

Zusammenfassung zum Schlussbericht

Spritzstrahlsimulation für periodisch arbeitende, bewegte Reinigungsdüsen mit innovativem, gitterfreiem Ansatz und analytischem Ersatzmodell (SpraySim)

Automatisierte Reinigung ist branchenübergreifend stark geprägt durch das Streben nach Effizienz und Umweltschutz. Das gilt insbesondere in der Lebensmittelindustrie, wo der Zeitaufwand für die Reinigung aufgrund hoher Produktstandards und großer Produktvielfalt bis zu 25 % der Maschinenarbeitszeit betragen kann. Ein geringer Verbrauch an Reinigungsmitteln, Wasser und Energie sind das erklärte Ziel der Branche.

Bisher wurde für nicht-immernierte Systeme – wie offene Oberflächen und Tanks – das große Optimierungspotenzial in der Anpassung der Geometrie der verwendeten Düsen zur Erzeugung zerfallener Spritzstrahlen nicht genutzt. Grund dafür sind die experimentell und erfahrungsgetriebene Auslegungspraxis sowie das sehr eingeschränkte Verständnis der Wirkvorgänge bei der Reinigung. Diese sind im Experiment nur begrenzt räumlich und zeitlich auflösbar sowie bei dünnen Filmen zusätzlich noch schwer zugänglich. Methoden der numerischen Strömungssimulation versprechen zwar einen hochaufgelösten Einblick in das Strömungsfeld, werden aber derzeit nur selten eingesetzt, da aussagekräftige Ergebnisse nicht mit vertretbarem Rechenaufwand erzielt werden können. Typische Rechenzeiten liegen hier im Bereich von mehreren Wochen.

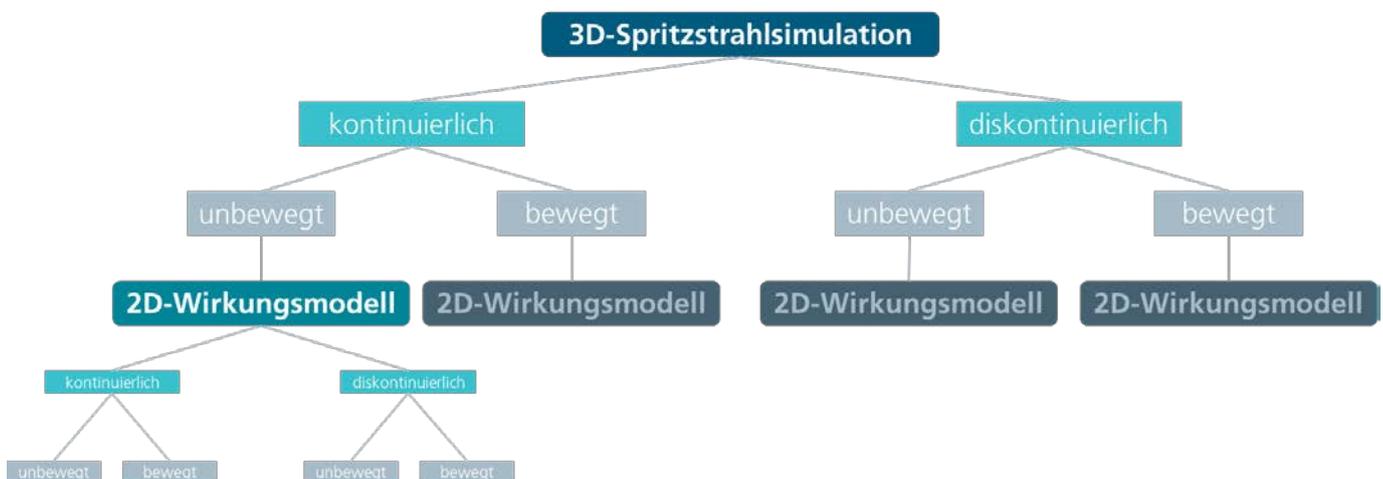
An dieser Stelle hat das Projekt „SpraySim“ angesetzt, mit dem Ziel, eine effiziente und einfach zugängliche numerische Simulation zerfallener Spritzstrahlen mit industrierelevanten Rechenzeiten in der Größenordnung einer Woche zu erarbeiten. Um neben statischen Düsen auch dynamische und diskontinuierliche Spritzstrahlen abbilden zu können, wurde eine innovative, gitterfreie Simulationsmethode gewählt, die in der Software MESHFREE (www.meshfree.eu) umgesetzt ist. Diese Software wird von Forschungseinrichtung 1 (Fraunhofer ITWM) selbst entwickelt und implementiert, wodurch für das Projekt nötige, neue Features einfach integriert werden konnten.

Notwendige Voraussetzung zur Erarbeitung dieses neuen Ansatzes war die parallel an Forschungseinrichtung 2 (IVV) durchgeführte Vermessung des Strömungsfelds sowie der Reinigungswirkung. Die Kombination der Reinigungsergebnisse mit den aus den Simulationen erzielten, hochaufgelösten Informationen zum Strömungsfeld erlaubte das Ableiten von Korrelationen zwischen lokaler Beanspruchung und Reinigungswirkung. Diese generieren ein tieferes Verständnis der Reinigungsvorgänge und ermöglichen erstmalig simulationsgestützte Vorhersagen der Reinigung durch diskontinuierliche und bewegte Spritzstrahlen bis hin zu Optimierungsstrategien.

Die nötige Effizienz wird durch einen zweistufigen Modellansatz erreicht. Im 3D-Spritzstrahlmodell wird die wandferne Strömung inklusive des Zerfalls in der Nähe der Düse simuliert und die resultierende Tropfenverteilung zeitlich und räumlich aufgezeichnet. Diese Ergebnisdaten werden in ein wesentlich performanteres 2D-Wirkungsmodell eingespeist, das die Filmströmung an der Wand ähnlich einem Flachwasser-Ansatz simuliert. Die beiden

Modelle inklusive der im Projekt identifizierten Korrelationen zwischen lokaler Beanspruchung und Reinigungswirkung sind in eine einfach zu bedienende Simulationsplattform eingebunden, die auf Nachfrage kostenfrei zur Verfügung gestellt wird.

Während der Projektbearbeitung hat sich herausgestellt, dass die numerische Auflösung für die 3D-Spritzstrahlsimulationen mit MESHFREE zur Erreichung der nötigen Qualität höher ausfallen muss, als bei Antragstellung vermutet. Deshalb sind die 3D-Spritzstrahlsimulationen insbesondere für den diskontinuierlichen (mindestens zwei Perioden müssen für die jeweilige Frequenz abgebildet werden) sowie bewegten Fall (eine hinreichend weite Bewegung muss abgebildet werden) deutlich aufwendiger – auch wenn die Rechenzeiten im Vergleich zu marktüblichen Simulationstools mit 1-2 Wochen immer noch geringer ausfallen. Um das ursprüngliche Projektziel dennoch zu erreichen, wurde die Vorgehensweise im Projekt dahingehend angepasst, dass mit möglichst wenigen 3D-Spritzstrahlsimulationen der nötige Input für die performanteren 2D-Simulationen mit dem Wirkungsmodell generiert werden kann. Diese wiederum sind so flexibel gestaltet, dass anhand des Inputs die gewünschten Parameterkombinationen (kontinuierlich/diskontinuierlich, unbewegt/bewegt, Abstand) einfach umsetzbar sind, siehe linker Ast in der folgenden Darstellung.



Im Rahmen des Projektes wurden ausschließlich dünne Schmutzschichten untersucht, bei denen die Auswirkungen der Schmutzschichtgeometrie und abgetragener Schmutzpartikel auf die Beanspruchung in erster Näherung vernachlässigbar sind. Des Weiteren beschränkte sich das Vorhaben auf Spritzstrahlen aus Wasser bei Raumtemperatur, die auf eine ebene, verschmutzte Oberfläche treffen. Die Oberflächengeometrie ist in MESHFREE leicht austauschbar und nicht auf diesen Fall beschränkt. Das entwickelte 3D-Spritzstrahlmodell ermöglicht perspektivisch auch den Einfluss der Oberflächenspannung infolge von Reinigungsmittelzusätzen auf die Tropfenbildung zu untersuchen. Dies wurde aus Komplexitätsgründen im Projekt nicht adressiert.

Gemeinsam mit dem projektbegleitenden Ausschuss (PA) wurden zwei Geometrievarianten für Flachstrahl- und Vollkegeldüsen der Firmen Lechler GmbH und Spraying Systems

Manufacturing Europe GmbH für den Hauptteil der Untersuchungen festgelegt, stellvertretend für typische bewegte und unbewegte Spritzstrahldüsen. Der Aspekt der Übertragbarkeit des Simulationsansatzes auf unterschiedliche Geometrien wurde zusätzlich für eine Spezialdüse der Firma FDX Fluid Dynamix GmbH mit oszillierender Strömung überprüft. Ebenfalls gemeinsam mit dem PA erfolgte die Auswahl der untersuchten, industrierelevanten Verschmutzungen: Pudding, Milchreis, Ketchup.

Die im Projekt entwickelten MESHFREE-Simulationen sowie die erlangten Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen der Beanspruchung der Schmutzschichten und der Reinigungswirkung können branchenübergreifend eingesetzt werden.

Hersteller von Reinigungsdüsen können die Simulationen frühzeitig während der Düsenentwicklung mit Hilfe der Simulationsplattform einsetzen – bereits bevor der erste Prototyp gefertigt wurde. Insbesondere die geometrische Anpassung von Düsen an spezielle Kundenanforderungen u.a. durch additive Fertigungsmethoden wird so attraktiver, wodurch das Geschäftsfeld der Düsenhersteller erweitert werden kann. Durch die einfache Steuerung in der Simulationsplattform wird eine Nutzung auch von weniger erfahrenen Anwendern möglich, was vor allem KMU zugutekommt, die meist über keine eigene Simulationsabteilung und die entsprechende Expertise verfügen.

Darüber hinaus erlaubt die Softwareplattform CFD-Dienstleistern Unterstützung bei der Bewertung von Reinigungsprozessen sowie bei der Neuentwicklung von Reinigungssystemen anzubieten. Dies ermöglicht den zumeist kleinen Ingenieurbüros die Erweiterung ihres Dienstleistungsportfolios.

Die Hersteller kompletter Reinigungssysteme für Lebensmittel, Getränke oder Pharmaprodukte können ihr Angebot um diskontinuierlich arbeitende, effizienzsteigernde Systeme erweitern. Sie werden so in die Lage versetzt, Reinigungszeiten und -kosten zu reduzieren sowie mit der gewonnenen Zeit die Produktionsmenge bei konstanter Reinigungswirkung zu steigern. Gesetzliche Vorschriften für die Herstellung hygienisch einwandfreier und qualitativ hochwertiger Produkte können so weiterhin erfüllt werden.

Auch können kleinere Zulieferer der Fahrzeugindustrie von den Projektergebnissen profitieren, indem sie effiziente und innovative automatisierte Reinigungssysteme für Bauteilreinigungsanlagen entwickeln und produzieren.

IVLV-Mitglieder können den vollständigen Projektabschlussbericht auf unserer Homepage herunterladen. Hierzu ist nur eine Anmeldung in der Rubrik „[Meine IVLV](#)“ erforderlich. Nicht-Mitglieder können den Abschlussbericht bei der IVLV-Geschäftsstelle unter office@ivlv.org anfordern.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages





Das IGF-Vorhaben 21069 BG der Forschungsvereinigung Industrievereinigung für Lebensmitteltechnologie und Verpackung e. V. – IVLV, Giggenhauser Str. 35, 85354 Freising, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) und –entwicklung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.