

Reinigen und Desinfizieren im Molkereibetrieb

Stand des Wissens und der Technik*

Helmut Reuter**

Die Reinigungs- und Desinfektionsvorgänge im Molkereibetrieb sind ein integraler Bestandteil der Verarbeitungsverfahren. Anlagen und Rohrleitungen müssen daher auch unter Berücksichtigung des Reinigens und Desinfizierens konstruiert werden. Reinigen und Desinfizieren als Grundprozesse (unit processes) der Lebensmittelverarbeitung werden durch folgende Faktoren beeinflusst: Art der Verunreinigung bzw. Mikroorganismen, konstruktive Gestaltung der Anlage, chemische Faktoren, mechanische Faktoren, Temperatur und Zeit. Das Abtragen der in der Praxis vorkommenden Verunreinigungen läßt sich zwischen zwei Extremfällen einordnen. Im günstigsten Fall liegt eine molekulare Löslichkeit mit Diffusion unter der Wirkung eines Konzentrationsgefälles durch die Grenzschicht vor, und der Vorgang kann über den Stoffübergang beschrieben werden. Der ungünstigste Fall liegt vor, wenn keine Löslichkeit besteht und die Verunreinigung aus Makro-Partikeln aufgebaut ist, die untereinander und mit der Wand durch starke Bindekräfte gebunden sind, die allein durch Strömungskräfte zu überwinden sind. Das Ablösen der Partikel ist in diesem Fall statistisch verteilt; die am stärksten gebundenen Partikeln benötigen die längste Zeit bis sie sich ablösen. Der Vorgang läßt sich durch ein logarithmisches Zeitgesetz erfassen.

Cleaning and disinfection in dairy plant — State of the art. Cleaning and disinfection in dairy plant constitute an integral part of processing. Plant and pipework must therefore be constructed with a view to cleaning and disinfection. Cleaning and disinfection as unit processes in food processing are affected by the following factors: nature of contaminants or microorganisms, design of plant, chemical factors, mechanical factors, temperature, and time. The removal of contaminations occurring in practice can be located between two extremes. In the most favourable case we are concerned with molecular solubility with diffusion under the action of a concentration gradient through the interface, and the process can be described in terms of mass transfer. The least favourable case is encountered when there is no solubility and contamination is by macroparticles which are joined to each other and to the wall by strong forces which can only be overcome by flow forces. Removal of the particles is then subject to a statistical distribution; the particles bound most firmly require the longest time for their removal. The process can be described by a logarithmic time law.

1 Einleitung

Im modernen Molkereibetrieb bilden Reinigungs- und Desinfektionsverfahren die notwendige Ergänzung der Produktionsverfahren und die Grundlage für die risikolose Distribution der Produkte. Reinigungs- und Desinfektionsvorgänge sind daher heute ein integraler Bestandteil der Verarbeitungsverfahren.

Die routinemäßig anfallenden Reinigungsvorgänge sind unproduktive Mehrarbeiten und durch Arbeitsstunden, Materialverbrauch, einem bedeutenden Energieverbrauch sowie die Abwasserbelastung ein Kostenfaktor, der zu einem erheblichen Anteil in den Gesamtverarbeitungs-Kosten zu finden ist. Die Reinigungsvorgänge sind daher ein bevorzugter Sektor der Rationalisierung. Im Molkereibetrieb, der mit vorwiegend flüssigen und fließfähigen Medien arbeitet und damit prädestiniert ist für kontinuierliche Verfahrensweisen und Automatisierungen, konnten die in den geschlossenen Systemen routinemäßig anfallenden Reinigungsvorgänge ebenfalls leicht automatisiert werden. Die Entwicklung hat zur heute allgemein angewendeten Zirkulations- oder CIP-

Reinigung (cleaning in place) geführt, bei der im Gegensatz zur früheren Praxis keine oder nur ganz wenige Anlagenteile manuell geöffnet und gereinigt werden.

2 Definitionen

Reinigen im vorliegenden Falle bedeutet das Entfernen unerwünschter Stoffe, im Sammelbegriff als Verunreinigungen bezeichnet, von einer festen Oberfläche eines Apparates oder eines Rohrleitungssystems. Der Effekt des Reinigens ist nicht immer einfach festzustellen. Physikalische Reinheit oder Sauberkeit der Oberfläche bedeutet, daß keine sichtbaren Verunreinigungen mehr vorhanden sind. Feststellen läßt sich dies jedoch nur an optisch zugänglichen Flächen. Chemische Sauberkeit bedeutet, daß keine chemisch nachweisbaren Verunreinigungen oder Rückstände auf der Oberfläche vorhanden sind. Sie ist unter den üblichen Bedingungen kaum zu erreichen, da immer Adsorptionsschichten zurückbleiben.

Durch Reinigen wird der größte Teil der an den Verunreinigungen oder Schmutzpartikeln anhaftenden oder durch sie eingeschlossenen Mikroorganismen mit entfernt. Durch gutes Reinigen können Keimreduktionen um mehrere Zehnerpotenzen erreicht werden. Eine Gewähr für Keimfreiheit an der Oberfläche nach einem Reinigungsvorgang ist jedoch nicht gegeben. Im Anschluß an das Reinigen wird daher die Oberfläche desinfiziert. Dies führt zu einer je nach Zustand der Oberfläche und Desinfektionsverfahren äußerst keimarmen Fläche. Ein vollständiges Abtöten aller vegetativen

* Nach einem Vortrag gehalten von Dipl.-Ing. J. Quente auf dem Jahrestreffen der Verfahrens-Ingenieure, 29. Sept. bis 1. Okt. 1982 in Basel.

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

Keime und Sporen kann nur durch Sterilisieren der Oberfläche erreicht werden.

3 Reinigen

Das Reinigen besteht aus einem gleichzeitigen Zusammenwirken einer Reihe von vorgegebenen oder variablen Faktoren, die – jeder für sich allein angewendet – wenig oder nicht wirksam sein können. Insgesamt sind es 6 Faktoren, die berücksichtigt werden müssen und die den Reinigungseffekt beeinflussen:

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1) Art der Verunreinigung | } prozeßbedingte und vorgegebene Faktoren von der chemischen Zusammensetzung des Reinigungsmittels abhängige und variable Faktoren |
| 2) konstruktive Gestaltung | |
| 3) chemische Faktoren | } verfahrenstechnische und variable Faktoren |
| 4) Zeit | |
| 5) Temperatur | |
| 6) strömungsbedingte Faktoren | |

3.1 Verunreinigungen

In Milchverarbeitenden Betrieben sind die Verunreinigungen in bezug auf ihre Eigenschaften von einer gewissen Einheitlichkeit und lassen sich in zwei Arten einteilen:

1. Flüssige Adhäsionsfilme von Produkt, Reinigungs- oder Desinfektionsmittel, die an den von fluiden Stoffströmen benetzten Oberflächen von Rohrleitungssystemen, Behältern und Apparaten nach dem Entleeren haften.

2. Angetrocknete Produktreste, die innen oder außen an den Verarbeitungsanlagen haften können, und feste Beläge, die an beheizten Oberflächen in Erhitzern und Verdampfern oberhalb bestimmter Temperaturen und auch an nicht beheizten Flächen in Rohrleitungen und Ventilen entstehen.

Am schwierigsten zu entfernen sind die unter höheren Temperaturen entstehenden festen Beläge, deren chemische Zusammensetzung, Dicke, Struktur und Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Reinigen von mehreren Faktoren abhängig sind. Diese Ablagerungen, bestehend aus denaturiertem Protein, Fett und mineralischem Anteil, werden

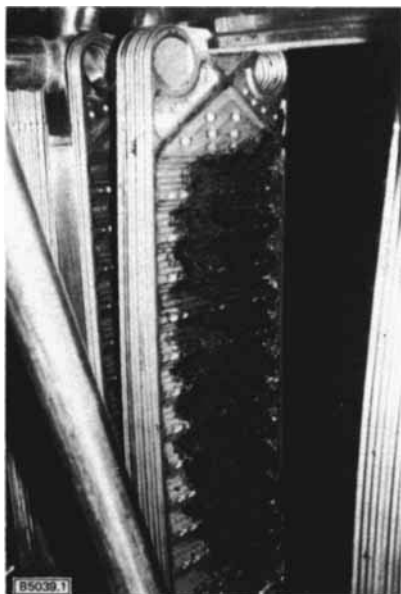


Abb. 1. Platte eines Rahm-Erhitzers nach dem Reinigen mit nicht abgetragenen Rückständen des Belages auf der rechten Seite.

vielfach als Milchstein, in Brauereien als Bierstein bezeichnet. Abb. 1 zeigt Rückstände eines derartigen Belages auf der rechten Seite der Platte eines Plattenwärmeaustauschers für Rahm (Rahmerhitzer) nach dem Reinigen. Der Belag war so resistent, daß er von den auf der linken Seite durchgeschlagenen Reinigungslösungen nicht abgetragen wurde.

3.2 Konstruktive Gestaltung

Die konstruktive Gestaltung einer Anlage entscheidet über deren Reinigungsfähigkeit und den zu erzielenden Reinigungseffekt. Verarbeitungsanlagen für die Lebensmittel-Industrie werden nicht nur nach der zu erfüllenden Prozeßfunktion, sondern auch nach ihrer Reinigungsfähigkeit konstruiert. Unzureichende Reinigungs- und Desinfektionswirkungen sind daher oft durch Konstruktionsmängel der Anlage bedingt. Allgemeine konstruktive Anforderungen an Produktionsanlagen hinsichtlich ihrer Reinigungsfähigkeit werden in [1] aufgeführt.

Bei der Konstruktion der einzelnen technischen Elemente und schon während der Planung der Anlagen muß darauf geachtet werden, daß sie von der Gestaltung und von den verwendeten Materialien her leicht zu reinigen und problemlos zu desinfizieren sind.

Ein Abtragen von Verunreinigungen ist nur bei direktem Kontakt mit der Reinigungsmittel-Lösung möglich. Auch für das Desinfizieren gilt, daß eine Keimabtötung nur bei direktem Kontakt des Desinfektionsmittels mit dem einzelnen Keim möglich ist. Beide Fälle setzen daher für alle Oberflächen mit direktem oder indirektem Lebensmittelkontakt die volle Zugänglichkeit des Reinigungs- oder Desinfektionsmittels voraus. Es ist also z. B. unter festliegenden Dichtflächen, unter denen sich Produktreste festgesetzt haben, ein Reinigen und Desinfizieren kaum möglich.

Toträume, starke Staupunkt- und Totwasserströmungen, Spalten sollen vermieden werden. Verschweißte Rohrleitungssysteme sind günstiger als solche mit demontierbaren Rohrverbindungen (Verschraubungen, Klemmverbindungen), die nicht zu vermeidende Spalten bilden. Wegen des Aufwands einer entsprechenden Schweißnahtbearbeitung einerseits und unter Berücksichtigung des geringen Flächenanteils der Schweißnähte andererseits erschien es gerechtfertigt, bei Schweißnähten, insbesondere in Sichtflächen, höhere Rauheiten in den jeweiligen Anforderungsstufen zuzulassen.

In Rohrleitungssystemen mit Abgängen lassen sich Toträume zwischen der Hauptleitung und dem nächstsitzenden Ventil im Abgang nicht vermeiden. Im Molkereibau gilt als Regel, daß das Verhältnis der Totraumtiefe H zum Durchmesser d der Hauptleitung $H/d \leq 2$ sein sollte, um die tote Strecke gut reinigen zu können. Nach neueren Untersuchungen sollte je nach Lage der toten Strecke $H/d \leq 1$ sein [2, 3].

Ein wesentliches Gestaltungsmerkmal stellt die Rauheit der zu reinigenden oder zu desinfizierenden Oberfläche dar. Mit abnehmender Rauheit wird unter sonst gleichen Bedingungen die Reinigungsfähigkeit besser und außerdem das Rückhaltevermögen für Produktreste und Mikroorganismen geringer. Die Abb. 2 zeigt den Einfluß der mittleren Rauheit auf das Reinigungs-Ergebnis von Rohrrinnenflächen [4]. Gereinigt wurden Rohre (DN 50) mit unterschiedlicher mittlerer Rauheit, einem angetrockneten, festen Magermilch-Sporenbelaag und unter den gleichbleibenden Bedingungen einer Reinigungslösung von 0,3% NaOH, einer Temperatur von 70°C, einer Strömungsgeschwindigkeit von 2 m/s sowie einer Reinigungszeit von 5 min.

Die Anfangs-Sporenmenge N_0 betrug jeweils 50 000 Sporen/cm². Nach dem Reinigungsversuch wurde die Rest-Sporenmenge N bestimmt, deren Nachweis wesentlich

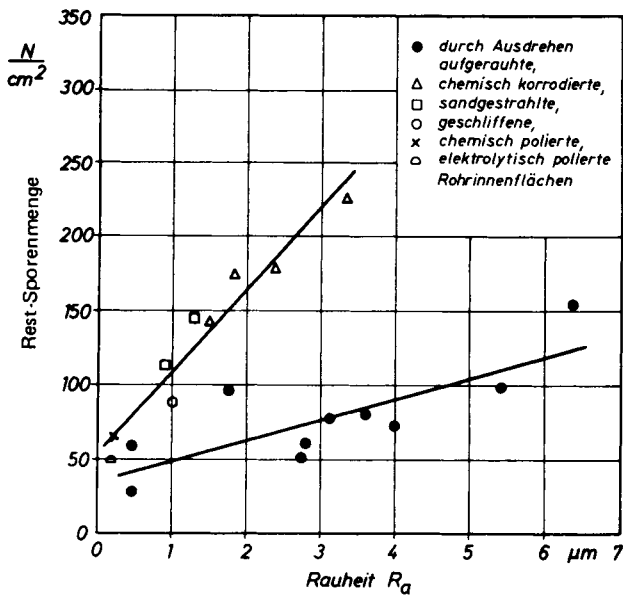


Abb. 2. Nach dem Reinigen (0,3% NaOH, $T = 70^\circ\text{C}$, $w = 2\text{ m/s}$, $t = 5\text{ min}$) im Rohr (DN 50) noch verbleibende Rest-Sporenmenge N (Anfangs-Sporenmenge $N_0 = 50\,000\text{ Sporen/cm}^2$) in Abhängigkeit von der mittleren Rauheit R_a der Rohrfinnenfläche.

empfindlicher ist als die chemische Analyse der Rückstände. Aus Abb. 2 wird deutlich, daß sich die Rest-Sporenmengen vom „glatten“ bis zum „rauen“ Rohr um weniger als eine Zehnerpotenz unterscheiden. Aber auch am „glatten“ Rohr haften nach dem Reinigen noch Mikroorganismen. Der notwendige Reinheitsgrad und damit auch die zulässige Rauheit der Oberflächen sind abhängig von der mikrobiologischen Gefährdung des Gutes und dementsprechend in den verschiedenen Verfahren und Verfahrens-Stufen unterschiedlich hoch anzusetzen.

Mindestanforderungen für die einzuhaltende Oberflächengüte gibt die DIN 11480 [5] an. Produktberührte Oberflächen der Verarbeitungsanlagen sollen Mittenrauhwerte von 0,1 bis 0,4 μm und Anlagen für aseptische Verfahren R_a -Werte $< 0,1\ \mu\text{m}$ aufweisen. Nach längerem Betrieb findet man wesentlich rauhere Oberflächen.

Wesentlich erschwert werden die Konstruktionsbedingungen noch, wenn die Forderung nach Sterilisierbarkeit der Anlage für aseptischen Betrieb, zum Beispiel bei Ultrahochtemperatur (UHT)-Anlagen, zu erfüllen ist. Die Anlage muß dann bis ins kleinste Detail für aseptische Arbeitsbedingungen – äußerst glatte Flächen, keine Spalten im sterilen Teil des Produktflusses, Dichtheit als Selbstverständlichkeit vorausgesetzt – ausgelegt werden.

Als Werkstoff für Rohrleitungen, Armaturen und Apparate werden heute überwiegend nichtrostende Stähle X5 CrNi 18 9, Werkstoff-Nr. 1.4301, und X5 CrNiMo 18 10, Werkstoff-Nr. 1.4401, eingesetzt.

Bei besonderen Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit kommen durch Titan-Zusätze stabilisierte oder hochmolybdänhaltige Stähle zur Anwendung. Für die weite Verbreitung der nichtrostenden Stähle in der Lebensmittel-Industrie sind deren Eigenschaften – Korrosionsbeständigkeit gegen Lebensmittel, Reinigungs- und Desinfektionsmittel, Toxizitätsfreiheit, gute Reinigungsfähigkeit – von Bedeutung [6]. Neben den nichtrostenden Stählen finden Kunststoffe zunehmend Verwendung. Sie werden, um nur einige Anwendungsfälle zu nennen, eingesetzt als Auskleidungen von Tanks, als Dichtungsmaterial, für Schlauch- und Rohrleitungen, Armaturen oder ganze Apparate (zum Beispiel Behälter, Tanks

sowie Membrantrennapparate). In den meisten Fällen unterliegen Kunststoffe als Werkstoffe in der Lebensmittel-Industrie sehr vielseitigen Beanspruchungen. Das Herauslösen von Bestandteilen aus der Oberfläche kann zu lokalen Anrissen oder einem Aufrauen der ehemals glatten Oberflächen führen; gleiche Wirkung kann die mechanische, thermische oder chemische Beanspruchung beim Reinigungsvorgang zeigen. Eine derart beschädigte Oberfläche verschlechtert aber die Reinigungsfähigkeit der Anlage [7].

3.3 Chemische Faktoren

Die chemischen Faktoren des Reinigens und Desinfizierens und auch ihre korrodierende Wirkung auf die Werkstoffe sind im Vergleich zu den mechanischen Faktoren relativ gut bekannt und sollen in diesem Zusammenhang nicht näher behandelt werden. Überblicke über die in Molkereien verwendbaren Reinigungsmittel werden in [8], über die Desinfektionsmittel und -verfahren in [9, 10] gegeben. Für die Reinigungswirkung sind primär die Art oder die Zusammensetzung des verwendeten Reinigungsmittels und dessen Konzentration ausschlaggebend. Mit steigender Konzentration nimmt die Reinigungswirkung je nach Zusammensetzung des Reinigungsmittels zu; es kommt jedoch auch vor, daß ein Optimum erreicht wird, und mit höherer Konzentration die Reinigungswirkung wieder kleiner wird oder von einer bestimmten Grenzkonzentration an unverändert bleibt [11]. Ein Reinigungsmittel hat daher im allgemeinen eine optimale Anwendungskonzentration.

Die abtötende Wirkung eines Desinfektionsmittels nimmt mit steigender Konzentration zunächst zu. Man unterscheidet dabei drei Konzentrationsbereiche [12]:

- 1) einen unteren Konzentrationsbereich ohne Wirkung auf die Mikroorganismen,
- 2) einen Bereich, der hemmend auf das Wachstum der Mikroorganismen wirkt (bakteriostatische Wirkung),
- 3) einen Konzentrationsbereich, der zur Abtötung der Mikroorganismen führt (bakterizide Wirkung).

Die Wirkung der Desinfektionsmittel läßt sich durch Konzentrationserhöhung jedoch nicht beliebig steigern; oberhalb gewisser Grenzkonzentrationen sind Steigerungen der Wirksamkeit nicht mehr festzustellen [12]. Aus wirtschaftlichen Gründen sowie bei chlorabspaltenden Verbindungen (wegen der Korrosionsgefahr) sind einer Erhöhung der Konzentration ebenfalls Grenzen gesetzt; auch Desinfektionsmittel haben daher eine optimale Anwendungskonzentration.

Eine altbewährte, unproblematische aber sehr wirksame Desinfektionsmöglichkeit ergibt sich mit heißem Wasser oder Dampf ab 100°C (thermische Desinfektion) mit entsprechend langen Einwirkzeiten, aber auch höherem Energieverbrauch.

3.4 Zeit und Temperatur

Das Reinigen geschlossener Strömungswege erfolgt durch zirkulierende Lösungen. Aufgabe der strömenden Reinigungslösung ist es, Verunreinigungen von der Wand zu lösen, von der Wand wegzutransportieren und mit der Strömung auszutragen. Das Abtragen der in der Praxis vorkommenden Verunreinigungen läßt sich zwischen zwei Extremfällen einordnen. Im günstigsten Fall liegt eine molekulare Löslichkeit mit Diffusion unter der Wirkung eines Konzentrationsgefälles durch die Grenzschicht vor. Für Verunreinigungen, die sich molekular in der Reinigungsflüssigkeit lösen und in dicker Schicht die Wand bedecken – z. B. Fett in fettlösenden Reinigungslösungen –, kann der Reinigungsvorgang in der 1. Phase als molekularkinetischer Vorgang über den Stoff-

übergang beschrieben werden. Aus der Gleichung für den Stoffübergang:

$$dm = \beta \Delta c dt \quad (1)$$

folgt

$$m = \beta \Delta c t, \quad (2)$$

mit m die pro Flächeneinheit übergehende Masse, β Stoffübergangskoeffizient, Δc Konzentrationsdifferenz der diffundierenden Komponente zwischen Wand und Reinigungslösung, t Zeit.

Die übergehende oder abgetragene Menge an Verunreinigungen ist nach Gl. (2) proportional der Zeit. Der Stoffübergang für voll ausgebildete Turbulenz im glatten Rohr läßt sich nach [13, 14] beschreiben durch eine verallgemeinerte empirische Gleichung der Form:

$$\beta = \frac{D}{d} CRe^{0,75} Sc^{0,42}, \quad (3)$$

mit D Diffusionskoeffizient, d Rohrdurchmesser, Re Reynolds-Zahl, Sc Schmidt-Zahl.

Die Abhängigkeit des Stoffübergangskoeffizienten β von der Temperatur ergibt sich aus der Temperaturabhängigkeit der in Gl. (3) enthaltenen Stoffwerte. Ganz allgemein gilt, daß β mit steigender Temperatur größer wird. Gl. (3) gilt nicht mehr in der Endphase des Reinigens, wenn die lösliche Komponente nur noch direkt auf der festen Rohrrinnenfläche haftet und stärkere Bindekräfte zwischen Verunreinigung und Wand das Ablösen verzögern.

Der ungünstigste Fall liegt vor, wenn keine molekulare Löslichkeit besteht und die Verunreinigung aus Makropartikeln aufgebaut ist. Diese Partikeln sind untereinander und mit der Wand durch unterschiedlich starke Bindekräfte gebunden. Das Ablösen der Partikeln ist in diesem Fall statistisch verteilt; die am stärksten gebundenen Partikeln benötigen die längste Zeit, bis sie sich ablösen lassen. Für diesen 2. Fall läßt sich für einen Reinigungsvorgang, der bei konstanter Temperatur abläuft, ein logarithmisches Zeitgesetz angeben:

$$dm_A = k_R m_A dt, \quad (4)$$

mit m_A die pro Flächeneinheit auf der Oberfläche haftende Menge an Verunreinigung. Der Faktor k_R wird als Reinigungsfaktor bezeichnet; der Wert von k_R wird außer von der Temperatur noch von einer Reihe anderer Faktoren bestimmt. Gl. (4) entspricht formal dem mathematischen Modell einer Reaktion 1. Ordnung, das auch in vielen Fällen der Reaktions-Kinetik thermisch bedingter Abbaureaktionen zugrunde liegt [16].

Den Quotienten dm_A/dt bezeichnet man als Reinigungsgeschwindigkeit, die nach Gl. (4) theoretisch proportional der vorhandenen Menge an Verunreinigung m_A und dem Reinigungsfaktor k_R ist. Die Reinigungsgeschwindigkeit ist also am Anfang des Reinigungsvorganges groß und zum Ende hin sehr klein.

Mit einer über die gesamte Zeit des Reinigungsvorganges gemessenen mittleren Reinigungsgeschwindigkeit ergab sich keine oder nur eine geringe Abhängigkeit von der Anfangsmenge oder der Schichtdicke der Verunreinigung [11]. Die Integration von Gl. (4) ergibt

$$\ln m_A = \ln m_{A_0} - k_R t, \quad (5)$$

mit m_{A_0} die zu Beginn des Reinigens zur Zeit $t = 0$ auf der Oberfläche haftende Menge an Verunreinigung.

Aus Gl. (5) läßt sich ableiten, daß man theoretisch eine unendlich lange Zeit benötigt, um die Verunreinigung bis $m_A = 0$ abzutragen, Abb. 3. In der Praxis bedeutet dies, daß man eine völlig saubere Oberfläche erst nach sehr langer Reinigungszeit erreicht. Die Zeit, bis ein gewünschter Reinheitsgrad erreicht wird, ist abhängig von der Anfangsmenge m_{A_0} ;

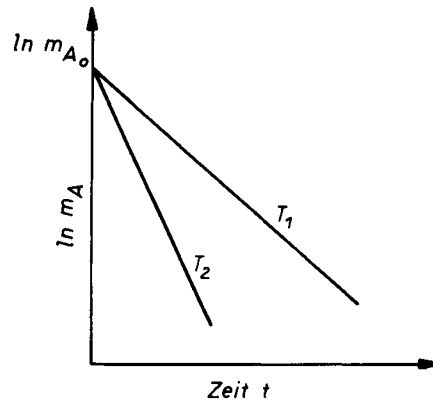


Abb. 3. Abhängigkeit der Restmenge m_A einer Verunreinigung von der Zeit t während des Reinigens für zwei verschiedene Temperaturen $T_2 > T_1$.

je höher die Anfangsmenge, desto länger die Reinigungszeit. Der Wert des Reinigungsfaktors k_R ist von einer Reihe von Einflußfaktoren abhängig:

- von der Art und der Widerstandsfähigkeit der Verunreinigung,
- von der Art und der Konzentration des Reinigungsmittels,
- von der baulichen Gestaltung (der Geometrie) des zu reinigenden Systems,
- vom Oberflächenmaterial und dem Zustand der Oberfläche (Rauheit),
- von der mechanischen Wirkung,
- von der Temperatur.

Der Einfluß der Temperatur auf den Reinigungsfaktor k_R geht ebenfalls aus Abb. 3 hervor: Höhere Temperatur ergibt ein Ansteigen von k_R und damit nach Gl. (4) eine höhere Reinigungsgeschwindigkeit, also eine Verkürzung des Reinigungsvorganges. Die Temperaturabhängigkeit des Faktors k_R läßt sich in dem für das Reinigen relevanten Temperaturbereich, etwa von 20 bis 90°C, für manche Verunreinigungen mit der Arrhenius-Gleichung in der Form

$$k_R = A e^{-T_a/T} \quad (6)$$

angeben, mit A und T_a als empirisch zu bestimmenden Konstanten und T der Temperatur [16–18].

Für die festen Verunreinigungen, die in Milch-Erhitzern auftreten, kann die Temperaturabhängigkeit bestätigt werden. Erhitzer zum Pasteurisieren werden daher mit 90°C, UHT-Erhitzer mit 140°C oder höheren Temperaturen gereinigt.

Für angetrocknete feste Rückstände aus Milchprodukten wurde festgestellt, daß die mittlere Reinigungsgeschwindigkeit bis zu einer Optimal-Temperatur anstieg und dann konstant blieb oder, für feste Rückstände aus Trinkmilch, sogar wieder abfiel und ein Temperatur-Optimum erreichte [11].

Je nach Art und Zusammensetzung der Verunreinigung und deren Löslichkeit in der Reinigungslösung ist der reale Reinigungsvorgang zwischen diesen beiden Extremfällen einzuordnen und kann in einzelnen Phasen nach unterschiedlichen Zeitgesetzen ablaufen. Für die festen Verunreinigungen

gen, die im Molkereibetrieb in den heißen Zonen der Milch-Erhitzer als 1 bis 2 mm dicke Ablagerungen auftreten oder wie man sie für Modellversuche aus in dicker Schicht angetrockneter Milch herstellen kann, ergibt sich der Reinigungsablauf nicht in der einfachen Form nach Abb. 3. Für eiweißhaltige, dicke und feste Verunreinigungen findet man nach eigenen Beobachtungen meist einen Verlauf nach Abb. 4, der in drei Phasen abläuft und den man wie folgt deuten kann:

In der Phase I, der Einweich- oder Quellphase, wirkt das alkalische Reinigungsmittel auf das Eiweiß ein und es kommt zu keinem oder nur einem geringen Abtragen. In der Phase II wird der gummi-elastische Ansatz nicht schichtenweise abgetragen, sondern es kommt unter der Wirkung der Strömungskräfte auf glatten Oberflächen zu einem flächenförmigen Ablösen des Belages in der ganzen Tiefe in Form mehr oder weniger großer Stücke. Die Reinigungsgeschwindigkeit ist in dieser Phase II, in der der größte Anteil an Verunreinigungen abgetragen wird, hoch. Es bleiben jedoch an Zonen mit ungünstiger Ausbildung der Strömung, z. B. auf den profilierten Platten der Erhitzer vor oder hinter den Auflagepunkten oder an Stellen mit verminderter Strömungsgeschwindigkeit Schmutzinseln oder Ränder stehen, die dann sehr langsam in der Phase III abgetragen werden. Man erhält für die Phasen II und III unterschiedliche Zeitgesetze mit verschiedenen großen Reinigungsfaktoren k_R .

3.5 Strömungsbedingte Faktoren

Betrachtet man die strömungsbedingten Faktoren des Reinigens, so ist deutlich zu unterscheiden, ob es sich um ein Reinigen geschlossener Strömungswege oder offener Flächen (Behälter-Innenreinigung) handelt, die durch Abspülen mit Rieselfilmen oder durch Abspritzen mit Flüssigkeitsstrahlen gereinigt werden und andere Wirkungsmechanismen aufweisen. Für beide Fälle ist die Wirkung der strömungsbedingten Faktoren noch nicht ausreichend geklärt.

Für den Extremfall 1 des reinen Stoffübergangs im glatten Rohr läßt sich die Abhängigkeit des Stoffübergangskoeffizienten β von der Strömungsgeschwindigkeit w aus Gl. (3) ableiten. Für konstante Temperatur – Diffusionskoeffizient D und Viskosität gleichbleibend – folgt daraus:

$$\beta = \text{const} \frac{w^{0,75}}{d^{0,25}} \quad (7)$$

Gl. (7) zeigt auch, daß die pro Flächeneinheit abgetragene Menge bei sonst gleichbleibenden Bedingungen vom Rohrdurchmesser d abhängt.

Für den Extremfall 2, für den das logarithmische Zeitgesetz

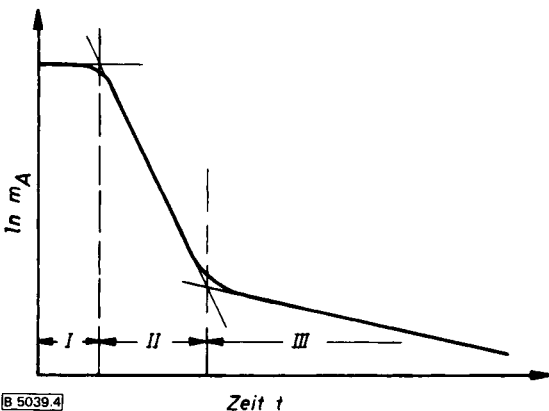


Abb. 4. Realer Zeitverlauf des Abtragens stark eiweißhaltiger, fester Verunreinigungen in Molkerei-Anlagen; Restmenge m_A in Abhängigkeit von der Zeit t .

gilt, und für das Abtragen unterschiedlich stark gebundener Partikeln ist die wirksame Größe die an der Grenzfläche angreifende Wandschubspannung der im allgemeinen turbulent strömenden Reinigungsflüssigkeit, die jedoch keine im praktischen Betrieb meßbare und brauchbare Größe darstellt. Die Wandschubspannung nimmt im turbulenten Gebiet unter hoher Wandrauhigkeit mit der Strömungsgeschwindigkeit zu.

Für das Abtragen realer Verunreinigungen ist die Wirkung der strömungsbedingten Faktoren noch nicht befriedigend geklärt. Gesichert ist, daß mit steigender Strömungsgeschwindigkeit die Reinigungswirkung verbessert wird. Eine optimale Strömungsgeschwindigkeit kann nicht angegeben werden. Für geschlossene Anlagen im Molkereibereich gilt als Faustregel, daß die Strömungsgeschwindigkeit beim Reinigen um den Faktor 1,5 bis 2 höher sein soll als beim normalen Produktfluß. Nach praktischer Erfahrung soll für Rohre eine Mindest-Strömungsgeschwindigkeit von 1,5 m/s während des Reinigens erforderlich sein [19]; hier wird nicht angegeben, für welche Rohrweiten dies zutrifft. Die Mindest-Strömungsgeschwindigkeit für ein Rohrsystem DN 50 sollte nach [2] 1,5 m/s betragen, um auch Toträume mit $H/d \leq 1$ gut reinigen zu können.

3.6 Desinfizieren

Das Abtöten von Mikroorganismen, die auf festen Oberflächen haften, unter der Wirkung eines Desinfektionsmittels und auch durch Einwirkung höherer Temperatur läuft nach dem allgemeinen Zeitgesetz ab [20, 21]. Dasselbe Gesetz gilt auch für das Abtöten von Mikroorganismen, die in wäßriger Phase oder in einem Lebensmittel dispergiert und damit der wirkenden Komponente allseitig ausgesetzt sind.

Für das chemische wie auch für das rein thermische Abtöten von Mikroorganismen auf festen Oberflächen kann man entsprechend Gl. (4) den Ansatz machen

$$dN = -k_D N dt \quad (8)$$

nach Integration

$$\ln \frac{N_0}{N} = k_D t \quad (9)$$

Hierin bedeuten N die Anzahl Mikroorganismen einer Art pro Flächeneinheit zur Zeit t und k_D wieder ein Faktor, der als Abtötungsfaktor bezeichnet wird. Gl. (9) besagt, daß der Logarithmus des Verhältnisses der Anfangsmenge N_0 (zur Zeit $t = 0$) zur Restmenge N proportional zur wirksamen Zeit t ist. Je niedriger der Anfangs-Keimgehalt ist, desto rascher wird eine Abtötung erreicht, gleichgültig um welche Art Wirkung es sich handelt. Es ist daher wichtig, vor dem Desinfizieren alle Verunreinigungen, in denen sich Mikroorganismen aufhalten können, sorgfältig durch Reinigen zu entfernen, so daß beim Desinfizieren nur noch die relativ wenigen auf der Oberfläche anhaftenden vegetativen Keime und Sporen abzutöten sind.

Nach Gl. (8) ist die Abtötungsgeschwindigkeit dN/dt proportional der vorhandenen Keimzahl N und dem Abtötungsfaktor k_D . Der Wert des Abtötungsfaktors ist primär abhängig von:

- der Art und der Widerstandsfähigkeit der Mikroorganismen gegenüber der Wirkungskomponente (chemische Desinfektionsmittel oder Temperatur),
- von den übrigen Einflußfaktoren in einer ähnlichen Weise wie der Reinigungsfaktor k_R .

Die abtötende Wirkung der Desinfektionsmittel nimmt mit steigender Temperatur zu. In höheren Temperaturbereichen

überlagert sich der chemischen Wirkung jedoch die thermisch bedingte Abtötung, für die eine Temperaturabhängigkeit nach der Arrhenius-Gleichung angesetzt werden kann.

3.7 Spülen

Von einer wesentlichen Bedeutung für den ganzen Reinigungsvorgang ist das Ausspülen von Produkt oder Reinigungs- bzw. Desinfektionsmitteln aus dem Leitungssystem und das Abspülen flüssiger Adhäsionsfilme von festen Oberflächen. Die anhaftenden Reste von Milch oder Milchprodukten bilden zu Beginn des Reinigungsvorganges Adhäsionsfilme. Im Verlauf des Reinigens müssen nacheinander die verwendeten Reinigungs- oder Desinfektionsmittel mit Wasser abgespült werden. Die Kinetik des Spülens wurde in neuerer Zeit eingehend untersucht [22–24].

Für das Spülen ergibt sich prinzipiell ein Zeitverlauf nach Abb. 5. Der Zeitverlauf stellt die Misch- oder Übergangsfunktion

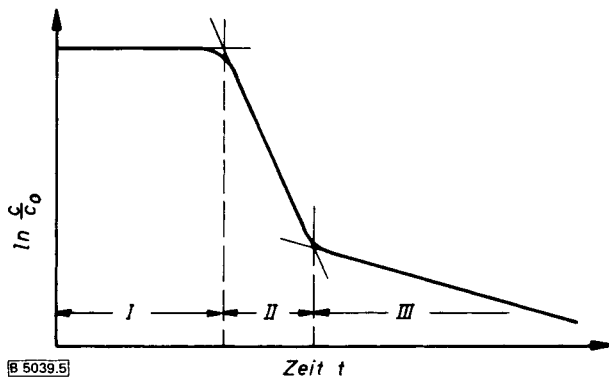


Abb. 5. Ausspülen einer Rohrleitung; am Ende der Strecke gemessenes Konzentrationsverhältnis c/c_0 in Abhängigkeit von der Zeit t .

tion zwischen dem vorausströmenden Produkt, der Reinigungs- oder Desinfektionsmittel-Lösung (Medium 1 mit der Konzentration c_0) und dem nachströmendem Wasser (Medium 2) dar. Am Ende des Systems wird die Konzentration c gemessen; zur Zeit $t = 0$ ist $c = c_0$.

Es lassen sich drei Phasen unterscheiden: In Phase I strömt das reine vorausströmende Medium 1. In der Phase II wird das Medium 1 durch turbulente Strömung mit dem nachströmenden reinen Wasser vermischt und ausgetragen. Der wirksame Mechanismus in dieser Phase ist konvektiver Stofftransport. Allgemein strebt man an, diese Phase kurz zu halten, das heißt eine steile Übergangsfunktion zu erhalten. Die Phase III ergibt sich dadurch, daß das Medium 1 an der Wand haftet und auch in der laminaren Grenzschicht noch enthalten ist. Aus der laminaren Grenzschicht können die Reste des Mediums 1 aber nur durch Diffusion entfernt werden, die entsprechend langsam abläuft. Am Ende der Phase III sind noch die durch Adsorption und hohe Bindekräfte an die Oberfläche gebundenen Moleküle zu entfernen. Die Phasen II und III lassen sich auch wieder durch ein logarithmisches Zeitgesetz der Form

$$\ln \frac{c}{c_0} = -k_s t \quad (10)$$

darstellen. Die beiden Phasen II und III unterscheiden sich durch unterschiedlich hohe Spülfaktoren k_s . Aufgrund des logarithmischen Konzentrationsverlaufs beim Spülen kann die Endkonzentration Null im nachströmenden Wasser in der Praxis nicht erreicht werden: Da man den Spülvorgang in endlicher Zeit abbrechen muß, bleibt immer ein geringer Rest

an Reinigungs- oder Desinfektionsmittel beim letzten Spülen in der Anlage zurück. Insbesondere die adsorptiv an die Oberfläche gebundenen Moleküle sind mit normalem Spülen nicht zu entfernen. Der Spülfaktor k_s ist primär wieder abhängig von:

- den Eigenschaften des vorausströmenden Mediums,
- den Eigenschaften des nachströmenden Mediums,
- von der baulichen Gestaltung (der Geometrie) des zu reinigenden Systems,
- vom Material und der Beschaffenheit der Oberfläche,
- von der Temperatur (höhere Temperatur erniedrigt die Viskosität und verbessert den Diffusionskoeffizienten),
- vom Zustand der Strömung und von der Reynolds-Zahl [22].

Mit steigender Reynolds-Zahl steigt auch der Spülfaktor an [22]. Eine pulsierende Strömung verkürzt im turbulenten Bereich das Spülen gegenüber einer stationären Strömung [25]. Mehrere kurze Wasserstöße sind effektiver als ein ununterbrochener Wasserfluß. Ohne Nachteil kann das Vorspülen bei höherer Temperatur als Produkt-Temperatur im System durchgeführt werden. Effektives Vorspülen in einem Rohrleitungssystem beseitigt bereits 80% der Produktrückstände. Das Nachspülen muß die Reinigungsmittelrückstände weitgehend aus der Anlage beseitigen. Wenn ein Reinigungsmittel Benetzungsmittel enthält, wird das Nachspülen schwieriger, auch Ätznatron ist von Stahlflächen schwierig abzuspülen. Es soll eine Mindest-Strömungsgeschwindigkeit von 1,2 bis 1,5 m/s eingehalten werden [26].

4 Reinigungssystem

Ein Reinigungssystem bildet eine Funktionseinheit, bestehend aus

1. der Reinigungsanlage und
 2. den Reinigungswegen oder -kreisen in der Produktion.
- Vom Aufbau eines Reinigungssystems her unterscheidet man zwischen einem
- zentralisierten Reinigungssystem und
 - dezentralisierten Reinigungssystem.

Beim zentralisierten Reinigungssystem erfolgt das Reinigen und das Steuern des Reinigungsablaufs von einer zentralen Stelle aus. Sämtliche zu reinigenden Anlagenteile eines Betriebes sind mit dieser zentralen Stelle durch ein Rohrleitungssystem verbunden.

Der gesamte Betrieb wird in einzelne Reinigungsabschnitte aufgeteilt, Abb. 6, 7 und 8. Jeder Reinigungsabschnitt kann in mehrere Reinigungskreise unterteilt werden. Sämtliche Reinigungsabschnitte und -kreise gehen von der Zentrale aus und enden in ihr. Jeder Reinigungsabschnitt kann parallel und unabhängig von den anderen arbeiten. Innerhalb eines Reinigungsabschnitts können die Reinigungskreise nur einzeln und nacheinander betrieben werden [27]. Jeder Reinigungsabschnitt hat sein eigenes Programm, das entsprechend der Reinigungsaufgabe aufgestellt und für alle zugeordneten Reinigungskreise gleich ist.

Dezentralisierte Reinigungssysteme sind jeweils einzelnen Betriebsteilen zugeordnet. Die Verbindungsleitungen sind entsprechend kürzer, das ganze System dadurch einfacher und die Reinigungsprogramme spezifisch auf den jeweiligen Betriebsteil abgestellt.

Nach der Verwendung der Reinigungslösung unterscheidet man:

- a) eine Stapelreinigung, nach der die schon verwendeten Reinigungslösungen aufgefangen, in besonderen Tanks gelagert und wiederverwendet werden. Unterschiedliche Konzentrationen der Reinigungslösungen erfordern jeweils einen sog.

Tabelle 1.
Reinigungsprogramm für eine Ultrahocherhitzungs-Anlage für Milch.

Schritt	Medium	Konzentration [%]	Temperatur [°C]	Zeit [min]
1 Vorspülen	Wasser	—	kalt	10
2 Reinigen	Lauge (NaOH)	2 bis 3	107	30
3 Spülen	Wasser	—	95	10
4 Reinigen	Säure (HNO ₃)	1 bis 2	95	25
5 Spülen	Wasser	—	95	10
6 Reinigen	Lauge (NaOH)	2 bis 3	95	30
7 Nachspülen	Wasser mit Säure-Zusatz	—	kalt	10

Stapel-tank. Diese Art empfiehlt sich für ein zentrales Reinigungssystem mit langen Zu- und Rücklaufleitungen und einem großen Füllvolumen, um Kosten für die teuren Reinigungsmittel zu sparen. Vor jedem Reinigungsvorgang muß die Reinigungslösung nachgeschärft werden, ist aber auch bei gleichem pH-Wert nicht mehr so wirksam wie eine frische Lösung;

b) eine verlorene Reinigung. Man verwendet die Reinigungslösungen nur einmal und kann jede gewünschte Konzentration in der frischen und optimal wirksamen Lösung einstellen. Nach Abschluß des Reinigungsvorgangs werden die verbrauchten Reinigungslösungen abgelassen. Das Verfahren ist wirtschaftlich bei einfachen, kurzen Rohrleitungssystemen mit niedrigem Füllvolumen und eignet sich daher mehr für ein dezentralisiertes Reinigungssystem.

Beide Arbeitsweisen können jedoch mit jedem Reinigungssystem durchgeführt werden. In der Praxis setzt sich aus rein wirtschaftlichen Gründen, insbesondere wegen der hohen Abwassergebühren, gegenwärtig die dezentralisierte Stapelreinigung durch.

4.1 Entleeren

Apparate, Behälter und das Rohrleitungssystem werden vor Beginn des Reinigens möglichst vollständig vom Produkt und während des Vorgangs von den Reinigungsmitteln entleert. Dies geschieht durch

- Ausschleiben mit Wasser oder
- Ausblasen mit Luft.

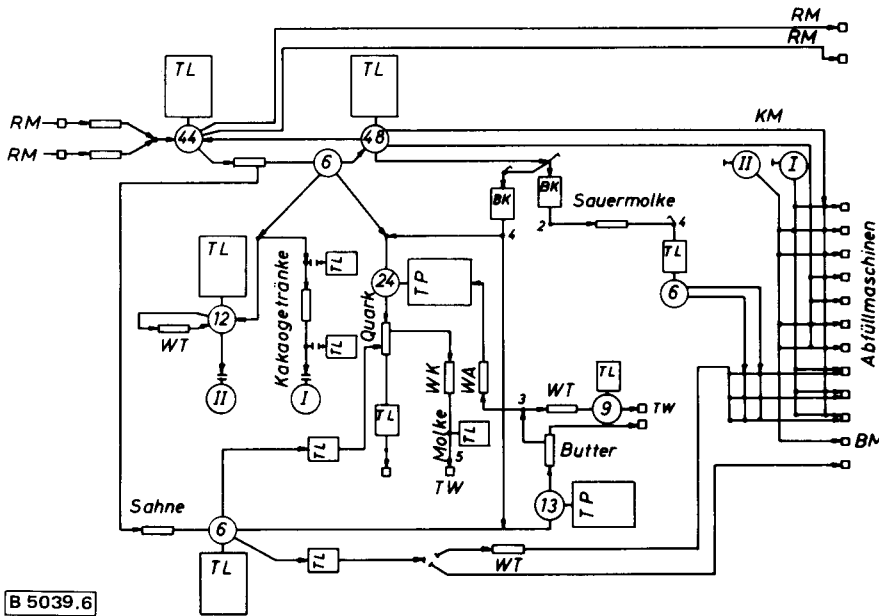


Abb. 6. Vereinfachtes Produktions-Fließbild eines Molkereibetriebes, nach [27]. WA Wärmeaustauscher, WK Kühler, RM Rohmilch, KM Konsummilch, BM lose Milch, TW Tankwagen. Die Zahlen geben die Anzahl der automatischen Umschaltventile in den Ventilknoten an.

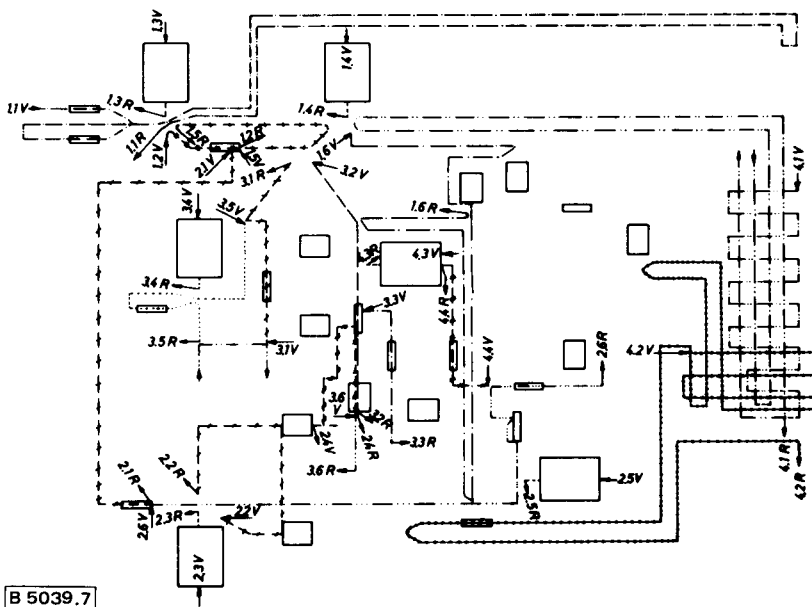


Abb. 7. Vereinfachtes Reinigungs-Fließbild des Molkereibetriebes nach Abb. 6 [27]. R Rücklauf, V Vorlauf. Beispiel: 2.6 V bedeutet „Vorlauf Reinigungsabschnitt 2, Kreislauf 6“.

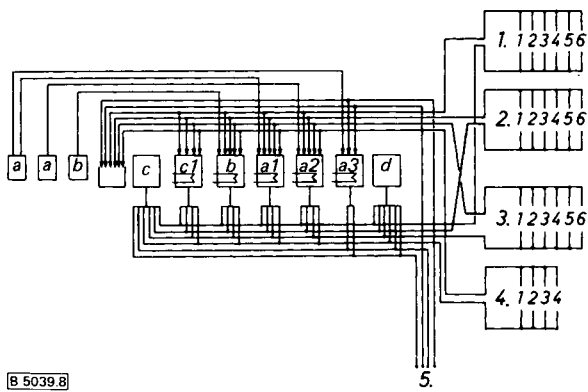


Abb. 8. Vereinfachtes Schema für das Reinigungssystem des Molkereibetriebes nach Abb. 6 [27]. a Lauge, a1 Lauge I, a2 Lauge II, a3 Lauge III, b Säure, c Wasser, c1 Wasser-Vorspülung, d Desinfektion; 1 bis 5: Reinigungsabschnitte mit 1 bis 12 Reinigungskreisen.

Beim Ausschieben einer flüssigen Phase mit Wasser bildet sich zwischen beiden Medien eine Mischphase aus. Es kommt darauf an, den Zeitpunkt genau zu erfassen, an dem der Strom umgeschaltet werden muß, um die ausgeschobene Phase möglichst wenig vermischt mit Wasser im vorgesehenen Tank aufzufangen. Der Verlauf der Mischphase kann über die Übergangsfunktion berechnet werden [28]. In der Praxis wird das Umschalten für Milch und für Reinigungsmittel durch eine Leitfähigkeitsmessung ausgelöst. Die Trennung der beiden Medien wird erleichtert durch eine eindeutige Rohrleitungsführung ohne Toträume. Die sauberste Art des Entleerens ist das Ausblasen mit Druckluft. Die Druckluft sollte mit einem Mindestdruck von 4,5 bar (besser 6 bar) am Anfang zur Verfügung stehen, damit man die wäßrige Phase auch aus nach unten abgehenden Toträumen entfernen kann.

4.2 Reinigungsprogramm

Ein Reinigungsprogramm setzt sich aus einzelnen Schritten zusammen. Folge und Dauer der einzelnen Schritte werden im wesentlichen durch die zu reinigenden Anlagenteile und die betrieblichen Gegebenheiten bestimmt. Es gibt daher kein allgemeingültiges Reinigungsprogramm. In der Praxis kann man unterscheiden zwischen Grundprogrammen für das Reinigen

- der Erhitzer,
- von Rohrleitungen sowie
- von Behältern.

Zum Reinigen der Erhitzer dient ein langes Programm, das über 60 bis 80 min läuft. Für die Tank- und Rohrreinigung genügt ein kurzes Programm mit einer Laufzeit von etwa 20 min [28].

Ein typisches Reinigungsprogramm für Milch-Erhitzer besteht aus den wesentlichen Schritten Vorspülen, Reinigen mit Lauge, Zwischenspülen, Reinigen mit Säure, Nachspülen mit 70°C oder alternativ mit 90°C zum gleichzeitigen Desinfizieren. Ein Programm für die schwieriger zu reinigenden Erhitzer und Rohrleitungen einer Ultrahoherhitzungs-Anlage für H-Milch, die im Temperaturbereich zwischen 135 und 150°C arbeiten kann, zeigt Tab. 1.

Das Reinigungsprogramm für Tanks und Rohrleitungen besteht aus den wesentlichen Schritten Vorspülen, Reinigen mit Lauge, Nachspülen eventuell mit 80°C zum Desinfizieren. Tanks müssen von Zeit zu Zeit mit gebrauchter Säure (von der Erhitzer-Reinigung) gereinigt werden.

In neueren Anlagen werden elektronische Programmsteuergeräte mit kontaktlos gesteuerten Zeitstufen eingesetzt. Die

Programmsteuerungen werden im allgemeinen in Einschubtechnik ausgeführt [28]. Auf einem Einschub können bis zu 15 Programmschritte für Zeiten bis zu 30 min enthalten sein. Die Programmsteuerung wird im allgemeinen so ausgelegt, daß die Programme in den physikalischen Daten (Zeit und Temperatur) und auch in der Anzahl und Folge der Schritte geändert werden können.

Nach dem Start des Programms laufen die einzelnen Programmschritte bis zum Programmende ab. Während dieser Zeit überwacht die Steuerung die Sicherheit des Reinigungsablaufs, indem sie die wichtigsten Daten und Funktionen kontrolliert [28].

4.3 Reinigungsanlage

Die Reinigungsanlage besteht im einzelnen aus Lagertanks für Reinigungsmittel-Konzentrate und -Gebrauchslösungen, Spülwassertanks, Erhitzungseinrichtungen für Gebrauchslösungen und Spülwasser sowie Fördereinrichtungen. Zur Anlage gehört die Programmsteuerung für den Reinigungsablauf, im Bedarfsfall auch ein Behälter mit pH-Messung zum Neutralisieren der abgelassenen und verbrauchten Reinigungsmittel-Lösungen.

Reinigungsanlagen werden je nach Größe und Zweckbestimmung unterschiedlich ausgeführt und installiert. Im allgemeinen werden sie aus den in der Lebensmittel-Industrie gebräuchlichen Elementen, wie Behälter, Pumpen, Plattenwärmeaustauscher, Umschaltventile, aufgebaut. Größeren Anlagen und solchen für zentralisierte Systeme liegt eine Einzelplanung und -fertigung zugrunde.

In neuerer Zeit werden aus Kostengründen und wegen des besseren Reinigungseffektes dezentralisiert eingebaute kleine Reinigungsanlagen installiert. Es sind standardisierte, in Serie gefertigte und vormontierte Aggregate, die nach Aufstellen im Betrieb nur durch entsprechende Verbindungsleitungen an das Produktionsnetz angeschlossen werden. Sie bieten den Vorteil, bei Bedarf innerhalb des Betriebes auch relativ einfach umgesetzt werden zu können.

Abb. 9 zeigt ein solches Reinigungs-Aggregat für das Reinigen von Rohrleitungen, Behältern und auch Erhitzern in Molkereien, Brauereien und ähnlichen Verarbeitungsbetrieben. Das Aggregat besteht aus einem Stapelbehälter von 750 l, Plattenwärmeaustauscher, Zirkulations-Pumpe, Filter, Luft-

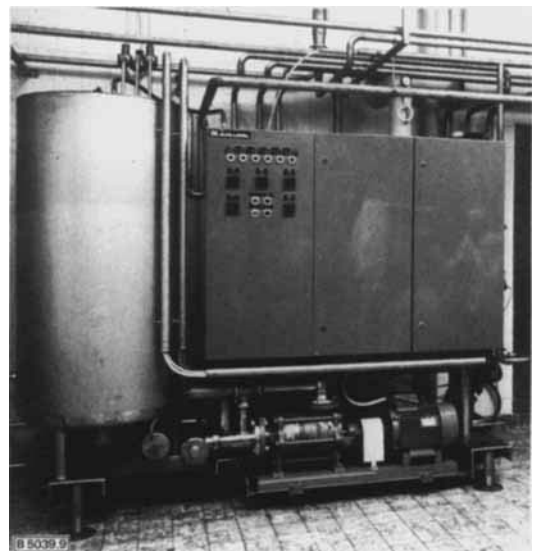


Abb. 9. Standardisiertes Reinigungs-Aggregat zum Zirkulations-Reinigen (CIP) einzelner Betriebsteile in Lebensmittel-Betrieben (Bauart: Alfa-Laval, CIPAL-System).

blasventil zum Entleeren des Kreislaufs, Umschaltventilen, dem Steuersystem (Transmitter, Anzeigevorrichtungen, Schutzschalter) sowie einer Steuertafel mit Programmschaltwerk.

Eingegangen am 24. August 1982 [B 5039]

Literatur

- [1] *Deutsch, O.*: Anforderungen an Produktionsanlagen. 3–1 in: Preprints Symposium über Reinigen und Desinfizieren lebensmittelverarbeitender Anlagen, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Karlsruhe, 9. bis 11. Dez. 1975.
- [2] *Graßhoff, A.*: Kiel. Milchwirtsch. Forschungsber. 32 (1980) Nr. 4, S. 273/298.
- [3] *Graßhoff, A.*: Chem.-Ing.-Tech. (im Druck).
- [4] *Hoffmann, W.*; *Reuter, H.*: Kiel. Milchwirtsch. Forschungsber. 34 (1982) Nr. 4, S. 363/379.
- [5] DIN 11480: Oberflächen von milchwirtschaftlichen Maschinen in Molkereibetrieben. Hrsg. Deutscher Normenausschuß, Ausgabe 1978.
- [6] *Schäfer, K.*: Werkstoffe für Produktionsanlagen in der Nahrungsmittel-Industrie. 4–3 in: Preprints Symposium über Reinigen und Desinfizieren lebensmittelverarbeitender Anlagen, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Karlsruhe, 9. bis 11. Dez. 1975.
- [7] *Wildbrett, G.*: Dtsch. Molk.-Ztg. 90 (1969) S. 2427/2431.
- [8] *Wildbrett, G.*: Chemische Komponenten zum Reinigen und Desinfizieren. 1–1 in: Preprints Symposium über Reinigen und Desinfizieren lebensmittelverarbeitender Anlagen, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Karlsruhe, 9. bis 11. Dez. 1975.
- [9] *Roth, K.*: Dissertation, TU München 1972.
- [10] *Mrozek, H.*: Anforderungen an die Wirksamkeit von Desinfektionsverfahren und Grenzen der Realisierbarkeit. 2–3 in: Preprints Symposium über Reinigen und Desinfizieren lebensmittelverarbeitender Anlagen, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Karlsruhe, 9. bis 11. Dez. 1975.
- [11] *Schlüßler, H.-J.*: Milchwissenschaft 25 (1970) S. 133/145.
- [12] *Cerny, G.*: Gesetzmäßigkeiten des Abtötens von Mikroorganismen unter Berücksichtigung fester Oberflächen. 1–4 in: Preprints Symposium über Reinigen und Desinfizieren lebensmittelverarbeitender Anlagen, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Karlsruhe, 9. bis 11. Dez. 1975.
- [13] *Hansen, H.*: Allg. Wärmetech. 9 (1959) Nr. 4/5, S. 75/79.
- [14] *Brauer, H.*: Stoffaustausch, Verlag Sauerländer, Aarau -- Frankfurt 1971.
- [15] *Reuter, H.*: Chem.-Ing.-Tech. 53 (1981) S. 409/418.
- [16] *Jennings, W. G.*: J. Dairy Sci. 42 (1959) S. 763/771.
- [17] *Patrick, R. L.*; *Payne Jr., G. O.*: J. Colloid Sci. 16 (1961) S. 93/101.
- [18] *Schlüßler, H.-J.*: Brauwissenschaft 29 (1976) S. 263/268.
- [19] IDF-Document 117: Design and use of CIP systems in the dairy industry. IDF General Secretariat, Brüssel 1979.
- [20] *Prado Fihlo, L. G.*: Lebensm.-Wiss. Technol. 8 (1975) S. 29/33.
- [21] *Han, B.-H.*: Dissertation, Univ. Karlsruhe (TH) 1977.
- [22] *Thor, W.*; *Loncin, M.*: Milchwissenschaft 33 (1978) S. 665–669.
- [23] *Nassauer, J.*; *Kessler, H.-G.*: Z. Lebensm.-Technol. Verfahrenstech. 30 (1979) S. 95/99.
- [24] *Plett, R.*: Institut für Lebensmittelverfahrenstechnik, Univ. Karlsruhe (TH), persönliche Mitteilung, erscheint demnächst in: Z. Lebensm.-Technol. Verfahrenstech.
- [25] *Thor, W.*: Zur Kinetik des Nachspülens. 1–3 in: Preprints Symposium über Reinigen und Desinfizieren lebensmittelverarbeitender Anlagen, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Karlsruhe, 9. bis 11. Dez. 1975.
- [26] *Damerow, G.*: Alfa-Laval Report, Ausgabe 30 (1978) S. 17/26, Alfa-Laval Industrietechnik GmbH, Glinde bei Hamburg.
- [27] *Kopp, R.*: Dissertation, Univ. Hannover 1978.
- [28] *Damerow, G.*: Anlagen zum Reinigen von Apparaten. 3–2 in: Preprints Symposium über Reinigen und Desinfizieren lebensmittelverarbeitender Anlagen, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Karlsruhe, 9. bis 11. Dez. 1975.