

Juli 1981 / 113

Herausgegeben von der
Eidgenössischen Forschungsanstalt für Milchwirtschaft
CH-3097 Liebefeld
Direktor: Prof. Dr. B. Blanc

Technologische Möglichkeiten des Energiesparens beim Käsen

Chr. Steffen

Einleitung

Die Käsefabrikation ist für die schweizerische Landwirtschaft von grosser wirtschaftlicher Bedeutung. 1979 wurden rund 14 Millionen Zentner Milch, dies entspricht 45,6% der Verkehrsmilch, zu Käse verarbeitet. Eine ansehnliche Menge unserer Produktion wird exportiert.

Auf die verschiedenen wichtigsten Sorten entfallen folgende Produktionsanteile:

— Emmentaler	50 %
— Greyerzer	17 %
— Halbhart- und Weichkäse	12,5%
— Tilsiter	7 %
— Appenzeller	6 %
— Sbrinz	4 %

Durch den Fabrikationsprozess wird aus der Milch ein haltbares Produkt geschaffen, also eine Art Konserve. Dies geschieht durch die Anreicherung von Eiweiss und Fett unter gleichzeitiger Reduktion des Wassergehaltes (vergleiche Tabelle 1).

Tabelle 1: Hauptkomponenten der Milch und einiger Käsesorten

	Wasser %	Eiweiss %	Fett %
Milch	87,5	3,3	3,8
Camembert	55	20	22
Appenzeller	39	26	31,5
Emmentaler	35	29	31
Sbrinz	30	32	33

Allgemein darf man sagen: Je tiefer der Wassergehalt um so länger kann der Käse gelagert werden. Je nach Käsesorte ändert die Technologie und damit auch der Energieaufwand. Zweck des Fabrikationsprozesses ist aber ebenfalls die Herstellung eines qualitativ hochstehenden Produktes. Die Voraussetzung für alle technologischen Energiesparmassnahmen ist daher, die uneingeschränkt gute Qualität des Endproduktes, des Käses.

Technologie der Käseherstellung

Die Käsequalität wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Besonders hervorzuheben sind:

- Die Milchqualität (in der Schweiz wird ein grosser Prozentsatz der Käse aus Rohmilch hergestellt).
- Die Bakterienkulturen die der Kessmilch zugesetzt werden.
- Die einzelnen Teilschritte im Fabrikationsprozess.
- Die anschliessende Reifung und Behandlung der Käse im Keller.

Bei der Käseherstellung müssen bakteriologische, biochemische, chemische, physikalische, hygienische und technologische Faktoren in Einklang gebracht werden.

In der Folge möchte ich die wichtigsten Schritte bei der Käseherstellung aufzeigen und darlegen, welche Bedeutung ihnen im Zusammenhang mit der Qualität des Produkts zukommt und welche Auswirkungen sie auf den Einsatz von Energie haben.

Milchbehandlung

Grösstenteils wird die Milch 2-mal täglich unmittelbar nach dem Melken in die Käserei geliefert. Die Abendmilch wird hier mittels Leitungs- oder Eiswasser, je nach Voraussetzungen, auf 22 bis 4 °C abgekühlt und über Nacht im Käsekessi, oder in einem Milchlagertank gelagert. Mit dem **Abkühlen der Milch** soll die Vermehrung unerwünschter Mikroorganismen verhindert werden. Eine starke Zunahme von sogenannten Fremdbakterien in der Milch kann grosse qualitative Auswirkungen zur Folge haben.

Die kühl, über Nacht gelagerte Abendmilch — in der Regel die Hälfte der verarbeiteten Milch — wird am nächsten Morgen im Käsekessi, oder über einen Plattenapparat bis zur sogenannten Einlabungstemperatur von 30 bis 32 °C auf-

wärmt. Damit soll das Wachstum der erwünschten Milchsäurebakterien und die Gerinnung vorbereitet werden.

Während des **Warmhaltens bei 30 bis 32 °C** wird die frisch ermolzene Morgenmilch zugesetzt. Die Fettgehaltseinstellung erfolgt mit Magermilch. Der im Kessi befindlichen Milch werden zudem die Milchsäurebakterienkulturen, ca. 10% Wasser und der Labstoff beigemischt.

Der **Gerinnungsvorgang** und das biochemische Gärungsgeschehen sind somit eingeleitet. Diese qualitativ wichtigen Prozesse sind temperaturabhängig.

Die Gerinnung ist eine Vernetzung der in der Milch befindlichen Caseinmicellen, unter gleichzeitigem Einschluss von Fett, Wasser und den übrigen sich in der Milch befindlichen Komponenten. Sobald die Gallerte eine genügende Festigkeit erreicht hat, wird sie in Würfel, oder je nach Käsesorte in kleinere Stücke (Weizenkorn- bis Baumnussgrösse) den sogenannten Bruchkörnern geschnitten. Mit diesem Prozess erfolgt die eigentliche **Trennung der Käsemasse von der Molke** (vorwiegend Wasser, Milchzucker, Mineral-salze und Eiweiss).

Das Molkebruchgemisch wird anschliessend gerührt zum Zweck der Förderung des Wasseraustritts aus dem Bruchkorn. In der Praxis wird dieser Fabrikationsschritt **«Vorkäsen»** genannt. Bei Käsesorten mit hohem Wassergehalt, wie zum Beispiel Weichkäse erfolgt kein Vorkäsen.

Danach wird das Molkebruchgemisch im Käsekessi vorsichtig gewärmt. Die **Temperaturbehandlung** hat einerseits zum Ziel eine Selektion der Bakterienflora im Bruchkorn zu erreichen und andererseits eine weitere Reduktion des Wassergehaltes zu bewirken. Die sogenannte Brenntemperatur variiert deshalb je nach Käsesorte in einem relativ weiten Bereich. Weichkäse werden überhaupt nicht gewärmt. Deshalb muss

für die meisten Weichkäsesorten pasteurisierte Milch verwendet werden.

Halbhartkäse erfahren eine Temperaturbehandlung von 40—45 °C währenddem Hartkäse mit einem tieferen Wassergehalt auf 53—59 °C gewärmt werden.

Die Brenntemperatur ist ein wichtiger qualitätsbestimmender Faktor. Innerhalb einer bestimmten Käsesorte dürfen deshalb keine grösseren Abweichungen in Kauf genommen werden, ohne dass die Qualität des Käses beeinträchtigt würde. Für Emmentalerkäse muss die Brenntemperatur innerhalb der Grenzen von 52½—53½ °C liegen. Das Molkebruchgemisch wird während einer bestimmten Zeit auf Brenntemperatur-Niveau gehalten und gerührt. Dieser Fabrikationsschritt wird als «Ausrühren» bezeichnet und hat zum Ziel, die temperaturabhängige Selektion der vorhandenen Bakterien weiterzuführen und auch den Wassergehalt im Bruchkorn weiter abzusinken.

Sobald das Bruchkorn einen genügenden Trockenheitsgrad erlangt hat, erfolgt die **Trennung des Käses von der Molke**. Der Praktiker bezeichnet dies als «Käseausziehen». In der Folge werden Käse und Molke separat behandelt. Die Käsemasse wird in einen sogenannten Järb gebracht, um dem Käse seine Form zu geben und anschliessend gepresst, um einen weitem Wasseraustritt zu erwirken. Die Höhe der Temperatur, mit der der Käse anschliessend auf die Presse gebracht wird und der zeitliche Verlauf des Abkühlens auf der Presse ist für die nun intensiv einsetzende Milchsäuregärung und damit auch für den weiteren Reifungsverlauf von ausschlaggebender Bedeutung.

Die Molke muss gemäss Tierseuchenverordnung pasteurisiert werden. Je nach Region wird die entrahmte Molke an die Milchlieferanten zurückgegeben oder in der, der Käseerei angegliederten Schweinemast verwertet.

Energieaufwand, Sparmöglichkeiten, Qualität

Im Fabrikationsprozess wird elektrische Energie für die mechanischen Arbeiten und zum Teil für die Kälteerzeugung benötigt. Als Primärenergie für die Wärmeerzeugung kommt heute fast überall Erdöl zum Einsatz.

Die hauptsächlichsten energieverbrauchenden Prozesse in der Käsetechnologie sind:

- Kühlung der Abendmilch.
- Wiederaufwärmen der Abendmilch am Morgen.

— Wärmen des Bruchmolkegemisches.

— Pasteurisation der Molke.

Der Energieaufwand für die Käseherstellung geht aus Schema 1 hervor.

Schema 1: Energieaufwand für Käseherstellung
Berechnungsgrundlage:
Verarbeitung von 1000 Liter Milch = 1 E

Kühlung Abendmilch

500 L
20—32 °C → 4—22 °C
30 °C → 15 °C
 $\Delta T = 15 \text{ °C} \rightarrow 7\,500 \text{ kcal/E}$
(31\,380 kJ/E)

Milchqualität, Temperatur bei Einlieferung

Aufwärmen Abendmilch

500 L
4—22 °C → 30—32 °C
15 °C → 31 °C
 $\Delta T = 16 \text{ °C} \rightarrow 8\,000 \text{ kcal/E}$
(33\,470 kJ/E)

Temperatur Abendmilch, Thermisation, Pasteurisation

Wasserszusatz

100 L
15 °C → 31 °C
 $\Delta T = 16 \text{ °C} \rightarrow 1\,600 \text{ kcal/E}$
(6\,700 kJ/E)

Wärmen Bruch-Molke-Gemisch

1 100 L
30—32 °C → 40—45 °C Halbhartkäse
→ 53 °C Emmentaler
→ 53—59 °C Greyerzer, Sbrinz
31 °C → 53 °C
 $\Delta T = 22 \text{ °C} \rightarrow 24\,200 \text{ kcal/E}$
(101\,250 kJ/E)

Käsesorte

Pressen des Käses

ca. 100 kg
Temperaturverlauf → Raumheizung
Käsesorte, Isolation

Erwärmen der Molke

1 000 L
40—55 °C → 65—75 °C
49 °C → 65 °C
 $\Delta T = 16 \text{ °C} \rightarrow 16\,000 \text{ kcal/E}$
(66\,950 kJ/E)

Käsesorte, Schottenverwertung, Erhitzungsverfahren

Als Grundlage für die Berechnung der wichtigsten energieverbrauchenden Prozesse dient die Verarbeitung von 1000 Liter Milch (im weiteren als 1 Einheit bezeichnet) zu Emmentalerkäse. In der Berechnung ist die spezifische Wärme von 0,92—0,94 für Milch nicht berücksichtigt. Andererseits sind aber auch keine Verluste eingerechnet.

Kühlung der Abendmilch

Die Temperatur der 500 Liter Abendmilch pro Einheit variiert zwischen 20—32 °C und muss in der Folge mit Wasser oder Eiswasser auf 22—4 °C gekühlt werden. Ueblicherweise erfolgt eine Kühlung von 30 auf 15 °C. Dies entspricht einer Temperaturdif-

ferenz (ΔT) von 15 °C und somit einem Bedarf an Kälteenergie von 7 500 kcal oder 31 400 kJ/Einheit. Bezüglich Energieaufwand sind 3 Faktoren von Wichtigkeit:

1. Die bakteriologische Milchqualität.
2. Die Temperatur der eingelieferten Milch.
3. Die Lagerdauer.

Je stärker die mikrobielle Kontamination der Milch und je länger die Milch zu lagern ist, desto tiefer muss die Lagertemperatur gewählt werden.

Aufwärmen der Abendmilch

Die für die Kühlung investierte Energie muss am folgenden Tag erneut

für das Aufwärmen auf die Einlabungstemperatur von 30–32 °C aufgewendet werden. Üblicherweise wird die Milch mit Hilfe von Dampf oder Heisswasser als Wärmeträger im Käsekessi erwärmt. Im Mittel muss hier mit einer Temperaturerhöhung von 15 auf 31 °C gerechnet werden, also einem ΔT von 16 °C. Dies entspricht einem Wärmebedarf von 8 000 kcal oder 33 500 kJ/Einheit.

Für den Energieaufwand sind die

Temperatur der Abendmilch, die bakteriologische Milchqualität und die sortenspezifischen Anforderungen, wie zum Beispiel die notwendige Pasteurisation bei Weichkäsen, von Bedeutung.

Technologische Möglichkeiten zum Energiesparen bei der Milchkühlung und dem darauffolgenden Aufwärmen sind in der Milchqualität zu suchen. Anhand von 2 Beispielen soll dies kurz erläutert werden.

Beispiel 1: Milchqualität — Kühlung, Aufwärmen

Annahme 1: Gute Milchqualität → Kühlung 15 °C

· Kühlung:	7 500 kcal/E	(31 380 kJ/E)
· Aufwärmen:	8 000 kcal/E	(33 470 kJ/E)
Total:	15 500 kcal/E	(64 850 kJ/E)

Annahme 2: Schlechte Milchqualität → Kühlung 4 °C

· Kühlung:	13 000 kcal/E	(54 400 kJ/E)
· Aufwärmen:	13 500 kcal/E	(56 480 kJ/E)
Total:	26 500 kcal/E	(110 880 kJ/E)

Mehraufwand ~ 70%

Annahme 3: Gute Milchqualität, Vorkühlung auf dem Bauernhof auf 20 °C

		→ Kühlung 15 °C
· Kühlung:	2 500 kcal/E	(10 460 kJ/E)
· Aufwärmen:	8 000 kcal/E	(33 470 kJ/E)
Total:	10 500 kcal/E	(43 930 kJ/E)

Einsparung: ca. 1/3

Das erste Beispiel zeigt, dass eine Kühlung auf 4 °C einen Mehrbedarf an Kälte und Wärme von rund 70% ergibt. Andererseits kann eine Vorkühlung der Milch auf dem Bauern-

hof mit Brunnenwasser, das in der Regel ja gratis ist, eine spürbare Einsparung an Kälteenergie — in unserem Beispiel um ca. einen Drittel bringen.

Beispiel 2: Thermisation der Milch

Prozess: Aufwärmen der gekühlten Abendmilch und der Morgenmilch auf 60 °C → Rückkühlung auf 31 °C mit Leitungswasser.

Erwärmen von 1 000 L; $\Delta T = 29$ °C
→ Zusätzlicher Verbrauch an Wärme

29 000 kcal/E
(121 340 kJ/E)

Das zweite Beispiel behandelt die Thermisation, wie sie bei einigen Käsesorten angewendet wird. Die Abendmilch wird dabei zusammen mit der Morgenmilch im Kessi einer Temperaturbehandlung von 60 °C unterworfen, mit dem Ziel unerwünschte Bakterien zu eliminieren. Nach erfolgter Erwärmung muss die Milch mit Leitungswasser auf die Einlabungstemperatur zurückgekühlt werden. Dieser Prozess bedingt einen zusätzlichen Aufwand von 29 000 kcal oder 121 300 kJ/Einheit. Die Thermisation im Kessi allein macht rund 50% des gesamten Wärme- und Kältebedarfs des Fabrikationsprozesses aus.

kationsprozesses Wasser zugesetzt, um das Gärmaterial (Milchzucker) zu verdünnen. Ein Wasserzusatz von rund 10% bedingt ebenfalls einen durchschnittlichen Wärmeaufwand von 1 600 kcal oder 6 700 kJ/Einheit zur Erreichung der Einlabungstemperatur.

Wärmen des Bruchmolkegemisches

Der gesamte Kessihalt von 1 100 Litern pro Einheit muss auf eine bestimmte sortenspezifische Temperatur gebracht werden. Beim Emmentalerkäse muss die Temperatur innerhalb von 30 Minuten um 22 °C erhöht werden. Der Wärmebedarf dafür beträgt 24 200 kcal oder 101 250 kJ/Einheit.

Aus qualitativer Sicht lässt die Käseherstellung hier keine Abweichungen von den sortenspezifischen Brenn-

temperaturen zu, ohne damit das Produkt entscheidend zu verändern.

Pressen der Käse

Für die Käsequalität ist der Temperaturverlauf auf der Presse von Bedeutung. Die Temperatur sollte ein optimales Wachstum der im Käse erwünschten Milchsäurebakterien während den nächsten 20 Stunden erlauben. Eine zu starke Abkühlung der Käse in den Randzonen kann verschiedene Käsefehler begünstigen.

Während der kalten Jahreszeit ist oft eine zusätzliche Beheizung des Fabrikationsraumes, in dem sich die Pressen befinden, notwendig. Der Bau von relativ kleinen Pressräumen würde eine Reduktion des Wärmeaufwandes erlauben. Für einige Käsesorten wurden neuerdings spezielle Isolierformen geschaffen, die eine tiefere Umgebungstemperatur zulassen.

Erwärmen der Molke

Es besteht die verbindliche Vorschrift, die Molke zu pasteurisieren. Dies entspricht einer weiteren Erwärmung von rund 1 000 Litern auf 65 ° bei der Dauerpasteurisation oder auf 75 °C bei der Kurzzeiterhitzung. Üblicherweise wird in den Käseereien die Molke im sogenannten Schottentank erwärmt und bei dieser Temperatur belassen. Die mittlere Temperaturerhöhung um durchschnitt 16 °C bedingt einen Wärmeaufwand von 16 000 kcal oder rund 70 000 kJ/Einheit.

Eine Möglichkeit der Energieeinsparung beim Schottenerwärmen wäre ebenfalls die Wahl eines energiesparenden Erhitzungsverfahrens. Bei einer Erwärmung in einem Plattenapparat kann ein grosser Teil der notwendigen Wärmeenergie zurückgewonnen werden.

Die erhitzte Molke enthält in den meisten Käseereien einen relativ grossen Anteil der in den Fabrikationsprozess investierten Wärme und könnte für ein Wärmerückgewinnungsverfahren dienen.

Energieverbrauch im weitem Zusammenhang mit der Fabrikation

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass der Fabrikationsprozess für sich isoliert betrachtet einen mittleren rechnerischen Aufwand an Wärmeenergie von ca. 49 800 kcal oder 208 400 kJ/Einheit und Tag erfordert. In den weitaus meisten Betrieben wird heute Wärme mit Erdöl als Primärenergie erzeugt. Der Oel-

verbrauch für die Fabrikation beläuft sich somit theoretisch auf rund 8,0 Liter/Einheit und Tag.

Der Fabrikationsprozess darf niemals isoliert betrachtet werden. Ein einwandfreier Käse bedingt tadellose hygienische Voraussetzungen, also eine gute Reinigung. Täglich müssen alle Gerätschaften, Leitungen, Apparate und der Fabrikationsraum gereinigt werden. Dabei wird eine ansehnliche Menge an Warmwasser und warmer Reinigungslösung benötigt.

Nebst der Reinigung ist Wärmeenergie notwendig für die Heizung des Gärraumes, die Käsepflege und die Behandlung von Rahm.

Im Gegensatz zum Fabrikationsprozess lässt sich hier der Wärmebedarf nur schwer abschätzen. Nach meinem Dafürhalten bestehen in den zur Fabrikation zudienenden Arbeiten grosse Schwankungen von Betrieb zu Betrieb bezüglich Energieverbrauch. Der mittlere Verbrauch dürfte bei 35 000 bis 45 000 kcal/Einheit oder 146 500 bis 188 300 kJ betragen. Für den Aufwand an Wärmeenergie sind von Bedeutung:

- Die Art und Anzahl der Reinigungsarbeiten im Betrieb (zum Beispiel Reinigung der Milchkannen in der Käseerei).
- Die Betriebsgrösse.
- Ein sorgfältiger, energiebewusster Umgang mit dem Warmwasser.

Für die dem eigentlich Fabrikationsprozess zudienenden Vorgänge wird Warmwasser verschiedener Temperaturstufen benötigt. Hier könnte zum Teil Warmwasser aus der Wärmerückgewinnung eingesetzt werden.

Elektrische Energie

Im heutigen Käsebetrieb sind einige Verbraucher von elektrischer Energie für den Fabrikationsprozess und für die zudienenden Prozesse eingesetzt. Als Beispiele seien hier erwähnt:

- Pumpen für Milch, Molke, Eis- und Warmwasser sowie für den Käsebruch.
- Kompressoren für die Kälteerzeugung.
- Rührwerke für Milchtanks, Käsekessi.
- Käsebehandlungsmaschinen.

Die hauptsächlichsten Verbraucher sind Pumpen und Kältemaschinen.

Für die elektrisch betriebenen Geräte einer modern eingerichteten Emmentalerkäserei haben wir einen Bedarf an elektrischer Energie von 23 bis 30 kWh/Tag und Einheit errechnet. Auch dieser Verbrauch wird durch verschiedene Faktoren bestimmt, wie zum Beispiel:

- Die Betriebsgrösse.
- Die Zahl der elektrischen Verbraucher.
- Den gezielten Einsatz der Apparate.

Folgerung

Die Darlegungen lassen bezüglich Aufwand, Abhängigkeit des Energieverbrauches beim Käsen und Energiesparmöglichkeiten folgende Schlüsse zu:

1. Aufwand

- Bei der Verarbeitung von 1 000 Liter Milch zu Käse wird für den Fabrikationsprozess und die Be-

Tabelle 2: Energieaufwand für die Käseherstellung (Berechnung pro 1 000 Liter verarbeitete Milch und Tag)

Wärmeenergie für den Fabrikationsprozess	49 800 kcal/E	(208 400 kJ/E) → 8,0 Liter Erdöl/E
Wärmeenergie für Reinigung, Heizung, Rahmbehandlung	35 000—45 000 kcal/E	(146 500—188 000 kJ/E) → 5,6—7,2 Liter Erdöl/E
Elektrische Energie für mechanischen Antrieb, Kühlung	23—30 kWh/E	

2. Abhängigkeit des Energieverbrauches

Der Energieverbrauch für die Käseherstellung kann von Käseerei zu Käseerei in einem relativ weiten Bereich variieren. Wichtige Faktoren sind:

- Käsesorte (sortenspezifische Temperaturansprüche).
- Auslastung der Anlagen (Milchmenge).
- Technische Einrichtungen (Wärmeträger, Wärmeverluste).
- Energiesparbewusster Einsatz von Wärme, Kälte und elektrischem Strom.
- Milchqualität.

3. Energiesparmöglichkeiten

- Energiesparmassnahmen dürfen keines Falls negative Auswirkungen auf die Käsequalität zur Folge haben.

handlung der Molke ein Wärmeenergieaufwand von 49 800 kcal/ Einheit (208 400 kJ/ Einheit) errechnet.

- Die im Zusammenhang mit dem Fabrikationsprozess notwendigen Massnahmen wie Reinigung, Raumheizung, Rahmbehandlung erfordern einen zusätzlichen Wärmebedarf von 35 000 bis 45 000 kcal/ Einheit (146 000 bis 188 000 kJ/ Einheit).
- In den weitaus meisten Betrieben wird heute Erdöl zur Wärmeenergieerzeugung eingesetzt. Der Verbrauch an Erdöl beträgt für die eigentliche Fabrikation rund 8,0 Liter/ Einheit und 5,6 bis 7,2 Liter/ Einheit für die zudienenden Massnahmen. Der Gesamtaufwand an Erdöl für die Wärmeenergieerzeugung dürfte somit 13,6 bis 15,2 Liter/ Einheit oder 11,2 bis 12,5 kg betragen.
- Elektrische Energie wird für Kälteerzeugung und Maschinen eingesetzt. Der Strombedarf liegt im Bereich von 23 bis 30 kWh/ Einheit und Tag.

- Die Temperaturführung bei der Käseherstellung ist sortenspezifisch und darf nicht wesentlich verändert werden.

- Eine einwandfreie Reinigung im Betrieb ist eine unabdingbare Voraussetzung für eine Qualitätsproduktion.

- Eine gute Milchqualität kann unter Umständen Einsparungen bei Kühlung- und Wärmebehandlung, das heisst bei der Milchvorbehandlung ermöglichen.

- Im Fabrikationsprozess ergeben sich Sparmöglichkeiten durch Wärmerückgewinnung, Einsatz geeigneter Wärmeträger, Vermeidung von Verlusten.

- In verschiedenen Betrieben könnte energiebewusstes sorgfältiges Arbeiten eine Reduktion im Energieverbrauch bringen.