

# Untersuchungen zum Reinigungsverhalten zylindrischer Toträume\*

Albrecht Graßhoff und Helmut Reuter\*\*

Festverlegte Rohrleitungssysteme und CIP (cleaning in place) sind Begriffe, die aus dem modernen und leistungsfähigen Betrieb der Getränke-Industrie nicht mehr wegzudenken sind. Der Ausschluß partieller manueller Ummontagen unter Wahrung sämtlicher notwendiger Funktionen erfordert einen hohen Aufwand an komplizierten Rohrleitungs- und Ventilschaltungen. Dabei entstehen, da die Teilelemente des Systems konstruktions- und montagebedingt ein Mindestmaß an räumlicher Ausdehnung haben müssen, zwangsläufig Teilstrecken in den Verbindungsleitungen, die nicht ständig durchströmt werden, d. h. strömungstechnische Toträume. Unter dem Gesichtspunkt ihrer Reinigungsfähigkeit im CIP stellen Toträume besonders kritische Zonen dar, die hinsichtlich der von ihnen ausgehenden Betriebsrisiken in ihrer Bedeutung nicht unterschätzt werden dürfen.

Grundsätzlich lassen sich Toträume in bezug auf ihre räumliche Lage zur Hauptströmung und ihre geometrische Einbaulage in drei Klassen unterteilen (Abb. 1). Für alle drei Strömungsfälle wurden in zylindrischen Toträumen das Bewegungs- und Freispülverhalten an Newtonschen Flüssigkeiten qualitativ und quantitativ beschrieben [1]. Eine Korrelation zwischen den Strömungsbildern und deren Effizienz auf das Entfernen von an den Wandungen haftenden fluiden oder festen Partikeln konnte in [1] nicht hergestellt werden.

Die in der Literatur beschriebenen Methoden zur Bestimmung der Reinigungseffizienz [2-11] wurden auf ihre Anwendbarkeit für Reinigungsversuche an Totrohren überprüft, eine modifizierte mikrobiologische Methode [8] wurde probeweise praktiziert, jedoch

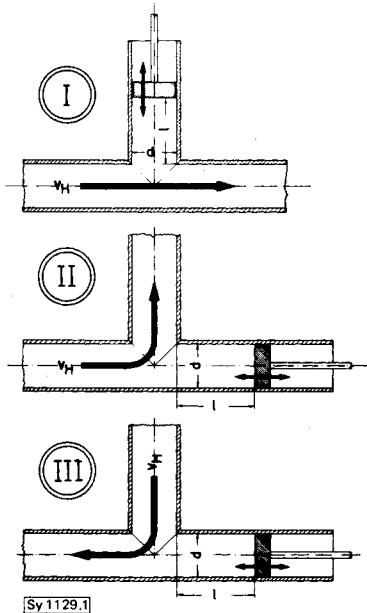


Abb. 1. Grundsätzlich mögliche Strömungsführung in einem rechtwinklig verzweigten Rohrleitungssystem mit Totraum.

\* Vortrag von A. Graßhoff auf dem Jahrestreffen der Verfahrens-Ingenieure, 29. Sept. bis 1. Okt. 1982 in Basel.

\*\* Dr.-Ing. A. Graßhoff und Prof. Dr.-Ing. H. Reuter, Institut für Verfahrenstechnik der Bundesanstalt für Milchwirtschaft, Hermann-Weigmann-Str. 1-27, 2300 Kiel.

erwies sich diese in ihrem örtlichen Auflösungsvermögen als nicht genau genug, um den komplizierten Strömungsverhältnissen im Totraum gerecht zu werden.

## 1 Versuche mit Butterfett auf Acrylglas

Nach einer Serie von Versuchen mit unterschiedlichen Testverschmutzungen unter Anwendung verschiedener Reinigungs- und Lösungsmittel erwies sich die Kombination Butterfett auf Acrylglas/alkalisches (nicht fettlösendes!) Reinigungsmittel/Petrolether zur Analyse des strömungsmechanischen Anteils am Reinigungsverhalten in Toträumen von Rohrleitungssystemen als gut geeignet. Hierzu wurden Acrylglasrohrstücke inwendig durch Aufschleudern von aufgeschmolzenem, intensiv rot angefärbtem Butterfett beschichtet. Nach Erstarren des Fettfilms wurden die Rohrstücke, montiert in einer Rohrleitungsschleife NW 50, einem Reinigungsprozeß (alkalisches Reinigungsmittel (1%),  $T = 70^\circ\text{C}$ ) ausgesetzt. Das nicht entfernte Restfett wurde zonenweise mit Petrolether abgelöst, der proportional mit dem Fett in das Lösungsmittel übergegangene rote Farbstoff (Sudanrot B) wurde photometrisch ermittelt, wobei in direkter Messung ohne Rückverdünnung Fettwerte zwischen 0,01 und 5,0 mg/cm<sup>2</sup> meßbar waren.

Referenzversuche am geradlinig durchströmten Rohr: Um die am Totrohr erhaltenen Versuchsergebnisse quantitativ auswerten zu können, wurden mit der Butterfett-auf-Acrylglas-Methode zunächst Versuche am geradlinig durchströmten Rohr durchgeführt. Für

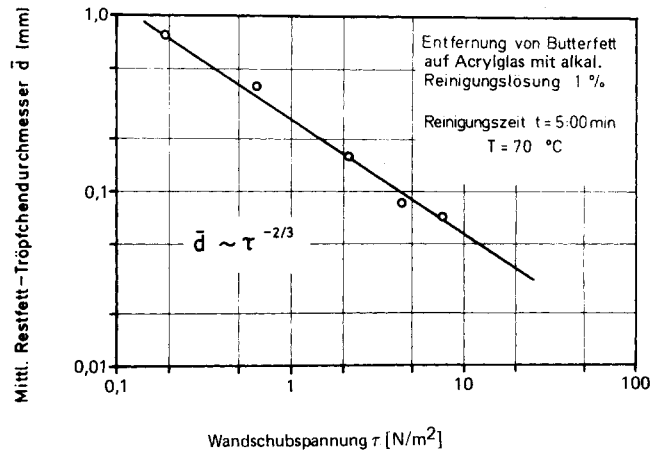


Abb. 2. Mittlerer Restfett-Tröpfchendurchmesser  $\bar{d}$  auf einem geradlinig durchströmten Acrylglasrohr in Abhängigkeit von der berechneten Wandschubspannung  $\tau$ .

unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten der Reinigungslauge wurden bei konstanter Reinigungszeit und -temperatur die Restfettwerte ermittelt und über der errechneten Wandschubspannung aufgetragen (Abb. 2). Mit Meßlupe und Stereomikroskop wurden die Fetttropfchen ausgemessen und als gemittelte Werte ebenfalls über  $\tau$  dargestellt. Das Vorhandensein einer funktionellen Beziehung zwischen Restfettmenge bzw. Tröpfchengröße und Wandschubspannung zeigt, daß die Methode als Indikator für den Einfluß des Parameters Strömungsmechanik am Gesamtreinigungsprozeß verwendbar ist.

Reinigungsversuche an zylindrischen Toträumen: Die Reinigungsversuche am Totrohr wurden für die drei möglichen Strömungsfälle und in verschiedenen Einbaulagen (hängend, waagrecht liegend und aufrecht stehend) durchgeführt, jeweils bei 70°C und 5 min Laugenreinigungsdauer. Nach dem Reinigungsversuch wurden die Rohre

kaltwasserfixiert (Erstarrung des Restfettes an der Rohrwandung) und bis zum Ablösen des Restfettes im Kühlraum aufbewahrt. Von jedem Rohrstück von 250 mm Länge wurden bis zu 20 Fettwerte ermittelt. Da die absoluten, dimensionsbehafteten Zahlenangaben wenig Aussagekraft haben, wurden sie mit Ergebnissen korreliert, die im geradlinig durchströmten Rohr bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 1,0 m/s, 70°C und 5 min Reinigungsdauer erhalten wurden. Die

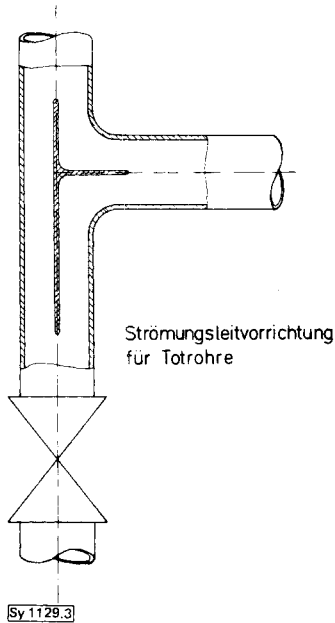


Abb. 3. Leitvorrichtung zur Erzielung einer erzwungenen Strömung im Totraum.

dimensionslosen Fettwerte wurden über der relativen Totraumtiefe  $l/d$  und der geometrischen Abwicklung des Zylindermantels aufgetragen. Parameter ist die Strömungsgeschwindigkeit  $v_H$  der Reinigungslauge im Hauptkreislauf. Die Zonen intensiver bzw. geringer Strömungsbeanspruchung innerhalb des Totraums lassen sich auf diese Weise eindeutig lokalisieren und können als Basis für konstruktive Maßnahmen zur Verbesserung der reinigungstechnisch kritischen Toträume herangezogen werden.

## 2 Vorschlag einer konstruktiven Lösung des Totraumproblems

Die Untersuchungen zum Strömungsverhalten von Flüssigkeiten in Toträumen haben gezeigt, daß die Flüssigkeitsbewegung mit zunehmender Totraumtiefe sehr schnell auf Bruchteile ihrer Intensität an der Totraumöffnung abfällt, z. B. beträgt im Strömungsfall I in drei Rohrdurchmessern Tiefe die mittlere Teilchengeschwindigkeit nur noch 4% des Wertes der Hauptströmung. Da in der Praxis Werte von 2,0 m/s für  $v_H$  kaum übertroffen werden, ist die Periphergeschwindigkeit (in diesem Fall um 0,08 m/s) nicht ausreichend, um eine zufriedenstellende Reinigung zu garantieren. Die Erhöhung von  $v_H$  brächte keine umwälzende Veränderung der Verhältnisse im Totraum und wäre zudem mit einem enormen Aufwand verbunden. Die Lösung kann nur darin bestehen, durch geeignete Maßnahmen für eine Zwangsbewegung im Totraum zu sorgen, beispielsweise durch einen Strömungsteiler, der einen Teilstrom aus der Hauptströmung abtrennt und in den Totraum hinein ablenkt, wie in Abb. 3

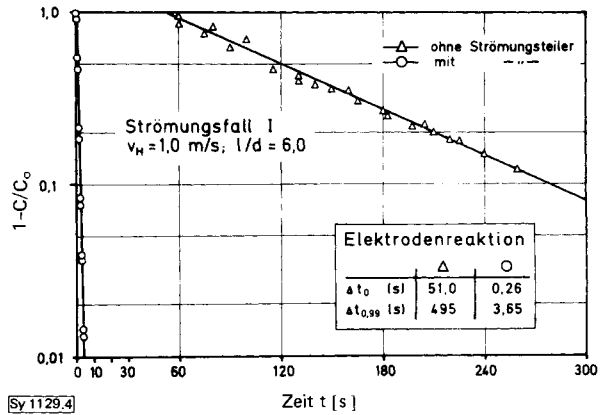


Abb. 4. Effizienz der Strömungsleitvorrichtung bei einer Totraumtiefe von  $6d$  (Strömungssituation I entsprechend Abb. 1);  $C/C_0$  relative Konzentration,  $\Delta t_0$  Zeit bis zur ersten Antwortreaktion,  $\Delta t_{0,99}$  Zeit von der ersten Antwortreaktion bis zum Erreichen von 99% der Konzentration  $C_0$ .

dargestellt [12]. Durch die Trennwand im Totraum ist für eine eindeutige Führung des Fluidstroms gesorgt, im hinteren Totraumbereich ist die Verwirbelung ausreichend stark, um eine einwandfreie Reinigung ohne Bildung neuer Tot- und Stauzonen zu gewährleisten. Abb. 4 zeigt die Effizienz der Strömungsleitvorrichtung. In einem Totraum von  $6d$  Tiefe konnte  $t_0$  (die Zeit vom Auftreffen eines Konzentrationssprunges in der Hauptströmung auf die Totrohrmündung bis zur ersten Antwortreaktion einer Sonde am Totraumboden) von 51,0 auf 0,26 s reduziert werden, für den 99proz. Konzentrationsausgleich verminderten sich die Zeiten von 495 auf 3,65 s.

Eingegangen am 22. Oktober 1982

- [1] Graßhoff, A.: Kiel. Milchwirtsch. Forschungsber. 32 (1980) S. 273, 298.
- [2] Anderson, M. E., et al.: J. Milk Food Technol. 35 (1972) Nr. 6, S. 325/334; 36 (1973) Nr. 11, S. 554/558; 37 (1974) Nr. 6, S. 305/307.
- [3] Eugster, K. E.; Skura, B. I.; Powrie, W. D.: J. Food Protect. 43 (1980) Nr. 6, S. 447/449, 464.
- [4] Rasmussen, L. M.; Maxcy, R. B.: J. Dairy Sci. 62 (1979) Nr. 2, S. 249/252.
- [5] Beer, M.; Kuhn, E.: Isotopenpraxis 3 (1967) Nr. 9, S. 380/382.
- [6] Jennings, W. G.: J. Dairy Sci. 44 (1961) S. 258/268.
- [7] Konrad, D.; Scheibal, A.: Nahrung 22 (1978) Nr. 6, S. 549/555.
- [8] Galesloot, T. E., et al.: Neth. Milk Dairy J. 21 (1967) S. 214/222.
- [9] Dunsmore, D. G.; French, R. A.: Aust. J. Dairy Technol. 33 (1978) Nr. 4, S. 135/138.
- [10] Dunsmore, D. G.; Thomsom, M. A.: J. Food Protect. 44 (1981) Nr. 1, S. 15/27.
- [11] Hoffmann, W.: Institut für Verfahrenstechnik der Bundesanstalt für Milchforschung, Kiel, persönliche Mitteilung.
- [12] Deutsche Patentanmeldung P 32 07 239.2 v. 24. 2. 1982, Deutsches Gebrauchsmuster G 82 05 573.4 v. 24. 6. 82.

**Schlüsselworte:** CIP-Reinigung, Toträume, Belagablösung, Rohrleitungssysteme, Strömungsmechanik.

Das vollständige Manuskript dieser Arbeit umfaßt 27 Seiten mit 19 Abbildungen und 30 Literaturzitaten. Es ist als Fotokopie oder Mikrofiche MS 1106/83 erhältlich. Eine Bestellkarte finden Sie am Schluß dieses Heftes.