

Optimierung von Reinigungsverfahren in der Lebensmittelindustrie bei Oberflächen mit makroskopischen und mikroskopischen Fehlstellen (Schweißnähte, Risse, Poren) in Verbindung mit der Auswahl und dem Verbrauch von lebensmittelgerechten Reinigungsmitteln und Tensiden

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I:	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin Abt. Materialschutz und zerstörungsfreie Prüfung FG Oberflächentechnologien Prof. Dr. G. Reiners/Dr. U. Beck
Forschungsstelle II:	Technische Universität München Lehrstuhl für Maschinen- und Apparatekunde, Prof. Dr. K. Sommer/Dipl.-Ing. U. Bobe
Industriegruppen:	VDMA Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen, Frankfurt Fachverband der Gewürzindustrie e.V., Bonn
	Projektkoordinator: Dr. W. G. Kohler EHW Thale Email GmbH, Thale
Laufzeit:	2003 – 2005
Zuwendungssumme:	€ 457.300,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Rückrufaktionen durch Lebensmittelinfektionen bedingen große Umsatzeinbußen. Statistiken aus den USA ermittelten zusätzliche Kosten von mehr als 30 Mrd. Dollar, wobei mindestens ein Viertel auf mangelnder Hygiene und Reinigung der Anlagen basiert. Die an ungenügend gereinigten Oberflächen haftenden Biofilme können Depot für toxische Stoffe sein, so dass allergene, aber auch infektiöse Reaktionen ausgelöst werden können.

Hierzu wurden im Rahmen des AiF/FEI-Forschungsvorhabens 12636 N bereits wesentliche Beiträge zur Charakterisierung der Topographie, der Adhäsionskräfte und zur topographischen Prognose steriler, lebensmitteltechnisch angewandter fehlerfreier Materialoberflächen erarbeitet. Diese Arbeiten gingen allerdings von fehlerfreien Oberflächen aus. Die Keimdichte erhöht sich um Zehnerpotenzen an Oberflächenfehlern, wie Spalten und Poren. Nicht untersucht wurden bislang Schweißnähte

(hochlegierter Stahl), sei es in Form von geometrischen Fehlern (Nahtschuppungen, Wurzel-durchhang) oder in Form von chemischen Fehlern (Anlauffarben). Auch ist die Forderung nach leicht zu reinigenden („easy to clean“) und langzeitstabilen, „sauberen“ Anlagenteilen, die reale Oberflächenfehler enthalten, zu berücksichtigen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, aufbauend auf den Ergebnissen des AiF/FEI-Vorhabens 12636 N, anhand der Ablösung von Einzelpartikeln die Auswirkungen verschiedener Parameter auf die aufzubringenden Trennkräfte zu untersuchen, um somit qualitativ die Reinigbarkeit von technischen Oberflächen zu charakterisieren. Die ausgewählten Parameter sind die Partikel (Größe, Material), die Werkstoffoberflächen (Rauheit R_a , Material bzw. Oberflächenenergie, Anisotropien) und das Reinigungsmittel (pH-Wert, Temperatur, Reinigungszeit, Tensidzugabe) gewesen. Dabei wurden bei den Bestimmungen der Einflüsse von Anisotropien Schweißnähte, Anlauffarben und scharfkantige Vertiefungen (Kratzer, Spalte) untersucht.

Forschungsergebnis:

Die Bewertung der Oberflächentopografie ist vom Nano- bis zum Makro-Bereich durchgängig mit den Verfahren der Weißlichtinterferenzmikroskopie (WLIM), insbesondere für den Nano- bis Mikro-Bereich, und der Streifenlichtprojektion (FP), insbesondere für den Mikro- bis Makro-Bereich, unter industriellen Randbedingungen realisierbar. Die softwaremäßige Eliminierung des Schatteneffektes bei der Streifenlichtprojektion wurde durch Mehrfachbelichtung nach Drehung des Messobjektes realisiert. Die Validierung und Standardisierung (VDI/VDE/GMA-FA 3.43) der optischen Oberflächeninspektionsverfahren wird in dem genannten Standardisierungsgremium weiter vorangetrieben.

Für reale Oberflächen (Inhomogenitäten, Anisotropien, Fügestellen, Fehlstellen) wurden Replikaverfahren erprobt, die topografisch ebenfalls den Nano- bis Makro-Bereich abbilden können. Dabei ist die Folienabdrucktechnik für den Nano- bis Mikro-Bereich am besten geeignet, wobei keine Welligkeiten übertragen werden können. Die Abdrucktechnik mit Silikonkautschukmassen (T1, F5) dagegen ist für den Mikro- bis Makro-Bereich vorzuziehen. Die Erprobung zusätzlicher Abdruckmassen (Mikrosil) aus der Forensik wurde abgeschlossen.

Zur Bestimmung der Oberflächenenergie (Kontaktwinkelmessungen mit mindestens drei verschiedenen Flüssigkeiten) wurde für reale Oberflächen neben der Tropfen-Methode die Platten-Methode nach Wilhelmy zur Charakterisierung von Makro-Eigenschaften (Anlauffarben, Oxidschichten, Wärmeeinflusszone) herangezogen. An verschiedenen Proben konnte nachgewiesen werden, dass Tropfen- und Plattenmethode für hinreichend homogene, isotrope und ebene Proben zu gut vergleichbaren Ergebnissen führen. Diese Voraussetzungen sind streng einzuhalten. An realen Proben (3D-Formkörper) ist eine quantitative Bestimmung der Oberflächenenergie nicht möglich. Bei der Plattenmethode muss die Oberfläche darüber hinaus beidseitig identisch sein.

Bei den durchgeführten Messungen wurde kein Einfluss der Rauheit in dem Bereich $0,15 \mu\text{m} < R_a < 2 \mu\text{m}$ (erreicht durch unterschiedliche Bearbeitungen) auf den Reinigungserfolg von Edelstahl festgestellt. Dabei wurden verschiedene Partikel als Verschmutzung verwendet, für deren Durchmesser gilt: $d_{\text{Partikel}} \geq R_a$. Dieses Ergebnis wurde auch bei den Untersuchungen erhalten, die mit beschichteten Edel-

stählen durchgeführt wurden (veränderte Hamakerkonstante).

Bei einem Vergleich unterschiedlicher Werkstoffoberflächen, die annähernd die gleiche Rauheit haben, ergibt sich, dass bei den Versuchen mit niederenergetischen Oberflächen (kleinere Hamakerkonstante) auch eine geringere mittlere Trennkraft gemessen wurde, was einen signifikanten Einfluss der Oberflächenenergie bedeutet. Die Emaille-Oberflächen konnten aufgrund der Tatsache, dass keine Proben mit vergleichbarer Oberflächenrauheit wie Edelstahl produziert werden konnten, auch nicht mit den genannten Ergebnissen verglichen werden.

Der Einfluss der Schweißnähte und der scharfkantigen Vertiefungen auf den Reinigungserfolg kann nicht verallgemeinert ausgedrückt werden. Es kommt stark auf die Geometrie der Fehlstelle an, d.h. wie stark der Wurzeldurchhang bzw. wie breit und tief der Kratzer ist. In den Untersuchungen wurde bei Schweißnähten, die nach guter Herstellungspraxis angefertigt wurden, keine Beeinträchtigung des Reinigungserfolges festgestellt, wogegen die untersuchten Vertiefungen Problemzonen der Reinigung darstellten.

Die Anlauffarben, die beim Schweißen und bei dem Kontakt mit Säure oder Lauge entstehen, ergaben ausnahmslos eine verminderte mittlere Trennkraft. Eine aufwändige Entfernung dieser Bereiche in der Praxis kann daher aus Adhäsions-Gründen nicht empfohlen werden.

Die Einflüsse durch die Parameter des Reinigungsmittels können teilweise sehr groß sein. Während die Reinigungszeit bei den durchgeführten Versuchen keine große Rolle gespielt hat, kann deren Effekt bei starken Verunreinigungen, die einer diffusionsabhängigen Reinigung bedürfen, äußerst wichtig sein. Der pH-Wert und die Temperatur des Fluids hatten in Bezug zu den Versuchen mit reinem Leitungswasser bei Umgebungstemperatur starke Auswirkungen auf die Reinigung. Der Einsatz des Tensids brachte ebenfalls eine deutliche Senkung der mittleren Trennkraft. Bei einem Vergleich, welcher Parameter den Reinigungserfolg am meisten beeinflussen kann, ist das Reinigungsmedium an erster Stelle zu führen.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Die hygienegerechte Beurteilung von technischen Oberflächen ist essentiell für mittelständische Unternehmen der Lebensmittel- und Getränkeindustrie. Es ist zur Zeit nicht bekannt, was aus Sicht dieser Unternehmenszweige als Oberflächenfehler bezeichnet werden kann und wie diese steriltechnisch charakterisiert werden können. Forschungsleistungen, wie die steriltechnische Klassifizierung der Fehlstellen einschließlich eines Fehlerkataloges, die Wirkung von Reinigungsmitteln in Verbindung mit technischen Oberflächen, die Vorbereitung des Transfers von „easy to clean“-Oberflächen in die Lebensmittelindustrie oder eine steriltechnische Prognosesoftware sind von Unternehmen dieser Größe nicht zu erbringen.

Die ständig wachsenden Anforderungen an die Verbesserung von Oberflächenqualitäten aufgrund von teilweise nicht begründbaren Qualitätssicherungs- und Sicherheitskonzepten (z.B. HACCP), können kleine und mittelständische Betriebe aus Kostengründen nicht erfüllen. Diese Fragen entscheiden aber über die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen und damit letztendlich über den Fortbestand von Arbeitsplätzen.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2005.
2. Bobe, U., Hofmann, J., Sommer, K., Beck, U. und Reiners, G.: Adhesion – Where cleaning starts. Trends Food Sci. Technol. 18, 36-39 (2007).
3. Beck, U., Bobe, U., Gamer, N., Reiners, G. und Sommer, K.: Reinigung realer Oberflächen. Chem. Ing. Tech. 77 (12), 1942-1946 (2005).
4. Beck, U., Reiners, G., Sommer, K. und Schmidt, R.: Materialoberflächen in der Reinraum- und Steriltechnik. VDMA-Verlag, ISBN 3-8163-0506-7 (2005).
5. Bobe, U., Beck, U., Reiners, G. und Sommer, K.: Influence on the adhesion of biological particles. Proc. Adhesion Conf. Vol. 1 EurAdh 04, 267-272 (2004).

Weiteres Informationsmaterial:

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Abt. Materialschutz und zerstörungsfreie Prüfung, FG Oberflächentechnologien
Unter den Eichen 44-46, 12205 Berlin
Tel.: 030/8104-1820, Fax: 030/8104-1827
E-Mail: georg.reiners@bam.de

Technische Universität München
Lehrstuhl für Maschinen- und Apparatekunde
Am Forum 2, 85350 Freising-Weihenstephan
Tel.: 08161/71-3288, Fax: 08161/71-4242
E-Mail: K.Sommer@blm.tu-muenchen.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn
Tel.: 0228/372031, Fax: 0228/376150
E-Mail: fei@fei-bonn.de