

## **Modellierung von Reinigungsprozessen als Beitrag zur ressourcenschonenden Lebensmittelproduktion**

**Dr. Hannes Köhler**

Technische Universität Dresden

Institut für Naturstofftechnik

Professur für Verarbeitungsmaschinen/Verarbeitungstechnik

Die Präsentation widmet sich der Thematik der Reinigungssimulation sowie deren Möglichkeiten und Herausforderungen und gewährt einen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung der TU Dresden.

Die Notwendigkeit hygienisch einwandfreier Maschinenoberflächen ist durch Normen vorgegeben, während die Reinigung insbesondere in der Lebensmittelindustrie einen erheblichen Ressourcenverbrauch verursacht. Die wissenschaftliche Herausforderung liegt in der Komplexität der Reinigungsprozesse, die als multiphysikalische und mehrphasige Vorgänge über verschiedene Zeit- und Längenskalen ablaufen. Gegenwärtig erfolgt die Auslegung von Reinigungsprozessen in der Regel erfahrungsbasiert oder nach empirischen Regeln. Der alternative Lösungsansatz einer Reinigungssimulation bietet das Potential einerseits Einblicke in die relevanten Mechanismen und Prozesse zu gewinnen und andererseits reale Problemstellungen objektiv zu optimieren.

Die Anforderungen, die an eine industriegerechte Reinigungssimulation gestellt werden, lassen sich zusammenfassen in praktikable Rechenzeiten, gute Vorhersagequalität und eine Übertragbarkeit auf verschiedene Anwendungsfälle. Um diesen gerecht zu werden hat sich ein intermediärer Ansatz zwischen vollaufgelöster Simulation von Mehrphasenströmungen und halb-empirischen Modellen als vielversprechendste Lösungsmöglichkeit erwiesen. Grundidee der Randbedingungsmodelle ist es das Verhalten der Schmutzschicht am Rand des Rechengebietes der Strömung zu modellieren. Geschickt gewählte Annahmen, die die Industrietauglichkeit nicht einschränken, erlauben es Strömungs- und Abtragsberechnung zu entkoppeln. Dadurch werden Berechnungsdauern deutlich reduziert, sodass die Berechnung industriell relevanter Probleme erfolgen kann.

Der hohen Vielfalt an Reinigungsprozessen wurde begegnet, indem vier physikalisch motivierte Reinigungsmechanismen identifiziert wurden. Ein Machine-Learning-Algorithmus unterstützt dabei deren objektive Klassifizierung. Für die Reinigungsmechanismen wurden prototypische Verschmutzungen gefunden, an denen die reinigungsrelevanten Teilprozesse der Mechanismen analysiert und modelliert wurden. Weiterhin wurden geeignete Labormethoden entwickelt, um die erforderlichen Modellparameter zielgerichtet und nahezu ohne Reinigungsversuche bestimmen zu können.

Die Validierung der Simulationen erfolgte durch Reinigungsversuche im Technikumsmaßstab. Dabei konnte die korrekte Abbildung relevanter Einflussgrößen wie Schmutzmenge, Strömungsgeschwindigkeit oder Vorquelldauer nachgewiesen werden. Zudem wurde die Übertragbarkeit der Modelle auf komplexere Bauteilgeometrien und alternative Reinigungsverfahren (z.B. Zielstrahlreiniger) demonstriert.

Offene Forschungsfragen betreffen die Validierung mehrstufiger Reinigungsregime, die Modellierung der Sprühreinigung sowie die Simulation komplexerer Schichtaufbauten. Die Arbeiten leisten einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen und effizienten Gestaltung industrieller Reinigungsprozesse.