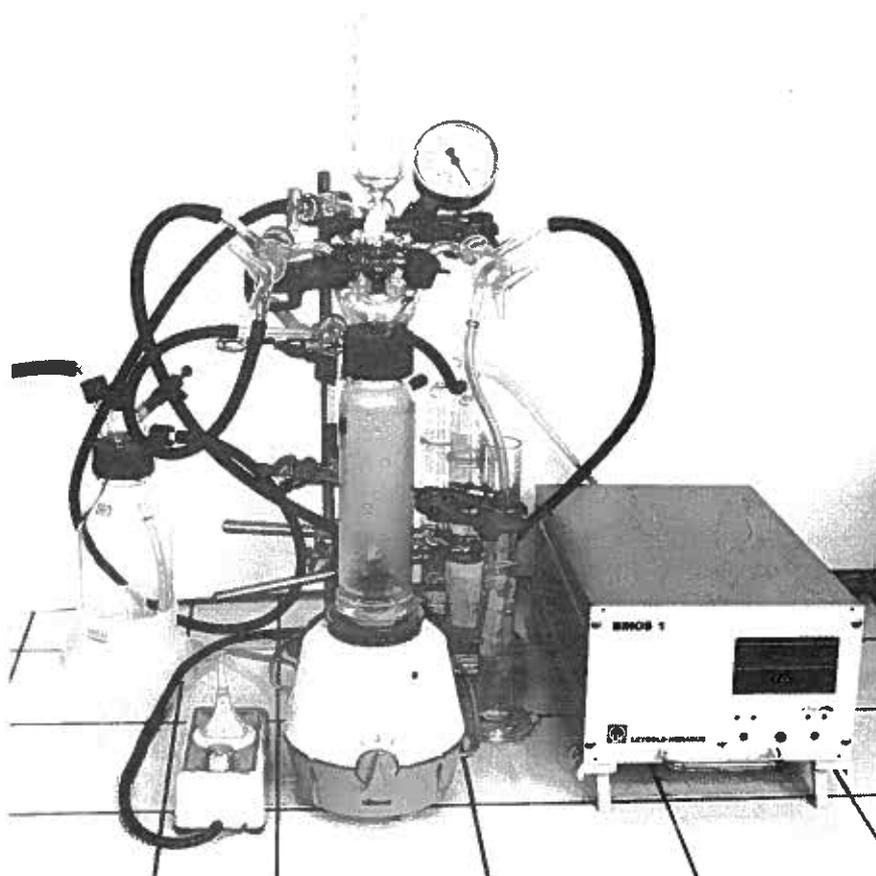


# EFAM — INFORMATION

Dezember 1980 / Nr. 103

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



Apparatur zur CO<sub>2</sub>-Bestimmung in Käseproben  
mit einem Infrarot-Gasanalysator.  
Das CO<sub>2</sub> wird in einem gasdichten Mixer freigesetzt  
und mit einer Gaspumpe in geschlossenem Kreis  
durch die Messkuvette gepumpt.



# CO<sub>2</sub>-Löslichkeit, -Konzentration bei Entstehung der Löcher und -Verteilung im Emmentalerkäse

J.-P. Pauchard, E. Flückiger, J. O. Bosset und B. Blanc

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung folgender Größen:

- die CO<sub>2</sub>-Löslichkeit im Käse, im Wasser und in Modellschmelzen
- die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Teig bei der Entstehung der Löcher
- die CO<sub>2</sub>-Verteilung in handelsreifen Laiben.

Gefunden wurde, dass:

- Käse und Wasser bei 22 °C ungefähr die selbe CO<sub>2</sub>-Kapazität von ca. 3,7 mmol/100 g hatten, die übrigen Bestandteile des Käses also ungefähr gleich viel CO<sub>2</sub> binden können wie die wässrige Phase
- die Käsemasse im Moment der Entstehung der Löcher nur zu ca. 50% mit CO<sub>2</sub> gesättigt war, zur Entstehung von Löchern also offenbar eng begrenzte Sättigungsbezirke im Bereich von sogenannten Lochbildungsstellen genügen
- in den Aussenzonen und an den Rändern der Käselaipe weniger CO<sub>2</sub> gelöst war als im Zentrum.

Die Bedeutung dieser Feststellungen für die Praxis wird diskutiert.

## 1. Einleitung

Frühere Arbeiten über den zeitlichen und quantitativen Verlauf der CO<sub>2</sub>-Bildung lieferten wertvolle Ergänzungen zu neueren Erkenntnissen über die Nachgärung des Emmentalerkäses (1, 2, 3). Unter anderem konnte die verbreitete Ansicht widerlegt werden, wonach die CO<sub>2</sub>-Produktion am Ende der Hauptgärung im Normalfall aufhört und im Nachgärungsfall nach einer Latenzzeit von neuem beginnt. Im weiteren zeigte sich, dass die Menge des im Teig gelösten CO<sub>2</sub> im Gegensatz zur bisherigen Auffassung ihren Höchstwert nicht zu Beginn der Lochbildung (Uebersättigungsphase) sondern erst wesentlich später erreicht (2).

In diesem Zusammenhang stellten sich folgende Fragen:

- Wo liegen die Grenzen der CO<sub>2</sub>-Löslichkeit im Käse?
- Bestimmt die wässrige Phase die CO<sub>2</sub>-Kapazität des Käses oder sind die anderen Hauptbestandteile gleich stark beteiligt?
- Bestehen Zusammenhänge zwischen der Verteilung der Hauptbestandteile des Käses und der des CO<sub>2</sub>?
- Wie gross ist der Gehalt an gelöstem CO<sub>2</sub> zu Beginn der Lochbildung?

Die Literatur gibt darüber nur spärliche Auskünfte (4, 5). Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, zur Beantwortung dieser für das Verständnis der Lochbildungsvorgänge wichtigen Fragen beizutragen und damit eine Ueberprüfung der bisherigen Vorstellungen darüber zu ermöglichen.

## 2. Materialien und Methoden

### 2.1 CO<sub>2</sub>-Löslichkeit, Begasung der Proben

Die Käseproben und Modellmedien wurden in einem Exsikkator unter Vermeidung von Ueberdruck bis zur Sättigung mit angefeuchtetem CO<sub>2</sub> begast. Beim Käse handelte es sich um frisch aus ca. 5 Monate alten Laiben entnommene Proben. Das Gewicht, der Wassergehalt und der pH-Wert derselben wurden jeweils zu Beginn und am Ende der Begasung bestimmt.

### 2.2 CO<sub>2</sub>-Konzentration zu Beginn des «Setzens»

Für die Untersuchungen standen 2 mal 3 im Abstand von ca. 4 Wochen parallel fabrizierte Versuchskäse und 1 zur ersten Dreier-Gruppe gehörender Kontrollkäse zur Verfügung. Letzterer diente zur Bestimmung des Zeitpunktes des «Setzens» (Entstehung der ersten Löcher). Die ersten 3 Versuchskäse wurden zur Verzögerung des «Setzens»

8 Tage länger im kalten Salzbadkeller (12 °C) gelagert als der Kontrollkäse, der dadurch einen gewissen Vorsprung erhielt.

Mit der täglichen Entnahme von Doppelproben aus den Versuchsläiben zur Bestimmung des gelösten CO<sub>2</sub> und des Acetatgehaltes wurde begonnen, sobald auf den Röntgenbildern des Kontrollkäses erste Löcher zu erkennen waren (siehe Schema Abb. 1).

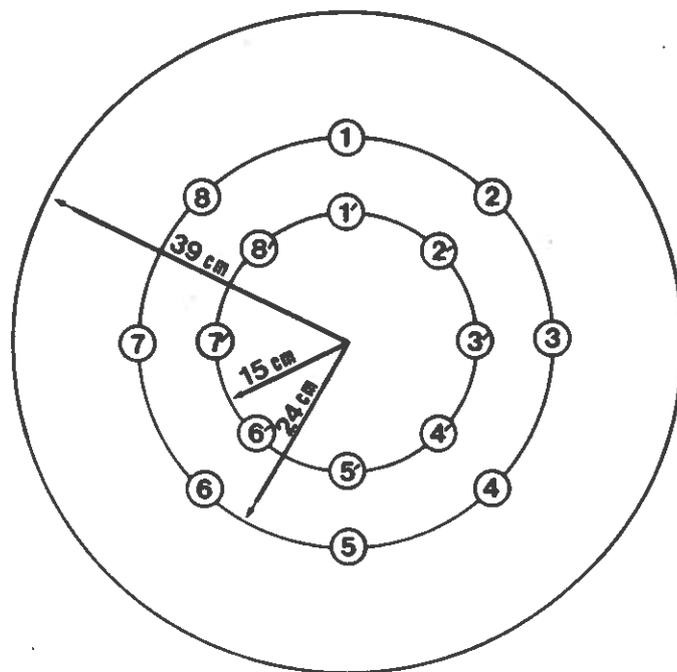


Abb. 1: Skizze des Käselaiibes mit Stellen der Probeentnahme für die Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Konzentration zu Beginn des «Setzens»

Die Untersuchungen wurden fortgesetzt bis die ersten Löcher in den Versuchskäsen (Röntgenaufnahmen alle 2 Tage) einen Durchmesser von ca. 4 mm erreicht hatten.

### 2.3 CO<sub>2</sub>-Verteilung im Käse

Für die Untersuchungen standen 2 parallel fabrizierte, ca. 2½ Monate alte Laibe der Versuchskäserei Uettligen zur Verfügung. Um Anhaltspunkte über einen eventuellen Einfluss der Häufigkeit des Wendens auf die CO<sub>2</sub>-Verteilung

zu erhalten, wurde einer der Käse 10 Tage vor der Untersuchung täglich gewendet, während der andere auf der gleichen Seite liegen blieb. Die CO<sub>2</sub>-Verluste bei der Probenahme konnten durch vorherige Kühlung der Laibe auf ca. 6 °C in Grenzen gehalten werden. Abb. 2 zeigt die Skizze mit den Probeentnahmestellen.

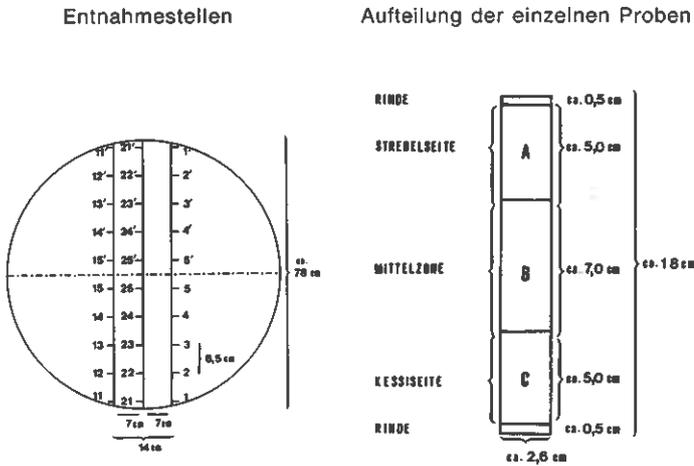


Abb. 2: Skizze über Probenahmen für die Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Verteilung im Käse

## 2.4 Untersuchungsmethoden

Für die Untersuchungen wurden folgende Methoden verwendet:

- Wassergehalt, Methode 5/02 (6)
- pH-Wert, Methode 5/13 (6)
- Kochsalzgehalt, ISO 5943 (6)
- CO<sub>2</sub>, im Teig gelöst (Dampfraum-IR-Methode) (7)
- Acetat (UV-Test nach Boehringer) (8)
- Röntgenuntersuchung (11)

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 CO<sub>2</sub>-Löslichkeit in Käse, Wasser und Modellschubstanzen

Die Untersuchungen gingen von der eingangs gestellten Frage nach den Grenzen der CO<sub>2</sub>-Löslichkeit im Käse aus. Im weiteren sollte geprüft werden, welche Rolle die Hauptbestandteile des Käses dabei spielen. Es wurde deshalb die CO<sub>2</sub>-Löslichkeit im Wasser, Käse und in aus Wasser und dem gleichen Käse hergestellten Emulsionen bei Temperaturen von 6, 12 und 22 °C verglichen. Die Ergebnisse sind der folgenden Abbildung zu entnehmen.

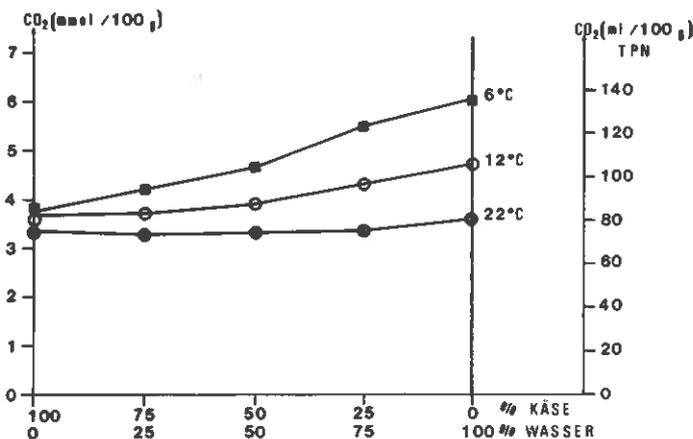


Abb. 3: CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch Emmentalerkäse, Wasser und Emulsionen aus beiden bis zur Sättigung bei 6, 12 und 22 °C

Es ergeben sich folgende Feststellungen:

- bei 22 °C nahmen Wasser und Käse sowie die aus beiden hergestellten Emulsionen ungefähr gleiche CO<sub>2</sub>-Mengen auf
- bei 6 und 12 °C nahm der Käse nur wenig mehr CO<sub>2</sub> auf als bei 22 °C, das Wasser aber deutlich mehr.

Daraus ist zu schliessen, dass neben der wässrigen Phase auch die übrigen Bestandteile des Käses etwa gleich stark an der CO<sub>2</sub>-Bindung beteiligt sind. Die relativ grosse Temperaturabhängigkeit der CO<sub>2</sub>-Löslichkeit im Wasser entspricht den Angaben der Literatur (3,7 mmol/100 g bei 22 °C, 4,95 mmol bei 12 °C und 6,12 mmol bei 6 °C) (9). Im Vergleich dazu war die CO<sub>2</sub>-Löslichkeit im Käse bedeutend weniger temperaturabhängig. Dieses vom Wasser abweichende Verhalten des Käses kann der wesentlichen Beteiligung der übrigen Käsebestandteile an der CO<sub>2</sub>-Kapazität des Käses zugeschrieben werden. Praktisch bedeutet dies, dass der Wassergehalt keinen dominierenden Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Löslichkeit im Emmentalerkäse ausüben dürfte.

Grob gesehen, besteht Emmentaler zu je 1/3 aus Wasser, Fett und Protein. In der wässrigen Phase sind neben 2 bis 3% Kochsalz noch andere Substanzen gelöst. Ausserdem ist der Käse im Gegensatz zu Wasser gut gepuffert. Stellvertretend für die 3 Hauptbestandteile des Käses wurde die CO<sub>2</sub>-Kapazität von Molke, Butterfett und anderen Modellschubstanzen untersucht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 dargestellt.

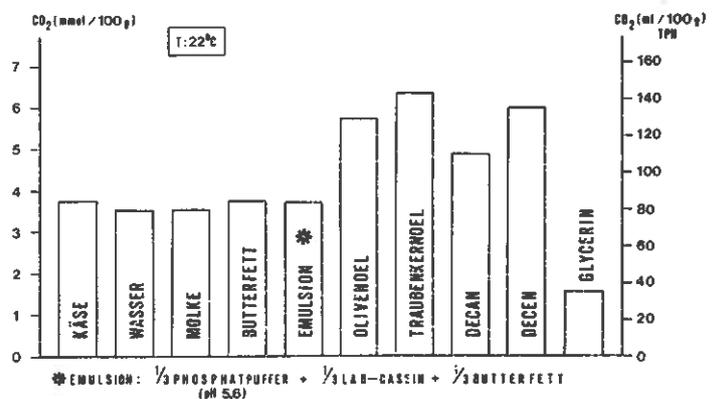


Abb. 4: CO<sub>2</sub>-Kapazität verschiedener, die 3 Hauptbestandteile des Käses vertretender Substanzen bei 22 °C

Zwischen Käse, Wasser, Molke, Butterfett und einer zu gleichen Teilen aus Phosphatpuffer (pH 5,6), Lab-Kasein und Butterfett bestehenden Emulsion ergab sich praktisch kein Unterschied in der CO<sub>2</sub>-Kapazität. Die im Vergleich zum Butterfett grössere CO<sub>2</sub>-Kapazität der Speiseöle hängt wahrscheinlich mit den höheren Jodzahlen der Öle (mehr Doppelbindungen als Butterfett) zusammen. Die unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Aufnahme reiner Substanzen mit und ohne Doppelbindung (n-Decen-I und n-Decan) weist jedenfalls in die gleiche Richtung.

Die praktisch gleiche CO<sub>2</sub>-Kapazität der 3 Hauptkomponenten des Käses bedeutet, dass sich die üblichen Gehaltsschwankungen des Käses oder auch die saisonalen Jodzahländerungen des Milchfettes kaum wesentlich auf die CO<sub>2</sub>-Kapazität des Käses auszuwirken vermögen.

### 3.2 Einfluss des Kochsalzgehaltes und pH-Wertes

Die oft gestellte Frage nach dem Einfluss des Kochsalzgehaltes und des pH-Wertes auf die CO<sub>2</sub>-Kapazität des Käses wird in den Abbildungen 5 und 6 beantwortet.

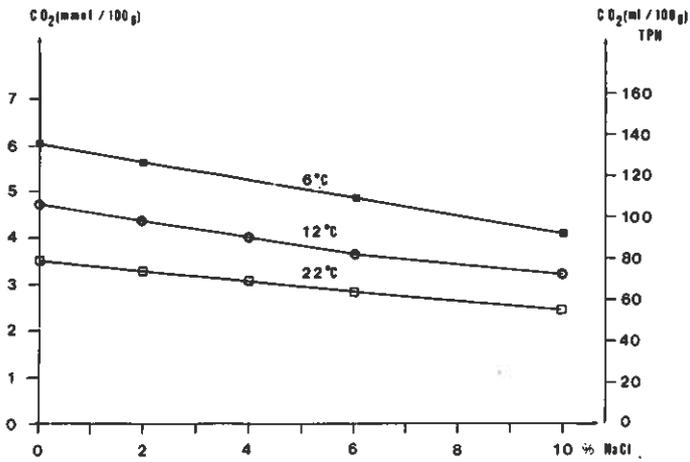


Abb. 5: Einfluss der Kochsalzkonzentration wässriger Lösungen auf die CO<sub>2</sub>-Kapazität bei 6, 12 und 22 °C

Die Löslichkeit von Gasen nimmt in wässrigen Lösungen mit zunehmender Salzkonzentration generell ab. Betrachtet man den für die wässrige Phase des Käses in Betracht kommenden Bereich von 2 bis 3% Kochsalz, so ist festzustellen, dass sich die CO<sub>2</sub>-Kapazität des Käses durch einen unterschiedlichen Kochsalzgehalt um mehr als ± 2% verschieben kann.

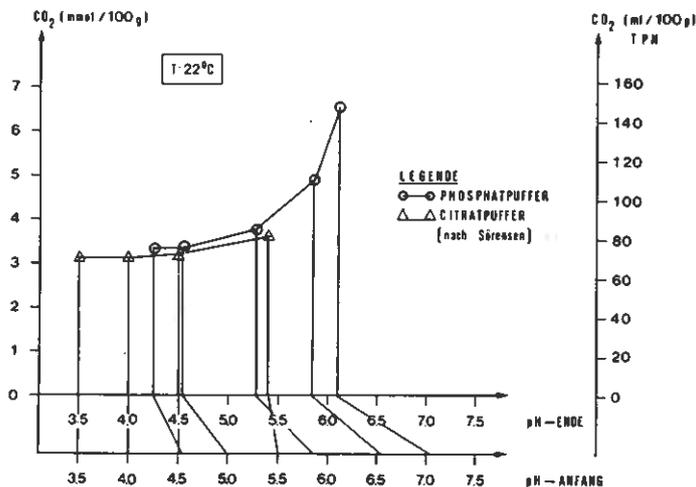


Abb. 6: Einfluss des pH auf die CO<sub>2</sub>-Kapazität von Pufferlösungen

Die CO<sub>2</sub>-Kapazität des Käses nimmt mit steigendem pH zu, praktisch also mit zunehmendem Alter. In Betracht kommt der pH-Bereich zwischen 5,2 und 5,7. Bis zu einem pH von 5,5 steigt die CO<sub>2</sub>-Kapazität nur flach an (das CO<sub>2</sub> liegt als Säure vor, nur ein kleiner Teil als Bikarbonat), darüber aber relativ steil. Praktisch hat der pH-Wert bis zum Beginn der Lochbildung kaum einen wesentlichen Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Kapazität.

Im späteren Reifestadium kommt die durch den pH-Anstieg mögliche Zunahme der CO<sub>2</sub>-Kapazität wegen der gegenteilig wirkenden Abnahme des CO<sub>2</sub>-Druckes meist kaum zur Geltung.

### 3.3 Zeitlicher Verlauf der CO<sub>2</sub>-Sättigung von Wasser und Käse

Der zeitliche Verlauf der CO<sub>2</sub>-Aufnahme des Käses liefert Hinweise auf die Diffusionsgeschwindigkeit des CO<sub>2</sub>, die

für die Entstehung der Löcher zusammen mit der Gasbildungsintensität grundlegend ist. Der zeitliche Verlauf des umgekehrten Vorganges, d. h. der CO<sub>2</sub>-Abgabe (Desorption), ist u. a. wegen der Größe der CO<sub>2</sub>-Verluste bei der Entnahme von Proben für die CO<sub>2</sub>-Bestimmungen von Interesse. In der folgenden Abbildung 7 sind der Verlauf der CO<sub>2</sub>-Sättigung (Start mit vorher 48 h N<sub>2</sub>-begasteten Proben) und der CO<sub>2</sub>-Desorption bei Proben mit vergleichbaren Oberflächen dargestellt.

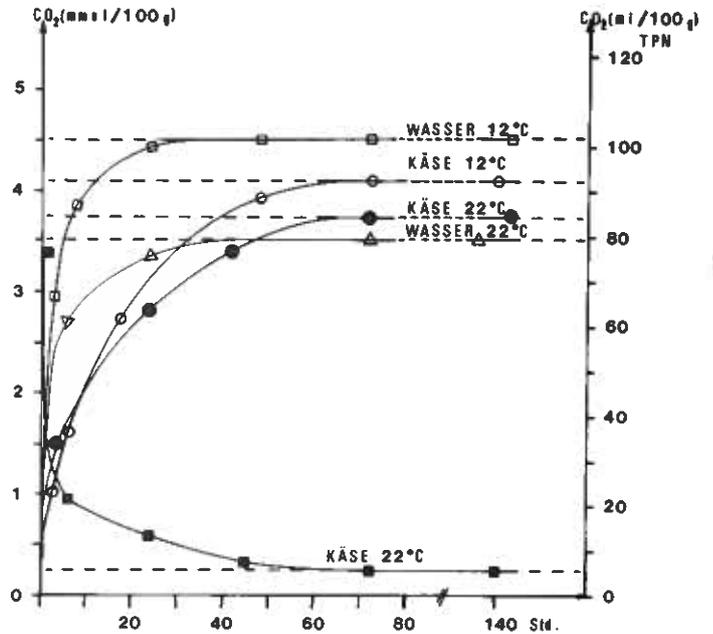


Abb. 7: Zeitlicher Verlauf der CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch Emmentalerkäse bis zur Sättigung bei 12 und 22 °C im Vergleich zu Wasser und CO<sub>2</sub>-Abgabe des gleichen Käses

Die CO<sub>2</sub>-Sättigung des Wassers verlief wesentlich schneller als die des Käses. Absorptions- und Desorptionskurven zeigten im übrigen einen ähnlichen Verlauf. Die Entstehung von Löchern setzt voraus, dass die CO<sub>2</sub>-Bildung schneller vor sich geht als die Diffusion. Aus dem Verlauf der CO<sub>2</sub>-Sättigungskurve ist zu schliessen, dass es wegen der relativ geringen Diffusionsgeschwindigkeit des CO<sub>2</sub> bei genügend intensiver CO<sub>2</sub>-Produktion durchaus zu einer lokalen CO<sub>2</sub>-Uebersättigung kommen kann.

### 3.4 CO<sub>2</sub>-Konzentration im Teig bei der Entstehung der Löcher

Clark (5) vertrat schon 1918 die Ansicht, dass die Entstehung von Löchern durch CO<sub>2</sub> nach folgendem Schema abläuft: Sättigung der Käsemasse mit CO<sub>2</sub>, Uebersättigung, Entstehung von Löchern an Lochbildungsstellen und gleichzeitig Aufhebung der Uebersättigung. Der nötige CO<sub>2</sub>-Druck muss nach der bekannten Gleichung über die Entstehung von Gasblasen in Flüssigkeiten umso höher sein, je kleiner die Lochbildungsstelle und je grösser der Verformungswiderstand des Käseteiges ist.

Nach Clark und später auch Hostettler (5, 4) müsste die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Teig unmittelbar vor der Entstehung von Löchern einem Maximum zustreben (Uebersättigung) und danach auf einen der Sättigung entsprechenden, konstant bleibenden Wert absinken.

Neuere Untersuchungen zeigten aber, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Teig nach dem Beginn der Lochbildung weiter zunahm und erst am Ende der Hauptgärung ein Maximum erreichte (2). Die Untersuchungen waren aller-

dings mit Kleinblöcken von 2—3 kg durchgeführt worden. Eine Wiederholung mit normalen Laiben drängte sich deshalb auf. Es standen dafür 6 Laibe zur Verfügung. Neben dem gelösten CO<sub>2</sub> wurde der Acetatgehalt bestimmt. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 8 graphisch dargestellt.

angenommen auf die Entstehung der ersten Löcher und damit auf den «Satz» auswirken.

### 3.5 CO<sub>2</sub>-Verteilung in handelsreifen Laiben

Die Kenntnis der CO<sub>2</sub>-Verteilung in handelsreifen Laiben ist sowohl von analytischer als auch von praktischer Bedeutung. Analytisch geht es um die Frage, wo Proben zu entnehmen sind, um repräsentative Resultate für die Aufstellung von CO<sub>2</sub>-Bilanzen zu erhalten. Der Praktiker fragt sich, ob die CO<sub>2</sub>-Verteilung und Lochbildung beispielsweise durch ein mehr oder weniger häufiges Wenden der Käse beeinflusst werden können und ob Zusammenhänge mit der Verteilung anderer Käsebestandteile bestehen. Von den zwei untersuchten Laiben war einer täglich gewendet worden, während der andere 10 Tage auf der gleichen Seite gelegen hatte. Aus Abbildung 9 geht hervor, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt des täglich gewendeten Käses im Zentrum (Messlinie B) bedeutend höher war als in den angrenzenden Zonen auf der Strebel- und Kesselseite (Messlinien A und C).

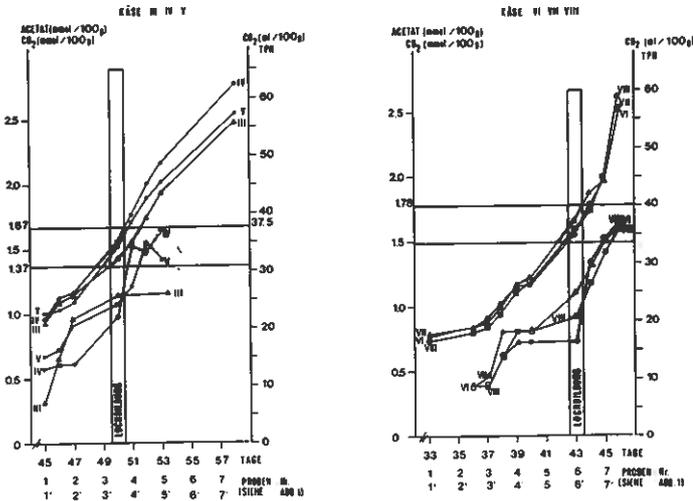


Abb. 8: Menge des gelösten CO<sub>2</sub> und des Acetats kurz vor, während und nach Entstehung der Löcher im Käse

Sie bestätigen im wesentlichen die mit Kleinblöcken erzielten Werte, d. h. der Teig war im Moment der Entstehung der Löcher von einer Sättigung im ganzen noch weit entfernt.

Die Konzentration betrug 1,3 bis 1,8 mmol bzw. 30 bis 40 ml CO<sub>2</sub>/100 g Käse, während die Sättigungsgrenze bei ca. 3,7 mmol bzw. 80 ml CO<sub>2</sub>/100 g Käse liegt.

Daraus folgt, dass die Käsemasse zu Beginn der Lochbildung nur partiell mit CO<sub>2</sub> gesättigt sein kann, denn ohne eine lokale Sättigung kann man sich die Entstehung von Löchern nicht gut vorstellen. Lokale Sättigungsbezirke an den Lochbildungsstellen bzw. die Feinverteilung des CO<sub>2</sub> wird bei der Analyse grosser Proben (üblich sind 40 g) offenbar nicht erfasst. Was man erhält, ist eine mittlere CO<sub>2</sub>-Konzentration. Im weiteren folgt daraus, dass lokale Unterschiede in der Intensität der CO<sub>2</sub>-Produktion durch die Diffusion nicht ausgeglichen werden. In dieses Bild passt auch die Feststellung, dass der CO<sub>2</sub>-Druck in benachbarten kleinen und grossen Löchern nicht gleich gross ist (10). Die Möglichkeit, dass besonders schnell wachsende Kolonien von Propionsäurebakterien zu Lochbildungszentren werden können, kann nicht ganz ausgeschlossen werden. Die Löcher im Emmentalerkäse entstehen bekanntlich nicht gleichzeitig, sondern zeitlich weit gestaffelt (11).

Beim Laktatabbau werden nach der bekannten Fitz'schen Gleichung CO<sub>2</sub> und Acetat in aequi-molarem Verhältnis gebildet. In den vorliegenden Versuchen wurde aber nach dem Beginn der Lochbildung ein Mol-Verhältnis von 1,6 : 1 gefunden. Diese Abweichung kann teils auf Vorgänge, die sich schon bei der Milchsäuregärung abspielten und teils auch auf Unterschiede in der CO<sub>2</sub>-Verteilung zurückgeführt werden.

Zusammenfassend wird man also davon auszugehen haben, dass Löcher bereits bei partieller und nicht erst bei vollständiger Sättigung des ganzen Teiges entstehen. In Zahlen ausgedrückt, sind also nicht ca. 80 sondern nur ca. 40 l CO<sub>2</sub> pro 100 kg Käse nötig. Dies bedeutet praktisch, dass sich schon kleinere CO<sub>2</sub>-Mengen als bisher

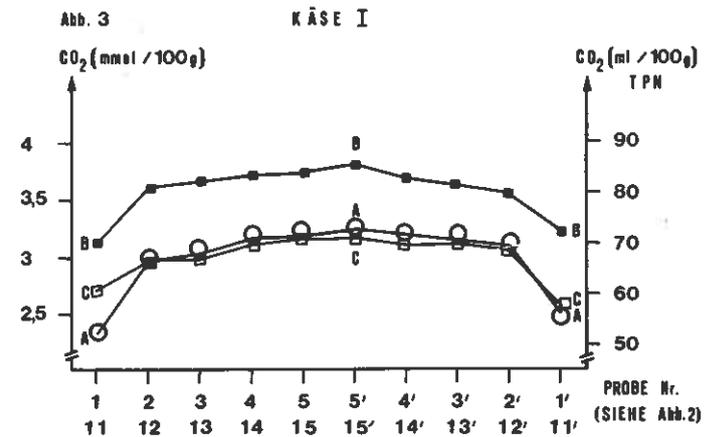


Abb. 9: CO<sub>2</sub>-Verteilung in Laib I, täglich gewendet

Aufgrund der vorher besprochenen Sättigungsversuche kann das Zentrum im Gegensatz zu den angrenzenden Zonen als CO<sub>2</sub>-gesättigt betrachtet werden. Das CO<sub>2</sub>-verteilungsprofil erinnert an die Wasserverteilung im Käse. Da Wasser und Käse ungefähr gleichviel CO<sub>2</sub> zu binden vermögen, ist aber ein direkter Zusammenhang zwischen Wasser- und CO<sub>2</sub>-Verteilung nicht wahrscheinlich. Der geringere CO<sub>2</sub>-Gehalt in den Aussenzonen dürfte in erster Linie durch die CO<sub>2</sub>-Verluste an der Oberfläche bedingt sein. Dazu kommt, dass die CO<sub>2</sub>-Löslichkeit in den Aussenzonen wegen des höheren Kochsalzgehaltes (12) niedriger ist und die CO<sub>2</sub>-Produktion in den peripheren Bereichen der Laibe weniger intensiv verläuft (13).

Die CO<sub>2</sub>-Verteilung wurde, wie aus Abbildung 10 ersichtlich, durch ein zehntägiges Lagern auf einem Holzdeckel nicht messbar beeinflusst.

Die Annahme, dass es bei Verwendung nicht perforierter Deckel an der Unterseite der Käse zu einer CO<sub>2</sub>-Stauung kommt, hat sich also nicht bestätigt.

Aus der Verteilung des CO<sub>2</sub> im Käse ist zu folgern, dass Proben für die Hochrechnung des Gehaltes an gelöstem CO<sub>2</sub> als repräsentativ betrachtet werden können, wenn der für die Wassergehaltsbestimmung übliche Abstand von der Järbseite (ca. 15 cm) eingehalten und die ganze Höhe des Laibes berücksichtigt wird.

## KÄSE II

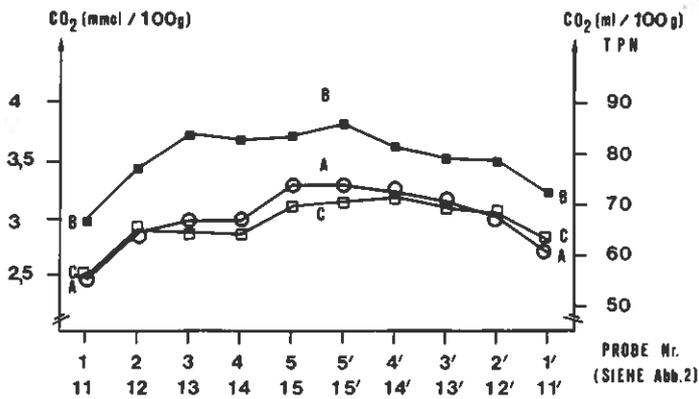


Abb. 10: CO<sub>2</sub>-Verteilung in Laib II, 10 Tage nicht gewendet

## Verdankung

Die Autoren danken Herrn A. Wüthrich, dem Personal der Versuchskäserei Uetligen (besonders Herrn D. Binggeli), dem Personal der Sektion analytische Chemie (vor allem der Arbeitsgruppe von Herrn Ryser) sowie den Mitarbeitern des Laboratoriums der Sektion Käseversuche für ihre wertvolle Mitwirkung bei der Verwirklichung dieser Arbeit.

## Literatur

- 1 STEFFEN, Chr.: Schweiz. Milchztg., **82**, 1073—1084, (Wissenschaftliche Beilage 126) (1971)
- 2 FLUECKIGER, E. und WALSER, F.: Schw. Milch. Forsch. **7** (1), 9—14 (1978)
- 3 FLUECKIGER, E. und WALSER, F.: Schweiz. Milchztg., **102** (66), 426—427 (1976)
- 4 HOSTETTLER, H.: Landw. Jb. Schweiz., 729—836 (1943)
- 5 CLARK, W. M.: J. Dairy Sci. **1**, 91—111 (1918)
- 6 Schweizerisches Lebensmittelbuch, 2. Band, 5. Auflage, Kap. 5, Käse (1970)
- 7 BOSSET, J. O., PAUCHARD, J.-P., FLUECKIGER, E. und BLANC, B.: Anal. Chim. Acta **115**, 315—321 (1980)
- 8 STEFFEN, Chr., GLAETTLI, H. und NICK, B.: Schw. Milch. Forsch. **8** (2) 19—26 (1979)
- 9 Encyclopédie des gaz, Elsevier, p. 361 (1976)
- 10 FLUECKIGER, E. (Publikation in Vorbereitung)
- 11 KURMANN, J. L. und WUETHRICH, A., Schweiz. Milchztg., **101** (1), 1—2 (1975)
- 12 KURMANN, J. L., GEHRIGER, G., FLUECKIGER, E., STEFFEN, Ch. und KAUFMANN, H.: Schweiz. Milchztg., **102** (9), 57—58 (1976)
- 13 MOCQUOT, G.: J. Dairy Res. **46**, 133—160 (1979)

## Résumé

### La solubilité du CO<sub>2</sub>, sa concentration lors de l'apparition des trous et sa répartition dans le fromage d'Emmental

Le présent travail avait pour but d'examiner les paramètres suivants:

- la solubilité du CO<sub>2</sub> dans le fromage, l'eau et des substances modèles
- la concentration en CO<sub>2</sub> dans la pâte lors de l'apparition des premiers trous
- la répartition du CO<sub>2</sub> dans des meules prêtes à être mises sur le marché.

On a constaté que:

- à une température de 22 °C, le fromage et l'eau présentent à peu près la même teneur en CO<sub>2</sub>, soit 3,7 mmol/100 g, les autres composants du fromage pouvant donc absorber autant de CO<sub>2</sub> que la phase aqueuse
- la masse de fromage, au moment de l'apparition des trous, n'était saturée de CO<sub>2</sub> qu'à environ 50%, de sorte que probablement des zones de saturation très limitées à proximité des endroits où se forment les trous suffisent à la formation de ces derniers
- la teneur en CO<sub>2</sub> est plus faible dans les bords qu'au milieu des meules de fromage

Une relation a été tirée entre la théorie et la pratique.

## Abstract

### Solubility of CO<sub>2</sub>, its concentration when the first eyes are appearing and its distribution in Emmental cheese

The purpose of this study was to examine the following parameters:

- the solubility of CO<sub>2</sub> in cheese, water and model substances
- the CO<sub>2</sub> concentration in the cheese body when the first eyes are appearing
- the distribution of CO<sub>2</sub> in cheese loaves which have attained commercial ripeness.

It has been found that:

- cheese and water have the same binding capacity for CO<sub>2</sub> at 22 °C, i. e. about 3,7 mmol/100 g. That means that the other cheese components can bind approximately the same amount as the aqueous phase
- at the time of the eye apparition, the CO<sub>2</sub> saturation of the cheese mass was about 50%. It seems that small areas of CO<sub>2</sub> saturation in the eye formation zone are sufficient for the development of the eyes
- in the peripheral zones and the border of the cheese loaves the amount of solved CO<sub>2</sub> was lower than in the center.

The significance of these observations for practical cheese-making is being discussed in this study.

