



Doctoral Thesis

Die Energieversorgung der Emmentalerkäserei

Author(s):

Röthlisberger, Heinz

Publication Date:

1985

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000360729> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH 7934

DIE ENERGIEVERSORGUNG DER EMMENTALERKÄSEREI

Abhandlung

zur Erlangung des Titels eines
Doktors der technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
HEINZ ROETHLISBERGER
Dipl. Lm.-Ing. ETH
von Langnau i. E. BE

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. F. Emch, Referent
Prof. Dr. Z. Puhán, Korreferent

Zürich 1985

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die Emmentalerkäserei benötigt Wärme zur Herstellung des Käses, zur Bereitung von Warmwasser und zur Raumheizung. Elektrizität unterstützt die Fabrikation, indem sie zur Hauptsache der Kälteerzeugung dient. Sie liefert zudem die mechanische Nutzenergie und versorgt die Steuerungs- sowie die Beleuchtungsanlagen.

Der Anstieg des Heizölpreises nach 1973 veranlasste die Entwicklung neuer Anlagen für die Wärmeversorgung der Käserei. Warmwassersysteme, die zum Teil mit Wärmerückgewinnung aus dem Kühlwasser der Kältekompressoren arbeiten, traten in Konkurrenz mit dem herkömmlichen Dampfsystem. Die Energietechnik der Käserei gestaltete sich zunehmend unübersichtlich.

Die vorliegende Arbeit präsentiert deshalb die Resultate von Messungen zum Energiebedarf in 18 Käsereien. Sie schliesst an eine Umfrage in 400 Betrieben an, die 1980 im Mittel 20.5 kg Heizöl und 29.0 kWh Elektrizität einsetzen, um eine Tonne Milch zu verarbeiten. Die Werte der einzelnen Käsereien streuen dabei sehr stark. Die Arbeit nennt zu Beginn die zum Thema vorhandene Literatur und gibt eine Uebersicht über den aktuellen Stand der Energietechnik in der Emmentalerkäserei.

Die zur Versorgung des gesamten Betriebes eingesetzten Endenergiemengen schwanken in 16 Betrieben zwischen 5.6 und 21.5 kg/t beim Heizöl und 29.0 bis 82.9 kWh/t bei der elektrischen Energie. Zwei Elektrokäsereien beziehen 121.5 und 167.4 kWh/t. Hauptgründe für diese grossen Streuungen sind: Ein unterschiedlicher Grundbedarf an Energie, Unterschiede im Tageswirkungsgrad der verwendeten Warmwasser- und Dampfkessel - es können Werte zwischen 55.0 und 84.1 % beobachtet werden- sowie der Einsatz verschieden grosser Mengen an Abwärme aus den Kältemaschinen.

Aus den verarbeiteten Milchmengen und den Gebäudevolumen ist für jeden Betrieb ein minimaler Nutzenergiebedarf errechnet.

Die Werte für die Nutzwärme liegen im Jahresmittel zwischen 312.3 und 463.4 MJ/t. Die Quotienten aus dieser minimal notwendigen Nutzwärme und der tatsächlich eingesetzten Endenergie betragen 0.50 bis 1.54. Am Verdampfer der Kälteanlagen sind in 7 Betrieben zwischen 69.5 und 103.8 MJ/t Nutzkälte bereitzustellen. Dies führt zu einem theoretischen Strombedarf für die Kälteerzeugung von 10.7 bis 16.0 kWh/t und zu Abwärmemengen am Kondensator von 95.9 bis 143.2 MJ/t.

Die gemessenen Werte für diese Größen weichen zum Teil stark von den berechneten ab. Einige Käsereien kühlen die Milch zum Teil noch direkt mit Kaltwasser. Sie verwenden damit weniger künstliche Kälte. Die Kellerkühlung erfolgt nicht überall in dem der Berechnung zugrundegelegten Masse. Die Werte werden andererseits durch den Bedarf der Ladenkühlung und in 2 Käsereien durch einen zusätzlichen Betrieb der Kältemaschine als Wärmepumpe erhöht. Die Nutzkälteerzeugung liegt in 7 Käsereien zwischen 12.1 und 77.5 MJ/t für Eiswasseranlagen und 41.1 bzw. 92.5 MJ/t für Kellerkühlungen. Abwärme fällt zwischen 16.2 und 85.9 respektive 48.9 und 123.8 MJ/t an. Die zwei Käsereien mit Wärmepumpenbetrieb beziehen 140.2 bis 328.9 MJ/t Wärme von der Kältemaschine. Die genannten Werte beziehen sich auf Messperioden zwischen 5 bis 7 Tagen.

Die untersuchten Kältekompressoren arbeiten mit realen Leistungsziffern für die Wärme von im Mittel 4.6, falls Wasser die Kondensatoren kühlt. Für Luftkühlung beträgt der Wert 2.9 und mit einer WRG-Anlage sinkt er auf 2.5. Wird der Strombedarf für die Kühlaufgabe abgezogen, so gewinnen die WRG-Anlagen pro kWh aufgewendete Elektrizität 3.5 bis 4 kWh Wärme zurück.

In Berechnungen an drei Modellbetrieben sind die unterschiedlichen Voraussetzungen, welche den Energiebedarf der einzelnen Käserei bestimmen, ausgeschaltet. Die drei fiktiven Betriebe verarbeiten 0.9, 1.8 und 3.0 Mio kg Milch pro Jahr.

Modellbetrieb 1 weist einen spezifischen Nutzwärmebedarf von 451.3 MJ/t auf. In Betrieb 2 sinkt dieser auf 350.6 und erreicht in Betrieb 3 324.2 MJ/t. Der Nutzwärmebedarf verursacht im Dampfbetrieb einen spezifischen Heizöleinsatz von 17.1, 13.9 und 12.8 kg/t. Mit einem Warmwassersystem ausgerüstet müssten die drei Modellbetriebe 13.8, 10.7 und 9.6 kg Heizöl einsetzen, um eine Tonne Milch zu verarbeiten.

Die Modellrechnungen zur Kälteerzeugung und Abwärmenutzung in den 3 Betrieben zeigen, dass die gesamte Abwärme aus einer Eiswasseranlage und der Kellerkühlung jederzeit genutzt werden kann. Im kleinsten Betrieb kann die Abwärme im Sommer die Nutzungsmöglichkeit übersteigen, falls zusätzlich Kälte für eine Ladenkühlung bereitzustellen ist. Falls Abwärme aus den Kälteanlagen 80 % des Wärmebedarfes deckt, der mit Heizwasser unter 55 °C bestritten werden kann, müssen die 3 Betriebe noch 6.5, 5.3 und 4.9 kg/t Heizöl einsetzen.

In Zukunft sind in der Emmentalerkäserei nur noch Warmwassersysteme einzurichten. Die Wärme aus den Kälteanlagen ist auch in kleinsten Betrieben zur Warmwasseraufbereitung zu nutzen. Ab einer jährlich verarbeiteten Milchmenge von 1.0 Mio kg ist der Einbau eines Wärmespeichers, der die Nutzung der Kondensationswärme der Kältemaschinen zur Fabrikation und Raumheizung erlaubt, wirtschaftlich.

Résumé

La fromagerie d'Emmental utilise de la chaleur pour la fabrication du fromage, la préparation de l'eau chaude et le chauffage des bâtiments. L'électricité intervient dans la fabrication en servant principalement à la production du froid. En outre, elle fournit l'énergie mécanique utile et alimente les installations de commande et d'éclairage.

L'augmentation du prix du mazout dès 1973 est à l'origine du développement des nouveaux systèmes d'approvisionnement en

chaleur des fromageries. Des systèmes à eau chaude, qui travaillent en partie par récupération de la chaleur des compresseur frigorifiques, se mirent à rivaliser avec les systèmes traditionnels à vapeur. La technique énergétique de la fromagerie devint de plus en plus complexe.

Voilà pourquoi ce travail présente les résultats des mesures des besoins énergétiques de 18 fromageries. Il fait suite à une enquête dans 400 exploitations d'Emmental. En 1980, celles-ci utilisaient en moyenne 20.5 kg de mazout et 29.0 kWh d'électricité pour travailler une tonne de lait. Les chiffres qui ressortent de l'enquête varient très fortement d'une fromagerie à l'autre. Après avoir nommé la littérature qui traite ce thème, le travail donne un aperçu de l'état actuel de la technique énergétique pour la fromagerie d'Emmental.

Les quantités d'énergie brute utilisée dans l'ensemble de l'exploitation se situent -pour les 16 fromageries en question- entre 5.6 et 21.5 kg/t pour le mazout et entre 29.0 et 82.9 kWh/t pour l'énergie électrique. Deux fromageries n'utilisant que de l'électricité ont besoin de 121.5 et 167.4 kWh/t. Les principales raisons de cette grande variation sont les suivantes: différents besoins d'énergie utile, rendement des chaudières utilisées -un rendement total entre 55.0 et 84.1 % a été mesuré-, et utilisation de quantités variables de chaleur de récupération.

Les besoins minimum en énergie utile sont calculés sur la base des quantités du lait travaillé et sur le volume du bâtiment. Elles se situent en moyenne annuelle entre 312.3 et 463.4 MJ/t. Le quotient de cette chaleur utile minimum et de la chaleur brute varie entre 0.50 et 1.54. La quantité de froid utile utilisé à l'évaporateur frigorifique dans 7 fromageries se situe entre 69.5 et 103.8 MJ/t. Ceci entraîne un besoin théorique en énergie électrique pour les compresseurs de 10.7 et 16.0 kWh/t et produit de 95.9 à 143.2 MJ/t de chaleur au condensateur.

Les résultats des mesures de ces facteurs diffèrent parfois beaucoup des valeurs théoriques. Plusieurs fromageries refroidissent encore le lait avec de l'eau froide et utilisent ainsi moins les installations frigorifiques. La réfrigération des caves ne se fait pas partout selon les calculs théoriques. D'autre part les valeurs sont augmentés par la réfrigération du magasin et dans 2 fromageries par l'utilisation additionnelle du réfrigérateur comme pompe à chaleur. La production de froid utile dans 7 fromageris se situe entre 12.1 et 77.5 MJ/t pour l'eau glacée et de 41.1 à 92.5 MJ/t pour la réfrigération des caves. La quantité de chaleur produite au condensateur varie entre 16.2 et 85.9, respectivement entre 48.9 et 123.8 MJ/t. Les 2 exploitations utilisant aussi le compresseur comme pompe à chaleur tirent de 140.2 à 328.9 MJ/t de chaleur de cette machine. Les valeurs nommées se basent sur des périodes de mesures de 5 à 7 jours.

Les compresseurs de réfrigération étudiés travaillent en moyenne avec un rendement réel pour la chaleur de 4.6 lorsque les condensateurs sont refroidis avec de l'eau. S'ils sont refroidis avec de l'air, le rendement est de 2.9 et en cas de récupération de la chaleur, il baisse à 2.5. Si on déduit d'abord le besoin d'électricité utilisé pour la production du froid, ces systèmes récupèrent 3.5 à 4 kWh de chaleur par kWh d'électricité au compresseur.

Des calculs de modèles sont réalisés pour 3 exploitations fictives, qui sont supposées travailler 0.9, 1.8 et 3.0 millions de kg de lait par an. Avec cette méthode, il est possible d'éliminer les données initiales différentes, qui déterminent les besoins d'énergie d'une fromagerie et qui varient très fortement entre les différentes exploitations.

La fromagerie modèle 1 a besoin de 451.3 MJ/t de chaleur utile. Cette valeur diminue à 350.6 MJ/t pour l'exploitation 2 et atteint 324.2 MJ/t pour la fromagerie 3. Par conséquent, ce besoin de chaleur utile engendre une consommation

de mazout de 17.1, 13.9 et 12.8 kg/t, si les fromageries sont alimentées par un système à vapeur. En cas d'utilisation d'une système à eau chaude, elle chute à 13.8, 10.7 et 9.6 kg/t.

Les calculs de modèles pour la production du froid et la récupération de la chaleur dans les 3 exploitations montre qu'il est possible de réutiliser toute la chaleur d'un système d'eau glacée et de la réfrigération des caves. En été, la chaleur des condensateurs peut être plus élevée que les possibilités d'utilisation dans la plus petite fromagerie, si celle-ci a besoin d'une grande quantité de froid pour la réfrigération du magasin. Si les 3 exploitations arrivent à fournir 80 % de leur besoin en chaleur utile- qui peut être couvert par de l'eau en dessous de 55 °C-, leur consommation de mazout descend à 6.5, 5.3 et 4.9 kg/t.

Comme conséquence de ce travail pour la fromagerie d'Emmental, il ne faudrait installer plus que des systèmes à eau chaude et récupérer la chaleur de réfrigération pour préparer l'eau chaude pour la nettoyage dans toutes les fromageries qui sont nouvellement équipées. L'installation d'un accumulateur de chaleur pour le chauffage du lait et du bâtiment par la récupération serait rentable au dessus d'un million de kg de lait travaillé par an.

Summary

Emmental cheese factories require heat for the production of the cheese, for the preparation of hot water and for heating the factory building. Electricity is essential for the production process, being mainly used for refrigeration. In addition it provides mechanical power and is used for lighting and overall control.

The increase in the oil-price after 1973 gave the impulse for the development of new installations to provide cheese

factories with heat. Hot water systems, which recuperate heat from the refrigeration machines, started to replace the traditional steam systems. Heat technology for Emmental dairies became more and more complex.

This project deals with the results of an energy consumption survey in 18 Emmental factories. It follows an inquiry in 1980 in 400 Swiss cheese factories, which then needed 20.5 kg heating oil and 29.0 kWh electricity to process 1 000 kg milk. There are however large variations between the dairies.

The report also contains a literature review and gives a brief survey of the current energy technology in Emmental factories.

The gross energy needed to process 1 000 kg of milk varies between 5.6 and 21.5 kg heating oil and 29.0 to 82.9 kWh electricity, while two dairies using only electricity, consume 121.5 and 167.4 kWg/t respectively. The main reasons for the large variations are: different netto requirements of energy, variation of daily boiler efficiencies between 55.0 and 84.1 % as well as the use of different amounts of recuperated heat. used -total efficiency ratios between 55.0 and 84.1 % were observed- and different amounts of recuperated heat.

A basic energy requirement for every factory was calculated from the volume of processed milk and the building size. The average values recorded during one year range from 312.3 to 463.4 MJ/t. The ratios of the calculated minimum net heat and the measured energy consumption vary between 0.50 and 1.54. The refrigeration cycles of 7 factories have to provide between 69.5 and 103.8 MJ/t of cold. For this a theoretical electricity requirement between 10.7 and 16.0 kWh/t would be necessary and the heat produced at the condenser would lie between 95.9 and 143.2 MJ/t.

The experimental results however differ to a certain extent from the calculated values. Some dairies still cool the milk

with cold water and thus use less artificially produced cold. The cooling of the cellars does not always occur to the extent, assumed for the calculation of the theoretical values. The net required cold is increased by the cooling of the adjoining shop as well as the additional use of the compressor as a heat pump in 2 cheese factories. The net cooling required for the production of ice water varies between 12.1 and 77.5 MJ/t and between 41.1 to 92.5 MJ/t for the cooling of the storage cellars in the 7 factories. The heat generated at the condensers in the refrigeration cycles is 16.2 to 85.9 MJ/t and 48.9 to 123.8 MJ/t respectively. Between 140.2 and 328.9 MJ/t heat is generated in the two dairies where the compressors are also used as heat pumps. The above mentioned values were measured over periods of 5 to 7 days.

The refrigeration compressors work at an efficiency of 4.6, if they are cooled with water. With air cooling the efficiency is 2.9 while it is reduced to 2.5 with heat recycling. Between 3.5 and 4 kWh net heat is regained in the heat recycler if the electricity consumption for cooling is taken into consideration.

The different factors which influence the energy requirements of an individual factory were eliminated in calculations done on three model factories. These 3 dairies process 0.9, 1.8 and 3.0 mio kg milk per year. Dairy 1 requires 451.3 MJ/t net heat, dairy 2 needs 350.6 MJ/t and dairy 3 324.2 MJ/t milk. Factories equipped with steam boilers require 17.1; 13.9 and 12.8 kg oil per ton milk, while 13.8; 10.7 and 9.6 kg/t respectively are needed when a hot water-system is used.

The calculations for refrigeration and heat recovery in the three models show that it is possible to use the heat from the condensers of an ice-water system and of a cellar-cooling installation anytime the year. In the smallest factory the heat generated may even exceed the recycling capacity in summer if an adjoining shop has to be cooled. If recovered

heat is used to provide 80 % of the energy which can be delivered at a temperature of less than 55 °C, the three dairies only need 6.5, 5.3 and 4.9 kg oil/t of milk respectively.

In future Emmental cheese factories of all sizes should only be equipped with hot water systems. Where more than 1 million kg milk is processed per year, it is economically viable to store heat generated at the condensers, for later use in production and for room heating. If a dairy works lesser than 1 million kg milk it should only install a heat recovering system to prepare the warm water for cleaning.