

# Retention von Strontiumradioisotopen bei der Herstellung von Quark und Hüttenkäse

Von A. Wiechen und P. Chr. Lorenzen

Institut für Chemie und Physik der Bundesanstalt für Milchforschung, Kiel

## 1. Einleitung

In der Zeit von 1955 bis 1963 wurden infolge der oberirdischen Kernwaffenversuche der USA und der damaligen UdSSR etwa  $1,8 \cdot 10^5$  PBq Sr-89 und  $9,3 \cdot 10^2$  PBq Sr-90 ( $1 \text{ PBq} = 10^{15} \text{ Bq}$ ) in die Atmosphäre und damit in den biologischen Kreislauf eingebracht. In diese Zeit fallen auch die ersten Diskussionen über die Auswirkungen des langlebigen Sr-90 auf die Strahlenbelastung des Menschen. Dieser reine Betastrahler mit der relativ langen physikalischen Halbwertszeit von 28,5 Jahren akkumuliert in den oberen Bodenschichten, da er nur mit der sehr geringen Geschwindigkeit von weniger als 1 Millimeter pro Jahr in tiefere Schichten wandert. Darüber hinaus wird Sr-90 von Pflanzen über die Wurzeln sehr effektiv aufgenommen und weist damit einen beträchtlichen Transfer in die Nahrung des Menschen, insbesondere auch in die Milch, dem wichtigsten Nahrungsmittel für Säuglinge und Kleinkinder, auf. Beim Menschen werden Strontiumradionuklide zusammen mit dem Calcium in die Knochenmasse eingebaut, haben dort eine biologische Halbwertsverweilzeit von 49,3 Jahren, was im Falle des Sr-90 mit einer effektiven Halbwertszeit von 18,1 Jahren gleichzusetzen ist. Einmal resorbiertes Sr-90 führt also über lange Zeiträume zur Bestrahlung der kritischen Organe Knochenoberfläche und rotes Knochenmark, dem blutbildenden Apparat. Je früher dieses Radionuklid im Leben aufgenommen wird, desto höher wird die akkumulierte Lebenszeitdosis. Sr-90 ist also eines derjenigen Radionuklide, die zu einer hohen Strahlenbelastung des Menschen führen können, wenn höhere Aktivitäten in die Umwelt gelangen. Dieses ist auch der Grund dafür, daß der Sr-90-Gehalt der Lebensmittel, so auch der Milch, im Rahmen der Umweltüberwachung weltweit bis zum heutigen Tag bestimmt wird.

In dem oben genannten Zeitraum wurde auch eine Vielzahl von Untersuchungen zur Dekontamination der Milch von Sr-90 und anderen Radionukliden (J-131, Cs-137) durchgeführt (1). Darüber hinaus beschäftigten sich damals einige Autoren mit den Dekontaminationseffekten, die bei der normalen Verarbeitung der Milch auftreten und aus denen man zumindest Näherungswerte für Retentionsfaktoren ableiten kann (2-7). Im Zeitraum zwischen etwa 1965 und 1985 wurde dann angesichts der stetig abnehmenden radioaktiven Kontamination der Milch (8) keine dringende Notwendigkeit gesehen, sich mit Dekontaminationsfragen und Retentionsuntersuchungen zu beschäftigen. Erst nach dem Tschernobylunfall im Jahre 1986, bei dem unter anderem auch etwa 81 PBq Sr-89 und 8,1 PBq Sr-90 freigesetzt und im wesentlichen im näheren Umkreis des verunglückten Kernkraftwerkes in der Ukraine und in Weißrußland deponiert wurden, stellte sich erneut die Frage nach Untersuchungen zur Strontiumverteilung bei der Milchverarbeitung. Die Ermittlung von Retentionsfaktoren ist hinsichtlich einer weiteren Differenzierung von inzwischen existierenden Rechenmodellen zur Abschätzung der Strahlenexposition erforderlich (9). Ein weiterer Grund, sich erneut mit Dekontaminations- und Verteilungsuntersuchungen zu beschäftigen, ist der, daß sich die Technologie der Milchverarbeitung in den zurückliegenden 30 Jahren infolge der Automatisierung grundlegend verändert hat.

Dekontaminations - bzw. Verteilungsuntersuchungen müssen dementsprechend nach Möglichkeit in den milchverarbeitenden Betrieben erfolgen, da die Großprozesse im Laboratorium nur unzureichend simuliert werden können. Hierin liegt jedoch auch ein Problem: Aus naheliegenden Gründen können bei den Untersuchungen in der Praxis keine Radioisotope eingesetzt werden, die die experimentellen Arbeiten sehr vereinfachen würden. Im Falle der Verteilung von Strontiumradioisotopen müssen die Untersuchungen weitgehend über die Bestimmung des stabilen Strontium erfolgen, das in geringen Mengen von Natur aus in der Milch vorkommt und sich chemisch wie die Radioisotope dieses Elementes verhält. Dabei tritt jedoch eine weitere Schwierigkeit in der Hinsicht auf, daß auch Hilfsstoffe, die im Produktionsprozeß zu- oder eingesetzt werden, vergleichbare Mengen an stabilem Strontium enthalten können wie die Milch selbst. Insbesondere das im Prozeß für Waschvorgänge benutzte Wasser enthält in der Regel ähnliche oder sogar höhere Konzentrationen an stabilem Strontium als die Milch. Da für die Bestimmung von Retentionsfaktoren für Strontiumradioisotope jedoch nur das stabile Strontium der Ausgangsmilch relevant ist, das letztlich im Produkt verbleibt, muß der Anteil an stabilem Strontium, der aus Hilfsstoffen stammt, durch zusätzliche, meist aufwendige Untersuchungen ermittelt werden. Dabei kann es erforderlich sein, einen Teilprozeß des Praxisverfahrens im Laboratorium unter Zuhilfenahme eines Radioisotops, wie z.B. dem gammaspektrometrisch einfach zu messenden Sr-85, zu simulieren.

Nachfolgend werden Untersuchungen zur Strontiumretention bei der Herstellung von Quark und Hüttenkäse beschrieben. Der Quark, im konkreten Fall ein Magerquark, wurde im konventionellen Verfahren im kleinen Maßstab im Laboratorium handgeschöpft. In diesem Fall wurden die Verteilungsuntersuchungen sowohl über das stabile Strontium als auch in einem Einzelversuch mit Hilfe von zugesetztem Sr-85 (Halbwertszeit 64,849 Tage) durchgeführt, um zu überprüfen, ob beide Verfahren zu einem annähernd gleichen Ergebnis führen. Der Hüttenkäse wurde großtechnisch in einem weitgehend automatisierten Verfahren hergestellt. Bei diesen Untersuchungen konnten die Verteilungsuntersuchungen aus den schon genannten Gründen im wesentlichen nur über Bestimmungen des stabilen Strontiums erfolgen. Lediglich ein Waschprozeß mußte unter Zuhilfenahme von Sr-85 im Laboratorium simuliert werden.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Herstellung des Magerquarks**

Für die Herstellung des Quarks wurden in 2 Versuchen je 10 kg Magermilch (in einem der beiden Versuche mit einer definierten Aktivität an Sr-85 markiert) bei 96°C und 20 Minuten Heißhaltezeit im Dampftopf erhitzt, danach auf 20°C abgekühlt und mit 150 g Kultur auf der Basis der gleichen Magermilch versetzt. Diese Kesselmilch wurde zur Vorreifung 5 Stunden bei Raumtemperatur (20-21°C) belassen. Danach erfolgte der Labzusatz in Form von 50 g einer verdünnten Lösung (0,3 ml Lab der Fa. Ringekuhlmann, Hamburg wurden mit dest. Wasser auf 50 g verdünnt). Der pH-Wert betrug nach dem Einlaben bei beiden Versuchen 6,22. Unmittelbar vor und nach der Einlabung wurden Proben entnommen und das stabile Strontium bestimmt. Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, daß mit dem Lab kein zusätzliches Strontium in die Milch eingebracht wurde. Nach der letzten Probenahme verblieben 8,800 bzw. 8,654 kg des Ansatzes für die Quarkherstellung, die etwa 16 Stunden bei Raumtemperatur zur Ausbildung der Gallerte verblieben. Danach wurde die Gallerte geschnitten, nach 20 Minuten in einen Quarksack geschöpft und 3 Stunden gepreßt. Die Massenbilanzen für beide Versuche sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

**Tab. 1: Massenbilanzen bei der Herstellung des Quarks**

	Versuch 1	Versuch 2
Kesselmilchmasse nach Labzugabe in kg	8,800	8,654
Quarkmasse nach dem Pressen in kg	2,417	2,291
Molke in kg	6,044	6,165
Gesamte wiedergefundene Masse in kg	8,461	8,456
Verlust in kg	0,339	0,198

Die pH-Werte des fertigen Quarks und der Molke betragen 4,37 bzw. 4,45 (Versuch 1) und 4,44 bzw. 4,52 (Versuch 2). Die Trockenmassen der Kesselmilch nach Labzugabe, des Quarks und der Molke wurden nach der Folienmethode bei 102°C jeweils fünffach bestimmt. Die Mittelwerte dieser Fünffachbestimmungen sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

**Tab. 2: Mittelwerte der Trockenmassen (TM) in % bei der Herstellung des Quarks**

	Versuch 1	Versuch 2
Kesselmilch nach Labzugabe	8,87	9,14
Quark nach dem Pressen	17,70	18,22
Molke	6,01	6,13

Die Bestimmungen der Gehalte an stabilem Strontium und Sr-85 mittels der Gammaskpektrometrie werden unter 2.3 bzw. 2.4 beschrieben.

## 2.2 Herstellung des Hüttenkäses

### 2.2.1 Das großtechnische Verfahren

Im Fall des Hüttenkäses wurden die Proben für die Verteilungsuntersuchungen aus einem weitgehend automatisch ablaufenden Großprozeß in einem milchverarbeitenden Betrieb entnommen. Aus naheliegenden Gründen können daher an dieser Stelle nicht sämtliche Angaben in allen Details erfolgen. Es soll nur kurz das Prinzip der Herstellung aufgezeigt werden, soweit es für das Verständnis der Sr-Verteilungsuntersuchungen erforderlich ist.

Die Rohmilch wird zunächst in Magermilch und Rahm getrennt. Die Magermilch wird 30 s bei 74°C pasteurisiert und dann in einem Lagertank bei 4°C zwischengelagert. Nach dem Anwärmen auf die Reifungstemperatur erfolgt der Kulturzusatz. Die Kesselmilch wird nach der Reifung in große Wannen gepumpt und nach Zusatz von Lab dickgelegt. Anschließend wird die Gallerte geschnitten und erhitzt. Danach erfolgt der Abzug des größten Teils der Molke in einem Molkendrainer. In einem Waschkühler wird das Käsekorn mit etwa der 1,5-fachen Menge an Wasser versetzt und innerhalb von 25 Minuten mittels Eiswasser auf 15°C abgekühlt (siehe dazu 2.2.2). Nach dem Waschprozeß wird das Waschwasser mittels eines Wasserdrainers abgezogen, das Korn mit einem Rahmdressing gemischt und abgepackt. Bezogen auf das fertige Produkt beträgt

der Anteil an Rahmdressing 37 %. Der Fettgehalt des Endproduktes wird damit auf 20 % i.Tr. eingestellt. Das Rahmdressing selbst wird aus Rahm hergestellt, der oberhalb von 100°C erhitzt, homogenisiert und nach dem Abkühlen mit Kultur versetzt und inkubiert wird. Danach erfolgt ein Salzzusatz. Es wird nochmals erwärmt und homogenisiert und letztlich das fertige Rahmdressing bis zum Mischen mit dem Korn kühl gelagert.

Aus dem Produktionsprozeß wurden zu 3 Terminen verschiedene Proben entnommen und deren Gehalt an Fett und Trockenmasse bestimmt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

**Tab. 3: Fettgehalte und Trockenmassen bei der Herstellung der Hüttenkäse**

Produkt	Fettgehalt in %				Trockenmasse in %			
	Vers. 1	Vers. 2	Vers. 3	Mittelwert	Vers. 1	Vers. 2	Vers. 3	Mittelwert
Rohmilch	4,4	4,5	4,2	4,4	13,1	13,2	12,8	13,1
Magermilch	-	-	-	-	9,3	8,0	9,2	8,8
Kesselmilch nach Labzusatz	-	-	-	-	9,6	9,1	9,0	9,3
Molke	-	-	-	-	6,1	6,0	6,2	6,1
Käsekorn nach Waschprozeß	-	-	-	-	23,0	20,2	21,4	21,5
Rahm	16,0	13,5	13,3	14,3	23,9	20,9	21,0	21,9
Rahmdressing	13,0	11,5	12,0	12,2	23,4	20,4	21,3	21,7
fertiger Hüttenkäse	4,5	4,6	4,6	4,6	22,3	21,3	20,5	21,4

Die Bestimmung der Gehalte an stabilem Strontium und die gammasspektrometrischen Messungen der Sr-85-Aktivitätskonzentrationen werden unter 2.3 bzw. 2.4 beschrieben.

### 2.2.2 Simulation des großtechnischen Waschprozesses im Laboratorium

Der Waschprozeß wurde mit dem im milchverarbeitenden Betrieb entnommenem Käsekorn und Wasser unter Zusatz von Sr-85 als Marker zum Wasser in einem zusätzlichen Laboratoriumsversuch simuliert, um zu ermitteln, welcher Anteil des stabilen Strontiums im Käsekorn aus der Milch bzw. aus dem Waschwasser stammt. Entscheidend für die Bestimmung des Retentionsfaktors für die Strontiumradioisotope ist letztlich nur der Anteil des stabilen Strontiums, der aus der Milch stammt. Dieser Anteil läßt sich aus folgender Gleichung 1 ermitteln:

$$C_{Sr}(K,M) = C_{Sr}(K) - C_{Sr}(K,W)$$

mit

$C_{Sr}(K)$  = Gesamtkonzentration an stabilem Sr im Käsekorn nach dem Waschprozeß

$C_{Sr}(K,M)$  = Konzentrationsanteil an stabilem Sr im Käsekorn, der aus der Milch stammt

$C_{Sr}(K,W)$  = Konzentrationsanteil an stabilem Sr im Käsekorn, der aus dem Waschwasser stammt

Der Konzentrationsanteil des stabilen Sr im gewaschenen Käsekorn, der aus dem Wasser stammt, läßt sich bei einer Markierung des Wassers mit Sr-85 nach Gleichung 2 berechnen:

$$C_{\text{Sr}}(\text{K,W}) / A_{\text{Sr-85}}(\text{K}) = C_{\text{Sr}}(\text{W}) / A_{\text{Sr-85}}(\text{W})$$

mit

$C_{\text{Sr}}(\text{W})$  = Konzentration an stabilem Sr im Waschwasser

$A_{\text{Sr-85}}(\text{W})$  = Aktivitätskonzentration des Sr-85 im markierten Waschwasser

$A_{\text{Sr-85}}(\text{K})$  = Aktivitätskonzentration des Sr-85 im Käsekorn nach dem Waschprozeß

Durch die Vereinigung der Gleichungen 1 und 2 erhält man für den Konzentrationsanteil des stabilen Sr im gewaschenen Käsekorn, der aus der Milch stammt:

$$C_{\text{Sr}}(\text{K,M}) = C_{\text{Sr}}(\text{K}) - C_{\text{Sr}}(\text{W}) \cdot A_{\text{Sr-85}}(\text{K}) / A_{\text{Sr-85}}(\text{W})$$

Damit läßt sich die Bestimmung dieses Anteils auf die Messung des gesamten stabilen Sr im Käsekorn nach dem Waschprozeß, des stabilen Sr im Wasser und 2 gamma-spektrometrische Messungen des zur Markierung benutzten Sr-85 im Waschwasser und dem gewaschenen Käsekorn zurückführen.

Experimentell wurde der Waschprozeß im Laboratorium folgendermaßen simuliert: Eine Menge von 10 kg Käsekorn wurde im großtechnischen Verfahren nach dem Molkendrainier entnommen und sofort ins Laboratorium verbracht. 1 kg des noch 40°C warmen Kornes wurde dann in einem 3l-Becherglas (hohe Form) mit 1,5 l Eiswasser aus dem milchverarbeitenden Betrieb versetzt, das vorher mit Sr-85 markiert worden war, und dann innerhalb von 30 Minuten in einem Eiswasserbad von einer Anfangstemperatur von 21°C auf 15°C gekühlt. Dabei wurde das Käsekorn sehr vorsichtig mit einem kleinen Flügelrührer bewegt. Danach wurde das Käsekorn vom Waschwasser über eine große Porzellannutsche ohne Anlegen eines Vakuums getrennt und leicht ausgedrückt. Dieser Versuch wurde als Doppelversuch durchgeführt.

Die Bestimmungen der Gehalte an stabilem Sr und an Sr-85 im gewaschenen Käsekorn und im eingesetzten Waschwasser erfolgten wie unter 2.3 bzw. 2.4 beschrieben.

### 2.3 Bestimmung des stabilen Strontiums

Stabiles Strontium wird in biologischen Materialien in aller Regel mittels der Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) bestimmt. Wiederholbarkeiten von 5 -10 % lassen sich - ausreichende Konzentrationen und damit Signalhöhen vorausgesetzt - bei der Atomisierung in der Acetylen/Luft-Flamme erzielen. Die Erfahrung zeigt, daß die Empfindlichkeit der Messung bei der Atomisierung im Graphitrohrföfen zwar bis zu drei Größenordnungen höher liegen, die Wiederholbarkeit der Flammentechnik jedoch nicht ganz erreicht werden kann. Wenn, wie im vorliegenden Fall, eine möglichst hohe Präzision angestrebt wird, muß nach Möglichkeit die Flammentechnik eingesetzt werden. Hier stellt sich jedoch bei Milch und Milchprodukten das Problem, daß die Konzentrationen an stabilem Strontium in den Proben häufiger sehr niedrig liegen. Damit nähert man sich bei den zu messenden Lösungen bei der Flammentechnik trotz des Einsatzes relativ hoher Substanzmengen der Nachweisgrenze insbesondere dann, wenn störende Substanzen der Matrix oder aus dem Aufschluß zu Signaldepressionen führen, so daß die Atomisierung im Graphitrohrföfen gelegentlich nicht zu vermeiden ist.

Naßveraschungsmethoden, bei denen zur vollständigen Veraschung Gemische hochkonzentrierter Säuren (Schwefel-, Perchlor- und Salpetersäure) eingesetzt werden müssen, sind nicht zweckmäßig, weil diese Reagenzien das Signal negativ beeinflussen. Die Veraschung von 50 ml Milch bzw. von Proben entsprechender Trockenmasse von

Produkten, die vorher unter einem Quarzglasoberflächenverdampfer und im Trockenschrank getrocknet wurden, erfolgte daher als Trockenveraschung in Quarzglastiegeln in einem mit einer Quarzauskleidung versehenen Muffelofen bei 450°C. Kohlenstoffreste wurden, wenn erforderlich, nach Befeuchten der Aschen mit wenigen Tropfen 5%iger Ammoniumnitratlösung oder konz. Salpetersäure durch Nachveraschung im Ofen oxidiert. Die hellen Aschen wurden anschließend mit 5 ml einer verd. Salzsäure (1:4) gelöst, die salzsaure Lösung bis zur Trockne eingedampft und der Rückstand nochmals mit 1 ml der verd. Salzsäure aufgenommen und mit heißem bidest. Wasser durch ein Weißbandfilter in einen 50 ml - Meßkolben überführt und aufgefüllt. Signaldepressionen durch die hohen Calcium und Phosphatgehalte der Matrix konnten durch den Zusatz von jeweils 1 ml einer salzsauren Lanthanchloridlösung zu 4 ml der Probenlösung deutlich reduziert werden (10, 11, 12). Die Lanthanchloridlösung wurde durch Auflösen von 5,86 g Lanthanoxid für die AAS in 25 ml konz. Salzsäure und anschließendes Verdünnen auf 100 ml mit bidest. Wasser hergestellt.

Um weitere Matrixeffekte auszuschließen, wurden alle Messungen nach dem Additionsverfahren durchgeführt. Dazu erfolgte der Zusatz von jeweils 3 Strontiumstandardlösungen adäquat steigender Konzentrationen mit Volumina von 0,1 ml. Der Nullprobe wurde die entsprechende Menge bidest. Wasser zugesetzt. Die Messungen erfolgten bei einer Wellenlänge von 460,7 nm mit einem Atomabsorptionsspektrometer des Modells Z8000 mit Zeeman-Untergrundkorrektur der Fa. Hitachi.

## 2.4 Messung des Sr-85

Alle Sr-85-Messungen erfolgten direkt bei der Energie von 514,01 keV an den jeweiligen Produkten mittels eines kalibrierten Reinstgermanium-Gammaspektrometers von 40 % relativer Ansprechwahrscheinlichkeit bezogen auf eine 3"x3"-NaI(Tl)-Sonde.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Quark

#### 3.1.1 Bestimmung der Retention über das stabile Strontium

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Bestimmungen an stabilem Sr für 2 Versuche zusammengestellt. Alle aufgeführten Werte stellen Mittelwerte aus 3 Einzelbestimmungen dar.

**Tab. 4: Mittelwerte des Gehaltes an stabilem Sr in mg/kg Feuchtmasse bei der Herstellung des Magerquarks**

	Versuch 1	Versuch 2
Kesselmilch	1,227	1,383
Magerquark	1,091	1,220
Molke	1,702	1,672

Retentionsfaktoren (RF) für Radionuklide bzw. stabile Elemente werden in der Regel als Quotient der Aktivitätskonzentrationen bzw. Elementkonzentrationen im Endprodukt und im Ausgangsprodukt definiert. Sie geben also an, welche Aktivität eines Radionuklides bzw. Masse eines Elementes aus einem kg Feuchtmasse (FM) des Ausgangsproduktes in ein kg Feuchtmasse (FM) des Endproduktes bei der Verarbeitung übergehen. Sinnvoll

ist es jedoch, auch einen entsprechenden Quotienten für die auf die Trockenmasse (TM) bezogenen Konzentrationen anzugeben, da letztlich die Trockenmasse eines Nahrungsmittels für die Ernährung von entscheidender Bedeutung ist. Darüber hinaus beschreibt ein trockenmassebezogener Retentionsfaktor auch besser die Dekontamination bei der Verarbeitung. In Tabelle 5 werden daher sowohl der feucht- als auch trockenmassebezogenen Retentionsfaktoren angegeben, die sich aus den Daten in den Tabellen 4 und 2 ergeben.

**Tab. 5: Retentionsfaktoren (RF) für das Strontium bei der Herstellung von Magerquark**

	RF bezogen auf die FM		RF bezogen auf die TM	
	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 1	Versuch 2
Molke	1,39	1,21	2,07	1,75
Magerquark	0,89	0,88	0,45	0,44

Vergleicht man die Trockenmasse des Magerquarks mit derjenigen der Ausgangsmilch, so stellt man eine Sr-Dekontamination von etwa 55 % fest. Das abgetrennte Sr verbleibt in der Molke, bei der sich der Sr-Gehalt verglichen mit der Magermilch und bezogen jeweils auf die Trockenmassen fast verdoppelt. Im Falle der Molken ist die Übereinstimmung der Ergebnisse beider Versuche wegen der Inhomogenität des Produktes und den damit verbundenen Probenahmeproblemen nicht so gut wie im Falle des Magerquarks.

### 3.1.2 Bestimmung der Retention über das Sr-85

Bei den gammaspektrometrischen Messungen des Sr-85, das im Versuch 1 der Kesselmilch zugesetzt worden war, ergaben sich die in Tabelle 6 aufgeführten spezifischen Aktivitäten und die daraus abgeleiteten Retentionsfaktoren.

**Tab. 6: Retentionsfaktoren (RF) für das Sr-85 bei der Herstellung von Magerquark**

	Sr-85 in Bq/kg	RF bezogen auf die FM	RF bezogen auf die TM
Kesselmilch	239,9	-	-
Molke	244,0	1,02	1,50
Magerquark	192,7	0,80	0,40

Werden die Ergebnisse der über das Sr-85 bestimmten Retentionsfaktoren in Tabelle 6 mit den über das stabile Strontium bestimmten Faktoren für den Magerquark verglichen, so kann man im Rahmen einer bei solchen Versuchen zu erwartenden Genauigkeit eine gute Übereinstimmung feststellen. Auf die durch Inhomogenität beruhenden größeren Streuung im Falle der Molke ist bereits hingewiesen worden.

## 3.2 Hüttenkäse

### 3.2.1 Bestimmung des stabilen Strontiums

Die Ergebnisse der Bestimmungen des stabilen Strontiums an den verschiedenen, aus dem Produktionsprozeß entnommenen Proben sind in Tabelle 7 zusammengestellt. Alle für die einzelnen Versuche aufgeführten Werte basieren auf Doppelbestimmungen. In einem Fall wurde ein Ausreißerwert beobachtet, dessen Ursache nicht geklärt und der nicht für die weitere Auswertung verwendet werden konnte.

**Tab. 7: Gehalte an stabilen Strontium bei der Herstellung des Hüttenkäses**

Produkt	Sr bezogen auf die FM in mg/kg				Sr bezogen auf die TM in mg/kg			
	Vers. 1	Vers. 2	Vers. 3	Mittelwert	Vers. 1	Vers. 2	Vers. 3	Mittelwert
Rohmilch	343,0	399,0	399,5	381	2,62	3,02	3,05	2,9
Magermilch	417,4	393,5	437,8	416	4,46	4,92	4,76	4,7
Kesselmilch nach Labzusatz	392,3	396,2	387,7	392	4,09	4,35	4,31	4,3
Molke	374,4	380,6	402,9	386	6,14	6,34	6,50	6,3
Käsekorn nach Waschprozeß	(159,1)	305,6	347,5	327	(0,69)	1,51	1,62	1,6
Rahm	299,3	315,7	350,6	322	1,25	1,51	1,60	1,5
Rahmdressing	302,9	306,9	353,7	321	1,29	1,50	1,65	1,5
fertiger Hüttenkäse	285,5	341,5	283,7	304	1,28	1,60	1,38	1,4

Würden die stabilen Strontiumgehalte der Feuchtmassen des fertigen Hüttenkäses und der Rohmilch in Tabelle 7 verglichen, so käme man, ähnlich dem Wert für den Quark, zu einer Strontiumretention von etwa 80 %. Der entsprechende auf die Trockenmasse bezogenen Wert würde etwa 48 % betragen (Quark: ca. 45 %). Dabei ist jedoch nicht berücksichtigt, daß ein beträchtlicher Anteil des stabilen Strontiums im fertigen Hüttenkäse aus dem Wasser stammt, mit dem das Käsekorn gewaschen wurde. Nachfolgend werden die Ergebnisse beschrieben, die der Abschätzung dieses Anteils ermöglichen.

### 3.2.2 Ergebnisse der Simulation des Waschversuches mit Sr-85-markiertem Wasser

In Abschnitt 2.2.2 sind Zielsetzung und Durchführung des Waschversuches des Käsekorns mit Sr-85-markiertem Wasser beschrieben. Zur Abschätzung des aus der Magermilch stammenden Anteils an Strontium im Käsekorn wurden gemäß Gleichung 3 das gesamte stabile Strontium im Käsekorn nach dem Waschprozeß  $C_{Sr}(K)$ , das stabile Strontium im Wasser  $C_{Sr}(W)$  und durch gamma-spektrometrische Messungen das zur Markierung benutzte Sr-85 im Wasser  $A_{Sr-85}(W)$  und dem gewaschenen Käsekorn  $A_{Sr-85}(K)$  bestimmt. In Tabelle 8 sind die aus jeweils 3 Einzelwerten gebildeten Mittelwerte der Meßergebnisse aus zwei Versuchen und die nach Gleichung 3 berechneten Werte des aus der Milch stammenden stabilen Strontiums  $C_{Sr}(K,M)$  aufgeführt.

**Tab. 8: Ergebnisse der Waschversuche mit Sr-85-markiertem Wasser**

	$C_{Sr}(K)$	$C_{Sr}(W)$	$A_{Sr-85}(K)$	$A_{Sr-85}(W)$	$C_{Sr}(K,M)$	
	µg/kg	µg/kg	Bq/kg	Bq/kg	µg/kg	%
Versuch 1	291	242	566	1018	156	54
Versuch 2	280	242	494	1018	163	58

Die Ergebnisse in Tabelle 8 zeigen, daß etwas mehr als die Hälfte des stabilen Strontiums im Käsekorn aus der Milch und damit die ein beträchtlicher Anteil aus dem Wasser stammt, mit dem das Korn gewaschen wurde. Bei der Berechnung der Retentionsfaktoren muß der Strontiumgehalt des Käsekorns im Mittel mit einem Faktor 0,56 korrigiert werden.



### 3.2.3 Berechnung der Retentionsfaktoren

Das Fertigprodukt Hüttenkäse wird aus 63 % des gewaschenen Käsekorns und 37 % Rahmdressing hergestellt. Unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors für das stabile Strontium im Käsekorn aus dem Wasser erhält man den feuchtmassenbezogenen Retentionsfaktor für Strontiumradioisotope im Fall des Hüttenkäses aus der folgenden Gleichung:

$$RF = [0,63 \cdot 0,56 \cdot C_{Sr}(K) + 0,37 \cdot C_{Sr}(RD)] / C_{Sr}(RM)$$

mit

$C_{Sr}(K)$  = Konzentration des stabilen Strontiums im gewaschenen Käsekorn

$C_{Sr}(RD)$  = Konzentration des stabilen Strontiums im Rahmdressing

$C_{Sr}(RM)$  = Konzentration des stabilen Strontiums in der Rohmilch

Mit den Mittelwerten für  $C_{Sr}(K)$ ,  $C_{Sr}(RD)$  und  $C_{Sr}(RM)$  aus Tabelle 7 ergibt sich nach Gleichung 4 ein mittlerer Wert für RF von 0,61. Dieser Wert bedeutet, daß feuchtmassenbezogen bei der Herstellung des Hüttenkäses etwa 61 % des stabilen Strontiums bzw. von Strontiumradionukliden der Ausgangsmilch in das Fertigprodukt übergehen. Vergleicht man die Trockenmassen von Hüttenkäse und Rohmilch, so beträgt die Strontiumretention 38 %.

## 4. Schlußfolgerungen

Wie die vorstehenden Ergebnisse zeigen, findet bei der Herstellung des Hüttenkäses eine höhere Dekontamination als bei der Herstellung des Magerquarks statt. Der Grund ist natürlich das Waschen des Käsekorns bei der Herstellung des Hüttenkäses. Hier bietet sich im Falle einer höheren Kontamination der Rohmilch durch Sr-90 auch ein Ansatzpunkt zur weiteren Verbesserung der Dekontamination über das bei der normalen Verarbeitung erreichte Ausmaß hinaus. Zum einen kann der Waschprozeß wiederholt werden, was allerdings mit höheren Proteinverlusten verbunden wäre. Zum anderen könnte der Gehalt des zum Waschen eingesetzten Wassers an stabilem Strontium erhöht werden, so daß mehr Sr-90 beim Waschprozeß ausgetauscht würde.

### *Danksagung*

Die Autoren danken Frau Bärbel Kock, Herrn Frank Malien und Herrn Werner Wulf für die äußerst sorgfältige Durchführung von Versuchen und Analysen.

## 5. Literatur

- (1) Knoop, E., Buchheim, W.: EUR-Report 2507 d (1965) (und die dort zitierte Literatur)
- (2) Migicovsky, B.B.: Ca. J. Biochem. Physico. **37** 1287 (1959)
- (3) Demott, B.J., Cragle, R.G.: J. Dairy Sci. **7** 925 (1960)
- (4) Lengemann, F.W.: J. Dairy Sci. **45** 538 (1962)
- (5) Lagoni, H., Paakkola, O., Peters, K-H.: Milchwissenschaft **18** 340 (1963)
- (6) Buma, T.J., Meerstra, J.: Nature **202** 310 (1964)
- (7) De Ruig, W.G.: Neth. Milk & Dairy J. **20** 283 (1966)

- (8) Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung - Jahresberichte, Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
- (9) Modelle, Annahmen und Daten mit Erläuterungen zur Berechnung der Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser zum Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach § 45 StrSchV - Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 17, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York (1992)
- (10) Belcher, C. B., Brooks, K. A.: Anal. Chim. Acta **29** 202 (1962)
- (11) Trennt, D. J., Slavin, W.: Atomic Absorpt. Newslett. **3** 53 (1965)
- (12) Wiechen, A., Tait, D.: Milchwissenschaft **49** (11) 603 (1994)

## 6. Zusammenfassung

Wiechen, A., Lorenzen, P. Chr.: **Retention von Strontiumradioisotopen bei der Herstellung von Quark und Hüttenkäse.** Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **47** (2) 157-167 (1995)

### 22 Radioökologie (stabiles Strontium)

Sr-90 ist eines der bedeutendsten Radionuklide hinsichtlich der Strahlenexposition des Menschen über die Aufnahme von Radioaktivität mit der Nahrung. Seit dem Tschernobylunfall im Jahre 1986 hat dieses Radioisotop wieder wachsendes Interesse gefunden, da in der Umgebung dieses Reaktors beträchtliche Aktivitäten deponiert wurden.

Die vorliegende Arbeit beschreibt Experimente zur Bestimmung von Retentionsfaktoren für Strontiumradionuklide bei der Herstellung von Quark und Hüttenkäse. Die meisten Verteilungsuntersuchungen wurden über das von Natur aus in der Milch und in den Milchprodukten vorkommende stabile Strontium mit Hilfe der Atomabsorptionsspektrometrie durchgeführt. In einigen Fällen mußte das Radionuklid Sr-85 als Tracer eingesetzt werden. Für den Strontiumretentionsfaktor für Quark wurde ein Wert von 0,88 bestimmt. Der entsprechende Wert für den Hüttenkäse war mit 0,61 bedingt durch einen Waschprozesses des Käsekorns etwas niedriger.

### Summary

Wiechen, A., Lorenzen, P. Chr.: **Retention of strontium radioisotopes during processing of milk to quark and cottage cheese.** Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **47** (2) 157-167 (1995)

### 22 Radioecology (stable strontium)

Sr-90 is one of the most important radionuclides concerning radiation exposure of men via ingestion of radioactivity with food. Since the Chernobyl accident in 1986 this radioisotope has found again growing interest because of the deposition of substantial activities in the surroundings of this reactor.

This paper describes experiments to determine retention factors for strontium radionuclides during processing milk to quark and cottage cheese. Most of the work was done via determining the distribution of the naturally occurring stable strontium in milk and

milk products by atomic absorption spectrometry. In some cases Sr-85 as a tracer had to be used. The strontium retention factor of quarg was found to be 0.88. The corresponding value for cottage cheese was somewhat lower (0.61) due to a washing procedure of the cheese grain.

## Résumé

Wiechen, A., Lorenzen, P.Chr.: **Rétention de radio-isotopes de strontium lors de la fabrication de la caillebotte et du cottage cheese.** Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **47** (2) 157-167 (1995)

## 22 Radioécologie ( strontium stable)

Sr-90 est un des plus importants radionucléides en ce qui concerne l'exposition de l'homme à la radiation via l'ingestion de la radioactivité dans des aliments. Depuis l'accident à Chernobyl en 1986 ce radio-isotope revêt de nouveau une importance particulière à cause des dépôts d'activités considérables aux alentours de ce réacteur nucléaire.

On décrit des expériences effectuées pour déterminer des facteurs de rétention concernant des radionucléides de strontium pendant la fabrication de la caillebotte et du cottage cheese. La plupart des expériences a été réalisée via la détermination de la distribution du strontium stable tel qu'il se trouve naturellement dans le lait et les produits laitiers à l'aide de la spectroscopie par absorption atomique (AAS). Dans plusieurs cas on a utilisé le radionucléide Sr-85 comme traceur. Pour le facteur de rétention de strontium dans la caillebotte on a établi une valeur étant de 0.88. A cause d'un procédé de lavage du grain de caillé la valeur correspondante pour le cottage cheese était un peu plus basse (0.61).