

Über die Grössenverteilung und Form der Bruchkörner im Emmentalerkäse

von M. RÜEGG, U. MOOR und J. SCHNIDER
Eingereicht am 27. September 1984

Mit dem Ziel, typische Werte und Angaben für die Grösse, Form und zonale Verteilung der Bruchkörner zu erhalten, wurden Emmentalerkäse guter Qualität mikroskopisch untersucht und mit einem Bildanalysator ausgewertet. Mit einer Ausnahme ergaben sich vergleichbare Grössenverteilungen. Ein Käse wies deutlich grössere und stärker abgeflachte Bruchkörner auf. In horizontalen Schnittflächen hatten die Bruchkörner im Mittel eine Fläche von $1,08 \text{ mm}^2$ und Durchmesser von etwa $0,5$ bis $5,0 \text{ mm}$. In vertikalen Schnitten betrug das Verhältnis des kleinsten zum grössten Durchmesser der abgeflachten Bruchkörner im Mittel $0,45$. In einer Rindenschicht von 1 bis 2 cm waren die Bruchkörner noch stärker abgeflacht als im Innern des Laibes. In allen Käsen wurden geringfügige zonale Unterschiede festgestellt, allerdings nicht in solchem Masse, dass von einer Entmischung beim Abfüllen gesprochen werden kann.

1. Einleitung

Es ist seit langem bekannt, dass die Grösse und regelmässige Verteilung der Bruchkörner wichtige Faktoren für eine gute Käsequalität darstellen (vgl. z.B. 1,2). Eine quantitative Analyse der Bruchkorngösse und -verteilung war bis vor kurzem sehr aufwendig, und es konnten nur relativ kleine Bereiche des Käseteiges in einer Untersuchung berücksichtigt werden. Mit Hilfe einer neuen Präparationsmethode und eines halbautomatischen Bildanalysators ist es nun möglich geworden, systematische Untersuchungen an einem grösseren Probenmaterial durchzuführen. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, an Hand von einigen Käsen guter Qualität typische Werte für die Form und

Grössenverteilung der Bruchkörner im Emmentalerkäse zu ermitteln.

2. Material und Methoden

Es wurden insgesamt sechs Käselaibe aus fünf Käsereien verschiedener Regionen der Schweiz untersucht. Einige Angaben über Abfüll- und Presssystem sind in Tabelle 1 enthalten. Aus der Käserei Nr. 5 wurden zwei Käse im Abstand von drei Monaten untersucht.

Tabelle 1 Abfüll- und Presssystem der untersuchten Käse

Käse Nr.	Abfüll-/Presssystem
1	Traditionelles Ausziehen, autom. Wendepresse
2	Zentrales Abfüllen, autom. Wendepresse
3	Ausziehen und Pressen traditionell
4	Ausziehen und Pressen traditionell
5a, b	Zentrales Abfüllen, Wendepresse, tuchlos

Beim Abfüllen und Pressen werden die Bruchkörner verformt. Um ein Bild über die Bruchkorndverteilung zu erhalten, sind deshalb Schnitte in verschiedenen Richtungen durch den Käse laib zu betrachten. Diese Untersuchung beschränkte sich auf horizontale und vertikale Schnitte. Die Anordnung der Proben im Käse laib geht aus Abb. 1 hervor. Die aus dem Käse geschnittenen Scheiben ($35 \times 25 \times 2 \text{ mm}$) wurden in speziell angefertigte Glashalterungen gestellt und der Reihe nach in folgenden Lösungen unter Rühren behandelt:

- Glutaraldehyd/Acrolein (6 %, 3 %) 2–4 Tage bei 5°C
- Citrat/Phosphatpuffer (0,005, 0,011 mol/l, pH = 5,4), $2 \times 30 \text{ min}$
- Ethanol (95 %), $2 \times 1 \text{ h}$
- Methylenblau (0,05 % in Ethanol), 5–10 min
- Ethanol (95 %), $2 \times 30 \text{ min}$
- Diethylether, $2 \times 4 \text{ h}$
- n-Hexan, $1-2 \times 2 \text{ h}$

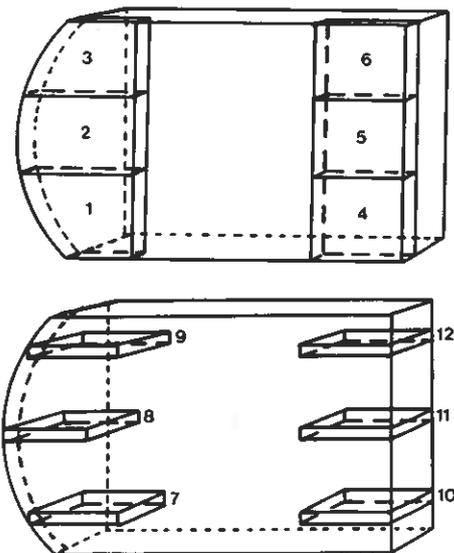


Abb. 1 Anordnung der vertikalen (1–6) und horizontalen (9–12) Schnitte im Käse laib.

Die so behandelten Scheiben wurden zwischen Filterpapierbogen, mit Glasplatten beschwert, über Nacht getrocknet und schliesslich auf einem Schleifteller (Körnung P320) glattgeschliffen. Ein ähnliches Verfahren beschrieb vor kurzem Kalab et al. (3,4). Während der Präparation schrumpften die Käsescheiben um etwa

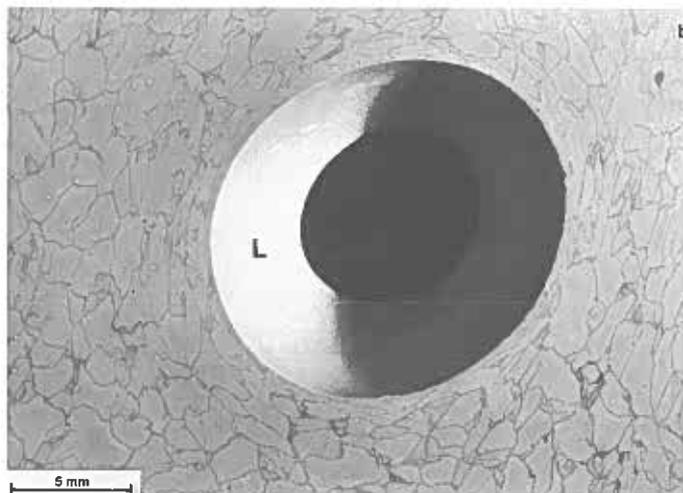
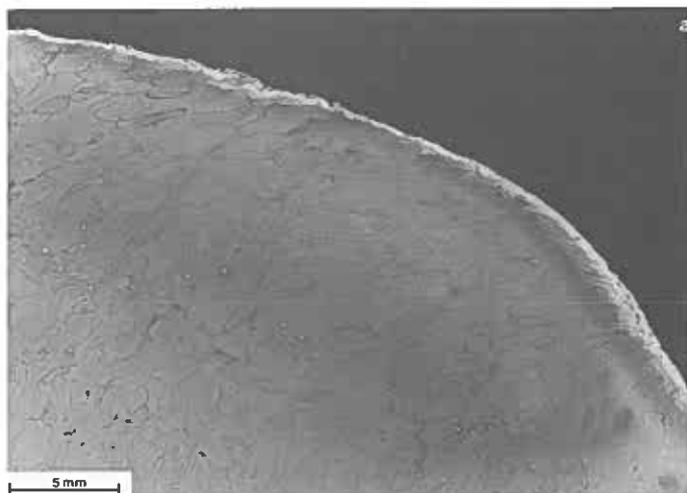


Abb. 2 Deformation der Bruchkörner im Rindenbereich (a) und bei der Lochbildung (b) (L: Angeschnittenes Loch. Die Bruchkorn Grenzen sind auf der ungeschliffenen Oberfläche nicht sichtbar).

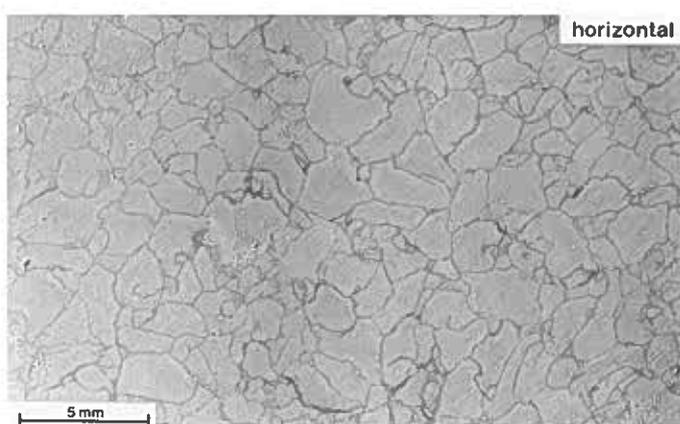
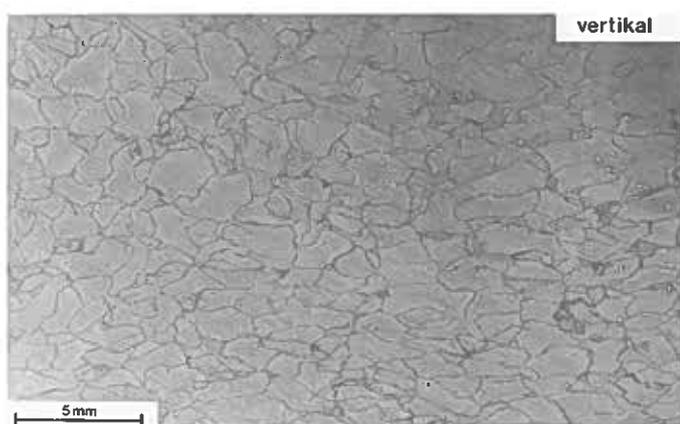


Abb. 3 Typische Schnittbilder von Emmentalerkäse (Käse Nr. 5a).

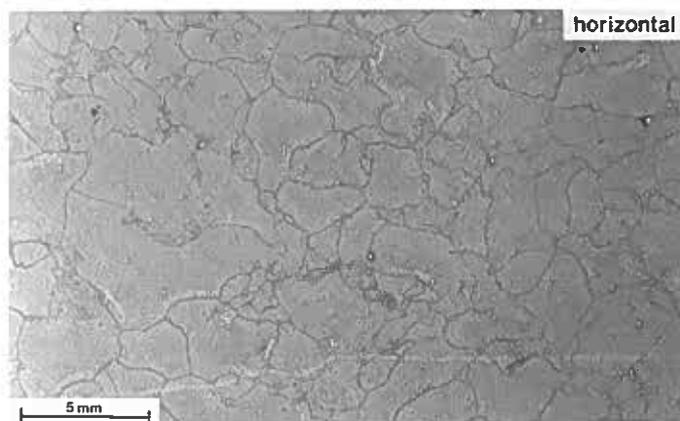
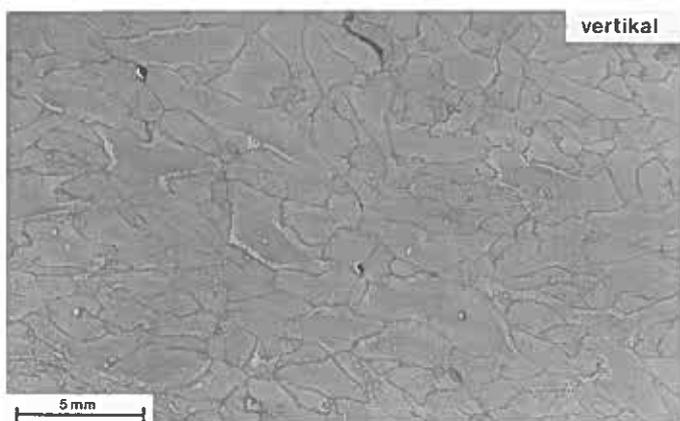


Abb. 4 Emmentalerkäse mit grossen Bruchkörnern (Käse Nr. 1).

10 % auf 33×22 mm. Für die Mikrofotografie diente ein Fotomakroskop M400, ausgerüstet mit dem Fotoautomaten MPS55 und einer Vorsatzlinse 0,5 mal (Wild-Leitz AG, Heerbrugg). Für die Aufnahmen mit der Kleinbildkamera wurden die geschliffenen Schnitte unter einem Winkel von zirka 30° einseitig beleuchtet. Die Bruchkörner wurden auf Vergrößerungen im Format 9×13 cm ausgemes-

sen. Die Endvergrößerung, ohne Berücksichtigung der Schrumpfung, betrug darauf 4,6 mal. Die quantitative Auswertung der Schnittbilder erfolgte mit einem halbautomatischen Bildanalysator MOP-Videoplan (Kontron AG, Zürich). Nach manuellem Umfahren der Bruchkorngrenze berechnete der angeschlossene Prozessor verschiedene Parameter wie z. B. die Fläche

(F), den grössten und kleinsten Durchmesser (A,B) und den sogenannten elliptischen Formfaktor ($f = B:A$). Zur Berechnung der Durchmesser A und B näherte das Gerät die unregelmässige Form des Bruchkorns einer flächengleichen Ellipse an. Das Verhältnis der Ellipsenachsen wurde als Mass für die Verformung der Bruchkörner gewählt. Um die in Richtung Rinde zunehmende Abflachung der

Bruchkörner zu bestimmen, wurden in einigen Fällen als zusätzliche Parameter die Schwerpunktskoordinaten registriert. Auf jeder Schnittfläche wurden ungefähr 100 zusammenhängende Bruchkörner ausgemessen. Der U-Test aus dem Standard-Programmpaket des Bildanalysators, der auf einem Vergleich von Medianwerten beruht, diente zur Beurteilung von Unterschieden zwischen Bruchkornverteilungen in verschiedenen Zonen und in verschiedenen Käsen.

Da in den zufälligen Schnitten die Bruchkörner nur mit geringer Wahrscheinlichkeit im Bereich des grössten Durchmessers getroffen werden, ergibt sich auf Schnittflächen ein leicht verzerrtes Bild der Grössenverteilung. Eine kleine Bruchkornfläche in einem Schnitt entspricht nicht notwendigerweise einem kleinen Bruchkorn. Wegen der unterschiedlichen Form und Lage der Bruchkörner ist eine exakte Umrechnung der in Schnittflächen beobachteten Durchmesser in «wahre» Durchmesser nicht möglich. Die in den horizontalen und vertikalen Schnittflächen beobachteten Grössenverteilungen dürften in Richtung kleinerer Durchmesser geringfügig verzerrt sein. Im Falle von Kugeln kann man die «wahren» Durchmesser aus Schnittkreisradien in guter Näherung berechnen (5,6). Bei Kugeln, mit einer Häufigkeitsverteilung wie sie für Bruchkorn Durchmesser vorliegt, gäbe die Berechnung des mittleren Durchmessers aus den Schnittkreisradien (6) einen um zirka 5 % grösseren Wert.

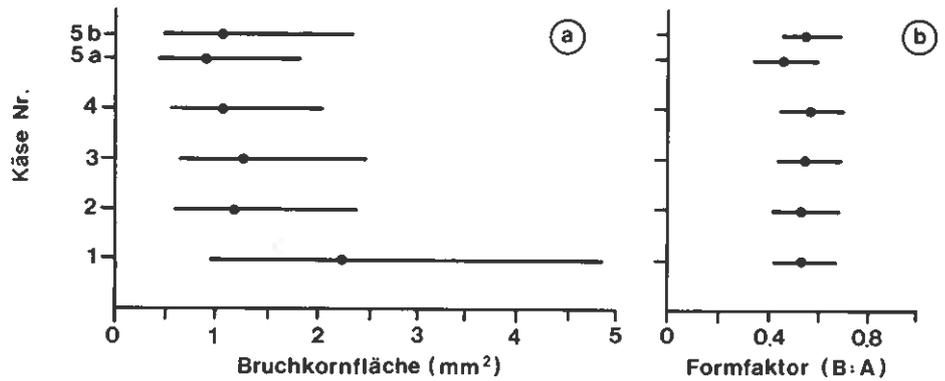
3. Resultate und Diskussion

3.1 Typische Schnittbilder

In Abb. 2 ist ein Querschnitt durch die Randpartie eines Laibes und die Umgebung eines Loches zu sehen. Die starke Deformation der Bruchkörner in der Rinde und um die Löcher ist deutlich zu erkennen. Für die Ermittlung der Bruchkorngrössenverteilung wurden diese Bereiche nicht ausgemessen. Nur für die im Abschnitt 3.4 beschriebenen zonalen Messungen wurden die Bruchkörner bis zur Rindenoberfläche ausgemessen.

Abb. 3 zeigt das für die Mehrzahl der Käse charakteristische Bild der Bruchkörner in vertikalen und horizontalen Schnittflächen. Mit einer Ausnahme war es nicht möglich, von blossem Auge Unterschiede zwischen den verschiedenen Käsen zu erkennen. Es bedurfte einer quantitativen Bildanalyse, um Unterschiede zu finden. Die erwähnte Ausnahme betraf den Käse Nr. 1, der deutlich grössere Bruchkörner aufwies. Zwei charakteristische Bilder dieses Käses zeigt Abb. 4.

Horizontale Schnittfläche



Vertikale Schnittfläche

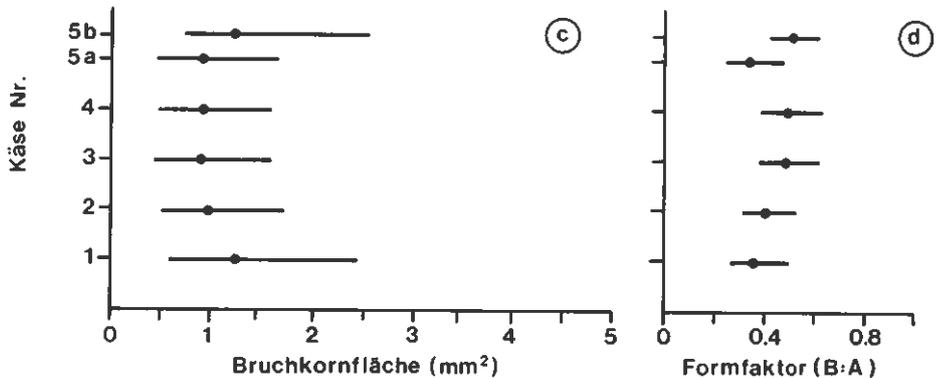


Abb. 5 Mittlere Bruchkornflächen und Formfaktoren in den einzelnen Käsen (Mediane und Interquartilbereiche).

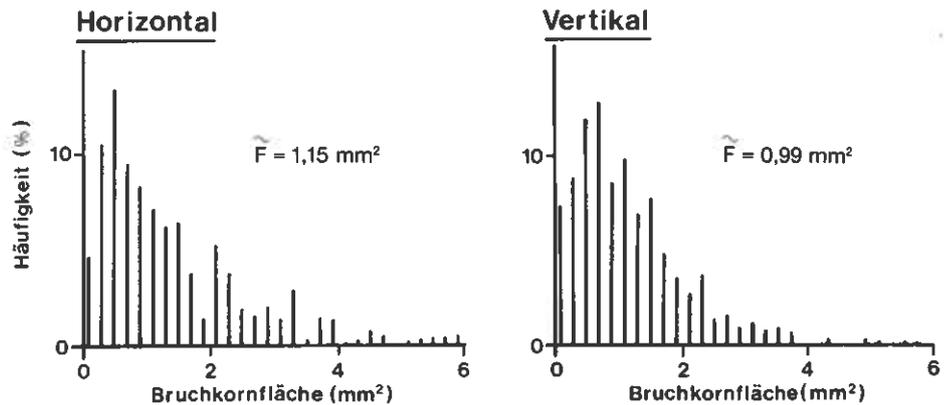


Abb. 6 Grössenverteilung der Bruchkörner in Emmentalerkäse, ermittelt in horizontalen und vertikalen Schnittflächen (Zusammengelegte Daten der Käse Nr. 2 bis Nr. 5 (total 480 Flächenwerte aus verschiedenen Zonen). Im Histogramm links waren 25 Werte grösser als 6 mm²).

3.2 Grösse und Deformation der Bruchkörner in den einzelnen Käsen

Da die Schnittflächen der Bruchkörner nicht eine symmetrische Verteilung aufweisen (siehe Abb. 6), werden im folgenden die Medianwerte als Mass für die mittlere Grösse und die Interquartil-Bereiche als Mass für die Breite der Verteilung angegeben.

Ein gutes Bild der Grössenverteilung erhält man von der Auswertung der horizontalen Schnittflächen. Die Bruchkornflä-

chen geben ein getreueres Bild der Grössenverteilung als die in den Schnitten messbaren Durchmesser, da nach dem sogenannten «Dellesse-Prinzip» die Flächenanteile in Schnitten gleich den Volumenanteilen im räumlichen Objekt sind (5). Aus diesem Grunde werden die berechneten Durchmesser A und B in diesem Abschnitt nicht näher besprochen. Abb. 5a zeigt das Resultat einer Auswertung der Bruchkornflächen in horizontalen Schnittflächen. Die Werte aller Zonen (7

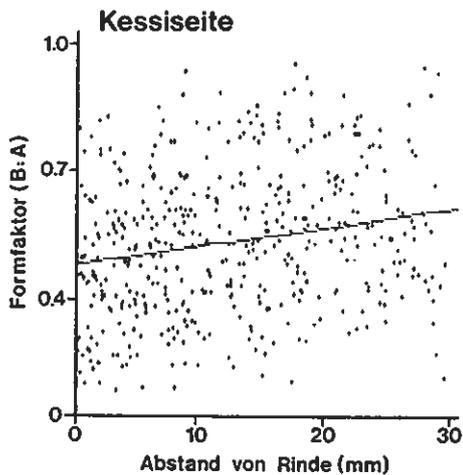


Abb. 10 Abflachung der Bruchkörner in der Rinde Formfaktoren in vertikalen Schnitten in Abhängigkeit des Abstandes von der Rindenoberfläche. Käse Nr. 5b; Rinde auf der Kessiseite.

Literatur

- 1 STEINEGGER, R.:
in «Der praktische Schweizer Käser»,
Verlag K. J. Wyss, Bern, S. 231 (1904)
- 2 DORNER, W. und RITTER, P.:
Schweiz. Milchztg. **27** (1942)
- 3 KALAB, M., LOWRIE, R. J. und
NICHOLS, D.:
J. Dairy Sci. **65**, 1117–1121 (1982)
- 4 LOWRIE, R. J., KALAB, M. und
NICHOLS, D.:
J. Dairy Sci. **65**, 1122–1129 (1982)
- 5 WEIBEL, E. R.:
in «Stereological Methods», Band 1
«Practical Methods for Biological
Morphometry», Academic Press,
London, S. 26, 180–203 (1979)
- 6 GOLDSMITH, P. L.:
Brit. J. Appl. Phys. **18**, 813–830 (1967)

Résumé

M. RUEGG, U. MOOR et J. SCHNIDER:
**De la distribution des tailles et de la
forme des grains de caillé dans le
fromage d'Emmental suisse**
Schweiz. Milchw. Forschung **14** (1),
3–7 (1985)

Des fromages d'Emmental suisses typiques ont été préparés pour un examen et des prises de vue au microscope. Les microphotographies obtenues ont ensuite été étudiées au moyen d'un analyseur d'images digitalisées. Les distributions des tailles obtenues sont semblables, à une exception près: un fromage a révélé l'existence de grains plus grands et plus déformés. Les coupes horizontales indiquent une surface moyenne de 1,15 mm² et des tailles de 0,5 à 5,0 mm. Dans les coupes verticales, le rapport moyen des axes des ellipses assimilées aux grains de caillé aplatis est de 0,45. Dans les

premiers 10 à 20 mm sous la croûte du fromage, les grains apparaissent plus déformés qu'au centre de la meule. De faibles variations zonales ont été observées dans tous les fromages examinés.

Summary

M. RUEGG, U. MOOR
and J. SCHNEIDER:

**On the size-distribution and shape of
the curd granules in Swiss Emmentaler
cheese**

Schweiz. Milchw. Forschung **14** (1),
3–7 (1985)

Typical Swiss Emmental cheeses were prepared for microscopic examination and the resulting micrographs analyzed using a digital image analyzer. The size distributions were similar with one exception. One cheese revealed larger and more deformed granules. In horizontal slices a mean surface area of 1.15 mm² and diameters between about 0.5 to 5.0 mm could be observed. In vertical slices the average ratio of the elliptical axes of the flattened curd granules was 0.45. In the first 10 to 20 mm below the cheese rind the granules were deformed to a greater extent than at the centre of the cheese. Slight zonal variations could be observed in all cheeses tested.

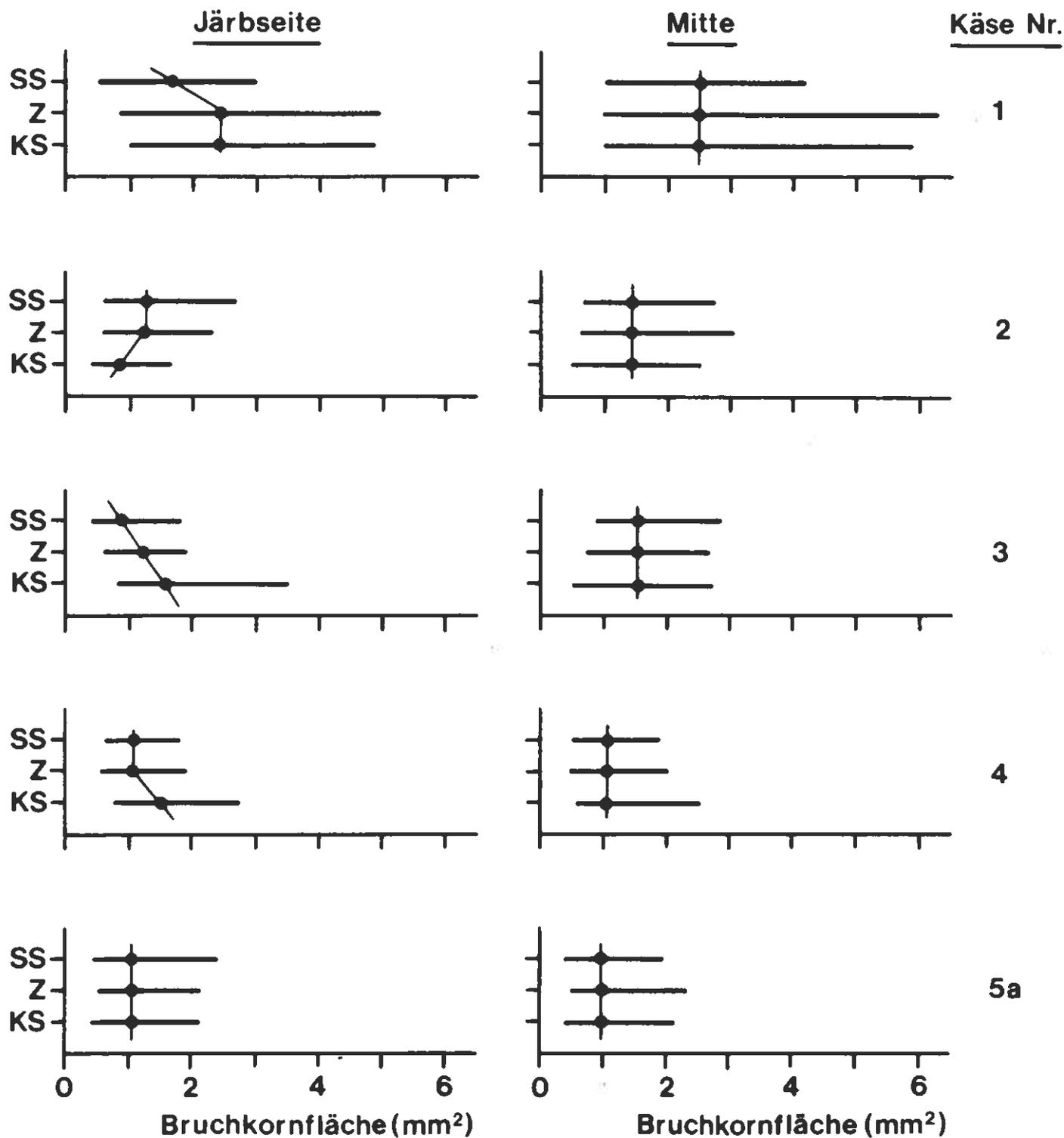


Abb. 9 Vergleich der Bruchkornflächen in horizontalen Schnitten aus verschiedenen Zonen
 KS = Kessseite, Z = Zentrum, SS = Strebelseite (vgl. Schnitte Nr. 7-9 und 10-12 in Abb. 1); Mediane und Interquartilbereiche.

bis 9) statistisch nicht verschieden von derjenigen in der Mitte (Schnitte 10 bis 12).

Am Beispiel des Käses Nr. 5b wurde die Deformation der Bruchkörner in der Rinde untersucht. Es ging dabei vor allem um die Beantwortung der Frage, wie weit weg von der Rinde man sich entfernen muss, um repräsentative Werte für die Bruch-

kornverteilung zu erhalten. Das Ergebnis der Messung des Formfaktors im Rindbereich auf der Kessseite ist in Abb. 10 grafisch dargestellt. Für die Rinden auf der Strebelseite und Järbseite wurden ähnliche Bilder erhalten. Die eingezeichnete Regressionsgerade gibt ein grobes Bild der Abnahme der Abflachung mit zunehmender Entfernung von der Rindeno-

berfläche. Visuell ist erkennbar, dass die Formfaktoren im Mittel bis zu einer Entfernung von 10 bis 15 mm von der Rindenoberfläche zunahm und anschliessend in einer konstanten Bandbreite lagen. Das bedeutet, dass zur Bestimmung der Bruchkorngrössenverteilung im Emmmentalerkäse die Probenentnahme etwa 2 cm von der Rinde entfernt erfolgen sollte.

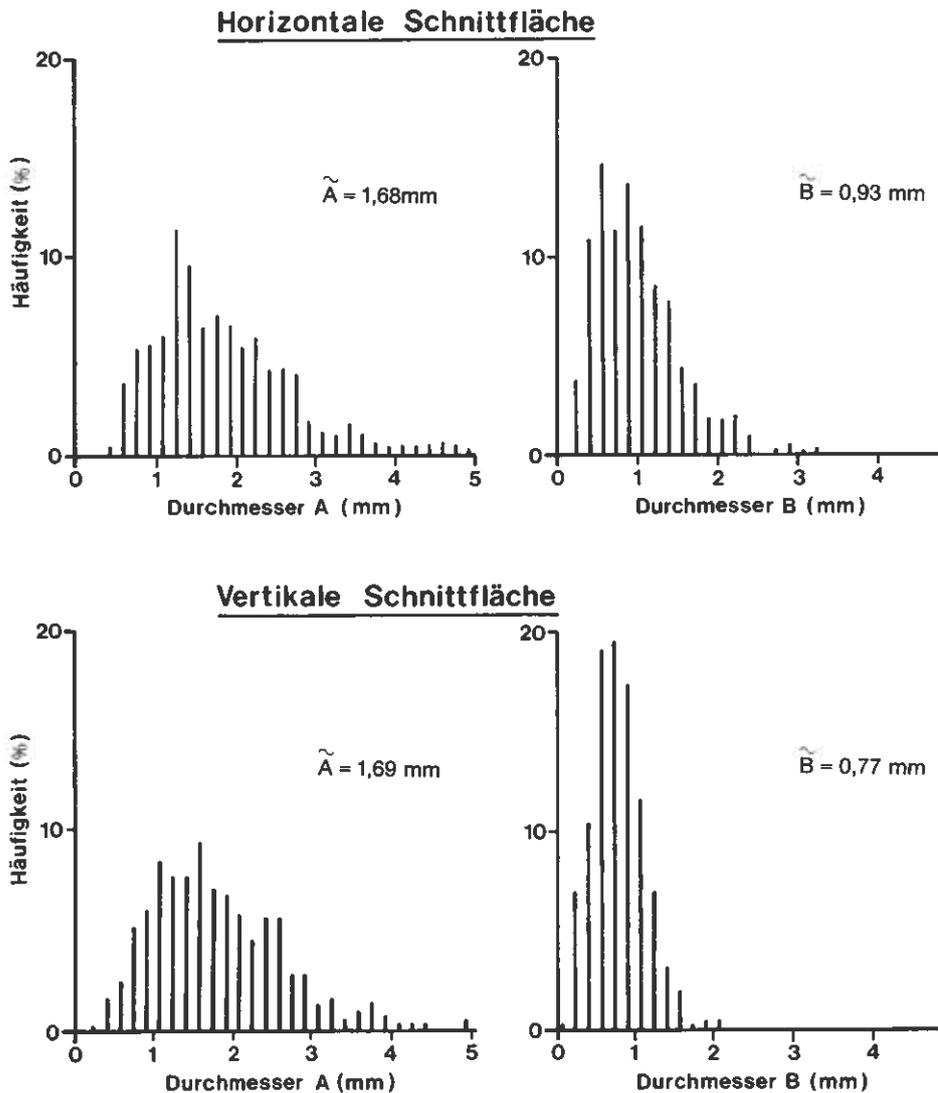


Abb. 7 Häufigkeitsverteilung der Bruchkorndurchmesser in horizontalen und vertikalen Schnittflächen A und B entsprechen den Hauptachsen der durch eine Ellipse angenäherten Bruchkorndurchschnittfläche. Zusammengelegte Daten der Käse Nr. 2 bis Nr. 5 (Die Häufigkeitsverteilung der Durchmesser in Schnittflächen weicht von der «wahren» Grössenverteilung ab; vgl. Abschnitt 2.).

bis 12, Abb. 1) wurden für die Mittelwertbildung zusammengelegt. Man kann erkennen, dass mit Ausnahme des Käses Nr. 1 die Verteilungen ähnlich waren. Betrachtet man in Abb. 5a die Ergebnisse für die beiden Käse aus der Käserei Nr. 5, so sieht man, dass die Unterschiede zwischen den Käsereien vergleichbar waren mit demjenigen innerhalb derselben Käserei. Der Laib aus der Käserei Nr. 1 hatte deutlich grössere Bruchkörner und eine breitere Verteilung. In vertikalen Schnitten kam dieser Unterschied weniger ausgeprägt zum Vorschein (Abb. 5c). Vergleicht man Abb. 5c mit Abb. 5d, so erkennt man, dass Käse mit grossen Flächen-Medianwerten in der Regel in Vertikalschnitten kleine Formfaktoren aufwiesen. Dies deutet auf eine Beziehung zwischen Grösse und Deformation der Bruchkörner. In horizontalen Schnitten schwankte der Formfaktor von einem Kä-

se zum anderen nicht stark und war nicht sehr aussagekräftig (Abb. 5b).

3.3 Bruchkorngrossenverteilung für Gruppe ähnlicher Emmentalerkäse

Um ein Gesamtbild der Grössenverteilung zu erhalten, wurden die Daten ähnlicher Käse zusammengelegt und in Histogrammen dargestellt. Unberücksichtigt blieb dabei der Käse Nr. 1, der bezüglich Bruchkorngrossen nicht mit den anderen vergleichbar war. Die Häufigkeiten der verschiedenen grossen Bruchkörner, wie sie in horizontalen und vertikalen Schnitten beobachtet wurden, sind aus Abb. 6 ersichtlich.

Aus der Grössenverteilung geht hervor, dass 50 % der Bruchkörner eine kleinere Querschnittsfläche als $1,15 \text{ mm}^2$ aufwiesen. Dies entspricht elliptischen Durchmessern von $A = 1,68 \text{ mm}$ und $B = 0,93 \text{ mm}$. In vertikalen Schnitten betrug die

mittlere Länge der Bruchkörner ebenfalls $1,69 \text{ mm}$, der Medianwert für die Breite dagegen nur $0,77 \text{ mm}$. In Abb. 7 erkennt man die unterschiedliche Verteilung der Durchmesser in horizontalen und vertikalen Schnitten. Es sei an dieser Stelle daran erinnert, dass die kleinen Bruchkörner zahlenmässig stärker ins Gewicht fallen als mengenmässig. In einem Bruchkorwürfel mit 4 mm Kantenlänge haben z. B. mehr als 500 Bruchkörner mit $0,5 \text{ mm}$ Kantenlänge Platz.

Ein Vergleich von Abb. 6 mit Abb. 8 zeigt, dass die Formfaktoren eine symmetrischere Verteilung aufwiesen als die Bruchkorndurchmesser. Der Medianwert lag in vertikalen Schnitten bei $0,452$, in horizontalen Schnitten bei $0,560$ (Abb. 8).

3.4 Zonale Unterschiede in den Käseläuben

Es wurden in allen Käsen geringfügige zonale Unterschiede festgestellt. Der Käse Nr. 5a wies die geringsten und der Käse Nr. 1, der im Mittel grössere Bruchkörner aufwies, die grössten Unterschiede auf. Die Unterschiede wurden vorwiegend auf der Järbseite, d. h. zwischen den Schnitten 1 bis 3 in vertikalen und 7 bis 9 in horizontalen Schnittflächen beobachtet (Abb. 1 und Abb. 9). Aus Abb. 9 ist ersichtlich, dass bei keinem Käse in der Mitte des Laibes Unterschiede von der Strebel- zur Kesselseite auftraten (Schnitte 4 bis 6 und 10 bis 12). Bei den Formfaktoren traten dagegen auch in der Laibmitte signifikante Unterschiede auf, d. h. die Abflachung der Bruchkörner war dort nicht gleichmässig, wahrscheinlich wegen Druckunterschieden beim Pressen und infolge der Lochbildung.

Bei den Käsen Nr. 1 bis Nr. 3 waren die Bruchkörner auf der Järbseite im Mittel kleiner als in der Laibmitte. Bei den übrigen Käsen war die Bruchkorngrossenverteilung in der järbseitigen Randzone (zusammengelegte Daten der Schnitte 7

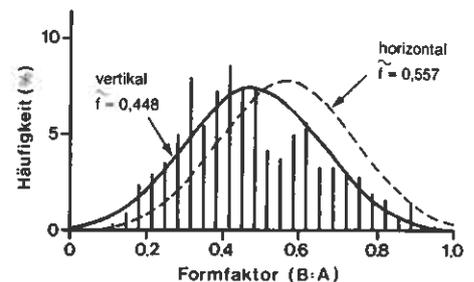


Abb. 8 Deformation der Bruchkörner: Verteilung der Formfaktoren in vertikalen und horizontalen Schnitten. Daten der Käse Nr. 2 bis Nr. 5. Die Histogrammsäulen sind nur für die Werte aus vertikalen Schnitten eingezeichnet. Die eingezeichnete Normalverteilung gibt die im Histogramm ersichtlich gemessene Verteilung nicht exakt wieder.