

**EUR 2507.d**

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

LITERATURSTUDIE ÜBER MÖGLICHKEITEN  
UND ÜBER VERFAHREN ZUR  
DEKONTAMINIERUNG RADIOAKTIV  
KONTAMINierter MILCH

von

E. KNOOP und W. BUCHHEIM  
(Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft)

1965



Bericht abgefasst von der  
Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft  
Kiel, Deutschland

Euratom-Vertrag Nr. 009-63-12 PSTD

## HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und alle in deren Namen handelnden Personen :

- 1° — Keine Gewähr dafür übernehmen, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind oder dass die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt ;
- 2° — Keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird zum Preise von 85,— bfrs. verkauft. Bestellungen sind zu richten an : PRESSES ACADEMIQUES EUROPEENNES — 98, chaussée de Charleroi, Brüssel 6.

Die Zahlung ist zu leisten durch Überweisung an die :

- BANQUE DE LA SOCIETE GENERALE (Agence Ma Campagne) - Brüssel - Konto Nr. 964.558 ;
- BELGIAN AMERICAN BANK AND TRUST COMPANY - New York - Konto Nr. 22.186 ;
- LLOYDS BANK (Europe) Ltd. - 10 Moorgate, London E.C.2 ;

als Bezug ist anzugeben : « EUR 2507.d — LITERATURSTUDIE ÜBER MÖGLICHKEITEN UND ÜBER VERFAHREN ZUR DEKONTAMINIERUNG RADIOAKTIV KONTAMINierter MILCH ».

Das vorliegende Dokument wurde an Hand des besten Abdruckes vervielfältigt, der zur Verfügung stand.

## EUR 2507.d

LITERATURSTUDIE ÜBER MÖGLICHKEITEN UND ÜBER VERFAHREN ZUR DEKONTAMINIERUNG RADIOAKTIV KONTAMINierter MILCH von E. KNOOP und W. BUCHHEIM (Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft)

Europäische Atomgemeinschaft — EURATOM

Bericht abgefasst von der Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Kiel (Deutschland)

Euratom-Vertrag Nr. 009-63-12 PSTD

Brüssel, September 1965 — 66 Seiten — 8 Abbildungen

Diese Literaturstudie über die Probleme der Dekontaminierung radioaktiv kontaminierter Milch ist zu dem Zweck durchgeführt worden, die in der Literatur bis Mitte 1964 veröffentlichten Daten zu sammeln, um den Stand der Möglichkeiten und der Verfahren zur Dekontaminierung von Milch aufzuzeigen. Dabei stand die

## EUR 2507.d

BIBLIOGRAPHICAL SURVEY ON FACILITIES AND PROCESSES FOR RADIOACTIVE MILK DECONTAMINATION by E. KNOOP and W. BUCHHEIM (Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft)

European Atomic Energy Community — EURATOM

Report prepared at the Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Kiel (Germany)

Euratom Contract No. 009-63-12 PSTD

Brussels, September 1965 — 66 pages — 8 figures

This survey was effected to compile all data published in the relevant literature up to mid-1964 for the purpose of ascertaining the progress achieved in processes for milk decontamination. The main point at issue concerned the practicability and economics of

## EUR 2507.d

BIBLIOGRAPHICAL SURVEY ON FACILITIES AND PROCESSES FOR RADIOACTIVE MILK DECONTAMINATION by E. KNOOP and W. BUCHHEIM (Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft)

European Atomic Energy Community — EURATOM

Report prepared at the Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Kiel (Germany)

Euratom Contract No. 009-63-12 PSTD

Brussels, September 1965 — 66 pages — 8 figures

This survey was effected to compile all data published in the relevant literature up to mid-1964 for the purpose of ascertaining the progress achieved in processes for milk decontamination. The main point at issue concerned the practicability and economics of

## EUR 2507.d

BIBLIOGRAPHICAL SURVEY ON FACILITIES AND PROCESSES FOR RADIOACTIVE MILK DECONTAMINATION by E. KNOOP and W. BUCHHEIM (Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft)

European Atomic Energy Community — EURATOM

Report prepared at the Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Kiel (Germany)

Euratom Contract No. 009-63-12 PSTD

Brussels, September 1965 — 66 pages — 8 figures

This survey was effected to compile all data published in the relevant literature up to mid-1964 for the purpose of ascertaining the progress achieved in processes for milk decontamination. The main point at issue concerned the practicability and economics of

Frage im Vordergrund, inwieweit die einzelnen Verfahren praktisch anwendbar und wirtschaftlich sind. Schlussfolgerungen über die Dekontaminierungsverfahren, die technisch und wirtschaftlich die besten Aussichten haben, sind gezogen worden.

Aufgrund der bisherigen Untersuchungen über Dekontaminierungsmöglichkeiten für Milch kommen folgende Prinzipien zur Anwendung :

- a) Ionenaustausch
- b) Elektrodialyse
- c) Molkereitechnische Verfahren.

the various techniques. Consequences are drawn as to the methods holding out most promise from the technical and economic standpoints.

The survey shows that the following main principles are applied for milk decontamination :

- a) ion exchange
- b) electro dialysis
- c) dairy processes.

the various techniques. Consequences are drawn as to the methods holding out most promise from the technical and economic standpoints.

The survey shows that the following main principles are applied for milk decontamination :

- a) ion exchange
- b) electro dialysis
- c) dairy processes.

the various techniques. Consequences are drawn as to the methods holding out most promise from the technical and economic standpoints.

The survey shows that the following main principles are applied for milk decontamination :

- a) ion exchange
- b) electro dialysis
- c) dairy processes.

**EUR 2507.d**

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

LITERATURSTUDIE ÜBER MÖGLICHKEITEN  
UND ÜBER VERFAHREN ZUR  
DEKONTAMINIERUNG RADIOAKTIV  
KONTAMINierter MILCH

von

E. KNOOP und W. BUCHHEIM

(Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft)

1965



Bericht abgefasst von der  
Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft  
Kiel, Deutschland

Euratom-Vertrag Nr. 009-63-12 PSTD

## VORWORT

Parallel zur Untersuchung der Probleme im Zusammenhang mit dem Mechanismus der Nahrungsmittelkontamination muss auch untersucht werden, welche Dekontaminierungsmöglichkeiten in technologischer und praktischer Hinsicht im Falle einer mehr oder weniger schweren radioaktiven Kontamination vorhanden sind. Ganz besondere Aufmerksamkeit verdienen hierbei vor allem die Nahrungsmittel, die für die Bevölkerung im allgemeinen oder für eine bestimmte Bevölkerungsgruppe als wesentlich zu betrachten sind. Es ist nicht ausgeschlossen, dass diese Produkte unter bestimmten Umständen so stark durch radioaktive Substanzen verunreinigt werden, dass sie nach den Gesundheitsschutznormen für den Genuss ungeeignet sind. Wenn sich ausserdem eine Mangellage hinsichtlich des betreffenden Produkts abzeichnet, könnte das Problem durch Anwendung eines praktischen Dekontaminierungsverfahrens gelöst werden.

Unter den wichtigsten Produkten nimmt die Milch in diesem Zusammenhang einen ganz besonderen Platz ein. Milch ist sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht ein wesentliches Nahrungsmittel und kann in Anbetracht der Art und Weise, wie sie produziert wird, in manchen Fällen eine starke radioaktive Verunreinigung erfahren.

Auf Ersuchen der Direktion Gesundheitsschutz ist das Institut Prof. Knoops beauftragt worden, eine Zusammenstellung und Analyse der gegenwärtig bestehenden Dekontaminierungsmöglichkeiten vorzunehmen. Die vorliegende Schrift berücksichtigt die praktische Anwendbarkeit und die Wirtschaftlichkeit der Verfahren und trägt dem Umstand Rechnung, dass sie sowohl auf kleine als auch auf grosse Mengen Milch anwendbar sein sollen.

Solange nicht im Rahmen weiterer technologischer Untersuchungen gegebenenfalls wirksamere oder wirtschaftlichere Dekontaminierungsmethoden entwickelt werden, stellen die in der vorliegenden Schrift beschriebenen Ergebnisse und die dazu gegebenen Erläuterungen eine wertvolle Ergänzung unserer Kenntnisse auf diesem Gebiet dar.

  
Dr. P. Recht

## Inhaltsübersicht

	<u>Seite</u>
I. Einleitung	4
II. 1. Dekontamination durch Verwendung synthetischer Ionenaustauscher-Harze	5
II. 1. 1. "batch"-Verfahren	5
II. 1. 2. "fixed bed"-Verfahren	11
II. 1. 3. "Higgins"-Verfahren	18
II. 2. Dekontamination durch Verwendung von Ionenaustauschenden Mineralien und von chemisch behandelter Knochensubstanz bzw. Knochenasche	24
II. 3. Dekontamination durch Verwendung von Trikalziumphosphat	30
II. 4. Dekontamination durch Elektrodialyse	34
II. 5. Diverse Dekontaminationsmöglichkeiten	46
III. Zusammenfassende Betrachtung über die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Verfahren zur Dekontaminierung von Milch	50
IV. Künftige Untersuchungsmöglichkeiten	51
V. Literatur	52
VI. Zusammenfassung	64

## I. E i n l e i t u n g

Die vorliegende Literaturstudie über die Probleme der Dekontaminierung radioaktiv kontaminierter Milch ist zu dem Zweck durchgeführt worden, die in der Literatur vorliegenden Daten zu sammeln, um den augenblicklichen Stand der Möglichkeiten und der Verfahren zur Dekontaminierung von Milch aufzuzeigen. Dabei sollte die Frage im Vordergrund stehen, inwieweit die einzelnen Verfahren praktisch anwendbar und wirtschaftlich sind, damit gegebenenfalls Schlussfolgerungen gezogen werden können über die Dekontaminierungsverfahren, die technisch und wirtschaftlich die besten Aussichten haben.

Auf Grund der bisherigen Untersuchungen über Dekontaminierungsmöglichkeiten für Milch kommen folgende Prinzipien zur Anwendung:

- a) Ionenaustausch
- b) Elektrodialyse
- c) Molkereitechnische Verfahren.



II. 1. Dekontamination durch Verwendung synthetischer Ionenaustauscher-Harze

II. 1. 1. "batch"-Verfahren

Beim "batch"-Verfahren befinden sich die zu dekontaminierende Milch und Ionenaustauscher-Harz in einem bestimmten Mengenverhältnis in einem Gefäss. Eine Zeitlang erfolgt eine mechanische Durchmischung von Harz und Milch. Anschliessend wird die Milch durch Filtrieren vom Harz getrennt. Für eine erneute Verwendung für die Dekontamination von Milch wird das mit den radioaktiven Ionen beladene Harz durch mehrmalige Behandlung mit verschiedenen Lösungen von den radioaktiven Ionen befreit und regeneriert, d.h. mit nicht-radioaktiven Ionen beladen. Die Regenerierungslösung wird im allgemeinen so gewählt, dass bei dem Ionenaustausch während der Dekontaminierung die Zusammensetzung der Milch möglichst wenig geändert wird.

Über die Entfernung von Cs-134, K-42 und J-131 mit dem "batch"-Verfahren wird in dem Forschungsbericht ORO-245 (74), allerdings nicht sehr ausführlich, berichtet. Aus in vivo kontaminierter Milch konnten bei Verwendung des Ionenaustauscher-Harzes DOWEX 50 W in der Natrium-Form und einer Mischung von Milch und Harz im Verhältnis 20 : 1 ca. 75 % des Cs-134 und 74 % des K-42 entfernt werden. Bei Verwendung von DOWEX 1 in der Chlorid-Form konnten ca. 90 % des J-131 entfernt werden. Anscheinend wurden diese Versuche ohne Änderung des pH-Wertes der Milch durchgeführt. Über die organoleptische Qualität der behandelten Milch sind in (74) keine Angaben enthalten.

M i g i c o v s k y hat in mehreren Veröffentlichungen (54, 55, 56) z.T. ausführlich über Untersuchungen mit dem "batch"-Verfahren berichtet. Im einzelnen wurden u.a. die Einflüsse folgender Faktoren geprüft:

- a) Art des Austauscher-Harzes
- b) Mengenverhältnis von Harz zu Milch
- c) Rührzeit
- d) Konzentration des Radionuklids in der Milch
- e) Verschiedene Beladung des Austauscher-Harzes
- f) Temperatur.

M i g i c o v s k y nahm keine Änderung des pH-Wertes der Milch vor. Mit einer Menge von 1 g Harz auf 20 ml Milch konnte aus in vivo-kontaminierter Milch ca. 90 % des radioaktiven Sr entfernt werden, aus in vitro-kontaminierter Milch ebenfalls ca. 90 % des radioaktiven Cs.

In dem britischen Patent der C a n a d i a n P a t e n t s a n d D e v e l o p m e n t s L t d. (14) wird ebenfalls das "batch"-Verfahren zur Entfernung von radioaktivem Sr und Cs verwendet. Das Harz DOWEX 50 W wurde mit Ca-, K- und Na-Ionen im Verhältnis 1 : 1.33 : 0.42 beladen. Bei einer zweifachen Behandlung, wobei jeweils 100 Teile kontaminierter Milch und 1 Teil Ionenaustauscher-Harz 2,5 Minuten miteinander gemischt wurden, liessen sich 92 % Sr bzw. Cs entfernen, ohne dass eine Änderung des pH-Wertes der Milch vorgenommen wurde. Die Beladung des Austauscher-Harzes mit Kalzium-, Kalium- und Natrium-Ionen in dem o.a. Verhältnis bewirkt, dass während des Austauschprozesses der Gehalt der Milch an diesen Kationen praktisch nicht geändert wird.

Weitere Untersuchungen mit dem "batch"-Verfahren stammen von E a s t e r l y , D e m o t t und C r a g l e (25). Sie verwendeten für ihre Versuche frische Magermilch, die in vitro mit  $^{89}\text{Sr Cl}_2$  und  $^{45}\text{Ca Cl}_2$  kontaminiert, gut vermischt und 16 Stunden bei  $4^{\circ}\text{C}$  aufbewahrt wurde. Danach wurde diese Milch dekontaminiert. Die Verfasser gaben jeweils 5 g DOWEX 50 W- X12 in der Kalzium-Form und 100 ml kontaminierte Milch zusammen und wählten Schüttelzeiten von 1, 10, 60 und 120 Minuten. Danach wurde die Milch filtriert und der Dekontaminationsgrad bestimmt.

Im Mittel ergaben mehrere Versuche folgendes Ergebnis:

Nach einer Kontaktzeit von einer Minute war an Sr-89 62 % und an Ca-45 52 % entfernt, nach 120 Minuten 76 % Sr-89 und 67 % Ca-45, wobei in den ersten 10 Minuten bereits der grösste Prozentsatz entfernt wurde.

In der folgenden Tabelle sollen die Auswirkungen eines verschiedenen grossen Verhältnisses Milch zu Harz auf den Dekontaminationsgrad aufgezeigt werden:

<u>Milch : Harz</u>	<u>Sr</u>	<u>Ca</u>
2 : 1	94 %	93 %
10 : 1	83 %	76 %
40 : 1	54 %	36 %
200 : 1	21 %	16 %

Die Verfasser stellten durch vergleichende Versuche fest, dass die Wirksamkeit des "batch"-Verfahrens etwas grösser als die des "fixed bed"-Verfahrens ist.

D e m o t t und E a s t e r l y (19) untersuchten die Möglichkeit, Jod-131 zu entfernen. Sie kontaminierten in vivo durch Fütterung von J-131 enthaltenden Präparaten. Bei den Dekontaminationsversuchen wurden 100 ml Vollmilch mit 5 g Dowex I-X8-Harz in der Chlorid-Form 10 Minuten lang geschüttelt, dann die Milch gefiltert und der Dekontaminationsgrad bestimmt. Unabhängig von der Höhe des J-131-Gehaltes konnten ca. 90 % des J-131 entfernt werden.

In der Arbeit von K a l c h e v (44) wurde mit Sr-89 in vitro-kontaminierte, pasteurisierte Vollmilch durch Behandlung mit dem Harz Wofafit KPS-200 in der Ca-Form dekontaminiert. Die Kontamination wurde 1/2, 1 und 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub> Stunden vor der Dekontamination vorgenommen. Die Autoren geben einen Dekontaminationsgrad von ca. 90 % an bei einem Harz-Milch-Verhältnis von 1 : 7 und Schüttelzeiten von 2 bis 6 Stunden. Weitere Untersuchungen mit dem

"batch"-Verfahren wurden von A a r k r o g und R o s e n - b a u m (1) durchgeführt. Sie kontaminierten in vivo mit Sr-85. Die Dekontamination wurde wie folgt vorgenommen: 1 Liter Milch wurde zunächst 20 Minuten mit 50 g Dowex 50 W-X8-Harz in der Kalium-Form plus 5 g in der Wasserstoff-Form mechanisch durchmischt. Nach Filtration wurde die Milch erneut dieser Behandlung unterzogen, wieder gefiltert und schliesslich 20 Minuten mit 55 g Dowex 50 W-X8-Harz in der Kalzium-Form plus 5 g in der Wasserstoff-Form vermischt. Die Autoren geben an, dass sich auf diese Weise 99.7 % (!) des radioaktiven Strontiums entfernen liessen.

#### Veränderungen der Milch

M i g i c o v s k y (54) stellte fest, dass bei Verwendung des Harzes Dowex 50 W-X8 in der reinen Kalzium-Form der Kalium-, Kalzium- und Natrium-Gehalt der Milch stark verändert wird. Bei einer Vermischung von 0.25, 0.50, 0.75 und 1.00 g Harz mit jeweils 20 ml Milch nahm der Kalzium-Gehalt um 22, 40, 47 und 53 % zu, während der Kalium-Gehalt um 22, 40, 48 und 53 % und der Natrium-Gehalt um 6, 22, 25 und 27 % abnahmen. Diese Änderungen konnten bei Verwendung von gemischt beladenem Harz vermieden werden. Zu diesem Zweck wurde Dowex 50 W-X8 mit einer entsprechenden Lösung von  $\text{CaCl}_2$ , KCl und NaCl behandelt. Nach M i g i c o v s k y konnten bei der so behandelten Milch keine geschmacklichen Veränderungen festgestellt werden.

Bei der im britischen Patent (14) angemeldeten "batch"-Methode sollen wegen der Verwendung von gemischt beladenem Harz ebenfalls keine Änderungen in der Kationenzusammensetzung und im Geschmack auftreten.

In der Arbeit von D e m o t t und E a s t e r l y (19), bei der die Entfernung von J-131 unter Benutzung des Harzes Dowex I-X8 in der Chlorid-Form untersucht wurde, wurde festgestellt, dass der Chlorid-Gehalt der behandelten Milch um 65 %

gestiegen, der Phosphor-Gehalt dagegen um 13 % gesunken war. Organoleptisch wurde die Milch nicht geprüft.

A a r k r o g und R o s e n b a u m (1) berichten in ihrer Arbeit, dass bei der nach ihrem Verfahren dekontaminierten Milch bei einer Geschmacksprüfung keine merklichen Unterschiede gegenüber Konsummilch festgestellt werden konnten. Die Autoren betonen jedoch, dass keine Untersuchungen über Änderungen des Nährwertes und der chemischen Zusammensetzung der behandelten Milch durchgeführt wurden.

D e m o t t , H o l t und C r a g l e (20) untersuchten die Änderungen der Kationenzusammensetzung der Milch bei Verwendung von verschiedenen beladenen Ionenaustauscher-Harzen. Bei einem Mengenverhältnis von Milch zu Harz (Dowex 50 W - X12) von 20 : 1 nahmen bei Verwendung von Harz in der Kalzium-Form der Kalzium-Gehalt der behandelten Milch um 37 % zu, dagegen der Gehalt an Kalium, Natrium und Magnesium um 35, 14 und 30 % ab. Bei Verwendung von Ionenaustauscher-Harz in der Natrium-Form wurde eine Zunahme des Natrium-Gehaltes, dagegen eine Abnahme des Kalium-, Kalzium- und Magnesium-Gehaltes festgestellt. Diese Änderungen konnten von den Autoren auf ein Minimum reduziert werden, wenn die Kationenzusammensetzung der Regenerierungslösung des Harzes derjenigen der Milch auf der Grundlage der meq Fraktionen angenähert wurde.

### Zusammenfassung

Auf Grund der bislang veröffentlichten Versuchsergebnisse lässt sich das "batch"-Verfahren wie folgt beurteilen:

- 1.) Grundsätzlich ist es geeignet, sowohl radioaktive Kationen als auch Anionen zu entfernen. In den besprochenen Arbeiten wurden die Radioelemente Ca-45, Cs-134, K-42, J-131 und Sr-85 bzw. Sr-89 berücksichtigt. Bei den mit relativ kleinen Milchmengen durchgeführten Ver-

suchen wurde normalerweise ein Dekontaminationsgrad von ca. 90 % erreicht, von A a r k r o g und R o s e n b a u m (1) sogar 99.7 % für Sr.

- 2.) Es ist offenbar möglich, durch Verwendung von gemischt beladenem Ionenaustauscher-Harz (14, 54, 55, 56) oder durch mehrfache Behandlung mit verschiedenen beladenen Harzen (1) zu erreichen, dass die Zusammensetzung der Milch nur unwesentlich geändert wird und ihre organoleptische Qualität erhalten bleibt.

Es sei hier hervorgehoben, dass alle o.a. Versuche ohne Änderung des pH-Wertes der Milch vorgenommen wurden.

Über die Wirtschaftlichkeit des "batch"-Verfahrens bei Anwendung im grossen Maßstab lassen sich auf Grund der bislang veröffentlichten Untersuchungen keine genauen Angaben machen.

Lediglich in der Arbeit von A a r k r o g und R o s e n - b a u m (1) ist von Plänen zur Errichtung einer Klein-Anlage (pilot plant) die Rede. Jedoch konnten darüber keine weiteren Informationen erhalten werden.

## II. 1. 2. "fixed bed"-Verfahren

Beim "fixed bed"-Verfahren befindet sich das Ionenaustauscher-Harz in einer Säule. Die zu dekontaminierende Milch wird durch diese Säule geleitet, bis ein bestimmter Dekontaminationsgrad unterschritten wird. Anschliessend erfolgt die Reinigung und Regenerierung des Harzes. Danach kann erneut Milch durch die Säule geleitet werden.

Eine kurze Notiz über die Entfernung von Cs-134 und K-42 aus in vivo-kontaminierter Milch befindet sich in dem Forschungsbericht ORO-245 (74). Unter Verwendung von DOWEX 50 W - Harz in der Natrium-Form konnten mit einer Säule, in der sich 10 g Harz befanden, aus den ersten 150 ml Milch 99 % des Cs-134 und K-42 entfernt werden.

G l u e c k a u f , C o s s l e t t und W a t t s (39) entfernten radioaktives Jod unter Benutzung des Harzes DE-ACI-DITE FF in der Chlorid-Form und 6 inch (15 cm) hohen Säulen. Sowohl bei in vitro- als auch in vivo-kontaminierter Milch liess sich das Jod bei einem Durchlauf aus einer Milchmenge, die ca. 500 mal so gross war wie die Harzmenge, fast vollständig entfernen (nach Angabe der Verfasser 99,6 %).

In der Arbeit (16) von C o s s l e t t und W a t t s wird über verschiedene Versuche zur Entfernung von Sr-89 und J-131 berichtet. Beide Radionuklide konnten zu 98 % entfernt werden.

Ausführliche Untersuchungen stammen von E a s t e r l y , D e m o t t und C r a g l e (24). Es wurde Sr-89 und Ca-45 sowohl aus in vivo- als auch aus in vitro-kontaminierter Milch entfernt.

Die Verfasser trennten die kontaminierte Vollmilch in Rahm und Magermilch, wobei nur die Magermilch einer Dekontamination unterzogen wurde.

Die Säulen waren 18 mm im Durchmesser, 61 cm lang und enthielten jeweils 50 g des Austauscher-Harzes DOWEX 50 W-X4 oder DOWEX 50 W-X12 oder DUOLITE C-20. Die Durchsatzrate betrug ca. 7 ml pro Minute. Die Milch wurde durch die Austauschersäule von unten nach oben gepumpt. Die Verfasser verwendeten die Harze sowohl in der Kalzium-Form als auch in der Natrium-Form. Pro Versuch wurde 1 Liter Milch durch die Säule geschickt und anschliessend das Harz wieder regeneriert.

Die in vivo-Kontamination erfolgte durch Fütterung entsprechender Präparate, die in vitro-Kontamination durch Zugabe von Sr-89 und Ca-45 zu frischer Vollmilch, die dabei gut durchmischt und anschliessend 16 Stunden bei 4°C gehalten wurde. Der pH-Wert der Milch wurde nicht geändert.

Diese Versuche ergaben in der zweiten 100 ml-Menge bei allen drei Austauscher-Harzen in der Kalzium-Form einen Dekontaminationsgrad von 70 - 80 % für beide Radionuklide, in der zehnten 100 ml-Menge dagegen nur noch 40 - 60 %. Die Werte bei in vitro-kontaminierter Milch lagen etwas höher als die von in vivo-kontaminierter Milch. In der Natrium-Form erwiesen sich die Harze, besonders DUOLITE C-20, als weniger wirksam.

Ebenfalls ausführlichere Untersuchungen sind von M u r t h y, M a s u r o v s k y , C a m p b e l l und E d m o n d s o n (59) durchgeführt worden. Sie kontaminierten frische Vollmilch in vitro mit Sr-85, Ba-140 oder Cs-134 und bewahrten sie bis zum Beginn der Dekontamination mindestens 72 Stunden bei 4°C auf. Das Harz DOWEX 50 W-X8 wurde mit Ca, Mg, K, Na-Ionen beladen, wobei in der Regenerierungslösung die relative Konzentration dieser Ionen wie in der Milch gewählt wurde. Der pH-Wert der Milch wurde vor der Dekontamination mit Hilfe von 0.1 oder 0.5 molarer Zitronensäure auf 5,4 oder 5,3 eingestellt. Diese Milch floss durch eine 30 g DOWEX 50W-X8 enthaltende Säule mit Durchsatzraten von 5 - 35 ml pro Minute. Anschliessend wurde der pH-Wert der Milch durch eine Behandlung mit dem basischen Harz DOWEX 2-X8 in der OH-Form wieder auf 6,6 eingestellt. Un-



abhängig von der Durchsatzrate konnten bei einem pH-Wert von 5,3 maximal 98 % des Sr-85 und 94 % des Ba-140 entfernt werden. Allerdings sanken die Dekontaminationsraten, je mehr Milch bei einem Durchlauf dekontaminiert wurde. Die Entfernung von Cs-134 war pH-unabhängig und betrug maximal 100 %.

M u r t h y , G i l c h r i s t u n d C a m p b e l l (63) untersuchten, inwieweit sich J-131 entfernen lässt. Sowohl in vivo- als auch in vitro-kontaminierte Milch wurde durch eine Säule (2,0 x 4,8 cm) mit 15 ml DOWEX 2-X8 Harz, welches vorher mit Chlorid-, Phosphat- und Zitrat-Ionen beladen wurde, mit Durchsatzraten von 5 - 20 ml pro Minute geleitet. Es konnten bei einem Durchlauf von ca. 2 Litern ca.  $98 \pm 2$  % des J-131 entfernt werden. Temperaturen von 1 - 30°C und verschiedenen grosse Durchsatzraten wirkten sich nicht auf den Dekontaminationsgrad aus. Die Verfasser stellten fest, dass sich das gesamte in der Milch befindliche, mit Ausnahme des an das Protein gebundenen J-131, auf diese Weise entfernen lässt.

E a s t e r l y , H a r r i s , B u n c e u n d E d m o n d s o n (27) untersuchten, inwieweit sich Temperatur, Durchsatzrate und Fliessrichtung der Milch in den Ionenaustauscher-Säulen auf den Dekontaminationsgrad auswirken. Die Untersuchungen beschränkten sich auf mit Sr-85 in vivo-kontaminierte Milch. Es wurden Säulen mit einem Durchmesser von 3,8 cm und eine Harzmenge (AMBERLITE JR-120, gemischt beladen) von 100 ml benutzt.

Bei einem pH-Wert von 5,4 wirkten sich Temperaturen von 40 - 80°F (4 - 27°C) nicht aus. Der Dekontaminationsgrad betrug ca. 85 % bei einer Milchmenge von 5 Litern in einem Durchlauf. Dagegen wirkten sich bei einem pH-Wert von 6.65 Temperaturunterschiede aus. Bei 100°F (38°C) wurden 8 % mehr Sr-85 entfernt als bei 40°F (4°C). Der Dekontaminationsgrad betrug jedoch nur 30 - 40 %.

Verschiedene Durchsatzraten wirkten sich auf den Dekontaminationsgrad derart aus, dass bei einer Milchmenge von 3 Litern bei

einer Durchsatzrate von 25 ml pro Minute 96 %, bei 200 ml pro Minute nur 71 % Sr-85 entfernt wurden.

Schliesslich haben E a s t e r l y u.a. (28) die Verwendbarkeit verschiedener Säuren zur Einstellung des pH-Wertes untersucht. Am besten scheint sich Zitronensäure zu eignen (97,5 % Sr-85 entfernt). Bei der Verwendung von Essigsäure konnten 89,4 %, bei Salzsäure 88,4 % und bei Phosphorsäure 83,1 % Sr-85 entfernt werden.

### Veränderungen der Milch

In der Arbeit von E a s t e r l y , D e m o t t und C r a g l e (24) wurden mehrere Veränderungen der behandelten Milch festgestellt. Die dekontaminierte Milch besass eine wesentlich geringere Labgerinnungszeit, eine grössere Festigkeit des "Bruches", einen geringeren pH-Wert und mehr titrierbare Säure als normale Milch. Der Kalzium-Gehalt stieg ebenfalls an. Die ersten 100 ml-Mengen dekontaminierter Milch schmeckten leicht bitter.

M u r t h y und Mitarbeiter (59) untersuchten den Ca, Mg, K und Na-Gehalt der dekontaminierten Milch und stellten fest, dass bei gemischter Beladung des Austauschharzes mit Ca-, Mg-, K- und Na-Ionen unter Berücksichtigung der Konzentration dieser Ionen in der Milch keine merklichen Änderungen in der Kationenzusammensetzung der Milch auftreten. Die behandelte Milch wurde von 10 Personen organoleptisch geprüft. Sie war mit normaler Milch vergleichbar.

Die Untersuchungen von M u r t h y , G i l c h r i s t und C a m p b e l l (63) über die Entfernung von J-131 ergaben, dass die Verwendung von gemischt beladenem Anionenaus-

tauscher-Harz DOWEX 2-X8 keine merklichen Veränderungen in der Anionenzusammensetzung und im Geschmack der Milch bewirkt.

Die optimale Zusammensetzung der Regenerierungslösung bezüglich der am häufigsten in der Milch auftretenden Kationen ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  und  $\text{Mg}^{++}$ ) zur Erzielung möglichst minimaler Änderungen in der Kationenzusammensetzung dekontaminierter Milch ist in der Arbeit von Landgrebe, Edmondson und Douglas (49) untersucht worden. Es wird festgestellt, dass die Kationenzusammensetzung der Milch u.a. auch von der jeweiligen Rinder-Rasse und der Jahreszeit abhängt und dass demnach auch die Zusammensetzung der Regenerierungslösungen von Fall zu Fall geändert werden muss.

#### Ergebnisse mit einer Klein-Anlage (pilot plant)

Von Edmondson u.a. (31) wird über eine in Beltsville, Maryland (USA) arbeitende Anlage mit einer Stundenleistung von 100 gal (1 gal = 3,785 l) berichtet. Diese Anlage arbeitet mit zwei Austauscher-Säulen (Durchmesser: 6 inch = 15,5 cm; Länge: 5 ft. = 1,55 m), wobei jede  $\frac{2}{3}$  cu.ft. =  $18,9 \text{ dm}^3$  Ionenaustauscher-Harz enthält. Mit Sr-85 in vivo-kontaminierte Vollmilch (Aktivität ca.  $1 \mu\text{c}$  pro Liter) wird zunächst mit 0,75 molarer Zitronensäure auf einen pH-Wert von 5.3 - 5.4 gebracht und dann durch eine der beiden Säulen unter einem geringen Überdruck mit konstanter Durchsatzrate geleitet.

Das Austauscher-Harz (AMBERLITE IR - 120 oder DOWEX - 50 W) wird vorher mit Ca-, K-, Na- und Mg-Ionen beladen, wobei die Konzentrationen der einzelnen Ionen so gewählt werden, dass die Zusammensetzung der Milch unverändert bleibt. Die Regenerierungslösung wurde wie folgt gewählt (in g pro 1 Lösung):

CaCl <sub>2</sub> . 2 H <sub>2</sub> O	53.5
KCl	23.1
NaCl	8.5
MgCl <sub>2</sub> . 6 H <sub>2</sub> O	15.1

Die Milchmenge, die in einem Durchlauf dekontaminiert werden kann, hängt von dem gewünschten Dekontaminationsgrad ab. Es soll hierbei eine Milchmenge zu 90 % bezüglich Sr dekontaminiert werden können, die dem 25-fachen Volumen des Austauscher-Harzes entspricht (resin bed volume = r.b.v.). Anschliessend wird die kontaminierte Milch durch die zweite Säule geleitet, während die erste gereinigt und regeneriert wird.

Der pH-Wert der dekontaminierten Milch wird mit KOH oder einer Mischung von KOH und NaOH wieder auf 6.6 eingestellt. Alleinige Benutzung von NaOH soll einen salzigen Geschmack der Milch verursachen.

Die Verfasser betonen, dass dieser Bericht nur den augenblicklichen Stand dieser Untersuchungen wiedergibt. Insbesondere technische, wirtschaftliche und sanitäre Fragen sollten in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Edmondson gibt in seinem Bericht (33) weitere Ergebnisse mit dieser Anlage, die technisch vervollkommenet wurde, an. Bei Wiederverwendung eines Teils der Regenerierungslösung werden die Kosten für die Entfernung von radioaktiven Kationen auf 0.48 cent und 0.92 cent pro quart Milch geschätzt, je nachdem, ob man technischen oder U.S.P.-Reinheitsgrad der Salze wählt.

Untersuchungen über den Vitamin-Gehalt der behandelten Milch ergaben keine Veränderungen gegenüber normaler Milch. Ebenso konnte durch Fütterungsversuche ein unterschiedlicher Nährwert nicht festgestellt werden.

Nach E d m o n d s o n ist geplant, die Anlage vollständig zu automatisieren. Ebenso soll noch untersucht werden, inwieweit sich J-131 entfernen lässt.

Daten über den Bau einer Gross-Anlage

Das U.S. Department of Health, Education and Welfare teilte am 12.3.1964 mit, dass auf Grund der positiven Ergebnisse mit der Klein-Anlage in Beltsville zur Zeit eine Anlage mit einer Leistung von ca. 6 000 Litern pro Stunde gebaut wird.

Eine Beschreibung der Funktionsweise dieser Gross-Anlage ist in dem Bericht (80) des U.S. Department of Health, Education and Welfare enthalten.

### II. 1. 3. "Higgins"-Verfahren

Die Funktionsweise dieses Verfahrens ist u.a. von F o o k s (37) beschrieben worden. Auch hier wird wie beim "fixed bed"-System Ionenaustauscher-Harz verwendet. Es befindet sich in dem sog. "Higgins-contactor", einem in sich geschlossenen Rohr. Dieses Rohr ist in zwei Abteilungen unterteilt. In dem einen Teil wird die Milch von den Radionukliden befreit, während gleichzeitig im anderen Teil das Harz regeneriert wird. Diese beiden Teile des "Higgins-contactors" sind unter Verwendung von Ventilen voneinander getrennt.

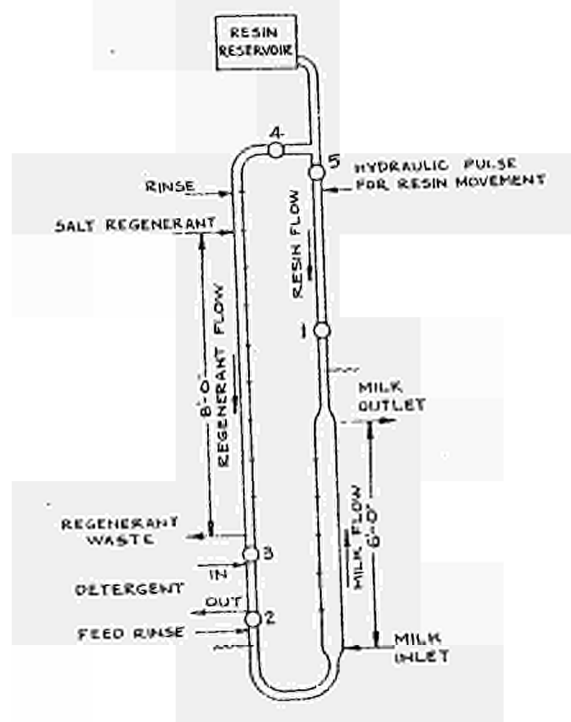


Abb. 1 Higgins-contactor  
(schematisch)

Wenn in der Milch-Sektion ein bestimmter Wirkungsgrad bei der Entfernung der Radionuklide unterschritten wird, wird der Zufluss weiterer Milch gestoppt und das Harz hydraulisch im "Higgins-contactor" weiterbewegt. Auf diese Weise gelangt das frisch regenerierte Harz in die Milch-Sektion und das mit Radionukliden beladene in die Regenerierungs-Sektion. Dort wird es von den radioaktiven Ionen befreit und regeneriert. Die kontaminierte Milch fliesst nun wieder durch die Milch-Sektion, bis wieder ein Auswechseln des Harzes notwendig wird.

Diese Methode nach Higgins wird oft als die kontinuierlich arbeitende Ionenaustauscher-Methode bezeichnet. Dies ist jedoch nicht ganz richtig. Es laufen zwar Dekontaminierung und Regenerierung gleichzeitig ab, doch muss der Milchfluss dann unterbrochen werden, wenn der Wirkungsgrad des Harzes in der Milch-Sektion zu weit abgesunken ist.

Beim "fixed bed"-System wird der Milchfluss auch gestoppt, wenn sich das Harz in einer Säule erschöpft hat, nur dass dann die Milch durch eine andere, mit frischem Harz gefüllte Säule geleitet wird, während das Harz der ersten regeneriert wird.

Beim "fixed bed"-System ist ein grösseres Volumen an Harz notwendig als beim "Higgins"-System. Der Verlust an Milch ist beim erstgenannten Verfahren etwas grösser. Die verwendeten Ionenaustauscher-Harze sind bei beiden Verfahren die gleichen. Das "Higgins"-System soll sich einfacher automatisieren lassen.

#### Ergebnisse mit einer Laboranlage

Edmondson (33) hat Ergebnisse mit einer im Agricultural Research Center in Beltsville (USA) arbeitenden Laboranlage veröffentlicht. Es wurden radioaktive Kationen und Anionen

aus der Milch entfernt. Dabei ist zu beachten, dass die mit Sr-85 in vivo-kontaminierte Milch bei einem pH-Wert von 6.6, der für Milch normal ist, behandelt wurde.

Versuchsdaten:

Austauscher-Harz: AMBERLITE IR-120 (Na-Form)

Regenerierungslösung: 10%ige NaCl-Lösung

Milchmenge: 250 lbs.

Durchsatzrate für Milch: 250 ml/min

Durchsatzrate für Regenerierungslösung: 200 ml/min.

Während des 7 Stunden lang laufenden Versuchs wurden stündlich dekontaminierte Milchproben auf ihren Gehalt an Sr-85 untersucht. Dabei ergaben sich folgende Dekontaminationsraten:

1. Stunde	99,5 %
2. Stunde	99,9 %
3. Stunde	99,3 %
4. Stunde	98,7 %
5. Stunde	95,3 %
6. Stunde	97,1 %
7. Stunde	99,1 %.

Für entsprechende Versuche mit J-131 wurde in vivo-kontaminierte Milch im "Higgins-contactor" mit dem stark basischen Harz AMBERLITE IRA-400 in der OH-Form behandelt. In einen 4-Stunden-Versuch wurden im Mittel 85,5 % des Jod-131 bei gleichzeitiger Neutralisierung entfernt.

Veränderungen der Milch

Da zur Entfernung von Sr-85 Ionenaustauscher-Harz in der Na-Form benutzt worden war, verschob sich das Kationen-Gleichgewicht der



behandelten Milch beträchtlich.

In der folgenden Tabelle sind diese Veränderungen für die wichtigsten Kationen zusammengestellt:

	Ca	Na	K	Mg (mg/l)
unbehandelte Milch	960	563	1500	110
behandelte Milch nach 1 Stunde	43	2563	0	55
behandelte Milch nach 3 Stunden	52	2625	0	55
behandelte Milch nach 5 Stunden	82	2450	2	53
behandelte Milch nach 7 Stunden	48	2713	2	56

Um die Kationenzusammensetzung unbehandelter Milch wieder herzustellen, wurde eine zweite Behandlung mit einem gemischt beladenen Harz vorgeschlagen. In Ermangelung eines zweiten "Higgins-contactors" wurden für diese zweite Behandlung "fixed bed"-Säulen mit AMBERLITE IR-120 in der Ca-, K-, Na-, Mg-Form benutzt. Es zeigte sich, dass ein solches zweistufiges Verfahren praktikabel ist. Es wurden Milchproben nach der 1. und 6. Stunde des obigen Versuchs dieser zweiten Behandlung unterzogen. Die Zusammensetzung der ersten r.b.v. der auf diese Weise behandelten Milch würde etwa der bei der Verwendung eines zweiten "Higgins-contactors" entsprechen. Drei Teile von 3 r.b.v. Milch wurden analysiert. Dabei ergaben sich folgende Ergebnisse:

		Ca	Na	K	Mg (mg/Liter)
I. (1.Std.)	1	975	550	1609	73
	2	850	632	1469	69
	3	600	1500	1203	63
II. (6.Std.)	1	875	675	1509	166
	2	838	775	1416	66
	3	713	1450	1353	77

Betrachtet man jeweils die ersten Fraktionen, so bemerkt man,

abgesehen von Mg, eine relativ gute Wiederherstellung des Kationengleichgewichts von unbehandelter Milch.

In (37) werden weitere Versuche angekündigt, um bei Verwendung eines zweiten "Higgins-contactors" die optimale Zusammensetzung der Regenerierungslösung und die optimalen Durchsatzraten zu bestimmen, damit die Verteilung der Kationen möglichst gut wiederhergestellt wird.

Zur Geschmacksprüfung wurde aus Sicherheitsgründen nicht die Milch des obigen Versuchs und auch nicht der jetzt radioaktive "Higgins-contactor" verwendet, sondern neue unkontaminierte Milch und eine "fixed bed"-Säule. Unter Benutzung des stark sauren ~~sauren~~ Harzes AMBERLITE IR-120 wurde zunächst eine Milchmenge von 5 r.b.v. durch eine Säule mit dem Harz in der Na-Form und anschliessend durch eine zweite, gemischt beladene (aber ohne Na) Säule geleitet. Diese Behandlung änderte nicht das ursprüngliche Kationengleichgewicht und entsprach ungefähr einer entsprechenden Behandlung im "Higgins-contactor". Milchproben wurden nach Pasteurisierung, Homogenisierung und 48-stündiger Lagerung einem Ausschuss zur Prüfung vorgelegt.

Ergebnis:	Kontrollmilch	36.4 Punkte,
	behandelte Milch	35,1 Punkte.

#### Daten über den Bau von Klein- (pilot plants) und Grossanlagen

Die nach dem "Higgins"-Verfahren arbeitenden Anlagen zur Dekontaminierung von Milch werden von der Firma Chemical Separations Corporation, Oak Ridge, Tennessee (USA) hergestellt bzw. projektiert. Nach Angabe dieser Firma wird z.Zt. eine "pilot-plant" mit einer Durchsatzrate von 100 gallons pro Stunde gebaut. Sie soll einmal in einem der Public Health Forschungszentren arbeiten. Weiterhin ist auch jetzt schon der Bau von

Grossanlagen beliebiger Kapazität möglich, wenn auch noch nicht alle Probleme bei der sanitären Ausrüstung dieser Anlagen gelöst sind.

In einem Prospekt dieser Firma (15) wird angegeben, dass bei Grossanlagen mit täglichen Kapazitäten von 50.000, 100.000 oder 150.000 quarts (1 quart = 0.946 Liter) die Dekontamination von 1 quart Milch 0.1 bis 0.2 U.S.-cent kosten wird. Irgendwelche Änderungen in der Zusammensetzung der Milch sowie Geschmacksänderungen sollen nicht auftreten. Der Dekontaminationsgrad soll für alle Radionuklide mehr als 90 % betragen.

II. 2. Dekontamination durch Verwendung von Ionen-austauschenden Mineralien und von chemisch behandelte  
Knochensubstanz bzw. Knochenasche

Die Verwendbarkeit relativ billiger Mineralien und chemisch behandelte Knochensubstanz zur Dekontamination von Milch ist insbesondere von Armstrong und Singer (9, 10, 11, 67, 68, 69) untersucht worden. Diese Untersuchungen beschränkten sich auf radioaktives Strontium. Es handelte sich ausschliesslich um Versuche mit relativ geringen Milchmengen.

Untersuchte Substanzen

Im einzelnen wurden von Armstrong und Singer folgende Substanzen auf ihre Verwendbarkeit zur Dekontamination von Milch untersucht:

1. Tierische Knochen, denen mit Äthylen-Diamin das Protein entzogen wurde;
2. Tierische Knochen, die mit Kalilauge in kochendem Äthylen-Glykol behandelt wurden;
3. Trockene fettfreie Knochensubstanz;
4. Knochenasche;
5. Apatit (Kalziumfluorophosphat und Kalziumchlorophosphat);
6. Crandallit (Kalziumaluminiumphosphat);
7. Dikalziumhydrogenphosphat;
8. Trikalziumphosphat;
9. Kalziumsulfat;
10. "Tennessee rock"-Phosphat (Kalziumphosphat, welches im allgemeinen noch Kalziumkarbonat und andere Mineralien enthält);
11. Trockene fettfreie Knochensubstanz, die mit KOH und  $\text{CaCl}_2$  vorbehandelt wurde;
12. Dampfbehandelte Knochen.

Die einzelnen Substanzen wurden in gekörnter Form mit Korngrößen von etwa 40 bis 200 mesh sowohl im "batch"-Verfahren als auch im "fixed bed"-Verfahren verwendet.

Die Milch wurde jeweils in vitro mit Strontium-85 kontaminiert. Rückschlüsse auf das Verhalten von in vivo-kontaminierter Milch bei entsprechender Behandlung sind nur bedingt möglich, da die Autoren keine Angaben über die Zeitspanne zwischen der Kontamination und der Dekontamination gemacht haben.

An Hand einiger Versuchsergebnisse sollen im folgenden die Verwendungsmöglichkeiten der o.a. Substanzen für die Dekontamination aufgezeigt werden.

#### Ergebnisse mit dem "batch"-Verfahren

Bestimmte Mengen von kontaminierter Milch und der jeweiligen Substanz wurden in einem Gefäß eine gewisse Zeit gerührt, geschüttelt oder durch eingeleitete Luft vermischt, evtl. noch längere Zeit stehen gelassen und anschliessend die Ionen-austauschende Substanz durch Zentrifugieren oder Filtrieren wieder von der Milch getrennt. Das Verhältnis Austauschersubstanz : Milch (g/ml) wurde in der Größenordnung 1 : 2,5 bis 1 : 50 variiert; die Kontaktzeit von Austauschersubstanz und kontaminierter Milch lag zwischen einigen Minuten und 24 Stunden, wobei Zeiten von 30 Minuten bis 2 Stunden zur wesentlichen Entfernung der Radionuklide ausreichten. Im Temperaturbereich von 5°C bis 85°C wurde kein wesentlicher Einfluss der Temperatur auf den Dekontaminationsgrad festgestellt.

Im folgenden sind einige Versuchsergebnisse von A r m - s t r o n g und S i n g e r zusammengestellt:

a) Mit Äthylen-Diamin behandelte Knochen

Mischung: 2 : 25

Schüttelzeit: 10 Minuten

Weitere Kontaktzeit: 40 Minuten (im Kühlschrank)

Trennung durch Filtrieren

<u>Korngrösse</u>	<u>% Sr entfernt</u>
40 mesh	60.4
40 - 60	69.7
60 - 80	71.2
80 - 100	75.5
> 100	90.0

b) Mit KOH-Glykol behandelte Knochen

Behandlung wie unter a)

<u>Korngrösse</u>	<u>% Sr entfernt</u>
40 - 60 mesh	66.4
60 - 80	71.8
80 - 100	88.0
> 100	93.1

c) Crandallit  $\approx$  20

d) Knochenasche  $\approx$  50

e) Fettfreie Knochen nach Vorbehandlung mit KOH (5 min in 8-n-KOH kochen)

Korngrösse: 100 mesh	}	73.6
Mischung: 1 : 25		
Rührzeit: 10 min		

f) L-Apatit

Mischung: 1 : 50	}	$\approx$ 30
Rührzeit: 10 min		
50 min		

g) 2-fache Behandlung

Mischung: 1 ; 25

Rührzeit: 10 min

	<u>1. Behandlg.</u>	<u>2. Behandlg.</u>	<u>Gesamt</u>
Mit Äthylen-Diamin			
behandelte Knochen	78.5 %	69.5 %	93.4 %
Knochenasche (700°C)	33.2 %	29.4 %	52.9 %
Mit KOH-Glykol			
behandelte Knochen	79.4 %	72.2 %	94.3 %

Die hier angeführten Ergebnisse zeigen, dass sich einige Substanzen durchaus zur Dekontaminierung von Milch eignen können, vorausgesetzt, dass die Milch dabei keine unzulässigen Veränderungen erfährt.

#### Ergebnisse mit dem "fixed bed"-Verfahren

A r m s t r o n g und S i n g e r verwendeten bei diesen Versuchen Säulen mit einem Durchmesser von 1 - 2 cm und einer Höhe von 10 - 20 cm, die mit der jeweiligen Austauscher-Substanz gefüllt wurden. Die Durchsatzraten betragen einige ml bis 15 ml pro Minute. Die Autoren stellten fest, dass mit Äthylen-Diamin behandelte, mit KOH-Glykol behandelte und fettfreie Knochen bei einer Vorbehandlung mit einer 4-n-Kalziumchlorid- und einer 8-n-NaOH-Lösung am besten geeignet zu sein scheinen.

Von den Ergebnissen der von ihnen durchgeführten Versuche sei an dieser Stelle nur erwähnt, dass der Dekontaminationsgrad bei 1 Liter Milch je nach Substanz 45 bis 75 % betrug. Die Regenerierung der Austauschersubstanzen kann mit Lösungen, die Kalzium- und Alkali-Ionen enthalten, erfolgen.

Veränderungen der behandelten Milch

Bei diesen Versuchen zeigte sich, dass die Verteilung der Ionen in der Milch nicht beträchtlich geändert wird. In (68) ist z.B. eine Tabelle angegeben, aus der der Einfluss einiger Substanzen auf die Milch ersichtlich ist. Die Grösse der dabei benutzten Säule betrug 12 - 14 cm x 1,8 cm.

Substanz	g Substanz pro quart Milch	Ca meq/L	Na meq/L	K meq/L	P mg %	% Sr-85 entfernt
Kontrollmilch		55	24	39	88	
Substanz 1. (mit 4-n-CaCl <sub>2</sub> vorbehandelt)	25	51	21	37	89	57
Substanz 3. (mit 8-n-KOH vorbehandelt)	33	34	21	38	71	75
Substanz 3. (mit 4-n-CaCl <sub>2</sub> und 8-n-KOH vorbehandelt)	33	34	21	37	60	70

Hier wurde eine Durchsatzrate von 10 - 15 ml/min eingestellt. Die Autoren schlagen vor, einen grösseren Verlust an Ca durch Zugabe von Ca-Präparaten wieder auszugleichen. Ein Geschmacksprüfungsausschuss konnte keine Unterschiede zwischen behandel-ter und Kontrollmilch feststellen (68).

Auch in (69) wird festgestellt, dass bei der Behandlung mit den verschiedenen Substanzen keine merklichen Veränderungen im Ge-schmack auftreten.



### Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die von A r m s t r o n g und S i n g e r veröffentlichten Ergebnisse zeigen, dass mit speziell behandelter Knochen- substanz sowohl im "batch"- als auch im "fixed bed"-Verfahren ein beträchtlicher Teil des radioaktiven Strontiums aus der Milch zu entfernen ist. Dabei muss beachtet werden, dass die Milch in vitro-kontaminiert war und ausserdem nur relativ kleine Milchmengen dekontaminiert wurden.

Die Autoren vertreten die Ansicht (68), dass sich ihr Verfahren auf kommerzieller Basis betreiben lassen müsste. In den vorliegenden Veröffentlichungen werden jedoch keine genaueren Angaben über die entstehenden Kosten gemacht.

Auch liegen bislang keine Daten über die Entwicklung von Kleinst- oder Klein-Anlagen, die solche Substanzen an Stelle synthetischer Ionenaustauscher-Harze benutzen, vor.

### II. 3. Dekontamination durch Verwendung von Trikalzium- phosphat

Die Möglichkeiten, radioaktiv verseuchte Milch durch eine Behandlung mit  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  zu dekontaminieren, haben E d m o n d s o n u. a. (32) und S i l v e r m a n u. a. (66) untersucht. In dem von S i n g e r und A r m s t r o n g angemeldeten Patent (69) wird auch die Benutzung von  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  erwähnt.

E d m o n d s o n (32) gab zu kontaminierter Milch Kalziumphosphat in einer Menge von 80 g/Liter. Die Milch wurde bei einigen Versuchen auf  $70^\circ\text{C}$  erhitzt, dann das Phosphat dazugegeben, die Milch wieder abgekühlt und das Phosphat durch Zentrifugieren wieder entfernt.

E d m o n d s o n stellte in einem Versuch den pH der Milch zunächst auf 5.4 ein (mit  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) und erhöhte ihn vor der Zugabe von Phosphat auf 8.2 (mit KOH).

S i l v e r m a n (66) führte die Versuche ähnlich durch und variierte dabei die Temperatur, die Kontaktdauer und die Menge Phosphat pro Liter Milch.

#### Ausbeute

E d m o n d s o n gab folgende Resultate an:  
(Er benutzte bei allen Versuchen mit Sr-85 in vivo-kontaminierte Milch und 80 g Phosphat pro Liter Milch.)

- a) Die Milch wurde 30 min bei  $70^\circ\text{C}$  gehalten, dann Phosphat dazugegeben. 85 % des Sr-85 wurden entfernt.

- b) Die Milch wurde nur 4 min bei 70°C gehalten, nachdem der pH-Wert zunächst auf 5.4, dann auf 8.2 eingestellt und danach das Phosphat dazugegeben worden war. 93 % des Sr-85 wurden entfernt.
- c) Bei einem pH-Wert von 6.6 wurde mit Phosphat versetzte Milch 24 Stunden bei einer Temperatur von 5°C gerührt. 60 % des Sr-85 wurden entfernt.

S i l v e r m a n und Mitarbeiter (66) kontaminierten die Milch in vitro mit  $^{89}\text{SrCl}_2$  und bewahrten sie bis zur nächsten Behandlung 5 - 24 Stunden bei 5°C auf. Ihre Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben:

Temp. (°C)	Phosphat (g/l)	Kontaktdauer (min)	Abnahme an Sr-89 in %
a) Pasteurisierte, homogenisierte Milch			
5	80	1440	70.0
29	80	5	60.0
60	80	5	73.0
70	80	5	80.5
29	80	30	70.3
60	80	30	87.7
60	40	30	60.4
60	20	30	32.2
70	80	5'	95.1
b) Frische Vollmilch			
60	80	30	91.0
70	80	5	93.0
70	80	5'	95.0

( ' = Kontaktdauer bei der Spitztemperatur. Kalziumphosphat wurde bei 5°C dazugegeben und die Suspension in 15 min auf die Spitztemperatur erhitzt.)

S i n g e r und A r m s t r o n g (69) schüttelten mit Sr-85 in vitro-kontaminierte Milch mit Kalziumphosphat im Verhältnis 20 : 1 10 min lang, liessen sie noch 50 min stehen, filtrierten und analysierten. 58.5 % des Sr-85 wurden entfernt.

### Veränderungen der Milch

Die Zusammensetzung der Milch wird bei der Kalziumphosphat-Fällung anscheinend stärker als bei anderen Verfahren geändert. Nach E d m o n d s o n (32) nahm der Stickstoffgehalt nach der Behandlung um 23 - 33 %, der Ca-Gehalt um mehr als 50 % ab. Bei einigen Versuchen stellte er auch ein Absinken des Gehalts an Phosphor fest. Es liegen in den zitierten Arbeiten keine Tabellen über die Zusammensetzung der Milch vor und nach der Behandlung vor.

S i l v e r m a n (66) schreibt, dass Geschmack, Geruch, Aussehen und pH-Wert der behandelten Milch keine starken Veränderungen zeigten. Er beobachtete aber, dass einige Nährstoffe der Milch, insbesondere Protein, an der Oberfläche des Salzes adsorbiert wurden und somit der Milch verloren gingen. Er hält diesen Effekt für die Beeinflussung des Nährwertes der Milch für gering.

### Möglichkeiten der Anwendung auf kommerzieller Basis

An Hand der wenigen bisher vorliegenden Ergebnisse ist zu erkennen, dass auch diese Methode grundsätzlich für die Dekontaminierung verwendet werden kann. Ein Dekontaminationsgrad von über

90 % bei in vivo-kontaminiertes Milch gilt auch bei den anderen Verfahren als Maximum. Es muss hier jedoch beachtet werden, dass die zitierten Arbeiten nur Daten über den Entzug von Sr enthielten.

S i l v e r m a n (66) vertritt die Ansicht, dass diese Methode praktisch, leistungsfähig, sicher und billig genug ist, um im grossen Maßstab angewendet werden zu können. Schon bestehende Milch-verarbeitende Betriebe könnten diese Methode in ihren Arbeitsprozess eingliedern. Er schätzt, dass bei Verwendung von N.F. grade  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  mit einem Preis von ca. 9 US-cent pro lb. und Wiederverwendung eines Teils des Salzes die Dekontaminationskosten pro Liter Milch etwa 0.5 US-cent betragen würden. Seiner Meinung nach ist die Methode so einfach, dass sie unter Umständen sogar vom einzelnen Verbraucher durchgeführt werden könnte.

In der erfassten Literatur sind keine weiteren Angaben enthalten, ob Pläne existieren, diese Methode weiter auszubauen.

F o o k s (37) erklärt, dass trotz des hohen Dekontaminationsgrades für Sr diese Methode für unzulänglich gehalten wird, da ein beträchtlicher Teil des Proteins verlorenggeht.

#### II. 4. Dekontamination durch Elektrodialyse

Die Möglichkeit, Milch unter Benutzung eines elektrodialytischen Verfahrens zu dekontaminieren, ist ausführlich auf Grund eines Forschungsauftrages des US Department of Defense (Office of Civil Defense) an die Firma *I o n i c s , I n c o r p o - r a t e d* in Cambridge, Mass. (USA) untersucht worden (41). Diese Untersuchungen erstreckten sich auf folgende Radionuklide: Sr-89, Sr-90, Ba-140, La-140, Cs-137, Ce-144 und J-131.

Auf Grund der Ergebnisse mit einer Laboranlage zeigte sich die praktische und wirtschaftliche Anwendbarkeit dieses Verfahrens. Es wurden die Kosten für eine Gross-Anlage abgeschätzt. Vor dem Bau dieser Gross-Anlage sollen weitere Erfahrungen mit einer Klein-Anlage (pilot plant) gesammelt werden.

Versuche, Milch auf elektrodialytischem Wege zu dekontaminieren, sind auch am Polytechnischen Institut von Brooklyn, USA, durchgeführt worden (3, 6). *C o s s l e t t* und *W a t t s* (16) und *G l u e c k a u f*, *C o s s l e t t* und *W a t t s* (39) berichten auch von solchen Versuchen.

#### Beschreibung des Prinzips der Elektrodialyse

Bei der Elektrodialyse wandern Ionen aus einer Lösung durch selektiv permeable Membranen unter der Einwirkung eines elektrischen Feldes in eine andere Lösung. Für Kationen durchlässige Membranen bestehen aus Kationen-Austauscher-Harz, welches in Form von Folien vorliegt, für Anionen durchlässige Membranen aus Anionen-Austauscher-Harz. Durch diese Membranen können jeweils nur Ionen eines Vorzeichens wandern. Die Poren in den Membranen sind ca. 5 - 9 Å gross, sind also für alle grösseren Moleküle (z.B. H<sub>2</sub>O) und Partikel undurchdringlich.

### Aufbau der Zellen

Die verschiedenen Flüssigkeitsströme fließen in Zellen, die auf beiden Seiten mit Membranen abgeschlossen sind. Der Raum zwischen den Membranen wird von besonders geformten Platten, sogenannten "spacers", ausgefüllt. Teile dieses "spacer" sind herausgeschnitten, damit die Flüssigkeit zwischen den beiden Membranen auf bestimmten Wegen fließen kann.

Eine Anzahl von Membranen und "spacer", die dicht aufeinander liegen und eine aus mehreren Zellen bestehende Einheit bilden, wird als "membrane stack" bezeichnet. Die Elektroden befinden sich an den beiden Enden des "stacks".

Die Anordnung der Membranen kann bei der Dekontamination der Milch verschieden sein, je nachdem, ob man nur die Kationen, nur die Anionen oder beide gleichzeitig entfernen will.

a) Anordnung der Membranen bei Entfernung der radioaktiven Kationen

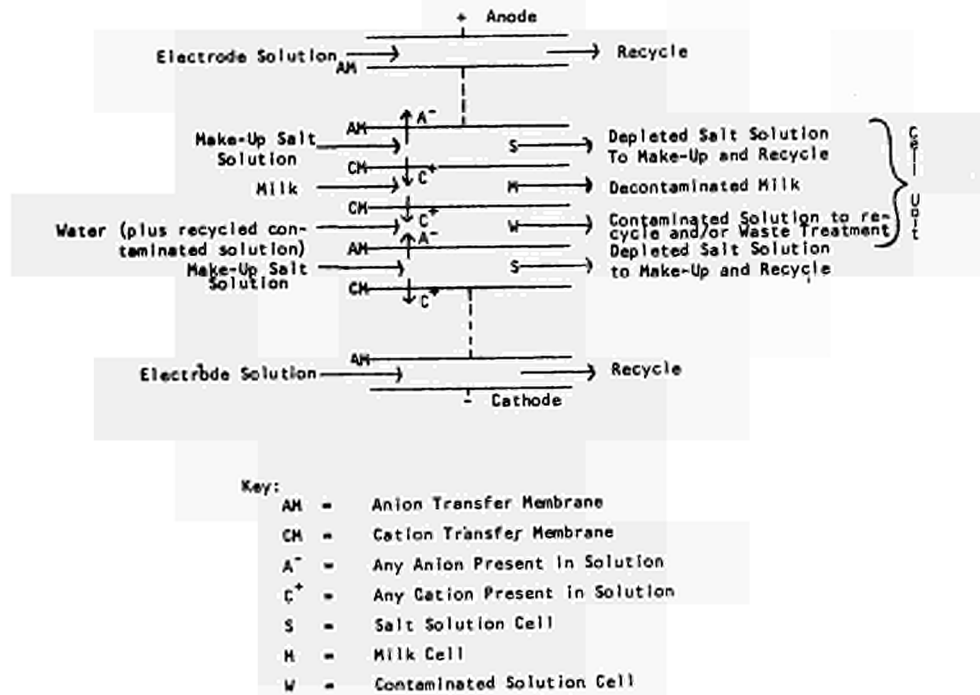


Abb. 2

Eine Einheit in einem solchen "membrane stack" besteht aus drei Kammern. In der mittleren befindet sich die zu dekontaminierende Milch, in der einen benachbarten Kammer die sogenannte "make up"-Lösung, eine wässrige Salzlösung, in der sich in bestimmten Konzentrationen die nicht radioaktiven Kationen befinden, welche durch die Membran in die Milch wandern und die radioaktiven Kationen ersetzen sollen. Durch die zweite Membran der Milch-



kammer wandern auch Kationen, einschliesslich der radioaktiven, aus der Milchammer heraus in die kontaminierte Salzlösung ("waste stream"). Die erste Membran heisst "make up"-Membran und die zweite Dekontaminations-Membran.

Die Dekontamination der Milch läuft so ab, dass vorher in der Milch vorhandene Kationen (radioaktive und nichtradioaktive) durch die Dekontaminations-Membran aus der Milch herauswandern und laufend durch nichtradioaktive Kationen aus der "make up"-Lösung ersetzt werden.

Die "make up"-Lösung enthält Salze der wichtigsten in der Milch enthaltenen Kationen (Ca, Na, K, Mg). Die Konzentrationen dieser Kationen in der "make up"-Lösung werden so gewählt, dass beim Ablauf des Dekontaminations-Prozesses das Kationengleichgewicht der Milch aufrechterhalten wird. Man ersieht ferner aus der Abb. 2, dass die Anionen der "make up"-Lösung in die kontaminierte Lösung der benachbarten Einheit wandern und nicht auf die Anionenzusammensetzung der Milch einwirken können. Aus diesem Grunde können Chloride als Salze der "make up"-Lösung verwendet werden.

b) Anordnung der Membranen bei Entfernung der radioaktiven Anionen

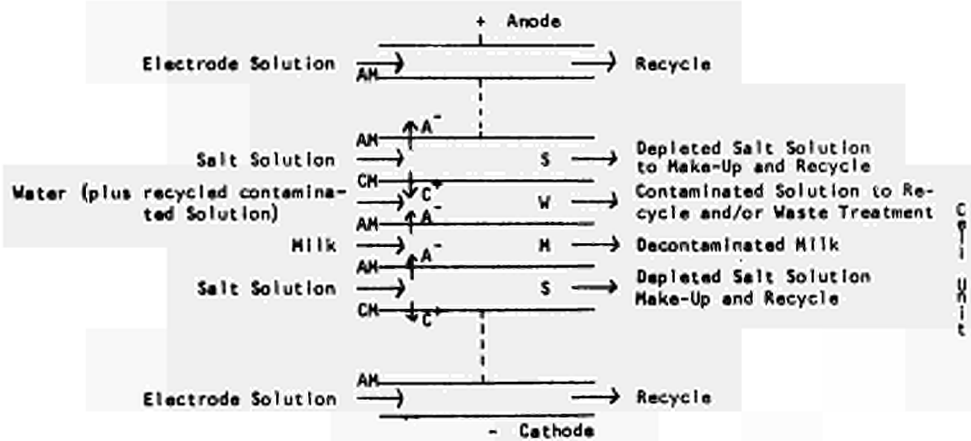


Abb. 3

Auch in diesem Fall besteht eine Einheit aus drei Kammern, wobei die Milchammer von 2 Anionen-Membranen abgeschlossen wird. Die "make up"-Lösung enthält hier die in der Milch vorhandenen Anionen (Phosphat-, Zitrat-, Sulfat-Ionen) in Form von löslichen Salzen (z.B. Na-Salzen). Ihre Konzentrationen werden so gewählt, dass das Anionengleichgewicht der Milch während des Prozesses unverändert bleibt.

c) Anordnung der Membranen bei gleichzeitiger Entfernung radioaktiver Kationen und Anionen

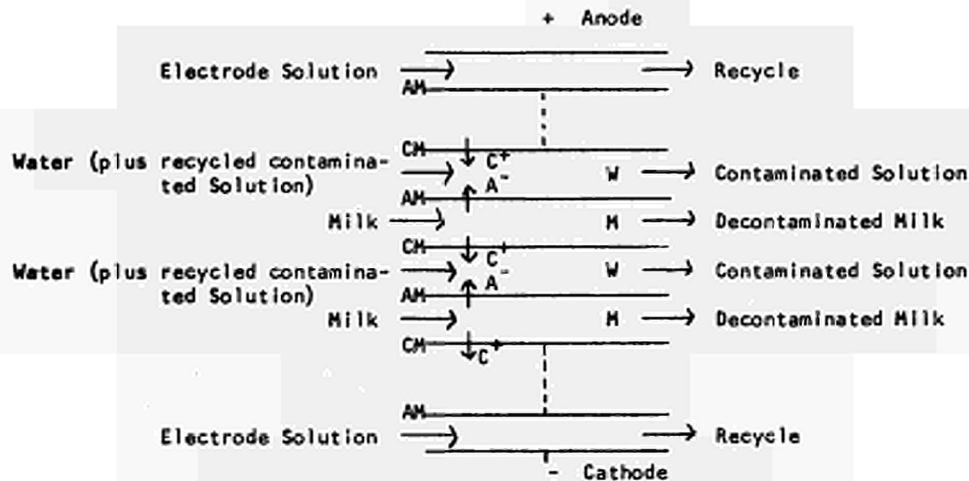


Abb. 4

Hier wird die Milchammer von einer Anionen- und einer Kationen-Membran begrenzt.

Kationen und Anionen, radioaktive und nichtradioaktive, wandern aus der Milch in die benachbarten Kammern, die jetzt beide kontaminierte Lösungen enthalten. Bei diesem Prozess müssen nichtradioaktive Salze direkt in die Milch gegeben werden, um das Gleichgewicht zu erhalten.

Selbstverständlich kann man statt dieser speziellen Anordnung auch die Anordnungen a) und b) nacheinander benutzen.

### Mögliche Arbeitsweisen einer Elektrodialyse-Apparatur

- a) Die zu dekontaminierende Milchmenge befindet sich in einem Vorratstank, aus dem sie solange durch die Anlage und in den Tank zurückgeleitet wird, bis ein gewünschter Dekontaminationsgrad der gesamten Milchmenge erreicht worden ist.
  
- b) Die Anlage arbeitet kontinuierlich. Es sind so viele "stacks" nacheinander angeschlossen, dass die Milch bereits ausreichend dekontaminiert ist, wenn sie einmal durch die Anlage geflossen ist.

In beiden Fällen entstehen im wesentlichen die gleichen Kosten.

### Übersicht über das Forschungsprogramm

Zunächst wurden in Experimenten mit nichtkontaminierter Vollmilch die Grenzstromstärke, die "current efficiency"<sup>1)</sup>, der elektrische Widerstand und die Selektivität der Membranen bei verschiedenen pH-Werten, Temperaturen, Durchsatzraten, Membrantypen und Salzkonzentrationen bestimmt.

Anschliessend wurden Versuche mit kontaminierter Milch (Sr-85, Cs-137, Ce-139, Ba-140, La-140) durchgeführt, um die optimalen Bedingungen bei der Dekontamination zu bestimmen. Auch Versuche zum Entzug von J-131 wurden gemacht, um die Grenzstromstärke

---

1) "current efficiency": Die "current efficiency" einer Membran, z.B. einer Kationen-Membran, ist definiert als das Verhältnis der Zahl der Kationen zu der Gesamtzahl der Ionen, die durch die Membran gelangen.

bei verschiedenen Temperaturen und pH-Werten zu ermitteln. Es wurde auch untersucht, inwieweit die kontaminierte Salzlösung wieder verwendet werden kann.

Der Dekontaminationsgrad ist wie bei den mit Ionenaustauscher-Harzen arbeitenden Verfahren vom Prozentsatz der als freie Ionen vorliegenden Radionuklide abhängig. Es wurde der Dekontaminationsgrad für Strontium-85 im pH-Bereich 6.5 - 5.1 bestimmt. Bei einem pH-Wert von 6.5 konnten 68.3 %, bei einem pH-Wert von 5.1 97.3 % entfernt werden.

Um 95 % und mehr Sr-85 zu entfernen, ist mindestens ein pH-Wert von 5.4 erforderlich.

Bei 30 mA/cm<sup>2</sup> und niedrigen pH-Werten setzten sich auf den Kationen-Membranen nur wenig Feststoffe aus der Milch ab. Dies sind meist Kaseinpartikel, zusammen mit Proteinen, die elektrisch geladen sind und daher im elektrischen Feld auch wandern. Dagegen schlugen sich bei einem pH-Wert von 6.5 auf der Milchseite der "make up"-Membran, besonders in Anodennähe, sehr viele Partikel nieder.

Die Dekontaminierungs-Leistung eines "stacks" ist zwar der gewählten Stromstärke proportional, doch eine beliebige Steigerung der Stromstärke ist nicht möglich. Bei einem bestimmten Wert erreicht man den sogenannten Polarisationspunkt, bei dem der Transport von Ionen durch die Membran grösser wird als die Nachlieferung aus der Lösung an die Membran. Es bildet sich eine salzfreie dünne Flüssigkeitsschicht, in der Wassermoleküle dissoziieren, um den Stromtransport aufrecht zu erhalten. Arbeitet man unter polarisierten Bedingungen, so schlägt sich Salz in den Zellen nieder. Erhöht man die Fliessgeschwindigkeit der Lösungen, so steigt auch die Grenzstromstärke an. Die Laboranlage wurde deshalb mit der höchstmöglichen Durchsatzrate betrieben.

An einigen Ergebnissen sei der Einfluss der Stromstärke ver-

deutlich:

Um aus einem Liter Milch 95 % des Sr-85 zu entfernen, waren bei einer Stromstärke von  $45 \text{ mA/cm}^2$  99 Minuten und bei  $52-60 \text{ mA/cm}^2$  81 Minuten erforderlich. Der Dekontaminationsgrad für Sr ist der Stromstärke also proportional. Um 95 % des Sr-85 zu entfernen, waren bei  $45 \text{ mA/cm}^2$  217 Wattstunden und bei  $52-60 \text{ mA/cm}^2$  386 Wattstunden nötig. Der Energieverbrauch steigt also mit höheren Stromstärken an.

Um 95 % des Cs zu entfernen, ist nur etwa ein Viertel der Energie erforderlich.

Der Energieverbrauch nimmt durchweg mit steigender Temperatur ab.

#### Kontrolle der Kationenzusammensetzung

Eine Änderung in der Konzentration der Ionen in der Milch kann eintreten, wenn die "current efficiency" von "make up"- und Dekontaminations-Membran nicht identisch sind. Im Laufe der Zeit nimmt die "c.e." der Dekontaminations-Membran im Vergleich zur "make up"-Membran ab, was sich in einer Zunahme des Salzgehaltes der Milch widerspiegelt.

Es ist aber möglich, die "c.e." beider Membranen gleichzuhalten, u.a. durch Wahl verschiedener Membran-Sorten oder durch spezielle Behandlung der Membranen nach einiger Zeit.

Die Zusammensetzung der Kationen der Milch während des Dekontaminationsprozesses hängt ab

- a) von der Selektivität der "make up"- und Dekontaminations-Membran,

b) von der Zusammensetzung der "make up"-Lösung.

Die Zusammensetzung der "waste"-Lösung hat nur einen geringen Einfluss.

Um das Kationengleichgewicht aufrechtzuerhalten, ist es notwendig, die Trennungsfaktoren der einzelnen Kationen für beide Membranen zu kennen und die Zusammensetzung der "make up"-Lösung entsprechend zu wählen. Da am Ende des Prozesses der pH-Wert der Milch mit einer Lauge (KOH, NaOH) wieder auf 6,6 eingestellt wird, ist es nicht unbedingt notwendig, diese Kationen (K, Na) in der "make up"-Lösung zu haben.

Es ist zu erwähnen, dass die Selektivität der "make up"-Membran von der der Dekontaminations-Membran im allgemeinen verschieden ist. Dieser Effekt beruht wahrscheinlich auf der komplexen Wirkung der Milch auf die zweiwertigen Ca- und Mg-Ionen. Kalium wandert im allgemeinen am leichtesten durch die Membran. Die Wirksamkeit des Systems kann daher verbessert werden, wenn man eine "make up"-Lösung ohne K-Ionen benutzt, aber mit KOH neutralisiert.

#### Verlust der Milch an organischen Substanzen

Die "make up"-Lösung und die kontaminierte Lösung wurden am Anfang und Ende des Versuchs mit einem Ultrarotspektrometer untersucht. Es zeigte sich ein ganz geringer Gehalt an Aminosäuren und Zuckerresten. Der Verlust an Laktose lag zwischen 0,06 und 0,22 %.

### Elektrische Einstellung des pH-Wertes

Es wurden Versuche gemacht, die Zugabe von Zitronensäure zur Einstellung des pH-Wertes auf 5,1 - 5,3 zu umgehen. Zu diesem Zweck wurde die "make up"-Lösung bis zu einem pH-Wert von 2,2 - 2,9 angesäuert, damit H-Ionen durch die "make up"-Membran in die Milch gelangen konnten. Es zeigte sich, dass der pH-Wert der Milch nicht unter 6,0 sank. Ausserdem setzten sich auf der Milchseite der "make up"-Membran sehr viele feste Milchbestandteile ab. Es wurden deshalb keine weiteren Versuche gemacht, den pH-Wert der Milch elektrisch einzustellen.

### Dekontaminationsgrad

- a) Bei einem pH-Wert von 5,1 - 5,3 liessen sich 90 bis 95 % des Sr-85 entfernen.
- b) Der Dekontaminationsgrad für Ba ist ebenfalls vom pH-Wert abhängig, aber etwas geringer als der für Sr (85 %).
- c) Cs lässt sich viermal schneller als Sr, unabhängig vom pH-Wert, entfernen (über 99 %).
- d) Bei einem pH-Wert von 5,1 - 5,3 liess sich Ce nicht entfernen.
- e) Der Dekontaminationsgrad für La liegt unter dem für Ba.
- f) 96 - 98 % des nicht an das Protein gebundenen J-131 konnten entfernt werden.

### Wirtschaftlichkeit des Verfahrens

In dem Forschungsbericht von I o n i c s , Inc. sind die



Gesamtkosten für Gross-Anlagen und deren Betrieb ausführlich abgeschätzt worden. Es wurden folgende Fälle berechnet:  
67- und 90%ige Dekontaminierung bezüglich Strontium-90 und 70%ige Dekontaminierung bezüglich Jod-131 für in vivo-kontaminierte Milch.

Bei 90%iger Sr-90-Dekontaminierung werden gleichzeitig 80 % des Ba-140 und 99,5 % des Cs-137 mit entfernt.

Anlagen der Grössenordnungen 1000, 5000 und 10 000 Gal./Std. bei zehnstündiger Betriebszeit täglich wurden bei der Schätzung der entstehenden Kosten berücksichtigt.

Bei 90%iger Sr-90-Dekontaminierung liegen die laufenden Kosten bei etwa 0.5 US-cent pro quart Milch. Hinzu kommen etwa 0.25 US-cent für Amortisation und Ersatz der Membranen. Die Kosten sind im Forschungsbericht von I o n i c s , Inc. in Tabellen zusammengestellt.

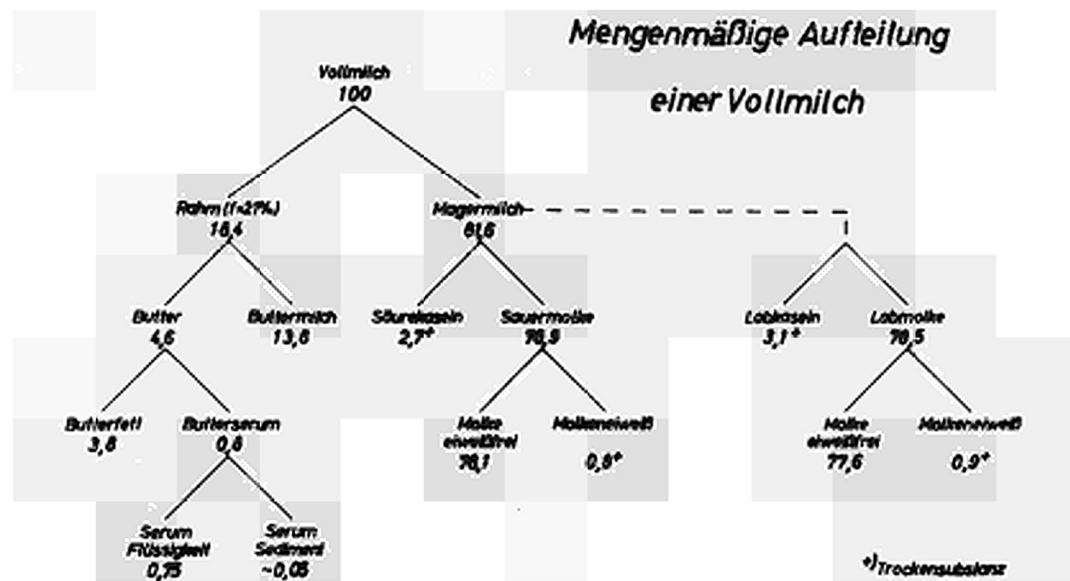
Nach Angaben der Firma I o n i c s , Inc. ist der Bau von Gross-Anlagen bereits technisch möglich. Dennoch sollen zunächst weitere Erfahrungen mit einer Klein-Anlage (pilot plant) gesammelt werden.

## II. 5. Diverse Dekontaminationsmöglichkeiten

G e o r g e (38) hat mittels Gel-Filtration versucht, in vitro-kontaminierte Milch zu dekontaminieren. Der Autor hat keine Dekontaminationsraten angegeben. In einem Versuch wurden 5 ml Milch eine Stunde lang behandelt. Es lässt sich auf Grund dieser Veröffentlichung wenig über die praktische Eignung dieses Verfahrens aussagen.

Die Möglichkeiten einer zumindest teilweisen Nutzung radioaktiv verseuchter Milch durch spezielle Verarbeitung und Abtrennung bestimmter Milch-Bestandteile sind in einer Arbeit von L a g o n i , P a a k k o l a und P e t e r s (47) aufgezeigt worden. Die Autoren untersuchten die Verteilung von Sr-90, Cs-137 und J-131 und fanden heraus, dass durch Abtrennung des Fettes und des Käsestoffs (Kasein) aus kontaminierter Milch für die Ernährung sehr wichtige Bestandteile gewonnen werden können, deren Gehalt an Radionukliden wesentlich geringer als der der Milch ist. Die Verarbeitung der Milch könnte dabei ohne besonderen Aufwand allein mit molkereiüblichem Gerät erfolgen.

Abb. 5 zeigt, wie sich eine mit molkereiüblichen Arbeitsmethoden durchgeführte Aufgliederung einer Vollmilch in quantitativer Hinsicht darstellt.



**Abb. 5** (Die Zahlenwerte beziehen sich auf eine Ausgangsmenge von 100 Teilen Vollmilch)

Die Abb. 6, 7, 8 zeigen den ermittelten Gehalt der in Abb. 5 aufgeführten Produkte an Cs-137, J-131 und Sr-90.

### Caesium-137-Verteilung in Milch

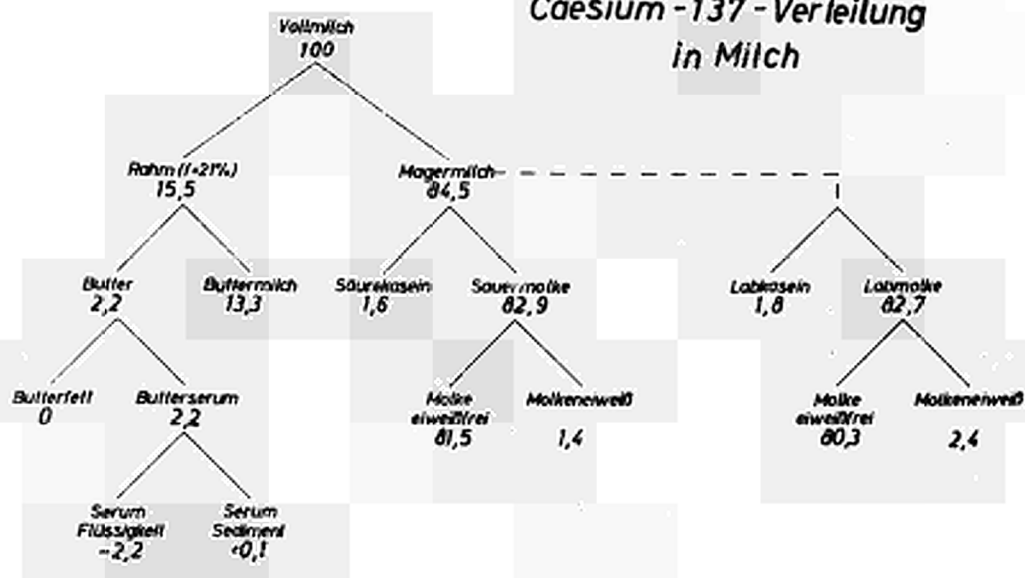


Abb. 6

### Jod-131-Verteilung in Milch

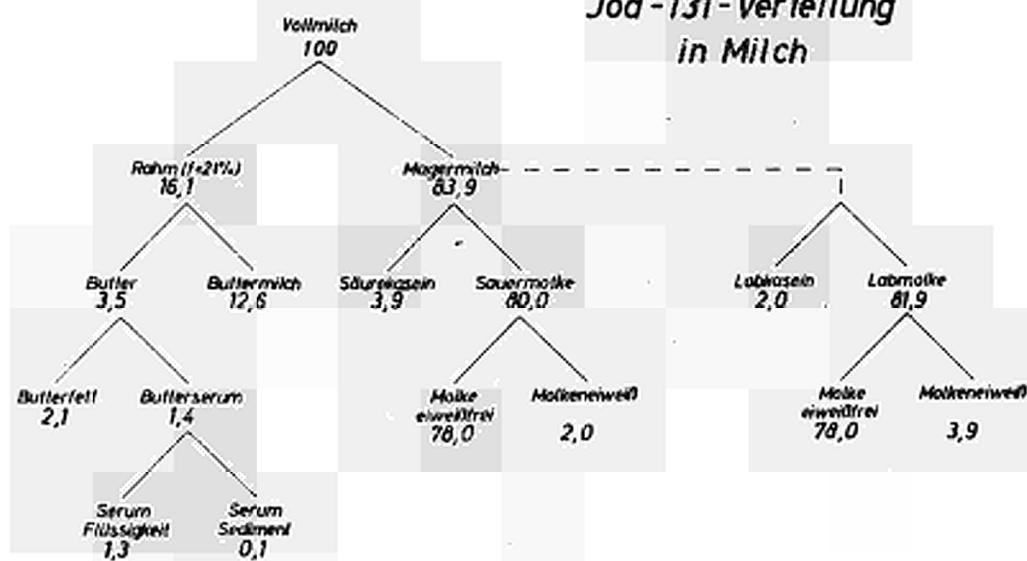


Abb. 7

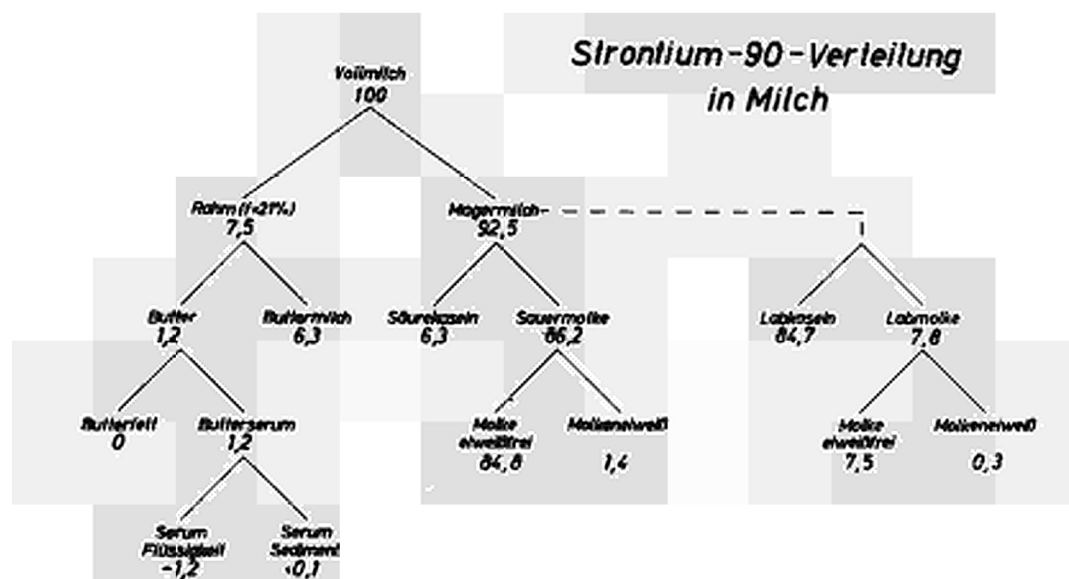


Abb. 8

(Cs-137, J-131, Sr-90 in pc, berechnet auf eine Ausgangskontamination in der Vollmilch von 100 pc.)

III. Zusammenfassende Betrachtung über die Wirtschaftlichkeit  
der verschiedenen Verfahren zur Dekontaminierung von  
Milch

Nach dem augenblicklichen Stand der Entwicklung kommen die folgenden drei Verfahren in Betracht:

- a) "fixed bed"-Verfahren
- b) "Higgins"-Verfahren
- c) Elektrodialytisches Verfahren nach  
I o n i c s , Inc.

Nach Angaben der entsprechenden Firmen und des U.S. Department of Health, Education and Welfare wird an der Entwicklung von automatisch arbeitenden Gross-Anlagen gearbeitet. Die Leistung solcher Gross-Anlagen soll so gross sein, dass die in Milch-verarbeitenden Betrieben anfallenden Milchmengen mit diesen Anlagen dekontaminiert werden können.

Gegenwärtig können verbindliche Aussagen noch nicht gemacht werden. Bismal konnten nur Erfahrungen mit Labor- und Klein-Anlagen (pilot plants) gesammelt werden. Noch völlig unklar ist, ob und inwieweit die sanitären Probleme z.B. bei Gross-Anlagen befriedigend gelöst werden können.

Die in der Literatur angegebenen Kosten beruhen auf Schätzungen. Dennoch seien sie an dieser Stelle noch einmal mit allen Vorbehalten einander gegenübergestellt.<sup>+</sup>)

- a) "fixed bed"-Verfahren: ca. 0.5 cent/quart
- b) "Higgins"-Verfahren: ca. 0.2 cent/quart
- c) Elektrodialytisches Verfahren nach  
I o n i c s : 0.5 cent/quart.

---

<sup>+</sup>) (Die Investitionskosten blieben unberücksichtigt und es wurden Dekontaminationsraten von über 90 % zugrunde gelegt.)

#### IV. Künftige Untersuchungsmöglichkeiten

Zunächst erscheinen Untersuchungen sinnvoll, inwieweit das "batch"-Verfahren und die Verwendung von Ionenaustauschenden Mineralien geeignet bzw. nicht geeignet sind, um Dekontaminationsanlagen auf dieser Grundlage zu betreiben. Hier sei auch auf die Kalziumphosphat-Fällung hingewiesen.

Ausserdem werden Untersuchungen an den bereits zur Verfügung stehenden Labor- bzw. Klein-Anlagen mit Durchsatzraten bis zu 400 Litern pro Stunde von besonderem Interesse sein.

Nach Angaben des U.S. Department of Health, Education and Welfare werden dabei folgende Probleme im Vordergrund stehen: Geschmacksverbesserung, Kontrolle der hygienischen Qualität der Milch, schnellere Methoden zur Bestimmung von Sr-90, Automatisierung, Entfernung anderer Radionuklide.

Ausserdem erscheint es sinnvoll, die mit der Ableitung der bei Dekontaminierungs-Anlagen anfallenden radioaktiv verseuchten Abwässer zusammenhängenden Probleme zu erörtern.

## V. Literatur

Zur möglichst vollständigen Erfassung der das Problem der Dekontaminierung radioaktiv verseuchter Milch behandelnden Veröffentlichungen wurden folgende Zeitschriften bearbeitet:

- 1) Dairy Science Abstracts
- 2) Dairy Industries
- 3) Journal of Dairy Science
- 4) Journal of Milk and Food Technology
- 5) Le Lait
- 6) Milchwissenschaft
- 7) Milk Industries
- 8) Nature
- 9) Nuclear Science Abstracts.

Das U.S. Department of Agriculture und das U.S. Department of Health, Education and Welfare haben auf Anfrage weiteres Material geliefert, insbesondere auch Informationen über den geplanten Bau von Klein-Anlagen (pilot plants) und Gross-Anlagen zur Dekontaminierung von Milch.

Des weiteren haben die Firmen Chemical Separations Corporation, Oak Ridge, Tennessee (USA) und IONICS, Inc, Cambridge, Massachusetts (USA) technische und wirtschaftliche Daten solcher Anlagen auf Grund unserer Anfragen mitgeteilt.

Die für diesen Bericht erfasste Literatur gibt den Stand der Entwicklung etwa bis Mitte 1964 wieder.



Literaturverzeichnis

- 1) A. Aarkrog, H.C. Rosenbaum : REMOVAL OF RADIOSTRONTIUM FROM MILK, Nature, 196, 767 (1962)
- 2) anonym : SR-90 CAN BE REMOVED FROM MILK, Southern Dairy Products Journal, 66, 20 (1959)
- 3) anonym : ELECTRODIALYSIS RIDS MILK OF STRONTIUM-90, Chem. Engng. News, 40, 43 (1962)
- 4) anonym : DAIRY INDUSTRY BRIEFED ON RADIOACTIVITY REMOVAL, J. Milk and Food Technol., 25, 59 (1962)
- 5) anonym : REMOVAL OF STRONTIUM-90 FROM MILK, J. Milk and Food Technol., 25, 149 (1962)
- 6) anonym : NEW DEVELOPMENT ANNOUNCED FOR REMOVAL OF RADIOACTIVITY IN FOODS, J. Milk and Food Technol., 25, 229 (1962)
- 7) anonym : L'ÉLIMINATION DU STRONTIUM CONTENU DANS LE LAIT, Le Lait, 42, 169 (1962)
- 8) anonym : VERFAHREN ZUR AUFBEREITUNG RADIOAKTIV VERSEUCHTER MILCH, Molk. u. Käser. Ztg., 15, 454 (1962)
- 9) W.D. Armstrong, L. Singer : PROGRESS REPORT TO THE U.S. ATOMIC ENERGY COMMISSION, Contract: AT (11-1) 838. Period: 1.11.1959 - 1.6.1960 TID - 6163

- 10) W.D. Armstrong, L. Singer : PROGRESS REPORT TO THE U.S. ATOMIC ENERGY COMMISSION, Contract: AT (11-1) 838. Period: 1.6.1960 - 1.6.1961, TID - 13360
- 11) W.D. Armstrong, L. Singer : FINAL PROGRESS REPORT (ON BIO-CHEMISTRY) FOR PERIOD 1.11.1959 - 31.10.1963, TID - 19893
- 12) A.R. Brazis u.a. : MICROBIOLOGICAL ASPECTS OF THE FIXED-BED PROCESS FOR THE REMOVAL OF CATIONIC RADIO-NUCLIDES FROM MILK, J. Dairy Sci., 47, 668 (1964)
- 13) J.E. Campbell : INDUSTRIAL PROCESS FOR THE REMOVAL OF RADIO-NUCLIDES FROM MILK, in: Proc. of the North Central Exp. Stations Workshop on Radionuclides in Foods and Agricultural Products, Cincinnati, Ohio (USA), (19. - 21.2.1963) NP - 13278, S. 81
- 14) Canadian Patents and Developments Ltd. : REMOVAL OF RADIO-ACTIVE STRONTIUM AND CESIUM FROM MILK, British Patent 865,042 vom 12.4.1961
- 15) Chemical Separations Corporation, Oak Ridge, Tenn. (USA) : RADIATION HAZARD IN MILK? (Firmenprospekt über eine Dekontaminations-Gross-Anlage nach dem "Higgins"-Verfahren)
- 16) P. Cosslett, R.E. Watts : THE REMOVAL OF RADIOACTIVE JODINE AND STRONTIUM FROM MILK BY ION EXCHANGE, AERE - R 2881, Atomic Energy Research Establishment, Harwell, Berkshire, England, April 1959

- 17) B.J. Demott, D.G. Easterly, R.G. Cragle : RADIOSTRONTIUM IN DAIRY PRODUCTS, J. Dairy Sci., 43, 437 (1960)  
(Zusammenfassung)
- 18) B.J. Demott, D.G. Easterly : REMOVAL OF CESIUM-134 AND KALIUM-42 FROM MILK WITH ION EXCHANGE RESINS, J. Dairy Sci., 43, 857 (1960)  
(Zusammenfassung)
- 19) B.J. Demott, D.G. Easterly : REMOVAL OF JODINE-131 FROM MILK, J. Dairy Sci., 43, 1148 (1960)
- 20) B.J. Demott, H.C. Holt, R.G. Cragle : SOME CHANGES IN CATION COMPOSITION OF MILK CAUSED BY ION EXCHANGE TREATMENT, J. Dairy Sci., 45, 1159 (1962)
- 21) G.M. Dunning : FOODS AND FALLOUT, Borders Rev. Nutr. Res. 23, 1 (1962)
- 22) G.M. Dunning : RADIOACTIVITY IN THE DIET, J. of the American Dietetic Association, 42, 17 (1963)
- 23) D.G. Easterly, B.J. Demott, R.G. Cragle : REMOVAL OF STRONTIUM-89 AND CALCIUM-45 FROM MILK WITH ION EXCHANGE RESINS, J. Dairy Sci., 42, 897 (1959)  
(Zusammenfassung von (24))
- 24) D.G. Easterly, B.J. Demott, R.G. Cragle : STRONTIUM IN MILK, I. REMOVAL BY MEANS OF REVERSE-FLOW ION EXCHANGE COLUMNS, J. Dairy Sci., 43, 137 (1960)

- 25) D.G. Easterly, B.J. Demott, R.G. Cragle : STRONTIUM IN MILK,  
II. REMOVAL BY BATCH ION EXCHANGE METHODS,  
J. Dairy Sci., 43, 146 (1960)
- 26) D.G. Easterly, J.Y. Harris, L.A. Bunce, L.F. Edmondson :  
EFFECT OF TEMPERATURE AND FLOW RATE OF MILK  
THROUGH COLUMNS OF ION EXCHANGE RESINS ON  
THE REMOVAL OF STRONTIUM-85,  
J. Dairy Sci., 45, 662 (1962)  
(Zusammenfassung)
- 27) D.G. Easterly, J.Y. Harris, L.A. Bunce, L.F. Edmondson :  
FACTORS AFFECTING THE REMOVAL OF RADIO-  
STRONTIUM FROM MILK BY ION EXCHANGE RESINS,  
J. Dairy Sci., 46, 1207 (1963)
- 28) D.G. Easterly, L.F. Edmondson, J.K. Avants, A.M. Sadler :  
EFFECT OF TYPE OF ACID AND TIME BETWEEN  
ACIDIFICATION AND RESIN CONTACT ON THE RE-  
MOVAL OF RADIOSTRONTIUM FROM MILK,  
J. Dairy Sci., 47, 549 (1964)
- 29) L.F. Edmondson, D.H. Keefer, F.W. Douglas, J.Y. Harris,  
E. Dodson : THE REMOVAL OF IN VIVO- AND  
IN VITRO-LABELED RADIOSTRONTIUM FROM MILK  
AND ITS DISTRIBUTION BETWEEN CENTRIFUGALLY  
SEPARATED PHASES,  
J. Dairy Sci., 44, 1166 (1961)  
(Zusammenfassung)
- 30) L.F. Edmondson u.a. : THE REMOVAL OF RADIOSTRONTIUM FROM  
MILK. REPORT OF A UNITED STATES PILOT PLANT  
PROCESS,  
Milk Ind., 50, 64, 66, 68 (1962)  
(Entspricht (31))

- 31) L.F. Edmondson u.a. : REMOVING RADIOSTRONTIUM FROM MILK.  
CURRENT STATUS OF A PILOT PLANT PROCESS,  
J. Dairy Sci., 45, 800 (1962)
- 32) L.F. Edmondson, A.R. Landgrebe, A.M. Sadler, H.E. Walter :  
REMOVAL OF RADIOSTRONTIUM FROM MILK WITH  
TRICALCIUM PHOSPHATE AND RESULTING CHANGES  
IN MILK COMPOSITION,  
J. Dairy Sci., 45, 1572 (1962)  
(Zusammenfassung)
- 33) L.F. Edmondson : ANNUAL PROGRESS REPORT ON THE REMOVAL OF  
RADIOACTIVE CONTAMINATION FROM MILK,  
(Period: 1.5.1962 - 30.4.1963,  
AEC Project AT (49-7)-1774)
- 34) L.F. Edmondson, D.H. Keefer, F.W. Douglas, J.Y. Harris,  
E. Dodson : COMPARISON OF THE REMOVAL OF  
RADIOSTRONTIUM FROM IN VIVO- AND IN VITRO-  
LABELED MILK BY ION EXCHANGE RESINS,  
J. Dairy Sci., 46, 1362 (1963)
- 35) L.F. Edmondson : ION EXCHANGE PROCESSES FOR REMOVING RADIO-  
ACTIVE CONTAMINATION FROM MILK,  
J. Dairy Sci., 47, 1201 (1964)
- 36) M.C. Fischler : PROCÉDÉ POUR ÉLIMINER DES RADIO-ÉLEMENTS  
DU LAIT ET PRODUITS SIMILAIRES,  
Frz. Patent 1 268 769 vom 26.6.1961
- 37) J.H. Fooks : REQUEST FOR INFORMATION ON CHEMICAL SEPA-  
RATIONS CORPORATION SYSTEM FOR REMOVAL OF  
RADIONUCLIDES FROM MILK,  
US Government, Memorandum (17.6.1963)

- 38) W.H.S. George : SEPARATION OF STRONTIUM FROM MILK AND PROTEIN SOLUTIONS BY GEL FILTRATION,  
Nature, 195, 155 (1962)
- 39) E. Glueckauf, P. Cosslett, R. Watts : REMOVAL OF RADIOACTIVE JODINE FROM MILK, AERE - C/M 371,  
Atomic Energy Research Establishment,  
Harwell, Berkshire, England, Januar 1959
- 40) J.Y. Harris, D.G. Easterly, J.K. Avants, L.F. Edmondson :  
REGENERATION OF CATION EXCHANGE RESINS USED  
FOR THE REMOVAL OF RADIOSTRONTIUM FROM MILK,  
J. Dairy Sci., 45, 1572 (1962)  
(Zusammenfassung)
- 41) IONICS INC., Cambridge, Mass. (USA) : REMOVAL OF RADIOACTIVE MATERIAL FROM MILK BY ELECTRODIALYSIS,  
FINAL REPORT, (7.2.1964)
- 42) IONICS INC., Cambridge, Mass. (USA) : SUMMARY OF ELECTRODIALYSIS MILK DECONTAMINATION PROGRAM,  
(7.5.1964)
- 43) IONICS INC., Cambridge, Mass. (USA) : MILK DECONTAMINATION BY ELECTRODIALYSIS. SUMMARY
- 44) K. Kalchev, L. Bonev, L. Mitrani, G. Dessev, S. Robbev :  
STUDIES ON THE POSSIBILITY OF ELIMINATING  
RADIOACTIVE STRONTIUM FROM MILK BY MEANS  
OF ION EXCHANGE RESINS,  
C.R. Acad. bulg. Sci., 14, 475 (1961)
- 45) L. Kotter :  
ZUR RADIOAKTIVITÄT IN LEBENSMITTELN TIERISCHER HERKUNFT (BEURTEILUNGSFRAGEN),  
Archiv für Lebensmittelhygiene, 12, (1)  
(1961)

- 46) L. Kotter : ZUR DEKONTAMINATION VON LEBENSMITTELN  
TIERISCHER HERKUNFT,  
Schlacht- und Viehhof-Zeitung, 60, 245  
(1960)
- 47) H. Lagoni, O. Paakola, K.H. Peters: UNTERSUCHUNGEN ÜBER  
DIE QUANTITATIVE VERTEILUNG RADIOAKTIVER  
FALLOUTPRODUKTE IN MILCH,  
Milchwiss., 18, 340 (1963)
- 48) A.R. Landgrebe, L.F. Edmondson, F.W. Douglas : OPTIMUM  
RATIO OF CATIONS ON CHARGED RESIN FOR RE-  
MOVAL OF RADIOSTRONTIUM FROM MILK,  
J. Dairy Sci., 44, 1167 (1961)  
(Zusammenfassung von (49))
- 49) A.R. Landgrebe, L.F. Edmondson, F.W. Douglas : OPTIMUM  
RATIO OF CATIONS ON NUCLEAR SULFONIC ACID  
RESIN FOR MINIMUM CHANGE IN COMPOSITION  
OF RESIN-TREATED MILK,  
J. Dairy Sci., 46, 181 (1963)
- 50) A.R. Landgrebe, L.F. Edmondson, F.W. Douglas : RADIOSTRON-  
TIUM REMOVAL FROM MILK : DETERMINATION OF  
APPARENT EQUILIBRIUM CONSTANTS OF THE EX-  
CHANGE REACTIONS OF SODIUM, POTASSIUM,  
CALCIUM, AND MAGNESIUM WITH AMBERLITE IR-  
120, J. Agr. Food Chem., 11, 156 (1963)
- 51) E.J. Mann : REMOVING STRONTIUM-90,  
Dairy Industries, 27, 714 (1962)
- 52) D. Merten, E. Knoop : ZUR DEKONTAMINATION DER NAHRUNGS-  
MITTEL, Ernährungs-Umschau, 8, 34 (1961)

- 53) B.B. Migicovsky : REMOVAL OF STRONTIUM AND CESIUM FROM MILK, Can. J. Biochem. Physiol., 37, 1287 (1959)
- 54) B.B. Migicovsky : FURTHER STUDIES ON REMOVAL OF STRONTIUM AND CESIUM FROM MILK, (FAO Ad Hoc Expert Committee on Radioactive Materials in Food and Agriculture, Rom, 30.11. - 11.12.1959)
- 55) B.B. Migicovsky : REMOVAL OF STRONTIUM AND CESIUM FROM MILK, Nature, 184, 374 (1959)
- 56) B.B. Migicovsky : RADIOISOTOPES AND ENVIRONMENTAL CIRCUMSTANCES: REDUCTION OF THE HAZARD IN THE FOOD CHAIN, (Seite 293-305 in "A SYMPOSIUM ON RADIOISOTOPES IN THE BIOSPHERE", R.S. Caldecott, L.A Snyder, Minneapolis, University of Minnesota, 1960)
- 57) G.K. Murthy, R.McL. Whitley : THE EFFECT OF CATION AND ANION RESIN MIXTURES ON THE SALT CONTENT OF SKIM MILK, J. Dairy Sci., 37, 571 (1954)
- 58) G.K. Murthy, E.B. Masurovsky, L.F. Edmondson, J.E. Campbell: A METHOD FOR THE REMOVAL OF CATIONIC RADIO-NUCLIDES FROM MILK, J. Dairy Sci., 44, 1166 (1961) (Zusammenfassung von (59))
- 59) G.K. Murthy, E.B. Masurovsky, J.E. Campbell, L.F. Edmondson: METHOD FOR REMOVING CATIONIC RADIONUCLIDES FROM MILK, J. Dairy Sci., 44, 2158 (1961)



- 60) G.K. Murthy, J.E. Campbell, E.B. Masurovsky, L.F. Edmondson:  
PROCÉDÉ POUR ÉLIMINER LES RADIONUCLIDES  
DU LAIT, Frz. Patent 1 305 641 vom  
18.9.1961
- 61) G.K. Murthy, J.E. Campbell, E.B. Masurovsky, L.F. Edmondson:  
PROCESS FOR REMOVAL OF RADIONUCLIDES FROM  
MILK, US-Patent 3 020 161 vom 19.1.1961
- 62) G.K. Murthy, J.E. Gilchrist, J.E. Campbell : METHOD FOR  
REMOVING JODINE-131 FROM MILK,  
J. Dairy Sci., 45, 662 (1962)  
(Zusammenfassung von (63))
- 63) G.K. Murthy, J.E. Gilchrist, J.E. Campbell : METHOD FOR  
REMOVING JODINE-131 FROM MILK,  
J. Dairy Sci., 45, 1066 (1962)
- 64) G.K. Murthy, J.E. Campbell : REMOVAL OF RADIONUCLIDES  
FROM MILK,  
J. Dairy Sci., 47, 1188 (1964)  
(Zusammenfassung: J. Dairy Sci., 47,  
683 (1964))
- 65) W.E. Nervik, M.I. Kalkstein, W.F. Libby : PURIFICATION  
OF MILK FOR CALCIUM AND STRONTIUM WITH  
DOWEX-50 W RESIN, UCRL - 2674 (1954)
- 66) J. Silverman, D. Gosh, R.L. Belcher : REMOVAL OF STRON-  
TIUM-90 FROM MILK,  
Nature, 198, 780 (1963)
- 67) L. Singer, W.D. Armstrong : REMOVAL OF RADIOSTRONTIUM FROM  
MILK, Fed. Proc., 19, 251 (1960)

- 68) L. Singer, W.D. Armstrong : REMOVAL OF STRONTIUM FROM MILK, Nature, 186, 484 (1960)
- 69) L. Singer, W.D. Armstrong : LIQUID FOOD TREATING PROCESS, U.S.-Patent 3 094 419 vom 18.6.1963
- 70) F.A. Todd : RADIONUCLIDES IN FOODS AND AGRICULTURAL PRODUCTS - MILK PRODUCTION AND DAIRY PRODUCTS PROCESSING,  
in: Proc. of the North Central Exp. Stations Workshop on Radionuclides in Foods and Agricultural Products, Cincinnati, Ohio (USA) (19. - 21.2.1963)  
NP - 13 278, S. 24
- 71) F.A. Todd : THE DAIRY INDUSTRY AND THE FALLOUT PROBLEM, (47th Annual Farmers' Week, Michigan State University, East Lansing, Michigan, 31.1.1962)
- 72) L. Traubermann : ION-EXCHANGE STRIPS STRONTIUM-90, Food Engng., 34, 79 (1962)
- 73) University of Tennessee, AEC Agricultural Research Laboratory, Oak Ridge, Tennessee (USA) : SEMI-ANNUAL PROGRESS REPORT FOR JANUARY 1, 1959 - JULY 31, 1959, ORO - 217, S.10
- 74) University of Tennessee, AEC Agricultural Research Laboratory, Oak Ridge, Tennessee (USA) : SEMI-ANNUAL PROGRESS REPORT FOR JULY 1, 1959 - DECEMBER 31, 1959, ORO - 245, S.9
- 75) U.S. Dept. of Agriculture : REMOVING RADIOSTRONTIUM FROM MILK, (Picture Story No. 135, Dezember 1961)

- 76) U.S. Dept. of Agriculture : REMOVAL OF STRONTIUM-90 FROM MILK, (USDA 4184 - 61)
- 77) U.S. Dept. of Agriculture : PROCESS FOR REMOVING RADIO-STRONTIUM FROM MILK TO BE EVALUATED COMMERCIALY, (USDA 2167 - 63)
- 78) U.S. Dept. of Health, Education and Welfare, Public Health Service : RADIOACTIVE CONTAMINATION OF THE ENVIRONMENT: Public Health Action, Report of the National Advisory Committee on Radiation, Mai 1962
- 79) U.S. Dept. of Health, Education and Welfare, Public Health Service : ION EXCHANGE PROCESS FOR REMOVING RADIOACTIVE STRONTIUM FROM MILK, (13.2.1962)
- 80) U.S. Dept. of Health, Education and Welfare, Public Health Service : FULL SCALE SYSTEM FOR REMOVAL OF RADIOSTRONTIUM FROM FLUID MILK, Oktober 1963

## VI. Zusammenfassung

Es existieren mehrere Möglichkeiten und Verfahren, radioaktiv kontaminierte Milch zu dekontaminieren. Auf Grund der etwa bis Mitte 1964 veröffentlichten, die Probleme der Dekontaminierung betreffenden Arbeiten lässt sich der Stand der Entwicklung für die einzelnen Verfahren wie folgt angeben:

### 1) "batch"-Verfahren mit synthetischen Ionenaustauscher-Harzen

Es sind zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden, die gezeigt haben, dass das "batch"-Verfahren grundsätzlich zu Dekontaminierung geeignet ist. Radionuklide wie J-131, Cs-134 und Sr-85 konnten zu über 90 % aus in vivo-kontaminierter Milch entfernt werden, ohne die organoleptische Qualität der Milch merklich zu verändern. Es existieren jedoch noch keine auf dieser Grundlage arbeitenden Dekontaminierungs-Anlagen.

### 2) "fixed bed"-Verfahren mit synthetischen Ionenaustauscher-Harzen

Mit diesem Verfahren kann kontaminierte Milch zu über 90 % bezüglich der Radionuklide J-131, Ba-140, Cs-134, K-42, Sr-85 ohne Beeinträchtigung des Geschmacks dekontaminiert werden. Eine automatisch arbeitende Klein-Anlage (pilot plant) mit einer Durchsatzrate von ca. 400 l/Std. befindet sich in Beltsville, Maryland (USA). Zur Zeit wird eine Gross-Anlage mit einer Leistung von 6 000 l/Std. gebaut.

### 3) "Higgins"-Verfahren mit synthetischen Ionenaustauscher-Harzen

Untersuchungen mit einer nach diesem Prinzip arbeitenden Kleinst-Anlage (15 l/Std.) ergaben eine über 99%ige Dekontaminierung bezüglich Sr-85 und 85 % bezüglich J-131 von in vivo-kontaminierter Milch. Änderungen im Geschmack und in den Ionen-Konzentrationen konnten vermieden werden. Die Firma Chemical Separations

Corporation, Oak Ridge, Tenn. (USA), baut automatisch arbeitende Klein-Anlagen (400 l/Std.) und projiziert Gross-Anlagen mit Kapazitäten bis zu 150 000 l/Tag.

4) Dekontaminierung durch Verwendung von Ionenaustauschenden Mineralien und chemisch behandelter Knochensubstanz bzw. Knochenasche

In zahlreichen Versuchen ist die grundsätzliche Verwendbarkeit einiger Substanzen demonstriert worden. Es konnten aus in vivo-kontaminierter Milch über 90 % des Sr-85 entfernt werden, ohne dass die Milch im Geschmack merklich verändert wurde. Auf dieser Grundlage arbeitende Dekontaminierungs-Anlagen bestehen noch nicht.

5) Dekontaminierung durch Verwendung von Kalziumphosphat

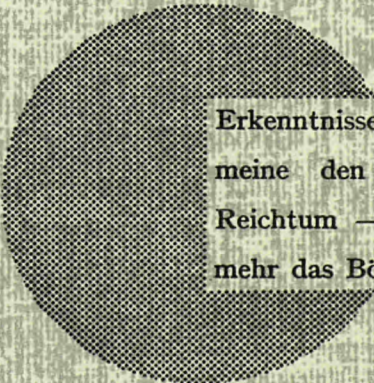
Mit diesem Verfahren konnten bis zu 95 % an Sr-89 entfernt werden. Es wurde festgestellt, dass trotz geringer Geschmacksänderungen einige Nährstoffe der Milch, insbesondere Protein, z.T. verlorengelassen. Dennoch wird dieses Verfahren z.B. von Silverman (66) für praktisch und billig gehalten, um es im Grossen anzuwenden. Dekontaminierungs-Anlagen bestehen noch nicht.

6) Elektrodialytisches Verfahren nach IONICS, Inc.

Von der Firma IONICS, Inc., Cambridge, Mass. (USA), ist ein elektrodialytisches Verfahren zur Dekontaminierung von Milch entwickelt worden, dessen Eignung durch Versuche mit einer Labor-Anlage (4 l/Std.) aufgezeigt wurde. Es werden bereits Klein-Anlagen (400 l/Std.) gebaut, an denen weitere Erfahrungen gesammelt werden sollen, bevor Gross-Anlagen mit einer Kapazität bis zu 40 000 l/Std. hergestellt werden.

7) Molkereitechnische Verfahren

Es ist möglich, durch Verarbeitung radioaktiv kontaminierter Milch Milchprodukte zu erhalten, deren Gehalt an Radionukliden wesentlich geringer als der der Milch ist. Auf diese Weise können wesentliche Bestandteile der Milch für die Ernährung erhalten werden.



Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum — denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

CDNA02507DEC

EURATOM — C.I.D.  
51 - 53, rue Belliard  
Bruxelles (Belgique)