

Zusammenfassung zum Schlussbericht

Entwicklung und Validierung eines Verfahrens zur Erzeugung von impulsammelnden Hammerstrahlen für die Spritzreinigung nach bionischem Vorbild des Schützenfisches (Spritzreinigung Vorbild Schützenfisch (BionicJet))

Branchenübergreifend stellen nasschemische Reinigungsprozesse die wichtigsten und verbreitetsten Reinigungsverfahren dar. Eine Schlüsselrolle übernimmt dabei die Spritzstrahlreinigung. Infolge steigender Umweltschutzanforderungen und notwendiger Kostenreduktion besteht in der lebensmittelproduzierenden Industrie generell der Wunsch nach kürzeren Reinigungszeiten und der Einsparung von Ressourcen (Wasser, Reinigungsmittel, Energie, etc.) während des Reinigungsprozesses. Bei Spritzstrahlreinigungsverfahren lässt sich eine Reduzierung der Reinigungszeit direkt durch eine Erhöhung der mechanischen Wirkung des Strahls erzielen. Dazu kann eine Druck- oder eine Volumenstromerhöhung in Betracht gezogen werden, da beide Größen direkten Einfluss auf die Aufprallkraft haben. Diese Erhöhung ist in aller Regel nicht beliebig realisierbar, da der maximal einstellbare Betriebsdruck des Reinigungssystems anlagen- oder prozesstechnisch limitiert ist (gewöhnlich 2 - 6 bar bei Spritzstrahlreinigung) und eine Erhöhung des Volumenstroms aus Sicht der Ressourceneffizienz nicht praktikabel ist. Aus diesem Grund wurde in diesem Projekt nach einer anderen Möglichkeit gesucht, um die mechanische Reinigungskomponente bei gleichzeitiger Ressourcenschonung zu erhöhen.

Die Grundlage des neuen Reinigungsansatzes bildet dabei das einzigartige und beeindruckende Jagdverhalten des Schützenfisches. Um seinen Jagderfolg zu steigern, ist dieser Fisch imstande Insekten oberhalb der Wasseroberfläche mit einem gezielten Wasserstrahl abzuschießen. Dabei variiert er die Strahlgeschwindigkeit, sodass sich die Strahlfront langsamer als der hintere Strahlteil bewegt, um beim Aufprall einen kompakten Tropfen zu erzeugen. Aufgrund der Vergrößerung der Flüssigkeitsmasse an der Strahlfront erhöht sich folglich auch die Aufprallkraft. Eine technische Umsetzung dieses Prinzips führt demnach dazu, dass der Reinigungsflüssigkeitsverbrauch bei gleichzeitiger Erhöhung der mechanischen Reinigungskomponente sinkt.

Während des Projektes wurden zunächst die Anforderungen an das neuartige Prinzip mit dem projektbegleitenden Ausschuss (pbA) erarbeitet und in einer Anforderungsliste festgehalten. Zudem musste ein theoretischer Ansatz entwickelt werden, um das Modulationsprinzip des Schützenfisches zu imitieren. Zusätzlich erfolgte der Aufbau von Versuchsständen zur strömungsmechanischen Untersuchung der Strahlen und zur Durchführung von Strahlkraft- und Reinigungsuntersuchungen. Dazu wurde ein Laborsystem aufgebaut, das die notwendige Strahlmodulation durch eine Spritze erzeugt, deren Kolben von einem Linearmotor angetrieben wird. Mit dem Aufbau dieses Laborsystems sollte eine sehr hohe Reproduzierbarkeit der modulierten Strahlen gewährleistet werden. Es wurden Glasdüsen verwendet, um geometriebedingte Einflüsse auf die Strahloberfläche zu minimieren. Durch die gezielte Einstellung der PID-Regelschleife des Linearmotors konnte zudem der Sekundärzerfalls minimiert werden.

Für einen großen Parameterraum konnte so gezeigt werden, dass der genutzte Modulationsansatz zur Erzeugung einer Flüssigkeitsansammlung an der Strahlfront führt. Die Variationsgrößen waren dabei die Initial- und Maximalgeschwindigkeit des Strahls, der Verdüsungswinkel (Neigung aus der horizontalen Achse) und der Arbeitsabstand. Anhand der Kraftmessungen konnte zudem dargestellt werden, dass die Modulation zu einer signifikanten Erhöhung der maximalen Aufprallkraft führt, die zum Teil das 23-fache eines vergleichbaren intermittierenden Strahls aufweist. Die Reinigungstests mit den Verschmutzungen Senf und Ketchup wiesen zudem eine deutliche Erhöhung der Reinigungswirkung auf.

Um die spätere Nutzbarkeit des neuen Reinigungsansatzes zu gewährleisten, musste der Strahlmodulator des Laborsystems in eine industrietaugliche Ausführung überführt werden. Dazu wurden innerhalb des Projektes insgesamt sechs verschiedene Konzepte zur Modulationserzeugung (jeweils 3 von beiden Forschungseinrichtungen) erarbeitet. In Abstimmung mit dem pbA wurden vier dieser Konzepte anschließend umgesetzt und deren Funktionalität untersucht. Anhand der gewonnenen Daten konnte anschließend eine Nutzwertanalyse durchgeführt werden, um die geeignetste Lösung für den industriellen Einsatz zu bestimmen. Das zugrundeliegende Zielsystem dieser Nutzwertanalyse basiert dabei auf der Anforderungsliste, die mit dem pbA erarbeitet wurde. Die Lösung mit dem größten Nutzwert erzielte ein Modulationserzeuger, der die gewünschte Strahlmodulation mit Hilfe eines Proportionalventils erzeugt. Diese Lösung wurde anschließend weiterentwickelt und für die Roboteranwendung optimiert. Dadurch konnte ein Demonstrator aufgebaut werden, der den Einsatz des neuen Reinigungsansatzes in einer industrienahen Umgebung zeigt. Anhand von Reinigungstest mit 3 Lebensmittelverschmutzungen und einem Schmierstoff wurde die Effizienz des neuen Ansatzes gezeigt. Dabei konnte eine signifikante Reduzierung der Reinigungszeit um 35 % erreicht werden.

Zusätzlich wurde ein hochauflösendes dreidimensionales numerisches Modell in Basilisk aufgebaut, das auf der Volume-Of-Fluid-Methodik basiert. Dieses konnte durch die umfangreichen experimentellen Arbeiten sehr gut validiert werden. Durch die Durchführung von Aufprallsimulationen konnten so zusätzliche Informationen über die Verteilung von Tangential- und Normalspannungen beim Tropfenaufprall gewonnen werden. Dabei wurde festgestellt, dass die Modulation lokal zu z. T. 100-fachen Normal- und 10-fachen Tangentialspannungen führt. Die simulierte integrale Normalkraft deckt sich dabei mit den Experimentdaten.

Während der Projektbearbeitung wurden Optimierungspotenziale aufgedeckt, die innerhalb der Bearbeitungszeit nicht gelöst werden konnten. Dazu zählt die Berücksichtigung der Düsenverfahrgeschwindigkeit und der Schwerkraft im Modulationsansatz, die eine zusätzliche Anpassung des Verdüsungswinkels beim Ausstoßvorgang notwendig macht. Dies ist technisch anspruchsvoll, da die Winkelanpassung innerhalb weniger Millisekunden stattfinden muss. Darüber hinaus kam der Wunsch im pbA auf, die Modulation für größere Arbeitsabstände und alternative Reinigungsflüssigkeiten zu untersuchen. Die Verwendung

von beispielsweise Tensiden verändert die Stoffeigenschaften der Reinigungsflüssigkeit grundlegend. Entscheidende Größen sind dabei die Viskosität und vor allem die Oberflächenspannung. Diese ist ausschlaggebend für eine erfolgreiche Ansammlung von Flüssigkeit an der Strahlfront. Eine Reduzierung der Oberflächenspannung, hervorgerufen durch eine Tensidbeigabe oder andere Flüssigkeiten (Ethanol), kann somit die Tropfenbildung entscheidend beeinflussen. Die Weiterentwicklung des neuen Modulationserzeugers könnte somit die Effizienz des Reinigungssystems signifikant steigern und sollte somit zwingend verfolgt werden.

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 20843 BR 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.