

Nanotechnologische Entwicklung von „easier-to-clean“-Oberflächenstrukturen für eine zukünftig gesteigerte Lebensmittel- und Produktsicherheit

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I:	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin FG Oberflächentechnologien Prof. Dr. G. Reiners/Dr. U. Beck
Forschungsstelle II:	Universität Erlangen-Nürnberg Department für Chemie und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Feststoff- und Grenzflächenverfahrenstechnik Prof. Dr. W. Peukert
Forschungsstelle III:	Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW 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, KPS Pharmatechnik GmbH, Heilbronn
Laufzeit:	2006 – 2008
Zuwendungssumme:	€ 589.150,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Reinigung wird in der Lebensmittel- und Pharma-industrie aufgrund des stetig steigenden Kosten- und Zeitdrucks sowie der hohen Verbrauchererwartungen hinsichtlich Produktsicherheit und –haltbarkeit ein immer zentraleres Thema. Eine verbesserte Reinigbarkeit bedeutet für die produzierende Industrie eine Steigerung der Effizienz der Produktionsanlage. Besonders in der heutigen medienintensiven Zeit kommt ein „Lebensmittelskandal“ durch ein unsicheres Produkt einem finanziellen Desaster und immensem Imageverlust gleich. Aus diesem Grund ist die Reinigbarkeit der produktberührenden Oberflächen stets ein wichtiges Kriterium für die Werkstoffauswahl.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, in interdisziplinärer Zusammenarbeit „easier-to-clean“-

Oberflächen zu entwickeln, die Reinigbarkeit von technischen Oberflächen in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie zu beurteilen und branchenübergreifende Lösungen zu erarbeiten, um eine optimierte Reinigung zur Qualitätserhaltung und -verbesserung im Produktionsablauf zu erreichen. Hierzu sollten in systematischen Untersuchungen die Reinigungsprozesse und das Ablöseverhalten von Kontaminationen und Rückständen verschiedener Art analysiert und der Einfluss der Werkstoffoberfläche und ihrer Nanostruktur herausgearbeitet werden.

Forschungsergebnis:

Das Atomic Force Microscope (AFM) ist als Standardmethode zur Untersuchung des Haftverhaltens für Modellsysteme etabliert. Die Messergebnisse an Modelloberflächen sind sehr gut

reproduzierbar und führen zu einem besseren grundlegenden Verständnis der Haftung an Oberflächen. Die auf Modellen basierenden Theorien können durch die AFM-Messungen bestätigt werden. Bei sehr heterogenen Oberflächen steigt der Aufwand, da sehr viele Messungen an hinreichend vielen Messorten durchgeführt werden müssen, um repräsentative Aussagen zu erhalten. Hier hat die Ablösung im Strömungskanal Vorteile, da ein großes Partikelkollektiv ausgewertet werden kann. Zusammen mit der Reinigung von Schmutzfilmen können Aussagen über die Reinigbarkeit von Oberflächen bzw. die Auswirkung einzelner Parameter in Abhängigkeit des Milieus und der Verschmutzung für reale Bedingungen gemacht werden. Dies ist durch AFM-Messungen alleine nicht möglich.

In den durchgeführten Reinigungsversuchen (Strömungsreinigung) hat sich gezeigt, dass die Oberflächenrauheit lediglich bei der Reinigung von kohäsiven Schmutzfilmen eine entscheidende Rolle gespielt hat. Hingegen ist ihr Einfluss auf das Reinigungsergebnis von sich auflösenden Schmutzfilmen und Partikeln nur begrenzt bis gar nicht zur Geltung gekommen. Das Oberflächenmaterial hatte zwar keinen starken, aber dennoch einen signifikanten Einfluss auf die Reinigbarkeit der untersuchten Oberflächen. Dass die Reinigbarkeit einer Oberfläche keine Materialkonstante sein kann, wurde unter Verwendung spezieller Oberflächen mit definiert geätzten Rauheitsstrukturen nachgewiesen. Der Reinigungserfolg hängt immer auch von der Verunreinigungsart ab, was sich auch in vergleichbaren Versuchen der Einzelpartikelablösung mittels AFM in dem Einfluss der Elastizität bzw. Plastizität der Partikeln geäußert hat.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Lebensmittelinfektionen verursachen durch Rückrufaktionen allein in den USA jährliche Umsatzeinbußen von mehreren Mrd. US-Dollar. Mindestens ein Viertel dieser Kosten entfällt auf mangelnde Hygiene und Reinigung der Anlagen. Eine hygienegerechte Beurteilung von technischen Oberflächen ist deshalb essentiell für die gesamte Lebensmittel-, Getränke- und Pharmaindustrie. Insbesondere Gewürze, pharmazeutische Produkte und Säuglingsnahrung sind extrem empfindlich gegenüber Produktkontaminationen (Allergien).

Die Erarbeitung von Empfehlungen für die Praxis gehörte deshalb mit zu den wichtigsten Zielen des Projekts. Mit Fokus auf die Oberflächenpa-

rameter und auf Basis der durchgeführten Untersuchungen kann zur Optimierung der Reinigung produktberührender Oberflächen folgende Checkliste als Orientierungshilfe dienen:

- Zur Verbesserung des Reinigungsergebnisses muss stets das gesamte System „Kontamination – Medium – Oberfläche“ betrachtet werden. Aussagen über die Auswirkung eines Oberflächenparameters ohne Kenntnis der Verunreinigungsart sind nicht zielführend.
- Im Falle partikulärer Verunreinigungen determiniert die Struktur einer Oberfläche und deren Größenverhältnis zur Partikelgröße den Reinigungserfolg stärker als ein Rauheitskennwert (üblicherweise R_a).
- Im Falle von Schmutzfilmen hängt der Einfluss der Oberflächenrauheit von der Art der Reinigung ab. Während bei der „schmutzauflösenden“ Reinigung ein Einfluss erst bei Rauheiten $R_a > 1 \mu\text{m}$ festgestellt werden konnte, hängt der Reinigungserfolg bei einer „ablösenden“ Reinigung deutlicher von der Rauheit des Werkstoffes ab.
- Oberflächen mit geringer Oberflächenenergie zeigten bessere Reinigbarkeiten als vergleichbare hochenergetische Oberflächen.
- Von allen untersuchten Parametern bewirkte die Veränderung des Reinigungsmittels hinsichtlich der Temperatur und des pH-Wertes die deutlichsten Erfolge. Eine Anpassung an das jeweilige Verschmutzungssystem ist empfehlenswert, was beispielsweise durch Versuche in der Strömungszelle zu erreichen ist.

Ist die Verunreinigungsart dennoch unbekannt, so sollte der „Grenzwert“ von $R_a = 1 \mu\text{m}$ unterschritten werden, um bei Vorhandensein filmartiger Verschmutzungen keine negativen Auswirkungen auf die Reinigbarkeit zu haben. Aufgrund der Untersuchungen besteht aus Reinigbarkeitsgründen keine Notwendigkeit für die Verwendung von hochpolierten Oberflächen ($R_a < 0,3 \mu\text{m}$).

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2008.
2. Beck, U., Reiner, G., Share, M., Weise, M., Gamer, N. und Wegwerth, T.: Charakterisierung realer, modifizierter und beschichteter Oberflächen für den sterilen Behälter- und Anlagenbau. Mitteldt. Mitt. IV, 10-15 (2009).

3. Bobe, U.: Die Reinigbarkeit von technischen Oberflächen im immmergierten System. Dissertation, TU München (2008).
4. Zhou H. und Peukert W.: Modeling Adhesion Forces between Deformable Bodies by FEM and Hamaker Summation. Langmuir 24, 1459-1468 (2008).
5. Bobe, U., Hofmann, J., Sommer, K., Beck, U. und Reiners, G.: Adhesion – Where cleaning starts. Trends. Food Sci. Technol., 18, 36-39 (2007).
6. Bobe, U., Sommer, K., Beck, U., Reiners, G., Winzer, B. und Peukert, W.: Untersuchungen zur Verbesserung der CIP-Fähigkeit von Oberflächen. Brauwelt 31/32, 844-847 (2007).
7. Bobe, U. und Wildbrett, G.: Anforderungen an Werkstoffe und Werkstoffoberflächen bezüglich Reinigbarkeit und Beständigkeit. Chem. Ing. Tech. 78 (11), 1615-1622 (2006).

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

Weiteres Informationsmaterial:

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

Universität Erlangen-Nürnberg
Department für Chemie und Bioingenieurwesen
Lehrstuhl für Feststoff- und Grenzflächenverfahrenstechnik
Cauerstrasse 4, 91058 Erlangen
Tel.: 09131/8529401, Fax: 09131/8529402
E-Mail: sekretariat@lfg.uni-erlangen.de

Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW
Lehrst. für Maschinen- und Apparatekunde
Am Forum 2, 85350 Freising-Weihenstephan
Tel.: 08161/71-3289, Fax: 08161/71-4242
E-Mail: k.sommer@bl.tum.de

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via:

