

Zirkulationsreinigen (CIP) von geraden Rohren in Abhängigkeit von der Oberflächenrauheit und anderen Einflußfaktoren*

Wolfgang Hoffmann und Helmut Reuter**

In der Lebensmittel-Industrie haben kontinuierliche und weitgehend automatisierte Verarbeitungsverfahren, besonders für flüssige oder fließfähige Produkte, zur anschließenden Zirkulations- oder CIP-Reinigung (cleaning in place) geführt. Um eine bakterielle Kontamination oder den Verderb des Produktes zu verhindern, werden an produktberührte Oberflächen lebensmittelverarbeitender Maschinen und Anlagen besondere Hygiene-Anforderungen gestellt. Die Reinigungsfähigkeit ist das entscheidende Kriterium für die Güte des Oberflächenzustandes. Für die im Molkereibereich überwiegend verwendeten nichtrostenden Stähle sind Mindestanforderungen an den Zustand (Rauheit) der Oberfläche in der DIN 11480 festgelegt worden. Die funktionellen Zusammenhänge zwischen der Reinigungsfähigkeit von Oberflächen und ihrer Rauheit wurden bisher noch nicht systematisch und hinreichend aufgeklärt. Im Gegensatz zu anderen Autoren ermittelten *Langeveld, Bolle* und *Vegter* [1] sowie *Timperley* und *Lawson* [2] einen (tendenziell) linearen Zusammenhang zwischen den Rauheitsmaßen R_a - bzw. RMS-Wert (root mean square) und der Reinigungsfähigkeit.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die funktionellen Zusammenhänge anhand eines einfachen Modelles zu untersuchen. Neben dem Einfluß der Rauheit sollte auch der anderer physikalischer Größen erfaßt werden.

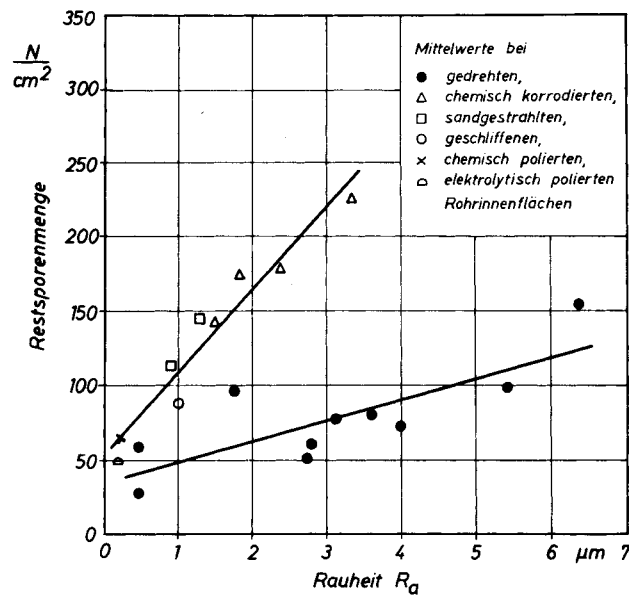


Abb. 1. Restsporenmenge in Abhängigkeit von der Rauheit. Magermilch-Sporen-Belag, $N_0 = 50\,000$ Sporen/cm², 0,3% NaOH, Temperatur $\vartheta = 70^\circ\text{C}$, mittlere Strömungsgeschwindigkeit $v = 2$ m/s, Reinigungszeit $t = 5$ min.

1 Methodik

Gerade Rohrstücke aus Cr-Ni-Stahl (Werkstoff-Nr. 1.4301) mit einer Länge von 150 mm und DN 50 erhielten durch Drehen, chemisches Korrodieren und andere Bearbeitungsverfahren wie Polieren oder Sandstrahlen unterschiedlich raue Innenflächen (R_a von 0,20 bis 9,12 μm).

Der Reinigungserfolg ließ sich mit einer mikrobiologischen Methode gut nachweisen. Sporen von *Bacillus stearothermophilus* wurden, in Wasser oder Milch suspendiert, mit bekannter Anfangskeimzahl N_0 auf den Rohrrinnenflächen angetrocknet. Nach dem Reinigen wurden ihre Restkeimzahlen N bestimmt.

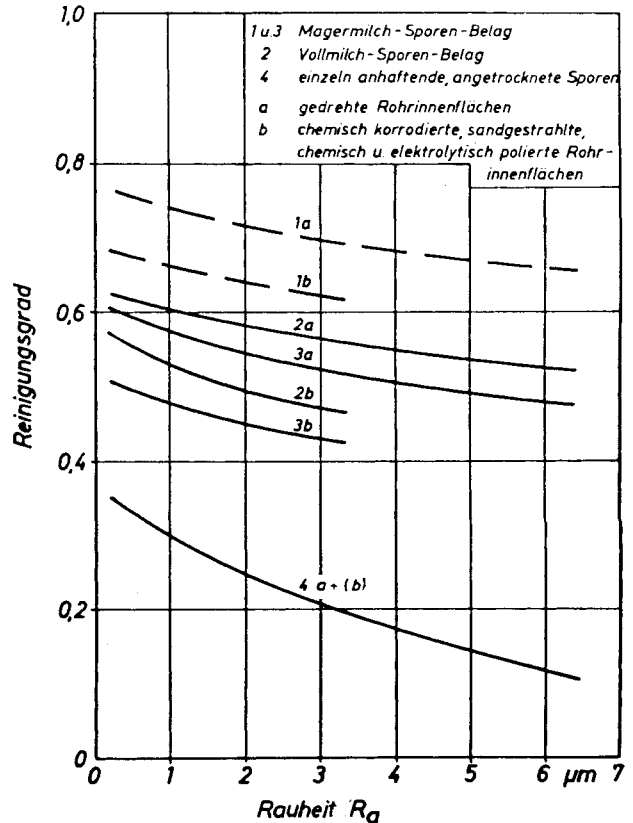


Abb. 2. Reinigungsgrad in Abhängigkeit von der Rauheit bei verschiedenen Belägen. — 0,3% NaOH, $\vartheta = 70^\circ\text{C}$, $v = 2$ m/s, $t = 5$ min; - - - 1% P 3-N 421, $\vartheta = 70^\circ\text{C}$, $v = 1,5$ m/s, $t = 15$ min; $N_0 = 50\,000$ Sporen/cm² (Kurven 2 u. 3), 25 000 Sporen/cm² (Kurve 1), 50 Sporen/cm² (Kurve 4).

Für die Reinigungsversuche wurde ein bereits früher beschriebener Reinigungskreislauf benutzt [3]. Variiert wurden neben der Oberflächenrauheit die Temperatur der Reinigungslösungen, ihre Strömungsgeschwindigkeit und die Reinigungszeit.

In die Ergebnisse ging nur der mechanische Abspülfekt ein; der chemische, bakterizide Effekt der Reinigungsmittel (0,3% NaOH oder 1% P 3-N 421 der Fa. Henkel KGaA/Düsseldorf) wurde nicht berücksichtigt.

2 Ergebnisse und Diskussion

Den Einfluß der Rauheit auf das Abspülen des Magermilch-Sporen-Belags zeigt Abb. 1. R_a -Wert und Restsporenmenge N korrelierten bei nicht gedrehten Rohrrinnenflächen signifikant linear. Bei gedrehten Innenflächen war der Rauheitseinfluß so gering, daß Signifikanz

* Nach einem Vortrag von H. Reuter auf dem Jahrestreffen der Verfahrens-Ingenieure, 28. bis 30. Sept. 1983 in Nürnberg.

** Dr. W. Hoffmann und Prof. Dr.-Ing. H. Reuter, Institut für Verfahrenstechnik, Bundesanstalt für Milchwissenschaft, Hermann-Weigmann-Str. 1, 2300 Kiel.

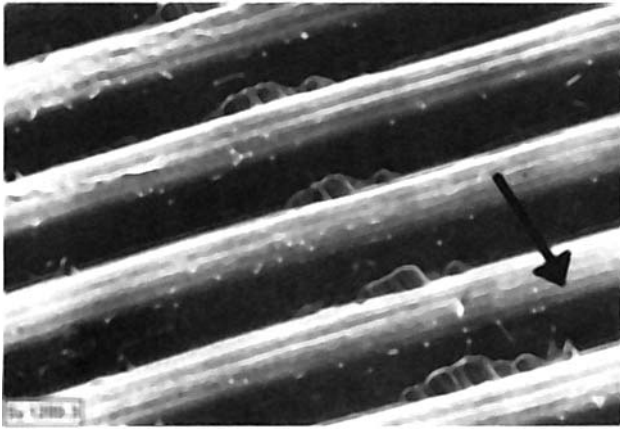


Abb. 3. Gedrehte Rohrrinnenfläche mit Restsporen nach Reinigen mit 0,3% NaOH, $\vartheta = 70^\circ\text{C}$, $v = 2\text{ m/s}$, $t = 5\text{ min}$; $N_0 = 125\,000$ Sporen/cm², Rillenabstand 40 μm . Der Pfeil zeigt die Hauptströmungsrichtung an.

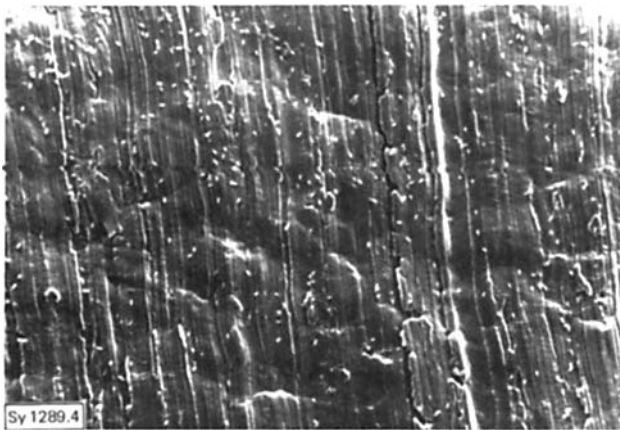


Abb. 4. Geschliffene Oberfläche ($R_a = 0,6\ \mu\text{m}$) mit Restsporen nach Reinigen mit 0,3% NaOH, $\vartheta = 70^\circ\text{C}$, $v = 2\text{ m/s}$, $t = 5\text{ min}$; $N_0 = 800\,000$ Sporen/cm², Vergrößerung ca. 330fach.

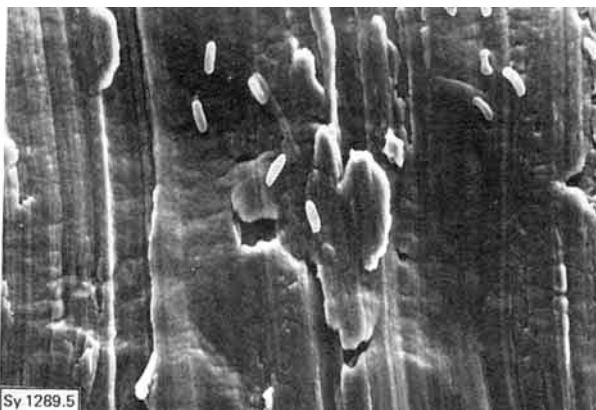


Abb. 5. Geschliffene Oberfläche ($R_a = 0,6\ \mu\text{m}$) mit Restsporen nach Reinigen mit 0,3% NaOH, $\vartheta = 70^\circ\text{C}$, $v = 2\text{ m/s}$, $t = 5\text{ min}$; $N_0 = 800\,000$ Sporen/cm², Vergrößerung ca. 1660fach.

nicht nachgewiesen werden konnte (Korrelationskoeffizient $r = 0,79$). Die Restsporenmengen bewegten sich, wie auch bei allen anderen Versuchen, innerhalb einer Zehnerpotenz. Die funktionelle Abhängigkeit der Restsporenmenge von der Temperatur (40 bis 80°C), der Strömungsgeschwindigkeit (0,5 bis 5 m/s) oder der Zeit (5 bis 20 min) ließ sich für den Magermilch-Sporen-Belag in einem halblogarithmischen Koordinatensystem angenähert

jeweils als Gerade darstellen. Es ließ sich errechnen, wie sich die jeweiligen Werte der Einflußfaktoren ändern müßten, um die Restsporenmenge auf die Hälfte zu reduzieren. Für die Praxis dürfte das Anheben der Temperatur mit den geringsten Kosten verbunden sein. Für das untersuchte Zeitintervall, in dem eine logarithmische Zeitfunktion galt, wurde formal eine „Aktivierungsenergie“ $E = 13\text{ kJ/mol}$ bzw. ein Temperaturkoeffizient $T_a = E/R$ von 1,6 K bestimmt (R universelle Gaskonstante). Anstelle der Restsporenmenge wurde auch der sog. „Reinigungsgrad“ W als abhängige Größe eingeführt:

$$W = \frac{\ln N_0 - \ln N}{\ln N_0 - \ln N_u} \quad (1)$$

(N_u untere Keimzahl-Meßgrenze). W bewegt sich definitionsgemäß zwischen 0 und 1, wobei 0 bedeutet, daß noch kein Schmutz entfernt ist, und 1, daß die Oberfläche völlig sauber ist. Es ist der Reinigungsvorgang vorzuziehen, bei dem W am nächsten bei 1 liegt. Die Wirkungen wechselnder Reinigungsbedingungen lassen sich über den Reinigungsgrad besser als über dimensionsbehaftete Restmengen darstellen. Die Ergebnisse zum Einfluß der Rauheit der Rohrinneflächen, die mit unterschiedlichen Belagarten verschmutzt und mit verschiedenen Mitteln gereinigt wurden, zeigt Abb. 2. Vollmilch-Sporen- und Magermilch-Sporen-Beläge, die mit einem NaOH-haltigen Reinigungsmittel abgelöst wurden, verhielten sich weitgehend gleich. Aufgrund der Versuchsergebnisse stellte sich die Frage, ob die Oberflächenrauheit, definiert als Gestaltabweichungen 3. bis 5. Ordnung, tatsächlich einen so geringen Einfluß ausübte oder ob R_a - und RMS-Wert die Rauheit nur unzureichend wiedergaben. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zeigten, daß beide Werte die Rauheit ausreichend genau bestimmten. Voraussetzungen dafür sind bei Messung mit Tastschnittgeräten eine genügend große Anzahl von Tastschnitten pro Fläche, ein Fühler mit nicht zu großem Spitzenradius und/oder nur wenig spaltähnliche Vertiefungen. Letzteres ist bei den meisten verwendeten Stahloberflächen gewährleistet. Auch die Frage, ob es überhaupt sinnvoll ist, die Rauheitsmaße R_a - und RMS-Wert mit der mikrobiologischen Reinigungsfähigkeit von Oberflächen korrelieren zu wollen, konnte positiv beantwortet werden. Bei ausgeprägten Rauheitsstrukturen, wie sie die geordnet rillige Innenfläche eines gedrehten Rohres darstellt, konnten sehr gut angeströmte Zonen und Strömungsschatten an den unterschiedlichen Restsporenmengen erkannt werden (Abb. 3). Die Ergebnisse, s. auch Abb. 4 und 5, machten insgesamt deutlich, daß die Ansprüche an die Oberflächen produktberührter Molkereimaschinen und -anlagen, wie sie in der DIN 11480 festgelegt sind (R_a unter 0,4 bzw. 0,8 μm), voll ausreichend sind.

Eingegangen am 30. November 1983

- [1] Langeveld, L. P. M.; Bolle, A. C.; Vegter, J. E.: Neth. Milk Dairy J. 26 (1972) S. 149/154.
- [2] Timperley, D. A.; Lawson, G. B., in: Hygienic design and operation of food plant (Ed. R. Jowitt), S. 79, Verlag E. Horwood, Chichester 1980.
- [3] Graßhoff, A.: Kiel. Milchwirtsch. Forschungsber. 32 (1980) Nr. 4, S. 273/298.

Schlüsselworte: CIP-Reinigung, Rohre, Oberflächenrauheit, Bakteriensporen, Reinigungsfaktoren, Reinigungsgrad, Rasterelektronenmikroskopie, Lebensmittel-Technologie.

Das vollständige Manuskript dieser Arbeit umfaßt 24 Seiten mit 13 Abbildungen und 16 Literaturzitaten. Es ist als Fotokopie oder Mikrofiche MS 1216/84 erhältlich. Eine Bestellkarte finden Sie am Schluß dieses Heftes.