelter Daten optimale Reinigungsparameter durch einen Partikelschwarmoptimierer auszuwählen. Dieses Modul speichert Ergebnisse und unterstützt die Auswahl künftiger Parameter. Aufbauend auf die Entwicklung des Optimierungsmoduls wurde ebenfalls ein Optimierungsmodul für den Adaptive Jet Cleaner entwickelt, das reinigungsrelevante Geometrien erfasst und Bahnformen mathematisch bestimmt. Ein Bildverarbeitungsmodul zur Detektion von Spurbreiten und Reinigungsfortschritten wurde integriert. Das Gesamtsystem, einschließlich Sensoren und Optimierungsmodule, wurde zuerst einzeln und dann im Zusammenspiel getestet. Die Tests ergaben eine robustere Reinigung durch optimierten Informationsfluss zwischen den Agenten. Besonders der AJC-Sprühstrahlreiniger zeigte effiziente Reinigungsabläufe und ermöglichte eine bis zu 58 % schnellere Reinigung im Vergleich zur konventionellen Helixbahnreinigung. Die Erkenntnisse aus den Versuchen liefern wichtige Daten für die weitere Optimierung des Reinigungserfolgs und der Zeitersparnis. Das Forschungsziel wurde somit teilweise erreicht.

Publikationen (Auswahl)

1. Beck, T., Gatternig, B. & Delgado, A.: Neural network enhanced aging time measurements of diary product remaining with infrared spectroscopy. Heliyon, 6(11) (2023).
2. Beck, T., Beckmann, S., Gatternig, B. & Delgado, A.: Effiziente adaptive CIP-Tankreinigung durch Umsetzung eines agentenbasierten Internet-of-Things (IoT) –Ansatzes. Der Lebensmittelbrief (2021).

Weiteres Informationsmaterial

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

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV)
Institutsteil Verarbeitungstechnik (Dresden)
Heidelberger Straße 20, 01189 Dresden
Tel.: +49 351 43614-42
Fax: +49 351 43614-59
E-Mail: jens-peter.majschak@ivv-dresden.fraunhofer.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

Förderhinweis

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

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

FORSCHUNGSKREIS DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE E.V.

INDUSTRIELLE GEMEINSCHAFTSFORSCHUNG

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

Bildnachweis - Seite 1: @ Gatternig, Universität Erlangen-Nürnberg

Stand: 11. März 2026