



Nathalie Gottschalk (Autor)  
**Stofftransport bei der CIP-Reinigung von  
Lebensmittelablagerungen**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8681>

Copyright:  
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Vorwort</b> .....   | <b>I</b>    |
| <b>Inhaltsverzeichnis</b> .....                                    | <b>III</b>  |
| <b>Kurzfassung</b> .....   | <b>VI</b>   |
| <b>Abstract</b> .....  | <b>7</b>    |
| <b>Symbol- und Abkürzungsverzeichnis</b> .....                     | <b>VIII</b> |
| <b>1 Einleitung</b> .....  | <b>1</b>    |
| <b>2 Stand des Wissens</b> .....                                   | <b>4</b>    |
| 2.1 Cleaning-in-Place .....  | 4           |
| 2.1.1 Grundlagen der CIP-Reinigung in geschlossenen Systemen ..... | 5           |
| 2.1.2 Reinigungskinetik beim Cleaning-in-Place .....               | 6           |
| 2.1.3 Stofftransportmechanismen beim Cleaning-in-Place .....       | 9           |
| 2.2 Strömende Fluide und Partikelbewegung .....                    | 12          |
| 2.2.1 Grundlagen der Fluidodynamik .....                           | 13          |
| 2.2.2 Partikelabtrag und -transport in Wandnähe .....              | 16          |
| 2.3 Diffusion.....   | 18          |
| 2.3.1 Partikeldiffusion durch Flüssigkeiten .....                  | 19          |
| 2.3.2 Diffusion von Flüssigkeiten in Feststoffen .....             | 20          |
| 2.4 Partikelgrößenmessung mittels Laserbeugung.....                | 20          |
| 2.5 Modellverschmutzungen für Reinigungsuntersuchungen.....        | 23          |
| 2.5.1 Eigelb .....   | 26          |
| 2.5.2 Stärke .....   | 28          |
| <b>3 Konzeptentwicklung</b> .....                                  | <b>32</b>   |
| 3.1 Wissenslücke.....  | 32          |
| 3.2 Modellvorstellung des Stofftransports bei der Abreinigung..... | 33          |
| 3.3 Abgeleitete Untersuchungen .....                               | 34          |
| 3.4 Wahl der Modellverschmutzungen .....                           | 36          |
| <b>4 Experimentelle Untersuchungen</b> .....                       | <b>38</b>   |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 4.1      | Reinigungsanlage .....   | 38        |
| 4.2      | Modellverschmutzungen und Probenherstellung.....                   | 42        |
| 4.2.1    | Eigelverschmutzung .....   | 42        |
| 4.2.2    | Stärkeverschmutzung.....   | 44        |
| 4.3      | Bestimmung der Partikeleigenschaften.....                          | 44        |
| 4.3.1    | Partikelgrößenmessung.....   | 44        |
| 4.3.2    | Dichte der Partikel .....  | 45        |
| 4.3.3    | Realer Brechungsindex .....  | 45        |
| 4.3.4    | Absorptionskoeffizient .....                                       | 46        |
| 4.3.5    | Mikroskopie.....   | 47        |
| 4.4      | Schichtdickenmessung mittels Fluid Dynamic Gauging .....           | 47        |
| 4.4.1    | Bestimmung der Ausgangsschichtdicke .....                          | 49        |
| 4.4.2    | Quellverhalten der Verschmutzungsschicht .....                     | 50        |
| 4.5      | Bestimmung der Verschmutzungskonzentration im Reinigungsmittel ... | 52        |
| 4.6      | Messung der Partikeldiffusion .....                                | 55        |
| 4.7      | Statistische Versuchsauswertung und Modellbildung .....            | 57        |
| <b>5</b> | <b>Experimentelle Ergebnisse .....</b>                             | <b>64</b> |
| 5.1      | Ausgangsschichtdicke der Verschmutzungsschicht .....               | 64        |
| 5.2      | Eigenschaften der Verschmutzungspartikel.....                      | 65        |
| 5.2.1    | Partikeldichte .....   | 65        |
| 5.2.2    | Realer Brechungsindex der Partikel .....                           | 66        |
| 5.2.3    | Absorptionskoeffizient der Partikel.....                           | 69        |
| 5.2.4    | Partikelgröße.....   | 71        |
| 5.3      | Größe der abgetragenen Verschmutzungspartikel .....                | 76        |
| 5.3.1    | Veränderung der Partikelgröße über die Reinigungszeit.....         | 76        |
| 5.3.2    | Einfluss der Reinigungsparameter auf die Partikelgröße .....       | 80        |
| 5.3.3    | Abschätzung des Diffusionskoeffizienten aus der Partikelgröße..... | 85        |
| 5.4      | Quellverhalten der Verschmutzungsschicht .....                     | 87        |
| 5.4.1    | Modellierung des Quellverhaltens.....                              | 88        |
| 5.4.2    | Diffusion des Reinigungsmittels in die Verschmutzungsschicht ..... | 97        |
| 5.5      | Diffusionskoeffizienten der Verschmutzungspartikel .....           | 103       |
| 5.5.1    | Einfluss der Diffusionszeit .....                                  | 103       |
| 5.5.2    | Einfluss der Konzentration an Natronlauge.....                     | 107       |
| 5.6      | Kinetik der Reinigung .....  | 109       |
| 5.6.1    | Weibull-Modell der Reinigungskurven .....                          | 109       |
| 5.6.2    | Einflussfaktoren auf die Reinigungszeit.....                       | 112       |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>6</b> | <b>Simulation des Partikeltransports durch die viskose Unterschicht.....</b> | <b>121</b> |
| 6.1      | Grundlagen zur Berechnung des Partikeltransports.....                        | 121        |
| 6.1.1    | Annahmen und Kräftegleichgewicht am Partikel.....                            | 121        |
| 6.1.2    | Konvektiver Partikeltransport senkrecht zur Wand.....                        | 124        |
| 6.1.3    | Diffusiver Partikeltransport .....   | 126        |
| 6.1.4    | Konvektiver Partikeltransport in Strömungsrichtung.....                      | 127        |
| 6.1.5    | Numerisches Lösen des Differentialgleichungssystems.....                     | 128        |
| 6.2      | Einflüsse auf den Partikeltransport bei der Reinigung.....                   | 129        |
| 6.2.1    | Einfluss der einzelnen Reinigungsparameter.....                              | 131        |
| 6.2.2    | Einfluss der Eigenschaften der Verschmutzungspartikel .....                  | 136        |
| 6.3      | Diffusiver und konvektiver Partikeltransport.....                            | 139        |
| 6.4      | Partikeltransport bei der Reinigung von Eigelb.....                          | 142        |
| <b>7</b> | <b>Übertragung auf die Reinigung von Stärke .....</b>                        | <b>147</b> |
| 7.1      | Benötigte Reinigungszeit für die Stärkeverschmutzung .....                   | 147        |
| 7.2      | Partikelgröße der abgereinigten Stärkepartikel.....                          | 150        |
| 7.3      | Partikeltransport bei der Reinigung von Stärke .....                         | 152        |
| 7.4      | Vergleich der Reinigung von Stärke und Eigelb.....                           | 155        |
| <b>8</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>                                    | <b>157</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis.....</b>   | <b>161</b> |
|          | <b>Anhang .....</b>  | <b>171</b> |
|          | <b>Lebenslauf.....</b>   | <b>179</b> |
|          | <b>Veröffentlichungen.....</b>   | <b>180</b> |